

2017

Bericht zur wissenschaftsgeleiteten Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastruktur- vorhaben für die Nationale Roadmap

Vorbemerkung	5
A. Der Nationale Roadmap-Prozess für Forschungsinfrastrukturen	7
A.I Forschungsinfrastrukturen im Roadmap-Prozess	7
A.II Etablierung des Roadmap-Prozesses	9
A.III Eingang in das aktuelle Roadmap-Verfahren	11
A.IV Konzepte im Kontext ihrer Wissenschaftsgebiete	12
IV.1 Natur- und Technikwissenschaften	13
IV.2 Umwelt- und Erdsystemwissenschaften	13
IV.3 Biowissenschaften und Medizin	14
A.V Wissenschaftsgeleitete Bewertung durch den Wissenschaftsrat	15
B. Ergebnisse der vergleichenden wissenschaftsgeleiteten Bewertung	18
B.I Ergebnis der dimensionsbezogenen vergleichenden Bewertung	18
B.II Zusammenfassende Bewertungen in den Natur- und Technikwissenschaften	20
II.1 Ernst Ruska-Centrum 2.0 (ER-C 2.0)	20
II.2 European Solar Telescope (EST)	22
II.3 National Photonics Labs (NPL)	24
B.III Zusammenfassende Bewertungen in den Umwelt- und Erdsystemwissenschaften	27
III.1 Aerosole, Wolken und Spurengase Forschungsinfrastruktur – Deutscher Beitrag (ACTRIS-D)	27
III.2 AtmoSat	29
III.3 Deutsche Naturwissenschaftliche Sammlungen als integrierte Forschungsinfrastruktur (DCOLL)	31
III.4 Tandem-L (TDL)	34
B.IV Zusammenfassende Bewertungen in den Biowissenschaften und der Medizin	36
IV.1 German BioImaging Forschungsinfrastruktur (GerBI-FIS)	36
IV.2 Leibniz-Zentrum für Photonik in der Infektionsforschung (LPI)	38
IV.3 Nationale Biomedizinische Bildgebungseinrichtung (NIF)	40
IV.4 National Imaging Science Center (NISC)	42
C. Bilanz und Ausblick	45
C.I Wissenschaftspolitischer Kontext	46
I.1 Nationale Entwicklungen	46

I.2	Europäische Entwicklungen	48
C.II	Verfahrensreflexion	51
II.1	Beteiligung am Roadmapverfahren	51
II.2	Herausforderungen für die Bewertung	53
C.III	Fazit	56
Anhang		59
D.	Ausführliche Konzeptbeschreibungen und-bewertungen	63
D.I	Natur- und Technikwissenschaften	63
I.1	Wissenschaftsgebiet Natur- und Technikwissenschaften	63
I.2	Ernst Ruska-Centrum 2.0 (ER-C 2.0) – Die Nationale Forschungsinfrastruktur für höchstauflösende Elektronenmikroskopie	68
I.3	European Solar Telescope (EST)	90
I.4	National Photonics Labs (NPL)	106
D.II	Umwelt- und Erdsystemwissenschaften	122
II.1	Wissenschaftsgebiet Umwelt- und Erdsystemwissenschaften	122
II.2	Aerosole, Wolken und Spurengase Forschungsinfrastruktur – Deutscher Beitrag (ACTRIS-D)	126
II.3	AtmoSat	139
II.4	Deutsches Zentrum für Biodiversitätsmonitoring (BioM-D)	157
II.5	Deutsche Naturwissenschaftliche Sammlungen als integrierte Forschungsinfrastruktur (DCOLL)	167
II.6	Tandem-L (TDL)	195
D.III	Biowissenschaften und Medizin	211
III.1	Wissenschaftsgebiet Biowissenschaften und Medizin	211
III.2	German BioImaging Forschungsinfrastruktur (GerBI-FIS)	218
III.3	Leibniz-Zentrum für Photonik in der Infektionsforschung (LPI)	230
III.4	Nationale Biomedizinische Bildgebungseinrichtung (NIF)	246
III.5	National Imaging Science Center (NISC)	261
	Abkürzungs- und Namensverzeichnis	279

Vorbemerkung

Der Nationale Roadmap-Prozess ist in Deutschland als strategisches Instrument zur forschungspolitischen Priorisierung künftiger Investitionen des Bundes im Feld umfangreicher Forschungsinfrastrukturen (FIS) etabliert worden. Die weitreichende Bedeutung von Forschungsinfrastrukturen für das Wissenschaftssystem, ihr wachsender Ressourcenbedarf und ihre steigende Komplexität verlangen nach einer strategischen Investitionsplanung in diesem für Forschung, Lehre, Nachwuchsförderung und Transfer wichtigen Feld. Vor diesem Hintergrund und nach erfolgreicher Durchführung einer Pilotphase 2011–2013 hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) den Wissenschaftsrat erneut gebeten, die wissenschaftsgeleitete Bewertung von diesmal zwölf Forschungsinfrastrukturvorhaben vorzunehmen.

Anfang 2015 hat der Wissenschaftsrat einen mandatierten Ausschuss „Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben für eine Nationale Roadmap“ eingesetzt, der die wissenschaftsgeleitete Bewertung auf der Grundlage des in der Pilotphase erprobten Verfahrens und der daraus gewonnenen Erfahrungen durchgeführt hat. Das BMBF verbindet mit der Aufnahme auf die Roadmap eine grundsätzliche Förderabsicht – im Unterschied zur Mehrzahl nationaler Roadmaps für Forschungsinfrastrukturen anderer europäischer Staaten. Daher spielt neben der wissenschaftlichen Qualität eine wirtschaftlich belastbare Planung eine wichtige Rolle, so dass alle Konzepte parallel zur wissenschaftsgeleiteten Bewertung einer wirtschaftlichen Bewertung unterzogen werden. Auf der Grundlage der wissenschaftsgeleiteten und der wirtschaftlichen Bewertung entscheidet das BMBF unter Berücksichtigung der gesellschaftlichen Bedeutung der geplanten Forschungsinfrastrukturen über die Aufnahme eines Vorhabens auf die Roadmap.

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 Gutachterinnen und Gutachtern, die an den differenzierten Einzelbewertungen der Vorhaben mitgewirkt haben.

Der vorliegende Bewertungsbericht richtet sich primär an das BMBF, mit konkreten Empfehlungen zur Weiterentwicklung der Konzepte auch an die Trägerinstitutionen der Forschungsinfrastrukturvorhaben, die mehrheitlich von

6 Bund und Ländern auf Basis des Artikels 91 b des Grundgesetzes gemeinsam finanziert werden. Darüber hinaus werden die wissenschaftlichen Gemeinschaften, die Wissenschaftsorganisationen sowie politische Akteure im nationalen, europäischen und internationalen Rahmen adressiert.

Der Ausschuss hat den Bewertungsbericht am 14.06.2017 verabschiedet und dem Wissenschaftsrat während seiner Sitzung vom 12.07.2017 bis 14.07.2017 vorgelegt.

A. Der Nationale Roadmap-Prozess für Forschungsinfrastrukturen

Nach erfolgreicher Durchführung einer Pilotphase 2011–2013 hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) zu Beginn des Jahres 2015 einen weiteren Nationalen Roadmap-Prozess gestartet und den Wissenschaftsrat erneut gebeten, als maßgeblicher Akteur in eigener Verantwortung die wissenschaftsgeleitete Bewertung vorzunehmen. |¹ Im Folgenden werden zunächst die Anforderungen an Forschungsinfrastrukturen im Roadmap-Prozess dargestellt, bevor in den Kapiteln A.II bis A.V der Roadmap-Prozess und das Verfahren der wissenschaftsgeleiteten Bewertung durch den Wissenschaftsrat erläutert werden.

A.I FORSCHUNGSINFRASTRUKTUREN IM ROADMAP-PROZESS

Forschungsinfrastrukturen sind mittlerweile in allen Disziplinen unverzichtbar geworden. Erst mit dieser Entwicklung hat sich in den letzten 15–20 Jahren der übergeordnete Begriff der Forschungsinfrastruktur herausgebildet und den des Großgerätes abgelöst. Diese Entwicklung ist vor allem auf europäischer Ebene durch das Strategieforum für Forschungsinfrastrukturen – *European Strategy Forum on Research Infrastructures* (ESFRI) – vorangetrieben worden. In der ersten ESFRI-Roadmap aus dem Jahr 2006 wurden Forschungsinfrastrukturen als einzigartige Instrumente, Ressourcen und Dienstleistungen beschrieben |²,

|¹ Bundesministerium für Bildung und Forschung: Der Nationale Roadmap-Prozess für Forschungsinfrastrukturen. Investitionen in die Forschung von morgen. Januar 2016, S. 3. https://www.bmbf.de/pub/Nationaler_Roadmap_Prozess_fuer_Forschungsinfrastrukturen.pdf, zuletzt abgerufen am 09.02.2017.

|² ESFRI: European Roadmap for Research Infrastructures, Report 2006, Luxemburg 2006, S. 16. Ähnlich weit gefasste FIS-Definitionen werden bis heute in unterschiedlichen nationalen und europäischen Kontexten verwandt. Vgl. Wissenschaftsrat: Bericht zur wissenschaftsgeleiteten Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben für die Nationale Roadmap (Pilotphase), Köln 2013, S. 11; vgl. auch Rat für Informationsinfrastrukturen: Leistung aus Vielfalt 2016, A-14; ESFRI: Public Roadmap 2018 Guide, S. 6. Neben dem BMBF-Pilotprojekt für die Nationale Roadmap in Deutschland (BMBF (Hrsg.): Roadmap für Forschungsinfrastrukturen. Pilotprojekt des BMBF, Bonn 2013, S. 2) sind weitere Beispiele hierfür Frankreich

die die Forschung ganzer Wissenschaftsgemeinschaften in Europa ermöglichen und erleichtern. Dieser breiten ESFRI-Definition schloss sich der Wissenschaftsrat zunächst mit Blick auf die naturwissenschaftliche Forschung an |³ und entwickelte anschließend den Begriff deutlich weiter. Forschungsinfrastrukturen stellen demnach Instrumente, Ressourcen und Dienstleistungen zur Verfügung, „die speziell für wissenschaftliche Zwecke errichtet, mittelfristig bis tendenziell permanent bereitgestellt werden und für deren sachgerechte Errichtung, Betrieb und Nutzung in der Regel spezifische fachwissenschaftliche oder interdisziplinäre (Methoden-) Kompetenzen erforderlich sind. Ihre Funktion ist es, Forschung, Lehre und Nachwuchsförderung zu ermöglichen oder zu erleichtern. Sie sind örtlich fixiert, auf mehrere Standorte verteilt oder werden ohne definierte physische Anlaufstelle ausschließlich virtuell bereitgestellt. Sie werden nicht ausschließlich von einzelnen Personen oder Gruppen genutzt, sondern stehen prinzipiell einer internationalen Fachgemeinschaft oder mehreren Fachgemeinschaften offen.“ |⁴

Der Wissenschaftsrat hat auf dieser Grundlage vier Idealtypen von Forschungsinfrastrukturen unterschieden. Um insbesondere den Belangen der Geistes- und Kulturwissenschaften gerecht zu werden, hat er sowohl den Blick auf die Informationsinfrastrukturen erweitert als auch den Typus der sozialen Forschungsinfrastruktur erarbeitet, der zuvor im europäischen Kontext noch nicht eingeführt war. Demnach lassen sich idealtypisch unterscheiden:

- _ **Instrumente** und Großgeräte, die an einem Ort oder auf mehrere Standorte verteilt sein können, wie z. B. Teilchenbeschleuniger, Teleskope oder verteilte Bildgebungsinstrumente;
- _ **Ressourcen** im Sinne von Informationsinfrastrukturen, wie z. B. Sammlungen, Archive, Datenerhebungen und -sammlungen in den Sozialwissenschaften (Surveys und Panelstudien) sowie Stoff- oder Datenbanken;
- _ **Informationstechnische Infrastrukturen** (E-Infrastrukturen), wie z. B. Hoch- und Höchstleistungsrechner oder Rechnergitterverbünde (GRIDs);

(Ministère de L'Éducation Nationale de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche (Hrsg.): *Stratégie Nationale des Infrastructures de Recherche*, 2016, S. 7), Malta (Ministry for education and Employment (Hrsg.): *National Research and Innovation Strategy 2020*, 2014, S. 19), Griechenland (GSRT (Hrsg.): *National Roadmap for Research Infrastructures*, 2014, S. 11), Dänemark (Danish Agency for Science, Technology and Innovation (Hrsg.): *Danish Roadmap for Research Infrastructures* 2011).

|³ Wissenschaftsrat: Stellungnahme zu zwei Großgeräten der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung. Freie-Elektronen-Laser für weiche Röntgenstrahlung (BESSY FEL) und eisbrechendes Forschungsbohrschiff (AURORA BOREALIS), in Wissenschaftsrat: Empfehlungen und Stellungnahmen 2006, Bd. III, Köln 2007, S. 89–247.

|⁴ Wissenschaftsrat: Übergreifende Empfehlungen zu Informationsinfrastrukturen, Köln 2011, S. 17.

_ **Soziale Forschungsinfrastrukturen** (z. B. Begegnungs- und Forschungszentren, *Institutes for Advanced Studies*). |⁵

Das aktuelle Roadmap-Verfahren knüpft an dieses Verständnis von Forschungsinfrastrukturen an. Die Vorhaben müssen jedoch nicht allein dem allgemeinen Begriff einer Forschungsinfrastruktur entsprechen, sondern darüber hinaus die folgenden Kriterien erfüllen: |⁶

- _ Sie sind von nationaler wissenschaftspolitischer Bedeutung.
- _ Sie weisen eine lange – in der Regel mindestens zehnjährige – Nutzungsdauer auf.
- _ Der Zugang zu ihnen ist grundsätzlich offen und ihre Nutzung wird auf Basis wissenschaftlicher Qualitätsmaßstäbe geregelt.
- _ Die Kosten für ihren Aufbau und ihre Errichtung sind so hoch, dass sie erhebliche nationale öffentliche Mittel erfordern und somit einen umfangreichen nationalen Entscheidungsprozess rechtfertigen. Die Eingangsschwelle beträgt im aktuellen Roadmap-Prozess 50 Mio. Euro bei naturwissenschaftlichen und 20 Mio. Euro bei geistes- und sozialwissenschaftlichen Vorhaben.
- _ Sie weisen eine aufgabenadäquate übergreifende Governance auf. Handelt es sich um verschiedene Standorte mit einander ergänzenden Aufgaben, müssen diese eine funktional integrierte und damit als Einheit zu bewertende Forschungsinfrastruktur mit gemeinsamen Standards bilden.

Hoch- und Höchstleistungsrechner als eine Form von informationstechnischen Infrastrukturen werden in diesem Verfahren nicht berücksichtigt, da hierfür ein eigenes Finanzierungsverfahren existiert bzw. in der Abstimmung ist. |⁷

A.II ETABLIERUNG DES ROADMAP-PROZESSES

Der Nationale Roadmap-Prozess ist ein strategisches Instrument zur Priorisierung von Investitionen in umfangreiche Forschungsinfrastrukturen, wie sie zuvor (vgl. A.I) beschrieben sind, und baut auf einem Pilotverfahren auf, das

| ⁵ Wissenschaftsrat: Empfehlungen zu Forschungsinfrastrukturen in den Geistes- und Sozialwissenschaften, in Wissenschaftsrat: Empfehlungen zu Forschungsinfrastrukturen, Köln 2011. Und Wissenschaftsrat: Bericht zur wissenschaftsgeleiteten Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben für die Nationale Roadmap (Pilotphase). <http://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/2841-13.pdf>, zuletzt abgerufen am 16.02.2017.

| ⁶ BMBF: Der Nationale Roadmap-Prozess für Forschungsinfrastrukturen. Investitionen in die Forschung von morgen. Januar 2016, S. 5. https://www.bmbf.de/pub/Nationaler_Roadmap_Prozess_fuer_Forschungsinfrastrukturen.pdf, zuletzt abgerufen am 09.02.2017.

| ⁷ Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Finanzierung des Nationalen Hoch- und Höchstleistungsrechnens in Deutschland, Stuttgart 2015. <http://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/4488-15.pdf>, zuletzt abgerufen am 20.02.2017.

zwischen 2011 und 2013 entwickelt und durchgeführt worden ist. Auf Bitten des BMBF hatte der Wissenschaftsrat ein Verfahren zur vergleichenden wissenschaftsgeleiteten Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben erarbeitet und an neun Vorhaben erprobt. |⁸ Auf dieser Grundlage und aufbauend auf den Ergebnissen einer parallel durchgeführten Kostenprüfung veröffentlichte das BMBF die erste Nationale Roadmap für Deutschland und schloss damit das Pilotverfahren im April 2013 erfolgreich ab. |⁹ Mit dem Start der neuen Runde im Jahr 2015 kann der Prozess als etabliert gelten.

Die Erfahrungen der Pilotphase wurden zur Weiterentwicklung des aktuellen Roadmap-Prozesses genutzt. In Abbildung 1 ist das Zusammenspiel zwischen dem BMBF, dem Wissenschaftsrat sowie dem Projektträger schematisch dargestellt.

Abbildung 1: Zusammenspiel der Akteure im Roadmap Prozess



Im Unterschied zur Pilotphase, in der das BMBF Trägereinrichtungen bekannter Vorhaben aufgefordert hatte, einen Konzeptantrag einzureichen, wurde der Zugang zum laufenden Nationalen Roadmap-Prozess für alle interessierten Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen geöffnet.

|⁸ Wissenschaftsrat: Bericht zur wissenschaftsgeleiteten Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben für die Nationale Roadmap (Pilotphase). <http://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/2841-13.pdf>, zuletzt abgerufen am 16.02.2017.

|⁹ BMBF: Roadmap für Forschungsinfrastrukturen. April 2013. https://www.bmbf.de/pub/Roadmap_Forschungsinfrastrukturen.pdf, zuletzt abgerufen am 16.02.2017.

Die eingereichten Konzepte wurden durch das BMBF bzw. den Projektträger einer formalen Eingangsprüfung unterzogen, im Sinne einer Prüfung auf Vollständigkeit der Unterlagen (z. B. Erklärung zur Übernahme der Betriebskosten) und einer kursorischen fachlichen Prüfung unter der Bezugnahme auf die Kriterien des BMBF an eine Forschungsinfrastruktur (vgl. A.I).

Der Ausschuss des Wissenschaftsrates erarbeitete, basierend auf einer Begutachtung durch externe Gutachterinnen und Gutachter, eine vergleichende Bewertung der eingereichten Forschungsinfrastrukturvorhaben (vgl. A.V). Parallel zu dieser wissenschaftsgeleiteten Bewertung fand eine durch den Projektträger organisierte wirtschaftliche Bewertung statt, deren Kern eine externe Kostenschätzung der eingereichten Konzepte für Forschungsinfrastrukturen durch Sachverständige bildete. Eine Weiterentwicklung des Verfahrens stellt die Verzahnung dieser beiden parallel durchgeführten Bewertungsprozesse dar. Für jedes Konzept wurde im aktuellen Verfahren der wissenschaftsgeleiteten Bewertung ein Mitglied des Ausschusses als Berichterstatterin bzw. Berichterstatter benannt. Diese nahmen als Gäste auch an der wirtschaftlichen Bewertung teil und konnten dort relevante Aspekte aus der wissenschaftsgeleiteten Bewertung einbringen. Umgekehrt wurden offene Fragen sowie wirtschaftliche und technologische Risiken in den weiteren Prozess der wissenschaftsgeleiteten Bewertung zurückgespielt.

Auf Basis der Ergebnisse aus den Bewertungsprozessen und unter Berücksichtigung der gesellschaftlichen Bedeutung der geplanten Forschungsinfrastrukturen wird durch das BMBF anschließend eine forschungspolitische Priorisierung der Konzepte vorgenommen und die Nationale Roadmap erstellt.

A.III EINGANG IN DAS AKTUELLE ROADMAP-VERFAHREN

Die Bekanntmachung der aktuellen Runde des Roadmap-Prozesses erfolgte durch das BMBF im August 2015. Im Januar 2016 mussten die vollständigen Unterlagen eingegangen sein. |¹⁰ Die Konzepte sollten entlang eines vom BMBF und Wissenschaftsrat gemeinsam erarbeiteten Leitfadens verfasst werden, der zeitgleich mit der Bekanntmachung des Roadmap-Prozesses veröffentlicht wurde. |¹¹

Zwölf der eingereichten Konzepte haben die formale Eingangsprüfung des BMBF und des Projektträgers erfolgreich durchlaufen und wurden im Frühjahr

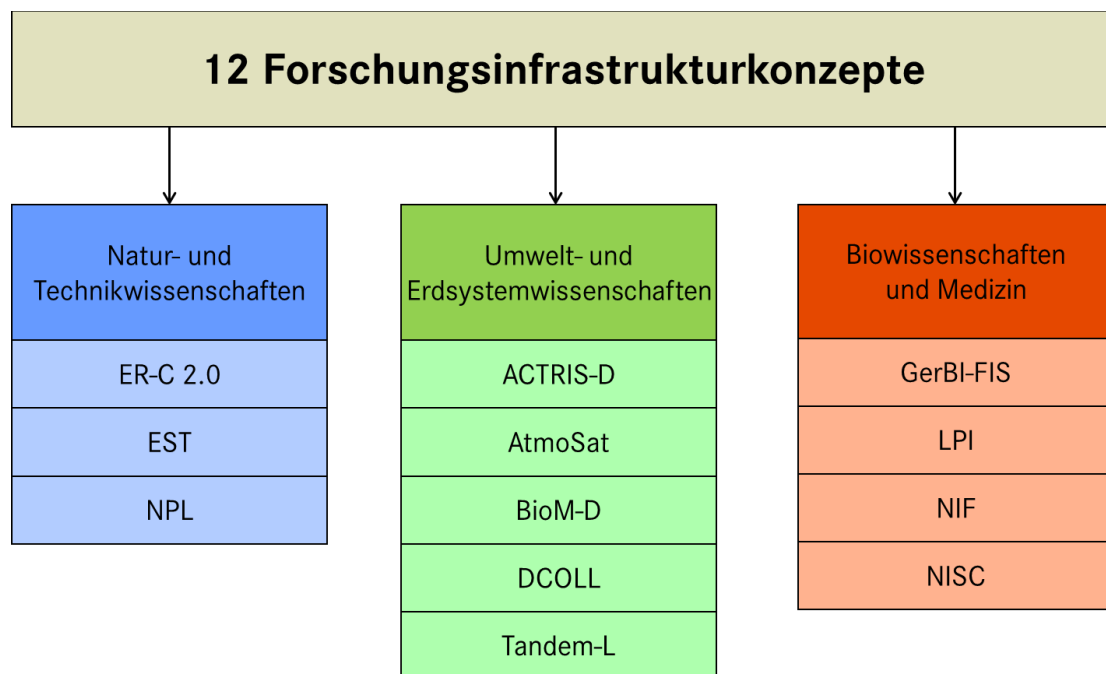
|¹⁰ BMBF: Bekanntgabe. <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1088.html>, zuletzt abgerufen am 09.02.2017.

|¹¹ BMBF: Leitfaden zur Konzepterstellung für die Nationale Roadmap für Forschungsinfrastrukturen des BMBF, 2015. http://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/FIS_Leitfaden_Veroeffentlichung.pdf, zuletzt abgerufen am 09.02.2017.

2016 von dem mandatierten Ausschuss des Wissenschaftsrates zur wissenschaftsgeleiteten Bewertung entgegengenommen. Die Konzepte wurden den folgenden drei Wissenschaftsgebieten zugeordnet: Natur- und Technikwissenschaften, Umwelt- und Erdsystemwissenschaften sowie Biowissenschaften und Medizin. Die Zuordnung der eingereichten Konzepte zu bestimmten Wissenschaftsgebieten erlaubt eine wissenschaftlich-thematische Verortung der zu bewertenden Forschungsinfrastrukturvorhaben und die spätere Rahmung der Bewertungsergebnisse.

Die folgende Abbildung liefert eine Übersicht über die Vorhaben und ihre Zuordnung zu den Wissenschaftsgebieten (vgl. Abbildung 2). Anschließend werden die Vorhaben und ihre Verortung in den Wissenschaftsgebieten kurz vorgestellt (vgl. A.IV).

Abbildung 2: Zuordnung der Konzepte zu den Wissenschaftsgebieten



A.IV KONZEPTE IM KONTEXT IHRER WISSENSCHAFTSGEBIETE

Die drei Wissenschaftsgebiete, denen die Konzepte zugeordnet wurden, umfassen jeweils sehr große Forschungsbereiche und schließen unterschiedliche Disziplinen ein. Der Zuschnitt der Wissenschaftsgebiete orientierte sich an fachlichen Erfordernissen vor dem Hintergrund der eingegangenen Konzepte, den Erfahrungen aus der Pilotphase des Roadmap-Prozesses sowie den Unterscheidungen im Rahmen des ESFRI-Prozesses. Dies gilt insbesondere für das Wissenschaftsgebiet Natur- und Technikwissenschaften.

Hierbei handelt es sich um einen sehr heterogenen Wissenschaftsbereich, der eine Vielzahl von Forschungsfeldern und Disziplinen umfasst. Beiträge zu diesem Wissenschaftsgebiet leisten Disziplinen wie Physik, Astronomie, Chemie, Biologie und Ingenieurwissenschaften. Entsprechend vielgestaltig sind die Forschungsgegenstände, die von den kleinsten Bausteinen der Materie über die größten Gebilde im Universum bis zu den fundamentalen Wechselwirkungen reichen. Die in diesem Prozess vorliegenden Forschungsinfrastrukturvorhaben stammen aus der Materialforschung, der Astrophysik und der Photonik.

Die **Materialforschung** befasst sich mit der Struktur, Synthese, Verarbeitung und den Eigenschaften von Materialien. In diesem Gebiet soll das **Ernst Ruska-Centrum 2.0** als die **Nationale Forschungsinfrastruktur für höchstauflösende Elektronenmikroskopie** (ER-C 2.0, *Ernst Ruska-Centre 2.0 – National Research Infrastructure for Ultra-High-Resolution Electron Microscopy*) aufgebaut werden. Mit Hilfe von Elektronenmikroskopen der nächsten Generation sollen Strukturen auf atomarer und molekularer Ebene untersucht werden. Neben einem Fokus auf harter Materie und Materialphysik soll ER-C 2.0 die Analyse weicher Materie und deren Anwendung auch in den Lebenswissenschaften ermöglichen.

Ein weiteres Vorhaben, das *European Solar Telescope* (EST), fällt in das Forschungsfeld der **Astrophysik**, die sich mit der Entstehung, den Eigenschaften sowie der Entwicklung des Universums und seiner Bestandteile befasst. Das geplante Teleskop soll mit seiner vier Meter weiten Öffnung das größte bisher in Europa gebaute Sonnenteleskop werden. Von der geplanten Erforschung der Wechselwirkungen zwischen Plasma, Magnetfeld und Strahlung in der Sonnenatmosphäre soll das gesamte Forschungsfeld der Astrophysik und dabei im speziellen die darstellende Sonnenphysik und Plasmaphysik profitieren. EST befindet sich seit 2016 auf der ESFRI-Roadmap.

Mit den geplanten **National Photonics Labs** (NPL) soll eine Forschungs- und Entwicklungsplattform für die **Photonik** und photonische Technologien geschaffen werden. Die Photonik beschäftigt sich mit der Schaffung, Modulation und Detektion von Licht und seiner konstituierenden Partikel, den Photonen. NPL soll Licht und seine Anwendungen erforschen, um mit dem gewonnenen Wissen neuartige optische Komponenten und Systeme zu realisieren.

IV.2 Umwelt- und Erdsystemwissenschaften

Die Umwelt- und Erdsystemwissenschaften umfassen ein breites Spektrum unterschiedlicher wissenschaftlicher Disziplinen, wie die Geowissenschaften, Physik, Chemie, Biologie, aber auch die Sozial- und Ingenieurwissenschaften, die Beiträge zur Forschung in diesem Bereich leisten. Im Zentrum umwelt- und erdsystemischer Fragestellungen steht dabei die Erkenntnisgewinnung über wechselseitige Prozesse in und zwischen den Erdsphären (Bio-, Geo-, Atmo- und

Hydrosphäre) sowie der Anthroposphäre. Dabei werden gleichermaßen physikalische, chemische und biologische wie auch sozioökonomische und soziokulturelle Themenkomplexe angesprochen.

Die fünf zu bewertenden Konzepte aus diesem Wissenschaftsgebiet sind mit einer Vielzahl von Komponenten aus dem Erdsystem und Umweltfragen verbunden. Sie lassen sich jedoch mehr oder weniger der Analyse einer spezifischen Erdsphäre zuordnen.

Die Konzepte **Aerosole, Wolken und Spurengase Forschungsinfrastruktur – Deutscher Beitrag** (ACTRIS-D, *Aerosols, Clouds and Trace gases Research InfraStructure – German Contribution*) und **AtmoSat** sind auf die Untersuchung der Erdatmosphäre hin ausgerichtet. ACTRIS-D knüpft dabei an das europäische ACTRIS-Projekt auf der ESFRI-Roadmap an und soll die Zusammensetzung und Wechselwirkungen atmosphärischer Aerosole, Spurengase und Wolken erforschen. Die geplante Satellitenmission AtmoSat soll den Einfluss chemischer und physikalischer Prozesse in der mittleren Atmosphäre (ca. 5 bis 100 km Höhe) auf globale und regionale Klimate untersuchen.

Während sich diese beiden Vorhaben auf die Atmosphäre fokussieren, zielen die Konzepte **Deutsche Naturwissenschaftliche Sammlungen als integrierte Forschungsinfrastruktur** (DCOLL, *German Natural Science Collections Infrastructure*) und **Deutsches Zentrum für Biodiversitätsmonitoring** (BioM-D, *German Center for Biodiversity Monitoring*) stärker auf die Untersuchung der Bio- und Geosphäre, zu geringen Teilen auch auf die Hydrosphäre. DCOLL ist eine Infrastruktur zur Digitalisierung wissenschaftlicher Sammlungen und BioM-D ist ein Vorhaben zum Monitoring von Biodiversität.

Tandem-L, das fünfte Konzept in diesem Wissenschaftsgebiet, adressiert gleichermaßen Untersuchungen in der Geo-, Hydro-, Kryo- und Biosphäre. Mit zwei Satelliten, die mit *Synthetic Aperture Radar* (SAR)-Technologie ausgerüstet und deren Flugbahnen synchron aufeinander abgestimmt sind, sollen dynamische Prozesse auf der Erdoberfläche in höchster Qualität und Auflösung dargestellt werden.

IV.3 Biowissenschaften und Medizin

Biowissenschaften und Medizin befassen sich mit lebenden Organismen, deren Struktur, Funktionen und Beziehungen zur Umwelt. Eine Vielzahl wissenschaftlicher Disziplinen wie Physik, Chemie und Biologie leisten ihre Beiträge dazu. Der Fokus der hier verorteten Forschungsinfrastrukturvorhaben im laufenden Roadmap-Prozess liegt auf Bildgebung und optischen Verfahren in der Biomedizin. Hierbei handelt es sich um Techniken, die Strukturen und Funktionen von Zellen, Geweben oder Organen sichtbar und damit für wissenschaftliche Untersuchungen, klinische Analysen oder medizinische Interventionen zugänglich machen.

Im laufenden Roadmap-Prozess werden vier Forschungsinfrastrukturvorhaben aus diesem Wissenschaftsgebiet einer Bewertung unterzogen. Die **German Bio-Imaging Forschungsinfrastruktur** (GerBI-FIS) ist als verteilte Forschungsinfrastruktur mit fünf Knotenpunkten geplant, die den Zugang zu technisch neuesten Bildgebungsverfahren auf lichtmikroskopischer Ebene eröffnet, noch bevor diese Verfahren kommerziell verfügbar sind. GerBI-FIS soll so als nationale Ressource für die Forschung in den Biowissenschaften und der Medizin dienen.

Das **Leibniz-Zentrum für Photonik in der Infektionsforschung** (LPI, *Leibniz Center for Photonics in Infection Research*) zielt darauf, ein nutzeroffenes Photonikzentrum zu etablieren, in dem neue Verfahren für die Diagnose, das Monitoring und die Behandlung von Infektionen entwickelt werden. Diese neuen Verfahren sollen bis zur Anwendung in der Klinik gebracht werden. Dabei soll die gesamte Innovationskette abgedeckt werden.

Die **Nationale Biomedizinische Bildgebungseinrichtung** (NIF, *National Biomedical Imaging Facility*) plant, unterschiedliche diagnostische bildgebende Verfahren wie Magnetresonanztomographie (MRI, *Magnetic Resonance Imaging*), Positronen-Emissions-Tomographie (PET), Magnetenzephalographie (MEG), Elektroenzephalographie (EEG), hybride Bildgebungsverfahren (hybride MR-PET) und multimodale, multidimensionale Bildgebungsverfahren (MR-PET-EEG) vorzuhalten. Im Konzept ist außerdem die Entwicklung und der Bau des ersten 14 Tesla-Scanners für Untersuchungen im Menschen vorgesehen.

Eine weitere bildgebende Forschungsinfrastruktur, das **National Imaging Science Center** (NISC), wird mikroskopische Technologien und makroskopische Bildgebungsmodalitäten mit anderen medizinischen Messtechniken unter einem Dach zusammenführen. Dadurch können diese komplementären Forschungsfelder verknüpft werden und darüber neue Entwicklungen im Bereich der Bildgebung ermöglichen.

A.V WISSENSCHAFTSGELEITETE BEWERTUNG DURCH DEN WISSENSCHAFTSRAT

Die vom Wissenschaftsrat verantwortete wissenschaftsgeleitete Bewertung der einzelnen Konzepte erfolgt in zwei Phasen: Begutachtung und Bewertung. Inhaltlich orientieren sich beide Phasen an vier Dimensionen, die in der Pilotphase entwickelt wurden |¹²:

| ¹² Wissenschaftsrat: Bericht zur wissenschaftsgeleiteten Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben für die Nationale Roadmap (Pilotphase), S. 86. <http://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/2841-13.pdf>, zuletzt abgerufen am 16.02.2017.

1 – Die Dimension **Wissenschaftliches Potenzial** erfasst die Bedeutung des Vorhabens für die Erschließung neuer oder die Entwicklung bestehender Forschungsfelder. Bei der Bewertung des wissenschaftlichen Bedarfs werden die Vorhaben sowohl für sich als auch in Relation zu konkurrierenden und komplementären Forschungsinfrastrukturen betrachtet.

2 – In der Dimension **Nutzung** werden die Größe und Herkunft der Nutzergruppen sowie die Regelung des Zugangs zur geplanten Forschungsinfrastruktur geprüft. Zudem werden das Datenkonzept und Maßnahmen zur Qualitätssicherung der Nutzung sowie Standards guter wissenschaftlicher Praxis im Umgang mit Forschungsdaten und Publikationen beurteilt.

3 – Die Dimension **Umsetzbarkeit** berücksichtigt technische sowie personelle und institutionelle Voraussetzungen der Trägereinrichtung (einschließlich des Governance-Konzeptes) und damit verbundene Risiken. Dabei spielt auch der Realisierungsstand eine Rolle.

4 – In der Dimension **Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland** wird die Relevanz des Vorhabens für die Rolle und das Interesse Deutschlands sowie die Auswirkungen auf die Sichtbarkeit und Attraktivität der deutschen Wissenschaft bewertet.

Für jedes Konzept werden drei auf die fachlichen Spezifika des Vorhabens ausgerichtete Gutachterinnen und Gutachter – größtenteils aus dem Ausland – gewonnen. In der ersten Phase erstellen diese ausgewiesenen Gutachterinnen und Gutachter zunächst unabhängig voneinander schriftliche Gutachten der Forschungsinfrastrukturvorhaben. Im weiteren Prozess erhalten die für die Konzepterstellung verantwortlichen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Gelegenheit, offene Fragen zu ihrem Vorhaben zu beantworten und ihr Konzept mit den Gutachterinnen und Gutachtern sowie dem Ausschuss zu diskutieren. Durch diesen interaktiven Prozess vertieft sich das Verständnis des Vorhabens auf Seiten der Gutachterinnen und Gutachter sowie der Mitglieder des Ausschusses, die an diesen Gesprächen beteiligt waren. Ergebnis dieser ersten Phase der wissenschaftsgeleiteten Bewertung sind gemeinsame Gutachten (*joint reviews*), welche die jeweiligen Gutachterinnen und Gutachter eines Konzeptes mit Unterstützung der zuständigen Berichterstatterin bzw. des zuständigen Berichterstatters auf Basis der schriftlichen Einzelgutachten und der Diskussionen mit den Konzeptverantwortlichen erarbeiten. Auch hier ist die interaktive Verständigung vor Ort entscheidend, um zu einer gemeinsamen Einschätzung zu kommen.

Ziel der zweiten Phase ist die vergleichende Bewertung aller Konzepte. Hierzu erstellt der Ausschuss auf Basis der *joint reviews* die Einzelbewertungen, die auch Empfehlungen zur Weiterentwicklung der Konzepte enthalten können. Diese Einzelbewertungen der jeweiligen Konzepte sind im Anhang D veröffentlicht.

Die Einzelbewertungen bilden die Grundlage für die vergleichende Bewertung (vgl. B.I). Der Ausschuss bewertet die Vorhaben vergleichend über alle Wissenschaftsgebiete hinweg und für jede Dimension separat. Die vergleichende Bewertung der Konzepte erfolgt in einem diskursiven Verfahren, welches es ermöglicht, Stärken, aber auch Schwächen der einzelnen Konzepte innerhalb einer Dimension deutlich herauszuarbeiten. Hierbei können Unterschiede in den Bewertungsstandards, die bei einem Vergleich der Einzelbewertungen über die verschiedenen Wissenschaftsgebiete hinweg deutlich werden, im Sinne einer Kalibrierung berücksichtigt werden. Die dimensionsbezogene vergleichende Bewertung führt als Ergebnis einerseits zu einer tabellarischen Übersicht aller Bewertungen (vgl. Tabelle 1 in Kapitel B.I) und andererseits ist sie die Basis für die zusammenfassenden Bewertungen der jeweiligen Konzepte (vgl. B.II bis B.IV).

Die vergleichende Bewertung bildet zusammen mit den Einzelbewertungen (vgl. Anhang D) das Ergebnis des wissenschaftsgeleiteten Bewertungsverfahrens. Da alle Konzepte im Roadmap-Prozess einer wissenschaftsgeleiteten, wirtschaftlichen und gesellschaftspolitischen Bewertung unterzogen werden, reicht ein gutes Abschneiden in der wissenschaftsgeleiteten Bewertung allein nicht aus, um auf die Nationale Roadmap aufgenommen zu werden und damit eine grundsätzliche Finanzierungszusage zu erhalten.

B. Ergebnisse der vergleichenden wissenschaftsgeleiteten Bewertung

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der vergleichenden Bewertung der Forschungsinfrastrukturvorhaben tabellarisch dargestellt (vgl. B.I). Im Sinne eines kompakten Überblicks schließen sich Basisinformationen und die zusammenfassenden Bewertungen der elf Konzepte als ein weiteres Ergebnis der vergleichenden Bewertung an (vgl. B.II bis B.IV). Ausführliche Beschreibungen aller Konzepte und ihre Einzelbewertungen – gegliedert nach den vier Bewertungsdimensionen – finden sich im Anhang D.

B.I ERGEBNIS DER DIMENSIONSBEZOGENEN VERGLEICHENDEN BEWERTUNG

Grundsätzlich musste für die Vorhaben ein ausreichendes wissenschaftliches Potenzial erkennbar sein, um in die vergleichende Bewertung eintreten zu können. Diese Anforderung haben alle Vorhaben erfüllt.

Allerdings konnte ein Forschungsinfrastrukturvorhaben nicht in die weitere vergleichende wissenschaftsgeleitete Bewertung aufgenommen werden. Die Einzelbewertung des Konzeptes BioM-D hat deutlich werden lassen, dass das ambitionierte Konzept in der vorgeschlagenen Form einen sehr hohen Anteil zu leistender Forschungs- und Entwicklungsarbeiten umfasst und daher für die vergleichende Bewertung noch nicht die erforderliche Reife aufweist. Der Wissenschaftsrat empfiehlt daher, das Konzept weiter auszuarbeiten, um es zu einem späteren Zeitpunkt erneut vorlegen zu können. Die Einzelbewertung (vgl. Anhang D.II.4) enthält Hinweise zur Weiterentwicklung des Vorhabens, so dass das bisher erkennbare wissenschaftliche Potenzial im Kontext der dann ausgereiften Technologien klarer herausgearbeitet sein wird. Erst dann kann eine angemessene vergleichende Bewertung erfolgen, unter anderem auch, um die Umsetzbarkeit des Konzeptes bewerten zu können.

Für die vergleichende Bewertung der verbleibenden elf Vorhaben wurde auf ein Verfahren und eine Bewertungsskala zurückgegriffen, die im Pilotverfahren entwickelt worden sind. |¹³ Die Vorhaben wurden über paarweise Vergleiche in jeder Dimension in eine Reihung gebracht, um anschließend daraus Klassen bilden zu können. Jeder Klasse wurde eine Anzahl von Sternen als Ausweis ihrer Qualität zugeordnet. Um eine klare Differenzierung in der Bewertung zu ermöglichen, hat der Ausschuss eine fünfstufige ordinale Bewertungsskala (mit Sternen) zugrunde gelegt. Die Skala reicht von einem Stern (ausreichende Qualität) bis zu fünf Sternen (herausragende Qualität). Hervorzuheben ist, dass bei der Beurteilung der einzelnen Dimensionen nicht die ganze Bandbreite der Sterne (die Bewertungsskala also) abgedeckt sein musste. Das im Vergleich am besten bewertete Vorhaben musste somit nicht zwingend fünf Sterne erhalten, das schlechteste nicht notwendigerweise einen Stern.

Abstufungen in der Vergabe von Sternen bedeuten, dass sich die Vorhaben in einer Dimension in Hinblick auf bestimmte Bewertungsaspekte (z. B. dem Zugangsmanagement oder den technischen Voraussetzungen und Risiken) unterscheiden bzw. Verbesserungspotenzial erkennen lassen. Hinweise auf entsprechende Möglichkeiten der Verbesserung oder Weiterentwicklung des Konzeptes finden sich in den Einzelbewertungen der Vorhaben (vgl. Anhang D).

Aufgrund der (im Vergleich zur Pilotphase) höheren Zahl an zu beurteilenden Vorhaben wurden zunächst die Vorhaben eines Wissenschaftsgebietes in einer Dimension jeweils paarweise vergleichend bewertet, bevor die Reihungen über alle Wissenschaftsgebiete zusammengeführt wurden – jeweils unabhängig in jeder Dimension.

Die folgende Tabelle 1 fasst die Ergebnisse der vergleichenden Bewertung zusammen.

| ¹³ Wissenschaftsrat: Bericht zur wissenschaftsgeleiteten Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben für die Nationale Roadmap (Pilotphase), S. 86. <http://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/2841-13.pdf>, zuletzt abgerufen am 16.02.2017.

Tabelle 1: Ergebnis der dimensionsbezogenen vergleichenden Bewertung

Konzept	Wissenschaftliches Potenzial	Nutzung	Umsetzbarkeit	Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland
ACTRIS-D	***	***	*****	***
AtmoSat	*****	***	****	*****
DCOLL	***	*****	****	***
ER-C 2.0	***	***	****	*****
EST	***	*****	****	***
GerBI-FIS	***	***	*****	***
LPI	****	***	****	*****
NIF	*****	*****	****	*****
NISC	**	***	***	***
NPL	***	***	***	*****
Tandem-L	***	***	****	*****

Bei dieser tabellarischen Übersicht ist erstens zu berücksichtigen, 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. Die Größe des Unterschieds ist dabei nicht quantifizierbar. Zweitens erfolgte die Bewertung unabhängig für jede Dimension. Aus diesen Gründen ist eine Reihung anhand einer Summenbildung oder einer Durchschnittsberechnung über alle Dimensionen hinweg nicht zulässig. Für die politische Priorisierung ist daher eine differenzierte Betrachtung der vergleichenden und der Einzelbewertung erforderlich.

B.II ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNGEN IN DEN NATUR- UND TECHNIKWISSENSCHAFTEN

II.1 Ernst Ruska-Centrum 2.0 (ER-C 2.0)

II.1.a Basisinformationen

Ziel des Vorhabens **Ernst Ruska-Centrum 2.0** – Die Nationale Forschungsinfrastruktur für höchauflösende Elektronenmikroskopie (ER-C 2.0) ist der Aufbau einer nationalen Infrastruktur für die hochauflösende Charakterisierung von

Strukturen auf atomarer und molekularer Ebene mithilfe von Elektronenmikroskopen der nächsten Generation. Die geplante Einrichtung gründet sich auf dem bereits bestehenden Ernst Ruska-Centrum für Mikroskopie und Spektroskopie mit Elektronen (ER-C) am Forschungszentrum Jülich und hat dessen Ausbau zur nationalen Forschungsinfrastruktur zum Ziel. Das ER-C 2.0 soll ergänzend zur Weiterentwicklung des bereits bestehenden Fokus des ER-C auf harter Materie und Materialphysik zusätzlich neue Möglichkeiten für die Charakterisierung weicher und biologischer Materie bieten.

Das ER-C 2.0 wird vom Forschungszentrum Jülich, der RWTH Aachen |¹⁴ und der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf auf der Basis eines Kooperationsvertrags gemeinsam betrieben. Unterstützt werden die drei Trägereinrichtungen von vier assoziierten Partnern, wobei das ER-C 2.0 über die bereits bestehenden Partnerschaften hinaus grundsätzlich offen für die Aufnahme weiterer kooperierender Einrichtungen ist.

Die Realisierungsphase des ER-C 2.0 ist für den Zeitraum von 2018 bis 2022 geplant. Der Betrieb soll im Jahr 2022 beginnen und ist für mindestens 15 Jahre vorgesehen.

Die Investitionskosten betragen ca. 98 Mio. Euro. Die Betriebskosten werden sich auf ca. 8,8 Mio. Euro jährlich – zusätzlich zu den bereits anfallenden Betriebskosten des ER-C – belaufen. |¹⁵

| ¹⁴ Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.

| ¹⁵ Nach Angaben der Konzeptverantwortlichen wurde die Inflation berücksichtigt.

Wissenschaftliches Potenzial: ER-C 2.0 wird die Möglichkeiten der Analyse anorganischer und biologischer Materie durch die Bereitstellung und Verzahnung hochauflösender Elektronenmikroskope der nächsten Generation entscheidend erweitern. Die Forschungsinfrastruktur wird durch die Kombination ihrer Instrumente eine hohe wissenschaftliche Innovationskraft entfalten und einen wesentlichen Sprung in der Technologieentwicklung ermöglichen. Die zu erwartenden Beiträge sind sowohl für die Material- als auch für die Lebenswissenschaften von sehr großer Bedeutung.

Nutzung: ER-C 2.0 unterstützt eine sehr breite Nutzergemeinschaft, die sich interdisziplinär aus den Material- und Lebenswissenschaften rekrutiert. Durch ihre gemeinsame Forschungsarbeit vor Ort ist ein besonderer Mehrwert zu erwarten. Der Zugang ist offen und kostenfrei. Drei Viertel der Messzeit stehen für externe Nutzung zur Verfügung. ER-C 2.0 legt eine auf die unterschiedlichen Nutzergemeinschaften zugeschnittene Datenstrategie mit offenem Zugang vor.

Umsetzbarkeit: ER-C 2.0 kann auf bereits etablierte Strukturen und die hohe Expertise des bestehenden Ernst Ruska-Centrums in der Entwicklung und Nutzung elektronenmikroskopischer sowie tomographischer Methoden zurückgreifen. Lediglich bei der Entwicklung bestimmter Gerätekomponenten besteht ein technisches Risiko. Die Verschränkung unterschiedlicher Gemeinschaften in den Material- und Lebenswissenschaften verspricht einen hohen Mehrwert für die jeweiligen Wissenschaftsbereiche. Der Erfolg des Vorhabens hängt daher maßgeblich davon ab, zusätzliche wissenschaftliche Expertise aus dem Gebiet der Lebenswissenschaften zu gewinnen.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland: ER-C 2.0 wird die bereits jetzt erreichte Spitzenstellung der Trägereinrichtungen auf dem Gebiet der Elektronenmikroskopie entscheidend ausbauen und sich zu einer einzigartigen Infrastruktur entwickeln. Sie wird Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der ganzen Welt anziehen. Mit ER-C 2.0 wird Technologieentwicklung auf höchstem Niveau betrieben und die internationale Sichtbarkeit und Attraktivität Deutschlands als Wissenschafts- und Technologiestandort gesteigert.

II.2 European Solar Telescope (EST)

II.2.a Basisinformationen

Die Errichtung des **European Solar Telescope (EST)** zielt darauf ab, grundlegende Einsichten in die Erzeugung von Magnetfeldern in Sternen zu erlangen, die Mechanismen zu identifizieren, die sich hinter der Erzeugung großräumiger magnetischer Strukturen verbergen, und schließlich die Hintergründe ihrer Dissipation in das Weltall und die erdnahe Umgebung offenzulegen. Seine

Apertur von vier Metern soll das Teleskop dabei in die Lage versetzen, eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung zu erreichen, kombiniert mit hoher Empfindlichkeit zur Messung des Magnetfeldes der Sonnenatmosphäre. Die Forschungsfragen des Vorhabens beziehen sich auf die Suche nach der Ursache der solaren Variabilität sowie nach Auswirkungen der Sonnenaktivität auf das Leben auf der Erde und auf die moderne Zivilisation.

Die Entwicklung des EST wird von der *European Association for Solar Telescopes* (EAST) organisiert, einem Konsortium von Forschungseinrichtungen aus 15 europäischen Ländern |¹⁶. Bau und Betrieb des EST werden gemeinsam von Spanien und Deutschland durchgeführt. Federführende Trägereinrichtung auf deutscher Seite ist das Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik (KIS) in Freiburg. Ebenfalls verantwortlich sind das Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in Göttingen sowie das Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP). Der führende Partner auf spanischer Seite ist das *Instituto de Astrofísica de Canarias* auf Teneriffa.

Das Teleskop soll an einem der beiden internationalen Observatorienstandorten auf den Kanaren (*Observatorio del Roque del Muchachos* auf La Palma oder *Observatorio del Teide* auf Teneriffa) aufgebaut werden. Am Fuße der gewählten Insel soll außerdem das *Telescope Operation and Sciences Centre* (TOSC) eingerichtet werden. Darüber hinaus soll ein *Science Data Centre* (SDC) in Deutschland eingerichtet werden, das Zugang zu den generierten Daten und Online-Services anbieten wird.

Der Baubeginn des EST ist in etwa für den Zeitraum 2019/2020 vorgesehen; die Bauphase wird, einschließlich der Inbetriebnahme (*first light*), auf bis zu sechs Jahre geschätzt. Die Gesamtlebensdauer des EST wird auf etwa 30 Jahre veranschlagt, wobei eine Betriebsphase von 25 Jahren erwartet wird. Die Stilllegungsphase wird voraussichtlich im Jahr 2055 eingeleitet werden.

Der deutsche Anteil an den Investitionskosten wird sich den Angaben der Konzeptverantwortlichen zufolge auf 50 Mio. Euro belaufen, der Anteil an den jährlichen Betriebskosten wird auf 2 Mio. Euro geschätzt. |¹⁷

| ¹⁶ Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Kroatien, Niederlande, Norwegen, Polen, Österreich, Schweden, Schweiz, Slowakei, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn.

| ¹⁷ Nach Angaben der Konzeptverantwortlichen wurde die Inflation berücksichtigt. Der deutsche Anteil an den Gesamtkosten entspricht 25 %.

Wissenschaftliches Potenzial: Im Zentrum von EST steht ein Vier-Meter-Teleskop mit multikonjugierter adaptiver Optik. Diese Kombination ermöglicht eine bisher nicht erreichte hohe räumliche und zeitliche Auflösung der Sonnenbeobachtung. Die Infrastruktur wird damit wichtige Beiträge zur Erforschung fundamentaler Fragen der Sonnenphysik, Plasmaphysik und stellaren Astrophysik leisten. Als Teleskopweiterentwicklung ist EST eine logische und vielversprechende Fortführung von Vorgängerprojekten, wie z. B. GREGOR. Zusätzlich bietet es die Möglichkeit, zusammen mit dem zweiten Sonnenteleskop gleicher Größe auf Hawaii die Sonne über 24 Stunden zu beobachten.

Nutzung: Für EST ist eine sehr hohe Auslastung zu erwarten, weil es für die gesamte europäische Solarforschungsgemeinschaft das einzige und international konkurrenzfähige Großteleskop darstellt. Der Zugang zu EST und die Zuteilung der Beobachtungszeit sind in einem äußerst transparenten und den unterschiedlichen Nutzergruppen adäquaten Prozess organisiert. Eine weitere Stärke des Vorhabens liegt in der *open data*-Strategie, die hervorragende Nachnutzungsmöglichkeiten bietet.

Umsetzbarkeit: Mit EST wird ein insgesamt sehr ausgereiftes Vorhaben vorgelegt. Einzelne Komponenten, wie z. B. der Hitzeschild, weisen noch ein technisches Risiko auf. Aufgrund der ausgewiesenen wissenschaftlichen und technischen Erfahrungen der Konzeptverantwortlichen des Konsortiums aus vorherigen Sonnenteleskopprojekten ist jedoch mit einer erfolgreichen Umsetzung des Konzeptes zu rechnen.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland: EST ist essentiell, um die derzeitige internationale Spitzenposition der deutschen Sonnenphysik-Forschung langfristig zu sichern. Die federführende deutsche Beteiligung am Betrieb des EST sowie der damit verbundene privilegierte Zugang machen die Einrichtung sehr attraktiv. Die gewonnenen Forschungsergebnisse werden zu Einsichten in die Auswirkungen der Sonne auf das Erdsystem führen. Ferner können die beabsichtigten technologischen Entwicklungen Spin-Off-Effekte in vielen Bereichen der industriellen Anwendung erzeugen.

II.3 National Photonics Labs (NPL)

II.3.a Basisinformationen

Die **National Photonics Labs (NPL)** werden Licht und seine Anwendungen erforschen sowie missionskritische optische Komponenten und Instrumente für grundlagenphysikalische Experimente, im Speziellen für Großforschungseinrichtungen, entwickeln. Die wissenschaftliche Ausrichtung von NPL ist das Ergebnis eines initialen Strategieprozesses. Dabei wurde der Bedarf nach der Entwicklung optischer Komponenten und Instrumente von zahlreichen wis-

senschaftlichen Gemeinschaften (z. B. Astronomie, Laserphysik, extremes Licht, angewandte Quantenoptik) auf Teildisziplinen der Photonik (z. B. optische Schichten oder Design von Optiken) abgebildet.

Mit NPL soll erstmals eine umfangreiche Forschungsinfrastruktur unter der Ägide der Fraunhofer-Gesellschaft umgesetzt werden. Verantwortliche Institution ist das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF), Jena, mit seinen Partnern, dem Helmholtz-Institut Jena |¹⁸ und der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig und Berlin.

Die Realisierungsphase von NPL ist für den Zeitraum von 2018 bis 2023 geplant. Der Betrieb ist ab 2024 für zwölf Jahre vorgesehen.

Die Investitionskosten betragen ca. 125 Mio. Euro. Die Betriebskosten liegen zwischen 8 und 9,4 Mio. Euro jährlich. |¹⁹ Diese werden durch Eigenanteile der beteiligten Institutionen und über Nutzungsgebühren für die wissenschaftliche Gemeinschaft bzw. für die Industrie, entsprechend dem Fraunhofer-Modell, finanziert werden.

Das vorgesehene Betreibermodell erlaubt NPL finanzielle Rücklagen für Neuinvestitionen einzusetzen, welche die wandelnden Bedarfe aus Wissenschaft und technischen Möglichkeiten abbilden.

| ¹⁸ Das Helmholtz-Institut Jena ist eine Außenstelle des GSI Helmholtzzentrums für Schwerionenforschung, Darmstadt und Partnerinstitution des Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY), Hamburg.

| ¹⁹ Nach Angaben der Konzeptverantwortlichen wurde die Inflation berücksichtigt.

Wissenschaftliches Potenzial: NPL zielt darauf ab, exzellente Forschung im Bereich der Photonik zu unterstützen und zugleich durch die Entwicklung höchstpräziser optischer Komponenten verschiedene Wissenschaftsgebiete, wie Gravitationswellenastronomie und Astrooptik, zu wissenschaftlichen Durchbrüchen zu befähigen. Weltweit einzigartig ist die Ausrichtung auf große, schwere Freiformkomponenten. Die Zusammenarbeit mit den relevanten Wissenschaftsgemeinschaften ist bisher nicht ausreichend ausgestaltet, sodass unklar ist, ob das vorhandene technische Innovationspotenzial tatsächlich ausgeschöpft werden kann.

Nutzung: NPL spricht vier Wissenschaftsgebiete (Gravitationswellenastronomie, Astrooptik, extreme Lichtquellen, Hochintensitätslasersysteme) und damit eine potenziell breite Nutzergruppe an. Da sich NPL hinsichtlich der Einbindung zukünftiger Nutzergruppen noch in einer frühen Planungsphase befindet, kann die tatsächliche Nutzung allerdings noch nicht abgeschätzt werden. Insbesondere auf dem Gebiet der Astrooptik wird der Erfolg des Vorhabens wesentlich davon abhängen, inwieweit es NPL gelingt, an entsprechenden internationalen Instrumentierungsprojekten beteiligt zu werden.

Umsetzbarkeit: Der innovative Ansatz ist mit erheblichen technischen Umsetzungsrisiken verbunden, für die eine umfassende Risikoanalyse entwickelt wurde. Bezüglich Governance und Projektplanung bestehen noch beträchtliche Herausforderungen, so z. B. hinsichtlich der Zusammenarbeit der verschiedenen Institutionen wie auch der Interaktion mit den Nutzergruppen, die im Konzept nicht ausreichend adressiert sind. Die Einbettung in das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik sowie die ansässigen Hochschulen bietet eine gute Grundlage für den noch zu leistenden Personalaufbau von NPL.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland: Die vornehmlich am Standort Jena konzentrierte Forschung zur Photonik wird wesentlich zur internationalen Sichtbarkeit und Attraktivität von Deutschland als Wissenschaftsstandort beitragen. Zudem wird die hervorragende Vernetzung von Wissenschaft, Technologieentwicklung und Wirtschaft die Rolle Deutschlands in der Photonik stärken. Mit der Vielzahl an Projekten in diesem Forschungsfeld bietet NPL dem wissenschaftlichen Nachwuchs herausragende Entwicklungsmöglichkeiten.

III.1 Aerosole, Wolken und Spurengase Forschungsinfrastruktur – Deutscher Beitrag (ACTRIS-D)

III.1.a Basisinformationen

ACTRIS ist eine dezentrale europäische Forschungsinfrastruktur auf der ESFRI-Roadmap |²⁰ und besteht zum einen aus zentralen Einrichtungen auf EU-Ebene (Datenzentrum, Kalibrierzentren und Geschäftsstelle) und zum anderen aus nationalen Einrichtungen (Simulationskammern und Observatorien). Die Ziele von ACTRIS liegen in der Messung von chemischen und physikalischen Aerosoleigenschaften und Konzentrationen kurzlebiger Spurengase in Bodennähe sowie von Vertikalprofilen von Aerosolen, kurzlebigen Spurengasen und Wolken. Durch Studien in Versuchskammern soll die Forschungsinfrastruktur zudem ein besseres Prozessverständnis im Zusammenhang mit atmosphärischen Aerosolen, Wolken und reaktiven Gasen liefern. ACTRIS-D ist der deutsche Beitrag zu ACTRIS, in dem insbesondere ein substanzielles Upgrade der bestehenden deutschen ACTRIS-Komponenten inbegriffen ist.

ACTRIS-D soll im Rahmen einer Konsortialvereinbarung folgender Einrichtungen durchgeführt werden: Alfred-Wegener-Institut – Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) in Bremerhaven, Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (TROPOS) in Leipzig, Max-Planck-Institut für Chemie (MPIC) in Mainz, Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) in Hamburg, Deutscher Wetterdienst (DWD) in Offenbach, Umweltbundesamt (UBA) in Dessau-Roßlau, Forschungszentrum Jülich (FZJ), Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie die Universitäten Wuppertal, Frankfurt a. M., München, Bremen und Köln.

Die Laufzeit von ACTRIS-D wird mindestens 18 Jahre betragen (2019–2036) und ist in zwei Hauptphasen unterteilt: Die Entwicklungsphase (2019–2026) beinhaltet eine substanzielle Verbesserung bestehender deutscher ACTRIS-Komponenten. Bis 2022 werden die hierfür notwendigen Vorbereitungen und der Konstruktionsplan realisiert. Letzterer konzentriert sich vor allem auf die Dateninfrastruktur, beginnend bei der Datensammlung über Routineoperationen der nationalen Einrichtungen und Datenqualitätssicherung bis hin zur Generierung und Verwendung weiterentwickelter Datenprodukte. Ein Ziel des Konstruktionsplans ist es, der weltweiten Nutzergemeinschaft den langzeitlichen Zugriff auf qualitativ hochwertige Daten und Forschungsplattformen zu

| ²⁰ European Strategy Forum on Research Infrastructures (ed.): *Strategy report on research infrastructures. Roadmap 2016*, S.36. http://www.esfri.eu/sites/default/files/20160308_ROADMAP_single_page_LIGHT.pdf, zuletzt abgerufen am 03.08.2016.

ermöglichen. Die eigentliche Nutzungsphase der ACTRIS-D-Komponenten beginnt spätestens 2027 und läuft über mindestens zehn Jahre bis 2036, möglicherweise aber über einen Zeitraum von ca. 25 Jahren, wie von ACTRIS auf EU-Ebene vorgesehen. Es wird keine einheitliche Schließungsphase geben. Die Konzeptverantwortlichen weisen aber darauf hin, dass bei entsprechender Notwendigkeit einzelne Komponenten ausscheiden werden oder schrittweise ersetzt werden können. Solche singulären Schließungen oder Substitutionen werden jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die Gesamtleistung von ACTRIS-D nehmen.

Die notwendigen Investitionskosten betragen in der Entwicklungsphase ca. 86,5 Mio. Euro. Die in der Betriebsphase von 10 Jahren entstehenden Kosten von ca. 95,2 Mio. Euro werden vollständig von den Trägereinrichtungen übernommen. Gleiches gilt für die Schließungsphase, deren Kosten auf 1,6 % der während der Entwicklungsphase entstehenden Aufwendungen geschätzt werden.

Wissenschaftliches Potenzial: Die Erforschung von Spurengasen, Aerosolen und Wolken in der Troposphäre und unteren Stratosphäre wird durch ACTRIS-D mit Hilfe bodengestützter Messungen wesentlich erweitert. Das modulare und flexible Konzept der verteilten Infrastruktur, einschließlich der Kalibrierzentren und Simulationskammern, ist weltweit einmalig. Die langfristig gewonnenen Datenreihen ermöglichen Analysen, die für das Verständnis von Klimaprozessen von großer Bedeutung sind. Sie sind darüber hinaus von hohem Wert für die Erforschung der Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Mensch und Umwelt.

Nutzung: ACTRIS-D birgt ein umfangreiches Nutzungspotenzial für die große, interdisziplinär ausgerichtete Gemeinschaft im Bereich der Atmosphären- und Klimaforschung. Weiterhin ist auch eine hohe Nutzung der Daten und ihrer Analysen durch gesellschaftliche Einrichtungen und Akteure zu erwarten. ACTRIS-D verfügt als Teil des europäischen ACTRIS-Projektes über ein überzeugendes Datenkonzept mit einem freien Zugang zu den Messdaten.

Umsetzbarkeit: ACTRIS-D knüpft unmittelbar an bereits bestehende Strukturen auf nationaler Ebene an und ist darüber hinaus institutionell in die europäische ACTRIS-Forschungsinfrastruktur eingebunden. Damit verfügt ACTRIS-D über herausragende institutionelle und personelle Voraussetzungen. Für die technische Umsetzung sind kaum Risiken zu erwarten, da die eingesetzten Geräte bereits etablierte Technologien nutzen.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland: ACTRIS-D wird einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, die internationale Sichtbarkeit der deutschen Atmosphärenforschung weiter auszubauen. Die Attraktivität der beteiligten Einrichtungen für Forscherinnen und Forscher sowie den wissenschaftlichen Nachwuchs weltweit wird durch das Vorhaben erheblich gestärkt. Die Daten haben ein hohes Potenzial für weitere Anwendungsbereiche, z. B. in der Gesundheitsforschung und für Wetterdienste.

III.2 AtmoSat

III.2.a Basisinformationen

Die Forschungsinfrastruktur AtmoSat soll aus einem in dieser Form einzigartigen Satelliten-Beobachtungssystem und einer Dateninfrastruktur bestehen, die den weltweiten Zugriff auf und die Verwendung von Messdaten ermöglicht. AtmoSat erlaubt erstmals die detaillierte Erforschung des Einflusses der mittleren Atmosphäre (5–100 km) auf globale sowie regionale Klimata und Wetterphänomene. Die wissenschaftlichen Zielsetzungen von AtmoSat bedingen vorrangig tägliche, dreidimensionale Messung von Temperaturen und den Verteilungen von Spurengasen mit hoher vertikaler Auflösung. Die For-

schungsinfrastruktur soll damit insbesondere zu einem besseren Verständnis dekadischer Klimavariabilitäten und ihren regionalen Mustern beitragen.

AtmoSat wird vom Forschungszentrum Jülich (FZJ), dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und dem Helmholtz-Zentrum für Geowissenschaften (GFZ) in Potsdam aufgebaut und betrieben.

Die gesamte Laufzeit für AtmoSat wird von den Konzeptverantwortlichen mit 20 Jahren beziffert, beginnend 2018 und endend 2037. Dieser Zeitraum kann in drei, sich teils überlappende Phasen unterteilt werden. Die Realisierungsphase konzentriert sich hauptsächlich auf den Auf- und Ausbau des Fernbeobachtungssystems und der Dateninfrastruktur. Die Datenprozessoren, welche die Rohdaten in breitflächig nutzbare Datenprodukte transferieren, werden zwischen 2018 und 2022 eingerichtet. Die zehnjährige Betriebsphase beginnt 2023. Die nominale Beobachtungsphase der ersten fünf Jahre deckt sich mit dem weiteren Ausbau der wissenschaftlichen Datenbank, in dessen Zuge u. a. Datenprodukte optimiert werden. Die Schließungsphase von AtmoSat läuft über fünf Jahre (2032–2037) und beinhaltet insbesondere den Aufbau eines Datenarchivs. Letzteres wird die Verwendung der Daten über die Lebenszeit von AtmoSat hinaus ermöglichen.

Die Investitionskosten für die Beschaffung von Apparaten, Ausrüstung, Material und Personal während der Realisierungsphase werden sich insgesamt auf etwa 110 Mio. Euro belaufen. In der Nutzungs- sowie der Schließungsphase werden die Betriebskosten von 3,8 Mio. Euro vollständig von den hauptverantwortlichen Einrichtungen getragen.

Wissenschaftliches Potenzial: AtmoSat wird erstmalig hochwertige Messdaten der mittleren Atmosphäre in bisher nicht erreichter vertikaler Auflösung liefern, die bahnbrechende Erkenntnisse über atmosphärenchemische und –physikalische Prozesse ermöglichen. Die neu entwickelte Gerätekombination wird simultan vertikale Profile einer Vielzahl von Spurengasen bereitstellen. Diese generierten Datensätze sind für die Erforschung grundlegender atmosphärendynamischer Prozesse und des globalen Klimawandels von höchster Relevanz.

Nutzung: Das Interesse und der Bedarf an den von AtmoSat generierten Daten werden auf der Basis vorangegangener Missionen als sehr hoch eingeschätzt. Die vorrangig adressierte Nutzergruppe besteht aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus der internationalen Atmosphären- und Klimaforschung. Darüber hinaus werden Regierungen und internationale Organisationen von den Daten und ihren Analysen profitieren. AtmoSat verfügt über einen soliden Datenmanagementplan; die Datenprodukte stehen über ein Internetportal frei zur Verfügung.

Umsetzbarkeit: Die beteiligten Institutionen bieten sehr gute technische und personelle Voraussetzungen für die erfolgreiche Realisierung von AtmoSat. Das Umsetzungsrisiko ist insgesamt gering, da die zum Einsatz kommenden Instrumente bereits vorhanden bzw. die notwendigen Entwicklungen nahezu abgeschlossen sind. Die noch ausstehende Testphase für den Einsatz der Instrumente auf einem Satelliten kann zeitnah beginnen.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland: Aufgrund seiner einzigartigen Datensätze wird AtmoSat weltweite Sichtbarkeit erzeugen und die Rolle Deutschlands in den Klima- und Atmosphärenwissenschaften maßgeblich ausbauen. Dies gilt gleichermaßen für die Erdbeobachtung, Datenassimilation und Modellierung. Es wird insgesamt eine hohe Anziehungskraft erwartet, sowohl für etablierte Forscherinnen und Forscher als auch für den wissenschaftlichen Nachwuchs weltweit. Mit seinem Fokus auf drängende Fragen der Klimaforschung wird AtmoSat die zukunftsorientierte Umweltstrategie Deutschlands auch auf politischer Ebene wesentlich stärken.

III.3 Deutsche Naturwissenschaftliche Sammlungen als integrierte Forschungsinfrastruktur (DCOLL)

III.3.a Basisinformationen

Mit dem Vorhaben **Deutsche Naturwissenschaftliche Sammlungen als integrierte Forschungsinfrastruktur** (DCOLL) soll das Potenzial deutscher öffentlicher Forschungsmuseen, Universitätssammlungen und anderer sammlungs-basierter Forschungseinrichtungen erschlossen werden. Hierfür ist beabsichtigt, ein Konsortium aus den sieben größten naturwissenschaftlichen

Sammlungseinrichtungen der Leibniz-Gemeinschaft und einzelner Bundesländer zu bilden. Die Bestände der DCOLL-Mitglieder umfassen über 120 Mio. Proben und Belege. Laut DCOLL entspricht das ca. 75 % der gesamten nationalen naturwissenschaftlichen Sammlungsobjekte. Ziel dieser gemeinsamen Infrastruktur ist es, den Erhalt und Ausbau der Sammlungen effizienter zu koordinieren und vor allem die digitale Erschließung der Bestände großmaßstäblich umzusetzen. Damit soll ein beschleunigter und umfassender Zugriff und eine verbesserte Nutzung der Sammlungen für verschiedenste Nutzergruppen, Anwendungsmöglichkeiten und Fachrichtungen ermöglicht werden.

DCOLL ist als dezentrale, national integrierte und international vernetzte Forschungsinfrastruktur in neun fachlich-methodisch orientierten, zeitlich weitgehend parallel verlaufenden Modulen/Projektsträngen geplant. Die federführende Trägereinrichtung ist das Museum für Naturkunde – Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung (MfN), Berlin, mit sechs weiteren Mitgliedern des Konsortiums: Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung (SGN), Frankfurt/Main; Zoologisches Forschungsmuseum Alexander Koenig - Leibniz-Institut für Biodiversität der Tiere (ZFMK), Bonn; Leibniz-Institut DSMZ - Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH, Braunschweig; Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin-Dahlem (BGBM), Freie Universität Berlin; Staatliche Naturwissenschaftliche Sammlungen Bayerns (SNSB), München; Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart (SMNS), Stuttgart.

Die Aufbauphase der gesamten DCOLL-Infrastruktur wird für einen Zeitraum von acht Jahren projektiert, gefolgt von einer prinzipiell unbegrenzten Nutzungsphase ab 2027. |²¹ Die Investitionskosten ohne Eigenleistungen werden auf 370 Mio. Euro beziffert. Die geschätzten jährlichen Betriebskosten, die vollständig von den jeweiligen Trägereinrichtungen übernommen werden, liegen zwischen 0,9 Mio. Euro und 16,6 Mio. Euro. |²²

|²¹ Für einen Teil der Infrastruktur, das Forschungsschiff, ist die Nutzungsphase bereits ab 2025 vorgesehen.

|²² Der Median (2025-2031) liegt bei 12,3 Mio. Euro pro Jahr.

Wissenschaftliches Potenzial: DCOLL wird die sammlungsbasierte Forschung durch die großmaßstäbliche Digitalisierung naturkundlicher Sammlungsobjekte wesentlich erweitern. Die Kernaufgabe der Forschungsinfrastruktur liegt in der Digitalisierung, Erschließung und Bereitstellung komplexer und umfangreicher Datensätze sowie der Etablierung internationaler Standards. Als eine Service- und Informationsinfrastruktur hat DCOLL große Bedeutung und Innovationskraft vor allem für das Feld der Biodiversitätsforschung. Zusätzliche Sammlungsaktivitäten, einschließlich der dafür erforderlichen Infrastrukturen, werden als Grundaufgabe der beteiligten Institutionen gesehen.

Nutzung: DCOLL weist ein herausragendes Nutzungspotenzial auf. Es adressiert gleichermaßen eine große nationale und internationale Wissenschaftsgemeinschaft unterschiedlichster Disziplinen sowie Laien, Bildungseinrichtungen, Politik und Behörden. Die Daten werden der breiten Nutzergruppe über eine Informationsplattform kostenlos zur Verfügung gestellt. DCOLL legt eine ausgezeichnete Strategie zur Generierung, langfristigen Speicherung und Bereitstellung von Daten vor.

Umsetzbarkeit: Das Vorhaben weist ein sehr geringes technisches Risiko auf, da es auf bestehende Technologien zurückgreift. Es ist institutionell sehr gut eingebunden. Es besteht allerdings die Herausforderung, ausreichend fachlich versiertes Personal mit Kompetenzen in den Bereichen Digitalisierung und Genomik rekrutieren zu können, welches in großer Zahl für die erfolgreiche Realisierung von DCOLL notwendig ist.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland: Die geplante digitale Service- und Informationsinfrastruktur und die Vernetzung der beteiligten Naturkundemuseen und Biodiversitätseinrichtungen in Deutschland wird eine erhebliche wissenschaftliche und gesellschaftliche Breitenwirkung entfalten und die internationale Sichtbarkeit der beteiligten deutschen Wissenschaftsinstitutionen deutlich erhöhen. Dies sollte sich auch sehr positiv auf internationale Kooperationen auswirken und Maßstäbe setzen für sammlungsbasierte Forschung in Europa und weltweit. Allerdings gilt dies nicht für die geplanten Sammlungsaktivitäten und die dafür im Konzept vorgesehenen Infrastrukturen.

III.4.a Basisinformationen

Die Forschungsinfrastruktur **Tandem-L** beinhaltet zwei *L-Band* |²³ SAR-Satelliten, ein hiermit verbundenes Boden- sowie ein Nutzersegment. Tandem-L soll die gesamte Erdlandmasse bis zu zweimal wöchentlich, in einzigartiger Qualität und Auflösung, interferometrisch abbilden. Die zentralen Ziele bestehen in der hochgenauen Vermessung der globalen Waldbiomasse und -struktur, der Überwachung von Deformationen der Erdoberfläche im Millimeterbereich sowie der Erfassung von Veränderungen oberflächennaher Bodenfeuchte, von Bewegungs- und Schmelzprozessen der polaren Gletscher und der Dynamik mariner Oberflächen einschließlich Meereis.

Tandem-L wird im Rahmen eines Kooperationsabkommens von folgenden federführenden Helmholtz-Einrichtungen betrieben: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen, Alfred Wegener Institut (AWI) in Bremerhaven, Forschungszentrum Jülich (FZJ), Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung (GEOMAR) in Kiel, Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ) in Potsdam, Helmholtz-Zentrum München (Zentrum für Gesundheit und Umwelt, HMGU) und Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) in Leipzig.

Die Laufzeit von Tandem-L ist auf 16–18 Jahre ausgelegt und unterteilt sich in eine Realisierungs- und eine Betriebsphase. Die Realisierungsphase (2017–2025) beinhaltet die Installation der SAR-Satelliten und des Boden- sowie des Nutzersegments. Diese Phase überlappt sich während des sogenannten Basisbetriebs E2 |²⁴, der von 2023 bis 2025 laufen wird, mit dem ersten Abschnitt der auf 10–12 Jahre angelegten Betriebsphase E2-E3. E2 beginnt 6 Monate nach dem Start der beiden Satelliten (Ende des Jahres 2022), die in der Phase E1 |²⁵ in Betrieb genommen werden. Im Rahmen von E2 werden kalibrierte SAR-Bildprodukte geliefert und der Nutzergemeinde zur Verfügung gestellt. Parallel hierzu wird die Forschungsinfrastruktur fortentwickelt und für die erweiterte Nutzungsphase E3 vorbereitet, welche 2026 beginnen und die vollständige Produktion höherwertiger Informationsprodukte erlauben wird.

Die Investitionskosten während der Realisierungsphase werden sich auf ca. 665 Mio. Euro akkumulieren. Die im Rahmen des Basisbetriebs anfallenden Kosten werden sich auf 13,5 Mio. Euro pro Jahr belaufen. Gemäß des Tandem-L-Geschäftsplans für einen erweiterten Betrieb können ab der Phase E3 die jährlichen Betriebskosten auf 30,8 Mio. Euro steigen. In der Schließungsphase

|²³ Das L-Band deckt im Mikrowellenfunk den Frequenzbereich von 1-2 GHz ab.

|²⁴ Erste Nutzungsphase.

|²⁵ Inbetriebnahmephase.

werden für den kontrollierten Absturz der beiden Tandem-L Satelliten aus dem Orbit weitere 0,5 Mio. Euro an Kosten hinzukommen.

III.4.b Zusammenfassende Bewertung

Wissenschaftliches Potenzial: Tandem-L liefert höchstauflösende Aufnahmen der Erdoberfläche bislang nicht erreichter Qualität in regelmäßigen kurzzeitigen Abständen. Die Vielzahl an Messungen in der Geo-, Bio-, Kryo- und Hydrosphäre erweitert bisherige Untersuchungen des Erdsystems und des globalen Klimawandels. Das Projekt ist besonders innovativ für die Vermessung der Landbiomasse sowie der Land- und Eisoberfläche und trägt Informationen zu anderen Bereichen der Erdwissenschaften bei, wie z. B. zur Untersuchung von Bodenfeuchte, Permafrost und Meerwasserzirkulation.

Nutzung: Tandem-L richtet sich an die Gesamtheit der interdisziplinären Gemeinschaft der Erd- und Biowissenschaften. Es wird eine vollständige Auslastung der eingesetzten Instrumente und eine umfassende Nutzung der Daten erwartet. Das Konzept weist eine überzeugende Datenstrategie sowohl hinsichtlich der Speicherung als auch der Nutzung auf. Die generierten Daten stehen für wissenschaftliche Zwecke über ein Online-Portal frei zur Verfügung.

Umsetzbarkeit: Die beteiligten Einrichtungen können auf langjährige Erfahrungen mit vergleichbar anspruchsvollen Raumfahrtmissionen zurückgreifen. Für die mit einer Satellitenmission verbundenen Risiken wurde eine umsichtige Risikoanalyse vorgenommen und eine wesentliche Testphase erfolgreich abgeschlossen. Daher ist zu erwarten, dass die Herausforderungen, die mit dem Einsatz und der Entwicklung neuartiger Technologien sowie dem Prozessieren hohen Datenaufkommens verbunden sind, bewältigt werden.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland: Tandem-L wird die Attraktivität des Wissenschaftsstandorts Deutschland substanziell stärken und als technologisch innovative Erdbeobachtungsplattform international zu einem zentralen Anlaufpunkt für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler einer Reihe von Disziplinen werden. Die geowissenschaftlichen Daten besitzen hohe gesellschaftliche Relevanz bei der Analyse von Umweltwandel und -bedrohungen, z. B. Veränderungen der Biomasse, Vulkanausbrüchen oder Erdbeben. Sie bieten darüber hinaus viele Anwendungsmöglichkeiten für wichtige gesellschaftliche Fragen, wie Stadtplanung und Landnutzung.

IV.1 German BioImaging Forschungsinfrastruktur (GerBI-FIS)

IV.1.a Basisinformationen

Die **German BioImaging Forschungsinfrastruktur** (GerBI-FIS) soll als eine Forschungsinfrastruktur für biologische Bildgebung etabliert werden. Sie gründet auf das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Netzwerk für Mikroskopie und Bildanalyse *German BioImaging*. Die Grundidee der Forschungsinfrastruktur besteht darin, international höchst ausgewiesene Geräte- und Methodenentwickler bildgebender Technologien mit Anwendern aus den Biowissenschaften und der Medizin zusammenzubringen und letzteren Zugang zu einzigartiger apparativer Ausstattung und technologischer Expertise zu geben.

Die GerBI-FIS wird aus fünf sog. Imaging-Knoten bestehen, einem virtuellen Software-Knoten und einer koordinierenden Einrichtung, dem *hub*. Die Imaging-Knoten sollen fortschrittlichste, experimentelle Mikroskope zur Verfügung stellen, deutlich bevor sie kommerziell verfügbar werden. Dadurch sollen Forschungsprojekte ermöglicht werden, die sonst gar nicht oder nur sehr verzögert möglich wären. Der virtuelle Knoten wird Softwaretools für das Management, die Verarbeitung und die Auswertung der Bilddaten entwickeln; der *hub* wird den Nutzerzugang und die Aktivitäten im virtuellen Knoten koordinieren, die Speicherung der Daten sichern, zuständig sein für das Training der Nutzer sowie der Mitarbeiter der Forschungsinfrastruktur, über ein geplantes Trainings- und Transferzentrum (TTC), und beabsichtigt den Wissens- und Technologietransfer zu unterstützen.

Die federführende Trägereinrichtung, die als *hub* agiert, wird die Universität Konstanz sein. Die Imaging-Knoten werden jeweils durch einen lokalen Verbund mehrerer Institutionen gebildet. An jedem Standort arbeiten Forscherinnen und Forscher und Entwicklerinnen und Entwickler von bildgebenden Technologien mit lokalen *Advanced Light Microscopy Core Facilities* (ALM-CFs) und deren Nutzerinnen und Nutzern zusammen.

_ Berlin/Magdeburg (Max Delbrück Centrum für Molekulare Medizin, Berlin-Buch; Charité Universitätsmedizin Berlin; Deutsches Rheuma-Forschungszentrum, Berlin; Technische Universität zu Berlin; Leibniz-Institut für Molekulare Pharmakologie, Berlin; Zuse-Institut, Berlin; Leibniz-Institut für Neurologie, Magdeburg): *intravital / in vivo microscopy, functional imaging*

- _ Bonn (Deutsches Zentrum für Neurodegenerative Erkrankungen, Bonn; Forschungszentrum caesar, Bonn; Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn): *single molecule microscopy, brain imaging & behaviour*
- _ Dresden (Max-Planck Institut für Molekulare Zellbiologie und Genetik, Dresden; Technische Universität Dresden/BIOTEC |²⁶): *light sheet microscopy, imaging biophysics*
- _ Freiburg (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg; Max-Planck Institut für Immunbiologie und Epigenetik, Freiburg): *photonic force microscopy, fast label-free imaging*
- _ Heidelberg (EMBL/ALMF |²⁷ Heidelberg; Max-Planck Institut für Medizinische Forschung, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg): *superresolution microscopy, high-throughput advanced light microscopy*

Darüber hinaus werden die Knoten Berlin/Magdeburg und Heidelberg *across-scales correlative microscopy* und die Knoten Dresden und Freiburg *intelligent automated microscopy* in Zusammenarbeit entwickeln und anbieten.

Im virtuellen Knoten entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an den verschiedenen Standorten der GerBI-FIS gemeinsam neue Algorithmen und Softwaretools, die der gesamten wissenschaftlichen Gemeinschaft zur Verfügung gestellt werden sollen.

In der Realisierungsphase sollen die strukturellen, apparativen und personellen Voraussetzungen für die GerBI-FIS geschaffen werden. Sie ist auf fünf Jahre ausgelegt und gliedert sich in eine Einrichtungs- und eine Pilotphase. Die Pilotphase ist dadurch gekennzeichnet, dass hier bereits in begrenztem Umfang Nutzung stattfinden soll. Der virtuelle Knoten wird dann bereits Algorithmen zur Bilddatenanalyse entwickeln.

Die Investitionskosten werden sich voraussichtlich auf 96,9 Mio. Euro belaufen. |²⁸ Die Betriebsphase soll 2024 beginnen und ist auf unbegrenzte Zeit angelegt. Die Betriebskosten, die vollständig von den verantwortlichen Institutionen übernommen werden, belaufen sich voraussichtlich auf 12,8 Mio. Euro pro Jahr. |²⁹

| ²⁶ Biotechnology Center TU Dresden.

| ²⁷ European Molecular Biology Laboratory / Advanced Light Microscopy Facility.

| ²⁸ Ohne Eigenanteil. Nach Angaben der Konzeptverantwortlichen wurde die Inflation berücksichtigt.

| ²⁹ Nach Angaben der Konzeptverantwortlichen wurde die Inflation berücksichtigt.

Wissenschaftliches Potenzial: GerBI-FIS treibt die Entwicklung neuer Mikroskopie- und Bildgebungsverfahren voran und ermöglicht deren breiten Einsatz, bevor sie kommerziell verfügbar sind. Grundlage ist die enge Zusammenarbeit von Geräte- und Methodenentwicklern mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus den Lebenswissenschaften. Diese Zusammenarbeit ist von großer Bedeutung, um den wissenschaftlichen Fortschritt in den Biowissenschaften und der Medizin sowie technologische Innovationen zu befördern.

Nutzung: Für die verteilte Forschungsinfrastruktur wird eine große Nutzergruppe aus unterschiedlichen Feldern der Biowissenschaften und Medizin sowie der Industrie erwartet. Im Service und Zugangsmanagement ist GerBI-FIS sehr gut aufgestellt. Eine Stärke des überzeugenden Datenkonzeptes ist die Bereitstellung eines nutzerfreundlichen Portals zur Analyse der generierten Bilddaten. Entscheidend für den Erfolg der Forschungsinfrastruktur wird sein, die Nutzergebühren so niedrig wie möglich zu halten und die wissenschaftlichen Nutzergruppen in der Einwerbung entsprechender Mittel zu unterstützen.

Umsetzbarkeit: Die technologische Umsetzung ist mit einem sehr geringen Risiko verbunden. Alle beteiligten Institute verfügen über die notwendigen Instrumente, langjährige Erfahrung in der Entwicklung und Anwendung neuer Mikroskopie- und Bildgebungsverfahren sowie qualifiziertes Fachpersonal für die Implementierung der geplanten Infrastruktur. Der ausgewiesene Governance-Plan wird den Anforderungen einer dezentralen Forschungsinfrastruktur überaus gerecht.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland: GerBI-FIS wird die Sichtbarkeit und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands im Bio-Imaging erhöhen und die Beteiligung an der europäischen Forschungsinfrastruktur Euro-BioImaging ermöglichen. Mit dem Zugang zu neuesten Bildgebungsmethoden steigert GerBI-FIS die Attraktivität des Forschungsstandortes Deutschland, unter anderem für den wissenschaftlichen Nachwuchs. Zudem wird GerBI-FIS industrielle Entwicklungen im Bio-Imaging durch die angestrebte rasche Vermarktung neuer Technologien vorantreiben.

IV.2 Leibniz-Zentrum für Photonik in der Infektionsforschung (LPI)

IV.2.a Basisinformationen

Das **Leibniz-Zentrum für Photonik in der Infektionsforschung (LPI)** soll als ein nutzerorientiertes offenes photonisches Zentrum etabliert werden. Ziel ist es, fundamental neue Lösungen für Diagnostik, Monitoring und die experimentelle Therapie von Infektionen zu erforschen, zu entwickeln und in den Routineeinsatz zu überführen.

Die Forschungsinfrastruktur zielt darauf ab, Infektionserkrankungen mithilfe innovativer photonikbasierter Diagnostiken und Therapieverfahren zu bewältigen. Entlang einer kompletten Innovationspipeline – ausgehend vom Konzept bis zum validierten Verfahren – sollen neuartige Diagnosetechnologien und Therapieansätze realisiert werden. Das LPI beabsichtigt, ein breites Spektrum photonischer Technologien einzusetzen, darunter neue, weltweit einzigartige lichtbasierte Methoden, welche mit molekularbiologischen Verfahren sowie *enabling*-Technologien (z. B. Mikrofluidik) kombiniert werden, um diese später in der Klinik zu nutzen. Die erforschten und in Form von Prototypen realisierten Diagnose- und Therapieansätze sollen mittels *flying study nurses* im Verlauf des Wertschöpfungsprozesses direkt in einer multizentrischen klinischen Validierung in etablierten Studienplattformen der Konzeptverantwortlichen angewendet werden. Nach Darstellung der Konzeptverantwortlichen bietet LPI damit einen beispiellosen translationalen Ansatz, um das Potenzial der photonischen Technologien für klinische Routineprozesse zeitnah und effizient zu erschließen. Hierfür werden drei Forschungsplattformen eingerichtet: eine Spektroskopie- und Bildgebungsplattform sowie eine diagnostische und eine therapeutische *service-pipeline*.

LPI baut auf den Kompetenzen des Universitätsklinikums und der Friedrich-Schiller-Universität sowie des Leibniz-Institutes für Photonische Technologien Jena e.V. (IPHT) und des Leibniz-Institutes für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie – Hans-Knöll-Institut (HKI) –, alle mit Standort in Jena, auf.

Die Zeitplanung für die Einrichtung und Implementation des LPI sieht drei Phasen vor: eine Vorbereitungsphase (2016–2018), eine Realisierungsphase (2019–2023) und eine Betriebsphase zur Nutzung und Verstetigung (2024–2033). Die Investitionskosten des LPI belaufen sich auf 154 Mio. Euro |³⁰. In der Vorbereitungsphase stellen die beteiligten Einrichtungen hauptsächlich Personal- und Sachmittel bereit. Für die Realisierungsphase ist die Finanzierung im Wesentlichen sowohl durch Mittel des LPI selbst als auch durch flankierende Drittmittelprojekte geplant. Die jährlichen Kosten für die Betriebsphase variieren zwischen 9,3 Mio. Euro und 11,6 Mio. Euro.

| ³⁰ Ohne Eigenanteil. Nach Angaben der Konzeptverantwortlichen wurde die Inflation berücksichtigt.

Wissenschaftliches Potenzial: LPI besitzt durch die Verbindung photonischer Methoden mit Infektionsforschung eine hohe strategische Bedeutung für die präzise und zugleich schnelle Diagnose sowie zielgerichtete Therapie von Infektionskrankheiten. Die Schwerpunktsetzung auf photonische Techniken in der klinischen Anwendung ist einzigartig. Darüber hinaus ist die geplante Weiterentwicklung dieser Technologie insgesamt sehr überzeugend und deren Übertragung auf die Diagnose von weiteren Erkrankungen wahrscheinlich.

Nutzung: LPI bedient mit seinem interdisziplinären Ansatz einen sehr breiten Nutzerkreis in der Wissenschaft. Neben der Umsetzung interner Initiativen werden *technology scouts* die externen Entwicklungen im Bereich der Photonik sowie Infektionsforschung beobachten und damit potenziell interessante Ansätze sowie neue Nutzer akquirieren. Darüber hinaus besteht ein sehr großes Nutzungsinteresse aus der Industrie. Der Zugang ist offen und wird über ein *peer review*-Verfahren geregelt.

Umsetzbarkeit: Der erfolgreiche Einsatz photonischer Methoden in der Infektionsforschung ist grundsätzlich nachgewiesen. Der Implementierungsplan und das Risikomanagementkonzept sind sehr überzeugend. Die entscheidenden personellen und institutionellen Voraussetzungen zur erfolgreichen Umsetzung sind bei den beteiligten Trägereinrichtungen gegeben.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland: LPI führt bestens ausgewiesene Institutionen im Forschungsbereich Photonik und Infektiologie in Jena zusammen. Damit wird die Sichtbarkeit und Attraktivität des Forschungsstandortes national und international erheblich gesteigert, insbesondere auch für den wissenschaftlichen Nachwuchs. Mit der Übertragung in die klinische Anwendung birgt LPI ein hohes Transferpotenzial. Dies verspricht, in wirtschaftlicher Hinsicht eine starke Zugkraft für den Standort Deutschland zu entfalten.

IV.3 Nationale Biomedizinische Bildgebungseinrichtung (NIF)

IV.3.a Basisinformationen

Die **Nationale Biomedizinische Bildgebungseinrichtung** (NIF, *National Biomedical Imaging Facility*) versteht sich als eine offen zugängliche Einrichtung für die wissenschaftliche biomedizinische Bildgebung, die am Forschungszentrum Jülich (FZJ) und am Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) in Heidelberg realisiert werden soll. Die beiden Helmholtz Gründungspartner werden die NIF-Infrastruktur aufbauen, um sowohl Grundlagenforschung als auch technische Entwicklungen und klinische Anwendungen zu fördern. Der Aufbau von NIF wird die Anschaffung mehrerer hochmoderner Geräte umfassen. Laut den Konzeptverantwortlichen sind die Kosten für Personal, Wartung und notwen-

dige Modernisierungen zu hoch, um von einzelnen Einrichtungen, Universitäten oder Forschungszentren getragen zu werden. Deshalb erscheint ein national abgestimmtes Vorgehen notwendig. NIF wird einen Zugang zu wichtigen diagnostischen Bildgebungstechnologien wie der Magnetresonanztomographie, PET, MEG, EEG, hybriden Bildgebungsverfahren (hybride MR-PET) und MR-PET-EEG auf dem neuesten Stand der Technik und darüber hinaus ermöglichen. Durch die Weiterentwicklung der Technologie und Methodik für die Ganzkörper-MRI soll NIF die in-vivo-Untersuchung des gesamten menschlichen Körpers bei extrem hohen Feldstärken ermöglichen. 14 T sind zurzeit die Ziel-feldstärke, das langfristige Ziel sind jedoch 20 T.

Die Trägereinrichtungen FZJ und DKFZ sind für den Aufbau der Infrastruktur und die Dateninfrastruktur sowie für die Realisierungs- und Betriebsphase verantwortlich. Die Betriebsphase wird sich über einen Zeitraum von zehn Jahren von 2018 bis 2027 erstrecken, wobei die Realisierungsphase parallel läuft und nach etwa fünf Jahren abgeschlossen sein soll. Ab 2018 wird NIF Zugang zu bereits vorhandenen Großgeräten wie dem 9,4 T Hybridscanner am FZJ und dem 7 T MRI-Scanner am DKFZ gewähren.

Die Investitionskosten betragen insgesamt rund 243 Mio. Euro. Davon entfallen 130,7 Mio. Euro auf das DKFZ und 112,4 Mio. Euro auf das FZJ. Für die gesamte Betriebsphase werden 116,2 Mio. Euro als Kosten angesetzt, |³¹ wobei 42,2 Mio. Euro auf das DKFZ und 74,1 Mio. Euro auf das FZJ entfallen. |³²

|³¹ Die jährlichen Betriebskosten liegen zwischen 847 Tsd. Euro (2018) und 21,1 Mio. Euro (2027). Die Betriebskosten steigen aufgrund der sukzessiven Inbetriebnahme der Großgeräte schrittweise an.

|³² Nach Angaben der Konzeptverantwortlichen wurde die Inflation berücksichtigt.

Wissenschaftliches Potenzial: NIF besitzt durch die Kombination multimodaler Bildgebungstechnologien und mit der Entwicklung eines 14 T Ganzkörper-MRI-Systems ein herausragendes wissenschaftliches Potenzial. Damit schafft NIF eine weltweit einmalige Forschungsinfrastruktur, mit der ein wegweisender Fortschritt durch die multimodale, höchstauflösende Charakterisierung von Strukturen, Funktionen und Stoffwechselprozessen erzielt werden kann. Daher ist ein Durchbruch in der Diagnostik von Krebserkrankungen und Erkrankungen des Nervensystems zu erwarten.

Nutzung: NIF adressiert den dokumentierten Bedarf einer großen Nutzergruppe unterschiedlicher Disziplinen der biomedizinischen Grundlagenforschung sowie der klinischen Forschung. Der Zugang zur Forschungsinfrastruktur ist offen, kostenfrei und ausschließlich an Kriterien wissenschaftlicher Exzellenz orientiert. Das Datenmanagementkonzept und die Verwendung disziplinspezifischer Standards sind beispielhaft. Die vorgesehenen Systeme zur Qualitätssicherung sind adäquat und funktionell.

Umsetzbarkeit: Die beteiligten Institutionen sind auf dem Gebiet der Bildgebung hervorragend ausgewiesen und verfügen über langjährige Erfahrung in Organisation und Betrieb umfangreicher Forschungsinfrastrukturen. Die einzelnen Bildgebungstechnologien sind mit Ausnahme des 14 T MRI etabliert. Die Innovation und gleichzeitig Herausforderung besteht in deren neuartiger Kombination sowie der Entwicklung des 14 T MRI, im Besonderen zur Anwendung am Menschen. Dessen Entwicklung ist zwar in Technik und Anwendung risikoreich, aber der entsprechende Risikomanagementplan ist überzeugend.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland: Die Technologieentwicklung in NIF ist für Wissenschaft und Industrie von höchstem Interesse. Eine wesentliche Stärke ist außerdem das Translationspotenzial in die klinische Medizin. Die Realisierung von NIF wird Deutschland zu einem der weltweit attraktivsten Standorte für biomedizinische Bildgebung machen. Von der Infrastruktur und den damit verbundenen Ausbildungsangeboten werden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus aller Welt, insbesondere auch der wissenschaftliche Nachwuchs, profitieren.

IV.4 National Imaging Science Center (NISC)

IV.4.a Basisinformationen

Das *National Imaging Science Center* (NISC) beabsichtigt, Verfahren zur multiparametrischen und multiskalaren mikro- und makroskopischen Bildgebung mit molekularen Multi-Omics-Verfahren zu integrieren. NISC will hierfür Expertinnen und Experten verschiedenster Forschungsrichtungen im Bereich der Bildgebung und wichtiger benachbarter Disziplinen, wie Omics, Pathologie,

Pharmazie, Informatik und Systembiologie unter einem Dach am Campus der Universität Tübingen vereinen und so eine interdisziplinäre und hochqualitative wissenschaftliche Infrastruktur schaffen.

Die leitenden Organisationen werden die Universitäten Tübingen und Stuttgart sein. Die Max-Planck-Institute für Entwicklungsbiologie, Biologische Kybernetik sowie Intelligente Systeme sind als Kooperationspartner benannt.

Nach einer Vorbereitungsphase sollen in der Realisierungsphase, die auf vier- einhalb Jahre ausgelegt ist, die räumlichen, apparativen und personellen Voraussetzungen für die Forschungsinfrastruktur geschaffen werden.

Die Investitionskosten werden sich voraussichtlich auf 132,7 Mio. Euro belaufen. |³³ Die Betriebsphase soll 2022, nach Bezug des Gebäudes beginnen und ist auf unbegrenzte Zeit angelegt. Die Betriebskosten, die vollständig von den verantwortlichen Institutionen übernommen werden, belaufen sich voraussichtlich auf 7,7 Mio. Euro pro Jahr.

|³³ Ohne Eigenanteil. Nach Angaben der Konzeptverantwortlichen wurde die Inflation berücksichtigt.

Wissenschaftliches Potenzial: Das wissenschaftliche Potenzial von NISC ist aufgrund der Verknüpfung makro- und mikroskopischer Bildgebung mit Informationen anderer Messtechniken hoch. Allerdings sind die Forschungsfragen und das Kernziel unzureichend spezifiziert. Während die Unterstützung der lokalen Wissenschaftsgruppen und die Einbindung von Industriepartnern überzeugend sind, ist die Integration weiterer nationaler und internationaler Wissenschaftsgemeinschaften nicht ausreichend ausgearbeitet.

Nutzung: Die potenzielle Nutzergruppe im Bereich der biomedizinischen Grundlagen- und klinischen Forschung ist groß. Der Zugang ist offen und das dafür erforderliche Management angemessen. Jedoch sind die erforderlichen Strukturen für Training und Service für externe Nutzerinnen und Nutzer nicht hinreichend beschrieben. Das Datenkonzept ist insgesamt nachvollziehbar, in Bezug auf die langfristige Datenverwaltung und Einbindung in andere europäische Datenbanken (z. B. BBMRI, EATRIS, ELIXIR) besteht Nachbesserungsbedarf.

Umsetzbarkeit: NISC birgt im Aufbau lediglich ein geringes technisches Risiko, da etablierte Technologien kombiniert und erweitert werden. Eine Herausforderung besteht in der Zusammenführung makro- und mikroskopischer Methoden mit den Omics-Technologien. Die Forschungsinfrastruktur baut auf existierende Strukturen auf, ist institutionell und strategisch sehr gut in die beiden Trägereinrichtungen eingebunden und verfügt über ein adäquates Governance-Konzept. Die Planung der Personalrekrutierung und Nachwuchsförderung ist allerdings nicht hinreichend entwickelt.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland: Im Forschungsbereich des PET-MRIs kann NISC Deutschland zu einer weltweiten Spitzenstellung verhelfen. NISC kann wesentlich zur internationalen Sichtbarkeit der Bildgebungsforschung in Deutschland beitragen und eine hohe Attraktivität für den wissenschaftlichen Nachwuchs entfalten. Das hohe Innovationspotenzial der Forschungsinfrastruktur wird jedoch nicht voll ausgeschöpft, da die interdisziplinäre Vernetzung zu Forschungsgebieten außerhalb der Biomedizin und die Integration mit anderen nationalen und internationalen Infrastrukturen in Bezug auf Bioinformatik, Biomarker-Entwicklung und Datenanalyse nicht gebührend verfolgt werden.

C. Bilanz und Ausblick

Mit der Veröffentlichung der ersten Nationalen Roadmap des BMBF für Forschungsinfrastrukturen im Jahr 2013 wurde ein Pilotprojekt erfolgreich beendet, in dem ein Verfahren zur Priorisierung von Forschungsinfrastrukturen über alle Wissenschaftsgebiete hinweg entwickelt wurde. Bereits damit ist die deutsche Position im europäischen und internationalen Kontext sichtbar geworden. Im August 2015 hat das BMBF den aktuellen Roadmap-Prozess gestartet und damit das Verfahren als strategisches Instrument zur forschungspolitischen Entscheidungsfindung für künftige Investitionen etabliert. Zugleich wurde das Verfahren aufbauend auf den Erfahrungen der Pilotphase modifiziert und weiterentwickelt. So erfolgte beispielsweise der Zugang erstmals über eine öffentliche Bekanntgabe und die wissenschaftsgeleitete Bewertung wurde enger mit der wirtschaftlichen Bewertung verzahnt. Mit der Anhebung des Schwellenwertes für die Investitionskosten von 15 Mio. Euro (Investitionskosten insgesamt) auf 50 Mio. Euro (deutscher Anteil) bzw. 20 Mio. Euro für Vorhaben aus den Geistes- und Sozialwissenschaften wurde der Fokus der Nationalen Roadmap auf umfangreiche Forschungsinfrastrukturen gelegt.

Die geplanten Investitionskosten (deutscher Anteil) der zwölf bewerteten Konzepte bewegen sich zwischen 50 und 665 Mio. Euro. Insgesamt umfassen die zwölf bewerteten Konzepte des aktuellen Roadmap-Prozesses ein geplantes Investitionsvolumen von mehr als 2 Mrd. Euro. |³⁴ Hinzu kommen Betriebs- und Personalkosten, die über den gesamten Lebenszyklus hinweg einen erheblichen Anteil der Gesamtkosten einer Forschungsinfrastruktur ausmachen.

Aufgrund ihres hohen Ressourcenbedarfs, ihrer zunehmenden organisatorischen Komplexität, ihrer wachsenden Bedeutung für die Leistungsfähigkeit von Wissenschaft und Forschung sowie der mit jeder Entscheidung geschaffenen langfristigen Pfadabhängigkeit ist es notwendig, Entscheidungen über Einrichtung und Betrieb von Forschungsinfrastrukturen systematisch vorzubereiten. Entscheidungen dieser Tragweite sollten nicht nach dem Windhundprinzip von der zeitlichen Reihenfolge der Bedarfsanmeldung oder

| ³⁴ Die Angaben zu den Investitionsvolumina der einzelnen Vorhaben und damit auch der Summe der Investitionen gehen auf die Konzeptverantwortlichen zurück und sind nicht geprüft worden.

von Zufälligkeiten, wie zum Beispiel guter Lobbyarbeit oder öffentlicher Stimmung abhängig gemacht werden. Der Wissenschaftsrat begrüßt daher nachdrücklich die Verstetigung des Nationalen Roadmap-Prozesses. Die wissenschaftsgeleitete Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben als zentrales Element des Nationalen Roadmap-Prozesses leistet einen wichtigen Beitrag, um aus wissenschaftlicher Sicht eine Gesamtschau auf die Entwicklungstendenzen im Feld der Forschungsinfrastrukturen zu gewinnen. Zugleich kann der Ressourceneinsatz mit Blick auf ein leistungsstarkes Wissenschaftssystem optimiert sowie das Risiko von möglichen Fehlinvestitionen verringert werden.

Der Nationale Roadmap-Prozess ist eingebettet in wissenschaftspolitische Entwicklungen auf nationaler und europäischer Ebene, die im Folgenden skizziert werden (Kapitel C.I). Anschließend werden in einer ersten Verfahrensreflexion Erfahrungen aus dem abgeschlossenen Bewertungsverfahren resümiert und offene Punkte für die Weiterentwicklung markiert (Kapitel C.II).

C.I WISSENSCHAFTSPOLITISCHER KONTEXT

Seit Veröffentlichung der ersten Nationalen Roadmap im Jahr 2013 sind auf nationaler sowie europäischer Ebene eine Reihe von Aktivitäten und Initiativen zu verzeichnen, die die wachsende Bedeutung von Forschungsinfrastrukturen für das Wissenschaftssystem widerspiegeln. Zum Teil greifen sie Aspekte auf, die bereits im Anschluss an die Pilotphase als Herausforderungen identifiziert wurden und mit dem Aufbau und Betrieb von Forschungsinfrastrukturen verbunden sind. Dazu gehört neben der Finanzierung einer Forschungsinfrastruktur über den gesamten Lebenszyklus und der Governance insbesondere auch das Datenmanagement. |³⁵

I.1 Nationale Entwicklungen

Bereits 2011 hatte die Helmholtz-Gemeinschaft ihren Bedarf an Forschungsinfrastrukturen systematisch erhoben und hierzu eine erste Roadmap veröffentlicht. |³⁶ In der 2015 weitergeführten Helmholtz-Roadmap werden die wichtigsten Forschungsinfrastrukturvorhaben der Helmholtz-Gemeinschaft gelistet, die in den kommenden Jahren für die strategische Umsetzung ihres

| ³⁵ Wissenschaftsrat: Bericht zur wissenschaftsgeleiteten Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben für die Nationale Roadmap (Pilotphase) (Drs. 2841-13), Köln 2013: <http://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/2841-13.pdf>, zuletzt abgerufen am 12.04.2017.

| ³⁶ HGF (Hrsg.): Helmholtz-Roadmap für Forschungsinfrastrukturen, Stand 2011, Bonn 2011, S.4.

wissenschaftlichen Portfolios relevant sind. |³⁷ Mit AtmoSat und Tandem-L haben zwei Vorhaben der Helmholtz-Roadmap Eingang in die wissenschaftsgeleitete Bewertung des Nationalen Roadmap-Prozesses gefunden.

Auch die Leibniz-Gemeinschaft hat 2013 einen intensiven Diskussionsprozess über Forschungsinfrastrukturen initiiert und mit Blick auf eine zeitliche Perspektive von 10-15 Jahren eine interne Priorisierung von Forschungsinfrastrukturen vorgenommen. |³⁸ Als Ergebnis dieses Priorisierungsprozesses hat die Leibniz-Gemeinschaft 2016 erstmals eine eigene Roadmap für Forschungsinfrastrukturen veröffentlicht. Mit ACTRIS-D, BioM-D, DCOLL, EST und LPI sind fünf der gelisteten Forschungsinfrastrukturvorhaben ebenfalls in das wissenschaftsgeleitete Bewertungsverfahren im Rahmen des Nationalen Roadmap-Prozesses aufgenommen worden. |³⁹

Speziell mit der Gestaltung zukunftsfähiger Informationsinfrastrukturen befasst sich der Rat für Informationsinfrastrukturen (RfII), der auf Empfehlung des Wissenschaftsrates |⁴⁰ im November 2014 von der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz (GWK) im Rahmen der Digitalen Agenda der Bundesregierung berufen wurde. In seinem 2016 veröffentlichten Positionspapier „Leistung aus Vielfalt“ empfiehlt der RfII die Etablierung einer Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) als „künftiges neues Rückgrat für das Forschungsdatenmanagement in Deutschland“. |⁴¹

Die NFDI soll als vernetzte und verteilte Infrastruktur insbesondere die große Fragmentierung überwinden, Standards und Methoden vereinheitlichen und die Langzeitverfügbarkeit von Daten sicherstellen. Die NFDI soll dabei auch an internationale Vorhaben anschlussfähig sein, wie die viel diskutierte *European Open Science Cloud*, Vorhaben wie sie in PRACE (*Partnership for Advanced Computing in Europe*) |⁴² entwickelt werden oder auch Konzepte, wie sie in der *Research Data Alliance* (RDA) |⁴³ beraten werden. Mit der Erarbeitung von Handreichungen zum Forschungsdatenmanagement sowie zur Nachnutzung und Verfügbarkeit

|³⁷ HGF (Hrsg.): Helmholtz-Roadmap für Forschungsinfrastrukturen II, Bonn 2015, S. 5; https://www.helmholtz.de/fileadmin/user_upload/publikationen/Helmholtz_Roadmap_2015_web_korr_150921.pdf, zuletzt abgerufen am 10.05.2017.

|³⁸ Leibniz-Gemeinschaft (Hrsg.): Forschungsinfrastrukturen in der Leibniz-Gemeinschaft. Research Infrastructures in the Leibniz Association, Berlin 2015; Leibniz-Gemeinschaft (Hrsg.): Forschungsinfrastrukturen im Wissenschaftssystem, Berlin 2015.

|³⁹ <https://www.leibniz-gemeinschaft.de/infrastrukturen/leibniz-roadmap-forschungsinfrastrukturen>, zuletzt abgerufen am 12.04.2017.

|⁴⁰ Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Informationsinfrastrukturen in Deutschland bis 2020 (Drs. 2359-12), Berlin 2012.

|⁴¹ RfII – Rat für Informationsinfrastrukturen: Leistung aus Vielfalt. Empfehlungen zu Strukturen, Prozessen und Finanzierung des Forschungsdatenmanagements in Deutschland, Göttingen 2016, S. 2.

|⁴² Näheres vgl. <http://www.prace-ri.eu>, zuletzt abgerufen am 08.05.2017.

|⁴³ Näheres vgl. <https://www.rd-alliance.org>, zuletzt abgerufen am 08.05.2017.

von Forschungsdaten beschäftigt sich auch eine Arbeitsgruppe im Rahmen der Schwerpunktinitiative „Digitale Information“ der Allianz der deutschen Wissenschaftsorganisationen. |⁴⁴

Besonderer Koordinierungsbedarf zum Ausbau von Forschungsinfrastrukturen mit hohen Anforderungen an das Datenmanagement ist in der medizinischen Forschung zu verzeichnen. |⁴⁵ Bei den medizinischen Forschungsinfrastrukturen handelt es sich, neben Großgeräten, vor allem um patientennahe, vernetzte und integrierte Daten- und Probensammlungen wie Biobanken und Datenmanagementsysteme epidemiologischer Längsschnittstudien. |⁴⁶ Das im November 2015 beim BMBF eingerichtete Forum Gesundheitsforschung |⁴⁷ erarbeitet derzeit Konzepte u. a. zur koordinierten Weiterentwicklung von Forschungsinfrastrukturen in den Lebenswissenschaften.

Mit der steigenden Bedeutung von Forschungsinfrastrukturen für die Fortschritte in den unterschiedlichsten wissenschaftlichen Disziplinen ergeben sich spezifische systemische Herausforderungen. Dies machen insbesondere die Beiträge einer Anhörung des Bundestagsausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung zur Förderung von Forschungsinfrastrukturen im Juni 2016 deutlich sowie die kürzlich veröffentlichte Stellungnahme der Allianz der deutschen Wissenschaftsorganisationen zur Exzellenz von Forschungsinfrastrukturen und ihrer nachhaltigen Finanzierung im gesamten Lebenszyklus. |⁴⁸

I.2 Europäische Entwicklungen

Forschungsinfrastrukturen spielen im Europäischen Forschungsraum und in der Innovationsunion eine essentielle Rolle für die Generierung neuen Wissens und neuer Technologien und ihre Verwertung. |⁴⁹ Vor mehr als 15 Jahren hat das *European Strategy Forum on Research Infrastructures* (ESFRI) auf europäischer Ebene einen Abstimmungsprozess begonnen mit dem Ziel, aus einer wissenschaftlichen Perspektive heraus Forschungsinfrastrukturvorhaben zu priorisieren. 2016 wurde das nunmehr dritte Update der ESFRI-Roadmap veröffentlicht.

|⁴⁴ <http://www.allianzinitiative.de>, zuletzt abgerufen am 12.04.2017.

|⁴⁵ Wissenschaftsrat: Perspektiven der Universitätsmedizin (Drs. 5663-16), Weimar 2016, S. 35.

|⁴⁶ Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung: Ausschussdrucksache 18(18)232c, Unaufgeforderte Stellungnahme der Deutschen Hochschulmedizin e.V., Berlin: https://www.bundestag.de/blob/428766/13d0693334faba8c7d858fa52192cb18/hochschulmedizin_unangef-stellungnahme-data.pdf, zuletzt abgerufen am 12.04.2017.

|⁴⁷ <http://www.gesundheitsforschung-bmbf.de/de/forum.php>, zuletzt abgerufen am 12.04.2017.

|⁴⁸ <https://www.bundestag.de/ausschuesse18/a18/fg-foerderung-fis/428316>, zuletzt abgerufen am 12.04.2017; vgl. Allianz der Wissenschaftsorganisationen: Exzellente Wissenschaft braucht exzellente Forschungsinfrastrukturen, o.O. 2017. https://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/Allianz-Stellungnahme_FIS.pdf, zuletzt abgerufen am 12.04.2017.

|⁴⁹ <http://www.eubuenro.de/infra.htm>, zuletzt abgerufen am 09.05.2017.

Erstmals wurden dabei in einem zeitlichen Abstand von zehn Jahren Vorhaben evaluiert, die 2006 auf die erste ESFRI-Roadmap Eingang gefunden hatten. Vorhaben, die nach diesem Zeitraum inzwischen wesentliche Erfolge zur Implementierung vorweisen konnten, wurden in der neuen Roadmap von 2016 als *Landmarks* ausgewiesen. |⁵⁰ Die Veröffentlichung der nächsten ESFRI-Roadmap ist bereits für 2018 vorgesehen. |⁵¹

Das 2014 gestartete Forschungsrahmenprogramm Horizont 2020 sieht Fördermaßnahmen vor für

- _ die Entwicklung neuer Forschungsinfrastrukturen, insbesondere im Rahmen des ESFRI-Prozesses;
- _ die Vernetzung, Öffnung und Nachhaltigkeit bestehender Infrastrukturen sowie Innovationen in Forschungsinfrastrukturen;
- _ die Unterstützung von Strategieentwicklungen für Forschungsinfrastrukturen und internationaler Kooperationen;
- _ E-Infrastrukturen.

Für den Aufbau und den Betrieb von Forschungsinfrastrukturen stehen dagegen momentan keine Mittel zur Verfügung. Zu den im Rahmen von Horizont 2020 geförderten (Strategie-)Projekten gehört auch die jüngst gestartete In-Road-Initiative, die zunächst eine Bestandsaufnahme Nationaler Roadmaps zur Förderung von Forschungsinfrastrukturen im europäischen Raum vornehmen und diese miteinander vergleichbar machen soll. |⁵² Die primären Ziele bestehen darin, erstens *best practice* Beispiele und Trends für Roadmap-Prozesse und Evaluationsmechanismen zu identifizieren, zweitens zu einer Synchronisation und möglichen Harmonisierung von Roadmaps in den europäischen Mitgliedsstaaten und auf übergreifender europäischer Ebene beizutragen und drittens die Entwicklung von Forschungsinfrastrukturen zu unterstützen, z. B. durch die Erarbeitung von Empfehlungen und *best practice* Beispielen zur Finanzierung und zu Business-Modellen.

Besondere Aufmerksamkeit haben auch auf europäischer Ebene in den vergangenen Jahren die Fragen des Datenkonzepts und des Datenmanagements als strategische Kernaufgaben umfangreicher Forschungsinfrastrukturen erlangt, vor allem um eine sichere, nachhaltige und effiziente Arbeit mit Daten zu gewährleisten. Die Frage von Dateninfrastrukturen, der Umgang mit Forschungsdaten im weitesten Sinne sowie die Anforderungen an die Erstellung

| ⁵⁰ Siehe zur Definition von Projekten und Landmarks: Vgl. : ESFRI (Hrsg.): *Strategy Report on Research Infrastructures*. Roadmap 2016, Brüssel 2016, S.13.

| ⁵¹ *European Strategy Forum on Research Infrastructures* (ESFRI): *PUBLIC ROADMAP 2018 GUIDE*, Final version dated 9th December 2016. http://www.esfri.eu/sites/default/files/u4/ESFRI_Roadmap_2018_Public_Guide_f_0.pdf, zuletzt abgerufen am 12.04.2017.

| ⁵² <http://inroad.eu/>, zuletzt abgerufen am 12.04.2017.

von Datenmanagementplänen sind inzwischen Gegenstand unterschiedlicher nationaler und internationaler Positions- und Strategiepapiere. So hat sich beispielsweise die Max-Planck-Gesellschaft (MPG) nach einer Evaluation im Jahre 2012 strategisch neu ausgerichtet und mit der *Max Planck Computing and Data Facility* (MPCDF) eine unabhängige Instanz geschaffen, die neben der Bündelung von Aufgaben und Wissen bezüglich der datenintensiven Forschung innerhalb der MPG auch die Aufgabe hat, sich im nationalen, europäischen und internationalen Rahmen an Dateninfrastruktur-Initiativen zu beteiligen. Eine solche Instanz soll auch die Durchführung von datenintensiven Projekten unterstützen und dafür Basiskapazitäten zur Verfügung stellen. Weitere wichtige Akteure sind hier vor allem die *Research Data Alliance* sowie die *e-Infrastructure Reflection Group* (e-IRG). |⁵³ Im Kontext von *open science* und Digitalisierung als Schwerpunkte der strategischen Ausrichtung der europäischen Forschungspolitik wird die Professionalisierung des Datenmanagements weiter an Bedeutung gewinnen. So soll europaweit ein vollständig freier Zugang zu allen wissenschaftlichen Publikationen gewährleistet und ein grundlegend neuer Ansatz für die Wiederverwendung von Forschungsdaten geschaffen werden. |⁵⁴ Für den Bereich der Forschungsinfrastrukturen sind dabei die Berücksichtigung der *FAIR data principles* |⁵⁵ (FAIR = *Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*) sowie die Implementierung übergreifender E-Infrastrukturen für die Umsetzung von *open science* handlungsleitend. Zur Professionalisierung des Datenmanagements gehört es auch, den dafür erforderlichen Personalbedarf systematisch zu berücksichtigen. Eigens ausgebildetes wissenschaftliches Personal zu rekrutieren, ist eine Herausforderung, da die Ausbildungsstrukturen vielfach noch aufgebaut werden müssen und die Arbeit im Feld des Datenmanagements als wissenschaftliche Leistung bisher noch keine angemessene Anerkennung erfährt.

Ein wichtiger Aspekt der Governance von Forschungsinfrastrukturen stellt der Zugang zur Nutzung einer Forschungsinfrastruktur dar. Je nach Typ und Forschungsfeld können Forschungsinfrastrukturen Zugang gewähren zu Maschinen- und Rechnerzeiten, Aufbereitung und Untersuchung von Proben, Versuchsanordnungen und Experimenten, Archiven und Sammlungen, Software und informationstechnischen Services sowie Ausbildung und Training.

|⁵³ e-IRG: White Paper, 2013: <http://e-irg.eu/documents/10920/11274/e-irg-white-paper-2013-final.pdf>; e-IRG: Best Practices for the use of e-Infrastructures by large-scale research infrastructures, 2015: <http://e-irg.eu/documents/10920/277005/Best+Practices+for+the+use+of+e-Infrastructures+by+large-scale+research+infrastructures.pdf>; Research Data Alliance (RDA): First year report on RDA Europe analysis programme, 2013; Research Data Alliance (RDA): Second year report on RDA Europe analysis programme, 2014.

|⁵⁴ <https://english.eu2016.nl/documents/reports/2016/04/04/amsterdam-call-for-action-on-open-science>.

|⁵⁵ The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship, DOI: 10.1038/sdata.2016.18.

2016 hat die EU-Kommission eine Europäische Charta für den Zugang zu Forschungsinfrastrukturen veröffentlicht. |⁵⁶ Diese Charta wurde von der EU-Kommission in Zusammenarbeit mit ESFRI, e-IRG und den ERA |⁵⁷ Stakeholder-Organisationen (CESAER |⁵⁸, EARTO |⁵⁹, EUA |⁶⁰, LERU |⁶¹, *NordForsk* and *Science Europe*) erstellt. Auch wenn die Charta rechtlich nicht bindend ist, soll sie Basis für ein gemeinsames Verständnis von *access policies* bilden. Zugleich sollen die Betreiber von Forschungsinfrastrukturen ermutigt werden, ein Maximum an Transparenz über ihre Zugangsmöglichkeiten und -prozesse sicherzustellen |⁶². Welchen Anforderungen hinsichtlich formaler Struktur, Governance, Finanzierung sowie Zugang speziell verteilte Forschungsinfrastrukturen genügen müssen, ist Gegenstand einer Untersuchung der OECD |⁶³ aus dem Jahr 2014. |⁶⁴

C.II VERFAHRENSREFLEXION

Im Sinne eines lernenden Verfahrens sollen im Folgenden Entwicklungspotenziale des wissenschaftsgeleiteten Verfahrens im Rahmen des Nationalen Roadmap-Prozesses aufgezeigt werden, die bei der Ausgestaltung des nächsten Roadmap-Prozesses entsprechend berücksichtigt werden sollten.

II.1 Beteiligung am Roadmapverfahren

Um die Kreativität und Expertise der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Deutschland ausschöpfen zu können, ist es wichtig, alle grundsätzlich geeigneten Initiativen für neue Forschungsinfrastrukturen in die Beratungen über eine Nationale Roadmap einzubeziehen. Es ist daher zu begrüßen, dass im aktuellen Roadmap-Prozess mit der Bekanntgabe im August 2015 alle Forschungsorganisationen, Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen, die die Errichtung einer Forschungsinfrastruktur planen, ihre Vorhaben in den Nationalen Roadmap-Prozess einreichen konnten. Mit der Anhebung des Schwellenwertes für die Investitionskosten von 15 Mio. Euro auf 50 Mio. Euro deutscher Anteil bzw. 20 Mio. deutscher Anteil für Forschungs-

| ⁵⁶ *European Commission, European Charter for Access to Research Infrastructures, Draft Version 1.0*, June 2015.

| ⁵⁷ *European Research Area*.

| ⁵⁸ *Conference of European Schools for Advanced Engineering Education and Research*.

| ⁵⁹ *European Association of Research and Technological Organisations*.

| ⁶⁰ *European University Association*.

| ⁶¹ *League of European Research Universities*.

| ⁶² https://ec.europa.eu/research/infrastructures/index_en.cfm?pg=access_ri, zuletzt abgerufen am 09.05.2017.

| ⁶³ *Organisation for Economic Co-operation and Development*.

| ⁶⁴ OECD (Hrsg): *International Distributed Research Infrastructures: Issues and Options*, 2014.

infrastrukturen in den Bereichen Geistes- und Sozialwissenschaften oder Bildungsforschung stellt sich die Frage, ob alle für eine forschungspolitische Priorisierung relevanten Forschungsinfrastrukturvorhaben systematisch in das Verfahren einbezogen werden. Dies gilt es, insbesondere mit Blick auf die unterschiedlichen Typen von Forschungsinfrastrukturen und hinsichtlich der Beteiligung Deutschlands an europäischen oder internationalen Vorhaben, zu prüfen.

Die Öffnung des Verfahrens stellt neue Anforderungen an die wissenschaftsgeleitete Bewertung. Hierzu zählen die Variabilität in der Reife der eingereichten Konzepte sowie die schwer abzuschätzende Anzahl zu bewertender Konzepte. Die transparente Gestaltung des Zugangs zum Verfahren, insbesondere einer nachvollziehbaren Eingangsprüfung der Konzepte nach eindeutig definierten Kriterien, ist entscheidend für die Akzeptanz des Verfahrens in den wissenschaftlichen Gemeinschaften.

Variabilität des Reifegrads von Konzepten

Forschungsinfrastrukturen sind sowohl durch eine lange Entwicklungszeit bis zu ihrer Realisierung als auch durch eine lange Lebensdauer charakterisiert. Der Roadmap-Prozess ist auf eine entscheidende Phase im Lebenszyklus einer Forschungsinfrastruktur fokussiert, nämlich auf die Planungsphase.⁶⁵ Diese schließt an die Definitionsphase an und umfasst die Konkretisierung von Projektmaßnahmen und -zielen. Dazu zählen z. B. Maßnahmen zur Risikominimierung, aber auch die Finalisierung von Projektstrukturplänen oder Finanzplänen. Die Planungsphase einer Forschungsinfrastruktur ist in der Regel recht lang und kann mehrere Jahre umfassen. Am Ende dieser Phase sollte ein detailliertes Konzept stehen, das prinzipiell realisiert werden kann. Je nachdem, ob sich ein Forschungsinfrastrukturvorhaben bei Konzepteinreichung eher am Ende oder noch zu Beginn der Planungsphase befindet, wird es mehr oder weniger wissenschaftlich und technisch ausgereift sein. Entsprechend sah sich der Ausschuss im aktuellen Bewertungsverfahren mit einer erheblichen Variabilität des Reifegrades der eingereichten Konzepte konfrontiert. Dabei war in einem Fall die Reife aufgrund des hohen Anteils noch zu leistender Forschungs- und Entwicklungsarbeiten so gering ausgeprägt, dass das Konzept nicht in die vergleichende Bewertung aufgenommen wurde. In Anbetracht des hohen Aufwandes, der seitens der Konzeptverantwortlichen mit der Erstellung der Konzeptunterlagen und seitens des Ausschusses mit der Begutachtung und Bewertung verbunden ist, sollten zukünftig geeignete Maßnahmen getroffen

⁶⁵ BMBF: Der Nationale Roadmap-Prozess für Forschungsinfrastrukturen. Investitionen in die Forschung von morgen. Januar 2016, S. 7f.: https://www.bmbf.de/pub/Nationaler_Roadmap_Prozess_fuer_Forschungsinfrastrukturen.pdf, zuletzt abgerufen am 12.04.2017.

werden, um die Aufnahme noch nicht ausgereifter Konzepte in die wissenschaftsgeleitete Bewertung zu vermeiden. Andererseits muss mit Blick auf zukünftige Verfahrensrunden sichergestellt sein, dass Vorhaben, die den erforderlichen Grad an Vorbereitung und Reife aufweisen, auch Eingang in das Verfahren finden.

Anzahl der Konzepte

Mit der Öffnung des Zugangs zum Roadmap-Prozess ist auch die Anzahl der zu bewertenden Konzepte pro Runde per se offen und damit nur schwer vorab einzuschätzen. Es wurden zwölf Vorhaben und damit drei mehr als in der Pilotphase in die wissenschaftsgeleitete Bewertung des aktuellen Roadmap-Verfahrens aufgenommen. Auch mit dieser gestiegenen Anzahl von Konzepten konnte die wissenschaftsgeleitete Bewertung erfolgreich durchgeführt werden. Eine deutlich höhere Anzahl an Konzepten könnte sich im etablierten Verfahren auf die zeitliche und organisatorische Ausgestaltung auswirken. Eine verlässliche Taktung des Verfahrens würde einer solchen Entwicklung entgegenwirken.

II.2 Herausforderungen für die Bewertung

Die Anlage des Bewertungsverfahrens hat sich grundsätzlich bewährt. Die Arbeit mit vier Bewertungsdimensionen erlaubt es, das Potenzial der Vorhaben in den unterschiedlichen Hinsichten differenziert und angemessen zu begutachten sowie vergleichend zu bewerten. Das Dimensionsgefüge ist übersichtlich und gut zu handhaben. Gleichwohl haben sich mit Blick auf die Weiterentwicklung des Verfahrens Herausforderungen gezeigt, die im Folgenden angesprochen werden.

Vielfalt der Konzepte

Die eingereichten Konzepte wiesen in diesem Prozess eine deutlich größere Vielfalt auf als in der Pilotphase. Eine Herausforderung im Verfahren lag darin, diese Unterschiedlichkeit angemessen zu berücksichtigen, um eine faire vergleichende Bewertung in den unterschiedlichen Dimensionen sicherzustellen. Während einige Konzepte auf technische Innovationen mit einem hohen Risiko zielten, konzentrierten sich andere auf die Vernetzung und kluge Verzahnung von im Wesentlichen bereits bestehenden Technologien. Vielfalt bedeutete auch, dass ein Teil der Vorhaben spezifische, aktuelle und originelle Forschungsfragen gezielt adressierte, ein anderer Teil der Vorhaben sich hingegen auf die Analyse und Bereitstellung von Daten für eine Vielzahl von wissenschaftlichen Gemeinschaften fokussierte. Im zuletzt genannten Fall ist es nicht vollständig absehbar, welche Forschungsfragen angesichts einer äußerst breiten Nutzergemeinschaft in Zukunft genau mit den aufbereiteten Daten bearbeitet werden können. Diese spezifischen Voraussetzungen und Ausprägungen

gen von Forschungsinfrastrukturen gilt es zu berücksichtigen – vor allem mit Blick auf die Bewertung des wissenschaftlichen Potenzials eines Vorhabens, die im Kern die Bedeutung einer Forschungsinfrastruktur für die Erschließung neuer oder die Entwicklung bestehender Forschungsfelder im Feld existierender und geplanter Forschungsinfrastrukturen prüft.

Datenkonzept und Datenmanagement

Mit der fortschreitenden digitalen Entwicklung und der Möglichkeit, große und komplexe Datenmengen zu erheben, zu speichern, wiederzuverwerten und zu verknüpfen, gewinnt die Bereitstellung von Forschungsdaten für eine breite Nutzergemeinschaft zunehmend an Bedeutung. Je nach Typus und Ausprägung von Forschungsinfrastrukturen erzeugen diese nicht allein hohe Datenmengen, sondern setzen auf bereits vorhandene „Datenschätze“ auf und stellen diese digital und in aufbereiteter Form einer großen Nutzergemeinde zur Verfügung. Vor diesem Hintergrund wurden schon in der Pilotphase die Themenkomplexe Datenkonzept und Datenmanagement als Herausforderung identifiziert. Vielfach wurden Aufgabe und Rolle des Datenmanagements einer Forschungsinfrastruktur unterschätzt. Das ist auch ein Grund, warum die mit der Datenerhebung und -archivierung, dem Datenzugang und der Datenverarbeitung verbundene Arbeit keine ausreichende Anerkennung und Wertschätzung erfuhr. Angesichts dieser Defizite einerseits und der wachsenden Anforderungen an ein professionelles Datenkonzept und -management aufgrund der technologischen Entwicklungen und des Ausbaus von *open science* andererseits (vgl. C.I) wurde der Punkt „Datenkonzept“ als eigener Bewertungsaspekt in der Dimension „Nutzung“ aufgenommen. |⁶⁶ Die Begutachtung der zwölf Konzepte hat deutlich werden lassen, dass aktuelle Trends und Standards noch nicht durchgängig aufgenommen und umgesetzt worden sind. So verweisen die meisten Konzepte weder auf die FAIR-Prinzipien und ihre möglichen Umsetzungen, noch wird von den Datenrepositorien erwartet, dass sie sich einer strukturierten Qualitätssicherung unterziehen. Zudem werden kaum quantitative Angaben zu Datenmengen und ihrer Komplexität gemacht, die jedoch erforderlich wären, um z. B. Kosten für Speicherung, Kuration und langfristige Datenverwaltung abschätzen sowie Verantwortlichkeitsstrukturen bewerten zu können. Die Konzeptverantwortlichen stehen vor der Herausforderung, ein entsprechendes Konzept einschließlich der notwendigen technischen und personellen Ressourcen zu entwickeln. Dabei könnten Beratungsplattformen hilfreich sein. Ausführlich und überzeugend wird dagegen in den meisten Konzepten dargelegt, wie die Zugriffsrechte auf die Daten geregelt werden sollen.

| 66 BMBF: Leitfaden zur Konzepterstellung für die Nationale Roadmap für Forschungsinfrastrukturen des BMBF, S. 9, 2015. http://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/FIS_Leitfaden_Veroeffentlichung.pdf, zuletzt abgerufen am 12.04.2017.

Oftmals lassen sich Forschungsinfrastrukturen nur noch transnational realisieren – sei es in Europa oder sei es global –, weil die notwendigen Investitionen und die zu erwartenden laufenden Kosten das Budget eines einzelnen Landes übersteigen. So sind beispielsweise sieben der neun Konzepte, die in der Pilotphase bewertet wurden, auf der aktuellen ESFRI-Roadmap als Projekte oder *Landmarks* vertreten. |⁶⁷ Auch in dem aktuellen Roadmap-Verfahren sind vier der zwölf eingereichten Konzepte in unterschiedlicher Weise mit Forschungsinfrastrukturvorhaben auf europäischer Ebene verknüpft. So hat das geplante Solarteleskop EST als Kooperationsprojekt mit einem spanischen Partner bereits unmittelbar Eingang in die ESFRI-Roadmap 2016 gefunden. ACTRIS-D knüpft als eigenständiger Beitrag konzeptuell unmittelbar an das ebenfalls auf der ESFRI-Roadmap enthaltene ACTRIS-Projekt an und ist über weite Strecken gezielt auf dort geplante Strukturen hin ausgerichtet. GerBI-FIS wird Anschluss an das ESFRI-Projekt Euro-BioImaging suchen und soll damit den bisher noch fehlenden deutschen Anteil der europäischen Infrastruktur bilden. Für DCOLL ist eine Partnerschaft mit den europäischen Vorhaben EU-COLL |⁶⁸ bzw. CETAF |⁶⁹ geplant, für die eine Antragstellung zur Aufnahme auf die ESFRI-Roadmap angestrebt wird. Vor diesem Hintergrund ist zu überlegen, wie die europäische Perspektive der Vorhaben im Verfahren stärker berücksichtigt werden kann. Die vierte Dimension, welche die Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland adressiert, ließe sich stärker differenzieren, so dass auch die europäische Perspektive und die Frage nach dem gesellschaftlichen Nutzen eines Vorhabens mit adressiert werden könnten.

Kalibrierung einer vielfältigen Expertise im Bewertungsprozess

Ein entscheidender Faktor für eine fundierte wissenschaftsgeleitete Bewertung der Forschungsinfrastrukturvorhaben ist – wie in allen Evaluationsverfahren – die Gewinnung geeigneter Gutachterinnen und Gutachter. Die Komplexität der zu bewertenden Forschungsinfrastrukturvorhaben und der vergleichende Charakter des Bewertungsverfahrens verlangen ein hohes Maß an Sorgfalt bei der Auswahl der Gutachterinnen und Gutachter sowie bei der Zusammensetzung der Begutachtungsgruppen. Grundsätzlich hat sich die Zusammensetzung einer Begutachtungsgruppe mit jeweils drei vornehmlich aus dem Ausland ge-

| ⁶⁷ European Plate Observing System (EPOS), European Infrastructure of Open Screening Platforms for Chemical Biology (EU-OPENSREEN), European Research Infrastructure of Imaging Technologies in Biological and Medical Sciences (Euro-BioImaging), Cherenkov Telescope Array (CTA), European Magnetic Field Laboratory (EMFL), In-service Aircraft for a Global Observing System (IAGOS) und Integrated Structural Biology Infrastructure (INSTRUCT). (Siehe hierzu: ESFRI (Hrsg.): Strategy Report on Research Infrastructures. Roadmap 2016, Brüssel 2016.)

| ⁶⁸ *European Science Collection Infrastructure*.

| ⁶⁹ *Consortium of European Taxonomic Facilities*.

wonnenen Gutachterinnen und Gutachtern bewährt. Im Prozess war eine hohe Konvergenz in der Einschätzung der Vorhaben zu beobachten. Gleichwohl steht der Ausschuss bei der Frage, wie die Begutachtungsgruppen in Zukunft zusammenzustellen sind, vor besonderen Herausforderungen:

- _ Neben der fachlichen Expertise sind insbesondere auch spezifische Erfahrungen hinsichtlich Datenmanagement und Governance zu berücksichtigen, die für die Bewertung der Dimensionen Nutzung und Umsetzbarkeit von Bedeutung sind.
- _ Zudem ist die internationale Erfahrung der Gutachterinnen und Gutachter hilfreich und notwendig, um eine Einordnung der Forschungsinfrastrukturvorhaben in die globale Wissenschaftslandschaft vornehmen zu können.
- _ Darüber hinaus verlangt es die breite Vernetzung umfangreicher Forschungsinfrastrukturen, ein besonderes Augenmerk auf die damit einhergehende Befangenheitsproblematik zu legen. Schon aus diesem Grund kann vielfach allein auf Gutachterinnen und Gutachter aus dem Ausland zurückgegriffen werden.
- _ Der Rückgriff auf eine Vielzahl international rekrutierter Gutachterinnen und Gutachter stellt das Verfahren vor die Herausforderung, über die Vielfalt der Fachgebiete und kulturellen Unterschiede hinweg zu einer vergleichbaren Bewertung zu gelangen. Je nach Wissenschaftsgebiet mit seiner spezifischen Bewertungskultur und je nach nationalem Hintergrund werden wertende Begriffe im Begutachtungs- und Bewertungsprozess unterschiedlich eingesetzt. Ein Dialog über die Bedeutung der unterschiedlichen Begrifflichkeiten und Wertungen ist daher unerlässlich.

Vor diesem Hintergrund ist das Verfahren nicht allein interaktiv mit Blick auf die Begegnung und Auseinandersetzung mit den Konzeptverantwortlichen angelegt (vgl. A.V), sondern auch mit Blick auf die gemeinsame Verständigung in der Begutachtungsgruppe und im Ausschuss. Die persönliche Interaktion der Gutachterinnen und Gutachter sowie der Ausschussmitglieder ist somit ein notwendiges Element der Kalibrierung, um zu einer differenzierten, den unterschiedlichen Dimensionen mit ihren verschiedenen Aspekten sowie der Vielfalt der Konzepte angemessenen Bewertung zu gelangen.

C.III FAZIT

Forschungsinfrastrukturen auf höchstem Niveau sind eine unabdingbare Voraussetzung für ein leistungsfähiges Wissenschaftssystem. In zunehmendem Maße ist die Wissenschaft auf den Einsatz solcher Forschungsinfrastrukturen angewiesen, um wissenschaftlich anspruchsvolle Fragestellungen bearbeiten, international anschlussfähige Spitzenforschung betreiben und den Möglichkeitsraum für neue, heute noch unabsehbare Forschungen eröffnen zu kön-

nen. Neben den für das jeweilige Wissenschaftsgebiet spezifischen Entwicklungen bei Forschungsfragen und Methoden spielen dabei auch generische Technologien eine treibende Rolle. Wie in dem neuerlichen Roadmap-Prozess deutlich wurde, gewinnen etwa die Bereitstellung von *higher-level data* oder anspruchsvolle Digitalisierungsvorhaben an Gewicht. Zugleich bedeuten lange Planungs- und Realisierungszeiträume sowie hohe Investitionsvolumina, dass mit den Investitionsentscheidungen unumkehrbare Pfadabhängigkeiten geschaffen werden.

Umfangreiche Forschungsinfrastrukturen stellen daher ein komplexes, sich dynamisch entwickelndes Feld dar, das gekennzeichnet ist durch:

- _ große wissenschaftliche sowie wissenschaftspolitische Tragweite,
- _ eine Vielzahl nationaler und internationaler Akteure (Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Betreiber, Förderer, politische Entscheidungsträger und Gremien),
- _ eine Vielzahl von Berührungspunkten zu informationstechnischen, rechtlichen, organisatorischen und finanziellen Fragestellungen,
- _ eine starke internationale Ausrichtung.

Forschungspolitische Priorisierungen in diesem Feld erfordern folglich einen Entscheidungsprozess, der einerseits die genannten unterschiedlichen Aspekte berücksichtigt, alle Akteure in Betracht zieht und zugleich den aktuellen und vielfältigen Entwicklungen auf nationaler und internationaler Ebene in der Weiterentwicklung des Verfahrens angemessen Rechnung trägt. Daher ist es von zentraler Bedeutung, das Roadmap-Verfahren als ein lernendes und in regelmäßigen Zyklen durchgeführtes Verfahren zu etablieren, das der Komplexität und Dynamik im Feld der Forschungsinfrastrukturen gerecht wird. Allein ein solches wissenschaftsgeleitetes Verfahren kann sicherstellen, dass die Priorisierungsentscheidungen auch in Zukunft auf einer belastbaren Grundlage getroffen werden.

Anhang

D.	Ausführliche Konzeptbeschreibungen und-bewertungen	63
D.I	Natur- und Technikwissenschaften	63
I.1	Wissenschaftsgebiet Natur- und Technikwissenschaften	63
I.2	Ernst Ruska-Centrum 2.0 (ER-C 2.0) – Die Nationale Forschungsinfrastruktur für höchstauflösende Elektronenmikroskopie	68
I.3	European Solar Telescope (EST)	90
I.4	National Photonics Labs (NPL)	106
D.II	Umwelt- und Erdsystemwissenschaften	122
II.1	Wissenschaftsgebiet Umwelt- und Erdsystemwissenschaften	122
II.2	Aerosole, Wolken und Spurengase Forschungsinfrastruktur – Deutscher Beitrag (ACTRIS-D)	126
II.3	AtmoSat	139
II.4	Deutsches Zentrum für Biodiversitätsmonitoring (BioM-D)	157
II.5	Deutsche Naturwissenschaftliche Sammlungen als integrierte Forschungsinfrastruktur (DCOLL)	167
II.6	Tandem-L (TDL)	195
D.III	Biowissenschaften und Medizin	211
III.1	Wissenschaftsgebiet Biowissenschaften und Medizin	211
III.2	German BioImaging Forschungsinfrastruktur (GerBI-FIS)	218
III.3	Leibniz-Zentrum für Photonik in der Infektionsforschung (LPI)	230
III.4	Nationale Biomedizinische Bildgebungseinrichtung (NIF)	246
III.5	National Imaging Science Center (NISC)	261
	Abkürzungs- und Namensverzeichnis	279

D. Ausführliche Konzeptbeschreibungen und-bewertungen

D.1 NATUR- UND TECHNIKWISSENSCHAFTEN

I.1 Wissenschaftsgebiet Natur- und Technikwissenschaften

Der Bereich der Natur- und Technikwissenschaften umfasst eine Vielzahl von wissenschaftlichen Disziplinen, zu denen die Physik, Astronomie, Chemie, Biologie und die Ingenieurwissenschaften gehören. Die Forschungsgegenstände reichen von den kleinsten Bausteinen der Materie bis hin zu den größten Gebilden im Universum und schließen die fundamentalen Kräfte und Wechselwirkungen ein.

Dieser heterogene Wissenschaftsbereich setzt sich aus einer enormen Anzahl unterschiedlichster Forschungsfelder zusammen, an deren Grenzen es Überschneidungen und Kooperationen geben kann. Im Folgenden stehen mit der Materialforschung, Astrophysik und Photonik drei Forschungsfelder im Mittelpunkt der Betrachtung, denen die im Roadmap-Prozess eingebrachten Forschungsinfrastrukturvorhaben zuzuordnen sind.

I.1.a 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 bes-

seres 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 |⁷⁰) bis hin zur makroskopischen Dimension (z. B. Materialien für Industriemaschinen oder Enderzeugnisse) ab. Die neuesten Entwicklungen auf dem Gebiet der Nanotechnologie, die auf die Kontrolle, Herstellung und Umsetzung von Strukturen auf Nanoebene (kleiner als 1 Mikrometer) bei diversen Typen von Materialien und Umgebungen ausgerichtet ist, haben ähnliche Konzepte wie in der Materialforschung auch in den Lebenswissenschaften herausgestellt. Zu den Anwendungsfeldern gehören medizinische Diagnosen und Therapien (z. B. die Verwendung von magnetischen Nanopartikeln bei der Behandlung von Krebserkrankungen und allgemeiner bei der Nutzung von Nanostrukturen als Transport- und Speichermedien), die Produktion von biologisch inspirierten und selbstorganisierenden Materialien sowie die Weiterentwicklung von Messtechniken in den Lebenswissenschaften.

Charakteristisch für ein Material sind u.a. seine mechanischen, magnetischen, elektronischen, chemischen und optischen Eigenschaften, die eine bedeutende Rolle für strukturelle, funktionelle und biologische Materialien spielen. Die Analyse biologischer Proben umfasst die molekulare bis atomare Charakterisierung von Molekülen und Proteinkonformationen in Isolation sowie innerhalb von Zellen. 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. Festkörper-Beleuchtung), 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 **FIS Ernst-Ruska-Centrum 2.0 – Die nationale Forschungsinfrastruktur für höchstauflösende Elektronenmikroskopie (ER-C 2.0)** zielt darauf ab, weiche, biologische und anorganische Materie mit Hilfe der Transmissionselektronenmikroskopie zu charakterisieren. Die geplante Infrastruk-

| ⁷⁰ *Light Emitting Diode.*

tur baut auf dem bereits existierenden Ernst-Ruska-Centrum für Mikroskopie und Spektroskopie mit Elektronen (ER-C) am Forschungszentrum Jülich (FZJ) auf. Das Ziel besteht in der Erweiterung des vorhandenen ER-C zu einer nationalen FIS mit beispiellosen Fähigkeiten, welche Möglichkeiten für die Weiterentwicklung des instrumentellen Designs und für einen gegenseitigen ertragreichen Austausch zwischen den wissenschaftlichen Gemeinschaften der Materialforschung und Lebenswissenschaften bietet (vgl. auch D.I.2.e).

I.1.b 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, was Entstehung, Eigenschaften und Entwicklung des Universums und all seiner Bestandteile umfasst.

Historisch gesehen basierte die astrophysikalische Forschung auf Beobachtungen, die bis Mitte des vorigen Jahrhunderts auf den optischen Wellenlängenbereich beschränkt waren, d. h. auf Sterne und interstellares Gas, die einen Teil ihrer Kontinuumschelligkeit und 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. Durch hochenergetische Teilchen, subsummiert unter dem Begriff „kosmische Strahlung“, und durch die kürzlich detektierten Gravitationswellen haben sich zwei neue Fenster für astrophysikalische Objektklassen und Prozesse geöffnet. Die Astronomie wurde somit unterteilt in die Forschungsbereiche Radio-, Infrarot-, optische, Röntgen- und Gammastrahlen-Astronomie.

Mittlerweile hat sich diese Unterteilung aufgrund der Orientierung an Objekten und Prozessen geändert. Da die meisten Astronominnen und Astronomen in ihrer Forschung objektorientiert arbeiten, wie beispielsweise an massereichen Sternen, Galaxien u. a., nutzen sie hierfür Informationen aus dem gesamten elektromagnetischen Spektrum, unter anderem Gammastrahlen vom energiereichsten Ende des Spektrums, und auch Teilchen der kosmischen Strahlung. Die Palette an astrophysikalischen Forschungswerkzeugen wird durch die theoretische und numerische Astrophysik zur beobachtenden Astronomie vervollständigt, um ein größtmögliches Verständnis der untersuchten Phänomene zu ermöglichen. Seit dem Beginn des letzten Jahrhunderts ist die moderne Astronomie eine Disziplin der Physik und hat sich in der jüngeren Vergangenheit hin zu einer breiteren Interdisziplinarität entwickelt, verbunden mit der Chemie, Biologie, Mineralogie, Geologie und Planetologie. Außerdem wird die Informatik durch die numerische Astrophysik beeinflusst.

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 ihre Expansion werden erforscht. Die Astrophysikerinnen und Astrophysiker sind zudem auf der Erkenntnissuche über das Wesen der sogenannten dunklen Materie, die unsichtbar, aber durch ihre Gravitationswirkung indirekt beobachtbar ist. Zusammen mit der dunklen Energie, einer noch ungeklärten Energiequelle, die für eine beschleunigte Ausdehnung des Universums verantwortlich ist, gehört die dunkle Materie generell zu den rätselhaftesten Forschungsfragen in Astronomie und Physik.

Die Sonnenphysik beschäftigt sich als Teil der Astrophysik mit der Sonne. Da es sich bei der Sonne um den uns am nächsten gelegenen Stern handelt, können dessen Eigenschaften eingehender studiert werden. Zusätzlich zu einem besseren Verständnis der Sonne und deren Funktionsmechanismen, dient die Sonnenphysik dem Zweck, andere Sterne mit ähnlichen Eigenschaften zu verstehen und mögliche Einflüsse auf die Erde abzuleiten, z. B. den Einfluss der Sonnenaktivität auf das Klima.

Forschungsinfrastrukturen in der Sonnenphysik, wie z. B. Sonnenobservatorien, können entweder satelliten- oder erdgebunden sein. Grundsätzlich sind Informationen aus dem gesamten elektromagnetischen Bereich von Interesse. Das Vorhaben **European Solar Telescope** (EST) verfügt als erdgebundenes Teleskop auf den Kanarischen Inseln über einen 4 m Spiegel. Das wesentliche Ziel besteht in der Messung des Magnetfeldes und dessen Struktur in der Sonnenatmosphäre mit zuvor unerreichter Präzision. Zu den konkurrierenden und komplementären Forschungsinfrastrukturen siehe D.I.3.e.

Innerhalb der deutschen astrophysikalischen Gemeinschaft sind die Priorisierungsprozesse für große Forschungsinfrastrukturen weniger klar definiert und transparent als beispielsweise in den USA und den Niederlanden, wo die Gemeinschaften in Abständen von zehn Jahren strategische Berichte als kontinuierliche Pläne erarbeiten. Im Auftrag der DFG stellt eine Expertengruppe des Rats Deutscher Sternwarten (RDS) Denkschriften zusammen, in denen die aktuelle Situation der deutschen Forschungsinfrastruktureinrichtungen zur Astrophysik zusammengefasst werden. Die letzte Denkschrift erschien 2003 ^{|71} und eine neue befindet sich in der Fertigstellungsphase. Die Denkschrift dient vorrangig der Rationalisierung astrophysikalischer Forschungsinitiativen.

^{|71} 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, zuletzt abgerufen am 21.04.2017.

Die Photonik beschäftigt sich mit der Erzeugung, Modulation und Detektion von Licht und dessen Partikeln, den Photonen. Der Begriff Photonik wurde analog zu dem Begriff Elektronik entwickelt^{|72} und wird synonym mit der Bezeichnung optische Technologien verwendet. Es handelt sich um ein relativ junges Forschungsfeld, das sich mit der Erfindung der ersten Laser um das Jahr 1960 entwickelte. Die Forschung im Bereich der Photonik ist fest in der Physik verwurzelt und Forschungsfragen umfassen beispielsweise die Entwicklung neuer Laser, die Erforschung optisch aktiver Materialien (z. B. Fasern oder Kristalle), die Kombination elektronischer und photonischer Elemente, die Physik einzelner Photonen oder die Attosekundenphysik, die u. a. die Echtzeitbeobachtung der Elektronenbewegung ermöglicht.

Die Anwendungsmöglichkeiten der Photonik gehen jedoch weit darüber hinaus und decken Bereiche wie Materialanalysen, Erkundungsmethoden in den Umweltwissenschaften, Untersuchungsmethoden in den Lebenswissenschaften, Telekommunikation und medizinische Verwendungsmöglichkeiten ab (vgl. auch D.III.1 und D.III.3). Momentan entwickeln sich diverse transdisziplinäre Felder, die auf den Grundsätzen der Photonik aufbauen, wie z. B. die Quanteninformationstechnologien, die Halbleiter-Nanophotonik, die Optomechanik, die kolloidale Photonik, die organische bzw. Biophotonik, die Opto-Atomik, die Quantenmetrologie oder die Polaritonik.

Neben dieser großen Bandbreite an Anwendungen in verschiedensten Forschungsfeldern spielt die Photonik auch eine wichtige Rolle in diversen Industriezweigen. Die Europäische Kommission listet die Photonik daher als eine der sechs wichtigsten Basistechnologien, die eine wesentliche Grundlage für Innovationen und Wirtschaftswachstum bilden können^{|73}, z. B. im Energiesektor mit Photovoltaik und im Gesundheitssektor mit bildgebenden Verfahren. Weiterentwicklungen in diesem Forschungsfeld und ein anhaltend großer Einfluss auf Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft werden erwartet.

Forschungsinfrastrukturen in der Photonik können zwei Klassen zugeordnet werden. Der erste Typ zielt darauf ab, die Photonik an sich voranzutreiben, während das wesentliche Ziel des zweiten Typs in der Anwendung der Photoniktechnologie liegt. In den USA existieren einige Forschungsinfrastrukturen, die sich einzig und allein der Photonik widmen und somit zum ersten Typ ge-

^{|72} In der Elektronik wird die Signalübertragung innerhalb von Schaltungen durch Elektronen durchgeführt. In der Photonik handelt es sich bei den Photonen um diejenigen Partikel, welche die Informationen tragen.

^{|73} Die anderen fünf wichtigsten Basistechnologien sind die Mikro- und Nanoelektronik, die Nanotechnologie, die industrielle Biotechnologie, die Hochleistungsmaterialien und die Hochleistungsfertigungstechnologien. https://ec.europa.eu/growth/industry/key-enabling-technologies_en, zuletzt abgerufen am 21.04.2017.

hören, wie z. B. das *Centre for X-Ray Optics* (CXRO) in Berkeley und das *American Institute for Manufacturing Integrated Photonics* (AIMphotonics) mit Hauptsitz in Albany. Der zweite Typ umfasst ESFRI-Landmarks wie die Extremlicht-Infrastruktur (ELI) oder den Europäischen Röntgenlicht-Freie-Elektronen-Laser (*European XFEL*), die hochenergetische Photonen oder Photonentechnologien beispielsweise zur Untersuchung von Materie-Licht-Interaktionen, biologischen Prozessen oder im Bereich der Materialforschung verwenden. Daher gehören in Bezug auf die Anwendung der Photonik auch Einrichtungen aus dem Bereich der Materialforschung, der Astrophysik, der Energieforschung etc. zu den komplementären Forschungseinrichtungen.

National Photonics Labs (NPL) ist als Plattform für die Forschung und Entwicklung im Bereich der Photonik konzipiert und verfügt über einzigartige Fähigkeiten in Bezug auf Design und Produktion von präzisen und feinstrukturierten optischen Elementen auf großflächigen und/oder schweren Komponenten. NPL steht in Kontakt mit Nutzergruppen aus diversen Forschungsbereichen, die Photoniktechnologien im Rahmen ihrer Forschung benötigen. Somit ist die Infrastruktur auf die Grundlagenforschung in großen Forschungsbereichen ausgerichtet und stellt gleichzeitig eine Anlage für Nutzerinnen und Nutzer aus Industrie und Wissenschaft zur Verfügung.

I.2 Ernst Ruska-Centrum 2.0 (ER-C 2.0) – Die Nationale Forschungsinfrastruktur für höchstauflösende Elektronenmikroskopie

I.2.a Wissenschaftliches Potenzial

Beschreibung

Die Eigenschaften von neuartigen Materialien werden häufig von physikalischen Effekten bestimmt, die auf der Nanoskala entstehen und sich grundlegend von den Volumeneigenschaften in der makroskopischen Welt unterscheiden. Durch gezielten Einsatz nanoskaliger Strukturen nimmt die Bedeutung von Oberflächen, von inneren Grenzflächen und von Quanteneffekten zu, wodurch neue Eigenschaften erschlossen werden, die ein hohes wissenschaftliches, technologisches und ökonomisches Potenzial aufweisen. Um beim Design von Nanomaterialien weiteren Fortschritt erzielen zu können, ist nach Angaben der Konzeptverantwortlichen ein tiefgreifendes Verständnis auf Ebene der atomaren und molekularen Bausteine erforderlich. Von der Charakterisierung auf atomarer Ebene wird daher ein wichtiger Beitrag zur Forschung, im Ingenieurwesen und darüber hinaus erwartet. ER-C 2.0 soll die externen Nutzerinnen und Nutzer insbesondere bei der Weiterentwicklung der folgenden Forschungsfelder unterstützen:

- _ Materialwissenschaft: Materialien können als Technologietreiber zu Lösungen globaler Herausforderungen und zu industriellem Fortschritt beitragen.

Dabei steigen die Anforderungen an die Materialien stetig und stellen eine Herausforderung an ihre Entwicklung dar. Prototypische Beispiele für neue Technologien, für die eine hochgenaue Untersuchung atomarer Strukturen benötigt wird, sind in der Energieforschung zu finden, z. B. bei der Verbesserung der Wirkungsgrade oder der Realisierung neuer Energiewandlungs- und Speicherverfahren.

- _ Festkörperphysik und -chemie: Sie sind häufig die Grundsteine für Fortschritte in aktuellen und zukünftigen Technologien. Schnelle Entwicklungen können in diesen Bereichen nur stattfinden, wenn die zugrundeliegenden Phänomene auf der atomaren Ebene verstanden und beeinflusst werden können. Zwei Beispiele sind hier die moderne CMOS-Technologie (*complementary metal-oxide-semiconductor*) und Katalysatoren.
- _ Weiche Materie: Durch neue chemische Verfahren und Technologien wird die Synthese von molekularen und polymeren Nanomaterialien mit neuartigen Funktionalitäten möglich. Die Einsatzmöglichkeiten reichen dabei von neuen Strukturwerkstoffen über elektronische Schaltelemente bis hin zu Katalysatoren und biokompatiblen Materialien. Alle hochauflösenden Charakterisierungsverfahren sind dabei aber vor besondere Herausforderungen gestellt, weil die Wechselwirkung der Sonden mit den Molekülen zu deren Zerstörung führen kann. Das ER-C 2.0 zielt daher auf die Entwicklung schädigungsarmer oder zerstörungsfreier höchstauflösender Elektronenmikroskopieverfahren ab.
- _ Lebenswissenschaften: Im Bereich der Lebenswissenschaften sollen mithilfe des ER-C 2.0 zwei wesentliche Fragestellungen bearbeitet werden: Die Aufklärung der dreidimensionalen Struktur und Dynamik komplexer makromolekularer Strukturen und die Bestimmung der Struktur biologischer Zellen und ihrer Bestandteile.

Der Ausbau des ER-C zur nationalen FIS basiert maßgeblich auf Installation und Betrieb von fünf neuentwickelten Instrumenten der nächsten Generation: Ein Transmissionselektronenmikroskop (TEM) zur atomar auflösenden tomographischen Materialanalytik, ein farbfehlerkorrigiertes, mit flüssigem Helium gekühltes höchstauflösendes TEM, ein zeitauflösendes TEM für in-situ-Experimente, ein Niederspannungs-TEM mit höchster spektroskopischer Auflösung sowie ein Kryo-PICO TEM |⁷⁴ für biomedizinische Anwendungen. Die Auswahl und Spezifikation der Geräte erfolgte aufgrund der für die Lösung der oben kurz beschriebenen wissenschaftlichen Fragestellungen benötigten Charakterisierungsmethoden, der bestehenden Innovationen und neuen Entwick-

|⁷⁴ PICO ist der Name eines bereits existierenden Instruments am ER-C, Kryo weist auf die Kühlung mit flüssigem Helium hin.

lungen im Bereich der Elektronenoptik sowie des Austauschs mit führenden Herstellern.

Die hochauflösende Elektronenmikroskopie stellt eines der etablierten Verfahren zur Untersuchung atomarer und molekularer Strukturen dar. Komplementäre und konkurrierende Methoden sind Untersuchungen mit Hilfe von Neutronenstreuung, Synchrotronstrahlung oder Röntgenlaserstrahlung (durch Freie-Elektronen-Laser), Rastersondenmethoden und die Atomsondentomographie. Nach Angaben der Konzeptverantwortlichen wird keine existierende oder geplante Infrastruktur in absehbarer Zeit ein mit dem ER-C 2.0 vergleichbares Spektrum an elektronenoptischen Geräten mit vergleichbaren Leistungscharakteristika betreiben.

Bewertung

Das Konzept zielt darauf ab, eine Infrastruktur aus Elektronenmikroskopen der nächsten Generation zu entwickeln und diese zu kombinieren, um die Funktionalität von anorganischer, weicher und biologischer Materie und deren Hybriden auf atomarer und molekularer Ebene zu charakterisieren und zu verstehen. Die Grenzen der Elektronenmikroskopie werden sich hinsichtlich der Charakterisierung sowohl anorganischer weicher als auch biologischer Materie signifikant verschieben, da die Instrumentierung und Technik weiterentwickelt und schnelle Analysemethoden geschaffen werden. Angesichts der jüngsten Entwicklungen bei den relevanten Instrumentierungen – einschließlich der Entwicklungen beim direkten Elektronendetektor, der Phasenplatte und der ultraschnellen Elektronenquelle sowie der potenziellen Einbeziehung einer Aberrationskorrektur in diese Plattformen – kommt die geplante FIS genau zum richtigen Zeitpunkt.

Im Allgemeinen ist die Elektronenmikroskopiegemeinschaft weltweit unterteilt in diejenigen, die Materialien (anorganische Stoffe allgemein), und diejenigen, die biologische (organische) Substanzen charakterisieren. Die Schaffung einer weltweit führenden Einrichtung zur Charakterisierung dieser beiden Arten von Materie, wodurch die Expertinnen und Experten der Technik- und Instrumentierungsentwicklungen lokal vereint werden, wird einen beiderseitigen Ideenaustausch zwischen diesen Gemeinschaften ermöglichen. Man kann davon ausgehen, dass dadurch neue Entwicklungen sowohl innerhalb der Bereiche als auch in deren Grenzbereichen ausgelöst werden. Diese gemeinsame Ansiedlung in einem Zentrum stellt eine wesentliche Stärke des Konzepts dar. Die Expansion der weltweit führenden Forschungsgruppe im Bereich der Elektronenmikroskopie anorganischer Materie, in den Bereich der weichen Materie und der biologischen Proben wird offenkundig Synergien ermöglichen. Dies wird als Stärke des Konzeptes erachtet. In diesem Bereich besteht ein signifikantes wissenschaftliches Potenzial, da Deutschland eines der führenden Zentren für biologische TEM-Forschung ist.

Jedes der geplanten fünf Instrumente verfügt über neuartige Aspekte, die eine instrumentelle Entwicklung erfordern, woraus sich starke technologische Innovationen ergeben.

Das TOMO-Instrument repräsentiert die erste Kombination der bildgebenden Transmissionselektronenmikroskopie mit atomarer Auflösung und der Atomsondenmikroskopie in ein und demselben Instrument und sollte zu einer verbesserten Charakterisierung von realer Materie im atomaren Maßstab in drei Dimensionen führen. Besonders herausragend an dem Konzept ist der Plan, die Atomsondenmikroskopie mit der aberrationskorrigierten (S)TEM |⁷⁵ zusammenzuführen. Im Fall eines Erfolgs würde dieses Instrument zu einem enormen Vorsprung im Bereich der 3-D-Mikroanalyse für ER-C 2.0 und Deutschland führen, da dies von wesentlichem Interesse für die Metallurgie- und die Materialforschung sowie Anwendungen im Bereich der mehrschichtigen Halbleitermaterialien wäre.

Das CRYO-Instrument wäre das erste, welches das ultrahohe Vakuum und die Flüssig-Heliumkühlung der Probenplattform mit einer chromatischen Aberrationskorrektur verbinden würde, was zu dreidimensionalen Strukturaufnahmen mit der Messgenauigkeit eines einzelnen Atoms führen soll. Eine wichtige Innovation, die durch die CRYO-Konfiguration angeregt wird, ist die Reduzierung des Johnson-Rauschens in der Elektronenoptik und die geplante Überwindung der 30-Pikometer-Auflösungsgrenze. Die Kryokühlung der Proben und die Reduzierung der Beschleunigungsspannung sollte sehr viel mehr qualitativ hochwertige Studien von leichten Elementen und mehr volatile Proben zugänglich machen, als es jemals zuvor möglich war. Phänomene wie Gitterverzerrungen in den kleinstmöglichen Clustern und sogar in bestimmten einfachen molekularen Strukturen sollten möglich sein. Die Nutzung einer Flüssig-Heliumkühlung für die Linsen ist vollkommen neuartig. Dies sorgt nicht nur für eine quantitative Steigerung der Gitterbilder sondern stellt sehr viel hochwertigere Bilddaten zu den leichten Elementen wie O, N, C, B, Be, Li und sogar Wasserstoff zur Verfügung. Die Kombination der Kryokühlung mit supraleitenden Objektivlinsen verfügt über das Potenzial, eine herausragende Leistungsfähigkeit zu entwickeln, was dazu beiträgt, dass dieses Vorhaben so reizvoll und von einem hohen Wert ist.

Das FEMTO-Instrument würde die erste experimentelle Umsetzung der Kombination einer pulskohärenten ultrahellen Quelle mit einem Aberrationskorrektor ermöglichen und zu bedeutenden Verbesserungen im Bereich der kombinierten zeitlichen und räumlichen Charakterisierung von Materie führen.

| ⁷⁵ (Scanning) Transmissions Electron Microscope.

Dank seiner ultraschnellen Spektroskopiefähigkeiten besitzt dieses Instrument das Potenzial für bahnbrechende künftige Entwicklungen.

Das SPECTRO-Instrument würde die erste Kombination aus führenden Instrumenten zur Untersuchung monochromatischer Elektronenquellen mit einer mit Flüssig-Helium gekühlten Probenplattform darstellen. Dieses Instrument soll die Charakterisierung der elektronischen Struktur der Schnittstellen von kondensierter Materie im atomaren Maßstab in relevanten Schemata ermöglichen. Durch seine Fähigkeit, eine einzigartige Kombination aus einer hohen Spektralauflösung mit Flüssig-Heliumkühlung zu ermöglichen, würde das äußerst wettbewerbsfähige SPECTRO-Instrument eine weltweit führende Position einnehmen.

Das BIO-Instrument repräsentiert die erste Kombination der chromatischen Aberration mit einer mit Flüssig-Helium gekühlten Probenplattform. Das geplante Instrument würde das höchste Spezifikationsniveau bei der Untersuchung von Proteinstrukturen ermöglichen, welches gegenwärtig für ein TEM zur Verfügung steht. Es könnte sowohl die Auflösung verbessern als auch Strahlungsschäden bei der Charakterisierung von biologischer Materie begrenzen. Die Eingliederung der korrelativen Fluoreszenzmikroskopie und die Einbeziehung des integrierten Kryo-FIB (*Focused Ion Beam*) ist eine anspruchsvolle Aufgabe und wird hohe Investitionen hinsichtlich des Personals erfordern. Die Entwicklung eines derartigen Geräts würde Deutschland mit Sicherheit eine einzigartige Anlage zur Verfügung stellen. Basierend auf den Erfahrungen der Gemeinschaft der Lebenswissenschaften sollte die Konfiguration hinsichtlich der Heliumtemperatur für das BIO-Mikroskop erneut überprüft werden. Um die C_c - und C_s -Kombination und deren Mehrwert für biologische Proben besser einschätzen zu können, wäre ein Vergleich mit den verfügbaren Richtwertdaten von dem C_s -korrigierten Titan Krios aus Göttingen hilfreich. Die Eingliederung der C_c -Korrektur in das Instrument könnte das Gerät weiter verbessern und ihm eine weltweit führende Leistungsstärke ermöglichen.

Diese neuen Instrumente werden insbesondere die neuesten Innovationen im Instrumentendesign nutzen. Die Instrumentierungen werden ER-C 2.0 mit Sicherheit einen Gesamtvorsprung in Bezug auf das wissenschaftliche Potenzial ermöglichen, da sie eine viel größere Bandbreite an Leistungen in Deutschland und auch im internationalen Rahmen anbieten können. Die FIS startet bereits auf einem sehr hohen Niveau der Instrumentierung. In Bezug auf ihr wissenschaftliches Potenzial sind drei der Instrumente als revolutionär einzustufen: TOMO, CRYO und FEMTO, während SPECTRO und BIO über einige neuartige Elemente verfügen. Mit „revolutionär“ ist in diesem Zusammenhang eine Instrumentierung gemeint, die deutlich über die aktuell verfügbare Instrumentierung hinausgeht und wesentliche Innovationen in Bezug auf das Design beinhaltet. Die anderen zeichnen sich dadurch aus, dass sie jüngst entwickelte Detektoren umfassen, insbesondere direkte Elektronendetektoren und die

neuesten Verfeinerungen im Bereich der Aberrationskorrektur. Die wahrscheinlich bahnbrechendsten künftigen Entwicklungen scheinen durch die CRYO- und FEMTO-Geräte möglich zu sein.

Hinsichtlich des lebenswissenschaftlichen Anteils des Konzepts werden eindringlich engere Verbindungen zur Elektronenmikroskopie-Gemeinschaft in Deutschland empfohlen. Es wäre von enormem Vorteil für dieses Konzept, wenn das Knowhow und die technische Expertise mit dieser Gemeinschaft ausgetauscht würden. Deutschland kann auf eine lange Geschichte als einer der führenden Kryo-EM-Entwickler zurückblicken, was die Anpassung und Entwicklung von Technologien betrifft, die heutzutage durch die Lebenswissenschaften genutzt werden. Gleichzeitig ist die deutsche Kryo-EM-Gemeinschaft im nationalen Rahmen sehr stark. Verbindungen zwischen diesen Laboratorien in Deutschland und dem Unternehmen Thermo Fisher (früher FEI) in den USA haben wichtige und wesentliche Beiträge dazu geleistet, dass die „Auflösungsrevolution“ möglich wurde, die wir derzeit im Kryo-EM-Einzelpartikelbereich erleben. Unter anderem bestand der Beitrag dieser Teams in der gemeinsamen Entwicklung, Erprobung und Konstruktion von Hardware mit FEI (Kryo-TEM und Kryo-Lichtmikroskope), direkten Detektorengeräten (gemeinsam mit MRC (*Medical Research Council*)), Ionendünnungstools und Softwaretools.

Eine Spitzeninfrastruktur wie die im Konzept beschriebene ist von Natur aus anpassungsfähig – sie definiert in die Zukunft gerichtete Forschungsmöglichkeiten und kann somit genutzt werden, um viele verschiedene wissenschaftliche Fragen zu beantworten, sobald diese aufkommen. Das offene Nutzungskonzept, das den Zugang über ein *peer review*-Verfahren regelt, stellt sicher, dass der Zugang zu der Instrumentierung offen genug ist, um die Flexibilität über die Lebensdauer der Instrumente aufrechtzuerhalten.

Dieses Konzept ist äußerst wettbewerbsfähig, was insbesondere auf die ausgewiesene Erfolgsbilanz des ER-C im Bereich der Materialforschung zurückzuführen ist. Weltweit gibt es keine anderen Bemühungen, die diesem Konzept in Bezug auf die Größe und den Anspruch entsprechen. Einzelne Laboratorien, wie z. B. in Japan, entwickeln derzeit einzelne Instrumentierungen, die über ähnliche Charakteristika verfügen.

I.2.b Nutzung

Beschreibung

Die wissenschaftlichen Schwerpunkte der erwarteten Nutzergruppen werden in den oben beschriebenen Forschungsfeldern und den Gebieten dazwischen liegen. Diese Bereiche sind praktisch an allen deutschen Universitäten sowie an außeruniversitären Forschungseinrichtungen vertreten. Dementsprechend breit und divers ist die erwartete Nutzerschaft. Die Steigerung der methodi-

schen Vielfalt und die thematische Verbreiterung durch die Weiterentwicklung zum ER-C 2.0 lassen laut Konzept einen deutlichen Anstieg der Nutzerzahlen erwarten.

Das Nutzungskonzept des ER-C 2.0 beruht auf einer projekt- und themenorientierten Vergabe von Messzeit an Einzelnutzerinnen und -nutzer sowie Nutzergruppen. Die Instrumente sollen auswärtigen Nutzerinnen und Nutzern für bis zu 75 % der gesamten Messzeit zur Verfügung stehen. Dies entspricht für die fünf neuen Instrumente zusammen etwa 700 Messtagen pro Jahr. Anträge auf Messzeit werden in einem wissenschaftsgeleiteten Begutachtungsprozess von einer externen Gutachterkommission begutachtet. |⁷⁶ Nutzerinnen und Nutzer mit bewilligten Anträgen erhalten Zugang zu den benötigten Geräten und werden an diesen von erfahrenen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern betreut. Die Nutzung beinhaltet auch die Weiterverarbeitung der Messdaten. Messzeit an den Instrumenten des ER-C 2.0 wird für wissenschaftliche Nutzung kostenfrei sein. Die assoziierten Partner des ER-C 2.0 werden bestimmte Instrumente wissenschaftlich betreuen und zudem mit den lokalen Nutzergemeinschaften vernetzt sein. Darüber hinaus führt das ER-C 2.0 regelmäßige Nutzerbefragungen durch.

Ein auf die Belange der Elektronenmikroskopie angepasstes Datenmanagement-Konzept ist integraler Bestandteil des ER-C 2.0. Dabei wird eng mit den Spezialistinnen und Spezialisten des Jülicher Supercomputing Centre zusammengearbeitet und auf die Erfahrungen anderer Gemeinschaften zurückgegriffen werden. Daten werden erst nach einer Sperrfrist von vier Jahren für die Nutzergemeinschaft über eine Web-Plattform zur Verfügung gestellt. Metadaten sollen in möglichst großem Umfang erfasst werden. Dazu gehört nach Möglichkeit auch eine genaue Synthese- und Prozessbeschreibung der Materialien. Das ER-C entwickelt bereits eigene Softwarepakete sowie Erweiterungen zu kommerzieller Software. Diese werden frei zur Nutzung zur Verfügung gestellt. Für das ER-C 2.0 wird beabsichtigt, diese Aktivitäten weiter auszubauen und zukünftig kostenfreie Softwarerepositorien anzubieten. Es wird ein jährliches Datenaufkommen in der Größenordnung von 500 Terabyte (TB) erwartet. Lokal werden Onlinespeicherressourcen für die primäre Datenauswertung vorgehalten. Die langfristige Speicherung erfolgt in kostengünstigeren, zentralen Datenspeichern der Helmholtz Data Federation.

Im Forschungszentrum Jülich besteht ein Qualitätssicherungssystem. Für das ER-C 2.0 wird zu Beginn der Aufbauphase ein eigener *code of conduct* erarbeitet.

|⁷⁶ Das Verfahren orientiert sich an der „European Charter of Access to Research Infrastructures“ und wird auf den Webseiten des ER-C veröffentlicht.

Obwohl die meisten Daten in dieser FIS zur direkten Nutzung vorgesehen sind, ist es angesichts der zunehmenden Komplexität der Datenanalyse und des steigenden weltweiten Datenaustauschs wahrscheinlich, dass auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Daten nutzen, die selbst nicht unmittelbar an der Datenakquirierung beteiligt waren.

Es wird erwartet, dass die Instrumentierungen stark genutzt werden, d. h. es wird von einer Nutzung von fast 100 % der verfügbaren Zeit ausgegangen. Das Konzept ist mit hohen finanziellen Investitionen verbunden. Die geplante Größe der FIS und die erwarteten Kosten stehen im ausgewogenen Verhältnis zur Größe der Nutzergemeinschaft.

Das Zugangsmanagement für externe Nutzerinnen und Nutzer ist recht typisch für diese Art von FIS. Es handelt sich um einen transparenten exzellenzgetriebenen Evaluierungsprozess, welcher der Europäischen Charta für den Zugang zu Forschungsinfrastrukturen entspricht. Die Methoden sowohl für die hochmoderne Elektronenmikroskopie als auch für die Elektronentomographie sind noch nicht ausgereift. Sie sind hochspezialisiert und erfordern umfangreiche Schulungsmaßnahmen und Expertise, insbesondere nach der Datenerhebung. Das vorhandene Personal des ER-C weist eindrucksvolle Erfolge bei der Umsetzung dieser Verfahren und der Betreuung derartiger Weltklasse-Instrumentierungen auf. Sie haben zudem ihre Führungsqualitäten bei der Entwicklung und Nutzung der komplexen Instrumentierungen in einer Nutzerumgebung nachgewiesen. Ebenso haben sie große Expertise in der Koordinierung von Forscherinnen und Forschern aus Deutschland, der EU und der internationalen Gemeinschaft, die die Instrumentierung und die lokale Expertise nutzen können, um wissenschaftliche Entdeckungen in aller Welt voranzutreiben. Durch die Kooperation mit externen Partnern wird ER-C 2.0 in der Lage sein, eine angemessene Expertise für Instrumentierungen zur Verfügung zu stellen, bei denen weiche Materie und biologische Proben im Fokus stehen.

Es ist geplant, externen Nutzerinnen und Nutzern 75 % der verfügbaren Messzeit gebührenfrei zur Verfügung zu stellen. Die existierende ER-C-Infrastruktur verfügt bereits über signifikante Kapazitäten und es wird im Konzept nicht ersichtlich, welcher Anteil der bestehenden Kapazitäten mitgenutzt wird, um diese Messzeiten zu ermöglichen.

Die Durchführung von regelmäßigen Nutzerumfragen und die Bildung eines wissenschaftlichen und technischen Beirats wird die zukünftige Ausrichtung der FIS mitbestimmen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt soll dieser Beirat mit Vertretern der Nutzergruppen besetzt werden. Es wird empfohlen, dass ein zusätzlicher, unabhängiger, externer Beratungsausschuss gegründet wird, der ebenfalls Entwicklungen anstoßen kann.

Im Bereich der modernen Elektronenmikroskopie werden die Daten fast ausschließlich digital erhoben. Ein wichtiges Thema ist daher die Erhebung, Analyse, Speicherung und Archivierung der Daten. Hierbei ist eine besondere Weitsicht erforderlich, was auf die jüngsten Entwicklungen in der direkten Elektronendetektion und schnellere Kameras zurückzuführen ist, die eine enorme Datenmenge in nur wenigen Sekunden erzeugen können. In der bestehenden ER-C-Infrastruktur geht man laut Schätzungen bei derzeitiger Verwendung der Instrumentierungen von etwa 50 Gigabyte (GB) pro Tag aus. Es wird prognostiziert, dass im Fall einer Finanzierung des ER-C 2.0 eine Datenmenge von mindestens 2 TB pro Tag und 500 TB pro Jahr erreicht wird.

Die Datenanalyse- und Datenextraktionsstrategien unterscheiden sich in den Materialforschungs- und Lebenswissenschaftengemeinschaften voneinander. Die Konzeptverantwortlichen verfügen bezüglich der Datenanalyse und Datenextraktion über solide Erfahrungen aus der Materialforschungsgemeinschaft. Die Zusammenarbeit mit dem Jülich Supercomputing Centre ist geplant, da es sich bei der Verwaltung derartiger Datenmengen um eine gewaltige Herausforderung handelt. Ein gewisser Anteil der Daten wird sicherlich für interne und externe Arbeiten von den Mitgliedern des Konsortiums verarbeitet. Die weiteren Daten werden zum Zweck der Offline-Verarbeitung durch die Nutzerinnen und Nutzer anderweitig abgespeichert werden. Die Gesamtheit der Daten wird für einen Zeitraum von mindestens 10 Jahren auf kosteneffektive Weise in den zentralen Datenspeicherungssystemen der Helmholtz Data Federation-Infrastruktur gespeichert. Um sinnvolle Ergebnisse aus den Elektronenmikroskopiedaten extrahieren zu können, müssen die Aufnahmen mittels einer Software verarbeitet werden, die gegenwärtig recht komplex gestaltet ist und häufig nicht über intuitive Bedienoberflächen und Dokumentationen verfügt. Ein Mehrwert, auf den die Verfasser hingewiesen haben, ist die Entwicklung ihrer eigenen, nicht proprietären Softwarepakete für die breitere Nutzergemeinschaft, um so die Hürde der Offline-Bild- und Datenverarbeitung zu umgehen. Während diese Ressourcen in der Materialforschung bislang tatsächlich proprietär sind, läuft die Softwareentwicklung für die Bildverarbeitung bei biologischen Proben in eine andere Richtung. In den Lebenswissenschaften stehen viele dieser Programme bereits als Open-Source-Software zur Verfügung. Die Nutzung dieser Ressourcen wäre für ER-C 2.0 vorteilhafter gegenüber den separaten eigenen Entwicklungen. Außerdem bewegt sich die Gemeinschaft in den Lebenswissenschaften schnell in Richtung GPU |⁷⁷-Computing und der Verwendung von einzelnen preiswerten Desktop-Arbeitsplätzen anstelle von Supercomputing-Zentren.

| ⁷⁷ Grafikprozessor (*graphics processing unit*).

Des Weiteren entwickelt eine Arbeitsgruppe eine Strategie für das Management der Forschungsdaten und Empfehlungen für Standards bei der Speicherung, dem Management und Austausch von Forschungsdaten mit Ausrichtung auf eine offene Datenpolitik. Dies ist eine wichtige Komponente des Konzepts.

Bei ER-C handelt es sich um eine Infrastruktur, die, was den vertraulichen Umgang mit Informationen und Daten betrifft, exzellent mit Nutzerinnen und Nutzern, die sowohl einen akademischen als auch einen industriellen Hintergrund haben können, agiert. ER-C 2.0 wird die Standards des FZJ und der Helmholtz Gemeinschaft einhalten und in Fällen, in denen dies während der Aufbauphase für erforderlich gehalten wird, zusätzliche Standards entwickeln. Im Allgemeinen sind die Maßnahmen hinsichtlich der Qualitätssicherung, der guten wissenschaftlichen Praxis beim Umgang mit Forschungsdaten und Publikationen, des Verhaltenskodizes und der ethischen Standards solide und angemessen.

I.2.c Umsetzbarkeit

Beschreibung

Die Leitung des ER-C hat ausführliche Gespräche mit führenden Mikroskopherstellern über die technische Machbarkeit der vorgeschlagenen fünf neuen Instrumente geführt. In diesen Gesprächen wurden die grundlegenden Konzepte, die technischen Leistungsspezifikationen sowie die erforderlichen Zeit- und Kostenrahmen festgelegt. Es wurden Zusagen der Hersteller bezüglich der verbesserten Komponenten, wie z. B. der Vakuumsysteme, der Probenkammern und der Detektoren der neuen Mikroskope, eingeholt. Zu den konkreten technischen Neuerungen gehört u. a. eine supraleitende Linse zur Verbesserung der räumlichen Auflösung. In einigen Fällen wurden von den Herstellern *proof-of-principle*-Experimente durchgeführt, die die Funktionstüchtigkeit der vorgeschlagenen Konzepte bestätigen.

Laut Konzept haben das ER-C und seine Vorgänger zusammen mit industriellen Partnern eine führende Rolle bei der Einführung der sphärisch und chromatisch korrigierten Elektronenoptik eingenommen und diese Techniken als verlässliche Messmethoden zur Untersuchung von Festkörperstrukturen und Prozessen auf atomarer Ebene etabliert. Das Personal besitzt umfassende Erfahrung im Management von ähnlichen elektronenoptischen Projekten. Seit seiner Gründung im Jahr 2004 stellt das ER-C diese Ressourcen im Rahmen einer Zusammenarbeit mit der DFG auch externen Nutzerinnen und Nutzern zur Verfügung.

Zentrale Organe und Funktionsträger des ER-C 2.0 werden die Versammlung der Vertragspartner, der Hauptausschuss, das aus drei Personen bestehende Direktorium und die Geschäftsstelle sein. Weitere, extern besetzte Beratungs-

gremien des ER-C 2.0 werden der wissenschaftliche Beirat und der Gutachterausschuss sein.

Nach Angaben der Konzeptverantwortlichen verfügt das ER-C über ausreichende wissenschaftliche Expertise und Personal, um die Entwicklung und den Aufbau der vorgeschlagenen Infrastruktur durchzuführen. Mit der Etablierung der Infrastruktur ER-C 2.0 und der erfolgreichen Installation der neuen elektronenoptischen Instrumente wird eine thematische und methodische Verbreiterung einhergehen. Dem soll durch die Einrichtung dreier Professuren Rechnung getragen werden (in Düsseldorf und Aachen), welche die Kompetenzen und zusätzliche Personalressourcen für die neuen Bereiche einbringen.

Bewertung

Das Konzept verfügt über Komponenten mit hohem Risiko und gleichzeitig einem hohen Rentabilitätswert, insbesondere was die CRYO-, FEMTO- und TOMO-Instrumente betrifft. Das BIO-Instrument in Kombination mit der Helium-Kühlung weist signifikante Risiken mit unklarer Rentabilität auf. Das SPECTRO-Instrument verfügt über neuartige Elemente, ist jedoch eher ein Upgrade und daher mit geringerem technischen Risiko behaftet.

Im Hinblick auf den Erfolg des Konzeptbestandteils der Lebenswissenschaften werden die Gewinnung wissenschaftlicher Expertise und der interne Ausbau der Fähigkeiten auf diesem Gebiet Schlüsselemente des Erfolgs sein. Der optimierte Einsatz des in Jülich verfügbaren High-End-Titan-Krios-Gerätes, auf Anwendungen in den Lebenswissenschaften sowie der weichen Materie (SP- oder Tomographie-Konfiguration), wird die Grundlage für Weiterentwicklungen in diesen Themenfeldern sein. Die sofortige Verfügbarkeit von biologischen High-End-TEMs für die Wissenschaftsgemeinschaft in Deutschland sollte die höchste Priorität erhalten, und dafür sollte ausreichend neues wissenschaftliches Personal rekrutiert werden. Das aktuelle Konzept würde durch einen expliziten Plan für den Aufbau von Wissenschaftsgemeinschaften im Bereich der Biowissenschaften am Forschungsstandort signifikant gestärkt werden. Ermutigende Schritte in diese Richtung wurden durch die Veranstaltung von zwei Konferenzen zwischen der Einreichung des Konzepts und der Diskussion der Konzeptverantwortlichen mit dem mandatierten Ausschuss unternommen.

Die Konzeptverantwortlichen haben klargestellt, dass es alternative Hersteller für jedes Instrument gibt (mit Kostenvoranschlägen, zu ähnlichen Preisen), wodurch es dem ER-C 2.0 möglich ist, zu einem anderen Geräteanbieter zu wechseln, falls dies nötig sein sollte und das finanzielle Risiko so zu verringern.

Der Erfolg eines nationalen Zentrums wie ER-C 2.0 wird von dessen Nutzbarkeit für die Zielgemeinschaften abhängen. Es ist weithin anerkannt, dass Zen-

tren, an denen Expertinnen und Experten für die entsprechenden Wissenschaftsgebiete arbeiten, teuren Einrichtungen mit Einzelgeräten überlegen sind. Dies wird weltweit deutlich, da verschiedene Nationen ihre Synchrotron-Röntgenquellen, Neutronenquellen und in vielen Fällen ihre Elektronenmikroskopieanlagen zentral betreiben. In der Vergangenheit galt dies weniger für die biologische Wissenschaftsgemeinschaft. Diese prüft jedoch im Bereich der biologischen Elektronenmikroskopie zentrale Einrichtungen, wie sie das Konzept vorschlägt, aufzubauen.

Die Umsetzung wird durch die Erweiterung um wichtige Partnerschaften zusätzlich erleichtert. Universitäten und nicht-universitäre Forschungseinrichtungen werden die nächste Ebene des Netzwerks bilden und weitere weiterreichende Kooperation mit der Industrie sind vorgesehen.

Das existierende ER-C kann Erfolge hinsichtlich des Managements von Instrumentierungen mit einer ähnlichen Komplexität nachweisen, wie auch in der Bereitstellung dieser für eine große internationale Nutzergemeinschaft. Das Konzept beschreibt auf angemessene Art und Weise einen zweckdienlichen Management- und Personalplan für den Betrieb der Anlage. Des weiteren liegen Pläne für die Gerätebeschaffung einschließlich Spezifikationen vor. Die dargelegte Finanzierungsstruktur ist angemessen, sodass ausreichend Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an der FIS beschäftigt sein werden. Zwischen der Einreichung des Konzepts und der wissenschaftlichen Bewertung wurde in den Lebenswissenschaftenbereich investiert. Eine Fortsetzung der Priorisierung dieses Aspekts wird dringend empfohlen.

Eine weitere Empfehlung besteht darin, einen internationalen Beratungsausschuss einzurichten, der zusätzliche Orientierungshilfen für die Infrastruktur zur Verfügung stellen kann.

Eine wichtige Komponente der Umsetzung ist auch die Qualität der involvierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und die Ressourcen, die diesen zugewiesen werden sollen. Alle involvierten Verfasser verfügen nachweislich über eine beeindruckende Erfolgsbilanz, sowohl unabhängig voneinander als auch in ihrer Gesamtheit, was beinahe alle wichtigen Aspekte der modernen Elektronenmikroskopie betrifft: Von der Anwendung der Theorie bis zum Entwurf der Hochleistungsinstrumentierung, der neuartigen und weitsichtigen Experimentiermethoden, der quantitativen Simulation und der qualitativ hochwertigen Grundlagenforschung. Bei den Konzeptverantwortlichen handelt es sich um weltweit anerkannte Spitzenkräfte auf ihrem Gebiet, und die vorhandenen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am ER-C sowie bei den angegliederten Instituten sind ebenso ausgewiesen. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter haben höchste Kompetenzen im Bereich der exakten Wissenschaften. Dieses Konzept zeigt aber auch ihre wesentliche Schwäche auf, bei der es sich um den vergleichsweise kleinen Input im Bereich der weichen Materie und Biowissenschaften handelt. Durch die im Konzept vorgeschlagene Ergänzung durch neue

Anlagen, die speziell auf die Behebung dieses Defizits ausgerichtet sind, und drei neue Leiter (d. h. zwei neue W3-Professoren und einen Direktor), die auf weiche Materie, die Polymerforschung und die Lebenswissenschaften ausgerichtet sind, würde das ER-C 2.0 Konsortium zu einem der weltweit fähigsten Elektronenmikroskopiezentren der Welt mit einem umfassenden Leistungsspektrum werden.

Die Infrastruktur des ER-C ist eingerichtet und das Knowhow für die neue Infrastruktur steht am Zentrum zur Verfügung. Die Plausibilität der vorgesehenen Einbettung der neu entworfenen Instrumentierungen in die Strategie der drei beteiligten Träger und des ER-C ist gut begründet, was die räumlichen Anforderungen, die Organisations- und Projektstrukturen sowie die Verwaltungs- und Personalpläne für den Betrieb betrifft. ER-C verfügt bereits nachweislich über eine weltweit führende Position in diesem Bereich und es handelt sich um eine etablierte und ausgereifte Institution.

I.2.d Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

Beschreibung

Laut Konzept hat der Wissenschaftsstandort Deutschland die Entwicklung der Elektronenmikroskopie wie in nur wenigen anderen experimentellen Verfahren geprägt: Das erste Elektronenmikroskop wurde durch Ruska und Knoll im Jahr 1931 entwickelt, das erste kommerzielle TEM wurde von der Firma Siemens 1938 gebaut und Korrektoren für die sphärische und chromatische Aberration wurden durch Rose und Haider entwickelt.

Mit dem ER-C 2.0 soll diese nationale Stärke fortgeschrieben und ausgebaut werden. Die Konzeptverantwortlichen gehen davon aus, dass die Installation der nächsten Generation von Instrumenten einen Meilenstein in der Entwicklung der atomaren Mikroskopie darstellen wird, da das ER-C 2.0 die weltweit führende Einrichtung für ultrahochauflösende Elektronenmikroskopie sein wird. Zudem wird das ER-C auch vertiefende Aktivitäten in den elektronenoptischen Grundlagen betreiben, um seine Expertise zu erhalten und weiter zu entwickeln.

Eine neue Dimension der Zusammenarbeit soll zudem mit den komplementären Infrastrukturen im Bereich der Synchrotronstrahlungsquellen, der Freien-Elektron-Laser und der Neutronenquellen erschlossen werden. Eine Kopplung der sich ergänzenden Methoden dieser nationalen Infrastrukturen mit den Möglichkeiten des ER-C 2.0 ermöglicht Synergien, die weit über die bisherigen disziplinären Grenzen hinausgehen.

Das ER-C 2.0 wird laut Konzept jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern einen schnelleren Weg in die wissenschaftliche Unabhängigkeit eröffnen. Die Infrastruktur wird Trainingskurse und Sommerschulen, Möglich-

keiten für unabhängiges Arbeiten für Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler sowie spezielle Besucherprogramme anbieten. Der Wissenstransfer soll durch die Organisation von Konferenzen, die Unterstützung von Nutzerinnen und Nutzern in ihrer Publikationstätigkeit sowie weiteren Aktivitäten gestärkt werden.

Bewertung

Die modernen Hochleistungs-Elektronenmikroskope haben die Materialforschung sowie den wissenschaftlichen Bereich der weichen Materie und der Biowissenschaften auf die nächste Stufe gehoben. Experimente an nanoskaligen Objekten, wie z. B. Graphene, einzelne Moleküle, Atomketten, Proteine und Polymerketten, sind beinahe zur Routine geworden. Die deutschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben eine Vorreiterrolle in der Entwicklung und Anwendung von Kryo-TEM im Bereich der Lebenswissenschaften übernommen. All diese Aspekte sind bedeutsam, da sie zeigen, in welche Richtung sich die Technologie (oder Nanotechnologie) in den kommenden Jahren und Jahrzehnten entwickeln wird. Diejenigen Länder, die in diese neueste Generation von Instrumenten investieren, werden über einen signifikanten Wettbewerbsvorteil verfügen, gegenüber den immer selteneren Ländern, die das nicht tun. Es ist nur fair festzustellen, dass die moderne Hochleistungs-Elektronenmikroskopie inzwischen eine herausragende Rolle bei der Materialcharakterisierung spielt, die von vergleichsweise wenigen kostenintensiven Analysemethoden erreicht wird, wie z. B. Hochleistungs-Synchrotron-Anlagen oder NMR-Anlagen. Die aktuelle TEM-Instrumentierung bietet jedoch eine viel größere Flexibilität als all diese Anlagen, einschließlich der Fähigkeit, ein „Synchrotron innerhalb eines Mikroskops“ zu bieten.

Das ER-C in Jülich ist bereits als weltweit führend im Bereich der Mikroskopie anorganischer Materie anerkannt. Die angestrebten Entwicklungen würden diese führende Rolle weiter ausbauen, indem sie sowohl einen breiteren Instrumentierungsumfang als auch Instrumente einbezieht, die mit Sicherheit die wissenschaftliche Spitze der Materialforschung definieren würden. Keine andere Gruppe in Deutschland oder in Europa könnte ein Vorhaben dieser Größe und dieses Umfangs planen und würde über die Glaubwürdigkeit dieser Gruppe verfügen, was die Umsetzung dieser Vision betrifft.

Mit ER-C 2.0 wäre Deutschland in einer guten Ausgangsposition für den weiteren Ausbau der führenden Position im Bereich der Elektronenoptik und des Instrumentendesigns mit spektakulären Fortschritten auf dem Gebiet der Materialforschung und möglicherweise mit signifikanten Errungenschaften für die Forschung im Bereich der weichen Materie und der Lebenswissenschaften. Sollte dieses Konzept finanziert werden, würde Deutschland buchstäblich am Rest der Welt vorbeiziehen und eine herausragende Stellung einnehmen, bei

der es für andere Länder schwer sein wird, diese letztendlich überhaupt einmal zu erreichen.

Die geplante FIS wird mit Sicherheit eine weltweit einzigartige Infrastruktur hervorbringen und damit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus aller Welt anziehen, die Experimente auf höchstem wissenschaftlichen Niveau durchführen und die drängendsten Probleme lösen wollen.

Ein strategischer Plan für ein geeignetes Outreach-Programm in Bezug auf junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler muss implementiert werden.

Das existierende ER-C konnte bis zum heutigen Tage einen wesentlichen Impact nachweisen, nicht nur durch die Fortschritte im Bereich der wissenschaftlichen Forschung sondern auch durch die Entwicklung und Verbreitung von Technik und technischem Wissen in Bezug auf die breitere wissenschaftliche Gemeinschaft. Die sich aus ER-C 2.0 ergebende wissenschaftliche Forschung im Bereich der fortschrittlichen Materialien und der Erkenntnisgewinn in Bezug auf die biologischen Funktionen werden die Grenzen des Wissens verschieben, wovon sowohl Deutschland als auch die internationale Gemeinschaft profitieren werden.

Im Falle eines Erfolgs wird diese Initiative einen direkten Impact auf die Grundlagenforschung haben, die involvierten Hersteller unterstützen und stärken sowie einen Beitrag zum Erreichen der Führungsposition im Bereich der Entwicklung von neuen Materialien und Prozessen leisten, was wiederum einen direkten Impact auf die wirtschaftliche Stärke von Deutschland und unsere Lebensqualität haben wird.

I.2.e Komplementäre und konkurrierende Forschungsinfrastrukturen

Research infrastructure landscape			
Name	Brief description and internet link	Time frame	Location/ Participants
Forerunners			
ER-C – Ernst Ruska-Centre for Microscopy and Spectroscopy with Electrons (competing)	ER-C is a national user facility open to universities, research institutions and research laboratories in industry. It is run conjointly by two institutions, the Institute of Microstructure Research at Jülich Research Centre and the Central Facility for Electron Microscopy at RWTH Aachen University. The ER-C develops scientific and technical infrastructure and methods for present and future materials research. It is also a national user facility for ultrahigh-resolution electron microscopy. http://www.er-c.org , last accessed 15 September 2016 http://www.er-c.org/news/publications/er-c-booklet-english.pdf , last accessed 29 July 2016	Since 2004	Jülich, DE

Existing research infrastructures			
APS - Advanced Photon Source (complementary)	APS, located at the U.S. Department of Energy's Argonne National Laboratory, provides ultra-bright, high-energy storage ring-generated x-ray beams for research in almost all scientific disciplines. https://www1.aps.anl.gov/ , last accessed 2 August 2016	Since 1995	Argonne, US
Australian Synchrotron (complementary)	The Australian Synchrotron is a national research facility that uses accelerator technology to produce a powerful source of light – X-rays and infrared radiation – a million times brighter than the sun. The facility has ten different experimental stations, or beamlines, which harness that light so researchers can see the fundamental structure and composition of materials, on scales ranging from the atomic to the macroscopic. http://www.synchrotron.org.au/ , last accessed 15 September 2016	Since 2007	Melbourne, AU
BNCM – Beijing National Center for Electron Microscopy (competing)	BNCM operates five high-end electron microscopes. It is planned to develop BNCM into the largest cryo EM laboratory world-wide. http://www.tsinghua.edu.cn/publish/mseen/179/2011/20110418085408427394686/20110418085408427394686_.html , last accessed 15 September 2016	Start of establishment in 2006	Beijing, CN
CCEM – Canadian Centre for Electron Microscopy (competing)	CCEM was established to provide Canadian and international researchers world-class facilities to study materials at unprecedented spatial and energy resolution. The mandate of the centre is to provide unique electron microscopy capabilities and expertise to researchers working on a broad range of materials research. http://ccem.mcmaster.ca/index.shtml , last accessed 15 September 2016	Since 2005	Hamilton, CA
CNMS – Center for Nanophase Materials Sciences at Oak Ridge National Laboratory (competing)	CNMS at Oak Ridge National Laboratory (ORNL) integrates nanoscale science with neutron science; synthesis science; and theory, modelling, and simulation. Operating as a national user facility, the CNMS support a multi-disciplinary environment for research to understand nanoscale materials and phenomena. https://www.ornl.gov/facility/cnms , last accessed 15 September 2016	Since 2006	Oak Ridge, US
DIAMOND – Diamond Light Source (complementary)	DIAMOND is the UK's national synchrotron science facility. The facility is used by over 3,000 academic and industrial researchers across a wide range of disciplines including structural biology, energy, engineering, nanoscience and environmental sciences. http://www.diamond.ac.uk , last accessed 15 September 2016	Since 2007	Didcot, UK
eBIC – electron Bio-Imaging Centre (competing)	eBIC is located at Diamond Light Source and enables scientists to combine their techniques with many of the other cutting-edge approaches that Diamond offers; whilst a partnership with the University of Oxford al-	Official opening in April 2017	Didcot, UK

	lows users to access the Polara, a high-containment cryo-electron microscope. eBIC provides scientists with state-of-the-art experimental equipment and expertise in the field of cryo-electron microscopy, for both single particle analysis and cryo-tomography. Currently eBIC has two Titan Krios microscopes whereas the Polara microscope is located at the University of Oxford. http://www.diamond.ac.uk/Science/Integrated-facilities/eBIC.html, last accessed 03 April 2017		
Electron Microscopy Facility at Brookhaven National Laboratory (competing)	The Electron Microscopy Facility at Brookhaven National Laboratory consists of four transmission electron microscopes, two of which are highly specialized instruments capable of extreme levels of resolution, achieved through spherical aberration correction. The facility is also equipped with extensive sample-preparation capabilities. The scientific interests of the staff focus on understanding the microscopic origin of the physical and chemical behaviour of materials, with specific emphasis on in-situ studies of materials in native, functional environments. https://www.bnl.gov/cfn/facilities/microscopy.php, last accessed 15 September 2016	Not specified	Brookhaven, US
EMC - Electron Microscopy Center at Argonne National Laboratory (competing)	EMC develops and maintains unique capabilities for electron beam characterization and applies those capabilities to solve materials challenges. EMC emphasizes three major areas: materials research, experimental technique and instrumentation development, and operation of unique and state-of-the-art instrumentation. http://www.anl.gov/cnm/group/electron-microscopy-center, last accessed 1 August 2016	Not specified	Argonne, US
ePSIC – electron Physical Science Imaging Centre (complementary)	ePSIC is the result of a collaboration between Johnson Matthey, Oxford University and Diamond Light Source. As part of Diamond's hard X-ray nanoprobe beamline (I14) and electron microscopy centre, Oxford University brings a unique JEOL 300kV electron microscope dedicated to atomic scale imaging at world-leading resolution and Johnson Matthey installs a world-leading JEOL double-EDX and EELS capable microscope dedicated to chemical analysis with atomic scale resolution. http://www.diamond.ac.uk/Science/Integrated-facilities/ePSIC.html, last accessed 30 March 2017	Since 2016	Didcot, UK
ESRF - European Synchrotron Radiation Facility (complementary)	The ESRF is the world's most intense an X-ray source and a centre of excellence for fundamental and innovation-driven research in condensed and living matter science. X-ray radiation is used in fields as diverse as protein crystallography, earth science, palaeontology, materials science, chemistry and physics. http://www.esrf.eu, last accessed 15 Sep-	Since 1994	Grenoble, FR; 21 partner nations in all

	tember 2016		
FELMI-ZFE – Austrian Centre for Electron Microscopy and Nanoanalysis (competing)	FELMI-ZFE is a microscopy facility in the physical and biological sciences. The centre consists of two institutions working together: the Institute of Electron Microscopy and Nanoanalysis (FELMI) and the Graz Centre for Electron Microscopy (ZFE). FELMI's main research activities are devoted to developing new microscopic characterisation methods, functional nanostructures, and the practical applications of advanced microscopy. http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/felmi/ , last accessed 15 September 2016	Since 1951	Graz, AT
FLASH – Free-electron laser in Hamburg (complementary)	FLASH, the Free-Electron LASer in Hamburg, started user operation in summer 2005 as the first free-electron laser for VUV and soft X-ray radiation. Ultra-short X-ray pulses shorter than 30 femtoseconds are produced using the "self-amplified spontaneous emission" (SASE) process. http://flash.desy.de/ , last accessed 16 September 2016 http://photon-science.desy.de/facilities/flash/index_eng.html , last accessed 18 October 2016	User operation since 2005	Hamburg, DE
FRM II – The Research Neutron Source Heinz Maier-Leibnitz (complementary)	FRM II is a central scientific institute of the Technical University of Munich. It provides neutrons for science, industry and medicine in four cycles of 60 days a year. https://www.frm2.tum.de , last accessed 16 September 2016	Since 2005	Munich, DE
ILL – Institut Laue-Langevin (complementary)	ILL is an international research centre with a high reputation in neutron science and technology. It provides scientists with a very high flux of neutrons feeding some 40 state-of-the-art instruments. https://www.ill.eu/ , last accessed 16 September 2016	Since 1967	Grenoble, FR; DE; UK
ISIS – ISIS Neutron and Muon Source (complementary)	The ISIS pulsed neutron and muon source at the Rutherford Appleton Laboratory in Oxfordshire is a centre for research in the physical and life sciences. ISIS produces beams of neutrons and muons that allow scientists to study materials at the atomic level using a suite of instruments, often described as 'super-microscopes'. http://www.isis.stfc.ac.uk/ , last accessed 2 August 2016	Since 1985	Didcot, UK
J-PARC – Japan Proton Accelerator Research Complex (complementary)	J-PARC consists of a series of proton accelerators and the experimental facilities that make use of the high-intensity proton beams. It is operated by the High Energy Accelerator Research Organization and the Japan Atomic Energy Agency http://j-parc.jp/ , last accessed 2 August 2016	Since 2008	Tōkai, JP
LCLS – Linac Coherent Light Source (complementary)	LCLS is a free electron laser facility located at SLAC (Stanford Linear Accelerator Center). LCLS takes X-ray snapshots of atoms and molecules at work, revealing fundamental processes in materials, technology and living things. Its snapshots can be strung together	Since 2009	Menlo Park, US

	into movies that show chemical reactions as they happen. https://portal.slac.stanford.edu/sites/lcls_public/ , last accessed 2 August 2016		
MCEM – Monash Centre for Electron Microscopy (competing)	MCEM is a central university Research Platform that conducts research in electron microscopy, and provides advanced instrumentation, expertise and teaching in electron microscopy. The MCEM suite of advanced instrumentation can determine the composition, structure and bonding of materials down to the atomic scale. https://platforms.monash.edu/mcem/ , last accessed 1 August 2016	Since 2002	Clayton, AU
NCEM – National Center for Electron Microscopy at Lawrence Berkeley National Laboratory (competing)	NCEM features cutting-edge instrumentation, techniques and expertise required for exceptionally high-resolution imaging and analytical characterization of a broad array of materials. Having merged with the Molecular Foundry in 2014, the facility continues to conduct fundamental research relating microstructural and microchemical characteristics to materials properties and processing parameters, and develops advanced electron microscopy techniques, computer algorithms and instrumentation. http://foundry.lbl.gov/facilities/ncem/ , last accessed 1 August 2016	Established in 1983	Berkeley, US
NCHREM – The National Centre for High Resolution Electron Microscopy (competing)	The NCHREM is capable of investigating the structure of materials on an atomic scale with an ultimate resolution of 0.12 nm (information limit). The chemical composition on a local scale (0.3 nm) can also be studied by the use of energy dispersive X-ray analysis. In addition, the unique combination of the atomic structure, the chemical composition, and the electronic structure on a local scale (0.2 nm) is available for service provision by the implementation of EELS and energy filtered imaging. http://nchrem.nl/ , last accessed 29 July 2016	not specified	Delft, NL
nCHREM – The National Center for High Resolution Electron Microscopy (competing)	nCHREM offers expertise in imaging, element analysis, and sample preparation for a wide variety of sample types. http://www.polymat.lth.se/nchrem/ , last accessed 29 July 2016	Since 1987	Lund, SE
NCMI – National Center for Macromolecular Imaging (competing)	The missions of NCMI include technology development driven by a diverse spectrum of biological samples to (1) achieve reliable atomic resolution structures of molecular machines; (2) derive structures from conformationally variable machines, and (3) characterize subcellular complexes within intact cells in normal and pathological states. http://ncmi.bcm.edu/ncmi , last accessed 1 August 2016	Not specified	Houston, US
NeCEN – The Netherlands Centre for Electron	NeCEN is the open access research facility for cryo electron microscopy in The Netherlands and offers research institutes and companies access to advanced cryo electron mi-	Since 2012	Leiden, NL

Microscopy (competing)	croscopy and expertise. The cryo electron microscopes at NeCEN are specifically designed to explore complex biological structures. http://www.necen.nl/, last accessed 29 July 2016		
NSLS II - National Synchrotron Light Source II (complementary)	NSLS II's purpose is to provide extremely bright x-rays for basic and applied research in biology and medicine, materials and chemical sciences, geosciences and environmental sciences, and nanoscience. Operated by Brookhaven National Laboratory. https://www.bnl.gov/ps/, last accessed 2 August 2016	Since 2015	Brookhaven, US
OPAL - Open Pool Australian Light-water (complementary)	Australia's OPAL reactor is a state-of-the-art 20 Megawatt reactor that uses low enriched uranium (LEU) fuel to achieve a range of nuclear medicine, research, scientific, industrial and production goals. OPAL is one of a small number of reactors with the capacity to produce commercial quantities of radioisotopes. Operated by the Australian Nuclear Science and Technology Organisation. http://www.ansto.gov.au/AboutANSTO/OPAL/, last accessed 2 August 2016	Since 2007	Sydney, AU
PETRA III - Positron-Electron Tandem-Ring Facility (complementary)	PETRA III, which took up operation in 2009, is a storage-ring-based X-ray radiation source. The special characteristic of PETRA III is the tightly collimated X-ray beams, which are up to 5000 times finer than a human hair. These make it possible to study extremely small samples, such as tiny protein crystals or nanocrystals that will be used in the hard drives of the future. PETRA III can also generate very "hard" (i.e. short-wavelength) X-rays, which penetrate deeper into materials than other X-ray radiation. http://petra3.desy.de/, last accessed 6 October 2016 http://www.desy.de/about_desy/desy/large_scale_facilities_for_science/index_eng.html, last accessed 18 October 2016	Since 2009	Hamburg, DE
SACLA - SPring-8 Angstrom Compact free electron Laser (complementary)	SACLA is a linear-accelerator-based XFEL built on the basis of the principle of SASE (Self-Amplified Spontaneous Emission). SACLA consists of an 8 GeV linear electron accelerator followed by in-vacuum undulators measuring 50 to 90 meters. Downstream of the linear accelerator, a dipole magnet switches the electron beam pass into five different FEL lines and a beam-transport to the Spring-8 storage ring. SACLA is operated by RIKEN (Institute of Physical and Chemical Research). Both SACLA and Spring-8 are housed by the RIKEN Spring-8 Center. http://xfel.riken.jp/eng/, last accessed 6 October 2016 http://www.riken.jp/~media/riken/pr/publications/pamphlets/rsc-en.pdf, last accessed 18 October 2016	Since 2011	Sayō, JP
SciLifeLab - Sci-	SciLifeLab is a national centre for molecular	Since 2010	Stockholm

ence for Life Laboratory (competing)	biosciences with focus on health and environmental research. SciLifeLab provides large-scale molecular biology technologies and services within various fields of life science including next generation sequencing, SNP genotyping, mass spectrometry, affinity proteomics, small molecule and RNAi high-throughput screening, comparative genetics and bioimaging. Extensive bioinformatics support for analysing data is also provided. https://www.scilifelab.se/, last accessed 6 October 2016 https://www.scilifelab.se/wp-content/uploads/2013/09/Trycksak_140x297_EO03_webb.pdf, last accessed 18 October 2016		and Umeå, SE
SNS - Spallation Neutron Source (complementary)	SNS produces neutrons with an accelerator-based system that delivers short (microsecond) proton pulses to a target/moderator system, where neutrons are produced by a process called spallation. State-of-the-art experiment stations provide a variety of capabilities for researchers across a broad range of disciplines, such as physics, chemistry, materials science, and biology. Operated by Oak Ridge National Laboratory. https://neutrons.ornl.gov/sns, last accessed 2 August 2016	Since 2007	Oak Ridge, US
SOLEIL - Optimized Source of LURE Intermediary Energy Light (complementary)	SOLEIL offers high-tech equipment using synchrotron light available in specialized laboratories called beamlines, to analyse, characterize, and monitor inert and living materials. A complete range of services, adapted to the specific needs of each client, is also provided by SOLEIL's teams of engineers and researchers. http://www.synchrotron-soleil.fr/, last accessed 2 August 2016	Since 2006	Saint-Aubin, FR
SPring-8 - Large-scale Synchrotron Radiation Facility (complementary)	SPring-8 is the Japanese national synchrotron facility. Synchrotron radiation produced at SPring-8 is used for materials analysis and biochemical protein characterization. It is operated by RIKEN (Institute of Physical and Chemical Research). Both SACLA and SPring-8 are housed by the RIKEN Spring-8 Center. http://www.spring8.or.jp/en/, last accessed 2 August 2016	Since 1997	Sayō, JP
SuperSTEM - The National Facility for Aberration Corrected STEM (competing)	SuperSTEM supports a wide variety of multidisciplinary research by providing access to cutting-edge instrumentation, state-of-the-art data analysis as well as expertise and training in electron microscopy. http://www.superstem.com/, last accessed 6 October 2016	Since 2003	Daresbury, UK
Planned research infrastructures/under construction			
CSSB - Centre for Structural Systems Biology (competing)	CSSB is a joint initiative of nine research partners from Northern Germany, including three universities and six research institutes. It devotes itself to infection biology and med-	Cooperation agreement signed in 2012; con-	Hamburg, DE

	icine by utilizing structural and molecular biology methods and imaging techniques in conjunction with systems biology approaches. Its purpose is to unravel the underlying mechanisms of important pathogenic processes in order to discover more effective treatment options against bacterial and viral pathogens. The operation of a number of cryo electron microscopes is planned. http://www.cssb-hamburg.de/, last accessed 6 October 2016	struction of CSSB building to be completed in 2017	
ESS - European Spallation Source (complementary)	ESS is one of the largest science and technology infrastructure projects being built today. The facility design and construction includes the most powerful linear proton accelerator ever built, a 4-tonne, helium-cooled tungsten target wheel, 22 state-of-the-art neutron instruments, a suite of laboratories, and a supercomputing data management and software development centre. ESS entered the ESFRI Roadmap in 2006 and is currently an ESFRI-Landmark on the Roadmap 2016. https://europeanspallationsource.se/, last accessed 3 August 2016	User programme to begin in 2023; construction to be completed in 2025	Facilities in Lund, SE and Copenhagen, DK; members: CZ, DK, EE, FR, DE, HU, IT, NO, PL, SE, CH, UK; intent to become members: BE, NL, ES
European XFEL - European X-Ray Free-Electron Laser (complementary)	The European XFEL will generate ultrashort X-ray flashes—27 000 times per second and with a brilliance that is a billion times higher than that of the best conventional X-ray radiation sources. Using the X-ray flashes of the European XFEL, scientists will be able to map the atomic details of viruses, decipher the molecular composition of cells, take three-dimensional images of the nanoworld, film chemical reactions, and study processes such as those occurring deep inside planets. It is operated by DESY (German Electron Synchrotron). http://www.xfel.eu/en/, last accessed 3 August 2016	From 2017	Located in Hamburg, DE; partner countries: DK, FR, HU, IT, PL, RU, SK, ES, SE, CH
LCLS II - Linac Coherent Light Source II (complementary)	LCLS-II will be an upgrade of the Linac Coherent Light Source (LCLS) – a hard X-ray free-electron laser at the SLAC National Accelerator Laboratory. LCLS-II will provide a major jump in capability – moving from 120 pulses per second to 1 million pulses per second. https://portal.slac.stanford.edu/sites/lcls_public/lcls_ii/, last accessed 6 October 2016	Scheduled to begin operations in early 2020s	Menlo Park, US
SwissFEL - Swiss Free Electron Laser (complementary)	The SwissFEL, being built at the Paul Scherrer Institute, will produce very short pulses of X-ray light, with laser-like properties. Researchers will be able to use these pulses to visualize extremely fast processes, such as how new molecules are created in a chemical reaction; to determine the detailed structure of vital proteins; or to determine the relationship between electronic and atomic structure in materials. https://www.psi.ch/swissfel/, last accessed 6 October 2016	From 2016	Villigen, CH

I.3.a Wissenschaftliches Potenzial

Beschreibung

Dem Konzept zufolge wird das EST dabei helfen, die Untersuchung fundamentaler Wechselwirkungen zwischen Plasma, Magnetfeld und Strahlung in der Sonnenatmosphäre zu verbessern. Dies soll durch präzisere Beobachtung einer Vielfalt energetischer Ereignisse ermöglicht werden, die aus diesen Wechselwirkungen resultieren. Von den erwarteten tieferen Einblicken sollen sowohl das Forschungsfeld der stellaren Astrophysik als auch das der Plasmaphysik profitieren.

EST wird multi-konjugierte adaptive Optik und Integralfeld-Spektropolarimeter einsetzen, um räumliche Skalen von 20 km in der solaren Photosphäre aufzulösen, was bedeutet, dass astrophysikalische Prozesse auf ihren intrinsischen Skalen beobachtet werden können. Folgenden Schlüsselfragen wird dabei nachgegangen:

- _ Was kann uns die Sonne über grundlegende astrophysikalische Vorgänge lehren?
- _ Was treibt die Variabilität der Sonne auf allen Skalen?
- _ Wie wirkt sich die Sonnenaktivität auf das Leben auf der Erde aus?

Mit EST wird die gleichzeitige Beobachtung in unterschiedlichen Wellenlängen möglich sein, so dass der solare Photonenfluss effizienter als bei anderen derzeit betriebenen erdgebundenen oder weltraumgestützten Teleskopen genutzt werden kann. Der Einsatz eines leistungsfähigen adaptiven optischen Systems ist essentiell, um über die komplette 4 m-Apertur des Teleskops störende Wellenfrontverformungen zu korrigieren. Somit ist das räumliche Auflösungsvermögen nur durch die Größe der Teleskopapertur limitiert.

Das EST wird mit einer Reihe von Postfokusinstrumenten ausgestattet sein, darunter ein Breitband-Imager, drei auf Fabry-Pérot-Interferometern basierende Schmalband-Spektropolarimeter sowie vier Gitter-Spektropolarimeter für verschiedene Wellenlängenbänder, welche über *integral-field-units* verfügen. Ausgehend von Erfahrungen mit anderen astronomischen Teleskopen ist laut Konzept damit zu rechnen, dass nach etwa 10 bis 15 Jahren Instrumente mit neuen Technologien zur Verfügung stehen werden.

Laut Angaben der Konzeptverantwortlichen haben im Verlauf der letzten 25 Jahre verschiedene europäische Länder Teleskope für die Sonnenbeobachtung

auf den Kanarischen Inseln in Betrieb genommen. |⁷⁸ Mit Ausnahme des kürzlich eingeweihten deutschen Teleskops GREGOR sind die europäischen hochauflösenden solar-physikalischen Anlagen bereits seit etwa 15 bis 30 Jahren in Betrieb und ihre Technologie altert. Mit der Installation des EST soll es Europa möglich sein, an bisherige Entwicklungen anzuknüpfen und die Forschung in diesem Feld kontinuierlich zu gewährleisten. Durch die Spezialisierung auf hochpräzise Polarimetrie mit gleichzeitiger Erfassung verschiedenster Wellenlängenbereiche wird das EST darüber hinaus als dem US-amerikanischen Daniel K. Inouye Solar Telescope (DKIST) ebenbürtig oder sogar überlegen beschrieben, welches seinerseits auf die Beobachtung der Sonnenkorona ausgerichtet ist und daher als *Off-Axis*-Teleskop konstruiert wurde. Das EST soll demgegenüber in erster Linie auf kleinskalige Magnetfelder in der Photosphäre und in der Chromosphäre zielen, weshalb es als *On-Axis*-Teleskop angelegt ist. In dieser Hinsicht wird erwartet, dass EST und DKIST einander ergänzen.

Bewertung

Die Sonnenphysik ist ein dynamischer Forschungsbereich und trägt als Eckpfeiler der Astrophysik wesentlich zum Verständnis des Weltraumwetters der Erde und der Exoplaneten in der Umgebung sonnenähnlicher Sterne bei. Die in diesem Feld erreichten fundamentalen Durchbrüche der vergangenen Jahre beziehen sich vor allem auf die folgenden Bereiche:

- _ Sonnenneutrino-Problem im Bereich der Elementarteilchenphysik und dessen Lösung,
- _ Helioseismologie zur Analyse der inneren Sonnenstruktur,
- _ Sonnenmagnetfelder und deren Bedeutung für Sonnenaktivitäten.

Darüber hinaus konnten durch hochauflösende Beobachtungen die Feinstruktur von Sonnenflecken, zahlreiche Wellenmoden in der Sonnenatmosphäre sowie die Magnetokonvektion nachgewiesen werden. Zum Verständnis sonnenähnlicher Sterne widmet sich die Sonnenphysik den Entstehungsprozessen magnetischer Energie in der Sonnenatmosphäre und ihrer Freisetzung in Form von Strahlung, energetischen Teilchen und großskaligen Materieauswürfen.

Um weitere Fortschritte erzielen zu können, ist die Errichtung einer bodengebundenen FIS mit einem Teleskop großer Apertur (4 m oder größer) sowie hochmodernen Instrumenten notwendig, womit eine hohe Winkelauflösung, eine hohe zeitliche Auflösung und gleichzeitig hohe polarimetrische Empfindlichkeit erreicht werden können. Als umfangreiche Anlage zur Beobachtung

|⁷⁸ Dort befinden sich das GREGOR-Telescope, das *Heliographic Telescope for the Study of the Magnetism and Instabilities on the Sun* (THEMIS), das *Vacuum tower telescope* (VTT), das *Swedish Solar Telescope* (SST), das *Dutch Open Telescope* (DOT) sowie das *Solar Laboratory*.

und Untersuchung der Sonne mit hoher Auflösung stellt das EST hierfür eine wichtige und zeitgemäße Initiative unter der Führung deutscher (und spanischer) Institutionen dar.

EST wird die Entdeckung von kleinskaligen Energiefreigaben in Form von Sonneneruptionen ermöglichen. Darüber hinaus sind Erkenntnisse zu Mechanismen der koronalen Heizung sowie zum Weltraumwetter zu erwarten. Damit wird Deutschland sowohl in diesen Entdeckungen als auch in der Entwicklung der Instrumente zweifellos eine Führungsrolle einnehmen.

Mit der hohen räumlichen Auflösung (etwa 10 km auf der Sonnenoberfläche) und der außerordentlichen Polarisationsempfindlichkeit ($< 0,01\%$) des EST lassen sich eine Reihe fundamentaler Fragen der Astrophysik beantworten. EST wird darüber hinaus eine große Bandbreite an sichtbaren und Nahinfrarot-Wellenlängen abdecken und zudem konsequenterweise durch UV-/EUV (ultraviolett/extrem-ultraviolett)- und Röntgenstrahlungsbeobachtungen von Satelliten aus (wie z. B. die europäische Solar Orbiter-Mission) sowie durch Beobachtungen im Radiobereich ergänzt. Insbesondere auf dem Gebiet der Multikonjugierten Adaptiven Optik (MCAO), der Detektorentwicklung und der hochgenauen Polarimetrie wird EST einen Beitrag zu innovativen Technologien leisten.

Derzeit befindet sich das US-amerikanische 4-m *Daniel K. Inouye Solar Telescope* (DKIST) als einzige international konkurrierende Anlage in der Entwicklung. Gemeinsam werden EST und DKIST ein besseres Verständnis verschiedener grundlegender Fragen ermöglichen, wie z. B. die detaillierte Natur des Sonnenmagnetfeldes von der Oberfläche bis zur Korona. Des Weiteren ergänzen sich EST und DKIST durch ihre Standorte, die durch 138 Längengrade getrennt sind, was die Abdeckung des gesamten 24h-Zyklus ermöglicht. Zusätzlich werden andere vorhandene Anlagen wie das 1,6 m New Solar Telescope (NST) ergänzende Beobachtungen zum EST liefern. Diverse vorhandene und geplante weltraumbasierte FIS wie, z. B. die Solar Orbiter-Mission der ESA (*European Space Agency*) werden ebenfalls durch das EST ergänzt.

I.3.b Nutzung

Beschreibung

Das EST wird einer Nutzergemeinde von ca. 400–500 europäischen Sonnenphysikerinnen und Sonnenphysikern dienen. Von den verantwortlichen Institutionen werden 240 Beobachtungstage pro Jahr angestrebt. Das Beobachtungsprogramm wird in zwei Modi ausgeführt, im *principal investigator*-Modus (PI-Modus) und im *queued service*-Modus (QS-Modus). Im PI-Modus werden die wissenschaftlichen Beobachterinnen und Beobachter die Beobachtungen in Zusammenarbeit mit dem Personal des EST direkt am Teleskop durchführen. Das Teleskop und die Gerätesteuerung können jedoch auch per Fernzugang von

dem auf Meereshöhe liegenden *Telescope Operation and Sciences Centre* (TOSC) und durch das Datenzentrum in Deutschland bedient werden. Im QS-Modus können Forscherinnen und Forscher Anträge auf Beobachtungszeit stellen, zu deren Ausführung dann, eine eigens mit dieser Aufgabe betraute wissenschaftlich tätige Person vor Ort den zeitlichen Ablauf entscheidet. Die tatsächliche Beobachtung wird in diesem Fall von den Angestellten des EST durchgeführt. Das EST wird laut Konzept zunehmend mehr Beobachtungszeit im QS-Modus zuteilen, welcher der Standardmodus zur Beobachtung werden soll. Im Hinblick auf die Nutzung des EST ergeben sich als Konsequenz aus den Beobachtungsmodi zwei Gruppen: Beobachterinnen und Beobachter vor Ort sowie die Benutzerinnen und Benutzer des virtuellen Observatoriums, die sich den offenen Zugang zu EST-Daten, die virtuell zur Verfügung gestellt werden, zu Nutze machen können.

Um die Untersuchung eines breiten Spektrums an wissenschaftlichen Fragestellungen zu ermöglichen, werden die von den Instrumenten der Einrichtung erfassten Daten durch ein verteiltes Betriebsdatenzentrum verwaltet und verarbeitet: Ressourcen für den Datenzugang werden am EST-Datenzentrum in Deutschland untergebracht, der zentrale Datenspeicher wird sich jedoch auf den Kanarischen Inseln befinden. Das Datenzentrum wird dabei laut Konzept verschiedene Funktionen erfüllen, darunter Pipelines für die Datenverarbeitung, Petascale-Speicherinfrastruktur und eine fortschrittliche Netzwerk-Infrastruktur für die zuverlässige Übertragung der Daten vom Teleskop zur EST-Zentrale.

Erdgebundene Sonnenbeobachtungen leiden unter instrumentellen Effekten und unter den Auswirkungen des atmosphärischen *seeing*. Dies stellt eine große Herausforderung für die Datenpipelines dar, die die Daten für die wissenschaftliche Arbeit aufbereiten. Aufgabe des Datenzentrums wird es daher sein sicherzustellen, dass die aufbereiteten Daten frei von Artefakten sind, die durch atmosphärisches *seeing* oder instrumentelle Effekte entstehen. Darüber hinaus will das EST-Konsortium Regeln der guten wissenschaftlichen Praxis für die Datennutzung implementieren.

Bewertung

Das EST stellt sowohl Service- als auch PI-Modus zur Verfügung. Die Auswahl des Beobachtungszieles kann schnell je nach Sonnenaktivität in Echtzeit angepasst werden. Des Weiteren werden sowohl Instrumente der zweiten Generation, für deren Entwicklung Mittel einkalkuliert sind, als auch Beobachterinstrumente es dem EST als FIS in der zweiten Hälfte der Betriebsphase ermöglichen, auf neue und neu entstehende wissenschaftliche Fragestellungen zu antworten. Die Ausgestaltung der Forschungsinfrastruktur berücksichtigt die Aufnahme neuer Instrumente.

EST wird das FIS-Flaggschiff der gesamten europäischen Sonnenphysik-Gemeinschaft sein, die zu den größten der Welt gehört. Nutzerinnen und Nutzer, die nicht zum EST-Konsortium gehören, werden voraussichtlich 10–20 % der Teleskopbeobachtungszeit in Anspruch nehmen. Mit den 500–600 Sonnenphysikerinnen und Sonnenphysikern in Europa kann für EST eine sehr hohe Auslastung und eine Überanforderung sowohl an direkter Nutzung als auch an Zugriff auf die Archivdaten über virtuelle Observatorien erwartet werden.

Da kleinere Sonnenteleskope wie das *Vacuum Tower Telescope* (VTT) und GREGOR auf Teneriffa bis zum Jahr 2026 stillgelegt werden, wäre das EST die einzige wichtige bodengebundene Anlage, die der europäischen Sonnenphysik-Gemeinschaft zu diesem Zeitpunkt für Beobachtungen zur Verfügung stehen wird. Darüber hinaus werden viele internationale Forscherinnen und Forscher aus Ländern, die nicht zum EST-Konsortium gehören, durch den Zugang zum EST Kooperationen mit deutschen Kolleginnen und Kollegen fortsetzen oder initiieren und von deren Expertise profitieren.

Eine wichtige Voraussetzung für die effektive Nutzung der Anlage, die auch von den Konzeptverantwortlichen als solche identifiziert wird, sind das Training und die Schulung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Gegenwärtig werden derartige Maßnahmen hauptsächlich über das EU-finanzierte SOLARNET |⁷⁹-Projekt durchgeführt.

Das Nutzungskonzept für das EST ist insgesamt solide geplant und spiegelt die langjährige Erfahrung der Konzeptverantwortlichen wider. Die geplanten Maßnahmen und Arbeitspakte versprechen exzellentes Management und Service. So obliegen die strategischen Planungs- und Entscheidungsprozesse des EST einem Beirat, der aus Delegierten aller Mitgliedsstaaten besteht. Zugang zur Forschungsanlage und Vergabe der Zeitkontingente werden durch ein Komitee (Time Allocation Committee) geregelt. Dieses Gremium besteht aus erfahrenen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die wiederum vom wissenschaftlichen Vorstand des EST in ihre Position berufen werden.

Der Prozess der Zuteilung von Beobachtungszeit am EST ist etabliert und repräsentiert die Nutzergemeinschaft angemessen. Auch der schrittweise Übergang vom PI-Modus zu einem effizienteren Service-Modus ist wohl durchdacht.

Das Top-Level Konzept für Umgang, Verarbeitung, Archivierung und Verbreitung der Daten ist sinnvoll und spiegelt die beachtliche Erfahrung wider, die die Konzeptverantwortlichen im europäischen SOLARNET-Konsortium und durch die standardisierten virtuellen Observatorien sammeln konnten. Das geplante EST-Datenzentrum soll in Freiburg eingerichtet werden. Für die ver-

| ⁷⁹ High Resolution Solar Physics Network

schiedenen Herausforderungen des Datenmanagements legen die Konzeptverantwortlichen eine sorgfältig geplante Strategie vor. Begrüßenswert ist in diesem Zusammenhang auch der Schritt, die EST-Daten nach einer einjährigen Frist im Sinne einer Open Data- Politik freizugeben. Bei der Einhaltung von ethischen Standards sowie Standards guter wissenschaftlicher Praxis nimmt EST angemessen Bezug auf bestehende europäische und deutsche Richtlinien.

I.3.c Umsetzbarkeit

Beschreibung

Als bedeutende technische Herausforderungen werden im Vorhaben beschrieben: Die Entwicklung einer neuen Generation von Detektoren für Beobachtungen bei hoher Bildfrequenz und großen Bildfeldern (auch für hochpräzise Polarimetrie), die Entwicklung von Fabry-Pérot Interferometern mit einer gleichbleibenden Kapazität mit einer Kontrolle der Parallelität der Etalon-Platten, die eine Genauigkeit von 1^{-10} m erreicht, neue Techniken für 2D-Sonnen-Spektropolarimetrie, die Entwicklung von großformatigen Flüssigkristall-Modulatoren sowie die Überprüfung der Leistung der deformierbaren Spiegel der multi-konjugierten adaptiven Optik (MCAO) von EST. Um diesen Herausforderungen begegnen zu können, wurde das Projekt *H2020 |⁸⁰ GREST – Getting Ready for the EST* eingerichtet mit dem Ziel, die Leistung der hochmodernen Instrumente des EST weiter zu verbessern, indem sowohl gesetzliche, wirtschaftliche und sozioökonomische Aspekte mit in Betracht gezogen werden.

Als potentiell Risiko beim Aufbau und Betrieb des Teleskopes beschreiben die Konzeptverantwortlichen zunächst die Verwendung neuester Instrumente der Integralfeld-Spektroskopie. Obwohl diese Technik in der Nacht-Astronomie häufig eingesetzt wird, wurde ein solches Instrument bisher noch an keinem Sonnenteliskop betrieben. Darüber hinaus birgt das im Strahlengang des Teleskops eingebettete MCAO-System Risiken: Es ist das derzeit komplexeste je entworfene System mit fünf deformierbaren Spiegeln. Einen dritten Risikobereich stellen die verwendeten Kameras sowie Nah-Infrarot (NIR)- Detektoren dar: Für den sichtbaren und nahen UV-Spektralbereich wird das Vorhaben kommerzielle Kameras sowie geeignete Sensoren und Kamerasysteme verwenden. Diese speziellen Kameraentwicklungen bergen allerdings das Risiko, dass anfängliche Leistungsanforderungen im Rahmen des ursprünglichen Entwicklungs- und Budgetzeitplans nicht vollständig erfüllt werden.

| ⁸⁰ Horizon 2020.

Im EAST besteht den Konzeptverantwortlichen zufolge Einigkeit darüber, dass das europäische Forschungsinfrastruktur-Konsortium (ERIC) die geeignetste Struktur sei, die staatenübergreifende Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Partnern zu gewährleisten. Das Governance-Konzept umfasst einen EST-Rat, einen EST-Vorstand, einen Geschäftsführer, einen Verwaltungs- und Finanzausschuss sowie einen wissenschaftlichen und technischen Ausschuss.

Personalauswahl und –einstellung werden als zentraler Punkt dieses Vorhabens beschrieben. Als erstes soll ein Vorsitz des Direktoriums eingesetzt werden. Diese Person soll von anderen Wissenschaftsorganisationen oder Förderinstitutionen unabhängig sein und von der EST-Organisation vollbeschäftigt werden, während die Leiter des TOSC und des Datenzentrums Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bestimmter EAST-Einrichtungen sein können. Spezifische Aktivitäten des wissenschaftlich-technischen Betriebs können ausgelagert werden.

Bewertung

Obwohl sich EST im Konzeptstadium befindet, erscheinen die wissenschaftlichen Ziele für das 4-m-Teleskopkonzept (einschließlich der Standortwahl) gut durchdacht. Die Instrumente, die im Kontext von EST Verwendung finden sollen, basieren im Kern auf bereits bestehenden und sind relativ ausgereift. Hiermit konnten die Mitglieder des EST-Konsortiums bereits umfassende Erfahrungen sammeln. Die Konzepterstellung und Planung von EST wurden von EAST initiiert, einem Konsortium zur Unterstützung der Sonnenphysik, an dem 15 europäische Institutionen beteiligt sind. Das EAST hat bereits eine Machbarkeitsstudie für das EST abgeschlossen und führt derzeit eine Integrations- und Entwicklungsstudie (im Umfang von 20 Mio. Euro) durch. Diese Studien werden hauptsächlich durch diverse europäische Programme finanziert, zu denen SOLARNET (2013–17), GREY (2015–18) und PRE-EST^{| 81} (2017–21) gehören. EST ist bereits Bestandteil der ESFRI-Roadmap 2016. Die Instrumente in ihrer angestrebten Form, einschließlich der Detektoren der nächsten Generation, integrierte feldabbildende Einheiten, Etalons mit enger Toleranz und Flüssigkristallmodulatoren für große Apertur sind dennoch auf einem ungleich niedrigeren technischen Reifegrad. Das Datenkonzept befindet sich ebenfalls in einem wenig ausgereiften Entwicklungsstadium, was aber beides durch die frühe Konzeptphase zu begründen ist. Die Risikoabschätzungen wirken überzeugend und nachvollziehbar, da die Kostenschätzungen auf Erfahrungen der Konzeptverantwortlichen bei existierenden Sonnenteleskopen (an denen beide deutschen Institute aktiv und gravierend beteiligt sind) und bei Nachthimmelteleskopen mit der gleichen Spiegelgröße basieren. Technische

| 81 Preparatory Phase of the European Solar Telescope.

und damit zusammenhängende Aspekte wurden seitens der Konzeptverantwortlichen umfassend überprüft, so dass im vorgestellten Konzept nun alle Anstrengungen, die in den vergangenen Jahren begonnen wurden, kumulieren.

Die größten technischen und finanziellen Risiken bestehen bei den Teleskopinstrumenten. Diese können allerdings durch die umfangreiche Erfahrung der Konzeptverantwortlichen und deren Arbeit mit ähnlichen Instrumenten bei VTT, GREGOR und DKIST begrenzt werden.

Einen besonders wichtigen Aspekt stellt die Identifizierung eines ausgezeichneten Beobachtungsstandortes dar. Nur so kann das volle Potenzial eines 4 m Teleskopes ausgeschöpft werden. Hierfür werden zwei Standorte auf den Kanarischen Inseln in Betracht gezogen, die beide die notwendigen Anforderung erfüllen und bereits mit Sonnen- oder Nachthimmelteleskopen ausgestattet sind.

Insgesamt betrachtet wurde EST gewissenhaft geplant. Um diese transnationale Kooperation der beteiligten Partner sicherzustellen und geeignete Rahmenbedingungen für die Umsetzung des EST zu schaffen, ist ein Konsortium eingerichtet worden. Darüber hinaus umfasst das im Grundsatz vorhandene Governance-Konzept einen EST-Beirat, einen wissenschaftlichen EST-Beirat, eine Direktorin bzw. einen Direktor, einen Verwaltungs- und Finanzausschuss sowie einen wissenschaftlichen und technischen Ausschuss.

Für den Betrieb einer derart großen Anlage wie EST ist das Personal ein wichtiger Aspekt. Das vorgelegte Personalkonzept, das *diversity management* und die Personalentwicklung können vor diesem Hintergrund aus wissenschaftlicher Perspektive als angemessen beurteilt werden. Als potenzielle Herausforderung kann vor allem die Rekrutierung von Personal mit Kompetenzen sowohl für die Montage, Integration und Prüfung als auch für die operativen Phasen am Beobachtungsstandort selbst gesehen werden. Dieses Problem wird aus Sicht des Begutachtungsgremiums auch dann bestehen bleiben, wenn qualifiziertes Personal aufgrund der Schließung anderer Teleskope verfügbar werden sollte.

Die bei den europäischen Partnerinstitutionen vorhandenen wissenschaftlichen Schlüsselkompetenzen stellen sowohl eine Stärke als auch eine potenzielle Herausforderung in Bezug auf die reibungslose Koordinierung dar.

1.3.d Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

Beschreibung

Den Konzeptverantwortlichen zufolge spielen Europa im Allgemeinen und Deutschland im Besonderen eine wichtige und führende Rolle in der Sonnenphysik und speziell im Bereich der erdgebundenen Sonnenbeobachtungseinrichtungen. Die derzeit maßgeblichen Inversionstechniken zur Bestimmung der solaren Magnetfelder wurden nahezu alle von europäischen Institutionen

entwickelt, wobei den sonnenphysikalischen Gruppen in Freiburg und Göttingen hierbei eine führende Rolle sowohl bei der Entwicklung als auch der Nutzung zugeschrieben wird. Mit der Inbetriebnahme des amerikanischen 4-Meter-Sonnenteleskops DKIST könnte – so die Konzeptverantwortlichen – Europa seine Führungsposition in erdgebundener Sonnenphysik-Instrumentierung verlieren. Vor diesem Hintergrund käme dem EST eine zentrale Rolle in der Sicherung der deutschen und europäischen Führungsrolle in der erdgebundenen Sonnenphysik zu. Darüber hinaus werden Entwicklungen in der theoretischen Sonnenphysik in hohem Maße vom EST begünstigt. Von den qualitativ hochwertigen Beobachtungseinrichtungen sollen vor allem führende Arbeitsgruppen in Norwegen, Dänemark, Großbritannien und Deutschland profitieren, die sich mit dreidimensionalen numerischen Modellen von Magnetokonvektion in oberflächennaher Schichten befassen.

In Hinblick auf Transfer und Wirkung geben die Konzeptverantwortlichen an, dass der Bereich der Sonnenphysik ein beständiger Lieferant neuer Konzepte und Technologien sei und damit Auswirkungen sowohl auf industrielle als auch auf sozio-ökonomische Bereiche habe. So widmet sich eines der zehn Arbeitspakete im EU FP7 SOLARNET – *High-resolution Solar Physics Network* |⁸² dem Transfer von Neuerungen in die Industrie. Dessen Ziel ist die Ermittlung und Analyse von Technologien, Techniken und neuen Konzepten, die in der Sonnenphysik an vorderster Reihe im Einsatz sind und möglicherweise auch für andere Bereiche von Nutzen sein können.

Bewertung

Bislang stellt Deutschland mit den vorhandenen Forschungsinfrastrukturen (VTT und GREGOR) ein international attraktives Zentrum für Sonnenphysik dar. Diese Situation wird sich ab 2019 absehbar mit der Einrichtung des 4-Meter-Sonnenteleskops DKIST ändern. Nur durch EST als gleichstarke und zugleich komplementäre neue Anlage kann weiterhin eine hohe internationale Bekanntheit der deutschen Sonnenphysik und Astrophysik garantiert und die herausragende Position von Deutschland und Europa im Bereich der Sonnenphysik gesichert werden. Zudem erfährt EST eine breite Unterstützung durch die deutsche Astronomie-Gemeinschaft, die es in ihre kommende Denkschrift aufnehmen wird. Die Beteiligung Deutschlands ist für die FIS aus wissenschaftlichen, technischen und finanziellen Gründen unerlässlich.

EST wird weltweit eines von nur zwei 4 m-Sonnenteleskopen sein und stellt damit die einzigartige Gelegenheit dar, die bereits bestehende Attraktivität von

^{|82} Hierbei handelt es sich um ein verwandtes, derzeit durchgeführtes Projekt, das es sich zum Ziel gemacht hat, den Kontakt und Austausch zwischen den europäischen Infrastrukturen im Bereich der hochauflösenden Sonnenphysik (darunter auch des EST) zu fördern.

Deutschland als Wissenschafts- und Forschungsstandort im Bereich der Sonnenphysik weiter auszubauen. Dem stehen mehrere Nachthimmelteleskope mit 8 m- und größerer Apertur gegenüber. Das Konzept betont zu Recht, dass Deutschland und Europa die führende Position als Spitzenforschungszentren durch das EST bewahren können und damit den besten wissenschaftlichen Nachwuchs sowie die talentiertesten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler anziehen vermag. Durch den vorrangigen Zugang und eine aktive Beteiligung ist das EST für den wissenschaftlichen Nachwuchs besonders attraktiv. Vereinfacht gesagt, kann es kein stärkeres Instrument der Anwerbungs- und Karriereunterstützung geben als dieses durchdachte Flaggschiff-Teleskop.

Es wird erwartet, dass EST bedeutende Fortschritte zum Verständnis der Sonne liefert, mit deren Hilfe neue Vorhersagemodelle entwickelt werden können. EST verspricht zudem Nebeneffekte in vielen Technologiebereichen. So findet beispielsweise die adaptive Optik im medizinischen und militärischen Bereich Anwendung. Darüber hinaus sind Bildverarbeitungstechniken äußerst relevant im Bereich der Informatik. Ebenfalls von Bedeutung ist die Weltraumwettervorhersage, hier insbesondere für den Kommunikationsbereich und das Flugwesen. Das Konzept umfasst ein Arbeitspaket, das spezifisch auf den Transfer neuer Technologien und neuer Erkenntnisse in die Industrie ausgerichtet ist. Informationen über konkrete gesellschaftliche und wirtschaftliche Auswirkungen liegen derzeit noch nicht vor, können allerdings von der vorgeschlagenen FIS über die gesamte Projektlaufzeit erwartet werden, weil sie wesentlich zum Erkenntnisgewinn hinsichtlich der Entstehung und Freigabe von magnetischer Energie in der Sonnenatmosphäre als Quelle aller Weltraumwettereffekte beitragen wird.

Die wichtigsten sonstigen technik- und kostenbezogenen Risiken beziehen sich auf die Teleskopinstrumentierung selbst. Hier sind die Planungen noch nicht so ausgereift, wie dies im übrigen Konzept der Fall ist. Durch weitergehende Planung können diese Risiken noch bis zur finalen Konstruktion des Konzeptes minimiert werden. Darüber hinaus müssen die Konzeptverantwortlichen die Anforderungen an das zukünftige Personal zeitnah noch genauer spezifizieren.

Research infrastructure landscape			
Name	Brief description and internet link	Time frame	Location/ Participants
Forerunners			
SUNRISE I SUNRISE II	SUNRISE is a balloon-borne solar observatory dedicated to the investigation of the key processes governing the physics of the magnetic field and the convective plasma flows in the lower solar atmosphere. SUNRISE is designed for operation in the stratosphere (at heights around 37 km) in order to avoid the image degradation due to turbulence in the lower terrestrial atmosphere and to gain access to the UV range down to 200 nm. Launched from above the polar circle at solstice conditions, SUNRISE enables an uninterrupted view at the Sun for extended periods of several days. http://www.mps.mpg.de/solar-physics/sunrise, last accessed 09 August 2016	SUNRISE I: 2009 SUNRISE II: 2013	DE (coordinating), US, ES
Existing research infrastructures			
ALMA – Atacama Large Millimeter Array	Telescope to study light from some of the coldest objects in the Universe. This light has wavelengths of around a millimetre, between infrared light and radio waves, and is therefore known as millimetre and submillimetre radiation. ALMA comprises 66 high-precision antennas, spread over distances of up to 16 kilometres. This global collaboration is the largest ground-based astronomical project in existence. http://www.eso.org/public/teles-instr/alma/, last accessed 08 August 2016	Since 2013 (partial observations since 2011)	Chajnantor plateau, CL; US; JP; CA; TW; KR; ESO
DOT – Dutch Open Telescope	Solar telescope located at the Observatorio del Roque de los Muchachos of the Instituto de Astrofísica de Canarias. The DOT achieves high-resolution imaging of the sun simultaneously in multiple wavelengths which sample the solar atmosphere tomographically at different heights. The DOT is a reflector with a parabolic mirror that sits out in the open at a height of 15 m. The mirror (presently Cervit, 45 cm diameter, focal length 200 cm) focuses the incoming beam onto a water-cooled 1.6 mm field stop that reflects most of the image out of the telescope and transmits only a 2.5 by 2.5 arcmin subfield to the re-imaging optics and cameras. http://www.staff.science.uu.nl/~rutte101/dot/, last accessed 08 August 2016	First light: 1997	La Palma, Canary Islands, ES; NL
DST – Dunn Solar Telescope	The Richard B. Dunn Solar Telescope (DST) specializes in solar high resolution imaging and spectroscopy. It has two high-order adaptive optics benches to compensate for	Since 1969 (named “Vacuum Tower Tele-	Sacramento Peak, New Mexico, US

	blurring by Earth's atmosphere, and a 40-foot-wide observing platform hosting an array of instruments. Scientists and engineers use the Dunn to investigate a range of solar activities, often in concert with satellites, and to develop new technologies for the 4-meter Advanced Technology Solar Telescope. http://nsosp.nso.edu/dst, last accessed 08 August 2016	scope" until 1998)	
GREGOR (complementary)	GREGOR is the largest solar telescope in Europe. It is designed for observations of the solar photosphere and chromosphere in the visible and near infrared. Presently it is equipped with the following post-focus instruments for solar observations: _ a multi-channel high-resolution imager _ a filter spectrometer for the measurement of material flows and magnetic field in different layers of the solar atmosphere _ a grating spectro-polarimeter for the near infrared (1.0 to 2.2 μm) GREGOR is equipped with a high-order adaptive optics, which is presently being upgraded to a multi-conjugated system. www.kis.uni-freiburg.de/en/observatories/gregor/, last accessed 03 August 2016 RI will be shut down after EST is operational.	Since 2012	Teide Observatory, Tenerife, ES; DE
Kodaikanal Observatory	The Kodaikanal Observatory of the Indian Institute of Astrophysics is located in the Palani range of hills in Southern India. It was established in 1899 as a Solar Physics Observatory and all the activities of the Madras Observatory were shifted to Kodaikanal. A 20 cm refractor at the Observatory is used occasionally for cometary and occultation observations. It is also sometimes made available to visitors for night sky viewing. http://www.iiap.res.in/centers/kodai, last accessed 08 August 2016	Since 1899	Kodaikanal, IN
LOFAR – Low Frequency Array	Radiotelescope system that uses a large number of low-cost sensors (antennas, geophones and more) and relies on broad-band datalinks and advanced digital signal processing to implement the majority of its functionality in (embedded) software. For the astronomy application, LOFAR is an aperture synthesis array composed of phased array stations. The antennas in each station form a phased array, producing one or many station beams on the sky. Multi-beaming is a major advantage of the phased array concept. It is not only used to increase observational efficiency, but may be vital for calibration purposes. The phased array stations are combined into an aperture synthesis array.	Since 2010	NL (coordinating), DE, SE, UK, FR

	The Remote Stations are distributed over a large area with a maximum baseline of 100 km within the Netherlands and 1500 km within Europe. http://www.lofar.org/, last accessed 08 August 2016		
NST - New Solar Telescope (complementary)	The NST is configured as an off-axis Gregorian system consisting of a parabolic primary, prime focus field stop and heat reflector (heat-stop), elliptical secondary and diagonal flats. An off-axis design was chosen principally because of its vastly reduced stray light, since there is no central obscuration, which reduces the telescope's MTF (Modulation Transfer Function) at high spatial frequency. The primary mirror (PM) is 1.7 m with a clear aperture of 1.6 m with a final figure residual error of 16 nm rms. The PM is made of Zerodur from Schott. The PM was figured by Steward Observatory Mirror Lab. The off-axis nature of the PM presented a number of problems in measuring the figure of the mirror. Such measurements will be essential in the precise figuring of large night-time telescopes, like GSMT. https://www.bbso.njit.edu/nst_project.html, last accessed 08 August 2016	First light: 2009	Big Bear Lake, California, US
NVST - New Vacuum Solar Telescope	1m IR solar observation telescope. The main science mission of NVST consists of obtaining high-resolution images and spectra of the sun at wavelengths ranging from 0.3 to 2.5 micrometres, for the purposes of studying the fine structures of solar magnetic fields, and evolutionary processes in high temporal and spatial resolution. The NVST is an altazimuth telescope with a 1200mm vacuum seal and an effective aperture of 980mm, effective field observation of 3 arcmins, focal length of 45m. It incorporates many new technologies, such as the Multi-channel High Resolution Imaging System, the multiband spectrograph, the large dispersion spectrograph, a polarimeter and an adaptive optics system. http://english.ynao.cas.cn/ti/nvst/ last accessed 08 August 2016	First light: 2010	Fuxian Lake, CN
SST - Swedish Solar Telescope	The SST replaced the previous 50 cm Swedish Vacuum Solar Telescope (SVST). The clear aperture of the front lens of the SST has a diameter of just under 1 meter and can see details as small as 70 km on the solar surface. The unobscured optics consists of a singlet lens used as Vacuum window and two secondary optical systems. The first of these enables narrow-band imaging and polarimetry with a minimum of optical surfaces. The second optical system uses a field mirror to re-image the pupil on a 25 cm corrector which provides a perfectly achromatic image, corrected also for atmospheric dispersion. The	Since 2002	La Palma, ES; SE

	adaptive optics system is integrated with the design of the telescope but is sufficiently flexible to allow future upgrades. http://dubshen.astro.su.se/, last accessed 08 August 2016		
THEMIS - Télescope Héliographique pour l'Etude du Magnetisme et des Instabilité Solaires	Aperture telescope with high-accuracy spectropolarimetry of the solar surface together with monochromatic high resolution imaging. THEMIS has been designed and fabricated to measure the intensity and the direction of the solar magnetic field and one of its main features consists in the possibility to operate on different bands simultaneously. THEMIS is provided with a Ritchey-Chrétien 90cm diameter primary mirror, installed inside the upper part of a 22.5m long cylindrical tower. The frontal part of the telescope is closed by a sort of window which allows the telescope to be vacuum-sealed thus avoiding heavy temperature variations. A 9m diameter dome protects the instrument from the elements. http://www.iac.es/en/eno.php?op1=3&op2=6&id=2&lang=en http://www.eie.it/en/progetti/themis, last accessed 08 August 2016	First light: 1996	Teide Observatory, Tenerife, ES; FR; IT
Udaipur Observatory	The Udaipur Solar Observatory is situated on an island in the middle of the Lake Fatehsagar and the main office building is located at its NW-shore near Bari Road - Rani Road Junction. The sky conditions at Udaipur are quite favourable for solar observations. The large water body surrounding the telescopes decreases the amount of heating of the surface layers. This decreases the turbulence in the air mass and thereby improves the image quality and seeing. The main objective of obtaining the high spatial and temporal resolution observations of solar photospheric and chromospheric activity is to understand the various dynamic phenomena occurring on the surface of the Sun. https://www.prl.res.in/~uso/ http://www.iiap.res.in/icw05/Posters/P19_Asingh.pdf, last accessed 08 August 2016	Since 1976	Udaipur, IN
VTT - German Vacuum Tower Telescope	Classical solar telescope: two Coelostat mirrors feed the sunlight into the telescope. The primary mirror has a diameter of 70 cm and a focal length of 46 m. The telescope is located in a building with a height of some 38 m spanning more than 10 floors. An adaptive-optics system is permanently installed and available to all instruments; this leads to a substantial improvement of the image quality. On good days, this provides a spatial resolution of about 0.2 arcsec at 500 nm for short exposures, and of some 0.5 arcsec for exposures as long as 10 seconds.	Since 1988	Teide Observatory, Tenerife, ES; DE

	www.kis.uni-freiburg.de/en/observatories/vtt/, last accessed 03 August 2016 RI will be shut down after EST is operational.		
Planned research infrastructures/under construction			
CGST – Chinese Giant Solar Telescope	Due to the advantages of ring structure in polarization detection and thermal control, the current design of CGST is an 8 meter ring solar telescope. The spatial resolution of CGST is equivalent to an 8 meter diameter telescope, and the light-gathering power equivalent to a 5 meter full aperture telescope. https://doi.org/10.1117/12.926033, last accessed 08 September 2016	Not specified (Construction time: 10-15 years)	CN
DKIST – Daniel K. Inouye Telescope	Solar telescope with: _ An angular resolution of 0.1 arcsec or better to resolve the pressure scale height and the photon mean free path _ A high photon flux at the critical spatial resolution for precise magnetic and velocity field measurements _ Access to a broad set of diagnostics, 0.3 to 35 mm The 4-m facility will have broad impacts on astronomy, plasma physics, and solar-terrestrial relations by resolving fundamental astrophysical processes in space and time on the Sun. The DKIST will attack critical details of the non-linear dynamical processes that govern the highly conducting, turbulent solar plasma. The broad research areas are cosmic magnetic fields and solar variability. http://dkist.nso.edu/science/intro, last accessed 09 August 2016	From 2019	Haleakala Observatory, Hawaii, US (coordinating); DE
NLST – National Solar Large Telescope (complementary)	The Indian National Large Solar Telescope (NLST) will be a state-of-the-art 2-m class telescope for carrying out high resolution studies of the solar atmosphere NLST is an on-axis alt-azimuth Gregorian multi-purpose open telescope with the provision of carrying out night time stellar observations using a spectrograph. The telescope utilizes an innovative design with low number of reflections to achieve a high throughput and low instrumental polarization. High order adaptive optics is integrated into the design that works with a modest Fried's parameter of 7-cm to give diffraction limited performance. The telescope will be equipped with a suite of post-focus instruments including a high resolution spectrograph and a polarimeter. http://dx.doi.org/10.1017/S1743921309993206, last accessed 08 September 2016	Early 2020s	Ladakh, IN
Solar Orbiter (complementary)	Solar Orbiter will be used to examine how the Sun creates and controls the heliosphere, the vast bubble of charged particles blown by the solar wind into the interstellar medium.	Launch: 2018	ESA

	The spacecraft will combine <i>in situ</i> and remote sensing observations to gain new information about the solar wind, the heliospheric magnetic field, solar energetic particles, transient interplanetary disturbances and the Sun's magnetic field. The mission will provide close-up, high-latitude observations of the Sun. Solar Orbiter will have a highly elliptic orbit – between 0.9AU at aphelion and 0.28AU at perihelion. It will reach its operational orbit three-and-a-half years after launch by using gravity assist manoeuvres (GAMs) at Earth and Venus. Subsequent GAMs at Venus will increase its inclination to the solar equator over time, reaching up to 25° at the end of the nominal mission (approximately 7 years after launch) and up to 34° in the extended mission phase. http://sci.esa.int/solar-orbiter/51168-summary/, last accessed 09 August 16		
Solar-C (complementary)	Using high-resolution spectropolarimetry, SOLAR-C will measure magnetic fields of both the photosphere and the chromosphere. In addition, SOLAR-C will observe the corona at resolutions far higher than with <i>Hinode</i>, and will attempt to capture the finescale dynamics of the chromosphere and corona by means of spectroscopic observations. By determining the diversity of elementary processes (fine-scale structures) and global structures involved with the magnetic field as well as their changes, while at the same time observing the corona at unprecedentedly high resolution, the mission will clarify the processes that create the high-temperature atmosphere of the sun, and also the atmospheres of stars in general. Overall, the mission will yield a complete picture of the sun's vigorously changing magnetic activity. http://hinode.nao.ac.jp/SOLAR-C/Documents/Solar-C_e.pdf, last accessed 09 August 2016	Launch: 2025-2029	JP (coordinating), US (NASA), ESA
SPRING – Solar Physics Research Integrated Network Group	SPRING is a project to develop a geographically distributed network of instrumentation to obtain synoptic solar observations. Building on the demonstrated success of networks to provide nearly-continuous long-term data for helioseismology, SPRING will provide data for a wide range of solar research areas. Scientific objectives include internal solar dynamics and structure; wave transport in the solar atmosphere; the evolution of the magnetic field over the activity cycle; irradiance fluctuations; and space weather origins. http://www.solarnet-east.eu/joint-research-activities http://www.kis.uni-freiburg.de/fileadmin/user_upload/forschung/forschungsplan/kis-research-plan-2013-2017.pdf,	Concept Study: 2013-2017	US, ES, AT, BE, HR, CZ, FR, DE, IT, NO, PL, SK, SE, CH, NL, UK

	last accessed 09 August 2016 http://www.mat.uc.pt/~cspm2015/abstracts/113_Markus_Roth.html , last accessed 08 September 2016		
Sunrise III	SUNRISE is a balloon-borne solar observatory dedicated to the investigation of the key processes governing the physics of the magnetic field and the convective plasma flows in the lower solar atmosphere. SUNRISE is designed for operation in the stratosphere (at heights around 37 km) in order to avoid the image degradation due to turbulence in the lower terrestrial atmosphere and to gain access to the UV range down to 200 nm. Launched from above the polar circle at solstice conditions, SUNRISE enables an uninterrupted view at the Sun for extended periods of several days. http://www.mps.mpg.de/solar-physics/sunrise , last accessed 09 August 2016	Not specified	DE (coordinating), US, ES

I.4 National Photonics Labs (NPL)

I.4.a Wissenschaftliches Potenzial

Beschreibung

Dem Konzept zufolge zielt NPL auf die Schaffung einer einzigartigen Forschungs- und Entwicklungsplattform für die Photonik und photonische Technologien ab. Die Bedeutung der Photonik wird im Konzept als eine zweifache beschrieben: Erstens ist sie interdisziplinärer Forschungsgegenstand, der herausragende Beiträge zu wissenschaftlichen Fragestellungen in der Physik, der Chemie, den Materialwissenschaften, der Nanotechnologie, den Ingenieurwissenschaften und vielen anderen wissenschaftlichen Disziplinen ermöglicht. Zweitens befähigt sie als ein wissenschaftlich-technisches Universalwerkzeug die Wissenschaft zu neuen Entdeckungen und die Wirtschaft zur Umsetzung wichtiger Innovationen, z. B. in den Bereichen Energie, Umwelt, Kommunikation und Medizin.

Diesen Rollen entsprechend operiert NPL entlang zweier Wirkungsdimensionen. Zum einen soll NPL wissenschaftliche Gemeinschaften zur Umsetzung ihrer Missionen befähigen. Diese sogenannten *science cases* können nach Angaben der Konzeptverantwortlichen ihr Potenzial zu bahnbrechenden Ergebnissen nur durch den Einsatz optischer Komponenten und Instrumente extremster Anforderungen abrufen, deren Herstellung weder innerhalb der Gemeinschaften noch kommerziell möglich wäre. Als vielversprechende *science cases* wurden identifiziert:

- _ Gravitationswellenastronomie: Um mit Gravitationswellendetektoren als astronomischen Instrumenten ein neues Fenster in den Kosmos aufzustoßen, muss ihre Empfindlichkeit um mindestens eine Größenordnung gesteigert werden.
- _ Astrophotonik: Damit die derzeit entwickelten Teleskope mit Spiegeldurchmessern von bis zu 40 m ihre volle Wirkung entfalten können, muss die Leistungsfähigkeit der nachgeschalteten Instrumente wie beispielsweise der Gitter zur spektralen Zerlegung des Lichts ebenso gesteigert werden.
- _ Extreme Lichtquellen inkl. Quantenphysik: Für einen detaillierteren Blick in Struktur und Dynamik der Materie werden Freie-Elektronen-Laser oder lasergetriebene XUV-Quellen |⁸³ genutzt. Forschungsbedarf besteht dabei noch u. a. bei Design, Entwicklung und Herstellung der optischen Komponenten.
- _ Hochintensitätslaser: Zur Realisierung leistungsfähigerer Hochintensitätslaser-Systeme beispielsweise für biologisch-medizinische Anwendungen werden optische Gitter zur Pulskompression benötigt.

NPL begleitet die Entwicklung der *science cases* in einem durchgehenden Strategie- und Investitionsprozess und stellt sich der Herausforderung, die *science cases* nachhaltig zu herausragender Forschung zu befähigen. Die *science cases* stellen dabei keine exklusive Nutzergruppe dar. Die Einbettung in das Technologienetzwerk der verantwortlichen Institute erlaubt es NPL, wissenschaftliche Fragestellungen vieler anderer Gemeinschaften zu adressieren und auch neue *science cases*, wie z. B. die angewandte Quantenoptik, voranzutreiben.

Zur Realisierung der *science cases* soll NPL acht spezifische Bereiche der photonischen Wertschöpfungskette auf ein neues Niveau heben und in diesen Bereichen exzellente Photonikforschung ermöglichen. Diese als Kerntechnologien bezeichneten Bereiche entsprechen den Arbeitsfeldern von NPL und resultieren auch aus den technologischen Anforderungen der *science cases*.

Zu den Kerntechnologien zählen:

- _ Design und Modellierung: Diese Kerntechnologie umfasst holistisches und raumzeitliches Design, Nano-Makro-Modellierung und Beleuchtungsmodelle. Dabei ermöglichen z. B. das holistische Design und die Modellierung eine schnellere und sicherere Systementwicklung.
- _ Oberflächenbehandlung: Die Verbesserung von Oberflächen durch z. B. Probenreinigung und Politur kann zu leistungsfähigeren Optiken führen und neue Anwendungsfelder erschließen.

| ⁸³ Extrem ultraviolette Strahlung.

- _ Freiformfabrikation: Neben der Erzeugung von Freiformen und Leichtgewichtskomponenten spielt auch deren Strukturierung eine wichtige Rolle in dieser Kerntechnologie. Freiformen ermöglichen leistungsfähigere, robustere und leichtere Systemdesigns für alle Wellenlängen.
- _ Optische Schichten: Dieser Bereich verfügt über vielfältige Beschichtungs- und Atomlagenabscheidungsanlagen, denn moderne optische Systeme sind ohne Beschichtungen nicht umsetzbar.
- _ Kristalloptik: In der Kerntechnologie Kristalloptik werden das Sägen, Polieren, Strukturieren und Biegen von Kristallen weiterentwickelt. Kristalloptiken ermöglichen u. A. die Manipulation energiereicher Strahlung aus Röntgenlaserquellen und die Kontrolle leistungsfähiger Hochleistungslaser.
- _ Nanostrukturierung: Die Kerntechnologie Nanostrukturierung umfasst die Bereiche Lithographie und Nanoreplikation. Zudem verfügt sie über Ätzanlagen. Subwellenlängenstrukturierte Nanooptiken auf gekrümmten Oberflächen definieren den neuen Standard der modernen Optik und können durch NPL auf Größen von mehr als 30 cm skaliert werden.
- _ Charakterisierung: Zur Charakterisierung werden verschiedene Analyseverfahren herangezogen wie z. B. die Streulicht-, Wellenfeld-, Nanostruktur- oder Effizienzanalyse. Diese Charakterisierungstechniken sollen u. a. zu leistungsfähigeren Fertigungsverfahren führen.
- _ Systemintegration: Dieser Bereich nutzt Füge- und Montagetechniken und die Komponentenintegration, um hochintegrierte optische Systeme zu erzeugen, die extremen Leistungen, mechanischen Belastungen und Temperaturschwankungen standhalten.

Laut Konzept markiert NPL durch den Aufbau einer FIS den Übergang zu einer neuen Ära der Großanlagen-basierten Photonikforschung, wie dies beispielsweise in der Astronomie oder der Hochenergiephysik bereits früher geschah.

Einen ähnlichen Anspruch erhebt innerhalb der Photonik derzeit nur das *American Institute for Manufacturing Integrated Photonics (AIM Photonics)*, welches das NPL-Konzept zwar zum Teil inspiriert habe, jedoch dezentral organisiert sei. Der Fokus von *AIM Photonics* liegt, im Gegensatz zu NPL, auf integrierter Optik für den Markt der *consumer electronics*. Beide Einrichtungen sind inhaltlich komplementär ausgerichtet, eine formelle Zusammenarbeit wird derzeit etabliert.

Die Konzeptverantwortlichen weisen ausdrücklich darauf hin, dass der Ansatz von NPL einzigartig sei. NPL baue auf gewachsenen Strukturen auf und sei in etablierten, global sichtbaren Exzellenznetzwerken verankert und bereits mit Nutzergemeinschaften vernetzt. Des Weiteren hebe sich NPL deutlich vom Anspruch anderer Einrichtungen ab, die eine engere Ausrichtung auf Teildiszipli-

nen der Photonik aufwiesen. In seiner Hinwendung zu industriellen Partnern soll NPL als FIS einzigartig aufgestellt sein.

Bewertung

NPL wird einen fundamentalen Beitrag zu wissenschaftlichen Durchbrüchen im Forschungsfeld der Photonik leisten, wo die Grenzen durch den Status der existierenden optischen Technologie vorgegeben werden.

Die ausgewählten Themen, d. h. die *science cases*, sind extrem zeitgemäß und von sehr großem Interesse für die Physikgemeinschaft. Die Konzentration auf diese großen Herausforderungen als primäres Forschungsfeld für die FIS ist einzigartig und von hoher strategischer Bedeutung. Außerdem haben die Konzeptverantwortlichen die vier entwickelten *science cases* mit den entsprechenden Schlüsseltechnologien verknüpft, in denen sie im nationalen und internationalen Rahmen wettbewerbsfähig sind. Das Ziel von NPL besteht darin, eine einzigartige und hochmoderne Infrastruktur zum Bau von Komponenten zur Verfügung zu stellen, die nicht einfach aus anderen Quellen bezogen werden können.

Die übergreifende Idee der FIS besteht in der Entwicklung von Prozessen und der Modifizierung von Prozessanlagen für den Umgang mit großen, schweren Freiformkomponenten unter Verwendung von ansonsten typischem Fachwissen aus der Halbleiterherstellung. Ohne diese Anpassung wäre die Herstellung dieser Komponenten im besten Fall schwierig und würde anderen Institutionen überlassen werden, die versuchen müssten, das Problem mit vergleichsweise unterlegenen technischen Möglichkeiten zu lösen. Die Konzentration auf die drei differenzierenden Charakteristika (groß, schwer, freiform) ist weltweit einzigartig und füllt eine entscheidende Lücke, die von wesentlichem Interesse für die Wissenschaftsgemeinschaft ist. Dies gilt nicht gleichermaßen für alle Bestandteile des Konzepts, insbesondere in Fällen, in denen nicht alle drei differenzierenden Charakteristika präsent sind.

Angeichts der einzigartigen Natur der Anlagenausstattung und der Designmöglichkeiten wird erwartet, dass das internationale Interesse an Kooperationen steigen wird. Potenzielle Kooperationspartner stammen aus den Bereichen der Entwicklung, des Betriebs und der Nutzung von Extremlichtquellen, der kommerziellen Hersteller im Bereich der XUV- und Röntgenoptik und der benötigten Hardware während der Installationsphase.

Bei der PTB und dem Fraunhofer IOF, als zwei der federführenden Institutionen von NPL, handelt es sich um weltweite Spitzenreiter für die Generierung von Innovationen. Daher kann erwartet werden, dass dieser Status durch NPL erhalten und gestärkt wird. Es fehlen jedoch detaillierte Angaben zu den geplanten Innovationen.

Das vorgesehene kohäsive Designsystem, das eine virtuelle Prototyperstellung ermöglicht, ist besonders wichtig in diesem Forschungsfeld, da die Erstellung von experimentellen Prototypen für diese extremen Anwendungen zu zeitaufwendig und in unzulässigem Maße kostenintensiv ist.

Die durch NPL vorgeschlagene Anlagenausstattung zur Kombination von großen, schweren und ultrapräzisen Freiformobjekten bei extremer Präzisionsausrichtung ist derzeit nicht kommerziell verfügbar. Es ist zu bezweifeln, dass Unternehmen derartige Technologien ohne den Anreiz einer staatlichen Finanzierung für Vorhaben solcher Art entwickeln würden. Das Konzept enthält jedoch keine ausreichenden Details, um die geplante Anlagenausstattung zu bewerten. Die ausgewählten Methoden (*e-Beam*, *nano-imprint*) sind wahrscheinlich eine gute Wahl für diese einzigartige Anwendung, es liegen jedoch zu wenige Angaben vor, um hierzu weitere Einschätzungen abgeben zu können.

Die Oberflächenbehandlung von Freiformobjekten mit dem geplanten Präzisionsniveau ist ebenfalls Neuland. Bedeutende Prozessentwicklungs- und neuartige Charakterisierungstechniken sind das zu erwartende Ergebnis der Bemühungen.

Die große Bandbreite und Flexibilität in Bezug auf den Betrieb basiert auf der wissenschaftlichen, technologischen, strategischen und finanziellen Agilität. Die geplante Anzahl gleichzeitig laufender Projekte (50–80) deutet bereits auf eine beträchtliche Bandbreite von Themen hin, die angegangen werden sollen. Der Prozess zur Reaktion auf veränderte wissenschaftliche Fragestellungen ist im Rahmen des Fraunhofer-Modells als laufender Bewertungsprozess geplant, was aktuelle und künftige Entwicklungen betrifft.

Die geplante Anlagenausstattung impliziert ein komplettes Paket an Leistungen, die dazu dienen können, zahlreiche Probleme, die die gemeinsamen Charakteristika (groß, schwer, freiform, ultrapräzise) haben, zu lösen. Das Finanzmodell, das Abschreibungen vorsieht, um Finanzmittel zur Erneuerung der Ausrüstung zur Verfügung zu stellen, kann auch genutzt werden, um im Bedarfsfall zusätzliche Kapazitäten zu schaffen.

Die Konzentration auf große, schwere, ultrapräzise optische Freiform-Komponenten führt dazu, dass NPL weitgehend komplementär zu anderen Institutionen in der Welt sein wird, und sorgt dafür, dass NPL eine weltweit einzigartige Position einnehmen wird.

I.4.b Nutzung

Beschreibung

Dem Fraunhofer-Modell entsprechend werden sich die Aktivitäten von NPL zu ca. 40 % auf wissenschaftliche Partner, zu 30 % auf die Eigenforschung und zu 30 % auf Industriepartner verteilen. Wissenschaftliche Nutzerinnen und Nut-

zer beschäftigen sich dabei entweder generell mit Fragestellungen der Optik und der Weiterentwicklung der Photonik oder mit naturwissenschaftlicher Grundlagenforschung und dabei mit der Entwicklung von missionskritischen Komponenten oder Instrumenten (siehe oben).

Der Auswahlprozess der am NPL durchzuführenden Projekte beinhaltet die Prüfung der wissenschaftlichen Exzellenz, der Durchführbarkeit, der Passfähigkeit zu den strategischen Zielen von NPL und der Kompatibilität zu anderen Projekten. Die Finanzierung der Projekte muss durch die Nutzerinnen und Nutzer sichergestellt werden.

Grundsätzlich sollen technische Einrichtungen, Anlagen und Geräte durch Expertinnen und Experten des NPL bedient werden. Nutzerinnen und Nutzer können beratend oder beobachtend fungieren und sollen direkt in die Entwicklungsphase des Projekts einbezogen werden. Der Fortgang der Projekte wird laufend dokumentiert und bei wichtigen Ereignissen und an definierten Meilensteinen an die Nutzerinnen und Nutzer gemeldet werden. Darüber hinaus ist geplant, die Nutzerschaft aktiv in den Strategieprozess einzubeziehen, z. B. durch die Vermittlung eines *key community scientists* (KCS). Dieser KCS wird den Beantragungszyklus für wissenschaftliche Projekte begleiten sowie Seminare und Workshops sowohl für aktive als auch für potenzielle Nutzerinnen und Nutzer der FIS etablieren. So soll für die dezentral organisierte Gemeinschaft von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in der Grundlagenforschung und der Anwendungsentwicklung sowie für industrielle Nutzerinnen und Nutzer ein technisch-organisatorisches Forum zur Zusammenarbeit aufgebaut werden. Zudem wird der KCS beständig in Kontakt mit den *principal investigators* von NPL stehen.

Zwei Datentypen werden während der Nutzung erwartet. Der erste Typus umfasst vertikale Daten, die projektgebunden sind und alle Prozessschritte betreffen. Sie sollen in einer virtuellen Projekttakte abgelegt werden, für die Projektpartner sichtbar sein und somit dazu beitragen, dass Nutzerinnen und Nutzer ihre Projekte überwachen und steuern können. Eine Offenlegung von Projektdaten wird angestrebt. Beim zweiten Typus handelt es sich um horizontale, technologiebezogene Daten, die bei Projekten mit vergleichbaren technologischen Anforderungen anfallen. Sie können zur Optimierung und Weiterentwicklung von Prozessen und zur Qualitätssicherung eingesetzt werden. Die weitere Open-Data- und Open-Access-Strategie von NPL basiert auf den entsprechenden Regelungen der Fraunhofer-Gesellschaft.

Die Qualitätssicherung der Prozesse und Projektergebnisse wird insbesondere von der Kerntechnologie „Charakterisierung“ geleistet. Dort werden die Parameter von Komponenten und Systemen, die bei der Projektdefinition als die zu erreichenden Zielparameter vereinbart werden, überprüft. Zudem wird NPL die Maßnahmen zur Qualitätssicherung und die *codes of conduct* implementieren, die die Fraunhofer-Gesellschaft und das Fraunhofer IOF etabliert haben.

Die wissenschaftliche Nutzergemeinschaft wird größtenteils durch die vier Schwerpunktbereiche repräsentiert, wie z. B. der Gravitationswellendetektion oder ähnlichen weltraumbezogenen Anwendungen und demnach in wesentlichem Umfang von großen, öffentlich finanzierten Projekten abhängig sein. NPL befindet sich in einer frühen Planungsphase in Bezug auf die künftige Interaktion mit potenziellen Nutzerinnen und Nutzern. Es besteht ausreichendes Interesse von Seiten der erwarteten Nutzergemeinschaft. Das bereits existierende Kompetenzspektrum am IOF vermittelt den Eindruck, dass die FIS ohne große Probleme eingerichtet werden kann.

Bei industriellen Projekten erhalten die Partner aus kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) eine vorrangige Unterstützung durch NPL. Im Jena-Dresden-Korridor gibt es zahlreiche Beispiele für KMU. Insbesondere die Ausstattungs- und Komponentenanbieter für fortschrittliche optische Instrumentierungen werden voraussichtlich von den Möglichkeiten profitieren, die ihnen mit der FIS geboten werden. Angesichts der Beschaffenheit von KMU werden diese an der Nutzung einer zentralen Anlage interessiert sein.

Europa stellt einen erheblichen Anteil an Forschungsanlagen und Finanzierungen zur Forschung im Bereich großer Herausforderungen zur Verfügung. Es kann berechtigterweise erwartet werden, dass NPL einen signifikanten Marktanteil der europäischen Nachfrage abdecken wird. Die meisten Nutzerinnen und Nutzer werden die FIS wahrscheinlich direkt nutzen. Die durch das Modellierungssegment und das Design-Enablement-Segment erzeugten Daten könnten für eine große Nutzergruppe von Interesse sein.

Das Nutzungsniveau im Hinblick auf die angegebenen astrophysikalischen wissenschaftlichen Projekte wird davon abhängen, wie NPL in Instrumentierungsprojekte einbezogen werden kann. Für ESO |⁸⁴ (mit Ausnahme der Teleskopkonstruktion an sich) wird dies im Normalfall von den für den Instrumentenbau zuständigen Konsortien festgelegt, die im Rahmen von ESO beauftragt werden. Bei den Gravitationswellenobservatorien wird es von deren Entwicklungsplänen abhängig sein. Was die Laserforschung und -anwendungen betrifft ist davon auszugehen, dass ähnliche Mechanismen greifen. Was Deutschland angeht werden die Nutzergruppen im Bereich der Astrophysik (einschließlich der Gravitationswellen) der Größenordnung eines Instituts entsprechen (Max Planck Institut für Gravitationsphysik) und im europäischen Rahmen bis zu fünf große Instrumentierungsgruppen umfassen, die (hauptsächlich) für ESO eingerichtet werden. Im internationalen Rahmen wird der Markt erwartungsgemäß 5 bis 10-mal größer sein. Bei Laseranwendungen wird

| ⁸⁴ Die Europäische Südsternwarte (*European Southern Observatory*).

die Gesamtzahl höher sein. Wie groß der Anteil an dieser Forschungsgemeinschaft sein kann und wird, für den NPL Leistungen erbringen kann, hängt von dessen Einbindung in die individuellen Gruppen und Anlagen ab.

Erwartet wird, dass das globale Marktpotenzial zwischen 100 Mio. und 200 Mio. Euro über einen Zeitraum von zehn Jahren liegen wird. Die unterstellte Marktdurchdringung ist recht hoch, sie beträgt etwa 50 % oder mehr. Diese Annahmen sind angemessen für eine derart einzigartige Infrastruktur. Eine ähnliche Durchdringungsrate gilt auch für die Nutzergemeinschaft. Es wird davon ausgegangen, dass die Anlage pro Jahr etwa 8–10 Mio. Euro an Direkteinnahmen einbringen wird. Der voraussichtliche Vorteil für die lokale Wirtschaft und die verbundenen KMU im Gebiet um Jena sollte dies zu einer langfristigen Investition machen.

Die Durchführung von wissenschaftlichen Projekten folgt der Fraunhofer Governance- und Managementpolitik. Die Zugangsbedingungen stehen im Einklang mit ähnlichen Regeln von anderen Organisationen (Leti, imec, AIM etc.). Es sind jedoch keine spezifischen Angaben enthalten, wie der Zugang in jeder Klasse der *science cases* funktionieren wird.

In einem zukünftigen Managementplan sollte für NPL sichergestellt werden, dass die Nutzergruppen weitgehend aus der Forschung kommen und die Nutzung sowie der Zugang zu den Kerntechnologien vornehmlich Forschungsprojekten vorbehalten sind.

Die Einführung der KCSs ist ein sehr gutes Konzept. Die KCSs dienen als Schnittstelle zwischen NPL und den Nutzerinnen und Nutzern. Sie werden diese während der Nutzung und Anwendung in wissenschaftlichen Projekten unterstützen. Den KCSs wird eine große Verantwortung übertragen, was die Einbeziehung der Nutzergemeinschaft in Bezug auf Strategie-, Schulungs- und Anforderungsentwicklungen betrifft.

Schulungen für junge Forscherinnen und Forscher sind innerhalb der etablierten Strukturen vorgesehen, wie der *Abbe School of Photonics* der Universität Jena. Außerdem gehört zu den Aufgaben der KCSs die Koordinierung der Schulungs- oder Ausbildungsformate für Studierende. Langfristig ist geplant, exzellente Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit Hilfe dieser Programme auszubilden.

Bezüglich der gesetzlichen Rahmenbedingungen sind keine besonders ausführlichen Angaben im Konzept enthalten. Es scheint so, als würde man davon ausgehen, dass Fraunhofer den größten Teil des geistigen Eigentums zur Verfügung stellen oder entwickeln wird. Die Lizenzrechte werden nicht angesprochen. Während dieser Ansatz bei KMU ohne ausreichendes Entwicklungsbudget funktionieren könnte, wäre die Einbeziehung von größeren Unternehmen (Zeiss, Zygo, ASML) wahrscheinlich eine viel komplexere Aufgabe.

Das Datenkonzept folgt den Fraunhofer Richtlinien und Informationssicherheitsgrundsätzen. Es ist überzeugend und ausreichend, was die Verantwortung, die Nutzung von fachspezifischen Standards, die einmalige und wiederholte Datennutzung, den Datenschutz und die Datensicherheit sowie das professionelle Datenmanagement betrifft. Was fehlt, ist ein neues attraktives Konzept, durch das NPL die (potenziellen oder tatsächlichen) Nutzerinnen und Nutzer interaktiv dabei unterstützt, die verfügbaren NPL- oder sonstigen Informationen angemessen und effizient zu nutzen. Ein derartiges System wäre eine wahre Bereicherung und würde künftige (technische) Entwicklungen auf konstruktive Weise fördern. Es wird mehrfach auf „wissenschaftlich-technologische Infrastrukturen“ Bezug genommen, aber E-Infrastrukturen werden nicht erwähnt.

Da NPL in die Fraunhofer-Organisation eingebettet sein wird, soll die „Fraunhofer Politik“ in Bezug auf das Management, die Qualitätssicherungsmaßnahmen etc. umgesetzt werden. Dies gilt auch für die Kooperation mit der relevanten wissenschaftlichen Nutzergemeinschaft, die ethischen Standards und die gute wissenschaftliche Praxis in Bezug auf den Umgang mit Forschungsdaten und Publikationen. Die NPL-Struktur verläuft gemäß dem Fraunhofer Modell in Form von separaten Linien für die wissenschaftliche und industrielle Nutzung.

I.4.c Umsetzbarkeit

Beschreibung

Laut Konzept war es ein Ziel des initialen Strategieprozesses, bei der Umsetzung von NPL wissenschaftliche, technologische, strategische und finanzielle Agilität zu gewährleisten. Daher wird das wissenschaftlich-technische Risiko bei der Umsetzung der FIS als begrenzt und auf verschiedenen Ebenen minimiert beschrieben.

NPL wird als eigenständige Abteilung in das Fraunhofer IOF integriert, das in den Fraunhofer-Verbund *Light & Surfaces* eingebunden ist. Sowohl in der Planungs- als auch in der Realisierungsphase richtet sich das Projektmanagement innerhalb von NPL nach den Ordnungen und internen Abläufen des Fraunhofer IOF. Die acht an den Kerntechnologien orientierten Expertengruppen werden von einer Juniordirektorin bzw. einem Juniordirektor geleitet werden (die bzw. der der Direktorin bzw. dem Direktor des Fraunhofer IOF untergeordnet ist). Die zentralen Organe von NPL werden zum einen das Direktorium als wissenschaftliches Kontrollorgan sein, das auch für die strategische, wissenschaftlich-technische Weiterentwicklung verantwortlich zeichnen wird. Zum anderen wird ein Beirat aus je einer Vertreterin bzw. einem Vertreter des BMBF, des Freistaates Thüringen sowie der potenziellen Nutzergruppen, inkl. Industrie eingerichtet werden.

Die strategische Einbettung der kooperierenden Partner erfolgt zum einen durch die direkte Einbindung einer Vertreterin bzw. eines Vertreters der Helmholtz-Zentren DESY |⁸⁵ und GSI |⁸⁶ sowie der PTB in das Direktorium. Die Zusammenarbeit der Partner wird in einem Rahmenvertrag geregelt und umfasst eine Abstimmung von Zielen und Inhalten der gemeinsamen Vorlaufforschung, Geschäftsmodelle, sowie die Einbettung von Apparaturen und Wissen-schaftlern am Standort der jeweiligen Partner.

NPL kann zu seiner Umsetzung auf erfahrenes Personal des Fraunhofer IOF sowie seiner Partner zurückgreifen. Die Strategieplanung soll die Voraussetzungen für einen planmäßigen Start von NPL schaffen. Entsprechende Mittel werden von den Partnern und dem Freistaat Thüringen vorgehalten. Interessenbekundungen im Sinne gemeinsamer Forschungsaktivitäten sowie direkter Auftragsforschung finden sich bei nationalen und internationalen Einrichtungen.

Bewertung

Insgesamt werden die ethischen, gesetzlichen und umweltbezogenen Risiken angemessen beurteilt, wobei diese im Allgemeinen moderat bis gering ausgeprägt sind. Die von den Konzeptverantwortlichen durchgeführte Risikoanalyse ist sehr professionell. Die wissenschaftliche sowie die wirtschaftliche Perspektive werden auf ausgeglichene Weise abgedeckt. Es besteht jedoch ein Risiko hinsichtlich der Verfügbarkeit der Ausstattung.

Die Einbettung von NPL in die Infrastruktur des Fraunhofer IOF ist plausibel, angesichts der vorhandenen Verwaltungsinfrastruktur und dem technischen Fokus sowie dem Kompetenzspektrum des IOF. Die Gesamtgröße von NPL entspricht knapp der Hälfte des existierenden IOF, sodass die IOF-Infrastruktur problemlos erweitert werden kann, ohne sie zu sehr zu belasten. Beinahe alle Fokusbereiche des IOF sind auch in den NPL-Schwerpunkten vertreten, sodass eine sehr gute Harmonisierung und somit auch ein inkrementelles Wachstum sichergestellt werden können.

Die geplante enge Kooperation zwischen stärker anwendungsorientierten Institutionen (Fraunhofer), Grundlagenforschungsinstitutionen (Helmholtz) und der PTB mit deren Fokussierung auf Standards und Messungen ist ein faszinierendes Konzept mit einem großen Potenzial für bahnbrechende Innovationen.

Es sieht so aus, als ob das Management der geplanten 50–80 zeitgleich umgesetzten Projekte auf Ebene der individuellen Ingenieurin bzw. des individuel-

| ⁸⁵ Deutsches Elektronen-Synchrotron.

| ⁸⁶ GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH.

len Ingenieurs erfolgt. Mit einem vorgesehenen Personalbestand von etwa 40 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern scheint jedes Projekt einer Ingenieurin bzw. einem Ingenieur zugeordnet zu werden, die bzw. der auch das erforderliche Projektmanagement übernimmt. Außerdem ist offenbar keine zentrale Projektmanagementinfrastruktur eingeplant und es sind auch kaum Angaben dazu enthalten, wie die Projekte strategisch ausgewählt und priorisiert werden sollen.

Der Governance-Plan für NPL sollte noch einmal geprüft und modifiziert werden, sodass ein unabhängiger Beirat berücksichtigt wird. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird der Eindruck vermittelt, dass NPL über wenig oder überhaupt keine Autonomie verfügen wird. Die Einbettung von NPL in das IOF wird vorgenommen, um einen Anstieg der Verwaltungsgemeinkosten zu minimieren. Es wurde jedoch keine Definition bezüglich des Eigentümers der Einnahmen innerhalb von NPL vorgenommen. Außerdem ist das gesamte nach außen fokussierte Personal, die KCSs, dem IOF-Direktor unterstellt.

Ein anderes mangelhaftes institutionelles Element ist der Beitrag der Nutzerinnen und Nutzer zur Weiterentwicklung der FIS. Mittelbar soll dieser Beitrag über die KCSs geleistet werden. Ein Beirat ist erwähnt, aber weder im Organigramm noch im Governance-Plan aufgelistet. Es scheint so, als ob jeder derartige Beitrag eher informell über die KCSs gesammelt wird und den Entscheidungen des Direktoriums unterliegt, basierend auf dessen Top Down-Sicht. Insbesondere die Industrie scheint in keinem entscheidungsberechtigten Organ vertreten zu sein.

Die Anzahl der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter scheint angemessen in Bezug auf die Anzahl der gleichzeitig angenommenen Projekte. Bei einer vollständigen Einbettung in die IOF Organisation sollte das erforderliche Personalwachstum zu bewältigen sein. Der Zeitrahmen und die Organisation des erforderlichen Personalausbaus werden jedoch nicht ausführlich diskutiert.

Der Direktor des Fraunhofer IOF als Leiter der Initiative ist ein äußerst anerkannter Wissenschaftler, der gleichzeitig über Führungskompetenz verfügt. Die 25 Projektleiterinnen und -leiter umfassen Experten aus allen erforderlichen Wissensbereichen. Deren geplante Involvierung in NPL ist jedoch nicht besonders detailliert beschrieben.

Die Einstellung von etwa 40 neuen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern über einen Zeitraum von sieben Jahren bis zu einem stabilen Personalbestand sollte kein Problem sein, insbesondere angesichts der Tatsache, dass die lokalen Universitäten (die *Abbe School of Photonics* an der Universität Jena und die Ernst-Abbe-Universität für Angewandte Wissenschaften in Jena) zeitgerecht äußerst fähige Absolventinnen und Absolventen zur Verfügung stellen können. Abgesehen von wenigen Ausnahmen werden die neu eingestellten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in die vorhandenen Abteilungen integriert.

Es wurden Verpflichtungen in Bezug auf die finanzielle Unterstützung von Seiten des Bundeslandes und der teilnehmenden Institutionen übernommen. Es wird von einer langfristigen Unterstützung von Seiten des Fraunhofer IOF ausgegangen, wobei der Direktor vermutlich gewillt sein wird, die Unterstützungsleistungen aus dem operativen Geschäft oder vergleichbaren Quellen abzudecken.

I.4.d Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

Beschreibung

Die Konzeptverantwortlichen betonen den weltweit einzigartigen Charakter von NPL. Es wird erwartet, dass die Verbindung von optischen Technologien mit Verfahren der Nanostrukturierung Deutschlands Position in den adressierten Forschungsfeldern stark voranbringen wird. Es wird ebenfalls erwartet, dass sich Trends zur regionalen Schwerpunktbildung und Spezialisierung weiter fortsetzen. Dafür sind die Wettbewerbsvorteile einzelner Schwerpunktstandorte ausschlaggebend. Die Stärke Europas und insbesondere Deutschlands wird in fertigungstechnisch orientierten Technologiebereichen gesehen. Der Standort Jena mit seinem Fokus auf angewandter Optik würde durch die technologische Infrastruktur entlang der photonischen Wertschöpfungskette wie von NPL vorgeschlagen weiter gestärkt werden. Von NPL wird erwartet, dass es einen Innovationsschub generiert, welcher es einer Schlüsselbranche der deutschen Wirtschaft ermöglicht, ihre Weltspitzenposition zu erhalten und auszubauen.

Laut Konzept handelt es sich bei den *Principal Investigators* der Trägereinrichtungen bereits um hochkarätige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in der Photonik. Deren Kompetenzen sind in einem akademischen, interfakultären Zentrum für Optik und Photonik, dem *Abbe Center of Photonics* an der Universität Jena, gebündelt, das auch internationale Master- und Doktorandenprogramme anbietet. Auch für diesen Bereich werden Hebelwirkungen des NPL erwartet.

Das Konzept von NPL sieht Technologietransfer als einen integralen Bestandteil. Maßnahmen zum Wissens- und Technologietransfer beinhalten zum Beispiel das Konzept des *key community scientists*, Workshops und eine nutzerzentrierte Ausrichtung des kontinuierlichen Strategieprozesses. Die aktive Mitgestaltung der Infrastruktur durch die späteren Nutzerinnen und Nutzer bildet hierbei einen Kernbaustein. Outreach-Maßnahmen werden Tage der offenen Tür sowie weitere Veranstaltungen zur Promotion von Wissenschaft gegenüber Schülerinnen und Schülern sowie Jugendlichen sein.

NPL wird internationale wissenschaftliche Gemeinschaften im Bereich der hochmodernen optischen Technologien dabei unterstützen und sie befähigen, exzellente Forschungsarbeiten und Experimente durchzuführen. Zusammen mit der Fokussierung von NPL auf Wissenschaftsprojekte, die sich den großen Herausforderungen in der Physik stellen und der Erfahrung der Projektleiterinnen und -leiter wird sichergestellt, dass die durchgeführten bzw. ermöglichten Forschungsarbeiten eine hohe Sichtbarkeit aufweisen. Dementsprechend wird der Ausbau der Position Deutschlands in den jeweiligen Forschungsbereichen gefördert werden.

Das Konzept identifiziert eine verteilte und teilweise zersplitterte Forschungslandschaft in Deutschland als Schwäche des Wissenschafts- und Forschungsstandorts. Man könnte argumentieren, dass die Präsenz der Fraunhofer- und Max-Planck-Institute in Ergänzung zu den DFG-unterstützten Exzellenzzentren jedoch eine signifikante Tendenz in Richtung der (regionalen) Ballung und Spezialisierung vermittelt. Dies stellt für die deutsche Forschungslandschaft bereits einen Vorteil gegenüber den europäischen und internationalen Forschungslandschaften dar. Die Bedeutung von NPL wird sicherlich im Freistaat Thüringen am stärksten ausgeprägt sein. Die Bedeutung innerhalb Deutschlands und über die deutschen Staatsgrenzen hinaus wird davon abhängen, wie hoch der Anteil der nationalen und internationalen Forschungskooperationen ist, die tatsächlich zustande kommen werden.

NPL wird definitiv einen Beitrag zur Steigerung der Attraktivität von Deutschland als Wissenschafts- und Forschungsstandort leisten.

NPL wird auch zur Unterstützung von jungen Akademikerinnen und Akademikern beitragen. Wenn man davon ausgeht, dass die 50–80 jährlichen Projekte einen wesentlichen Anteil an wissenschaftlicher Forschungsarbeit umfassen, bietet NPL ein einzigartiges Umfeld für junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Außerdem könnte die Möglichkeit des Wissenserwerbs für *startups* im Bereich der Photonik attraktiv sein. NPL sollte zudem die bereits beträchtliche Anziehung ausbauen, die durch die *Abbe School of Photonics* ausgeübt wird. Es wird jedoch ein Plan benötigt, wie die erforderliche Interaktion zwischen NPL und den lokalen Universitäten oder Instituten in Jena und Umgebung in der Praxis organisiert und gefördert werden kann.

Nutzergruppen, Workshops und die KCSs werden als Technologietransferinstrumente aufgelistet. Dies wird von einer angemessenen Kontroll- und Berichtsstruktur begleitet sein (die noch erstellt werden muss), basierend auf den existierenden Vorschriften und Verfahren des Fraunhofer IOF. Des Weiteren sind angemessene Outreach-Aktionen zur Kontaktierung von Studierenden und anderen jungen Menschen vorgesehen.

Die Einrichtung einer Institution wie NPL wird sicherlich einen ergänzenden Beitrag zur lokalen Wirtschaft und zur Ausbildungslandschaft leisten. Eine Position an der vordersten Front von großen wissenschaftlichen Projekten wird voraussichtlich einen hohen gesellschaftlichen Einfluss und die gewünschte Wirkung auf die nationale und regionale Reputation haben. Der wirtschaftliche Einfluss ist weniger vorhersehbar, wobei die FIS-Einnahmen in den Jahren nach 2023 ein guter Indikator für die gesamte regionale Geschäftsentwicklung sein sollten. Die Konzeptverantwortlichen weisen darauf hin, dass eine große Bandbreite an nahestehenden Feldern (Avionik, Lithographie, Informationstechnologie etc.) von der Einrichtung der FIS profitieren kann, wobei die Verbindungen noch ungenügend etabliert sind.

Deutschland fördert in einem strategischen Prozess die Photoniktechnologie, um seine Führungsposition auf diesem Gebiet auszubauen. Der mittel- und langfristige Impact von NPL wird im Wesentlichen durch die Fähigkeit bestimmt, ein nationales Netzwerk, das über Jena hinausgeht, im Bereich der Photonikwissenschaft zu stimulieren.

I.4.e Komplementäre und konkurrierende Forschungsinfrastrukturen

Research infrastructure landscape			
Name	Brief description and internet link	Time frame	Location/ participants
Existing research infrastructures			
AIM Photonics - American Institute for Manufacturing Integrated Photonics (complementary)	AIM Photonics is an industry driven public-private partnership. It supports Small and Medium Enterprises, providing practical access and technology on-ramps for U.S. industry, government, and academic communities. Its vision is to establish a technology, business and education framework for industry, government and academia to accelerate the transition of integrated photonic solutions from innovation to manufacturing-ready deployment in systems spanning commercial and defence applications. AIM Photonics focuses on wafer-based integration of optical elements and standard semiconductor device processing in addition to low-cost packaging solutions for commercial applications ranging from Datacom to sensors and lidar. http://www.aimphotonics.com/ , last accessed 6 October 2016	Since 2015	US
CNSI - California NanoSystems Institute	CNSI at UCLA is exploring the power and potential of organizing and manipulating matter to engineer new integrated and emergent systems and devices, by starting down at the nanoscale level that will advance information technology, energy production, storage and saving, environmental well-being and diagnosis, and prevention and treatment of chronic	Not specified	Los Angeles, US

	and degenerative diseases. To support the research, the CNSI encompasses eight core facilities which include both wet and dry laboratories, equipment in the form of electron microscopes, atomic force microscopes, X-ray diffractometers, optical microscopies and spectroscopies, high throughput robotics and class 100 and 1000 clean rooms for projects led by CNSI and other faculty. http://www.cnsi.ucla.edu/staticpages/core-facilities, last accessed 24 August 2016		
CXRO – The Center for X-Ray Optics at Lawrence Berkeley National Laboratory	CXRO works to further science and technology using short wavelength optical systems and techniques. They create and operate advanced experimental systems to address national needs, support research in material, life, and environmental science, and extend the forefront of semiconductor manufacturing. http://www.cxro.lbl.gov/, last accessed 24 August 2016	Not specified	Berkeley, US
FELS of Europe (complementary)	FELS OF EUROPE is a collaboration of all free electron laser (FEL) facilities in Europe, with the goal to meet the technological and scientific challenges of these novel and rapidly developing technologies and to provide a worldwide unique, pan-European research infrastructure that enables exploiting the full scientific potential of these unique accelerator based short-pulse light sources. The collaboration is an initiative of the ESFRI projects EuroFEL and European XFEL. https://www.fels-of-europe.eu/, last accessed 6 October 2016	Memorandum of Understanding signed in 2012	TR, DE, IT, SE, PL, FR, CH, NL, UK
INSTRUCT – Integrated Structural Biology Infrastructure (complementary)	INSTRUCT is a distributed, dynamic infrastructure of integrative science, in which the free access to state-of-the-art structural biology technologies for researchers is promoted in the member states. INSTRUCT intends to enable innovation at the boundaries of different technologies by the development of instruments and methods. INSTRUCT entered the ESFRI Roadmap in 2006 and is a Landmark on the ESFRI Roadmap 2016. https://www.structuralbiology.eu/, last accessed 24 August 2016	Operation start 2012	UK, SE, ES, PT, NL, IT, IL, DE, FR, DK, CZ, BE
The Integrated Optics Lab at ESL (ElectroScience Laboratory)	The Integrated Optics Lab at ESL of the Ohio State University enables in-house fabrication, test, and measurement of planar lightwave circuits. Equipment includes continuous wave tunable laser at telecommunication wavelengths, In-GaAs photo detectors, numerical simulation tools and data acquisition software, floating optical tables, optical components such as quarter waveplates, half waveplates, polarizers, single mode and polarization maintaining optical fibre, fibre polarization control, translation stages, XYZ stages for high precision	Not specified	

	sample positioning, digital-video measurement inspection unit for optical micrographs and optical alignment to integrated optics. https://electroscience.osu.edu/facilities-equipment/integrated-optics-lab , last accessed 24 August 2016		
IOL – The Boston University Integrated Optics Laboratory	The IOL is a multi-user facility and houses a Class 100 cleanroom and a standard laboratory. It is a multi-user facility equipped with state-of-the-art equipment for bonding and spectroscopic analysis of components. http://www.bu.edu/photonics/sharedfacilities/iol/ , last accessed 24 August 2016	Not specified	Boston, US
Planned research infrastructures/under construction			
E-ELT – European Extremely Large Telescope (complementary)	E-ELT is a currently under construction next-generation optical telescope for the European Southern Observatory (ESO). It will have a primary mirror (39 meters in diameter) which will be composed of 798 hexagonal mirror elements. It will be the world's largest optical telescope. http://www.eso.org/public/teles-instr/e-elt/ , last accessed 23 August 2016	First light is targeted for 2024	ESO
ELI – Extreme Light Infrastructure (complementary)	ELI is a European laser research project in the preparatory phase. It will be used to investigate processes with high time resolution. Therefore, the most intense laser will be brought into action worldwide. ELI entered the ESFRI Roadmap in 2006 and is a Landmark on the ESFRI Roadmap 2016. https://eli-laser.eu/ , last accessed 23 August 2016	Operation start in 2018	CZ, DE, HU, IT, RO, UK; membership application in progress: GR
EU-SOLARIS (complementary)	EU-SOLARIS aims to create, explore and implement new policies in order to improve rules and procedures for Research Infrastructures of the Solar Thermal Electricity technology. EU-SOLARIS entered the ESFRI Roadmap in 2010 and is a project on the ESFRI Roadmap 2016. http://www.eusolaris.eu/ , last accessed 23 August 2016	From 2020	15 partners from 7 EU countries: PO, ES, FR, IT, DE, GR, CY
HiPER – High Power Laser Energy Research Facility (complementary)	HiPER is a proposed experimental laser-driven inertial confinement fusion device (ICF) as a preliminary draft of possible construction in the European Union. http://www.hiper-laser.org , last accessed 6 October 2016	Preparatory phase: 2008 to 2013; construction and commissioning from 2028	HiPER preparatory phase: UK, FR, IT, GR, CZ, ES, DE, RU, PL, PT
IFMIF – International Fusion Materials Irradiation Facility (complementary)	IFMIF is a research facility planned since the 1990s. The facility is designed to test materials for their suitability for the usage in potential fusion reactors. The project is currently (2014) in the so-called Engineering Validation and Engineering Design Activities (EVEDA) phase. It has not yet been decided on the location of the plant. http://www.ifmif.org/ , last accessed 6 October 2016	EVEDA phase to be completed in 2017	Management: IEA; JP, EU, RU, US

II.1 Wissenschaftsgebiet Umwelt- und Erdsystemwissenschaften

Die Umwelt- und Erdsystemwissenschaften integrieren Wissen eines weitreichenden Spektrums wissenschaftlicher Disziplinen, zu denen die Geowissenschaften, die Biologie, Physik, Chemie, Meteorologie, die Sozial- und Humanwissenschaften, aber auch technische Felder, wie z. B. die Computerwissenschaften, Technikwissenschaften, Wirtschaftswissenschaften und die Medizin gehören. Die Umwelt- und Erdsystemwissenschaften adressieren oftmals drängende gesellschaftliche und politische Themenfelder im Zusammenhang mit den Folgen anthropogener Aktivitäten (beispielsweise Luft- und Umweltverschmutzung und Abbau natürlicher Ressourcen), aber auch mit den Folgen natürlicher Phänomene für Gesellschaften, (z. B. von Erdbeben und Wetterphänomenen).

Nach einer allgemeinen Einführung liegt der Fokus des folgenden Kapitels auf vier spezifischen Forschungsfeldern umweltwissenschaftlicher und erdsystemischer Forschung und auf den an diese Felder anknüpfenden Forschungsinfrastrukturvorhaben, die im Rahmen des Roadmap-Prozesses eingereicht worden sind.

II.1.a Wissenschaftslandschaft für Forschungsinfrastrukturen in den Umwelt- und Erdsystemwissenschaften

Die sogenannten Erdsphären (Atmo-, Bio-, Hydro- und Geosphäre) werden zunehmend als Teilaspekte eines komplexen Erdsystems aufgefasst. Dieser Begriff weist einerseits auf die Vielzahl der beteiligten Disziplinen und andererseits auf die im Mittelpunkt der Forschung stehenden Phänomene hin. |⁸⁷ Das Erdsystem ist charakterisiert durch Prozesse und Wechselwirkungen innerhalb und zwischen den Erdsphären sowie durch den Einfluss anthropogener Aktivitäten (in der sogenannten Anthroposphäre). Diese wechselseitigen Einflüsse und Prozesse stehen im Mittelpunkt umwelt- und erdsystemischer Forschung. Zu den zentralen Themenfeldern gehören beispielsweise das Klimasystem und dessen Veränderungen, Ökosysteme, Biodiversität, biogeochemische Zyklen und natürliche sowie anthropogene Emissionen von Spurengasen und Aerosolen, einschließlich deren Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit.

In den Umwelt- und Erdsystemwissenschaften kommen inter- und transdisziplinäre Problemlösungsansätze zum Einsatz, die Wissen einzelner traditionel-

|⁸⁷ Es existieren einige weitere Konzepte von Erdsphären, z. B. die Litho-, Pedo- und Kryosphäre. Gemäß der verwendeten Klassifizierung können diese Sphären als Subsphären oder Teile der genannten Hauptsphären gesehen werden.

ler Disziplinen in größere Zusammenhänge stellen. Dabei werden auch sozio-ökonomische und soziokulturelle Faktoren sowie die Bedürfnisse verschiedener Interessengruppen berücksichtigt. Aufgrund des inhärenten Systemansatzes überschreiten die Umwelt- und Erdsystemwissenschaften oftmals disziplinäre Grenzen zwischen natur-, geistes-, sozial-, human-, technik-, medizin- und lebenswissenschaftlichen Bereichen.

Der Klimawandel als eine der größten globalen und auch gesellschaftlichen Herausforderungen für die Menschheit ist ein wichtiges Beispiel, an dem sich die Notwendigkeit inter- und transdisziplinärer Kooperation veranschaulichen lässt. Atmosphärische Komponenten und Eigenschaften, einschließlich Wasserdampf, Wolken, Spurengase und Aerosole spielen als treibende Kräfte klimatischer Phänomene eine Schlüsselrolle. Zugleich gibt es enge Wechselwirkungen der Atmosphäre mit den Bestandteilen der Biosphäre (z. B. Landbiosphäre), Hydrosphäre (z. B. Ozeane, Eis), Geosphäre (z. B. Vulkane, Böden) und Anthroposphäre (z. B. Emissionen von natürlichen und anthropogen emittierten Spurengasen und Aerosolen). Die Kombination dieser komplexen Verknüpfungen verursacht Rückkopplungen, die auf verschiedensten räumlichen und zeitlichen Skalen die Atmosphäre wesentlich beeinflussen.

Ein nachhaltiges Management natürlicher und anthropogen beeinflusster Komponenten des Erdsystems, einschließlich der hiermit verzahnten sozio-ökonomischen und soziokulturellen Strukturen, erfordert eine solide wissenschaftliche Basis und multidisziplinäre Ansätze für fundierte Entscheidungsfindungsprozesse. Dies gilt in besonderer Weise mit Blick auf komplexe und hochgradig relevante Herausforderungen wie Klimawandel, Ökosystemerhaltung, Biodiversität, Aufforstung/Abholzung, landwirtschaftliche Produktion, natürliche und anthropogen verursachte Gefahren sowie Wasserressourcen. Um Erkenntnisse zu solchen Themenkomplexen zu gewinnen, werden neuartige Werkzeuge und Technologien für die Erforschung umweltbezogener Prozesse sowie für die Überwachung, Prävention, Abwendung und Anpassung im Hinblick auf Umweltrisiken und die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf die Erdsphären entwickelt. |⁸⁸

II.1.b Umfangreiche Forschungsinfrastrukturen im Kontext der Umwelt- und Erdsystemwissenschaften

Die Erweiterung und Vertiefung unseres Wissens über die Prozesse und Wechselwirkungen im komplexen Erdsystem und seiner Reaktionen auf natürliche und anthropogene Veränderungen erfordern zunehmend große Forschungsinfrastrukturen. Zu diesen gehören gleichermaßen bodengestützte Infrastruk-

|⁸⁸ ESFRI: *Strategy Report on Research Infrastructures*. Roadmap 2010, Luxemburg 2011, S. 28 und HGF: *Helmholtz-Roadmap for research infrastructures*. Stand 2011, Bonn 2011, S. 17.

turen (z. B. Seismometer-Arrays, Fernerkundungslaboratorien und Stationen, die biotische und abiotische Parameter messen etc.) sowie Satelliten und Dateninfrastrukturen. Des Weiteren sind für einen umfassenden systemorientierten Ansatz die Integration diverser Geräte, Instrumente, vollständiger Infrastrukturen sowie Beobachtungs- und Überwachungssysteme zwingend erforderlich. Auch Netzwerke, wissenschaftliche Sammlungen und integrierende Programme, die sich der Untersuchung spezifischer Bestandteile des Erdsystems widmen, können als wichtige Forschungsinfrastrukturen dienen.

Die Daten, die für das Verständnis des Erdsystems und seiner künftigen Entwicklung erforderlich sind und die Ansätze, mit diesen Daten umzugehen, werden zunehmend komplexer. Numerische Simulationen und Modelle sowie die Digitalisierung von Objekten aus wissenschaftlichen Sammlungen erfordern große Rechenkapazitäten und ein qualifiziertes Modell- und Datenmanagement. Daher sind auch E-Infrastrukturen ein zentraler Bestandteil der Forschungsinfrastrukturlandschaft in den Umwelt- und Erdsystemwissenschaften.

Um die Forschungsinfrastrukturen des aktuellen Roadmap-Prozesses in das Forschungsfeld einzuordnen, wird die folgende Klassifizierung von Erdsphären zur Beschreibung der Schlüsselkomponenten des Erdsystems genutzt. Die einzelnen Erdsphären sind durch zahlreiche Wechselwirkungen und Austauschprozesse verknüpft.

Atmosphäre

Die Atmosphärenforschung untersucht die chemische und physikalische Zusammensetzung sowie die Dynamik der Atmosphäre, die Evolution atmosphärischer Veränderungen, Klima- und Wettersysteme, Wechselwirkungen sowie Verknüpfungen der Atmosphäre mit anderen Erdsphären, etwa der Bio- und Hydrosphäre und der Anthroposphäre. Dieser Bereich beinhaltet eine große Bandbreite physikalischer, chemischer und biologischer Prozesse, die von der Erdoberfläche und der planetaren Grenzschicht (niedrigster Bereich in etwa 1 km) über die Troposphäre (von 0 bis 10 km Höhe) und der Stratosphäre (von 10 bis 50 km Höhe) bis zur Mesosphäre (50–80 km Höhe) und Thermosphäre (80–600 km Höhe) reichen. Prominente Beispiele aktueller Forschungsfelder sind der globale und regionale Klimawandel, die Zukunft der stratosphärischen Ozonschicht, die Vorhersage von Extremereignissen und Wechselwirkungen zwischen Aerosolen, Wolken und Niederschlägen. Atmosphärenwissenschaftliche Forschung erfordert qualitativ hochwertige und langfristige Beobachtungen mit Fernerkundungsinstrumenten, aber auch In-situ-Messungen und enge Kooperationen zwischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, die an Beobachtungen, Theorie, Dynamik und Modellierung der Atmosphäre arbeiten.

Die Geosphäre umfasst die anorganische Materie von der oberen Lithosphäre bis zum Erdkern. Die Pedosphäre entsteht als Bestandteil der Lithosphäre durch konstante Wechselwirkungen zwischen der Lithosphäre und der Atmo-, Kryo-, Hydro- und Biosphäre. Zentrale Felder zur Erforschung der festen Erde sind die Geologie, Geophysik und Geochemie. Einer der wichtigsten Aspekte besteht in der Schaffung eines besseren Verständnisses der fundamentalen geologischen Prozesse und der vorhandenen Strukturen der Lithosphäre, d. h. des oberen Teils der festen Erde mit einer Tiefe von bis zu etwa 75 bis 300 km. Die Lithosphäre umfasst die Erdkruste und die Bodendecke der Erde und den darunterliegenden Mantel. Sie besteht aus abgegrenzten Platten, die sich auf der plastischen Asthenosphäre bewegen. Die Plattentektonik ist ein einzigartiges Merkmal des Planeten Erde und ist letztendlich für das Auftreten von Erdbeben, Vulkanausbrüchen und hieraus resultierenden Gefahren verantwortlich. Des Weiteren ist das Verständnis der Struktur und Dynamik der Lithosphäre von wesentlicher Bedeutung für Bodennutzung und das Aufspüren neuer natürlicher Ressourcen, wie Öl-, Gas- oder Metallvorkommen. Die Erforschung der festen Erde umfasst Studien der Erdprozesse in großem Maßstab und über lange Zeiträume hinweg (geologische Historie), über deutlich schnellere geomorphologische Prozesse bis hin zu schnellen (bio-)chemischen Abläufen innerhalb der Pedosphäre. Die Forschungsthemen variieren von der Evolution der Kontinente und Ozeane über einen Zeitraum von Millionen Jahren bis zur Formation von Böden und plötzlichen Gefahren, wie innerhalb von Minuten oder Sekunden auftretenden Steinschlägen oder Erdbeben. Die räumlichen Dimensionen dieser Ereignisse reichen von tausende Kilometer umfassenden tektonischen Platten bis zu Prozessen im Nanometer-Maßstab, die auf mineralischen Oberflächen stattfinden. Es bestehen zudem enge interdisziplinäre Verknüpfungen zwischen Untersuchungen der Geosphäre und anderen Erdsphären; die Geochemie ist beispielsweise eng mit paläo- und biochemischen Fragestellungen verbunden.

Hydrosphäre

Wasser bedeckt zwei Drittel der Erdoberfläche und ist eng mit Prozessen in der Atmosphäre, der gesamten Biosphäre und größeren Teilen der Geosphäre verknüpft. Ozeane (marine Hydrosphäre), Meere und Grundwasser (Limnosphäre) sowie Eis (Kryosphäre) haben einen tiefgreifenden Einfluss auf Klima, Biodiversität sowie ökosystemische Phänomene und dienen zudem als Lagerstätten für diverse kostbare Ressourcen. Das Küstensystem, d. h. die Übergangszone zwischen dem kontinentalen (Frisch-)Wasser und dem ozeanischen (Salz-)Wasser, liegt in einer starken anthropogenen Einflusszone mit entsprechenden Auswirkungen auf die grundlegenden Funktionen und die Nutzbarkeit. Auch hier sind erhebliche Forschungsarbeiten notwendig.

Die vertikale Ausdehnung der Biosphäre erstreckt sich von der unteren Mesosphäre (~60 km Höhe) bis hinunter zur oberen Lithosphäre (~5 km Tiefe) und umfasst alle lebenden Organismen im Wasser und in den terrestrischen Ökosystemen, aber auch die organische Materie in der Atmosphäre. Die Biosphäre ist eng mit den anderen Erdsphären verknüpft und beeinflusst bzw. wird selbst beeinflusst durch die Hydro-, Geo- und Atmosphäre. Dementsprechend bestehen diverse Verknüpfungen zwischen einer großen Bandbreite von traditionell verankerten und sich weiterentwickelnden Disziplinen und Subdisziplinen, in denen die Sphären des Erdsystems und ihre Kopplungen untersucht werden.

II.1.c Forschungsinfrastrukturvorhaben im Bereich der Umwelt- und Erdsystemwissenschaften

Die fünf Forschungsinfrastrukturvorhaben in den Umwelt- und Erdsystemwissenschaften sind mit einer großen Bandbreite von Erdsystemkomponenten und Umweltfragen verknüpft, zielen aber nichtsdestoweniger jeweils auf die Analyse spezifischer Erdsphären und -phänomene ab. ACTRIS-D und AtmoSat konzentrieren sich auf die Erforschung atmosphärischer Prozesse, d. h. Spurengas- und Aerosolverteilungen, Wolken, atmosphärische Wellen etc., während DCOLL als Infrastruktur für die digitale Bereitstellung wissenschaftlicher Sammlungen konzipiert ist und BioM-D auf die Biodiversitätsforschung konzentriert ist und auf die Bio- und Geosphäre bzw. in geringerem Umfang auch auf die Hydrosphäre abzielt. Das **Tandem-L** Konzept befasst sich hingegen gleichermaßen mit der Erforschung von drei der hier beschriebenen Sphären (Geo-, Hydro- und Biosphäre).

II.2 Aerosole, Wolken und Spurengase Forschungsinfrastruktur – Deutscher Beitrag (ACTRIS-D)

II.2.a Wissenschaftliches Potenzial

Beschreibung

Die Konzeptverantwortlichen sehen folgende relevante Bereiche, für die ein besseres Verständnis kurzlebiger Spurengaskonzentrationen sowie der Eigenschaften von Aerosolen und Wolken zentral sind:

- _ Informationen über die räumliche und zeitliche Verteilung von Aerosolen und kurzlebigen Spuren- bzw. Vorläufergasen, wie z. B. Stickstoffdioxid und volatile organische Verbindungen (VOCs, *Volatile Organic Compounds*), die von ACTRIS geliefert werden, sind zur Erfassung von Luftverschmutzung, der Einschätzung damit verbundener Effekte auf die menschliche Gesundheit

und ganzer Ökosysteme sowie zur Ergreifung von Gegenmaßnahmen notwendig.

- _ Atmosphärische Aerosolpartikel nehmen Einfluss auf den Strahlungshaushalt der Erde. Direkte Effekte führen zu einer Abkühlung (z. B. durch Nitratre und Sulfate) oder Erwärmung der Erdatmosphäre (etwa durch Rußpartikel). Insbesondere indirekte Effekte sind allerdings auf Grund großer Unsicherheiten im Prozessverständnis und der komplexen Rolle von Wolkenkondensations- und Eiskernkeimungskeimen bislang über weite Strecken ungeklärt. ACTRIS leistet hier einen wesentlichen Beitrag.
- _ Wolken sind eine Quelle erheblicher Unsicherheiten in Klimavorhersagen, da unklar ist, wie sie auf eine globale Erwärmung reagieren werden. Gegenwärtige Klimamodelle sind auf Grund ihrer begrenzten räumlich-zeitlichen Auflösung sowie ungenügendem Prozessverständnis nicht in der Lage, Wolken mit ausreichender Genauigkeit abzubilden. Relevante Prozesse und Trends können mit den im Rahmen von ACTRIS gewonnenen Daten identifiziert und zur Modellverbesserung genutzt werden.
- _ Laut Konzept ist die Erforschung von Aerosolen und Wolken auch für die europäische Wirtschaft von Bedeutung. Dies betrifft die Verbesserung von Vorhersagemodellen für Wetterdienste, die Industrie für alternative Energien (z. B. durch verbesserte Berechnung zu erwartender Sonneneinstrahlung und der hiervon abhängigen Solarenergie), Agrar- und Forstwirtschaft (etwa in Hinsicht auf den Einfluss von Ozon auf Pflanzenwachstum) und die Luftfahrtindustrie (z. B. bezüglich des Einflusses von Vulkanasche und Staubstürmen auf die Flugtechnik und die Luftsicherheit).

Die sechs wesentlichen Betriebsmodi von ACTRIS bestehen erstens in der Bereitstellung langzeitlicher, harmonisierter, zuverlässiger, qualitätsgesicherter und vollständig dokumentierter Beobachtungsdaten der chemischen und physikalischen Beschaffenheit und Prozesse der Atmosphäre und Zusammenführung von Boden-, Profil-, Säulen- und Prozessbeobachtungen. Zweitens werden die Ergebnisse aus Prozessstudien führender Atmosphärensimulationskammern zur Verfügung gestellt. Drittens wird eine strikte Qualitätssicherung für sämtliche ACTRIS-Aktivitäten durch die Kalibrierzentren instituiert. Viertens werden Trainingsprogramme für Feldbeobachtungen, Kammerstudien, Datenversorgung und Datenproduktnutzung etabliert. Fünftens werden Forschung und Anwendungen der ACTRIS-Einrichtungen unterstützt, u. a. durch Instrumenten- und Dienstleistungsentwicklung, und sechstens wird der Zugang zu den nationalen und zentralen Einrichtungen auf EU-Ebene gewährleistet.

Laut den Konzeptverantwortlichen sind die von ACTRIS und ACTRIS-D bereitgestellten Datensets in ihrer Bandbreite einzigartig, wenngleich Überschneidungen mit den Arbeitsbereichen anderer, komplementärer FIS teils vorhanden sind. Beispiele hierfür sind etwa das *In-service Aircraft for Global Observing*

System (IAGOS) und das *Integrated Carbon Observation System* (ICOS). Ein wichtiges Charakteristikum von ACTRIS, beispielsweise im Vergleich zu IAGOS, besteht in der Flexibilität hinsichtlich des Einsatzes und einfachen Austauschs großer, schwerer und komplexer Instrumente und in der Unabhängigkeit von limitierten Randbedingungen, wie Platz, Gewicht und Zertifizierungen.

Bewertung

ACTRIS-D wird einzigartige Daten liefern, die einen wesentlichen Beitrag zur Erforschung atmosphärenchemischer Prozesse im Klimasystem leisten. Es steht außer Frage, dass die erfolgreiche Implementierung der FIS wesentlich zu einem besseren Verständnis der Interaktionen zwischen chemischen und physikalischen Vorgängen sowie deren gesellschaftlichen Implikationen (z. B. im Bereich Gesundheit) beitragen wird. An dem Konzept sind fast alle führenden Forschergruppen in Deutschland beteiligt, die sich mit atmosphärenchemischen Fragestellungen befassen.

Die FIS wird langfristige Messungen sowohl an Standorten innerhalb als auch außerhalb Deutschlands ermöglichen. Auf europäischer Ebene ist ACTRIS-D durch die Anknüpfung an das ACTRIS-Projekt gut integriert und die generierten Daten werden über die ACTRIS-Datenbank zur Verfügung gestellt werden. Dies gewährleistet eine standardisierte Qualitätskontrolle und einen freien Zugang für Nutzerinnen und Nutzer aus aller Welt. ACTRIS ist die einzige FIS, deren Fokus auf der Erstellung vertikaler Profile von Aerosolen, (reaktiven) Spurengasen und Wolken auf Basis bodengestützter Beobachtungen liegt. Die über lange Zeiträume erwarteten Daten von kurzlebigen Luftbestandteilen wären einzigartig und werden von Modellierern sowie politischen Entscheidungsträgern gleichermaßen benötigt. Die im Rahmen des Vorhabens entstehende Expertise bei der Kalibrierung wird die Erzeugung hochqualitativer und konsistenter Daten sowohl an den Standorten von ACTRIS-D als auch der internationalen Kooperationspartner befördern. Das im Konzept vorgesehene substanzielle Upgrade basiert vornehmlich auf den neuesten kommerziell verfügbaren Instrumenten, allerdings kann mit Blick auf die Expertise der Konzeptverantwortlichen von Innovationen auf instrumenteller Ebene ausgegangen werden. Im Konzept wurden keine übergreifenden wissenschaftlichen Fragestellungen formuliert, die über den Bedarf akkurater Langzeitbeobachtungen für Trendanalysen und Bodenvergleichsmessungen hinausgehen.

Es ist zu erwarten, dass die von ACTRIS-D ermöglichte Forschung signifikant dazu beitragen wird, unser Verständnis in Bezug auf die Luftqualität und das Budget klimawirksamer Luftbestandteile in Europa zu erweitern. Darüber hinaus wird die Verbindung von Prozessstudien in großen Simulationskammern mit Feldbeobachtungen einzigartige Synergien erzeugen.

Auf Grund ihrer verteilten Struktur, ist eine äußerst hohe Anpassung und Flexibilität der FIS zu erwarten. Sollte ein Instrument ausfallen oder veralten, so

besteht Potenzial für eine produktive Neuorientierung. Der Zugang zu den Simulationskammern für die externen Nutzerinnen und Nutzer wird dem erfolgreichen Ansatz von EUROCHAMP-2020 (*Integration of European Simulation Chambers for Investigating Atmospheric Processes*) folgen.

Die FIS ist hochgradig komplementär zu IAGOS, in dessen Rahmen Aerosole, Spurengase und Wolken in der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre gemessen werden. Ebenfalls komplementär ist ICOS, das konsistente Hochpräzisionsmessungen der Konzentrationen und Flüsse der Kohlenstoffkreislauf-Treibhausgase ermöglicht. Das Außergewöhnliche an ACTRIS-D besteht in der vorgeschlagenen Kombination von Messungen über große Zeiträume hinweg, die in dieser Form neuartig ist und derzeit nirgendwo existiert. Dies gilt insbesondere mit Blick auf kurzlebige atmosphärische Bestandteile. Damit steht die weltweite Einzigartigkeit dieser FIS außer Frage. ACTRIS-D wird die derzeit existierenden oder sich in der Anlaufphase befindenden Satellitenmissionen zur Messung von Spurengasen und optischer Eigenschaften von Aerosolen durch Bodenvergleichsmessungen maßgeblich ergänzen.

II.2.b Nutzung

Beschreibung

Die erwarteten Nutzergruppen rekrutieren sich hauptsächlich aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Atmosphärenforschung und benachbarter Disziplinen weltweit. Die von ACTRIS bereitgestellten Daten werden von diesen Gruppen zur Modellierung, zum Abgleich mit Modell- und Satellitendaten, zur Analyse von Trends und der Erforschung der Atmosphäre und Luftqualität, herangezogen. Hinzu kommen Nutzerinnen und Nutzer aus dem privaten (u. a. meteorologische Dienste, Instrumentenentwickler und Medien) sowie aus dem öffentlichen Sektor (z. B. politische Entscheidungsträger, Umweltämter, nationale Wetterdienste und Luftsicherheitsorganisationen).

Nutzer von ACTRIS-D werden einen freien und kostenlosen Zugriff auf Daten (*open access*) über das ACTRIS-Datenzentrum haben. Der Zugang zu anderen Dienstleistungen wird vom Zugangsmanagement-Referat in der ACTRIS-Geschäftsstelle organisiert. Vier Dienstleistungstypen werden für die Nutzer angeboten:

- _ Qualitätsgesicherte Beobachtungsdaten werden über ein Online-Portal bereitgestellt,
- _ Trainings in Form von Instrumentenworkshops und Weiterbildungskursen werden durch die Kalibrierzentren organisiert,
- _ Projekte und Innovationen in den Bereichen der Instrumentenentwicklung, Dienstleistungen und Messstandards werden unterstützt,

_ Zugang zu nationalen Observatorien, Simulationskammern und zentralen Einrichtungen wird nach einem wissenschaftlichen Evaluierungsverfahren gewährt.

Das ACTRIS-Datenzentrum ist bereits etabliert und beinhaltet drei fachbezogene Datenbanken: Aerosole und Spurengase in Bodennähe, Aerosolprofile sowie Wolkenprofile. Zukünftig sollen auch Daten aus der *Fourier Transform InfraRed spectroscopy* (FTIR) und von den Simulationskammern integriert werden.

Um als ACTRIS-Einrichtung anerkannt zu werden, verpflichten sich die beteiligten nationalen Institutionen zur Einhaltung der ACTRIS-Richtlinien bezüglich Protokollführung, Operationsabläufe, Qualitätssicherung etc. sowie zur Teilnahme an den, von den Kalibrierzentren organisierten, Workshops. Darüber hinaus richten sich die ACTRIS-D-Institute nach den DFG-Richtlinien zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis.

Bewertung

Die zu erwartenden Nutzergruppen wurden eindeutig identifiziert und in Kategorien mit spezifischen Profilen eingeteilt. Neben den unmittelbar an der Entwicklung und dem Betrieb der FIS beteiligten Personen wird eine große Anzahl an Nutzerinnen und Nutzern von den zur Verfügung gestellten Daten profitieren. Die Nutzerschaft wird sich zu ca. 95 % aus der nationalen und internationalen Gemeinschaft der Atmosphären-, Klima- und Umweltforscherinnen und -forscher zusammensetzen. Darüber hinaus werden Regierungs- und regierungsübergreifende Einrichtungen als Nutzergruppen aufgeführt, zu denen beispielsweise Umweltbehörden und politische Entscheidungsträger gehören. Diese letzte Gruppe macht 2,8 % der Gesamtnutzerschaft aus, ist jedoch nichtsdestoweniger von großer Bedeutung.

Das Zugangsmanagement und die Services knüpfen an die Regularien auf europäischer Ebene an. Obwohl kein schriftliches Dokument zu den Nutzungsvereinbarungen erstellt worden ist, erscheinen im Konzept der Datenzugang und die (gesetzlichen) Nutzungsbedingungen unkompliziert und standardgemäß, was die Aerosol- und Spurengasdaten in der Nähe der Erdoberfläche sowie die Wolkendaten betrifft. Sie sind gut für erfolgreiche Forschungsarbeiten geeignet und es besteht ein freier Datenzugang für alle Nutzerinnen und Nutzer. Offen ist hingegen, inwiefern die Daten aus den Simulationskammern archiviert und frei zugänglich sein werden, wie es bei den Feldmessungen der Fall ist.

Das Datenkonzept für die Aerosolprofildaten, Daten in der Nähe der Oberfläche sowie die Spurengas- und Wolkenprofildaten, ist insgesamt solide. Die datenpolitischen Leitlinien von ACTRIS enthalten klare Angaben dazu, wann Instrument-PIs kontaktiert werden sollten, sofern die Daten in eine Analyse oder eine geplante Publikation Eingang finden. Eindeutige Vorgaben werden auch

gemacht bezüglich der Anerkennung von ACTRIS-Daten in Manuskripten. Da ein beträchtlicher Anteil des Datenportfolios, das von ACTRIS-D geliefert werden soll, bereits im ACTRIS-Datenzentrum archiviert ist, erscheint es relativ sicher, dass die Strategien für die Datenarchivierung und den Datenaustausch weitgehend ausgereift sind. Die *e-services* sind gut entwickelt und es besteht kein Bedarf für signifikante Weiterentwicklungen oder Upgrades. Hilfreich wären jedoch mehr Details bezüglich einiger Aspekte zu den Simulationskammern und Kalibrierungsanlagen. Ebenso wäre es hilfreich zu wissen, welche Arten von Daten für die neuartigen Instrumente und welche Protokolle vorgesehen sind, um die Messungen langfristig nachvollziehen zu können.

Die involvierten Institutionen verfügen über weitreichende Erfahrungen und hohe Standards in der Qualitätssicherung und folgen gemeinsam festgelegten Richtlinien. Es wird davon ausgegangen, dass das Ausschreibungsverfahren für die individuellen Instrumente wettbewerbsbetont und transparent sein wird. Verpflichtungserklärungen über lange Zeiträume seitens der Partnerinstitute sind vorhanden und die ACTRIS-Gesamtstrategie ist bereits ein Bestandteil der Strategien der einzelnen Partnereinrichtungen. Der physische Zugang zu nationalen und zentralen Anlagen wird über die Evaluierung der wissenschaftlichen Exzellenz der jeweiligen Anfragen geregelt. Eine Schulungskapazität scheint in ACTRIS-D integriert zu sein, was insbesondere für einige komplexere Datensätze wichtig ist, die erhoben werden sollen. Des Weiteren wird die Durchführung von Experimenten in den Simulationskammern, deren Betrieb komplexe operationelle Aspekte aufweisen kann, eine solide Kommunikation und Schulung der externen Nutzerinnen und Nutzer erfordern. Ethische Aspekte werden sowohl auf europäischer Ebene bei ACTRIS als auch innerhalb der einzelnen teilnehmenden Institute berücksichtigt. Die Verfahren folgen guten internationalen Standards.

II.2.c Umsetzbarkeit

Beschreibung

Laut den Konzeptverantwortlichen erfordert die Implementierung der für ACTRIS-D notwendigen Instrumente, Testläufe und Automatisierungsprozesse weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Von Vorteil ist hier, dass an mehreren Orten von verschiedenen Einrichtungen ähnliche Komponenten für ACTRIS-D aufgebaut werden, was Synergieeffekte ermöglicht. Auf diese Weise wird die Gefahr von Fehlern und etwaiges Versagen auf der Ebene technischer Entwicklung minimiert.

Das ACTRIS-Konzept wird Teil der institutionellen Strategien des ACTRIS-D-Konsortiums sein. Während ACTRIS ab 2020 in Form eines *European Research Infrastructure Consortium* (ERIC) organisiert werden soll, bleibt die Konsortialvereinbarung der Partnereinrichtungen von ACTRIS-D darüber hinaus weiter be-

stehen. Die rechtliche Grundlage der Verbindung von ACTRIS-D zum ACTRIS ERIC und Fragen nach dem Besitz von Ausrüstung, Personalstellen und Dienstleistungen werden beim Aufbau des ACTRIS ERIC, von einem vorläufig eingesetzten ACTRIS-Rat, ausgehandelt werden.

Die Konzeptverantwortlichen unterstreichen, dass die an ACTRIS-D beteiligten Institute in der Lage sind, den wesentlichen Teil des notwendigen Personals in jeder Projektphase selbst zur Verfügung zu stellen. Die außeruniversitären Forschungseinrichtungen werden dabei den größten Anteil leisten, während sich die universitären mit einem geringeren Beitrag beteiligen. Behörden (DWD, UBA) stellen Personal hingegen ausschließlich in der Nutzungs- und der Schließungsphase bereit.

ACTRIS profitiert sowohl von einigen früheren Projekten, wie z. B. EARLINET |⁸⁹, CLOUDNET |⁹⁰ und EUSAAR |⁹¹ im Rahmen der EU-Programme FP5 und FP6, als auch von derzeit laufenden, etwa EUROCHAMP und ACTRIS-2 IA (ACTRIS-2 *Integrated Activities*) im Kontext von H2020. Weiterhin soll das global angelegte *Network for the Detection of Atmospheric Composition Change* (NDACC) in ACTRIS integriert werden. Der erfolgreichen Überführung von ACTRIS in eine einsatzfähige FIS liegen damit insgesamt etwa fünfzehn Jahre Vorarbeiten zu Grunde.

Bewertung

Die Risiken für ACTRIS-D in der Entwicklungs- und operativen Phase sind gering. ACTRIS-D ist eine verteilt strukturierte FIS, daher können die einzelnen Komponenten jeweils ausgetauscht werden, ohne dass eine signifikante negative Beeinträchtigung der gesamten Infrastruktur auftritt. Darüber hinaus basiert die solide Struktur auf der Expertise jeder individuellen Einheit. Dies gewährleistet eine schnelle Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Forschungsfragen oder neu aufkommende wissenschaftliche Probleme. Die technischen Anforderungen und Risiken sind insgesamt gut dargestellt. Mehr Informationen über das Systemdesign wären hilfreich gewesen, um zu verstehen, wie spezifische Instrumententypen, die im Rahmen des substanziellen Upgrades eingerichtet werden sollen, in Bezug zu den übergeordneten Zielen von ACTRIS-D stehen. Unklar ist noch, wie verlässlich einige der Instrumente, z. B. einige CIMS-Instrumente (*Chemical Ionization Mass Spectrometer*), die gegenwärtig für Studien auf der Prozessebene verwendet werden, langfristig stabile Daten liefern können und wie kalibriert werden. Die Entwicklung einer Kalib-

| ⁸⁹ *European Aerosol Research Lidar Network.*

| ⁹⁰ *Cloudnet - A network of stations for the continuous evaluation of loud and aerosol profiles in operation NWP models.*

| ⁹¹ *European Supersites for Atmospheric Aerosol Research.*

rierungsmethode, die mit diesen Instrumenten konsistente, qualitativ hochwertige Daten im Kontext von Langzeitbeobachtungen erzeugt, ist eine wesentliche technische Innovation.

Weitere potenzielle Risiken sind nicht abzusehen. Es gibt keine ethischen Bedenken und es sind keine Umweltrisiken zu erwarten.

Die Gruppe der in ACTRIS-D involvierten Institute ist international möglicherweise als Einzige in der Lage, diese hochrelevanten Forschungsleistungen zu verwirklichen. Die meisten der an ACTRIS-D beteiligten Einrichtungen betreiben bereits Instrumentierungen, die mit denen vergleichbar sind, die in der FIS eingesetzt werden sollen. Die technische Expertise für den Betrieb und den kampagnenartigen Einsatz ist somit bereits vorhanden. Das Governance-Konzept wird über ACTRIS festgelegt. ACTRIS-D wird auf nationaler Ebene von einem Koordinationsbüro, einem wissenschaftlichen Lenkungsausschuss und einem Nationalen Konsortium geleitet. Die Abstimmungsregeln für das Nationale Konsortium müssen in der Konsortiumsvereinbarung erst noch festgelegt werden. Es scheint, dass es sehr gute Kontrollmechanismen für die FIS geben wird, die jedoch weder die Unabhängigkeit wissenschaftlicher Arbeiten noch Kooperationen beeinträchtigen werden. Wenngleich die Koordination der zahlreichen involvierten Einrichtungen eine Herausforderung ist, werden Redundanzen vermieden, da die beteiligten Institute unterschiedliche Aufgaben wahrnehmen und die Integration der einzelnen Einheiten in die FIS gut gearbeitet ist.

Mit Blick auf hochqualifiziertes, für die Erfordernisse von ACTRIS-D geeignetes Personal, verfügen die Institute insgesamt über einen hervorragenden Leistungsausweis. Ein wichtiger Aspekt besteht darin, dass die Institutionen von einem kampagnenorientierten zu einem routinemäßigen Betriebsmodus umstellen müssen. Dies bringt wesentliche Veränderungen für das involvierte Personal mit sich und könnte die Personalstruktur und Personalbindung beeinträchtigen.

Strategien zur Gewinnung neuen Personals sind gut ausgeführt. Die FIS umfasst Universitäten, Forschungsinstitute und Regierungsbehörden, ein Personalentwicklungsplan ist klar dargestellt. ACTRIS-D wird spezifische Schulungen anbieten, die auf die Anforderungen der FIS ausgerichtet sind. Es erfolgten jedoch keine spezifischen Ausführungen darüber, wie die Diversität durch die Rekrutierung verbessert werden soll, z. B. die auf institutioneller/universitärer Ebene stattfindet.

Es ist festzustellen, dass ACTRIS-D bereits Startreife erreicht hat. Die Finanzierung durch die Institute während der Betriebs- und Stilllegungsphasen scheint sichergestellt und die Finanzstruktur ist klar geplant. ACTRIS baut auf früheren Anstrengungen und Kooperationen auf. Gleiches gilt für ACTRIS-D, womit bereits eine strategische Grundlage existiert.

Beschreibung

Laut den Konzeptverantwortlichen stärkt ACTRIS-D die deutsche Atmosphärenforschung wesentlich, sowohl auf europäischer als auch auf breiterer internationaler Ebene. Gegenwärtig spielen die deutschen Kalibrierzentren eine wichtige Rolle im Kontext von ACTRIS und die nationalen Einrichtungen (Observatorien und Simulationskammern) sind fest integrierte Bestandteile der internationalen Atmosphärenwissenschaften. Sollte ACTRIS-D nicht realisiert werden, ist laut Konzept der Verlust der deutschen Führungsrolle in ACTRIS und eine Übernahme der Kalibrierzentren durch andere Länder zu befürchten.

In ACTRIS-D sind fast alle deutschen Einrichtungen involviert, die sich mit experimenteller Atmosphärenforschung befassen, was auch die Attraktivität von ACTRIS insgesamt widerspiegelt. Die deutschen Kalibrierzentren und Forschungsplattformen sind insbesondere hinsichtlich technischer Entwicklungen und der Generierung und Verarbeitung von Daten über die Atmosphäre für internationale Forscherinnen und Forscher attraktiv.

Wissens- und Technologietransfer findet sowohl innerhalb von ACTRIS und der Wissenschaftsgemeinschaft als auch übergreifend in andere gesellschaftliche Sektoren hinein statt. So erhalten Regierungsorganisationen Daten über langfristige Trends und/oder potenzielle Risiken und Gefahren für die Bevölkerung. Darüber hinaus werden private Einrichtungen insbesondere von Messtechnologien für den Umweltsektor, etwa zur Bestimmung von Luftqualität, profitieren.

Bewertung

Die deutschen Observatorien und Simulationskammern für die Atmosphärenforschung sind in der Gemeinschaft der Atmosphärenwissenschaften weltweit anerkannt. Die Förderung von ACTRIS-D wird die Sichtbarkeit dieser Anlagen nicht nur in Europa sondern weltweit weiter stärken.

Viele der Partnerinstitute sind bereits attraktiv für internationale Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Dies wird durch das Upgrade der Infrastruktur weiter verstärkt. ACTRIS-D wird zahlreiche deutsche wie auch internationale Forscherinnen und Forscher anziehen, die in den Kalibrierungszentren und Simulationskammern arbeiten und vermutlich in noch größerem Maße, die Daten nutzen wollen. Es steht nicht fest, wie viele Doktorandinnen und Doktoranden direkt unter ACTRIS-D geschult werden, aber zweifellos wird eine Vielzahl junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Daten über die erweiterte Lebenszeit von ACTRIS hinweg nutzen.

Der Transfer von Wissen und Technologien ist eine Schlüsselkomponente von ACTRIS. Die Hauptroute für den Transfer verläuft zwischen den Instituten

selbst, aber auch der Transfer in andere Bereiche der Gesellschaft ist von Bedeutung, einschließlich zu Regierungsorganisationen und Privatunternehmen. Die aus ACTRIS gewonnenen klimatologischen Daten über die Chemie und Physik von Wolken in der Atmosphäre sowie Informationen auf der Prozessebene sind auch auf gesellschaftlicher Ebene relevant. Dies leitet sich aus ihrer Bedeutung für Wetter- und Luftqualitätsvorhersagen, Klimasimulationen und für die Beobachtung extremer Ereignisse sowie atmosphärischer Gefahren ab.

Messungen einiger atmosphärischer Bestandteile werden für die Evaluierung von Emissionsrichtlinien und Vermeidungsstrategien eine Rolle spielen.

II.2.e Komplementäre und konkurrierende Forschungsinfrastrukturen

Research infrastructure landscape			
Name	Brief description and internet link	Time frame	Participants
Forerunners			
ACCENT – Atmospheric Composition Change – The European Network (complementary)	Progressive and durable integration of the research capacities of the participants, enhancing at the same time the knowledge on atmospheric research topics	2004-2009	32 participating countries
EARLINET – European Aerosol Research Lidar Network (complementary)	First aerosol lidar network which attempts to retrieve quantitative data on the vertical distribution of aerosol optical properties in a systematic and statistically significant approach and on a continental scale www.earlinet.org , last accessed 24 August 2016	Since 2000 Part of ACTRIS since 2011	IT (coordinating) 16 participating countries
EUROCHAMP I & EUROCHAMP II – Integration of European Simulation Chambers for Investigating Atmospheric Processes (complementary)	European project which aims a better integration of simulation chambers for studying atmospheric processes. EUROCHAMP is funded within the EC 7th Framework Programme, Section "Support for Research Infrastructures – Integrated Infrastructure Initiative". www.eurochamp.org , last accessed 24 August 2016	EURO-CHAMP I (2004-2009) EURO-CHAMP II (2009-2013)	DE, ES, IE, FR, CH, UK, SE, DK
EUSAAR/ACTRIS (complementary)	Integration of measurements of atmospheric aerosol properties performed in a distributed network of 20 high quality European ground based stations to provide reliable operational service in support of policy issues on air quality, long-range transport of pollutants and climate change ESFRI 2016 Project http://www.actris.eu/ , last accessed 24 August 2016	2006-2011 Continues in ACTRIS	FR (coordinating) 16 participating countries
Existing research infrastructures			
AERONET – Aerosol Robotic Network	Global network of sun- and sky-radiometers for aerosol characterisation http://aeronet.gsfc.nasa.gov/ , last accessed 24 August 2016	Since approx. 1998	Coordination: NASA, PHOTONS
ARISE – Atmospheric Dynamics Research	New 3D image of atmospheric disturbances in the troposphere, stratosphere and mesosphere. It includes infrasonic disturbances	2015-2018	Coordination: FR (CEA)

Infrastructure in Europe	from volcanoes, thunderstorms, cyclones, up to large scale atmospheric waves as tides and planetary waves with unprecedented spatio-temporal resolution. http://arise-project.eu , last accessed 24 August 2016		17 participating countries
ARM – Atmospheric Radiation Measurement Climate Research Facility (competing)	National user facility for the study of global climate change by the national and international research community. It consists of a network of highly instrumented ground stations; mobile and aerial facilities; and a data archive. www.arm.gov , last accessed 24 August 2016	Since 1989	US (coordinating) 10 participating countries
CALIPSO – Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation (complementary)	Provides new insight into the role that clouds and atmospheric aerosols (airborne particles) play in regulating Earth's weather, climate, and air quality www.calipso.larc.nasa.gov , last accessed 23 August 2016	Since 2006	Coordination: US
CLOUDSAT (complementary)	Provide observations necessary to advance our understanding of cloud abundance, distribution, structure, and radiative properties http://cloudsat.atmos.colostate.edu/ , last accessed 25 August 2016	Since 2006	Coordination: US
EOS-AURA (complementary)	Aura obtains measurements of ozone, aerosols and key gases throughout the atmosphere to gain revolutionary insights into the chemistry of our atmosphere. http://aura.gsfc.nasa.gov/about.html , last accessed 24 August 2016	Since 2004	Coordination: US
EUFAR/COPAL – European Fleet of Research Aircraft (complementary)	Central network for the airborne research community in Europe with the aim to support researchers by granting access to research infrastructures for in situ measurement of atmospheric properties to remote sensing with instrumented aircraft and providing professional support and training www.eufar.net , last accessed 24 August 2016	2014-2018 Continues as COPAL	Coordination: FR 11 participating countries
GOSAT – Greenhouse Gases Observing Satellite (complementary)	World's first spacecraft to measure the concentrations of carbon dioxide and methane from space www.gosat.nies.go.jp , last accessed 25 August 2016	Since 2009	Coordination: JP
IAGOS – In-service Aircraft for a Global Observing System (complementary)	Long-term observations of atmospheric composition, aerosol and cloud particles on a global scale from commercial aircraft of internationally operating airlines ESFRI 2016 Landmark www.iagos.org , last accessed 25 August 2016	2008-2035	DE, FR (coordinating) 4 participating countries
IASI – Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (complementary)	Hyperspectral infrared sounder residing on the European Space Agencies (ESA) MetOp series of polar orbiting satellites www.eumetsat.int/website/home/Satellites/CurrentSatellites/Metop/MetopDesign/IASI/index.html , last accessed 24 August 2016	Since 2006	EUMETSAT
ICOS – Carbon Observatory (complementary)	Harmonised and high precision data on carbon cycle and greenhouse gas budget and perturbations ESFRI 2016 Landmark	Since 2008	FI (coordinating)

	www.icos-ri.eu , last accessed 24 August 2016		12 participating countries
METEOSAT 2nd Generation	Two-satellite system continually returning detailed imagery of Europe, Africa and parts of the Atlantic and Indian Ocean every 15 minutes, provide operational weather observations and environmental monitoring http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Meteosat_Second_Generation/M_SG_overview2 , last accessed 24 August 2016	2004–2019	ESA, EUMETSAT
MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (at TERRA and AQUA satellites) (complementary)	Medium resolution spaceborne imaging spectrometer, which is operated onboard of two satellites (Aqua and Terra). MODIS is viewing the entire Earth's surface every 1 to 2 days, acquiring data at 36 spectral channels covering wavelengths from 0.4 to 14.4 μm . The scientific objectives include the monitoring of processes over land (e.g. land coverage, vegetation index and condition, snow coverage), ocean (e.g. surface temperature) and in the atmosphere on a variety of spatial scales ranging from local to global. Particularly in the biosphere multi-spectral measurements are highly complementary to the intended Tandem-L measurements: the information extracted from multi-spectral measurements on the vegetation type, index and condition complement the biomass and structure measurements of Tandem-L, allowing a comprehensive characterization of forest condition. This applies not only to Modis but also to the following multi-spectral missions, i.e., LANDSAT and Sentinel-2. http://modis.gsfc.nasa.gov/ , last accessed 24 August 2016	TERRA: Since 1999 AQUA: Since 2002	Coordination: US
NDACC - Network for the Detection of Atmospheric Composition Change (complementary)	Observing and understanding the physical and chemical state of the stratosphere and upper troposphere and for assessing the impact of stratosphere changes on the underlying troposphere and on global climate; contains data archive www.ndacc.org , last accessed 24 August 2016	Since 1991	Coordination: International
TCCON - Total Carbon Column Observing Network (complementary)	Ground-based Fourier Transform Spectrometers that record spectra of the sun in the near-infrared to monitor CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HF, CO, H ₂ O, and HDO; contains data archive www.tccon.caltech.edu , last accessed 25 August 2016	Since 2004	Coordination: US, DE, AU 14 participating countries
TIMED-SABER - Sounding of the Atmosphere using Broadband Emission Radiometry (complementary)	Provides the data needed to advance our understanding of the fundamental processes governing the energetics, chemistry, dynamics, and transport in the mesosphere and lower thermosphere. http://saber.gats-inc.com/overview.php , last accessed 25 August 2016	Since 2001	Coordination: US
WMO-GAW - Global network of surface observatories (complementary)	Partnership of WMO members, contributing networks and collaborating organisations and bodies to provide data and information on the chemical composition of the atmosphere, its natural and anthropogenic change. http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw	Since 1992	More than 100 countries involved

	/gaw_home_en.html, last accessed 25 August 2016		
Planned research infrastructures/under construction			
ADM-AEOLUS - Atmospheric Dynamics Mission (complementary)	Aeolus will be the first-ever satellite to directly observe wind profiles from space http://www.esa.int/Our_Activities/Operations/ADM-Aeolus_operations , last accessed 25 August 2016	Launch: 2017	ESA
EARTHCARE (complementary)	Global observations of clouds, aerosols and radiation http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers/EarthCARE/Overview2 , last accessed 25 August 2016	Launch: 2018	ESA, JAXA
EPS-SG – EUMETSAT Polar System – Second Generation (complementary)	EPS-SG represents Europe's contribution to the future Joint Polar System (JPS), which is planned to be established together with the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) of the United States, following on from the Initial Joint Polar System (IJPS) http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/FutureSatellites/EUMETSATPolarSystemSecondGeneration/index.html , last accessed 25 August 2016	2020 - 2040	EUMETSAT
EUROCHAMP – Integration of European Simulation Chambers for Investigating Atmospheric Processes (complementary)	European project which aims a better integration of simulation chambers for studying atmospheric processes. EUROCHAMP is funded within the EC 7th Framework Programme, Section "Support for Research Infrastructures - Integrated Infrastructure Initiative". http://www.eurochamp.org/eurochamp-2020/index.html , last accessed 25 August 2016	2020 (planned)	DE, ES, IE, FR, CH, UK, SE, DK
ISS-MACE – Mesosphere and Climate Experiment (complementary)	Studying the climate effects in the middle atmosphere	Launch: 2017	DE, ES, JP, UK, SE, CH, US, IE, FR
MERLIN (complementary)	German-French CH ₄ satellite: Precise space based measurement techniques to obtain a global view on the complex processes that control the methane concentration in the atmosphere. http://www.dlr.de/rd/en/Portaldaten/28/Resources/ , last accessed 25 August 2016 dokumente/re/MERLIN_Datenblatt.pdf	Launch: 2019 Minimum duration: 3 years	Coordination: DE (DLR) and FR (CNES)
Sentinel 5-Precursor (complementary)	The Sentinel-5 Precursor objectives are to provide operational space-borne observations in support to the operational monitoring of Air Quality, Ozone and Surface UV, Climate. It will provide measurements of: Ozone, NO ₂ , SO ₂ , HCHO, Aerosol, CO, CH ₄ , Clouds. https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-future-missions/sentinel-5P , last accessed 26 August 2016	2016-2023	NL (coordinating) EUMETSAT, ESA

II.3.a Wissenschaftliches Potenzial

Beschreibung

Dekadische Klimaveränderungen werden wesentlich beeinflusst von der Variabilität der Zusammensetzung und Dynamik der mittleren Atmosphäre. Derzeit existiert weder auf nationaler noch auf internationaler Ebene eine Datenbasis von ausreichender räumlicher und zeitlicher Auflösung, die ein quantitatives Verständnis dieser Variabilität und der zugrundeliegenden atmosphärischen Prozesse erlaubt und zur Erstellung zufriedenstellender Vorhersagemodelle herangezogen werden könnte. Laut den Konzeptverantwortlichen wird AtmoSat eben diese Datengrundlage liefern und zur Untersuchung folgender Themenkomplexe aus den Atmosphären- und Klimawissenschaften beitragen:

- _ Variabilität atmosphärischer Spurengase und Aersole: Die Variabilität des bodennahen Klimas wird signifikant beeinflusst durch Strahlungseffekte insbesondere von Wasserdampf, Ozon und Schwefelaerosolen in der oberen Tropo- sowie der Stratosphäre. Um die Veränderungen dekadischer Klimata zu verstehen ist es notwendig, die räumliche und zeitliche Variabilität dieser Spurenstoffe zu quantifizieren und atmosphärischen Prozessen wie der Brewer-Dobson-Zirkulation, weitreichendem Transport oder Stratosphären-Troposphärenaustausch zuzuordnen.
- _ Atmosphärische Prozesse: Die Brewer-Dobson-Zirkulation und der Austausch von Luftmassen zwischen der Stratosphäre und Troposphäre haben einen starken Einfluss auf die Variabilität von Wasserdampf, Ozon und Schwefelaerosolen in der oberen Tropo- sowie der Stratosphäre. Durch einzigartige Messungen von Transport-Tracern wie Schwefelhexafluorid, Methan, Lachgas und Fluorkohlenwasserstoffen trägt AtmoSat zu einem deutlich verbesserten Verständnis dieser Prozesse bei sowie ihrer räumlichen und zeitlichen Variabilität und ihres Einflusses auf das regionale und globale Klima.
- _ Dynamische Kopplungen: Die Stratosphäre beeinflusst das bodennahe regionale Klima und längerfristige Wetter auch über dynamische Kopplungen mit der Troposphäre. Dabei spielt die Stärke des stratosphärischen Polarjets, die von atmosphärischen Wellen beeinflusst wird, eine wichtige Rolle. Laut Konzept liefert AtmoSat die notwendige Datenbasis, um die detaillierten Mechanismen dieser Kopplungen zu untersuchen (z. B. die Rolle atmosphärischer Wellen) und diese in Modellen korrekt zu berücksichtigen.

AtmoSat basiert auf drei Hauptinstrumenten und kombiniert die Methode der bildgebenden Infrarot-Horizontsondierung (Hauptinstrument GLORIA |⁹²) mit schmalbandigen MERIA (*Multiple Eye for Remote Investigation of the Atmosphere*)-Messungen in anderen Spektralbereichen und GPS |⁹³-Radiookkultation via TriG (Triple GNSS |⁹⁴ = GPS/Glonass/Galileo), um Synergien am oberen und unteren Rand des Messbereichs zu erreichen. Das Hauptinstrument GLORIA wird in zwei Modi betrieben: Der *Landscape*-Modus ist auf die räumliche Auflösung hin optimiert, während der *Portrait*-Modus die Anzahl messbarer Spurengase durch eine erhöhte spektrale Auflösung vergrößert.

Momentan sind noch acht horizontsondierende Satelliteninstrumente im Einsatz, u. a. MLS |⁹⁵ und ACE-FTS |⁹⁶. In den kommenden Jahren gibt es eine Lücke, die durch AtmoSat geschlossen werden kann. Die Konzeptverantwortlichen betonen dabei, dass GLORIA/AtmoSat weltweit einen einzigartigen Datensatz über Zustand und Zusammensetzung der Atmosphäre von der oberen Troposphäre bis hinauf zur unteren Thermosphäre liefern wird. Auf Grund seiner hyperspektralen bildgebenden Technik, hinsichtlich räumlicher Abdeckung und Auflösung in Kombination mit der bestimmbarer Menge an Spurengasen wird die FIS einmalig sein.

Bewertung

AtmoSat ist eine aktuelle und dringend benötigte FIS, die zwingend erforderliche, räumlich und zeitlich hochauflösende, globale Beobachtungen der mittleren Atmosphäre liefern und damit signifikant zur Erdsystembeobachtung beitragen wird. Durch die Nutzung dieser beobachtungsbezogenen Informationen im Rahmen von Erdsystemmodellen (z. B. durch Validierung der Modellergebnisse und Modellrepräsentation von Prozessen und Datenassimilation), wird AtmoSat einen wesentlichen Beitrag zum wissenschaftlichen Verständnis des atmosphärischen Transports und Austauschs zwischen der Troposphäre und der mittleren Atmosphäre leisten. Es handelt sich um eine transformative Infrastruktur, die eine dreidimensionale Tomographie der Atmosphäre zur Verfügung stellen wird. Diese wird langfristige Prognosen zum Klimawandel optimieren und verbesserte Voraussetzungen für die Weiterentwicklung von mittelfristigen Wettervorhersagen (7–14 Tage) schaffen.

Das Vorhaben wird im Konzept herausragend begründet, ist strategisch ausgerichtet und gut artikuliert. Die vorgeschlagene Kombination von Instrumenten

| ⁹² *Global limb Radiance Imager for the Atmosphere.*

| ⁹³ *Global Positioning System.*

| ⁹⁴ *Global Navigation Satellite System.*

| ⁹⁵ *Microwave Limb Sounder.*

| ⁹⁶ *Atmospheric Chemistry Experiment -Fourier Transform Spectrometer.*

wird einen bedeutenden technologischen Fortschritt bei der infrarotgestützten Bildgebung ermöglichen. Dementsprechend sind die Auflösung sowie die räumliche und zeitliche Abdeckung der Beobachtungen einzigartig. Die globalen drei-dimensionalen Messungen der Temperatur und Spurengase mit vertikaler Auflösung wären bahnbrechend für das wissenschaftliche Feld. Die strategische Bedeutung der FIS für die Forschungsfelder des Klimawandels und der Wetterprognose ist dementsprechend hoch. Die gesammelten Daten wären hochgradig relevant für die weitere Erforschung der fundamentalen Atmosphärendynamik, des Klimawandels und der Beobachtung seiner Vermeidung sowie der Bereitstellung grundlegender Informationen, die im Bereich des *Geo-Engineerings* benötigt werden.

Der Satellit wird eine bedeutende Lücke in den Langzeitmessungen füllen, da alle vorherigen Missionen entweder fehlgeschlagen sind, stillgelegt wurden oder aufgrund der Überschreitung des geplanten operativen Zeitraums vor der Stilllegung stehen. AtmoSat wird langfristig Daten liefern, die zum einen komplementär zu bereits existierenden Beobachtungen sind und zum anderen weitere künftige Beobachtungen gewährleisten.

Der Fortschritt durch AtmoSat stellt einen großen Sprung dar. Die adressierten wissenschaftlichen Fragestellungen erfordern die Nutzung globaler Beobachtungen, für die Satelliten in niedrigen Umlaufbahnen (*Low Earth Orbit Satellites/LEOs*) benötigt werden. Ein einzelner geostationärer Satellit (*GEO, Geostationary Earth Orbit*) kann die erforderliche globale Abdeckung nicht bieten. Bodengestützte sowie In-situ-Beobachtungsplattformen, die eine Schlüsselrolle bei der Evaluierung und Ergänzung der Satellitendaten spielen, finden im AtmoSat-Konzept Berücksichtigung.

Während des Gesprächs mit den Gutachterinnen und Gutachtern erläuterten die Konzeptverantwortlichen die hierarchische Differenzierung der wissenschaftlichen Fragen, die im Konzept angesprochen und als „wissenschaftliche Fragen“, „dazugehörige Fragen“, „übergreifende Fragen“ und „Schlüssel Fragen“ klassifiziert werden. Das Konzept beinhaltet eine umfassende Diskussion der atmosphärischen Transportprozesse, die zu den wichtigsten adressierten Fragekomplexen gehören. Das Konzept behandelt zudem chemische Prozesse und ihre Beobachtung – dies allerdings weniger detailliert, da die Wissenslücken bei Transportprozessen am größten und die hierzu gewonnenen Erkenntnisse somit von höherer Relevanz sind.

Von gleichwertiger wissenschaftlicher Bedeutung ist AtmoSat für die Bestimmung von Luftqualität, da die langfristige Überwachung von mehr als 50 Spurengasen von Bedeutung für die Nachverfolgung von Luftverschmutzungseignissen großen Umfangs und von globalen Veränderungen ist. Die im Konzept anvisierten Messungen reichen zwar nicht bis auf die Erdoberfläche hinab, tragen aber durch die Verbesserung der Detektion troposphärischer Schadstoffe in der mittleren bis oberen Atmosphäre zur Luftqualitätsforschung

bei. Die zeitliche Auflösung der Messungen der mittleren Troposphäre (bei 5 km, der niedrigsten Ebene, die von AtmoSat erfasst wird) erlaubt eine zuverlässigere Interpretation mittelfristiger atmosphärischer Prozesse (10–14 Tage). Da einige Parameter, wie z. B. die Temperatur und der Wasserdampf, im Prinzip in Echtzeit verfügbar sind (ein Download jedes Orbits ist mit einer Verzögerung von 4 h möglich), besteht zudem Potenzial für die Verbesserung von Wettervorhersagen.

Durch die starke Nutzerbindung wird die FIS eine hohe Integration der Daten in Klima- und operative Wettermodelle erreichen. Hierzu finden sich einige Informationen in den Unterstützungsschreiben zu AtmoSat, allerdings wären detailliertere Erkenntnisse darüber hilfreich, wie diese operativen Nutzergruppen integriert sein werden.

Der technische Reifegrad ist genauso hoch wie die wissenschaftlichen Ziele. Das Konzept umfasst sehr gründliche Vorbereitungs- und Umsetzungsschritte, die von den konzeptverantwortlichen Institutionen durchgeführt wurden. Der Satellit wird eine einzigartige Instrumentierung nutzen, die bereits erfolgreich in flugzeuggestützten Missionen getestet worden ist. Die Speicherung und Nutzung der Daten wurde bereits auf hohem Niveau ausgearbeitet, einschließlich Protokollen für die Nutzung der Daten durch einige Endnutzer.

Das GLORIA-Instrument wird in zwei Modi betrieben werden, über die der wissenschaftliche Lenkungsausschuss jeweils entscheiden wird. Der Ausschuss setzt sich aus Vertreterinnen und Vertretern der verantwortlichen Institute und deren wissenschaftlichen Partnern zusammen. Dies sorgt für Flexibilität bei der AtmoSat-Mission und ermöglicht eine Prioritätensetzung im Einklang mit den wissenschaftlichen Fragestellungen, die zu gegebener Zeit angegangen werden müssen. Dadurch ist eine optimale Nutzung der FIS möglich.

Derzeit handelt es sich bei AtmoSat um eine einzigartige Infrastruktur, ohne nennenswerte Konkurrenz. Die Einzigartigkeit ergibt sich aus der sich abzeichnenden Datenlücke in der horizontsondierenden hyperspektralen Bildgebungstechnologie. Dies führt dazu, dass AtmoSat nach seiner Implementierung bis 2023 einer der wahrscheinlich wichtigsten, wenn nicht der einzige Anbieter horizontsondierender hyperspektraler Messungen der Atmosphäre sein wird. Es gibt keine anderen vergleichbaren betriebenen oder geplanten Instrumente und die Zahl der atmosphärischen Parameter und Spurengase, von denen globale hochauflösende 3-D-Durchschnittswerte bereitgestellt werden, ist einmalig. Ohne diese Infrastruktur werden langfristige Beobachtungen dieser Parameter nicht umsetzbar sein. Es werden jedoch Synergien entstehen, die es anderen Nutzerinnen und Nutzern in der Fernerkundung (wie z. B. NADIR-Nutzern) ermöglichen, eigene Daten mit AtmoSat zu kombinieren. Weitere Synergien der Daten mit von Wettersatelliten und stationären Satelliten gewonnen Daten werden von Wetterdienstleistern genutzt werden.

Die wichtigsten technologischen Innovationen von AtmoSat sind die folgenden:

- _ Die hohe spektrale Auflösung der Messungen, die Möglichkeiten für die Erweiterung der Bandbreite der durchgeführten Messungen bieten (z. B. tägliche Messungen von mehr als 50 Chemikalien, Wasserdampf und subvisiblen Zirruswolken).
- _ Die Kombination aus Instrumenten (GLORIA, MERIA und TRIG), die simultane Messungen über den größten Teil der Atmosphäre (5–100 km) ermöglichen und Prozesse an der unteren und oberen Grenze des vertikalen Messbereichs verknüpfen. Dies wurde nie zuvor umgesetzt und die gewonnenen Informationen werden für die Klimaforschung und die Erforschung der Atmosphärendynamik hochgradig relevant sein.

II.3.b Nutzung

Beschreibung

Die primären Nutzerinnen und Nutzer rekrutieren sich aus dem gesamten Spektrum der weltweiten Atmosphären- und Klimaforschung sowie den nationalen und internationalen Wetterdiensten. Etwa 80 % der Nutzerinnen und Nutzer sind dem Wissenschaftssektor zuzuordnen und organisieren sich u. a. über internationale Großprogramme, wie dem *World Climate Research Programme* (WCRP) oder dem *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP). Darüber hinaus werden Nutzerinnen und Nutzer aus dem Umfeld der Datenassimilation erwartet, beispielsweise aus Kontexten des *Global Climate Observing System* (GCOS) und des *Copernicus Atmosphere Monitoring Service* (CAMS).

Um im Rahmen eines Wide-Access-Modells |⁹⁷ freien Zugriff auf die bereitgestellten Daten zu erhalten, müssen sich die Anwenderinnen und Anwender im Datenbankportal registrieren. Jede Datenversion erhält einen *Digital Object Identifier* (DOI), um wissenschaftliche Publikationen mit den aktuellen Daten zu verlinken. Ein umfassenderer Zugriff, etwa auf Datenprozessoren zur Herstellung von Datenprodukten, wird ebenfalls möglich sein. Des Weiteren werden jährliche Datennutzungs-Workshops organisiert, um einen stärkeren Austausch zu fördern.

Die von AtmoSat gelieferten Roh- und Sekundärdaten können unterteilt werden in die vom Satellit zu den Bodenstationen gesendeten Rohdaten, in Kalibrierungsdaten sowie in abgeleitete geophysikalische Parameter, die annähernd

|⁹⁷ Entsprechend der Definition der Europäischen Charta für den Zugang zu Forschungsinfrastrukturen, https://ec.europa.eu/research/infrastructures/pdf/2015_charterforaccessto-ris.pdf, zuletzt abgerufen am 28.07.2016.

in Echtzeit generiert und der Nutzerschaft zur Verfügung gestellt werden. Zu den geophysikalischen Parametern gehören z. B. Druck, Temperatur und Spurengasverteilungen. Ein gemeinsames Datenlabor wird am FZJ eingerichtet; zudem werden die vollständigen Daten aus Sicherheitsgründen zusätzlich im Steinbuch Computer Zentrum am KIT gespeichert. Ein wichtiges Ziel ist es, die Daten in standardisierten Formaten zur Verfügung zu stellen. Auf diese Weise können sie von verschiedenen Softwaretools verwendet werden, ohne dass weitere Datenmodifikationen notwendig werden.

Die Datenqualität wird in mehreren Schritten sichergestellt: Erstens werden Inkongruenzen und Ausreißer ausgesondert. Zweitens werden sichere Kontrollparameter zur Spezifizierung nutzbarer Daten herangezogen, um anschließend unplausible Werte herauszufiltern. Am Ende werden ausschließlich Daten zur Nutzung freigegeben, die diese Schritte erfolgreich durchlaufen haben. Zu den zentralen Prozeduren im Qualitätssicherungsprozess gehört das Weiteren insbesondere der Abgleich mit Referenzmessungen, die mit Hilfe von Bodenstationen oder von Ballon und Flugzeug getragenen Instrumenten durchgeführt werden.

Bewertung

Insgesamt liegt eine beeindruckende Liste von Unterstützern der AtmoSat-FIS vor, einschließlich führender internationaler Wissenschaftsorganisationen und -programme, Wetterdienstleister, wissenschaftlicher Partner in Deutschland sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Europa, den USA und Ostasien. Die erwartete Nutzergruppe für diese Infrastruktur ist die internationale Atmosphären- und Klimawissenschaft, die sich interdisziplinär aus Chemie, Physik und Technikwissenschaften zusammensetzt. Es handelt sich um eine Gemeinschaft, die alle wissenschaftlichen Methoden nutzt – Theorie, Beobachtungen, Prozessstudien sowie systemwissenschaftliche Methoden und Modelle (Berechnungsmodelle und physische Modelle). Angesichts der großen Bandbreite der unterstützenden Nutzergruppen wird der Anteil der internationalen Nutzerinnen und Nutzer wahrscheinlich sehr hoch sein. Die wissenschaftliche Nutzergemeinschaft besteht aus mehreren Tausend Personen. Viele Regierungs- und internationale Institutionen werden die Ergebnisse assimilieren. Basierend auf den Erfahrungen mit früheren Missionen wird erwartet, dass die Daten vollumfänglich von diversen Nutzergruppen genutzt werden.

Die Datenprodukte werden frei und offen verfügbar sein, was angesichts der bevorstehenden Knappheit von Beobachtungen der mittleren Atmosphäre von wesentlicher Bedeutung ist. Die Konzeptverantwortlichen sind sich voll und ganz der Notwendigkeit bewusst sicherzustellen, dass diese Beobachtungen bodengestützte und frühere Satellitenmessungen ergänzen und verbessern, und erkennen diese Kontinuität von Qualitätsdaten an.

Die folgenden angemessen erfüllten Faktoren werden den Erfolg von AtmoSat mit großer Wahrscheinlichkeit gewährleisten:

- _ Transparenz und Angemessenheit der Bedingungen für den Datenzugang. Angemessenheit und damit Zugangsbedingungen zur Schaffung der bestmöglichen Forschungsbedingungen,
- _ Schulung und Beratungsleistungen zur Organisation eines qualifizierten Zugangs zur FIS,
- _ Gelegenheiten für die Nutzerbeteiligung während der Entwicklungsphase der FIS. Die gesetzlichen Bedingungen scheinen für ein Vorhaben dieser Art adäquat zu sein,
- _ Die Konzeptverantwortlichen betreiben eine der größten Computerinfrastrukturen in Europa und verfügen damit über die Expertise, derartige Leistungen bereitzustellen.

Ein detailliertes Schema für die Kommunikation mit der Gemeinschaft ist vorhanden und stellt eine angemessene Nutzung der aktuellen Daten und Verarbeitungsebenen sicher. Auf Nachfrage haben die Konzeptverantwortlichen klargestellt, dass auch ein freier Zugang zu den Quellcodes für Forscherinnen und Forscher ermöglicht wird. Dies wird die Interaktion mit der Nutzergemeinschaft eindeutig fördern.

Enorme Mengen an (Fast-Echtzeit-, Roh- und verarbeiteten) Daten werden erzeugt werden. Das Datenkonzept ist gut artikuliert und berücksichtigt die verschiedenen Verarbeitungsstadien, Datenverfügbarkeit, Validierung, Sicherheit und Zügigkeit. Die verantwortlichen Institutionen verfügen über exzellente Datenverarbeitungs-, Speicherungs- und Backup-Fähigkeiten. Ein Plan für die Datenanalyse und Speicherung mit angemessenen Backups wurde konzipiert. Er basiert auf einem gemeinsamen Datenlabor, welches sich auf die FZJ-Infrastruktur mit angemessenem Backup und Spiegelung verlässt. Die Managementkonzepte, das Zugangsmanagement (z. B. die Nutzung des DOI und der INSPIRE |⁹⁸-Richtlinie) und das Datennutzungs- und Managementkonzept (d. h. die Verarbeitung von Level-0-Daten bis Level-3-Daten) gewährleisten die bestmögliche Nutzung der AtmoSat-Daten durch die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Aus wissenschaftlicher Sicht ist das in AtmoSat formulierte Datenkonzept umfassend, benutzerfreundlich und bietet Vorteile für die breite wissenschaftliche Gemeinschaft.

Die in AtmoSat formulierte Prozessintegrität ist ebenfalls ausgezeichnet. Es gibt ein angemessenes Protokoll für die Datenqualitätssicherung und ein Validierungsschema für die abgeleiteten geophysikalischen Parameter, basierend

| ⁹⁸ *Infrastructure for Spatial Information in Europe.*

auf boden- und luftgestützten Messungen, die als Vergleichsstandards genutzt werden sollen. Es wurde eine sehr gute Verwaltungsstruktur eingerichtet, welche die globale wissenschaftliche Gemeinschaft einbeziehen wird. AtmoSat verfügt über eine enorme nationale und internationale Unterstützung von führenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern und großen internationalen Organisationen, wie z. B. WMO |⁹⁹, SPARC |¹⁰⁰, IGAC |¹⁰¹, nationalen Wetterdiensten etc.

II.3.c Umsetzbarkeit

Beschreibung

Das Hauptinstrument GLORIA wurde im Rahmen von Flugzeugmissionen vorab getestet. |¹⁰² Modifikationen und Erweiterungen sind jedoch weiterhin notwendig, um das Instrument mit einem Satelliten als Träger einzusetzen. Die Konzeptverantwortlichen schätzen das technische Risiko dennoch als gering ein, da die verwendeten Technologien insgesamt weitgehend getestet und verfügbar sind. Die Hauptkomponenten von MERIA bestehen aus drei monolithischen Spatial Heterodyne-Spektrometern (SHS), die bereits im Rahmen mehrerer US-Raumfahrtmissionen im Einsatz waren. TriG ist eine seit längerem verwendete Technologie, die inzwischen kommerziell verfügbar ist.

Die Quantifizierung des Einflusses von Wandelprozessen in der mittleren Atmosphäre auf Oberflächenklimata setzt die integrative Verwendung von Fernbeobachtungsdaten, prozessorientierten Simulationen sowie Erdsystem- und Klimamodellierung voraus. Die hohe räumliche Auflösung der AtmoSat-Daten wird dabei zu einer signifikanten Reduktion von Modellfehlern beitragen. Ein sich aus jeweils einer Repräsentantin bzw. einem Repräsentanten der Trägereinrichtungen und der am Konzept beteiligten wissenschaftlichen Partner zusammensetzender wissenschaftlicher Lenkungsausschuss wird die Einbindung der breiten internationalen Wissenschaftsgemeinschaft unterstützen. Darüber hinaus werden drei weitere Gremien zur Leitung und Steuerung der technischen und wissenschaftlichen Durchführung gebildet: Eine Versammlung der Kernpartner, ein Direktorium und ein wissenschaftlicher Beirat.

Die Konzeptverantwortlichen betonen, dass den Trägereinrichtungen eine ausreichend fundierte wissenschaftliche Expertise und entsprechend geschultes

| ⁹⁹ World Meteorological Organization.

| ¹⁰⁰ Stratosphere-troposphere Processes And their Role in Climate.

| ¹⁰¹ International Global Atmospheric Chemistry.

| ¹⁰² C. von Savigny and J. Notholt: *Atmospheric limb imaging with GLORIA*, in: *Atmospheric Measurement Techniques (special issue)*, 2013, http://www.atmos-meas-tech.net/special_issue59.html, zuletzt abgerufen am 28.07.2016.

Personal zur Verfügung steht, um AtmoSat aufzubauen und zu betreiben. Das KIT und das FZJ haben die von Flugzeugen getragene Version des Hauptinstruments selbst entwickelt. Das FZJ war darüber hinaus an einer Initiative zur Entwicklung der SHS beteiligt, die zentrale Elemente von MERIA sind. Das GFZ hat Erfahrungen mit der Entwicklung von Radiookkultationstechnik sowie dem Einbau, dem Betrieb und der Datenevaluation sowohl von bodenstationierten als auch von Satelliten getragenen GPS-Receivern.

Laut Konzept hat die FIS bereits einen hohen Grad technischer und wissenschaftlicher Reife erreicht. Die notwendigen Bedingungen für Satellitenmissionen, die zur Erforschung atmosphärischer Klimaprozesse durchgeführt werden, wurden im Vorfeld im Rahmen mehrerer Studien ausbuchstabiert. Darüber hinaus liegen ein Finanzierungsplan seitens der Trägereinrichtungen und die offiziellen Erklärungen potenzieller Partnereinrichtungen vor, die ihr Interesse an einer Beteiligung bekundet haben.

Bewertung

AtmoSat basiert auf erprobten und getesteten Technologien, daher ist das damit verbundene Risiko nicht sehr hoch. Die technischen Anforderungen und Risiken sind durch die erfolgreiche Entwicklung und Umsetzung einer flugzeuggetragenen Version von GLORIA – dem wichtigsten neuen Instrument – in großem Umfang verringert worden. Die Technologie ist robust genug für den Start. Das Konsortium der drei Institutionen ist extrem solide und die Einrichtungen verfügen sowohl über Erfahrung mit derartigen Vorhaben (oder den entscheidenden Komponenten) als auch über die Infrastruktur für die Unterstützung der Entwicklung, Umsetzung und die operative Unterstützung für AtmoSat. Des Weiteren bestehen keine Risiken oder Folgen aus ethischer, rechtlicher und umweltbezogener Sicht.

Aus wissenschaftlicher Sicht geht das AtmoSat-Konzept angemessen mit den institutionellen Anforderungen um. Die drei verantwortlichen Institutionen (FZJ, KIT und GFZ) verfügen über die Expertise und Erfahrung, um die erforderlichen Technik- und Managementkompetenzen bereitzustellen, damit AtmoSat ein Erfolg wird.

Zweifelsohne entspricht die wissenschaftliche und technische Glaubwürdigkeit dieser Institutionen dem höchsten Standard. Innerhalb der Institutionen steht eine solide finanzielle Unterstützung für die Datenverarbeitung und Dateninfrastruktur zur Verfügung.

Während der Interviews haben die Konzeptverantwortlichen für eine Klarstellung hinsichtlich der Bedenken gesorgt, dass das Projektmanagement einer zentrumsübergreifenden Koordinationsgruppe übertragen wird. Die Umsetzbarkeit und der Erfolg werden letztendlich von den Menschen innerhalb der funktionierenden Struktur abhängen – Menschen mit der Bereitschaft, eine

Kultur der Unterstützung zu pflegen. Die Institutionen verfügen über Personalstrukturen, welche die erforderlichen Fachkenntnisse für dieses Vorhaben bereitstellen können. Sie erkennen jedoch auch die Notwendigkeit für die Einstellung eines Gesamtprojektmanager, um das gesamte Team, das für die Konstruktion und den Betrieb dieses Satelliten verantwortlich sein wird, zu leiten. Den Konzeptverantwortlichen ist auch die Bedeutung dieser Position für die Ermöglichung der erfolgreichen Systemintegration in diesem Vorhaben bewusst. Eine fruchtbare Zusammenarbeit zwischen Forschungsinstitutionen, Universitäten und der Industrie ist eine wichtige Komponente dieses Managements.

Das AtmoSat-Konzept behandelt die Personalanforderungen auf angemessene Weise. Während des Interviews wurde belegt, dass das Vorhaben in der Lage ist, eine gute Mischung aus Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern und erfahrenen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie Technikerinnen und Technikern zu gewährleisten. Die Karrierepfade sind gut etabliert.

Das Konzept behandelt die Realisierung der AtmoSat-FIS auf angemessene Weise und hat ein hohes Niveau an technischer und wissenschaftlicher Reife erreicht. Die Analyse des Instrumentenpakets, des Datensystems und der Satellitenplattform erscheint solide und beinhaltet Untersuchungen des Reifegrads der Technologie, die Quellen zur Herstellung der Sensoren und der Satellitenplattform sowie klare Anforderungen, die allesamt als umsetzbar betrachtet werden. Eine entsprechende Weiterentwicklung ist im Zuge der geplanten Phase-A-Machbarkeitsstudie geplant. Die von den konzeptverantwortlichen Institutionen (KIT, FZJ und GFZ) unterzeichneten Erklärungen bestätigen mit Blick auf die jeweiligen Beiträge zu AtmoSat, dass die Infrastruktur – einschließlich der Finanzierungsstruktur – hochgradig robust ist.

II.3.d Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

Beschreibung

Die Konzeptverantwortlichen prognostizieren einen wesentlichen Ausbau der deutschen Führungsposition in den Atmosphären- und Klimawissenschaften durch AtmoSat und eine hohe internationale Sichtbarkeit des Vorhabens. Der einzigartige Charakter der zu erwartenden Datenbasis wird demnach zu einer hohen Attraktivität der FIS im Kontext internationaler Großprogramme, wie dem WCRP oder dem IGBP, führen.

Die Konzeptverantwortlichen betonen, dass die hohe Sichtbarkeit von AtmoSat die Attraktivität des Wissenschaftsstandorts Deutschland insgesamt wesentlich steigern wird. Dies gilt sowohl hinsichtlich der Gewinnung etablierter Forscherinnen und Forscher als auch des wissenschaftlichen Nachwuchses aus den Atmosphären- und Klimawissenschaften weltweit. Die vielfältigen Aktivitäten

der deutschen wissenschaftlichen Gemeinschaft und die Einbindung deutscher Einrichtungen in internationale Forschungsprogramme kreieren zudem neue Möglichkeiten gleichermaßen für Forschung und Forschungsförderung.

Abgesehen von wissenschaftlichen Publikationen in führenden Fachzeitschriften werden zahlreiche weitere Beiträge erwartet, etwa in Berichten der WMO, dem *International Panel on Climate Change* (IPCC) und dem WCRP. Durch die Arbeit dieser Organisationen ist über den Wissenschaftssektor hinaus ein Transfer in politische und öffentliche Bereiche zu erwarten. Die Trägereinrichtungen werden zudem ihre Beteiligung an der *Earth System Knowledge Platform* (ESKP) erweitern, deren Hauptziel in der Bündelung und Verbreitung von Wissen über das Erdsystem besteht. Weiterhin zielen die Trägereinrichtungen auf eine enge Anbindung von AtmoSat an das Deutsche Klimaservice Center (GERICS, *Climate Service Center Germany*) und an nationale Klimabüros.

Bewertung

Es besteht überhaupt kein Zweifel daran, dass AtmoSat zu einer hohen Sichtbarkeit und einer starken Wirkung in verschiedenen Feldern führen wird. Die Realisierung der FIS wird die starke Tradition der deutschen Wissenschaftsgemeinschaft im Hinblick auf die Modellerstellung, Datenassimilation und Erdbeobachtung verstärken und dieser zu einer führenden Position verhelfen. Deutschland ist bereits international als führender Wissenschaftsstandort im Bereich der Atmosphären- und Klimawissenschaften anerkannt. Deutschland hat auch auf politischer Ebene eine Schlüsselrolle in Europa (wenn nicht weltweit) inne, was die Entwicklung von Strategien und Richtlinien zur Reaktion auf den Klimawandel betrifft – und die Unterstützung der Forschung stellt eine dieser Strategien dar. AtmoSat wird einen signifikanten Beitrag zur Implementierung der deutschen Klimastrategie leisten. Die FIS wird die deutschen geophysikalischen Wissenschaften an die Spitze der Atmosphärendynamik- und Klimaforschung bringen und die nächste Generation von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern weltweit anziehen. Die hohe Qualität der Daten, die Verfügbarkeit von Fast-Echtzeit-Daten für alle Nutzerinnen und Nutzer sowie die Relevanz für diverse wichtige wissenschaftliche Fragen und bedeutende Wetterdienstleistungen würden dieser Infrastruktur und Deutschland definitiv zu einer international führenden Position verhelfen.

Insgesamt wird die AtmoSat-FIS in Deutschland einen bahnbrechenden und dringend erforderlichen Beitrag zur langfristigen wissenschaftlichen Erforschung des Klimasystems, die mit den wichtigsten gesellschaftlichen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts verknüpft ist, leisten. Sie wird erheblich dazu beitragen, Deutschland zu einem attraktiven Standort für wissenschaftliche Forschungsarbeiten im Bereich der Erdsystemwissenschaften zu verhelfen, und damit die Stärken der deutschen Forschungslandschaft konsolidieren. Insbesondere wird die AtmoSat-FIS eine angemessene Ausbildung und Karriereposi-

tionierung für die nächste Generation von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sicherstellen. Es gibt derzeit keine bekannte Alternative zu AtmoSat, daher wird es sich bei der FIS um eine einzigartige Plattform handeln, die nationales und internationales Interesse auf sich ziehen wird. Dies wird Deutschland zu einer führenden Position auf diesem Gebiet verhelfen und die internationalen wissenschaftlichen Beziehungen des Landes erweitern und ausbauen.

AtmoSat ist ein zeitgemäßes und dringend benötigtes Vorhaben, das einen starken wissenschaftlichen Einfluss im nationalen und internationalen Rahmen haben wird. Sollte die FIS nicht realisiert werden können, würde eine Lücke in den horizontsondierenden Beobachtungen der mittleren Atmosphäre entstehen (die meisten aktuellen Missionen sind bereits veraltet und es bestehen im Moment kaum Aussichten für eine Erneuerung). AtmoSat wird die wichtigsten Akteure im Bereich der Erdsystemwissenschaften zusammenbringen, einschließlich Wissenschaft, Wettervorhersageagenturen, Klimawissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern sowie internationalen Organisationen. Somit führt AtmoSat in vielerlei Hinsicht zu einem sehr hohen gesellschaftlichen Gewinn und die Gesamtergebnisse, die eine derartige Infrastruktur liefert, können in vielfältiger Hinsicht enorm sein.

II.3.e Komplementäre und konkurrierende Forschungsinfrastrukturen

Research infrastructure landscape			
Name	Brief description and internet link	Time frame	Participants
Forerunners			
GOMOS/Envisat - Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars	GOMOS is a medium resolution spectrometer covering the wavelength range from 250 nm to 950 nm. The high sensitivity requirement down to 250 nm has been a significant design driver leading to an all-reflective optical system design for the UVVIS part of the spectrum and to functional pupil separation between the UVVIS and the NIR spectral regions (thus no dichroic separation of UV). Due to the requirement of operating on very faint stars (down to magnitude 4 to 5), the sensitivity requirement to the instrument is very high. Consequently, a large telescope (30 cm × 20 cm aperture) had to be used to collect sufficient signal, and detectors with high quantum efficiency and very low noise had to be developed to achieve the required signal to noise ratios. https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/envisat/instruments/gomos , last accessed 28 July 2016	2002-2012	ESA
HiRDLS/Aura - High Resolution Dynamics Limb Sounder	Infrared limb-scanning radiometer designed to sound the upper troposphere, stratosphere, and mesosphere to determine: temperature; the concentrations of O ₃ , H ₂ O, CH ₄ ,	2004-2008	US (NASA)

	N_2O, NO_2, HNO_3, N_2O_5, CFC_{113}, CFC_{123}, ClONO_2, and aerosols; and the locations of polar stratospheric clouds and cloud tops. The goals are to provide sounding observations with horizontal and vertical resolution superior to that previously obtained; to observe the lower stratosphere with improved sensitivity and accuracy; and to improve understanding of atmospheric processes through data analysis, diagnostics, and use of two- and three-dimensional models. http://www.nasa.gov/mission_pages/aura/spacecraft/hirdls.html, last accessed 28 July 2016		
MIPAS/Envisat - Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding	Fourier transform spectrometer for the detection of limb emission spectra in the middle and upper atmosphere. It observes a wide spectral interval throughout the mid infrared with high spectral resolution. Operating in a wavelength range from 4.15 microns to 14.6 microns, MIPAS detects and spectrally resolves a large number of emission features of atmospheric minor constituents playing a major role in atmospheric chemistry. https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/envisat/instruments/mipas, last accessed 28 July 2016	2002-2012	ESA
SCIAMACHY/Envisat - Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Characterography	Imaging spectrometer whose primary mission objective is to perform global measurements of trace gases in the troposphere and in the stratosphere. The solar radiation transmitted, backscattered and reflected from the atmosphere is recorded at relatively high resolution (0.2 nm to 0.5 nm) over the range 240 nm to 1700 nm, and in selected regions between 2000 nm and 2400 nm. The high resolution and the wide wavelength range make it possible to detect many different trace gases despite low concentrations (The mixing ratios of most constituents are of the order of 10^{-6} or less). The large wavelength range is also ideally suited for the detection of clouds and aerosols. SCIAMACHY has three different viewing geometries: nadir, limb, and sun/moon occultations which yield total column values as well as distribution profiles for trace gases and aerosols in the stratosphere and partly the troposphere. https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/envisat/instruments/sciamachy, last accessed 28 July 2016	2002-2012	ESA
SMILES/ISS - Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder	SMILES is a sensitive submillimetre-wave sounder. The objective of SMILES is to monitor global distributions of stratospheric trace gases which contribute ozone depletion. SMILES is the first approach to use a superconductive low-noise receiver with a mechanical 4-K refrigerator in space to realize a high sensitive observation. http://www.nasa.gov/mission_pages/	2009-2010	US (NASA)

	station/research/experiments/ 638.html#description, last accessed 28 July 2016		
Existing research infrastructures			
ACE-FTS/ SciSat-1 - Atmospheric Chemistry Experiment -Fourier Transform Spectrometer	ACE-FTS is the prime instrument of the SciSat mission. ACE has been built by ABB Bomem Inc. of Quebec City, Quebec. The objective is to measure the vertical distribution of atmospheric trace gases, in particular of the regional polar O₃ budget, as well as pressure and temperature (derived from CO₂ lines). The instrument is an adapted version of the classical sweeping Michelson interferometer, using an optimized optical layout. ACE consists of the following components: the FTS, a VNIR (Visible Near Infrared) imager, a sun tracker, the instrument electronics, and a power supply. An SNR > 100 is achieved; IFOV (FTS) = 1.25 mrad; a telescope aperture diameter of 100 mm and a measurement period of 2 s. The instrument includes a suntracker, which provides fine pointing toward the radiometric centre of the sun with a stability better than 15 µrad, to both the infrared spectrometer and the imager during solar occultation of the Earth's atmosphere (there are about 30 sun occultation periods per day). Measurements can be made in the altitude range 5-150 km. The FTS is coupled with an auxiliary 2-channel VNIR imager. https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/scisat-1, last accessed 28 July 2016	Since 2003	CA
CrIS/Suomi NPP - Cross-track Infrared Sounder (complementary)	CrIS, an advanced spectrometer with 1,305 infrared spectral channels, is designed to provide high vertical resolution information on the atmosphere's three-dimensional structure of temperature and water vapour. CrIS will continue this data record and provide data for use in NOAA's numerical weather prediction models to forecast severe weather days in advance. https://jointmission.gsfc.nasa.gov/instruments.html, last accessed 28 July 2016	Since 2011	US (NASA; NOAA, DMSP)
GOME-2 - Global Ozone Monitoring Experiment-2 / MetOp-A MetOp-B MetOp-C (complementary)	Optical spectrometer, fed by a scan mirror which enables across-track scanning in nadir, as well as sideways viewing for polar coverage and instrument characterisation measurements using the Moon. It is used to get a detailed picture of the total atmospheric content of ozone and its vertical profile in the atmosphere. It also provides accurate information on the total column amount of NO₂, SO₂, H₂O, O₂/O₂ dimer, BrO and other trace gases, as well as aerosols. http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/CurrentSatellites/Metop/MetopDesign/GOME2/index.html, last accessed 28 July 2016	MetOp-A: Since 2006 MetOp-B: Since 2012 Metop-C: Launch: 2018	Coordination: EUMETSAT FR (CNES), ESA

IASI – Infrared Atmospheric Sounding Interferometer / MetOp-A MetOp-B MetOp-C (complementary)	IASI measures in the infrared part of the electromagnetic spectrum at a horizontal resolution of 12 km over a swath width of about 2,200 km. With 14 orbits in a sun-synchronous mid-morning orbit (9:30 Local Solar Time equator crossing, descending node) global observations can be provided twice a day. http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/CurrentSatellites/Metop/MetopDesign/IASI/index.html , last accessed 28 July 2016	MetOp-A: Since 2006 MetOp-B: Since 2012 MetOp-C: Launch: 2018	Coordination: EUMETSAT FR (CNES), ESA
MAESTRO/Scisat-1 – Measurement of Aerosol Extinction in the Stratosphere and Troposphere Retrieved by Occultation	Dual-channel optical spectrometer in the spectral region of 285–1030 nm. The objective is to measure ozone, nitrogen dioxide and aerosol/cloud extinction (solar occultation measurements of atmospheric attenuation during satellite sunrise and sunset with the primary objective of assessing the stratospheric ozone budget). Solar occultation spectra are being used for retrieving vertical profiles of temperature and pressure, aerosols, and trace gases (O ₃ , NO ₂ , H ₂ O) involved in middle atmosphere ozone distribution. - The use of two overlapping spectrometers (280 – 550 nm, 500 – 1030 nm) improves the stray-light performance. The spectral resolution is about 1–2 nm. https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/s/scisat-1 , last accessed 28 July 2016	Since 2003	CA
MLS/Aura – Microwave Limb Sounder	Measurements of atmospheric composition, temperature, humidity and cloud ice that are needed to (1) track stability of the stratospheric ozone layer, (2) help improve predictions of climate change and variability, and (3) help improve understanding of global air quality. MLS observes thermal microwave emission from Earth's 'limb' (the edge of the atmosphere) viewing forward along the Aura spacecraft flight direction, scanning its view from the ground to ~90 km every ~25 seconds. Aura is in a near-polar 705 km altitude orbit. As Earth rotates underneath it, the Aura orbit stays fixed relative to the sun; to give daily global coverage with ~15 orbits per day. Aura is part of NASA's A-train group of Earth observing satellites. These satellites fly in formation with the different satellites making measurements within a short time of each other. The MLS measurements are made globally day and night. A feature of the MLS technique is that its measurements can be obtained in the presence of ice clouds and aerosol that prevent measurements by shorter-wavelength infrared, visible and ultraviolet techniques. http://mls.jpl.nasa.gov/index-eos-mls.php , last accessed 28 July 2016	Since 2004	US (NASA)

OMPS/Suomi NPP - Ozone Mapping Profiler Suite	OMPS measures the global distribution of the total atmospheric ozone column on a daily basis. It also measures the vertical distribution of ozone from about 15 km to 60 km, though somewhat less frequently. The Nadir instrument looks directly below the satellite while the Limb instrument looks at an angle to the Earth's surface. The instruments measure ozone by collecting light from the sun that has been reflected off of the atmosphere. Ozone molecules absorb some of this light and these absorption features are used to calculate the amount of ozone present over the entire globe. https://jointmission.gsfc.nasa.gov/omps.html, last accessed 03 August 2016	Since 2011	US (NASA)
OSIRIS/Odin - Optical Spectrograph and InfraRed Imaging System	UV/VIS/IR limb sounder, in effect a double instrument, mounted in a common optical housing and supported by common electronics. The UV/VIS imaging spectrograph uses compact reflective optics (off-axis system, folded design, aperture = 36 mm x 36 mm) and an aspherical ruled grating along with UV-enhanced CCD arrays. OSIRIS has a dual-purpose objective of detecting aerosol layers and to detect abundances of species such as O₃, NO₂, OClO, and BrO (retrieval of altitude profiles of terrestrial atmospheric minor species by observing limb-radiance profiles). https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/o/odin, last accessed 28 July 2016	Since 2001	CA
SABER/ TIMED - Sounding of the Atmosphere using Broadband Emission Radiometry	Provides the data needed to advance our understanding of the fundamental processes governing the energetics, chemistry, dynamics, and transport in the mesosphere and lower thermosphere. http://saber.gats-inc.com/overview.php, last accessed 28 July 2016	Since 2001	US
SAGE III/ISS - Stratospheric Aerosol and Gas Experiment III	The SAGE III instrument is used to study ozone. More specifically, SAGE III - ISS will provide global, long-term measurements of key components of the Earth's atmosphere. The most important of these are the vertical distribution of aerosols and ozone from the upper troposphere through the stratosphere. In addition, SAGE III also provides unique measurements of temperature in the stratosphere and mesosphere and profiles of trace gases such as water vapour and nitrogen dioxide that play significant roles in atmospheric radiative and chemical processes. SAGE III, like its predecessors, is a grating spectrometer that measures ultraviolet/visible energy. However, SAGE III has a few upgrades. The new design incorporates Charge Coupled Device (CCD) array detectors and a 16-bit A/D converter. Combined, these devices allow for wavelength calibration, a	Since 2016	US (NASA)

	self-consistent determination of the viewing geometry, lunar occultation measurements and expanded wavelength coverage. http://science.nasa.gov/missions/sage-3-iss/ , last accessed 28 July 2016		
SMR/ODIN - Sub-Millimetre Radiometer	Passive microwave limb sounder with one receiver at a wavelength of 3 mm and additional four bands within the submillimetre range (0.5 - 1.0 mm) corresponding to a frequency range of 486 - 580 GHz. Antenna reflector type: offset Gregorian telescope [off-axis system, 1.1 m diameter, surface roughness: 10 μm rms, material: carbon fibre reinforced plastic (CFRP)]. SMR is used in the astronomy as well as in the atmospheric research mission to detect molecular transitions. https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/o/odin , last accessed 28 July 2016	Since 2001	SE (coordinating), FR, FI
SOFIE/AIM - Solar Occultation for Ice Experiment	SOFIE is one of three instruments onboard the Aeronomy of Ice in the Mesosphere (AIM) satellite. The objective of AIM is to study polar mesospheric clouds (PMCs) and the environment in which they form. SOFIE uses the technique of solar occultation to measure solar energy passing through the limb of the earth's atmosphere as the sun rises or sets relative to the spacecraft. http://sofie.gats-inc.com/sofie/index.php , last accessed 28 July 2016	Since 2007	US, UK
Planned research infrastructures/under construction			
CrIS/JPSS-1 - Cross-track Infrared Sounder (complementary)	CrIS, an advanced spectrometer with 1,305 infrared spectral channels, is designed to provide high vertical resolution information on the atmosphere's three-dimensional structure of temperature and water vapour. CrIS will continue this data record and provide data for use in NOAA's numerical weather prediction models to forecast severe weather days in advance. https://jointmission.gsfc.nasa.gov/jpss_mission.html , last accessed 28 July 2016	From 2017	US (NASA; NOAA)
IASI-NG/MetOp-SG A - Infrared Atmospheric Sounding Interferometer (complementary)	Will provide hyper-spectral infrared soundings of temperature, water vapour, and trace gases with a spectral resolution of 0.25 cm^{-1} within the spectral range from 645 to 2760 cm^{-1} at an average spatial sampling distance of 25 km. http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/FutureSatellites/EUMETSATPolarSystemSecondGeneration/EPSSGDesign/index.html , last accessed 28 July 2016	From 2021	EUMETSAT, ESA
IRS/MTG-S - Infrared Sounder (complementary)	The Infrared Sounder (IRS) on MTG-S will be able to provide unprecedented information on horizontally, vertically, and temporally (4-dimensional) resolved water vapour and temperature structures of the atmosphere.	From 2019	EUMETSAT, ESA

	Retrieving highly resolved vertical structures of humidity (~ 2 km resolution with 10% accuracy) and temperature (~ 1 km with $0.5^\circ - 1.5^\circ$ accuracy) by remote sensing techniques does require measurements within the water vapour and CO_2 absorption bands with extremely high spectral resolution and accuracy. The IRS is based on an imaging Fourier-interferometer with a hyperspectral resolution of 0.625 cm^{-1} wave-number, taking measurements in two bands, the Long-Wave InfraRed (LWIR) and the Mid-Wave InfraRed (MWIR), with a spatial resolution of 4 km. The IRS will deliver over the Full Disk in the LWIR ($700 - 1210 \text{ cm}^{-1}$ or $14.3 - 8.3 \mu\text{m}$) 800 spectral channels and in the MWIR ($1600 - 2175 \text{ cm}^{-1}$ or $6.25 - 4.6 \mu\text{m}$) 920 channels with a basic repeat cycle of 60 min. The IRS includes the ozone band within LWIR and the carbon monoxide band within MWIR. This will allow measurement within the free troposphere, leading to information on enhanced levels of pollution in the boundary layer below. By providing operational measurements of carbon monoxide and ozone, IRS will also make a significant contribution to the space segment of the Copernicus initiative. http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/FutureSatellites/MeteosatThirdGeneration/MTGDesign/index.html, last accessed 28 July 2016		
OMPS/JPSS-2 – Ozone Mapping Profiler Suite	OMPS measures the global distribution of the total atmospheric ozone column on a daily basis. It also measures the vertical distribution of ozone from about 15 km to 60 km, though somewhat less frequently. The Nadir instrument looks directly below the satellite while the Limb instrument looks at an angle to the Earth's surface. The instruments measure ozone by collecting light from the sun that has been reflected off of the atmosphere. Ozone molecules absorb some of this light and these absorption features are used to calculate the amount of ozone present over the entire globe. https://jointmission.gsfc.nasa.gov/omps.html, last accessed 03 August 2016	From 2021	US (NASA)
Sentinel-4	The Sentinel-4 mission covers the needs for continuous monitoring from a geostationary orbit of the atmospheric chemistry in order to support air quality monitoring and forecast over the skies of Europe. The main data products will be O_3, NO_2, SO_2, HCHO and aerosol optical depth, which will be generated about every hour at a high spatial resolution. The Sentinel-4 UVN instrument is a high resolution spectrometer covering the ultraviolet (305–400 nm), visible (400–500 nm) near-infrared (750–775 nm) bands. The spatial reso-	2019 (Follow-up mission: 2027)	EUMETSAT, ESA

	lution is 8 km while the spectral resolution in the three wavelength bands ranges between 0.12 and 0.50 nm. http://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/Sentinel4_facts_2015.pdf , last accessed 16 August 2016		
Sentinel-5/ MetOp-SG A (complementary)	Instrument to provide ozone profiles, monitor various trace gases, as well as air quality and support climate monitoring by means of hyper-spectral soundings with a spectral resolution from 0.065–1 nm in the wavelength range from 0.27–2.4385 µm, at a spatial sampling of 7 km for channels above 0.3 µm. http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/FutureSatellites/EUMETSATPolarSystemSecondGeneration/EPSSGDesign/index.html , last accessed 28 July 2016	From 2021	EUMETSAT, ESA
Sentinel-5P	The Sentinel-5 Precursor objectives are to provide operational space-borne observations in support to the operational monitoring of Air Quality, Ozone and Surface UV, Climate. It will provide measurements of: Ozone, NO ₂ , SO ₂ , HCHO, Aerosol, CO, CH ₄ , Clouds https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-future-missions/sentinel-5P , last accessed 28 July 2016	2016-2023	EUMETSAT, ESA
TEMPO - Tropospheric Emissions: Monitor- ing of Pollution	After being deployed on a geostationary satellite, TEMPO will observe Earth's atmosphere in ultraviolet and visible wavelengths to determine concentrations of many key atmospheric pollutants. It will be launched to an orbit about 22,000 miles above Earth's equator. The investigation will for the first time make accurate observations of tropospheric pollution concentrations of O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , HCHO, and aerosols with high resolution and frequency over the U.S, Canada and Mexico www.nasa.gov/centers/langley/science/TEMPO.html , last accessed 16 August 2016	2017-2019	US (NASA)

II.4 Deutsches Zentrum für Biodiversitätsmonitoring (BioM-D)

II.4.a Beschreibung

Grundlegende Informationen

Mit dem Deutschen Zentrum für Biodiversitätsmonitoring (BioM-D) soll eine dezentrale und koordinierte Infrastruktur für die großflächige Biodiversitätsbeobachtung und -forschung geschaffen werden. Es soll Forschungseinrichtungen, Ämter, Planungsbüros, Politik und Gesellschaft auf den Gebieten Ökosystemforschung, Naturschutzbiologie, Biodiversitätsnutzung, Populationsökologie und Nachhaltigkeitsforschung unterstützen, beraten und informieren. Laut Konzept wird BioM-D als Non-Profit-Organisation aufgebaut

und umfasst Wetterstationen für Artenvielfalt, Auswertungsstationen für Satellitendaten, Daten- und Rechenzentren, spezialisierte Forschungslabore und Serviceangebote. Des Weiteren sollen mit BioM-D Monitoringtechniken für Anwenderinnen und Anwender entwickelt, Daten organisiert, harmonisiert und gespeichert, innovative Analysen ermöglicht und Instrumente für die Ursachenforschung bereitgestellt werden.

BioM-D ist eine nationale Forschungsinfrastruktur, die unter Beteiligung von elf Trägereinrichtungen aufgebaut werden soll. Die kooperierenden Trägereinrichtungen sind: Zoologisches Forschungsmuseum Alexander Koenig - Leibniz-Institut für Biodiversität der Tiere (ZFMK), Bonn, gemeinsam mit dem Bundesamt für Naturschutz (BfN), Bonn; der Freien Universität Berlin/Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin (BGBM); den Staatlichen Naturwissenschaftlichen Sammlungen Bayerns (SNSB), München; dem Leibniz-Institut - Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen (DSMZ), Braunschweig; der Senckenberg am Meer/Deutsches Zentrum für Marine Biodiversitätsforschung (DZMB), Wilhelmshaven; der *German Federation for Biological Data* (GFBio), Bremen; dem Deutschen Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig/Universität Leipzig; dem Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB), Berlin; dem Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW), dem Museum für Naturkunde (MfN) – Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung, Berlin.

Die geplante Aufbauzeit von BioM-D beträgt zehn Jahre. Die Gesamtkosten für Aufbau-, Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ohne Projektpauschalen und Eigenmittel der Konsortialmitglieder werden auf 419 Mio. Euro geschätzt. Der Beginn der Betriebs- und Nutzungsphase ist für etwa 2029/2030 geplant. BioM-D hat keine beschränkte Nutzungsdauer. Laut Konzept lassen sich für die Betriebskosten keine genaueren Schätzungen durchführen. Solange keine Labor- oder Geländearbeiten durchgeführt werden, werden nur geringe Verbrauchs- und Wartungskosten entstehen, die von den Trägerinstitutionen getragen werden sollen.

Wissenschaftliches Potenzial laut Konzept

Zentrale wissenschaftliche Kernelemente von BioM-D sind:

- _ Die Entwicklung und Optimierung von technischen Lösungen und Methoden. Dies beinhaltet beispielsweise Referenzdatenbanken, Strategien für Monitoring, taxonbezogene, genetische und genomische Monitoringtechniken und -standards, allgemeine Forschung zur Methodenoptimierung und Standardisierung, Analysewerkzeuge, Verfahren zur Datenübertragung und Datenintegration.
- _ Modellierungen und Synthesen, die Entwicklung von Theorien und Szenarien.

- _ Die Betrachtung und Analyse der Biodiversität auf Landschaftsebene, zum Beispiel durch die Überprüfung von Prognosen, die Analyse der Folgen von Klimawandel, der Landnutzung, Wassernutzung und -verschmutzung und der Wirksamkeit von Managementmaßnahmen.
- _ Die Analyse der Biodiversitätsveränderungen auf Artenebene, zum Beispiel durch die Analyse von Indikatorarten, die Bestands- und Populationsentwicklung bedrohter und nichtbedrohter Arten, Ursachenanalyse, die Etablierung von Frühwarnsystemen, eine Erfassung der Phänologie, die Analyse von Mechanismen der Ausbreitung und Evolution von Arten.

Laut Konzept soll die Infrastruktureinrichtung Referenzdaten, Informationen und innovative Methoden mobilisieren und bereitstellen (z. B. für ökologische Synthesen). BioM-D wird des Weiteren dabei helfen, die aktuell sehr zersplitterte Forschungslandschaft zu harmonisieren und die Effizienz vorhandener Kräfte wesentlich zu steigern sowie Auskunft zu geben über die langfristige Entwicklung der Biodiversität auf der Grundlage einer breiten Datenbasis. Es wird die Vernetzung zwischen ökologischer Grundlagenforschung und praktischem Naturschutz genauso befördern wie auch die Zusammenführung von taxonomischer Expertise der Naturkundemuseen und Vereine mit dem Fachwissen ökologischer Forschungseinrichtungen.

Die neue Infrastruktur wird nach der Aufbauphase von vielen Nutzerinnen und Nutzern simultan genutzt werden können. Mit der Akkumulation von zum Teil voll-automatisierten Arbeitsabläufen und Techniken werden Anwendungen erleichtert und effizienter. Zusätzlich werden neue Biodiversitätsinformationen bereitgestellt.

Laut Konzept gibt es bisher weder in Deutschland noch in Europa eine koordinierte FIS für Biodiversitätsmonitoring. Komplementär zum BioM-D sind:

- _ Observatorien, wie beispielsweise die LTER Observatorien |¹⁰³, die DFG-Exploratorien, das TERENO-Programm von Helmholtz-Instituten |¹⁰⁴, die teils der experimentellen Ökologie dienen, teils der Umweltbeobachtung, die jedoch laut Konzept nur einen geringen Anteil an Biodiversitätsmonitoring durchführen,
- _ das geplante DCOLL-Vorhaben, eine dezentrale Infrastruktur, in der Sammlungsdaten der Museen digitalisiert werden und
- _ weitere Aktivitäten und Programme zur Erfassung sowie systematischem Monitoring von Arten, Habitaten, Lebensräumen und Ökosystemen auf Bundesebene und in den Bundesländern.

| ¹⁰³ LTER: Long Term Ecological Research

| ¹⁰⁴ TERENO: Terrestrial Environmental Observatories

BioM-D ist für alle Nutzergruppen offen und stellt Anwenderinnen und Anwendern sowohl Daten, Ergebnisse und Analysemethoden zur Verfügung und bietet IT-Werkzeuge (Informationstechnologie), Instrumente und Datenrepositorien als auch Anleitungen und Fallbeispiele für deren fachgerechte Benutzung an. Potenzielle Nutzergruppen für BioM-D sind Wissenschaft, Politik, Behörden, Verbände und Öffentlichkeit - z. B. Bürgerinnen und Bürger, Fachleute und Wissenschaftler an außeruniversitären und universitären Forschungsinstituten, Naturkundemuseen, Botanische Gärten, Observatorien und Exploratorien, die Medien, Frühwarndienste, Entscheidungsträger, das Bundesamt für Naturschutz und analog tätige Landesämter. Des Weiteren sollen die in BioM-D entwickelten Techniken klein- und mittelständischen Unternehmen zum weiteren Vertrieb zur Verfügung gestellt werden.

Die Konzeptverantwortlichen betonen, dass alle Daten, Methoden, Softwarewerkzeuge, Analysen und Erkenntnisse und weitere Produkte grundsätzlich kostenlos und frei verfügbar sein sollen, sofern Sicherheitsbedenken, Arten- und Datenschutz nicht dagegen sprechen und keine zusätzlichen Betriebskosten entstehen. Sie sollen vorwiegend über ein Internetportal, aber auch auf Tagungen, Workshops und internationalen Netzwerken Verbreitung finden. Nutzerinnen und Nutzer von BioM-D haben verschiedene Zugangsmöglichkeiten: online über das BioM-D-Portal oder durch Kontaktaufnahme mit der BioM-D-Geschäftsstelle oder der zuständigen Abteilung. Kosten müssen nur dann erstattet werden, wenn Verbrauch, Verschleiß oder zusätzlicher Personalaufwand anfällt. Ebenso sollen Daten kostenlos aufgenommen und in die Datenbestände integriert werden, sofern sie qualitätsgeprüft sind. Eine kommerzielle Nutzung ist ausdrücklich gestattet. *Citizen scientists*, die Daten bereitstellen, müssen in die Veröffentlichung der Informationen einwilligen.

Laut Konzept haben viele der Partnerinstitutionen von BioM-D bereits die notwendige Erfahrung und Expertise in der Datenmobilisierung,- kompilierung und -archivierung (welche die Komplexität von sehr großen Datenmengen und unterschiedlichsten Datentypen berücksichtigen). Nach Darstellung der Konzeptersteller sind Daten- und Metadatenstandards sowie Protokolle zum Austausch überwiegend bereits international etabliert. Diese können von BioM-D übernommen werden, Datenhaltungssysteme werden angepasst. |¹⁰⁵ Des Weiteren gelten für die Forschung die von der DFG festgelegten Richtlinien für den Umgang mit Forschungsdaten in der Biodiversitätsforschung und die Empfehlungen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis. Für Forschung im Ausland müssen zusätzlich die ABS-Regeln (*access and benefit sharing*) beachtet wer-

| ¹⁰⁵ Zum Beispiel aus: GFBio - German Federation for Biological Data oder Lakebase - Database Infrastructure for Long-Term Data of German Lakes.

den. Informationen, die Arten gefährden könnten, werden nicht öffentlich zugänglich gemacht.

Die Qualität der gespeicherten Daten wird durch stetiges Qualitätscontrolling und Ringtests gewährleistet. Alle Daten, die in den BioM-D-Datenbanken hinterlegt werden, müssen ein standardisiertes Bewertungsverfahren durchlaufen. Taxonomische Erfassungen werden von Expertinnen und Experten überprüft. Durch die Offenlegung von Beobachtungsdaten erfolgt eine gegenseitige Selbstkontrolle der Artenkenner. Auch automatisierte Monitoringverfahren werden mit regelmäßigen Tests durch standardisierte Methoden überprüft. Die in Biobanken hinterlegten Proben werden durch Sequenzierung genetischer Marker geprüft.

Umsetzbarkeit laut Konzept

BioM-D wird neue Monitoringtechniken bis zur Anwendungsreife entwickeln. Dabei sind aufwändige technische Konstruktionen mit unbekannten Risiken nicht erforderlich. Vorarbeiten, technische Konzepte und Methoden der Datensynthese wurden bereits in anderen Projekten geplant und realisiert und sollen durch BioM-D eine weitere Nutzung, wenn nötig Anpassung, Verbesserung, Ausweitung und Umsetzung erfahren. Dafür haben die Trägerinstitutionen klar definierte Aufgaben. Sie sind für den Gesamtbetrieb verantwortlich, übernehmen die Leitung für die thematischen Schwerpunkte und den Aufbau der Infrastrukturen an ihren jeweiligen Standorten. Die konkreten Arbeitspakete in den einzelnen Teilprojekten von BioM-D wurden auf Grundlage der Expertise und des Forschungsschwerpunktes, die die einzelnen Trägereinrichtungen in bestimmten Themenfeldern besitzen, bestimmt (z. B. Artenschutz, Monitoring, Software, Datenbanken, Methoden- und Theorieentwicklung, Datensynthese, Sammlungen).

Die Arbeit von BioM-D wird von einem Direktorium gelenkt, das aus den Sprecherinnen und Sprechern der Trägerinstitutionen sowie der wissenschaftlichen und administrativen Leitung des Zentrums besteht. Dem Direktorium stehen ein Nutzer-/wissenschaftlicher Beirat und ein Aufsichtsgremium zur Seite. Wissenschaftliche Leitung von BioM-D ist eine Direktorin oder ein Direktor, der bzw. dem eine kaufmännische Geschäftsführung zur Seite steht, welche zugleich die zentrale Geschäftsstelle von BioM-D leitet. Während der Aufbau-phase werden für Entwicklungsprojekte zahlreiche Doktorandinnen und Doktoranden sowie Postdoktorandinnen und –doktoranden angelernt und trainiert. BioM-D benötigt Mittel für etwa 300 Beschäftigte in allen Bereichen außerhalb des Direktoriums (in Wissenschaft, Administration und Technik).

Laut Konzept planen die Trägerinstitutionen sowie zahlreiche Partner und Partnerinnen in den Forschungs- und Entwicklungsprojekten schon seit vielen Jahren die Harmonisierung, Zusammenführung und Archivierung von Biodiversitätsdaten und Techniken sowie die Verbesserung der Analyse der Bio-

diversitätsänderungen in Deutschland. Dies gilt auch für die Entwicklung neuer Technologien und Verfahren für Monitoring von Biodiversität, welche an den Instituten seit vielen Jahren vorangetrieben wird. Für BioM-D fanden bereits mehrere Rundgespräche statt. Auch wurden weitere grundlegende Projekte in den letzten Jahren mit Drittmitteln gefördert (u. a. zur Bioakustik und zum Barcoding), die dazu führten, dass sowohl neue Techniken als auch Datenbestände und Datenportale entstanden, die für BioM-D relevant sind.

Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland laut Konzept

Das Konzept hebt hervor, dass momentan eine große FIS fehlt, die zugleich für das Monitoring der Biodiversität Daten erhebt, zusammenführt, sichert und bereitstellt, Modellierungen durchführt, Techniken weiterentwickelt, neue Analyseoptionen entwickelt und für Anwendungen zur Verfügung stellt. Wie die Konzeptverantwortlichen betonen, nimmt der Verlust der Habitate und der Artenvielfalt weiterhin stark zu, es gibt aber zu wenige Daten und keine koordinierte Forschung, die zur Prägung der öffentlichen Meinung ausreichend fundiert wären. BioM-D möchte diesem Aspekt Rechnung tragen. Das Zentrum wird wissenschaftliche Daten zur Umsetzung der Nationalen Biodiversitätsstrategie liefern und will damit die Erreichung gesellschaftlicher und politischer Ziele fördern und Gesellschaft und Politik im Bereich der Biodiversitätsverluste stärker sensibilisieren. Der Impact von BioM-D wird folgende Bereiche von Gesellschaft und Wirtschaft betreffen:

- _ Erhaltung lebenswerter Landschaften,
- _ Forst- und Landwirtschaft, Fischerei, Trinkwasserwirtschaft: Erhaltung von Ökosystemfunktionen, von Nützlingen, von genetischen Ressourcen,
- _ Unterstützung hoheitlicher Aufgaben im Bereich Umwelt-, Natur- und Artenschutz,
- _ Unterstützung von Verbänden, Vereinen, von professionell und ehrenamtlich tätigen Taxonominnen und Taxonomen mit Expertise für die heimischen Arten und von Gutachterbüros,
- _ Wissenschaftsbasierte Handlungsoptionen für Politik und Wirtschaft,
- _ Gesellschaftlicher Wandel: Bewusstsein für Nachhaltigkeit.

Laut Konzept kann BioM-D des Weiteren für Techniken wie Bioakustik und automatische Klassifikation durch Bilderkennung eine Führungsrolle übernehmen (bisher existieren hier nur Pilotstudien), die die global herausragende Entwicklung ökologischer Experimentierflächen in Deutschland ergänzt. Sobald BioM-D so genutzt wird, wie die Gründerinnen und Gründer es sich vorstellen, soll für Erkenntnisse über Trends und Prognosen der Biodiversitätsentwicklung eine höhere Aufmerksamkeit in Politik, Gesellschaft und den Medien mit einer argumentativ sichereren Basis erreicht werden.

Eine Infrastruktur, die kontinuierliches Biodiversitätsmonitoring ermöglicht, könnte höchst relevant für die Bearbeitung wichtiger Forschungsthemen und für den Wissenschaftsstandort Deutschland sein. Als ehrgeiziges und visionäres Konzept, das u. a. auf das Monitoring einer Vielzahl von Arten, Datenanalyse sowie auf die Bereitstellung von Auswertungsleistungen und Forschungslaboratorien abzielt, könnte BioM-D von wesentlicher Bedeutung für eine effiziente, nachhaltige und evidenzbasierte Erforschung und langfristige Beobachtung der Biodiversität sein.

Des Weiteren hat BioM-D das Ziel, den enormen Schatz an Biodiversitätsdaten, der in der grauen Literatur und andernorts versteckt ist, sowohl für die Wissenschaftsgemeinschaft als auch für die Öffentlichkeit verfügbar zu machen. Die FIS könnte dadurch sehr attraktiv für herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, politische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger und andere Interessengruppen sein und verfügt über ein hohes Potenzial, kritische Wissenslücken in Bezug auf Veränderungen der Artenvielfalt und der Habitatbedingungen zu schließen.

Eine eindeutige Stärke von BioM-D liegt in der Einbeziehung vieler wissenschaftlicher Disziplinen und Themen. Die FIS wird aus vielen verschiedenen Projektmodulen bestehen, die von einem Konsortium aus renommierten und herausragenden deutschen Institutionen implementiert werden. Besonders reizvoll ist der in BioM-D verfolgte High-Tech-Ansatz, in dem die neuesten Technologien herangezogen werden, um drängende Umweltprobleme anzugehen. Dies erweitert die Möglichkeiten, grundlegende Labor- und Feldforschung mit aktuellen Maßnahmen zum Umwelt- und Naturschutz zusammenzuführen.

Die notwendige Bewahrung der Biodiversität sowie das nachhaltige Management in der Landwirtschaft und im Energiesektor sind zunehmend auf das Verständnis von dem Ineinandergreifen verschiedener ökologischer Teilaspekte angewiesen. Trotz des hohen wissenschaftlichen Potenzials und der Attraktivität, die BioM-D entwickeln könnte, werden einige wesentliche Bedenken und Schwächen deutlich. BioM-D kombiniert eine enorme Diversität und Komplexität von wichtigen Aufgaben, Aktivitäten und Produkten, würde aber von einer stärkeren Fokussierung und einer klaren Prioritätensetzung profitieren. Daher empfiehlt der Ausschuss, die Verknüpfung zwischen den Arbeitsmodulen mit spezifischen wissenschaftlichen Zielen der Biodiversitätsforschung genauer festzulegen. Nur eine klare Formulierung dieser Forschungsziele könnte klären, welcher Bedarf an Daten und Infrastrukturen besteht. Ansonsten besteht das Risiko, dass etwas entwickelt, gespeichert und gemessen wird, für das sich keine Anwendung findet, während anderes nicht untersucht, aber zu einem späteren Zeitpunkt dringend benötigt wird. Ohne einen fokussierten An-

satz hinsichtlich wissenschaftlicher Fragen und Probleme ist es schwierig zu beurteilen, ob die FIS angemessen und notwendig ist.

Des Weiteren beinhaltet das Konzept umfangreiche Produktentwicklungen und Grundlagenforschung als Voraussetzung für die weitere Entwicklung der FIS. Die größte Unsicherheit bei BioM-D besteht darin, dass nicht klar erkennbar ist, in welchem Maße die Konzeptaktivitäten auf den Erfolg der äußerst ambitionierten Ziele im Forschungs- und Entwicklungsbereich angewiesen sind. Angesichts einer großen Abhängigkeit von noch nicht entwickelten Methoden ist unklar, wie die Betriebsphase voranschreiten kann. Der Ausschuss empfiehlt, zunächst die Technologie zu entwickeln und erst im Anschluss die von dieser Technologie abhängige Infrastruktur zu errichten. Die Vision eines effizienten Artenmonitorings unterstellt, dass Lösungen für schwierige Probleme gefunden werden. Das auf die Technologieentwicklung folgende Monitoringprogramm muss an das, was funktioniert bzw. nicht funktioniert angepasst werden. Es kann daher gegenwärtig nicht geklärt werden, wie leistungsfähig die Innovationen und wie nützlich die Daten tatsächlich sein werden. Die geplante FIS würde von einem klaren Evaluierungszyklus der zu entwickelnden Komponenten, die entwickelt werden, und von einem dynamischen Designprozess profitieren. Darüber hinaus wäre ein Zeitplan für die Evaluierung jeder Komponente vonnöten, beispielsweise in Form von Zielen, anhand derer die Umsetzbarkeit der Ansätze, Instrumentierung und Datenerzeugung überprüft werden kann.

Die Idee der Errichtung einer Infrastruktur für das Biodiversitätsmonitoring, die einer breiten Nutzergruppe essentielle Informationen bereitstellt, ist bestehend. Eine aktive Gemeinschaft von ausgezeichneten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern ist ein Schlüssel für den Erfolg einer FIS. BioM-D sollte verschiedene Nutzerinnen und Nutzer außerhalb des Konsortiums (und unabhängig von deren eigenen Interessen) aktiv mit einbeziehen. Andernfalls besteht das Risiko einer Unterauslastung. Dabei sollten auch andere nationale und internationale Nutzergruppen wie beispielsweise einschlägige Interessensvertreter und externe gemeinnützige und kommerzielle Nutzerinnen und Nutzer berücksichtigt werden. Vor diesem Hintergrund ist bei einem so umfangreichen Vorhaben auch der Zugang zu den Daten, der Datenaustausch, die Datenauthentifizierung, die Interoperabilität sowie die Nutzerautorisierung – insbesondere für den Zugang zu und die Kombination von Daten aus verschiedenen Quellen mit unterschiedlichen Eigentümern und Rechten – keine einfache Aufgabe und sollte eindeutig festgelegt werden.

Bei einem derart komplexen Vorhaben müssen Entscheidungen schnell getroffen und Informationen rasch für alle beteiligten Partner bereitgestellt werden. Dies ist eine große Herausforderung an die Organisationsstruktur und die Koordinierung der FIS. Die zentrale Leitung kann nicht bei einer einzelnen wissenschaftlichen Direktorin bzw. einem einzelnen wissenschaftlichen Direktor

liegen, die bzw. der darüber hinaus noch mit Forschungsaufgaben betraut ist. Der Ausschuss empfiehlt die detaillierte Ausarbeitung einer Organisationsstruktur sowie die genaue Darstellung der spezifischen Aufgaben und Befugnisse eines hochqualifizierten Führungsteams. Dieses sollte aus einem CTO (*Chief Technology Officer*), einer Generaldirektorin bzw. einem Generaldirektor und einem unterstützenden professionellen Team bestehen.

Das Vorhaben ist auf Deutschland zugeschnitten und verfügt, zumindest anfänglich, über wenig internationale Verbindungen. Dementsprechend ist anzunehmen, dass keine große Konkurrenz zu ähnlich gelagerten Initiativen besteht. Die Beschränkung auf Deutschland führt zudem dazu, dass sich viele der von BioM-D und der andernorts durchgeführten Arbeiten überschneiden könnten (wie beispielsweise mit Monitoring-Netzwerke in anderen Regionen). Um die Expertise, die anderweitig entwickelt wird, nutzen zu können, empfiehlt der Ausschuss, auch Beziehungen – insbesondere zu europäischen Initiativen wie z. B. *LifeWatch* |¹⁰⁶ – aufzubauen.

II.4.c Zusammenfassung

BioM-D könnte ein großes Potenzial entwickeln und die wissenschaftliche Sichtbarkeit Deutschlands im Bereich Biodiversität erhöhen. Abgesehen vom wissenschaftlichen Potenzial gibt es jedoch viele Bedenken hinsichtlich der spezifischen Umsetzbarkeit des Konzepts. Dem Projekt fehlt eine klare Fokussierung auf seine wissenschaftlichen Ziele. Zudem verfügt es bisher über keinen klaren Evaluationszyklus und weist Schwächen in der Organisationsstruktur auf. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt erscheint die Implementierung sehr problematisch, da schwer zu beurteilen ist, wie viele der geplanten Ansätze, Methoden und Stationen innerhalb eines Zeitraums von 10 Jahren entwickelt werden können, und welcher Anteil der sich in der Entwicklungsphase befindenden neuen automatisierten Technologien zufriedenstellend funktionieren wird. Vor dem Hintergrund dieser Unsicherheiten und Risiken konnte BioM-D nicht in die vergleichende Bewertung aller Konzepte aufgenommen werden. Das Projekt ist in dieser Form nicht ausgereift genug.

In Anbetracht des hohen Potenzials von BioM-D sollten die verantwortlichen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Konzeption ihres Forschungsinfrastrukturvorhabens, den Umgang mit dem hohen Anteil an Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sowie die Abstimmung zwischen den wissenschaftlichen Zielen und dem Bedarf an Daten überdenken, um eine erfolgreiche und adäquate Umsetzung zu gewährleisten.

| ¹⁰⁶ *LifeWatch – E-Science European Infrastructure for Biodiversity and Ecosystem Research*

Research infrastructure landscape			
Name	Brief description and internet link	Time frame	Location/ Participants
Existing research infrastructures			
Biodiversity Exploratories (complementary)	The Biodiversity Exploratories serve as open research platform for all biodiversity and ecosystem research groups of Germany. Study objectives are the understanding of the relationship between biodiversity of different taxa and levels, the role of land use and management for biodiversity, and the role of biodiversity for ecosystem processes. http://www.biodiversity-exploratories.de , last accessed 7 September 2016	Start of first phase: 2006	DE
LifeWatch – E-Science European Infrastructure for Biodiversity and Ecosystem Research	The mission of LifeWatch is to advance biodiversity research and to provide major contributions to addressing the big environmental challenges, including knowledge-based solutions to environmental managers for its preservation. To achieve this mission LifeWatch provides access through a single infrastructure to a multitude of sets of data, services and tools enabling the construction and operation of Virtual Research Environments (VREs) linked to LifeWatch, and where specific issues related with biodiversity research and preservation are addressed. LifeWatch entered the ESFRI Roadmap in 2006 and is a Landmark on the ESFRI Roadmap 2016. http://www.lifewatch.eu/ , last accessed 7 October 2016	Operation start 2016	coordination: ES; committed countries: BE, IT, RO, ES, GR, PT, NL; observer countries: FI, FR, HU, SK, SE; stakeholders from other countries: Norwegian Institute for Nature Research
LTER-D – German Long-Term Ecosystem Research Network (complementary)	LTER-D is a platform for communication, documentation and collaboration of scientists in long-term, system-oriented and interdisciplinary environmental research in Germany. Currently, it covers 17 sites and platforms all over Germany performing long-term ecological research in all relevant ecosystem types from the high mountains to the Wadden Sea. http://www.ufz.de/lter-d , last accessed 14 September 2016	Founded in 2004	DE
TERENO – Terrestrial Environmental Observatories (complementary)	TERENO spans an Earth observation network across Germany that extends from the North German lowlands to the Bavarian Alps. This large-scale project aims to catalogue the long-term ecological, social and economic impact of global change at regional level. Scientists and researchers want to use their findings to show how humankind can best respond to these changes. http://teodoor.icg.kfa-juelich.de/ , last accessed 14 September 2016	Since 2008	DE
UFZ – Centre for Environmental Research	Research work at the UFZ is concentrated on the terrestrial environment – on densely-populated urban and industrial areas, on ag-	Founded in 1991	Leipzig, Halle and Magdeburg, DE

(complementary)	gricultural landscapes and natural landscapes. Scientists at the UFZ are investigating future land-use scenarios, the conservation of biodiversity and ecosystem services, the sustainable management of soil and water resources and the impact of chemicals on humans and the environment. https://www.ufz.de, last accessed 14 September 2016 http://www.helmholtz.de/en/about_us/helmholtz_centres_networks/zentrum/detailansicht/helmholtz_centre_for_environmental_research_ufz/, last accessed 20 October 2016		
Planned research infrastructures/under construction			
DCOLL – German Natural Science Collections Infrastructure (complementary)	For detailed information please see the concept proposal of DCOLL.	Operation from 2026/2027	DE
NEON – National Ecological Observatory Network	NEON is a continental-scale ecological observation facility, sponsored by the National Science Foundation and operated by Battelle, that gathers and synthesizes data on the impacts of climate change, land use change and invasive species on natural resources and biodiversity. http://www.neonscience.org, last accessed 7 October 2016	Full operation from 2018	Headquarters: Boulder, US

II.5 Deutsche Naturwissenschaftliche Sammlungen als integrierte Forschungsinfrastruktur (DCOLL)

II.5.a Wissenschaftliches Potenzial

Beschreibung

Durch die sichere und langfristige Speicherung, Digitalisierung und Bewahrung der physischen Belege und Informationen wird DCOLL zahlreiche geographisch verstreute und organisatorisch heterogene Sammlungen mit ihren Daten und Wissensgrundlagen für die weitere Forschung sowie breite Schichten der Gesellschaft nutzbar machen. Laut Konzept bietet DCOLL auf diese Weise eine innovative Forschungsplattform und eine virtuelle Forschungsumgebung für trans- und interdisziplinäre Arbeit in den Natur-, Sozial- und Gesellschaftswissenschaften. Dies betrifft neben der Grundlagenforschung (wie biologischer, geologischer, medizinischer Wissenschaften) auch angewandte Fragestellungen (wie Auswirkungen des Klimawandels, bioökonomischer Aspekte, konkrete Problemlösungen in der Landwirtschaft, Erhalt genetischer Ressourcen und biologischer Lebensgrundlagen).

Durch die geplante umfangreiche Sammlungsdigitalisierung in DCOLL können Details von seltenen oder einzigartigen Sammlungsobjekten ebenso wie große

Datenvolumina global zur Verfügung gestellt werden, auch ohne die wertvollen Objekte selbst dabei zu handhaben oder zu gefährden. Im Hinblick auf den Forschungs- und Kooperationsprozess kann durch DCOLL ein schnellerer, effizienterer und damit ökonomischer Zugang zu Daten und Informationen erfolgen. Nach Angabe der Konzeptersteller ist es volkswirtschaftlich gesehen vorteilhaft, diese Forschungsdaten langfristig zu bewahren, um Wiederholungsuntersuchungen zu vermeiden, neue Zusammenhänge zu erkennen und damit wissenschaftliches und kulturelles Erbe langfristig zu erhalten. Die in DCOLL realisierte Vernetzung über Institutions- und Sammlungsgrenzen hinweg und die nachhaltige Digitalisierung der Bestände bieten weiterhin die Grundlage für neue Forschungshorizonte in den Natur- und Gesellschaftswissenschaften, die Konzipierung neuer Forschungsprogramme und intensive Forschungsk Kooperationen.

Wie die Konzeptverantwortlichen betonen, wird DCOLL besonders im Verbund mit den weiteren europäischen EUCOLL- bzw. CETAF-Partnern sowohl in ihrem Umfang, wie auch hinsichtlich ihrer wissenschaftlichen und kulturellen Bedeutung eine global einzigartige Infrastruktur sein. DCOLL wird weder eine Duplizierung noch eine Konkurrenz zu den bestehenden Sammlungsinfrastrukturen und Informationssystemen darstellen. |¹⁰⁷ Die Konzepte der entsprechenden Infrastrukturen sind nach Angaben der Konzeptersteller vielfach disziplinär ausgerichtet und erreichen weder geografisch noch historisch-zeitlich eine vergleichbare Tiefe der Abdeckung, wie sie DCOLL zum Ziel hat (z. B. Niederlande - NCB NATURALIS, Frankreich - RECOLNAT |¹⁰⁸, Australien - Atlas of Living Australia, USA-iDigBio). |¹⁰⁹ Am ehesten mit DCOLL verwandte, umfangreiche und weltweit ausgerichtete naturwissenschaftliche Sammlungen finden sich sonst nur im EUCOLL- bzw. CETAF-Verbund sowie in den USA (Smithsonian Institution, Washington, D.C.; American Museum of Natural History, New York; Field Museum, Chicago; California Academy, San Francisco), die aber bisher nicht entsprechend digital erschlossen sind.

Bewertung

Eine erfolgreiche Realisierung von DCOLL wird die sammlungsbasierte Forschung in den Naturwissenschaften wesentlich erweitern, sodass diese erheblich stärker hypothesengetrieben, datenintensiv, standardisiert und vernetzt sein wird. Die FIS wird einen wesentlichen Einfluss auf Biodiversitätsanalyse und -monitoring, die Analyse großräumiger Strukturen im Bereich der biologi-

| ¹⁰⁷ Wie beispielsweise nationale Digitalisierungsprogramme oder Programme zur Ertüchtigung naturwissenschaftlicher Sammlungen.

| ¹⁰⁸ Réseau des Collections Naturalistes

| ¹⁰⁹ NCB NATURALIS - Nederlands Centrum voor Biodiversiteit, e-ReCOLNAT - Récolement des Collections Naturalistes, iDigBio-Integrated Digitized Biocollections

schen und geologischen Diversität und die Vorhersagemodelle des Umweltwandels haben. Sie wird als wichtige neue Quelle, die Potenzial für die Integration geologischer und biologischer Prozesse sowie für den Vergleich von historischen und aktuellen Diversitätsmustern besitzt, Umweltdaten erzeugen und verfügbar machen. DCOLL wird die Forschung in diesem Feld reformieren, indem Proben und zugehörige Informationen der globalen Forschungsgemeinschaft erstmals offen zur Verfügung gestellt werden. Derzeit ist der Zugang zu einzelnen Proben dahingegen nur möglich, wenn Forscherinnen und Forscher die betreffende Institution besuchen oder die Proben entleihen.

Der wissenschaftliche Impact wird weltweit spürbar sein: Austausch und Inklusion sind klare Ziele des Konzepts. Forscherinnen und Forscher sowie Bürgerinnen und Bürger weltweit haben dann die Möglichkeit, die riesige Menge erzeugter Daten nutzen zu können.

Die strategische Kooperation der wichtigsten naturwissenschaftlichen Sammlungen in Deutschland wird eine große Leistung darstellen. Sie wird zu einer besseren Nutzung dieser Sammlungen in der Forschung und zu einer Abstimmung der wissenschaftlichen Aktivitäten unter den Institutionen führen und unnötige Doppelungen in der wissenschaftlichen Arbeit verhindern. Die Mitglieder des Konsortiums repräsentieren die größten und aus wissenschaftlicher Sicht wichtigsten wissenschaftlichen Sammlungen ihrer Art in Deutschland. Zusammengenommen übertreffen sie jede andere wissenschaftliche Sammlung in diesem Feld weltweit. Eine konzertierte Anstrengung der Institutionen ist notwendig, um einen gemeinsamen Standard für die Untersuchung, Dokumentation, Analyse und Verbreitung der Daten und Proben zu schaffen, von dem die internationale wissenschaftliche Gemeinschaft direkt profitieren wird. Das geplante Netzwerk wird nicht nur die Kooperation zwischen den vorhandenen Mitgliedsorganisationen fördern, sondern sollte auch dazu dienen, weitere Sammlungen anzuziehen. Das Netzwerk sollte auch die Führung bei der Entwicklung und Erweiterung technischer Digitalisierungsstrategien von Proben und des zugehörigen Datenmanagements übernehmen, von denen Institutionen innerhalb und außerhalb des geplanten Netzwerks profitieren. Da die einzelnen Proben in direktem Zusammenhang mit einer Vielzahl unterschiedlicher Daten stehen werden, – z. B. Röntgenaufnahmen, Fotografien, DNA-Sequenzen (*Deoxyribonucleic Acid*) – ist es sehr wahrscheinlich, dass sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie Studierende an Disziplinen außerhalb ihres eigenen Fachbereichs wenden werden, um Aspekte auszuwerten, die zuvor in ihrer Forschung nicht berücksichtigt worden sind. Dies führt sicher zu häufigeren Kooperationen in den Naturwissenschaften über einzelne Fachbereiche hinaus.

Der Betrieb der geplanten FIS wird voraussichtlich zeitlich unbegrenzt sein. Es ist vorgesehen, dass die Infrastruktur nach ihrer Etablierung dauerhaft für alle involvierten Institutionen nutzbar sein wird und Serviceleistungen für Institu-

tionen auch außerhalb des Netzwerkes bereitstellt. Dies erfordert eine intensive Kooperation. Das Konzept erkennt an, dass technologische Verbesserungen schnellen Veränderungen unterworfen sind, und dass das Design der FIS sowohl die geplante als auch die unbekannte künftige Nutzung ermöglichen muss, insbesondere in Hinblick auf die Informatik- und Omics-Ansätze, Digitalisierung sowie die elektronische Datenverarbeitung und Datenpflege. DCOLL sollte daher während der gesamten Lebensdauer flexibel und an sich verändernde Bedürfnisse in der Zukunft anpassbar sein. Um dies zu erreichen, strebt DCOLL an, die Lagerungsbedingungen der Proben zu verbessern, die Aufbewahrung der Sammlungen zu optimieren und international anerkannte Datenstandards zu verwenden. In der Zukunft zu erwartende neuartige analytische Verfahren werden von den Konzeptverantwortlichen als Chance gesehen, sich entwickelnde Forschungsfragen besser angehen zu können. Die teilnehmenden Institutionen verfügen über exzellente Erfahrungen mit dieser Art der Planung.

Weltweit gibt es eine beträchtliche Anzahl verwandter Initiativen, die ebenfalls das Ziel haben, Proben zu digitalisieren und zu analysieren. DCOLL wird hier neue Maßstäbe für bereits bestehende und geplante Infrastrukturen in diesem Bereich etablieren. Hierzu zählt auch die Interaktion von DCOLL mit wichtigen vorhandenen Datenaggregatoren (wie z. B. der *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) oder der GenBank) und zu einer geplanten Antragseinreichung im Rahmen eines ESFRI-Projekts in diesem Bereich. Die FIS wird eine wichtige nationale Komponente einer international agierenden Infrastruktur bilden und könnte zu einem Modell für aktuelle und künftige Initiativen werden. Das im Rahmen von DCOLL geplante Netzwerk wird eine exzellente Basis sein, die den deutschen Sammlungen international eine führende Position sichern wird.

Es sind keine direkt konkurrierenden FIS in Deutschland oder in anderen Ländern vorhanden. Die an DCOLL beteiligten Institutionen repräsentieren alle wichtigen Einrichtungen in Deutschland, die auf wissenschaftlichen Sammlungen basieren. Die Kooperation innerhalb dieser Gruppe würde daher eine neue nationale Infrastruktur von zentraler Bedeutung darstellen. Institutionen in anderen Ländern, wie z. B. in Frankreich, den Niederlanden, Australien und den USA, haben damit begonnen, ihre Sammlungen zu digitalisieren, wobei sich diese jedoch allein schon in ihrer Quantität von jenen der deutschen Institutionen unterscheiden.

Die Hauptaufgabe von DCOLL besteht in der Digitalisierung und Durchführung von Analysen zur Schaffung einer Informationsplattform, die es ermöglicht, die weltbekannten naturwissenschaftlichen Sammlungen aus Deutschland der globalen Forschungsgemeinschaft zur Verfügung zu stellen. Eine Unterstützung in diesen Bereichen ist daher von wesentlicher Bedeutung für den Erfolg von DCOLL. Die im Konzept beschriebenen zusätzlichen Sammlungsaktivitä-

ten, einschließlich der dafür erforderlichen Infrastrukturen, scheinen dahingegen weniger fundamental für die erfolgreiche Durchführung von DCOLL und werden als Grundaufgabe der beteiligten Institutionen gesehen. DCOLL sollte sich auf die Bereitstellung der Daten konzentrieren und keine neuen Sammlungen oder Infrastrukturen, wie z. B. ein Forschungsschiff, einbeziehen.

II.5.b Nutzung

Beschreibung

DCOLL ermöglicht den Zugang und die Nutzung der gemeinsamen FIS auf drei Ebenen:

- _ Daten, Medienobjekte und Informationen,
- _ physisch-materielle Proben und Objekte,
- _ Geräte, Labore und analytische Infrastruktur.

Je nach Art der Objekte und Proben unterscheidet sich die Nutzung einzelner Sammlungen erheblich. Im Mittelpunkt von DCOLL steht grundsätzlich die wissenschaftliche, international ausgerichtete Nutzung (ca. 75-80 %) für die zumeist fachspezifische Grundlagenforschung wie Biodiversitätsforschung, Taxonomie, Paläontologie, Biotechnologie, Ökologie, Klimaforschung, Medizin, Geschichte. Die Verwendung von Sammlungsobjekten durch Bildungseinrichtungen und Öffentlichkeitsarbeit ist vorwiegend national oder lokal geprägt (ca. 15-20 %). Die Nutzung durch Wirtschaft und andere Gruppen macht bisher nur einen vergleichsweise geringen Anteil aus (ca. 10 %). Die Konzeptverantwortlichen erwarten, dass sich in Zukunft die Nutzung von Sammlungen von den rein physischen Objekten hin zur Nutzung digitaler Daten, Medien und Objekte verschieben wird.

Laut Konzept wird DCOLL die Voraussetzungen für eine einheitliche und eindeutige Zitierfähigkeit der physischen und digitalen Objekte in wissenschaftlichen Publikationen schaffen und einen unmittelbaren, vollständigen, unentgeltlichen und öffentlichen Zugang zu den Daten, Informationssammlungen und Medienobjekten gewährleisten. Für erweiterte Dienstleistungen wie die Gewährung von Arbeitsplätzen oder die Ausleihe von Sammlungsobjekten für Forschungs- und Ausstellungsprojekte werden Nutzer- und Kostenordnungen vereinheitlicht bzw. weiterentwickelt.

DCOLL implementiert und unterhält Informations- und Wissensmanagementsysteme, Datenbanken und Medienrepositorien für die langfristige Bewahrung von Forschungsdaten und Metadaten bei gleichzeitiger maximaler Verfügbarkeit und Nutzung dieser Daten. Die wesentlichen Elemente des DCOLL-Datenkonzeptes sind die Handhabung einer wachsenden Datenmenge, ein kontinuierliches Qualitätsmanagement, Nachhaltigkeit, sowie Flexibilität für

die Analyse und Nutzung. Bei der Erhebung von Daten und deren Dokumentation und Bereitstellung werden ethische, eigentumsrechtliche sowie datenschutz- und zugriffsrechtliche Aspekte beachtet. Das Management, die Sicherung und die nachhaltige Bereitstellung von Forschungsdaten erfolgen bei DCOLL gemäß gemeinsamer Leitlinien, die sich an etablierten, fachübergreifenden Standards und Richtlinien orientieren (z. B. DFG: Empfehlungen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis, Grundsätze zum Umgang mit Forschungsdaten). Alle DCOLL-Institutionen befolgen bereits eine Vielzahl von Richtlinien (z. B. DFG-Richtlinien, Richtlinien der Leibniz-Gemeinschaft). Der zu gründende DCOLL e.V. strebt an, diese Verpflichtungen vollumfänglich zu übernehmen. Ein Verhaltenskodex soll mit Gründung von DCOLL ausgearbeitet und anschließend verbindlich beschlossen werden.

Bewertung

DCOLL ist für eine große Gemeinschaft attraktiv. Bereits zum jetzigen Zeitpunkt bedienen die für das Konzept verantwortlichen Institutionen etwa 10.000 wissenschaftliche Anfragen und stellen Service-Leistungen für 3.000 wissenschaftliche Besucherinnen und Besucher zur Verfügung. Die geplante FIS wird diese Anzahl vervielfachen, wie es die mehreren Millionen Downloads bei vergleichbaren Projekten, wie beispielsweise GBIF, nahelegen.

Von den offenen und integrierten Ressourcen, die DCOLL verfügbar macht, werden voraussichtlich Studentinnen und Studenten sowie Forscherinnen und Forscher verschiedenster Karrierestufen und unterschiedlicher Disziplinen und Wissenschaftsfelder profitieren, die in den klassischen sammlungsbasierten Forschungszweigen arbeiten. Hierzu gehören z. B. die Taxonomie und Systematik, Mineralogie, Paläontologie und Organismische Biologie, aber auch Klimaforschung, Biotechnologie, Geschichtswissenschaft und Archäologie. Gebühren werden nur in speziellen Fällen erhoben, beispielsweise bei besonders zeitaufwendigen oder sehr anspruchsvollen Anfragen. Dies dürfte in der Forschungsgemeinschaft auf Akzeptanz stoßen. Es wird davon ausgegangen, dass das DCOLL-Netzwerk das allgemeine wissenschaftliche und nicht-wissenschaftliche Interesse an den Sammlungsgegenständen bedeutend erhöhen wird. Die Digitalisierung wird Informationen zu wissenschaftlichen Forschungsobjekten in aller Welt verfügbar machen, ohne dabei die zu untersuchenden Objekte zu beschädigen.

Die beteiligten Institutionen verfügen über eine lange Tradition bei der Bereitstellung eines offenen wissenschaftlichen Zugangs zu Sammlungen und den zugehörigen Daten. Folglich existiert eine etablierte Strategie, wie enorme Menge an Daten und Proben auf bestmögliche Weise so vielen Menschen wie möglich innerhalb und außerhalb der Wissenschaft zur Verfügung gestellt werden können. Die geplante FIS wird die traditionellen Zugangsmodelle, die von sammlungsbasierten Institutionen genutzt werden, wesentlich erweitern.

Dies geschieht nicht nur durch die Bereitstellung einer koordinierten physischen Zugangsmöglichkeit zu den Proben an den verschiedenen Standorten, sondern auch durch die Erleichterung eines sicheren und umfangreicheren Zugangs zu digitalen und genomischen Surrogaten und Metadaten (die mit den Proben assoziiert sind), sowie durch wesentlich verbesserte Analysemöglichkeiten an den Standorten selbst. Zusammengenommen bedeutet dies einen fast vollständigen Wandel des intellektuellen Geschäftsmodells, das diesen Institutionen zugrunde liegt: Die deutsche Infrastruktur wird dabei eine führende internationale Position in Bezug auf *open science* und Innovation einnehmen. Die neue FIS wird sich an Rahmenbedingungen orientieren, die innerhalb der SYNTHESYS-Programme (*Synthesis of Systematic Resources*) aufgestellt wurden und an denen die Konzeptverantwortlichen über einen Zeitraum von mehr als einem Jahrzehnt beteiligt waren. Hierdurch werden Prinzipien und Prozesse erweitert, die in mehreren EU-Kooperationen etabliert worden sind.

DCOLL verfügt über eine gut entwickelte und hochgradig integrierte Strategie für die Erzeugung, Aufbewahrung und Bereitstellung von Daten. Geplant ist:

1 – Die Einführung einer vollständig offenen Datenpolitik innerhalb der gesamten FIS, wobei alle Ressourcen über ein gemeinsames Datenportal zur Verfügung gestellt und an die relevanten Datenaggregatoren weitergeleitet werden.

2 – Die Übernahme der vorhandenen, gut etablierten internationalen Datenstandards im Hinblick auf die biologischen Datensätze. Dadurch kann die Interoperabilität mit anderen Systemen sichergestellt werden. Dies gilt auch für die spezifischen Identifikationskennungen der digitalen Ressourcen. DCOLL wird den Standards und etablierten Praktiken in diesem Feld folgen und keine isolierten Lösungen erstellen (Datenbanken, Software). Das Konzept erkennt den Bedarf für einen umsichtigen Umgang mit sensiblen Daten (z. B. mit geografischen Daten zu bedrohten Arten) und mit den verschiedenen Zugangsebenen in Abhängigkeit vom Endnutzer an.

Es ist zu erwarten, dass DCOLL unter Berücksichtigung sämtlicher Anforderungen an Qualität und Verlässlichkeit durchgeführt wird. Die teilnehmenden Forschungsinstitutionen haben sich gemeinsam auf eine große Anzahl von Richtlinien bezüglich ethischer Grundsätze und *best practice* verpflichtet. Diese scheinen angemessen für eine FIS dieses Typs. Die beteiligten Institutionen profitieren von der Tatsache, dass sie bereits über einen gemeinsamen regulatorischen Rahmen verfügen.

Beschreibung

Alle DCOLL-Mitglieder verfügen über die relevante fachliche Expertise im Umgang mit Proben und Belegen sowie bei der digitalen Erschließung von Sammlungsbeständen und der Verfügbarmachung der Daten. Für den Aufbau und Betrieb von DCOLL kann für die physischen Sammlungen weitgehend auf erprobte Techniken und Verfahren zurückgegriffen werden, die durch DCOLL ausgebaut, angepasst und weiterentwickelt werden müssen. Dies gilt auch für die grundlegende bauliche Unterbringung, die fachgerechte Lagerung und den Unterhalt der Sammlungen, für Untersuchungsverfahren und entsprechende apparative Ausstattungen, geeignete Datenbanksysteme und Portale. Als eine große Herausforderung sieht DCOLL die im Rahmen der angestrebten Massendigitalisierung und Datenerfassung anfallenden Datenvolumina und die entsprechenden Herausforderungen an die Datenhaltung und -verarbeitung.

Der geplante DCOLL e.V. wird drei Organe haben: ein Präsidium, eine Mitgliederversammlung und ein Aufsichtsgremium. Er wird durch einen wissenschaftlichen Beirat unterstützt. Für die Arbeitsaufgaben und die Projektkoordination wird eine Geschäftsstelle eingerichtet, der auch eine administrative Geschäftsführung und ein Steuerungsgremium zur Seite gestellt werden. Die Sicherung der Projektziele erfolgt über die Einrichtung eines Controllings auf der Grundlage einer Kosten- und Leistungsrechnung.

Alle DCOLL-Mitglieder besitzen eigene Personalkapazitäten. Allein in der Aufbauphase wird DCOLL etwa 220 qualifizierte Mitarbeiter im wissenschaftlichen, technischen und administrativen Bereich beschäftigen. Die Geschäftsstelle wird für jedes DCOLL-Mitglied mit je zwei lokal angesiedelten Stellen zur Koordination und Ausführung unterstützt.

Der strategische Ausbau der Sammlungen erfordert an den Standorten Berlin, Bonn, Frankfurt und München Bauten und Umbaumaßnahmen. |¹¹⁰ Die einzelnen Bauwerke, Forschungssammlungs- und Laborbauten befinden sich in unterschiedlichen Stadien der Bewertung und der Zielplanung. Für die Vorbereitungsphase (2016–2018) plant DCOLL die Erstellung einer detaillierten, umfassenden nationalen Sammlungsstrategie unter Berücksichtigung aller wesentlichen, in öffentlicher Hand befindlichen, naturwissenschaftlichen Sammlungsbestände in Deutschland. Dieses Vorgehen wird eine klare Priorisierung der Digitalisierungsmaßnahmen ermöglichen und zugleich helfen,

|¹¹⁰ Die jeweiligen Landesregierungen wurden über die baulichen Maßnahmen informiert bzw. sind in die entsprechenden Planungen und Verhandlungen über den notwendigen Ausbau der Sammlungsinfrastruktur eingebunden.

Bewertung

Die technologischen Innovationen von DCOLL sind relativ moderat für eine neue wissenschaftliche Infrastruktur, da die meisten technischen Ansätze aus anderen Disziplinen übernommen werden können. Die Konzeptverantwortlichen schlagen deshalb vor, die vorhandenen Technologien, die dem neuesten Stand der Technik entsprechen, zu nutzen, anstatt völlig neue und bisher nicht verifizierte Lösungen zu versprechen. Dies ist eine umsichtige Herangehensweise für ein derart umfangreiches Vorhaben.

Aufgrund dieser Umstände sind die mit dieser FIS verbundenen technischen Risiken für eine Infrastruktur dieser Größenordnung als gering zu beurteilen. DCOLL basiert weitgehend auf etablierten Technologien und profitiert von gut dokumentierten Erfahrungen aus aller Welt seitens der Partnerinstitutionen oder der internationalen Kooperationspartner, bei denen die Schlüsseltechnologien bereits umgesetzt oder in kleinerem Maßstab getestet worden sind. Dies gilt für die Einrichtungen zur Sammlungslagerung und Sammlungspflege, die einen signifikanten Anteil der Hauptinfrastruktur ausmachen, die Bildungs- und genomischen Analyseanlagen, die Digitalisierungspipelines für verschiedene Probentypen und größtenteils sogar für die Informatikpipelines, die Transkription von Informationen von großen Mengen an Probenetiketten und -verzeichnissen sowie die Schaffung einer gemeinsamen Datenplattform aller sieben Institutionen. Alle Punkte werden in spezifischen Arbeitspaketen in DCOLL diskutiert; der Risikobereich wird daher gut berücksichtigt.

DCOLL wirkt gut geplant. Die Grundlagen der Kooperation, welche die Basis der geplanten FIS bildet, wirken robust, und die Partnerschaften und Synergien, die durch die Etablierung von DCOLL geschaffen werden, sind herausragend. Als koordinierte Gruppe wird es sich um das weltweit größte Forschungskonsortium in diesem Bereich handeln, welches wahrscheinlich die weltgrößte Integration von naturwissenschaftlichen Proben beinhaltet. Die Partnerinstitutionen von DCOLL sind bereits gut etabliert und an einer Reihe von nationalen und internationalen Netzwerken beteiligt. Es scheint eine umfassende, laufende Kooperation zwischen den Institutionen zu existieren, wenn auch auf kleinerer Ebene. Die Expertise des DSMZ ist unerlässlich für den Sequenzierungsteil des Vorhabens.

Die Partnerinstitutionen sind gut organisiert und werden durch solide institutionelle, finanzielle und physische Fundamente gestützt. Viele der geplanten Aktivitäten wurden bereits in kleinerem Maßstab entwickelt und können in Form von Pilotstudien genutzt werden, die eine solide Basis für die vorgesehene Integration darstellen.

Die geplante Infrastruktur ist eng mit den vorhandenen Partnerinstitutionen verknüpft, da die Mehrheit der Aktivitäten bei den einzelnen Institutionen angesiedelt ist. Die allgemeine Strategie, das Projektmanagement und die IT-Systeme werden zentral koordiniert. Angesichts der physischen Verteilung und der Inhaberschaft der Sammlungen scheint dies ein praktikabler Ansatz zu sein. Das Arbeitsprogramm ist klar beschrieben und in vier Hauptfelder unterteilt: Sammlungsmanagement, Informatik, Digitalisierung und physische Infrastruktur. Die Governance- und Managementstrategien wirken gut ausgearbeitet. Die von DCOLL ausgeführten Aktivitäten ergänzen jene, die gegenwärtig von den Partnern durchgeführt werden, ersetzen diese also nicht und treten auch nicht mit ihnen in Konkurrenz. Der wissenschaftliche Beirat besteht aus nationalen und internationalen Experten außerhalb des DCOLL-Netzwerks. Dieser wird DCOLL in verschiedenen Phasen und bei verschiedenen Aufgaben wirkungsvoll unterstützen.

DCOLL wird eine große Anzahl neuer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter benötigen, um alle geplanten Aufgaben innerhalb des vorgesehenen Zeitrahmens zu erfüllen. Das Hauptrisiko hierbei besteht in der Rekrutierung und/oder Schulung einer relativ großen Anzahl von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern mit Fähigkeiten im digitalen und genomischen Bereich, was sich widerspiegelt in dem beträchtlichen Anteil der Personalkosten, die ausdrücklich diesen Bereichen zugeordnet werden. Da Spezialistinnen und Spezialisten insbesondere aus dem IT-Bereich, aber auch aus diversen Feldern der Sammlungspflege von Organismenproben rar sind, wird es nicht einfach sein, Personal in ausreichender Anzahl zu finden. Die an DCOLL beteiligten Institutionen sollten daher ernsthafte Überlegungen über die Zusammenarbeit mit Organisationen wie Universitäten und Technologieunternehmen anstellen, um eine derart große Anzahl an Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern anwerben, schulen und unterstützen zu können.

Die geplante FIS wird eine wesentliche Verschiebung im Kompetenzspektrum der beteiligten Institutionen erfordern, mit signifikanten Kapazitätsverbesserungen im Bereich der digitalen und genomischen Technologien. Gleichzeitig müssen die grundsätzlichen Kompetenzen im Bereich der Sammlungspflege und der Systematik auf den neuesten Stand gebracht werden. Zu dieser Vision passen die umfassenden Pläne für Schulungen und Rekrutierungen innerhalb des gesamten FIS-Netzwerks und die Einrichtung einer Schulungsstätte zum Austausch über *best practice* mit allen Institutionen und zur Schaffung eines Exzellenzzentrums im Bereich der modernen Sammlungspflege. Das geplante Schulungszentrum verfügt über das Potenzial, die internationale Bekanntheit zu erhöhen und wird einen spürbaren Einfluss auf den Forschungsbereich an sich sowie die wissenschaftlichen Arbeitsergebnisse der FIS im Besonderen haben. Das Konzept für eine derartige *school of collections* ist ausgezeichnet, aber die traditionelle Trennung zwischen Kuratorinnen bzw. Kuratoren auf der einen Seite und Wissenschaftlerinnen bzw. Wissenschaftlern auf der anderen

könnte sich in Zukunft ändern. Von großem Vorteil wäre, wenn die jeweiligen Personen in beiden Feldern tätig wären. Dementsprechend könnte das Schulungskonzept vielleicht nicht nur den physischen Umgang und die Klassifizierung der Proben umfassen - wobei es sich dabei um sehr wertvolle und wichtige Fähigkeiten handelt, die allgemein rückläufig sind - sondern auch Bereiche wie die chemische/physikalische Analyse, Taxonomie, Evolution, Biogeographie sowie die allgemeine wissenschaftliche Methodologie, Statistik, das wissenschaftliche Schreiben etc. beinhalten. Das Konzept gibt an, dass die Schulungen und Rekrutierungen in Kooperation mit Universitäten und Technischen Hochschulen durchgeführt werden sollen. Letztere verfügen wahrscheinlich über einen größeren Pool an potenziellen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, und bieten auch zusätzliche Karrierechancen. Es ist wichtig, dass die neue FIS nicht in eine Nullsummenkonkurrenz mit Universitäten und Industriegruppen tritt, was die Rekrutierung von neuen Talenten betrifft. Somit könnte es sinnvoll sein, das Konzept der *school of collections* auf diese Bereiche auszudehnen.

II.5.d Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

Beschreibung

Wie die Konzeptverantwortlichen darlegen, wird DCOLL Deutschland mittel- und langfristig einen wichtigen Beitrag zu folgenden wissenschaftspolitischen Themenbereichen und Agenden leisten:

- _ Bioökonomie: Die Mobilisierung und Vervielfachung von Daten und Wissen zu Naturobjekten und -phänomenen wird die Forschung zur nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen besonders im biologischen und geologischen Bereich beflügeln.
- _ Digitale Agenda der Bundesregierung: Im Rahmen der Sammlungsdigitalisierung bietet DCOLL eine wichtige Plattform zur Weiterentwicklung hochauflösender Scanverfahren und -techniken, wie auch für die Analyse, den Umgang und die offene Verfügbarmachung digitaler Daten und Medien für weitere Nutzer und die breite Öffentlichkeit.
- _ Internationalisierung: DCOLL bietet Potenzial für die gezielte Anbahnung und Unterstützung bi- und multilateraler Forschungskooperationen mit fast allen Ländern und Regionen der Erde.

Im Konzept wird betont, dass DCOLL für den Wissenschaftsstandort Deutschland erhebliches Potenzial bietet und dazu beitragen wird, Deutschland eine führende Stellung in der natur- und gesellschaftswissenschaftlichen Forschung zu den natürlichen Lebensgrundlagen unseres Planeten zu sichern. Des Weiteren könnte Deutschland durch DCOLL die Federführung bei der Erschließung und Bereitstellung der FIS ‚Naturkundliche Sammlungen‘ auf europäischer Ebene übernehmen. Laut Konzept stellen die momentan sehr zerstreuten und

divergenten Organisationsformen wissenschaftlicher Sammlungen Deutschlands eine strukturelle Schwäche dar. Durch eine koordinierende Infrastruktur sollen diese Schwächen angegangen werden. Die durch DCOLL geleistete Bereitstellung digitaler Daten und Informationen wird den Bekanntheitsgrad, die Sichtbarkeit und das Nutzungspotential deutscher naturwissenschaftlicher Sammlungen erhöhen. Der nationale und internationale Nachwuchs wird durch DCOLL bessere Bedingungen für Ausbildung, Forschung und Karriere auf allen Feldern der Geowissenschaften und Biodiversitätsforschung erhalten. Bestehende Verbindungen zu Universitäten sollen durch DCOLL weiter entwickelt und vertieft werden. Indem DCOLL einen beschleunigten, offenen, virtuellen Zugang zu den in den naturkundlichen Forschungssammlungen enthaltenen Belegen und Proben sowie deren Metadaten, Bildern und Messgrößen ermöglicht, wird es auch zu einem verbesserten Wissens- und Technologietransfer beitragen. Die meisten DCOLL-Mitglieder werden zukünftig stärker denn je als Brücke zwischen Wissenschaft und Gesellschaft fungieren. Durch den Betrieb von Botanischen Gärten, Ausstellungen, Schülerlaboren, Citizen Science-Formaten und ähnlichem leisten sie einen Beitrag zum Wissenstransfer, zur wissenschaftlichen Kommunikation, zur öffentlichen Bildung und zum Bürgerdialog.

Bewertung

Angesichts der großen Bedeutung und des enormen Werts der Sammlungen der an DCOLL beteiligten Institutionen besteht kein Zweifel daran, dass das geplante Netzwerk und vor allem die geplante Digitalisierung der Probensammlungen die Bekanntheit der deutschen wissenschaftlichen Institutionen in Europa und weltweit bedeutend steigern wird. Die geplante FIS wird einen tiefgreifenden Einfluss auf die deutsche Forschungslandschaft und deren internationale Sichtbarkeit und Wettbewerbsfähigkeit haben, wobei die deutsche Forschung im Bereich der Naturwissenschaften bereits seit langem international eine herausragende Rolle spielt. Die deutschen Institutionen beherbergen einige der weltweit wichtigsten naturwissenschaftlichen Sammlungen. Diese Sammlungen sind aber über eine Reihe von verschiedenen Institutionen verstreut und gegenwärtig nur recht schwer zugänglich. Dies beeinträchtigt die internationale Bekanntheit und die wissenschaftliche Nutzung der deutschen Sammlungen auf negative Weise. Außerdem sind nur geringe Investitionen in die physische Pflege der Sammlungen oder die Nutzung von digitalen und genomischen Technologien geflossen, um die Sammlungen für die moderne Wissenschaft verfügbar zu machen. Im Gegensatz dazu haben einige andere Länder große Beträge in naturwissenschaftliche Sammlungen investiert und entweder Zentralsammlungen oder Sammlungsnetzwerke eingerichtet, die durch eine Probendigitalisierung in großem Umfang ergänzt wurden. Die geplante FIS wird diese Situation umkehren, moderne Lagerungs- und Analysean-

lagen schaffen, eine koordinierte nationale Infrastruktur zur Verfügung stellen und Deutschland zu einer weltweit führenden Position verhelfen.

DCOLL wird auch einen bedeutenden Betrag zu europäischen und globalen wissenschaftlichen Infrastrukturen leisten und die internationale Bekanntheit der europäischen naturwissenschaftlichen Forschung in diesem Bereich stärken. Die deutschen Sammlungen gehören zu den umfangreichsten und wichtigsten in Europa und der Welt, wobei jedoch momentan nur ein kleiner Anteil der Materialien digital verfügbar ist. Die konzipierte FIS wird zur Digitalisierung eines großen Anteils der Sammlungen führen, die nationale und internationale Kooperation intensivieren und einen informationstechnologischen Rahmen schaffen, der potenziell auf die breitere europäische Umgebung ausgedehnt werden kann.

DCOLL wird offen für weitere Mitglieder und kleinere Sammlungen sein. Dadurch können die Bekanntheit und der Einfluss der FIS noch weiter ausgebaut werden.

Die Infrastruktur ist von wesentlicher strategischer Bedeutung für die Stärkung der Rolle Deutschlands als führende Nation in Feldern, die von der Biodiversität bis zur Geologie reichen. Die wissenschaftlichen Kerndisziplinen der Taxonomie, Systematik und Mineralogie würden neu gestaltet werden, indem ein koordinierter, digitaler Zugang zu den deutschen naturwissenschaftlichen Sammlungen ermöglicht wird und eine Verknüpfung dieser Sammlungen mit anderen Quellen für Umweltdaten erfolgt.

Die erwartete Steigerung der Sichtbarkeit und die Verbesserung der Bedingungen für die Geo-Biodiversitätsforschung, die durch DCOLL ermöglicht werden, führen dazu, dass die deutschen Forschungssammlungen und die dazugehörigen deutschen Forschungsinstitutionen attraktiver für Forschungsaufenthalte werden. Mit großer Wahrscheinlichkeit werden dadurch die Chancen von DCOLL-Partnern erhöht, an internationalen Konsortien und Projekten teilzunehmen, wie z. B. an denjenigen, die von der EU, der *National Science Foundation* (NSF) und anderen großen Forschungsfördereinrichtungen in anderen Ländern finanziert werden. Die FIS wird eine integrierte Plattform zum Studium der Erde und deren Umgebung schaffen, mit einem Netzwerk an kooperierenden Institutionen, Anlagen und unterstützender Expertise. In Anbetracht des Umfangs und der Bedeutung der deutschen Sammlungen wird Deutschland durch diese FIS auf die höchste Ebene gehoben, was die internationale Wettbewerbsfähigkeit betrifft; und mit Sicherheit auch an die vorderste Front der europäischen Forschungsinfrastrukturen und Wissenschaft. Somit verfügt diese einzigartige Initiative über das Potenzial, einen internationalen Standard zu setzen.

Insbesondere durch die Fokussierung auf die digitalen und genomischen Technologien wird DCOLL Studentinnen und Studenten sowie Wissenschaftlerin-

nen und Wissenschaftler aus aller Welt anziehen. Damit bietet die FIS eine hervorragende Möglichkeit auch zur Ausbildung der nächsten Generation von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern mit sammlungsbasiertem Forschungsschwerpunkt. Dadurch werden wiederum Chancen geschaffen für die nächste Generation von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern und Arbeitsplätze in den Bereichen der Sammlungspflege, des IT-Managements im Zusammenhang mit Sammlungen sowie in den entsprechenden Gebieten des Umweltschutzes.

Der gesellschaftliche und wissenschaftliche Einfluss der FIS wird vermutlich extrem hoch sein, was teils auf die breite Nutzung der Sammlungen und teils auf das ausgeprägte öffentliche Profil der Institutionen zurückzuführen ist. Den Konzeptverantwortlichen ist dieser bedeutende Aspekt bewusst. Dementsprechend haben sie angemessene Maßnahmen zum Wissens- und Technologietransfer sowie dessen Dokumentation, zur verbesserten Repräsentation von Sammlungsgegenständen durch Digitalisierung und zur Verbesserung der Kommunikation ergriffen. Naturwissenschaftliche Sammlungen werden bereits jetzt in hohem Maße in der Bildungs- und Öffentlichkeitsarbeit genutzt. Daher ist es wahrscheinlich, dass die Digitalisierung zu einer weiteren Stimulierung von Innovationen führt, insbesondere im Bereich der *citizen science*. Die Sammlungen sind zudem im kulturellen Sektor überaus anerkannt, und es ist wahrscheinlich, dass die von der FIS erzeugten Ressourcen die Grundlage für ein wissenschaftlich geprägtes und öffentliches Engagement in diesem Bereich schaffen. Da DCOLL transparente Open-Source-Plattformen für den Umgang und die Analyse von Proben in größtmöglichem Umfang schaffen wird, ist es naheliegend für andere Organisationen, dem Beispiel zu folgen und dafür zu sorgen, dass Wissenschaft und Gesellschaft von jenen Sammlungen ebenfalls profitieren können. Auch das Zugehen auf Bürgerinnen und Bürger und die Industrie kann in dieser Hinsicht von großem Nutzen sein, wenngleich dies eine schwierigere Aufgabe darstellen könnte, als Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu erreichen. Das Konzept enthält eine kurze Zusammenstellung, wie Interaktionen ermöglicht werden könnten, z. B. über offene Portale, *citizen science* und soziale Medien. Ebenso wird auf potenzielle kommerzielle Partnerschaften hingewiesen. Diese Pläne für eine kommerzielle Nutzung der Daten und die Einbindung der Öffentlichkeit in DCOLL über *citizen science* sollten weiterentwickelt werden, wobei dies vermutlich erst in einer späteren Phase der DCOLL-Implementierung wichtig wird.

Research infrastructure landscape			
Name	Brief description and internet link	Time frame	Location/ participants
Existing and planned research infrastructures			
ALA – Atlas of Living Australia (complementary)	ALA is a web portal with information about species in Australia (pictures, species occurrence records, taxonomic information, literature, DNA sequences). It brings together field records, observational data and collection data. ALA contains 55.6 million occurrence datasets from animal species for more than 12,000 users (as of December 2015). http://www.ala.org.au/ , last accessed 10 August 2016	Since 2010	AU
AmphibiaWeb (complementary)	AmphibiaWeb is an information system on extant amphibian species of the world with focus on geographical distribution, ecology and taxonomy as well as conservation status. AmphibiaWeb contains 7,571 species. It has 3,145 species accounts for 2,495 species, 6,819 literature references, 675 sound files, 120 video files, and 33,562 photos of 4,217 different amphibian species (as of 7 October 2016). http://amphibiaweb.org/ , last accessed 7 October 2016	Launched in 2000	Management: US; global partners from AU, CU, MG, Pacific Region, ES
AnaEE – Infrastructure for the Analysis and Experimentation on Ecosystems (complementary)	AnaEE is a research infrastructure for experimental manipulation of managed and unmanaged terrestrial and aquatic ecosystems. AnaEE is a project on the ESFRI Roadmap 2016. http://www.anaee.com/ , last accessed 7 October 2016	Implementation from 2018 onwards	Project coordination: FR; further consortium members: UK, NO, DK, TR, IT, CZ, BE, FI, SE, IL, EE
ARIADNE – Advanced Research Infrastructure for Archaeological Datasets Networking in Europe (complementary)	ARIADNE sits within DARIAH (Digital Research Infrastructure for the Arts and Humanities) as a digital infrastructure focussed on the archaeological and heritage sector. The network aims to bring together and integrate the existing archaeological research data infrastructures so that researchers can use the various distributed datasets. http://www.ariadne-infrastructure.eu/ , last accessed 7 October 2016	Project start 2013; run-time 48 months	Coordination: IT; further consortium members: UK, NL, DE, GR, AT, IE, SE, ES, SI, HU, CY, CZ, BG, RO, FR
BFB – Barcoding Fauna Bavarica (complementary)	BFB aims at generating a DNA barcode for each animal species in Bavaria, Germany. After 5 years, BFB contains more than 30,000 DNA barcodes from more than 10,000 Bavarian animal species. In total, nearly 200,000 samples have been delivered to the International Barcode of Life (iBOL). http://www.faanabavarica.de/ , last accessed 11 October 2016	Since 2009	Munich, DE
BHL – Biodiversity Heritage Library (complementary)	BHL is a digitalisation programme and data portal which provides digitalized, mainly older, freely available biodiversity literature. The por-	Portal launch in 2007	Administration: US; further members

	tal allows users to search for and download selected publications. It contains 109,955 titles, 185,835 volumes and 49,860,840 pages (as of August 2016). http://biodiversitylibrary.org/, last accessed 3 August 2016		from: MX, AU, SG, UK
BHL Europe – Biodiversity Heritage Library for Europe (complementary)	BHL Europe is a web database, originating from an EU project on digitalization of biodiversity literature, and is the local project of the Biodiversity Heritage Library (BHL). In February 2011, it contained close to 33 million pages from about 88,000 books. http://www.bhl-europe.eu/, last accessed 11 October 2016	Project duration: 2009 to 2012	Project coordination: DE; in all, 26 European and 2 US institutions
BiNHum – Biodiversity Network of the Humboldt-Ring (complementary)	BiNHUM was a joint project of the several natural history museums in Germany for object-related collection digitalisation and (further) development of data standards. The project resulted in a portal that provides access to the collections of six natural history museums in Germany. The portal contains approx. 1.9 million searchable collection items (as of October 2016). Main page: http://www.binhum.net/, last accessed 11 October 2016	Project duration 2012 to 2015	DE
BioCAsE – Biological Collection Access Service (complementary)	BioCAsE is a transnational network of primary biodiversity repositories. It links together specimen data from natural history collections, botanical/zoological gardens and research institutions worldwide with information from huge observation databases. It provides data standards and software for collection-based biodiversity data for numerous projects and networks. http://www.biocase.org/, last accessed 11 October 2016	Construction of the network from 2001 to 2004	Coordination: DE; established by partners from 31 countries
Biodiversity Exploratories (complementary)	The Biodiversity Exploratories serve as open research platform for all biodiversity and ecosystem research groups of Germany. Study objectives are the understanding of the relationship between biodiversity of different taxa and levels, the role of land use and management for biodiversity, and the role of biodiversity for ecosystem processes. http://www.biodiversity-exploratories.de, last accessed 7 September 2016 Data platform BExIS (Biodiversity Exploratories Information System): https://www.bexis.uni-jena.de/Login/Account.aspx, last accessed 11 October 2016	Start of first phase: 2006	DE
Bio^m (complementary)	Bio^m is a networking agency for the biotechnology sector, mainly in Bavaria, Germany. It supports biotechnology companies and start-ups by offering consulting, events etc. http://www.bio-m.org, last accessed 18 August 2016	Since 1997	Martinsried, DE
Canadian Museum of Nature – Collections online (complementary)	Canadian Museum of Nature – Collections online is a web portal giving access to collection objects and metadata. The database provides access to data for more than 700,000 specimens.	Launched in 2014	Ottawa, CA

	http://collections.nature.ca/en/Search , last accessed 12 October 2016		
ChemSpider (complementary)	ChemSpider is a free database, owned by the Royal Society of Chemistry, providing fast text and structure search access to chemical structures. It contains over 57 million chemical structures with further information from 532 data sources. http://www.chemspider.com/ , last accessed 12 October 2016	Released in 2008	UK
CoL – Catalogue of Life (complementary)	CoL is a global index of the world's species, consisting of a single integrated species checklist and taxonomic hierarchy. The Catalogue holds essential information on the names, relationships and distributions of over 1.6 million species. CoL is led by Species 2000, an autonomous federation of taxonomic database custodians, working in partnership with the Integrated Taxonomic Information System (ITIS), a partnership of federal agencies and other organisations from the United States, Canada, and Mexico, with data stewards and experts from around the world. http://www.catalogueoflife.org/ , last accessed 12 October 2016	Start of the project in 2001	Species 2000; ITIS
CONABIO – National Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity (complementary)	The web databases of CONABIO contain information about the biodiversity and biological resources of Mexico. CONABIO operates the National Information System on Biodiversity (SNIB), which, by 2012, contained 761 digitised projects with 811 databases and a “Repatriation Programme” for more than 5 million collection specimens (2012). http://www.conabio.gob.mx/ , last accessed 14 October 2016	Since 1992	Mexico City, MX
DARIAH – Digital Research Infrastructure for the Arts and Humanities (complementary)	DARIAH is a pan-European infrastructure for arts and humanities scholars working with computational methods. It supports digital research as well as the teaching of digital research methods. DARIAH-EU entered the ESFRI Roadmap in 2006 and is currently an ESFRI-Landmark on the Roadmap 2016. DARIAH-EU: http://dariah.eu/ , last accessed 14 October 2016 German regional partner DARIAH-DE: https://de.dariah.eu/ , last accessed 14 October 2016	Operation start in 2019	Coordination: FR; further members: AT, BE, CY, DE, DK, EL, HR, IE, IT, LU, MT, NL, RS, PL, PT, SI
DataONE – Data Observation Network for Earth (complementary)	DataONE is an IT infrastructure and portal for the storage, preservation and the provision of access of scientific data and metadata for environmental research. Through its member nodes, DataONE contains 121,911 datasets, 225,007 metadata, 401,736 data objects and 1,043,205 individual objects in total (as of summer 2016). https://www.dataone.org/ , last accessed 14 October 2016	Since 2009	Coordination: US; member nodes worldwide

DBpedia German (complementary)	DBpedia German provides and extracts structured information from the German Wikipedia. It is part of the international DBpedia project. DBpedia German describes in total about 3 billion individual data (Version 2014). http://de.dbpedia.org/ , last accessed 14 October 2016	Not specified	DE
de.NBI – German Network for Bioinformatics Infrastructure (complementary)	De.NBI is a national infrastructure providing comprehensive, high-quality bioinformatics services to users in life sciences research and biomedicine. The partners organize training events, courses and summer schools on tools, standards and compute services provided by de.NBI to assist researchers to more effectively exploit their data. https://www.denbi.de/ , last accessed 14 October 2016	Since 2015	DE
digiCULT (complementary)	digiCULT is a web portal for museum collections in Schleswig-Holstein, Hamburg, Thuringia and Saarland, encompassing collections from history of art and cultural history as well as Natural History collections, archaeological findings and items from the history of medicine and technology. https://www.digicult-verbund.de/ , last accessed 18 August 2016	Project start in 2003	Kiel, DE
Digimorph – Digital Morphology (complementary)	Digimorph is an online repository for CT and morphological data (pictures, films) from extant and fossil animal species. It contains data of more than 1,000 specimens/objects, based on the contributions of almost 300 participating scientists. http://digimorph.org/ , last accessed 14 October 2016	Not specified	US; contributors worldwide
Dryad – The Dryad Digital Repository (complementary)	Dryad is a curated resource that makes the data underlying scientific publications discoverable, freely reusable, and citable. It provides a general-purpose home for a wide diversity of datatypes. It contains more than 10,000 data packages (Annual Report 2015). http://datadryad.org/ , last accessed 14 October 2016	Found in 2009	Durham, US
Edaphobase – GBIF Database on Soil Zoology (complementary)	The soil-zoological information System Edaphobase is a taxonomic-ecological database system, which combines existing taxonomical primary data on soil organisms from collections, scientific literature and reports etc. originating from many research institutes and persons involved in soil zoology. The database system is part of the GBIF data systems. Edaphobase contains approx. 325,000 datasets from 25,000 localities (as of December 2015). http://www.senckenberg.de/root/index.php?page_id=11082 , last accessed 14 October 2016	Project start 2009	DE
EDIT Platform for Cybertaxonomy (complementary)	The EDIT Platform for Cybertaxonomy is a collection of open source tools and services which together cover all aspects of the taxonomic workflow, from taxonomic editing to (online) publishing.	Not specified	DE

	http://cybertaxonomy.eu/ , last accessed 14 October 2016		
ELIXIR – A distributed infrastructure for life-science information (complementary)	ELIXIR is a distributed data infrastructure for the Life Sciences, in particular for molecular and genetic data. ELIXIR entered the ESFRI Roadmap in 2006 and is a ESFRI-Landmark on the Roadmap 2016. https://www.elixir-europe.org/, last accessed 16 August 2016	Start of operations in 2014	Members: EMBL, UK, SE, CH, CZ, EE, NO, NL, DK, IL, PT, FI, BE, IT, SI, LU, IE and 2 provisional members: ES, FR
EMBL-EBI – The European Molecular Biology Laboratory - The Bioinformatics Institute (complementary)	EMBL-EBI is a global hub for big data in biology. It promotes scientific progress by providing freely available data to the life-science research community, and by conducting exceptional research in computational biology. EBI is part of EMBL, an international non-profit organisation with 21 member states and 2 partners. http://www.ebi.ac.uk/, last accessed 14 October 2016 http://www.ebi.ac.uk/sites/ebi.ac.uk/files/groups/external_relations/Documents/EMBL_EBI_Overview_LowRez.pdf, last accessed 20 October 2016	Established in 1994	Hinxton, UK
EMBRC – European Marine Biodiversity Resource Centre (complementary)	EMBRC is a planned European distributed research infrastructure for marine research, with focus on marine research stations and analytical laboratories. EMBRC entered the ESFRI Roadmap in 2010 and is currently an ESFRI project on the Roadmap 2016. http://www.embrc.eu/, last accessed 16 August 2016	Start of operation envisioned for 2016	Coordination: FR; further participants: BE, GR, IL, IT, NO, PT, ES, UK
EMSO – The European Multidisciplinary Seafloor and water-column Observatory (complementary)	EMSO is a large scale, distributed, marine Research Infrastructure. It consists of ocean observation systems for long-term, high-resolution, (near) real-time monitoring of environmental processes including natural hazards, climate change, and marine ecosystems. EMSO entered the ESFRI Roadmap in 2006 and is an ESFRI-Landmark on the Roadmap 2016. http://www.emso-eu.org/, last accessed 14 October 2016	Not specified	IT, FR, IE, ES, GR, UK, PT, RO
EOL – Encyclopedia of Life (complementary)	EOL is a free, online collaborative encyclopaedia intended to document all of the 1.9 million living species known to science. EOL contains 1,341,098 EOL pages with information (as of October 2016). http://eol.org/, last accessed 14 October 2016	Website went life in 2008	Coordination: US; partners worldwide
EoS – Erschließung objektreicher Spezialsammlungen (complementary)	EoS is a project for mass digitalization, visualisation and long-term archiving of entomological collections and Natural History collections at the Museum für Naturkunde Berlin (MfN). As part of the project 10,000 insect drawers and 10,000 selected insects are digitalized. http://eos.naturkundemuseum-berlin.de/, last accessed 14 October 2016	Project completed: 2012 to 2015	Berlin, DE

e-ReColNat	e-ReColNat is a digital platform for the environment and society which intends to make accessible French natural history collections from 350 years. https://recolnat.org/ , last accessed 20 October 2016	Project start in 2013	FR
EU BON - European Biodiversity Observation Network (complementary)	EU BON follows an integrated approach to aggregate biodiversity data. A new open access web platform will provide the aggregated biodiversity and Earth observation data. http://eubon.eu/ , last accessed 17 August 2016 Data portal (beta version): http://beta.eubon.ebd.csic.es/home , last accessed 18 October 2016	Project duration: December 2012 to May 2017	Project coordination: DE; further partners: EE, FI, DK, UK, ES, FR, BG, PH, GR, BE, CH, IL, BR, SE, SK, NO, IT
Euro+Med PlantBase (complementary)	Euro+Med PlantBase is an online registry and taxonomic reference list of all plant species in Europe and the Mediterranean region. It is part of the Pan-European Species directories Infrastructure (PESI). Euro+Med PlantBase provides access to 194 plant families (approx. 95% of European Vascular plants) (as of May 2016). http://ww2.bgbm.org/EuroPlusMed/query.asp , last accessed 14 October 2016	Not specified	Management: DE; Institutions in UK, ES, IT, DE, CH, SK, BG, FI, GR
Europeana Collections (complementary)	Europeana is a web database/virtual library for cultural heritage and science, i.e. cultural and scientific objects from prehistory and protohistory up to the present, such as picture, texts, sound and video files. Europeana contains 53,606,838 objects/entities (works of art, items, books, videos, sound files; as of October 2016). http://www.europeana.eu/portal/en , last accessed 14 October 2016	Europeana version 1.0 launched in 2009	More than 2,000 contributing European institutions (Museums and local Archives)
Fauna Europaea (complementary)	Fauna Europaea is a European project with information on extant European animal species, with focus on terrestrial and limnic habitats. A web portal provides taxonomic data, scientific names, information on geographic distribution, data on taxonomic experts and literature. The technological basis is the EDIT Platform for Cybertaxonomy. Fauna Europaea is part of the Pan-European Species directories Infrastructure (PESI). It contains 235,708 taxonomic names (180,712 accepted taxonomic designations), including 132,097 accepted species names. http://www.fauna-eu.org/ , last accessed 14 October 2016	Project start in 2000; Fauna Europaea Version 1.0 in 2004	Host: DE; network of national partner institutes throughout Europe
FishBase (complementary)	FishBase is an online database with multiple information on the extant fish species of the world, their ecology, morphology, physiology, and taxonomy, as well as information about their use and conservation status. FishBase contains information on more than 33,200 species, 306,300 common names and 56,500 pictures (as of December 2015). http://www.fishbase.org/ , last accessed 14 October 2016	Not specified (web launch in 1996)	Coordination: DE; international consortium

Flora von Bayern (complementary)	Flora von Bayern is a long-term initiative for the floristic mapping and description of the vascular plants of Bavaria, Germany. It contains checklists and Red Lists of plants in Bavaria (approx. 12,500 names, as of April 2015), about 2,500 species descriptions, data about the distribution collected by AG Flora von Bayern and the Bayerischen Landesamt für Umwelt (approx. 7 million). http://www.bayernflora.de/ , last accessed 18 August 2016	Initiative Flora of Bavaria exists for more than 100 years; AG Flora von Bayern since 2011	DE
FloraWeb – Daten und Informationen zu Wildpflanzen und zur Vegetation Deutschlands (complementary)	FloraWeb is an online platform of the German Federal Agency for Nature Conservation (BfN) providing information about wild plant species, plant communities and Germany's natural vegetation. It contains about 3,500 species descriptions with up to 55 specific details concerning taxonomy, systematics, biology, ecology, natural habitat, distribution and conservation status as well as pictures, vegetation maps and information about the plant communities. http://www.floraweb.de/ , last accessed 14 October 2016	Since 2007	Bonn, DE
Freshwater Information Platform (complementary)	The Freshwater Information Platform is an online information platform for limnological data and metadata. It is a web portal with biodiversity data, a Global Freshwater Biodiversity Atlas, data to the geographical distribution of animal species etc. It contains various data and metadata, e.g. Freshwater Biodiversity Data Portal 91,774 species, 16,047,940 data to geographical distribution (georeferenced 13,156,607). http://www.freshwaterplatform.eu/ , last accessed 14 October 2016	Since 2015	DE, AT, BE
GBIF – Global Biodiversity Information Facility (complementary)	GBIF and the GBIF portal make biological data and information on biodiversity digitally available via the Internet using web services. It provides access to more than 630 million datasets of more than 1.6 million animal species. The 29,286 data sets are provided by 822 data publishers. http://www.gbif.org/ , last accessed 14 October 2016	Since 2001	Copenhagen, DK; in all 37 voting participants, 17 associate country participants, 39 other associate participants
GBIF-D – Global Biodiversity Information Facility Germany (complementary)	The main objective of GBIF-D is the focussed collection and mobilisation of suitable data within Germany's research community and natural history collections as well as the available observation data to fulfil the aims of GBIF's MoU. GBIF-D is a founding member of GBIF. http://www.gbif.de/ , last accessed 14 October 2016	GBIF member since 2001	DE
GBOL – German Barcode of Life (complementary)	GBOL provides an inventory and genetic characterisation of animals, plants and fungi from Germany by means of DNA barcoding. The GBOL project strives to record the diversity of German animal, fungus and plant species based on their DNA Barcodes (genetic finger-	First phase from 2012	DE

	prints). https://www.bolgermany.de/ , last accessed 18 August 2016		
GenBank (complementary)	GenBank is an international, open access database of publicly available nucleotide sequences. Approx. 194.4 million sequences containing approx. 2 13.2 million bases are available (as of June 2016). GenBank is part of the International Nucleotide Sequence Database Collaboration. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/ , last accessed 8 August 2016	Since 1982	US
GEO / GEOSS – Group on Earth Observation / Global Earth Observation System of Systems (complementary)	GEO and the online portal GEOSS provide free access to global and regional remote sensing data and insitu data on the fields of agriculture, biodiversity, ecosystems, climate, catastrophic events, energy, health, water and weather. It contains 7 million aggregated data (i.e. a mix of data collections, datasets and individual pictures, of which around 1.2 million are available in GEOSS Data Core). GEO: http://www.earthobservations.org/ , last accessed 8 August 2016 and GEOSS Portal: http://www.geoportal.org/web/guest/geo_home_stp , last accessed 14 October 2016	Since 2005 (GEO)	102 nations and the European Commission; 103 participating organisations
GFBio – German Federation for Biological Data (complementary)	GFBio is a sustainable, service oriented, national data infrastructure facilitating data sharing for biological and environmental research. http://www.gfbio.org/ , last accessed 14 October 2016	Project duration 2013 to 2015	DE
GGBN – Global Genome Biodiversity Network (complementary)	GGBN is an international network of institutions that share an interest in long-term preservation of genomic samples representing the diversity of non-human life on Earth. GGBN provides a platform for biodiversity biobanks from across the world to. One of GGBN's founders is the DNA Bank Network, which linked all DNA bank databases of its partners and made them accessible via a central web portal. The DNA Bank Network is fully merged with GGBN. GGBN contains 125,483 DNA samples and 252,074 tissue samples from 32,193 species out of 2,194 families (as of August 2016). http://www.ggbn.org/ , last accessed 14 October 2016	Formed in 2011	Secretariat: Washington, D.C., US; 41 member institutions from 20 countries
GRBio – Global Registry of Biodiversity Repositories (complementary)	GRBio is an online registry and metadata database for biological collections and repositories worldwide. It contains 7,003 Biorepository Records and 690 Institutional Collection Records (as of August 2016). http://grbio.org/ , last accessed 8 August 2016	Not specified	Merger of: Index Herbariorum, Biodiversity Collection Index and Biorepositories.org; contributors worldwide

iBOL - International Barcode of Life (complementary)	iBOL is an international initiative dedicated to gather and provide DNA Barcodes of all organisms. Its main mission is extending the geographic and taxonomic coverage of the barcode reference library – Barcode of Life Data Systems (BOLD) – storing the resulting barcode records, providing community access to the knowledge they represent and creating new devices to ensure global access to this information. BOLD contains 5,191,084 DNA barcodes and 259,811 species (as of October 2106). iBOL: http://ibol.org/, last accessed 17 October 2016 and BOLD: http://www.boldsystems.org/, last accessed 17 October 2016	iBOL: since 2010	Scientific Hub: Guelph, CA; nodes in 28 countries
IDES - Integrated data management for mobilisation and digitalisation of zoological and palaeontological collections (complementary)	The project IDES aims to set up a high performing information infrastructure which will be commonly used by four research collections belonging to the Staatliche Naturwissenschaftliche Sammlungen Bayerns (SNSB). IDES will mobilise and digitalise the data and metadata of Actinopterygii from Europe and adjacent seas, starting from the Mesozoic era (Trias) until collections of extant fishes. At the end of the project, the data for more than 50,000 objects with 10,000 images will be accessible via the relational database system Diversity Workbench (DWB). http://ides.snsb.info/wiki/, last accessed 18 October 2016	Project start in 2012	DE
iDigBio - Integrated Digitized Biocollections (complementary)	iDigBio is a web portal for digital data and pictures of extant and paleontological species, mainly from natural history collections in the USA. It operates as a coordination centre for the digitalisation of biodiversity data. iDigBio contains several million data and pictures of collection specimens. https://www.idigbio.org/, last accessed 17 October 2016	Since 2011	US
iDiv - German Centre for Integrative Biodiversity Research (complementary)	iDiv is a national research centre with the aim of capturing biodiversity in its complexity as well as providing and using scientific data on a global scale to generate strategies, solutions and utilization concepts suitable for policy makers. https://www.idiv.de, last accessed 19 August 2016 iDiv biodiversity data portal: https://idata.idiv.de/, last accessed 17 October 2016	Since 2012	DE
IESB - International Environmental Specimen Bank Group (complementary)	IESB promotes the world-wide development of techniques and strategies of environmental specimen banking. http://www.inter-esb.org/, last accessed 17 October 2016	Launched in 2008	Website coordination: DE; cooperation of specimen banks world-wide
iMicrobe - Building a Cyberinfrastructure	iMicrobe is a data portal for metagenomics and genomics with annotated metadata for	Project initiated in	US

ture for Microbes (complementary)	microbial datasets. Project data, -omics data, metadata, and other related data are provided. http://imicrobe.us/ , last accessed 17 October 2016	2013	
The Israeli National Natural History Collections (complementary)	The Israeli National Natural History Collections of Hebrew University of Jerusalem comprise the herbarium and various animal groups. The website provides information on the collections and their databases. It contains 61,235 zoological and 15,540 botanical entries. http://nnhc.huji.ac.il/ , last accessed 17 October 2016	First collections date back to the beginning of the 20 th century	Jerusalem, IL
The IUCN Red List of Threatened Species (complementary)	The IUCN (International Union for Conservation of Nature) Red List delivers information about the global conservation status of biological species. The specific data of each species are published via a web portal. More than 80,000 species have been assessed (as of 2016). http://www.iucnredlist.org/ , last accessed 17 October 2016	Since 1964	Red List Partnership of several organisations, e.g. IUCN, BirdLife International, Royal Botanic Gardens, Kew etc.
JSTOR Global Plants (complementary)	JSTOR Global Plants is a database with digitalized type specimens of plants and fungi. It is a platform for research and international cooperation in Botany. Global Plants was made possible by the Global Plants Initiative (GPI), an international undertaking by leading herbaria. The GPI seeks to digitise and make available plant type specimens and other holdings used by botanists every day. Partners of GPI include more than 300 institutions in more than 70 countries. https://plants.jstor.org/ , last accessed 17 October 2016	Not specified	JSTOR (US)
KultSam - Kulturhistorische Sammlungen als Wissensspeicher in Museen und Archiven (complementary)	The research infrastructure KultSam plans to digitally bring together different information originating from cultural and historical research museums, collections, archives and libraries. The purpose is the opening of the collections as knowledge repositories for interdisciplinary and transdisciplinary research by digitizing, making accessible and linking various collections. The concept of the infrastructure is currently in the planning phase.	Planning phase: 2016 to 2018; Operation start planned for 2029	DE
LIAS Light - A Database for Rapid Identification of Lichens (complementary)	LIAS light aims at optimizing online identification of lichens of the world by using an easily working interactive multi-access key which is based on a subset of 70 diagnostically relevant characters from the LIAS main set. LIAS light delivers data for the Species2000 initiative and acts as the Global Species Database for Lichens. http://liaslight.lias.net/ , last accessed 17 October 2016	Initiated in 2001	Editorial management: DE; further editors from, AU, RU, CH, US
LIAS Names - A Database with Names of Lichens, Lichenicolous Fungi	LIAS names is a global thesaurus of names and checklist of lichens, lichenicolous fungi and non-lichenized ascomycetes. LIAS names delivers data for the Species 2000 initiative and acts as the Global Species Data-	Initiated in 2003	Editorial management: DE; further contributors from AU, SE, UK,

and Non-Lichenized Ascomycetes (complementary)	base for Lichens. http://liasnames.lias.net/ , last accessed 17 October 2016		US
LifeWatch – E-Science European Infrastructure for Biodiversity and Ecosystem Research (complementary)	LifeWatch in an EU-wide distributed e-research infrastructure linking and analysing data from biodiversity and ecosystem research. LifeWatch entered the ESFRI Roadmap in 2006 and is currently an ESFRI-Landmark on the Roadmap 2016. http://www.lifewatch.eu/ , last accessed 18 October 2016	Operation start planned for 2016	Committed countries: BE, GR, IT, PT, RO, NL, ES; observer countries: FI, FR, HU, SK, SI, SE; stakeholder from NO
LOD2 – Creating Knowledge out of Interlinked Data (complementary)	LOD2 is an EU project about „Linked-Open Data” and research on new and innovating semantic data and web technologies. http://lod2.eu/ , last accessed 17 October 2016	Project duration: 2010 to 2014	Coordination: DE; in all 15 partners from 11 European Countries (and one associated partner from Korea)
LTER in Europe – Long-Term Ecosystem and Socio-Ecological Research in Europe (complementary)	LTER capitalizes on research infrastructures such as the <i>in-situ</i> network of sites and information technology. Thousands of research projects have been carried out taking advantage of this infrastructure. The increasing complexity of ecosystem research led to the networking and global organization of LTER. LTER in Europe comprises three components: _ LTER-Europe: The umbrella network for LTER in Europe and regional network of ILTER (International Long-Term Ecological Research) _ eLTER H2020: A cooperation project of the European LTER and critical zone research, developing network level Research Infrastructure services alongside exemplary research questions and analyses of data from 162 sites across Europe. _ eLTER ESFRI: The initiative to progress towards a formal eLTER ESFRI research infrastructure for multiple use by user groups such as the LTER and Critical Zone research community. eLTER was recognised as an emerging projects on the ESFRI Roadmap 2016. http://www.lter-europe.net/ , last accessed 21 October 2016	LTER-Europe launched in 2003 eLTER H2020: project duration 2015 to 2019	LTER-Europe network: national networks of 25 European countries (one, LT, inactive); eLTER H2020: coordination AT; 28 partners from 22 countries in all
Meteoritical Bulletin Database (complementary)	The Meteoritical Bulletin Database is a worldwide database of the International Society for Meteoritics and Planetary Science, listing all identified meteorites worldwide. It contains 54,926 valid meteorite names and 8,068 provisional names (as of October 2016). http://www.lpi.usra.edu/meteor/ , last accessed 17 October 2016	Not specified	The Meteoritical Society has members from over 40 countries
MIRRI – Microbial Resource Research Infrastructure (complementary)	MIRRI is a distributed European research infrastructure for research on microorganisms and the corresponding collection management. MIRRI entered the ESFRI Roadmap in 2010	Construction and operation envisioned for 2017	Coordination: DE; further partners: UK, NL, ES, FR, PL, PT, IT, BE,

	and is currently an ESFRI project on the Roadmap 2016. http://www.mirri.org , last accessed 18 August 2016		SE, SE, RU
Morphbank Biological Imaging (complementary)	MorphBank is an open web repository of biological images documenting specimen-based research in comparative anatomy, morphological phylogenetics etc. It holds more than 216,000 public images of more than 4500 different species. http://www.morphbank.net/ , last accessed 17 October 2016	Established in 1998	Host: US; international team of scientists, originally from SE, US and ES
Morph-D-Base (complementary)	Morph-D-Base is a web portal for the storage and free access to morphological datasets, pictures and other metadata. https://www.morphdbase.de/ , last accessed 19 August 2016	Since 2006	DE
MorphoBank (complementary)	MorphoBank is an online database for morphological data (e.g. phylogenetic matrices for phylogenetic analysis, pictures of morphological structures). There are 467 publicly accessible projects with 62,462 images and 317 matrices available (as of October 2016). http://www.morphobank.org/ , last accessed 17 October 2016	Development of version 1.0 started in 2001	US
NBC Naturalis – Netherlands Biodiversity Center Naturalis	NBC's scientific research aims to understand the development of biodiversity and the interaction between species. Its natural history collection is the 5th largest in the world with 37 million objects. http://www.naturalis.nl/en/ , last accessed 20 October 2016	Launched in 2010	Leiden, NL
PaleoBioDB – Paleobiology Database (complementary)	PaleoBioGb is a databank for paleontological data. Its purpose is to provide global, collection-based occurrence and taxonomic data for organisms of all geological ages, as well data services to allow easy access to data for independent development of analytical tools, visualization software, and applications of all types. It contains 1,309,186 data on occurrences and 345,609 taxa (as of August 2016). https://paleobiodb.org/ , last accessed 10 August 2016	Originated in the Phanerozoic Marine Paleofaunal Database initiative (1998 to 2000)	Hosted by University of Wisconsin-Madison, US; operated by an international group of researchers
Pangaea – Data Publisher for Earth & Environmental Science (complementary)	Pangaea is an IT infrastructure and web portal to store, archive and make accessible georeferenced datasets from Earth and environmental sciences. It contains more than 350,000 datasets based on approx. 10 billion individual measurements from 235 European and international projects (as of October 2016). https://www.pangaea.de/ , last accessed 17 October 2016	Not specified	DE
PESI – Pan-European Species directories Infrastructure (complementary)	PESI is an e-infrastructure for taxonomic information on species occurring in Europe. The portal integrates data from Fauna Europaea (terrestrial and limnic animals; see “Fauna Europaea”), the Euro+Med Plantbase (vascular plants from Europe and the Mediterranean region; see “Euro+Med Plantbase”), the Europe-	Portal launch v. 1.0 in 2011	Project management: NL; in all 40 partner organisations from 26 countries

	an Register of Marine Species (marine species) and the European part of Index Fungorum (Fungi). It contains almost 450,000 scientific names and 240,000 valid names of (sub)species. http://www.eu-nomen.eu/, last accessed 18 August 2016		
Phenoscape (complementary)	Phenoscape is a genomic database linked to phenotype data across various fields in Biology (e.g. Anatomy, Palaeontology, EvoDevo). It contains, through the Phenoscape Knowledgebase (KB), 20,969 genetic, developmental, morphological and evolutionary datasets; genes with at least one phenotype: more than 15,000 (zebrafish, mouse, man); gene expression profiles: more than 1.2 million (zebrafish, mouse, man) (as of July 2015). http://phenoscape.org/, last accessed 17 October 2016	Not specified	US
The Plant List (complementary)	The Plant List is a working list of all known plant species. It aims to be comprehensive for species of Vascular plants and of Bryophytes. It contains 1,064,035 scientific plant names of species rank; of these 350,699 are accepted species names (as of October 2016). http://www.theplantlist.org/, last accessed 17 October 2016	Since 2010	Consortium on US and UK institutions and other collaborators
PRELIDA – Preserving Linked Data (complementary)	The PRELIDA project targets the particular stakeholders of the Linked Data community, including data providers and end user communities to make the best use possible from the existing digital archiving opportunities. http://www.prelida.eu/, last accessed 17 October 2016	Project completed: January 2013 to December 2014	APA and institutions from IT, UK, AT
Reptile Database (complementary)	The Reptile Database provides a catalogue of all living reptile species, including data on their names and synonyms, distribution, taxonomy, morphology, ecology, and corresponding literature. It contains 10,391 species, 38,902 literature references, and 9,191 pictures (as of August 2016). http://www.reptile-database.org/, last accessed 10 August 2016	Founded in 1995	CZ
SiB Colombia – Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (complementary)	SiB is a network giving access to Colombian collection specimens. It gives access to more than 2.2 million Colombian collection specimens and almost 50,000 species. http://www.sibcolombia.net/web/sib/, last accessed 18 October 2016	Since 2000	CO
SILVA – High quality ribosomal RNA databases (complementary)	SILVA is an online database for quality checked and aligned ribosomal RNA sequence data. It contains more than 5,300,000 SSU/LSU sequences (as of July 2015). https://www.arb-silva.de/, last accessed 19 August 2016	Implementation of the SILVA system in 2007	DE
SpeciesLink (complementary)	SpeciesLink is a network giving access to Brazilian collection specimens. It contains almost 7.5 million Brazilian collection specimens.	Conception in 2001	BR

	http://splink.cria.org.br/ , last accessed 18 October 2016		
StrainInfo (complementary)	StrainInfo provides information about the use and research history of bacterial strains from different research centres. It contains information about the repositories of bacterial strains, changes observed in these bacterial strains and their nomenclature. It contains 696,914 strain numbers from 299,254 strains with 13,878,482 accession numbers (bacterial, archaeal and fungi strains) (as of December 2015). http://www.straininfo.net/ , last accessed 18 October 2016	First implementation of the web application in 2007	BE
UMAC Database – UMAC Worldwide Database of University Museums & Collections (complementary)	UMAC, the International Committee for University Museums and Collections, is one of the specialised committees of the International Council of Museums (ICOM). Its database is a global online directory and database of university museums and collections from various fields. It contains metadata from 1,288 collections, 1,359 Museums etc. (as of December 2015). http://publicus.culture.hu-berlin.de/umac/ , last accessed 18 October 2016	Development of the database started in 2003	Coordination: ICOM; international network with 312 members in 56 countries and regions
University Collections in Germany (complementary)	The information system University Collections in Germany documents collections at German universities encompassing collections from the Humanities as well as from Natural Sciences. It includes information about the history of the collections. It contains 1,149 collections, 2,620 material models, 5,096 publications (as of August 2016). http://www.universitaetssammlungen.de/ , last accessed 19 August 2016	Project start 2004	DE
UPB – Environmental Specimen Bank (complementary)	UPB is an archive for samples that can be used to document and assess the quality of the environment and the pollutant load in Germany. Specimens from representative ecosystems throughout Germany are collected at regular intervals. Besides specimens representing various levels of the food chain – such as algae, mussels, fish, herring gulls – human specimens (blood and urine) are also collected from student volunteers at four different sites. https://www.umweltprobenbank.de/de , last accessed 18 October 2016	Since 1994	DE
VH/de – German Virtual Herbarium (complementary)	VH/de is an online resource that provides access to information obtained from collections held in German herbaria using the BioCASE infrastructure (see “BioCASE”). http://vh.gbif.de/vh/index , last accessed 18 October 2016	Since 2015	DE
WISIA – Information System on International Species Conservation (complementary)	WISIA is a species conservation database from the German Federal Agency for Nature Conservation with information on the legal status of both animal and plant species under national or international protection. http://www.wisia.de/index.html , last accessed 18 October 2016	Since 2001	Bonn, DE

II.6.a Wissenschaftliches Potenzial

Beschreibung

Das Erdsystem beinhaltet eine Vielzahl von Komponenten und Prozessen in und zwischen den Erdsphären, die über hochkomplexe Interaktionen miteinander verbunden sind. Gegenwärtig sind etliche dieser Phänomene in ihrer Gesamtheit nicht ausreichend erforscht und verstanden. Tandem-L adressiert in diesem Zusammenhang ein breites Frage- und Themenspektrum:

- _ Biosphäre: Tandem-L wird Informationen über Umfang, Struktur und die räumliche Verteilung von Waldbiomasse sowie über entsprechende Trends und Wandelprozesse bereitstellen. Darüber hinaus wird der Einfluss von Wäldern auf das Klima und die Auswirkungen anthropogener Aktivitäten auf die Struktur und Stabilität von Wäldern beforscht.
- _ Geosphäre: Tandem-L soll wesentliche Beiträge zur Verbesserung von Vorhersagemodellen von Naturgefahren liefern, der Gefährdabschätzung von Erdbeben und bei Vulkanaktivitäten dienen, und insbesondere auch zum besseren Verständnis der Kopplung von Vulkanen mit ihrer Umwelt beitragen.
- _ Kryosphäre: Tandem-L soll dazu beitragen, besser nachvollziehen zu können, wie der globale Klimawandel mit der Abnahme der Eismassen auf der Erde korreliert, welche Veränderungen er beispielsweise in Hinsicht auf die Bewegung und Bilanz von Eismassen in der Arktis und der Antarktis verursacht und welche Prozesse dem gegenwärtigen massiven Abbau von Landeisflächen zu Grunde liegen.
- _ Hydrosphäre: Tandem-L soll ein besseres Verständnis der räumlichen und zeitlichen Dynamiken der Verteilungen von Bodenfeuchte, Boden- und Pflanzenverdunstung, des Austauschs von Wasser und Energie zwischen Boden und Atmosphäre, des Einflusses von Bodenfeuchte auf die Bildung neuen Grundwassers und des Abfließens und Sammelns von Wasserreservoirs großer Flussbecken ermöglichen. Auch zu der Frage nach der Verbindung zwischen raumzeitlichen Veränderungen von Bodenfeuchte und Alternationen regionaler Klimata und Wetterphänomene werden neue Erkenntnisse erwartet.

Es wurden zwei aufeinander abgestimmte Modi entwickelt, in denen Tandem-L Messungen vornehmen wird. Der 3D-Strukturmodus wird erstmals einen großflächigen tomografischen Datensatz von Volumenstreuern (z. B. Vegetation, Eis, trockener Boden und Sand) aus dem Weltraum generieren und deren Strukturen dreidimensional in allen Polarisationen erfassen. Der Deformationsmodus erlaubt zudem die präzise, millimetergenaue Messung topografi-

scher Veränderungen auf der Erdoberfläche. Dieser Modus eignet sich vor allem für die Geo- und Lithosphärenforschung, wird aber auch bei Messungen der Geschwindigkeit von Gletschern und der Beobachtung von Absenkungen in Städten und Permafrostböden Verwendung finden. Laut Konzept zeichnet sich Tandem-L neben seinem breiten Anwendungsspektrum durch seinen hohen Innovationsgrad hinsichtlich Methodik und Technologie aus. Als Beispiele sind hier zu nennen die polarimetrische SAR-Interferometrie zur Waldhöhenmessung, die Mehrpass-Kohärenz-Tomographie zur Bestimmung der vertikalen Struktur von Vegetation und Eis, die Nutzung neuester digitaler Antennenstrahlformungstechniken zur Erhöhung von Streifenbreite und Auflösung sowie der enge Formationsflug von zwei Radarsatelliten.

Zählt man die Vorgängermissionen TerraSAR-X und TanDEM-X |¹¹¹ mit, so lassen sich siebzehn komplementäre und konkurrierende FIS anführen, deren Aufgabenbereiche sich mit dem umfangreichen Aufgabenspektrum von Tandem-L ergänzen oder punktuell überlappen. Hierzu gehören u. a. die US-Mission NISAR (*NASA-ISRO Synthetic Aperture Radar*) und die ESA-Mission BIOMASS. Laut den Konzeptverantwortlichen erreicht jedoch keine FIS – weder bereits vorhandene noch sich in der Planung befindliche – eine mit Tandem-L vergleichbare räumliche und zeitliche Auflösung sowie Qualität bei den höherwertigen Informationsprodukten.

Bewertung

Insgesamt ist das wissenschaftliche Potenzial des Tandem-L-Konzepts hoch. Tandem-L ist relevant und von großer strategischer Bedeutung für die Schließung entscheidender Beobachtungslücken hinsichtlich zahlreicher, auf der Erdoberfläche stattfindender Prozesse, die gegenwärtig regional oder global mit nur unzureichender räumlicher und/oder zeitlicher Auflösung abgebildet werden können. Die Mission ist technisch sehr innovativ und hat großes Potenzial, tiefere Einblicke in eine Reihe von Prozessen zu ermöglichen. Gegenwärtig können vergleichbare Beobachtungen nicht durchgeführt werden (z. B. in Bezug auf die Forstbiomasse, Eismasse oder Oberflächendeformation). Es besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass die von Tandem-L abgedeckten Rückstreufelder gegenüber den bislang existierenden Datenprodukten überlegen sein werden. Bezüglich der Algorithmen und der übergeordneten Datenprodukte sind jedoch noch einige Fragen ungeklärt.

Tandem-L ermöglicht eine Anwendungserweiterung auf Bereiche, bei denen die Oberflächendurchdringung für die Messung von (tiefengemittelten) Bedingungen von Bedeutung ist, wie z. B. Eis-/Schneezustände, Böden und Boden-

| ¹¹¹ TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement.

feuchtigkeit sowie Vegetation. Beispielsweise wird erwartet, dass Tandem-L einzigartige Daten liefern wird, die eine Erfassung der Walddiversität, -struktur und -biomasse erlaubt. Dies ist mit den gegenwärtig existierenden Missionen nicht möglich.

Tandem-L-Daten werden die Fragestellungen bezüglich der fundamentalen Funktionen des Erdsystems schärfen und eine Quantifizierung der darin involvierten Prozesse erlauben. Dies wird derzeit vorhandene Mängel reduzieren und zur Erweiterung der derzeitigen Erkenntnisse führen. So wird die Mission beispielsweise Beiträge zu genaueren Schätzungen hinsichtlich der Eismasse (Polkappen, Gletscher) sowie deren jährlichen Schwankungen und säkularen Veränderungen leisten, entweder durch Tandem-L-Messungen allein oder in Verbindung mit ICESat-2 (*Ice, Cloud and land Elevation Satellite-2*).

Zu den spezifischeren Beispielen der Beiträge von Tandem-L zum Verständnis des Erdsystems gehören genauere Beobachtungen der Oberflächendeformation, die als Warnsignal für Gefahren, wie z. B. Erdbeben, genutzt werden können sowie für eine bessere Ermittlung der Biomassebestände. Letztere sind für die Beobachtung von Veränderungen in der Biosphäre bedeutsam, die etwa auf klimawandel- oder abholzungs- bzw. aufforstungsbedingte Migration von Vegetationszonen zurückzuführen sind.

Die Prozesse zu verstehen, die Form und Masse der landbasierten und in den Ozean reichenden (schwimmenden) Eisschilder bestimmen, ist von wesentlicher Bedeutung für Schätzungen des Meeresspiegelanstiegs und des Einflusses von Veränderungen des Gletschereishaushalts auf die Schichtung und Zirkulation der angrenzenden Ozeane. Tandem-L wird unsere Fähigkeiten verbessern, die oberflächennahen Prozesse zu verstehen, welche die Dynamik und Massenbilanz der Eisschichten bestimmen. Derartige Einblicke sind unerlässlich für Prognosen der zu erwartenden Veränderungen der Eismasse und deren Beitrag zum Anstieg des Meeresspiegels in einer immer wärmer werdenden Welt. Tandem-L wird zudem einen Beiträge zu einer verbesserten Erfassung der Bodenfeuchte leisten. Der Betrieb im L-Band-Frequenzbereich wird eine tiefere Durchdringung erreichen und so die Beobachtung eines größeren Anteils der ungesättigten Bodenzone ermöglichen. Die Beobachtung der Bodenfeuchte ist von wesentlicher Bedeutung für das Verständnis der Vegetation und deren Veränderungen sowie damit verbundene Rückwirkungen auf das Klima.

Einige der aufgelisteten Missionsziele, wie die Erforschung des Permafrosts, der Land-Atmosphären-Kopplung und der Ozeanzirkulation, werden als problematischer angesehen. Tandem-L wird Beiträge zu diesen Feldern leisten, aber die wichtigsten Erkenntnisse werden dort mit großer Wahrscheinlichkeit aus anderen Beobachtungen abgeleitet. Es gibt zudem einen gewissen Raum für die Stärkung der *higher-level* Datenprodukte.

Das bei Tandem-L zum Einsatz kommende Konzept zur Datenerfassung umfasst zwei komplementäre Messungsmodi, die flexibel an sich verändernde Anforderungen angepasst werden können. Modus (I) kann mehrere wesentliche 3-D-Datensätze für die Bio-, Hydro- und Kryosphärenforschung liefern. Modus (II) kann verwendet werden, um Segmente mit einer Breite von 350 Kilometern abzubilden, was wiederholte Aufnahmen innerhalb kurzer Intervalle erleichtert, die in erster Linie als hilfreich für die Geo- und Lithosphärenforschung eingeschätzt werden. Dieser Modus verfügt zudem über signifikantes Potenzial für die Nutzung in anderen Forschungsbereichen. Es besteht ferner die Möglichkeit, die Mission auf Bereiche zu konzentrieren, in denen mutmaßlich extreme Ereignisse entstehen könnten.

Das geplante Satelliten-/Sensorsystem wird innovative Messungen ermöglichen, von denen erwartet wird, dass sie die aufgeführten wissenschaftlichen Fragestellungen aus einer neuen Perspektive angehen werden. Die Bildgebungstechnologien und die hohe Abbildungsfähigkeit von Tandem-L machen es zu einem einzigartigen Radarobservatorium für die Beobachtung der dynamischen Prozesse auf der Erdoberfläche. Zu den komplementären Satellitenmissionen, die jeweils für individuelle Anwendungen entwickelt wurden, gehören beispielsweise die Sentinel-1-Satelliten, mit der höheren Sensorfrequenz des C-Bands, die große Bereiche in wöchentlichen Zyklen aufzeichnen können. Tandem-L unterscheidet sich von diesen durch seine größere Wellenlänge, die eine tiefere Durchdringung und verbesserte zeitliche Stabilität (Kohärenz) ermöglicht. Dies wird durch die höhere Azimutauflösung gegeben, die eine vollständige polarimetrische Datenerfassung unterstützt, und durch die Nutzung von zwei Satelliten, die in enger Formation fliegen. Letzteres bietet eine bistatische Bildgebungsfähigkeit und ermöglicht die Erzeugung von drei-dimensionalen, tomographischen Abbildungsprodukten bei hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung. Des Weiteren unterscheidet sich der Formationsflug von Tandem-L auch von anderen L-Band-SAR-Missionen (z. B. ALOS-2 PALSAR |¹¹² mit sehr schmaler Bandbreite).

Es sind komplementäre Missionen vorhanden, aber es gibt keine direkt konkurrierende Mission bezüglich der Sensorkonfiguration des einzigartigen Beobachtungssystems von Zwei-Satelliten-Sensoren, die in enger Formation fliegen. Dies wurde im Rahmen des Konzepts überzeugend ausgeführt. Die Datenprodukte der komplementären Missionen weisen Überschneidungen mit potenziellen Tandem-L-Datenprodukten auf und können synergetisch genutzt werden.

| ¹¹² *Advanced Land Observing Satellite-2 Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar.*

Tandem-L erweitert die Datenaufnahmefähigkeit um fast zwei Größenordnungen im Vergleich zur Vorgängermission TanDEM-X. Die Fähigkeit von Tandem-L zur Erfassung von systematischen drei-dimensionalen Daten, unabhängig von den Wetterbedingungen, stellt insgesamt eine wesentliche Verbesserung für die Beobachtung globalen Wandels dar. Tandem-L wird das von TanDEM-X (der gegenwärtig einzigen bistatischen Radarmission) erzeugte globale Hochauflösungs-Höhenmodell weiter ergänzen und ausbauen, und zwar durch die Einbeziehung und Auflösung sowohl der Terrainhöhe (z. B. Waldboden) als auch der Oberflächenhöhe (z. B. Baumwipfel).

In gewissem Maß erfolgt im Konzept eine Überbewertung der Bedeutung von Tandem-L bei der Beantwortung einiger der aufgelisteten wissenschaftlichen Fragestellungen sowie eine Minimierung der Beiträge existierender und geplanter Missionen, die in dem Konzept ebenfalls erwähnt werden. Beispielsweise wird behauptet, dass ein Mangel an regelmäßigen und umfassenden Beobachtungen der fundamentalen Prozesse vorliegt, wie z. B. der Veränderungen der globalen Biomasse, der Gletscherdynamik, der Vulkanaktivität, der tektonischen Verschiebungen, der globalen Meeresströmungen, der Gefrier- und Auftauzyklen im Permafrost, der lokalen Variationen der Bodenfeuchtigkeit usw. Gleichzeitig werden jedoch etliche aktuelle und geplante Missionen aufgelistet, die sich mit diesen Bereichen beschäftigen. Komplementäre Missionen unter Nutzung deutlich abweichender Technologien (z. B. Integration von geodätischen Lokalisierungsprogrammen mit hoher Dichte und hoher Präzision mit Gravitätsmissionen mit hoher Auflösung und mit Altimeter Missionen für Eis- und Ozeanstudien) werden nicht angemessen berücksichtigt. Die Einbeziehung dieser Komplementaritäten ist bedeutsam für die Festlegung der Prioritäten von konkurrierenden wissenschaftlichen Zielen und bei der Erstellung des Plans zur Datenaufnahme. Dies mindert jedoch nicht die Bedeutung des Vorhabens, das sich solide in den Kontext mehrerer Missionen einfügt, die für adäquate globale Erdoberflächenbeobachtungen und Studien der globalen Umweltprozesse sowie deren Veränderungen erforderlich sind.

II.6.b Nutzung

Beschreibung

Die potenziellen Nutzerinnen und Nutzer von Tandem-L rekrutieren sich aus allen Feldern der Umweltwissenschaften, vor allem aus geophysikalischen, hydro-, glazio-, geo-, und ökologischen Disziplinen, der Klimaforschung, aber auch aus verschiedenen technikwissenschaftlichen Bereichen. Einteilen lassen sich diese Gruppen einerseits in Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den an Tandem-L unmittelbar partizipierenden Einrichtungen und andererseits in Forscherinnen und Forscher aus der weiteren wissenschaftlichen Ge-

meinschaft. Darüber hinaus werden Nutzerinnen und Nutzer aus Regierungsorganisationen sowie kommerziellen Bereichen erwartet.

Die Daten werden über das Tandem-L *Science Server-Interface* zur Verfügung gestellt, das vom Wissenschafts- und Nutzersegment strukturiert und gesteuert wird. Aus den Radarrohdaten der Satelliten werden im Bodensegment Bilder und qualitativ hochwertige Informationsprodukte erstellt. Die Bereitstellung der Daten erfolgt über ein Webportal. Basisprodukte werden für die gesamte Nutzergemeinschaft frei zugänglich gemacht, während höher spezialisierte Datenprodukte, wie z. B. Höhenmodelle und Bodendeformationskarten, ausschließlich der wissenschaftlichen Gemeinschaft frei zur Verfügung stehen werden. Andere Nutzerinnen und Nutzer müssen für solche Produkte entsprechende Kauflizenzen erwerben, die ein integraler Bestandteil des Tandem-L-Geschäftsplans sind.

Das Tandem-L-System wird pro Tag die Aufzeichnung von 8 Terabyte Rohdaten ermöglichen. Die Daten werden durch einen Ka-Band-Datenlink |¹¹³ über global verteilte Bodenstationen an die Verarbeitungs- und Archivierungszentren übertragen. Kernelemente des Datenzentrums sind das Langzeitarchiv, das Dateninterface sowie die Verarbeitungs- und Exploitation-Plattform, die mit Hilfe virtueller Maschinen basierend auf einem Cloud-Computing Ansatz umgesetzt wird. Dort werden systematisch Datenprodukte auf globaler Ebene generiert. Zugleich wird die Plattform aber auch von den Nutzerinnen und Nutzern verwendet, um, basierend auf standardisierten Algorithmen, individuell zugeschnittene Informationsprodukte auf lokaler, regionaler und globaler Ebene zu erstellen.

Die Entwicklung der Weltraum- und Bodensegmente von Tandem-L orientiert sich an den Spezifikationen der *European Cooperation for Space Standardization* (ECSS), die ein Standard für sämtliche europäische Weltraumaktivitäten sind. Die Produktsicherungspläne werden diesen Standards entsprechend mit dem Beginn des Vorhabens für sämtliche Teilsegmente definiert. Darüber hinaus sind Bodensegment, Datenbereitstellungsprozesse, Datenspeicherung und langzeitliche Archivierung gemäß dem *Certificate for Quality Management* (ISO |¹¹⁴) 9001:2008 zertifiziert. Alle an der Datenauswertung beteiligten Akteure werden gebeten, die Wissenschafts- und Nutzerkoordination von Tandem-L zu benachrichtigen, sobald ein Manuskript zur Veröffentlichung eingereicht wird und die geldgebenden Institutionen der FIS in der Danksagung zu erwähnen. Für die Veröffentlichungen gelten ferner die Qualitätsrichtlinien

|¹¹³ Das Ka-Band deckt im Satellitenfunk den Frequenzbereich 26-40 GHz ab.

|¹¹⁴ *International Organization for Standardization*.

Bewertung

Tandem-L impliziert eine Instrumentenauslastung zu 100 %. Es wurde ein systematischer Erfassungsplan entwickelt, der bei der Unterstützung einer breiten Nutzergemeinschaft hilfreich sein kann. Die Nutzerinnen und Nutzer werden erwartungsgemäß eine große Bandbreite an Forschungsfelder repräsentieren.

Eine Darlegung spezifischer gesetzlicher Bedingungen für das Zugangsmanagement und den Service für den Anwendungsbereich konnte nicht identifiziert werden. Ein Prozess, der einen einfachen Zugang zu den wissenschaftlichen Daten ermöglicht, wurde jedoch bereits für TerraSAR-X und TanDEM-X erstellt. Ein angemessen erscheinender, äquivalenter Prozess wird für Tandem-L genutzt werden. Die Erfolgsbilanz der TanDEM-X-Mission ist herausragend und dient als guter Richtwert dafür, was von Tandem-L erwartet werden kann. Die freie Verfügbarkeit der Daten für nicht-kommerzielle Nutzerinnen und Nutzer ist hervorzuheben. Das Konzept skizziert ein Bild der Diversität der Nutzergemeinschaft aus zahlreichen Disziplinen, die kostenlosen Zugang (falls wissenschaftsbezogen) zu den Daten und Datenprodukten haben werden.

Es wird erwartet, dass die Tandem-L-Mission eine große Bandbreite an Radarrohdaten und übergeordneten Informationsprodukten zur Verfügung stellt und dass diese den wissenschaftlichen Nutzerinnen und Nutzern in Deutschland sowie der internationalen Gemeinschaft kostenlos zur Verfügung gestellt werden. Ein Datenmanagement- und Nutzungskonzept zur Sicherstellung der systematischen Datenerfassung und zur Erzeugung, Verarbeitung, Archivierung und Bereitstellung übergeordneter Datenprodukte wurde entwickelt. Insgesamt beschreibt die Anwendung eine klare Datenstrategie und einen angemessenen Datenmanagementplan.

Laut den Datenplänen werden Rohradarmessungen im Rahmen der Mission zu übergeordneten Produkten verarbeitet, was jedoch zunächst nur die Forstbiomasse- und Oberflächendeformationsanforderungen betrifft. Andere Produkte werden erwartungsgemäß von kleineren Gruppen innerhalb des Kernteams der Helmholtz-Allianz entwickelt. Der *downlink* vom Satelliten zu den Bodenstationen des DLR wird beschrieben, aber die Datenproduktarchivierung und -verteilung durch die Back-End-Datenproduzenten (die kleineren Gruppen, die übergeordnete Produkte erzeugen) innerhalb der Helmholtz-Allianz ist nicht hinreichend ausgeführt.

Insgesamt erfolgt die Qualitätssicherung durch umfangreiche Maßnahmen, die sowohl in der Einleitungs- als auch der Nutzungsphase von Tandem-L umgesetzt werden. Bei Tandem-L wird ein integriertes Qualitätsmanagementkonzept

im Einklang mit den ECSS-Luftfahrtnormen angewendet, um die erfolgreiche Projektumsetzung zu gewährleisten.

II.6.c Umsetzbarkeit

Beschreibung

Tandem-L war bereits 2011 Bestandteil der Helmholtz-Roadmap für FIS-Maßnahmen und ist ein Schlüsselement sowohl der Strategie der Helmholtz-Gemeinschaft zum Forschungsbereich „Erde und Umwelt“ als auch der zentralen Forschungsfelder des DLR in der Raumfahrt. Die strategischen Ziele bestehen dabei im Ausbau und der stärkeren Vernetzung von Beobachtungs- und Wissenssystemen, die zusammen mit integrativen Modellansätzen Vorhersagen verbessern und aktuelle Ergebnisse so schnell wie möglich zur Verfügung stellen sollen. Tandem-L soll als weltweit einzigartiges Erdbeobachtungssystem fungieren, das die Leistung aller bislang betriebenen Einrichtungen bei weitem übertrifft.

Unter Verweis auf die Erfahrungen aus den zuvor durchgeführten Satellitenmissionen TerraSAR-X und TanDEM-X sowie auf den bevorstehenden Start der SARah-Satelliten der Deutschen Bundeswehr, die drei Jahre vor den Tandem-L-Satelliten gestartet werden sollen, betonen die Konzeptverantwortlichen, dass die SAR-Technologie bis zum Beginn der Tandem-L-Mission hinreichend getestet sein wird. Nichtsdestoweniger sind im Vergleich zu TanDEM-X erhebliche Modifikationen bei Tandem-L notwendig, um die Aufnahmekapazität um zwei Größenordnungen steigern zu können. Risiken gibt es daher bei den Neuentwicklungen, die das Instrument und den Satellitenbus, aber auch das Bodensegment betreffen. Weitere potenzielle Risikofaktoren bestehen in Form eventueller Ausfälle von Betriebsanlagen, Lieferverzögerungen bei Projektpartnern und etwaiger Änderungen durch externe Vereinbarungen und Gesetzgebungen. Die Konzeptverantwortlichen haben eine detaillierte Risikokalkulation vorgenommen. Die maximalen Mehrkosten würden sich demnach auf 18,7 % der während der Entwicklungsphase anfallenden Gesamtkosten belaufen.

Die Durchführung einer Satellitenmission bedarf grundsätzlich einer Vielzahl an Expertisen, die vom Missionsdesign über die Datenverarbeitung und -erhebung bis zur Bestimmung bio- und geophysikalischer Parameter und der Erdsystemmodellierung reichen. Laut den Konzeptverantwortlichen haben die federführenden Einrichtungen ausreichend Erfahrung in der Durchführung von Radarmissionen und besitzen das notwendige Personal um das Tandem-L-Vorhaben innerhalb des vorgesehenen Zeitplans und Kostenrahmens aufbauen und betreiben zu können.

Die Anfänge von Tandem-L reichen zurück in das Jahr 2007. Zwischen 2008 und 2014 wurden zwei Auftaktstudien (*Phase A studies*) durchgeführt, um ein detailliertes Missionskonzept und die technischen Voraussetzungen vorzube-

reiten. Weitere Vorbereitungen für Tandem-L laufen derzeit im Rahmen einer *Phase B1* Studie, in der das Design für das Raum- und Bodensegment auf Subsystemebene weiter ausgearbeitet wird. In Ergänzung hierzu werden seit 2012, im Rahmen der Helmholtz Allianz Fernerkundung und Erdsystemdynamik, Vorbereitungen für die umfassende Nutzung der Tandem-L-Daten zur Erforschung der Bio-, Geo-, Kryo- und Hydrosphäre getroffen.

Bewertung

Die Entwicklung und Nutzung neuartiger Techniken und Technologien sowie die Verarbeitung der großen Datenmengen stellen diverse Herausforderungen und Risiken für Tandem-L dar. Insgesamt steht die im Konzept beschriebene Mission in einer starken Tradition und eine Risikoanalyse wurde für die Hardware und die Bodensegmente durchgeführt. Die Nutzung eines äquivalenten Prozesses für einen einfachen Zugang zu den wissenschaftlichen Daten, wie der bereits etablierte Prozess für TerraSAR-X und TanDEM-X, wird erwartungsgemäß die Rechtssicherheit für den Betreiber sowie die Nutzerinnen und Nutzer gewährleisten. Es werden keine sonstigen Risiken erwartet, die beispielsweise ethische Aspekte berühren oder Umweltrisiken umfassen. Zusammen mit der wissenschaftlichen Begründung ist das Konzept für die Mission solide und eine erfolgreiche Umsetzung wird zu signifikant verbesserten, neuartigen Möglichkeiten für die Beobachtung und Erkenntnisgewinnung bezüglich des Erdsystems führen.

Die Helmholtz-Allianz und die kooperierenden Organisationen sind national und international hochgradig anerkannt. In ihrer Gesamtheit werden die Fähigkeiten der beteiligten Helmholtz-Zentren zu gemeinsamen Forschungsportfolios für die Weiterentwicklung der Erdbeobachtungs- und Wissenssysteme entlang integrierter Modellansätze zusammengeführt. Tandem-L ist hier von fundamentaler Bedeutung für das Erreichen der gemeinsamen strategischen Ziele dieser Einrichtungen. Eine enge Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Forschungsinstituten auf dem von Tandem-L erforschten Gebieten wurde im Jahr 2009 im Rahmen von erheblichen Forschungsinvestitionen der Helmholtz Association für TERENO (*TERrestrial ENVironmental Observatories*) und im Zuge der Aktivitäten des Tandem-L-Wissenschaftsteams etabliert. Außerdem baut das Tandem-L-Governance- und Projektmanagementkonzept auf relevanten Erfahrungen auf, die während der TerraSAR-X- und TanDEM-X-Missionen gesammelt wurden. In ihrer Gesamtheit sollten die beteiligten Institute über ausreichende Kapazitäten zur Ausführung des Vorhabens verfügen.

Die an Tandem-L partizipierenden Institutionen verfügen über Erfahrungen aus fünf Radarmissionen, die innerhalb der letzten 25 Jahre erfolgreich abgeschlossen wurden. Auch für diese FIS wurden angemessene Personalkonzepte für die Entwicklung, Implementierung und den Betrieb erstellt. Dies schließt führende und etablierte Expertise aus allen involvierten Forschungsfeldern

und aus dem Projektmanagement mit ein, die eine erfolgreichen Implementierung von Tandem-L ermöglicht. Ein umfangreiches Kursprogramm und ein Mitarbeiteraustauschprogramm zwischen den Zentren werden insbesondere Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler unterstützen. Ein spezifischer Rekrutierungsmaßnahmenplan für Personalgruppen, die über Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler hinausgehen konnte jedoch nicht identifiziert werden. Dies gilt auch für die Planung des Diversitätsmanagements. Die Verfügbarkeit des Personals für das Hardware- und Bodensegmentdesign der Mission erscheint angemessen. Die Helmholtz-Allianz und die kooperierenden Organisationen müssen ihren Personalbedarf für die Entwicklung von übergeordneten Produkten, die Outreach-Aktivitäten, die Nutzerinteraktionen und den Datenzentrenbedarf (für die übergeordneten Produkte) abschätzen.

Weitreichende Erfahrungen hinsichtlich des Missionskonzepts und der Sensortechnologie sind beim DLR vorhanden. Die Finanzierung der Mission zu ihrem Start (Weltraum-Hardware, Bodensegment und Radarverarbeitung) wirkt solide. Die Algorithmenentwicklung basiert auf bereits existierenden Algorithmen und ist auf die Verfeinerung hin ausgerichtet. Die Algorithmenentwicklung wird über den gesamten Verlauf der Missionstestphasen fortgesetzt.

II.6.d Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

Beschreibung

Mit dem Tandem-L-Konzept sollen die internationale Spitzenposition Deutschlands im Bereich der hochauflösenden radarbasierten Fernerkundung über 2020 hinaus gesichert und die Grundsteine für künftige Generationen SAR-basierter Satellitenfernerkundung gelegt werden. Basierend auf den Tandem-L-Daten wird mit einer Vielzahl von Publikationen in renommierten Fachzeitschriften gerechnet und die große Anzahl internationaler Nutzerinnen und Nutzer wird die Sichtbarkeit des Vorhabens weltweit erhöhen. Die hohe Relevanz von Tandem-L für gesellschaftliche Bereiche wird die Popularität des Vorhabens auch in politischen und öffentlichen Kontexten befördern.

Die Konzeptverantwortlichen prognostizieren eine wesentliche Attraktivitätssteigerung des Wissenschaftsstandorts Deutschland für eine große Bandbreite wissenschaftlicher Forschungsbereiche, die von den Klima- und Umweltwissenschaften bis hin zu Gebieten der Radartechnik und Radardatenanalyse reichen. Auf Grund seiner einzigartigen Technologie und Datenprodukte wird Tandem-L demnach sowohl für junge als auch für etablierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler weltweit von großer Bedeutung sein.

Die FIS wird laut Konzeptvorschlag eine weitreichende Bedeutung für wissenschaftliche, aber auch für ökonomische und gesellschaftspolitische Bereiche erlangen, u. a. durch die Schaffung von Arbeitsplätzen für hochqualifizierte

Fachkräfte in der Raumfahrtindustrie, der Datenanalyse und der Etablierung von Geo-Informationsdiensten im tertiären Sektor. Weiterhin sind Spin-off-Effekte zu erwarten, vor allem in Hinblick auf die Fahrzeugtechnik und auf bodengestützte Radarsysteme, die zum Monitoring kritischer Infrastrukturen eingesetzt werden können. Neben dem Export von Satellitentechnologie und einem zu erwartenden Impuls im Bereich des Big-Data-Managements wird Tandem-L neue Möglichkeiten für die wissenschaftsbasierte Zusammenarbeit auch mit Entwicklungsländern eröffnen. Potenzielle Einsatzgebiete liegen dabei besonders in der Sicherung natürlicher Ressourcen sowie in der Umweltbeobachtung und im Klimaschutz. Der Projektplan beinhaltet ferner ein eigenes Arbeitspaket für den gezielten Wissenstransfer von Tandem-L-Ergebnissen in die breitere Öffentlichkeit, beispielsweise durch Beiträge in den Massenmedien oder durch die Organisation von Ausstellungen.

Bewertung

Die Vielzahl der Ziele und der wissenschaftlichen Anwendungen einer erfolgreichen Tandem-L-Mission wird Deutschland international zu einer führenden Position verhelfen und den Einfluss der deutschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, im Bereich der hochauflösenden Beobachtung sowie der Interpretation des Erdsystems und dessen Veränderungen, erheblich verstärken.

Eine engere Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Helmholtz-Zentren und mit anderen nationalen und internationalen Partnern im Kontext von Tandem-L hat das Potenzial, diese FIS als zentrales globales Radarobservatorium zu etablieren und einen wesentlichen Beitrag zur Bewältigung der wesentlichen Herausforderungen in den Erdsystemwissenschaften und mit Blick auf den globalen Wandel zu leisten. Die gesellschaftliche Relevanz der Geodaten- und Informationsprodukte wird auch zu einer Bekanntheit von Tandem-L außerhalb des akademischen Bereichs führen und die Fähigkeit des privaten Sektors verbessern, Fernerkundungsdaten für eine Vielzahl praktischer Anwendungen zu nutzen.

Tandem-L verfügt über das Potenzial, die Attraktivität Deutschlands als internationalen Knotenpunkt für die Forschung in verschiedenen Forschungsbereichen und Disziplinen in wesentlichem Umfang zu steigern. Die Mission wird die technologische Expertise des DLR im Bereich der Mikrowellenradarsysteme stärken. Wird die Mission entsprechend den Erwartungen betrieben, wird sie eine technologisch innovative Erdbeobachtungsplattform zur Verfügung stellen.

Von der Bildgebungstechnologie in der Tandem-L-Mission wird erwartet, dass sie zu innovativen Geoinformationsprodukten und -dienstleistungen führt, die das Fundament für künftige nationale und internationale Beobachtungen sowie die kontinuierliche Überwachung des Erdsystems und dessen Veränderungen legen werden. Es werden zielgerichtete nationale Aktionspläne entwickelt,

um den Wissenstransfer in Richtung eines breiteren Publikums sicherzustellen und kommerzielle sowie technologische Erweiterungen zu gewährleisten. Die kommerzielle Nutzung neuer Anwendungen und Produkte wird von der Technologiemarketingabteilung der Helmholtz-Zentren unterstützt. Von diesen Zentren werden Beratungsleistungen in Bezug auf das Marktpotenzial und die finanzielle Förderung erwartet, die bei der Entwicklung von innovativen Ideen für die Überarbeitung von unternehmerischen Konzepten zum Erreichen der Marktreife helfen und technische Unterstützung für unternehmerische Start-ups bieten. Die bildgebenden höheren Datenprodukte von Tandem-L werden nicht nur in vielen wissenschaftlichen Bereichen nützlich sein, sondern auch in kommerziellen und regierungsbezogenen Anwendungen und Dienstleistungen. Zu den im Konzept ausgeführten Beispielen gehören die Präzisionslandwirtschaft, die Kartographie, die urbane Infrastrukturplanung, die Landnutzung, die Überwachung von natürlichen Ressourcen, die Sicherstellung der Mobilität, die Überwachung der Einhaltung von Klimaverträgen, die Früherkennung von Umweltrisiken und -gefahren sowie andere Sicherheitsanwendungen, wie z. B. für die maritime Sicherheit.

II.6.e Komplementäre und konkurrierende Forschungsinfrastrukturen

Research infrastructure landscape			
Name	Brief description and internet link	Time frame	Participants
Existing research infrastructures			
ALOS-2 - Advanced Land Observing Satellite	Spaceborne SAR mission operating at L-band ($\lambda=24\text{cm}$). The main mission objective is to provide (data) continuity to ALOS-1, the precursor mission. The main application areas are in mapping, regional monitoring, environmental surveillance, as well as the support in disaster management. The scientific focus of ALOS-2 is in four areas: forest, wetland, and glacier (polar regions) monitoring on a continuous regional, continental and/or global basis and in the generation of global radar reflectivity maps. Despite the systematic acquisition plan providing global consistent data, no higher level products (apart from annual forest/no-forest maps) are intended. http://global.jaxa.jp/projects/sat/alos2/ , last accessed 18 October 2016	2014-2021	JP
LANDSAT	A series of optical multi-spectral satellites first launched in 1972. The last satellite of the series, LS-8, was launched in 2013 and acquires data in 13 spectral channels covering wavelengths from 0.4 to 12.5 μm . The scientific objectives of the mission include the monitoring of processes over land (e.g. land coverage, vegetation index and condition, snow coverage), and coastal waters on a local to global scale. An important feature of Landsat is the unique time series of acquisitions, which allow tracing changes on the land surface back to	LS8: 2013-2018	US

	the year 1972. http://landsat.gsfc.nasa.gov/ , last accessed 18 October 2016		
MODIS – Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (complementary)	Medium resolution spaceborne imaging spectrometer, which is operated onboard of two satellites (Aqua and Terra). MODIS is viewing the entire Earth's surface every 1 to 2 days, acquiring data at 36 spectral channels covering wavelengths from 0.4 to 14.4 μm . The scientific objectives include the monitoring of processes over land (e.g. land coverage, vegetation index and condition, snow coverage), ocean (e.g. surface temperature) and in the atmosphere on a variety of spatial scales ranging from local to global. Particularly in the biosphere multi-spectral measurements are highly complementary to the intended Tandem-L measurements: the information extracted from multi-spectral measurements on the vegetation type, index and condition complement the biomass and structure measurements of Tandem-L, allowing a comprehensive characterization of forest condition. This applies not only to Modis but also to the following multi-spectral missions, i.e., LANDSAT and Sentinel-2. http://modis.gsfc.nasa.gov/ , last accessed 18 October 2016	Terra: Since 1999 Aqua: Since 2002	US
Sentinel-1 (complementary)	Spaceborne SAR mission operating at C-band ($\lambda=6\text{cm}$) consisting of two satellites (Sentinel-1A and -1B): Both satellites circle the Earth on the same orbit shifted by 180° in order to reduce the revisit time (temporal resolution) from 12 to 6 days. Sentinel-1 is part of ESA's Copernicus program ensuring continuity of C-band Earth remote sensing data and products. The scientific objectives of the mission are in the long term sea- and land-ice monitoring in the polar regions, the monitoring of volcanic and tectonic activities and the associated Earth surface deformations, as well as in measuring ocean currents and wind fields over the oceans. The commercial and operational goals include the generation of sea-ice maps and the monitoring of icebergs, both for ship navigation, maritime surveillance and security, as well as measuring of terrain deformation and subsidence primarily in urban areas. In addition, Sentinel-1 is intended to support disaster management for help and rescue operations. Apart from the ocean products (wind fields and radial velocity component of ocean currents) no systematic higher-level products are generated. There are no global higher-level products generated systematically. https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1 , last accessed 18 October 2016	A: 2014–2021 B: 2016–2023	ESA
Sentinel-2	Multi-spectral Earth observation spaceborne mission consisting of a pair (Sentinel-2A and Sentinel-2B) of optical satellites acquiring data in 13 spectral channels covering wavelengths	A: 2015–2023 B:	ESA

	from 443 to 2190 nm. Both satellites use the same orbit, shifted by 180° to increase the temporal resolution. Sentinel-2 is part of ESA's Copernicus program aiming at providing continuity of multi-spectral Earth observation data. The scientific focus of the mission is the thematic mapping and classification of the Earth surface and in monitoring changes, such as vegetation changes and growth phase. https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2 , last accessed 18 October 2016	2016-2024	
SMAP – Soil Moisture Active Passive	Combined microwave radiometer and radar spaceborne mission operating at L-band ($\lambda=24\text{cm}$). The main scientific objectives are in measuring soil moisture and monitoring freeze and thaw processes over land. Similar to SMOS, SMAP achieves the high temporal resolution at the cost of a degraded spatial resolution. Tandem-L closes this spatial resolution gap in soil moisture measurements. http://smap.jpl.nasa.gov/	2015-2018	US
SMOS – Soil Moisture and Ocean Salinity	L-band ($\lambda=24\text{cm}$) microwave radiometer spaceborne mission with two main scientific objectives: The measurement of soil moisture over land, and the estimation of ocean (surface) salinity. SMOS achieves the high temporal resolution (revisit time) at the cost of a degraded spatial resolution. Tandem-L closes this spatial resolution gap in soil moisture measurements. SMOS is part of ESA's Earth Explorer program. http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/SMOS , last accessed 19 October 2016	Since 2009	ESA
TerraSAR-X TanDEM-X – TerraSAR-X-Add-on for Digital Elevation Measurements (complementary)	Spaceborne SAR mission operating at X-band ($\lambda=3\text{cm}$) providing multimode (in terms of swath width, temporal and spatial resolution) SAR data appropriate for a wide variety of scientific and commercial applications. The main application areas include local and regional thematic mapping, vegetation, waterbodies, sea and polar monitoring, as well as disaster management and security. However, TerraSAR-X does not follow a systematic product generation plan and no global higher-level products are systematically generated. http://dlr.de/terrasar-x , last accessed 19 October 2016	TerraSAR-X: Since 2007 TanDEM-X: Since 2010	DE
Planned research infrastructures/under construction			
BIOMASS	Spaceborne SAR mission operating at P-band ($\lambda=75\text{cm}$). The main scientific objectives of the mission are to determine the global forest biomass, its spatial distribution and its annual change, to estimate forest height and to monitor the change in forested areas due to reforestation and deforestation. A secondary mission goal is the measurement of flow velocity of fast flowing glaciers in the cryosphere. BIOMASS is part of ESA's Earth Explorer program.	2021-2026	ESA

	www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/The_Living_Planet_Programme/Earth_Explorers/Future_missions/Biomass , last accessed 18 October 2016		
EnMAP - Environmental Mapping and Analysis Program (complementary)	Hyperspectral Earth observation spaceborne mission acquires data in 232 spectral channels covering wavelengths from 420 to 2450 nm, with high spatial and temporal resolutions. The scientific objectives of the mission are to measure and monitor parameters of vital processes in agriculture, forestry, soil and geological environments, as well as coastal zones and inland waters. The hyperspectral EnMAP measurements are highly complementary to the Tandem-L measurements. However, the limited data acquisition capacity of EnMAP (5000 km with 30 km swath width per day) restricts its capacity to monitor the dynamics of large scale (i.e. spatially extended) processes. Accordingly, the synergy with Tandem-L can be exploited only on smaller scales (i.e. local and regional). http://www.enmap.org/ , last accessed 18 October 2016	2018	DE
FLEX - Fluorescence Explorer (complementary)	Spaceborne implementation of a high resolution imaging spectrometer. It measures the fluorescent radiation of vegetation in order to extract photosynthesis activity on a global scale. FLEX is part of ESA's Earth Explorer program. FLEX and Tandem-L are highly complementary, since both gather different processes of the biosphere (vegetation) enabling an improved quantification of its contribution to global carbon cycle. http://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/SP1330-2_FLEX.pdf , last accessed 19 October 2016	2022	ESA
GEDI - Global Ecosystem Dynamics Investigation Lidar (complementary)	Lidar altimeter (full waveform) mission implemented on the International Space Station (ISS). GEDI's main science objectives are: to quantify forest biomass, its spatial distribution and change caused by disturbances and deforestation; to measure the 3D forest structure with respect to biodiversity, and to assess the potential of forest carbon sequestration under different land use and climate conditions. GEDI and Tandem-L are highly complementary missions, since both measure the vertical vegetation structure but at different wavelengths. A common mission phase is not planned, since GEDI's life time is limited to one year. Nevertheless, GEDI data can play an important role in the calibration & validation phase of Tandem-L. http://eosps.nasa.gov/missions/global-ecosystem-dynamics-investigation-lidar , last accessed 19 October 2016	2018	US
ICESat-2 - Ice, Cloud and land Elevation Satellite-2 (complementary)	Satellite Lidar altimeter mission ($\lambda=532$ nm). The primary scientific mission goals are within the cryosphere: To measure height differences of polar ice sheets and glaciers in order to quantify their contribution to current and fu-	2017	US

	ture sea level change; to measure changes in sea-ice thickness in order to examine exchanges of energy, mass and moisture between the ice, the ocean and the atmosphere. The determination of forest height for biomass estimation is a secondary mission goal. The high complementarity between ICESAT-2 and Tandem-L is based on the operation at largely different spectral windows. While ICESat-2 measurements ice surfaces with a high accuracy, Tandem-L covers the volume structure of the ice mass. Combining both measurements allows the accurate reconstruction of the mass balance. http://icesat.gsfc.nasa.gov/icesat2/, last accessed 19 October 2016		
NISAR – NASA-ISRO Synthetic Aperture Radar	Spaceborne SAR mission operating at L- and S-band ($\lambda=12$ and 24cm). The main science objectives are the accurate measurements of surface deformation due to volcanic, tectonic or subsidence processes, glacier flow velocity measurements in the cryosphere, and in determining the drift velocity of sea ice in the polar regions. Secondary mission objectives are the mapping of vegetation biomass and its change in low biomass biomes (up to 100t/ha) and the classification of agricultural cover. http://nisar.jpl.nasa.gov/, last accessed 19 October 2016	2020-2023	US, IN
SAOCOM – Argentine Micro-waves Observation Satellite	Spaceborne SAR mission operating at L-band ($\lambda=24\text{cm}$). The main scientific goal is to measure soil moisture over Argentina's agricultural areas (Pampa). To increase the temporal resolution two satellites (SAOCOM-A and SAOCOM-B) phased by 180° are foreseen. http://www.conae.gov.ar/index.php/english/satellite-missions/saocom/introduction, last accessed 19 October 2016	A 2017-2022 B 2018-2022	AR, IT
SAOCOM-cs – Argentine Micro-waves Observation Satellite – Companion Satellite	Spaceborne SAR mission operating at L-band ($\lambda=24\text{cm}$) utilizing a passive small satellite flying in close formation to SAOCOM-B (see previous mission above) and receiving its echo signals. SAOCOM-cs is a demonstrator mission aiming at testing and validating a number of new SAR techniques (such as tomography for 3D imaging of forest areas, and bistatic polarimetry for soil moisture measurements). An intended large-scale product is the forest structure in boreal zones. The mission concept does not provide global coverage. http://seom.esa.int/polarimetrycourse2015/files/SAOCOM_MDavidson.pdf, last accessed 19 October 2016	2017-2020	ESA

III.1 Wissenschaftsgebiet Biowissenschaften und Medizin

Biowissenschaften und Medizin befassen sich mit lebenden Organismen, deren Struktur, Funktionen und Beziehungen zur Umwelt. Eine Vielzahl wissenschaftlicher Disziplinen wie Physik, Chemie und Biologie leisten ihre Beiträge dazu.

III.1.a Wissenschaftslandschaft für Forschungsinfrastrukturen in den Biowissenschaften und Medizin

Forschungsgegenstand der Biowissenschaften und Medizin ist in erster Linie die Aufklärung der strukturellen und funktionalen Basis biologischer Phänomene. Dem Wissenschaftsfeld sind darüber hinaus sowohl der Wissenstransfer zwischen Grundlagenwissenschaften und klinischen Anwendungen als auch die Gesundheitspflege sowie die Prävention und Behandlung von Krankheiten zuzuordnen.

Durch die schnellen Entwicklungen neuer Technologien im Bereich der biomedizinischen Forschung (wie z. B. Genomsequenzierung, Hochdurchsatz-Mikroarray und Bildgebungstechnologien) ist es möglich, komplexere Systeme zu untersuchen. Durch diese technischen Entwicklungen und die zunehmende Nutzung hochentwickelter Bioinformatikinstrumente und -datenbanken haben sich die Biowissenschaften und die Medizin mittlerweile zu datenintensiven Wissenschaftsbereichen entwickelt. Der Charakter der biomedizinischen Forschung verändert sich damit hin zu groß angelegten, technologiebasierten (Langzeit-)Studien, für die geeignete Forschungsinfrastrukturen dringend erforderlich sind.

Bisher wurden die neuen Omics-Technologien noch nicht umfassend für die Translation in Gesundheitswissenschaft, Pharmakologie und Medizin genutzt. Eine wesentliche Herausforderung der nächsten Jahrzehnte wird es deshalb sein, die Erkenntnisse der Grundlagenwissenschaften in den Bereichen Gesundheitswissenschaften, Pharmakologie und Medizin zur Anwendung zu bringen.

Der Fokus der Forschungsinfrastrukturvorhaben im aktuellen Roadmap-Prozess liegt auf der biomedizinischen Bildgebung im Spektrum von nicht-invasiven mikroskopischen und makroskopischen Techniken mit höchster Auflösung. Mit der Bildgebung an der Spitze der interdisziplinären biomedizinischen Forschung kann ein tieferes Verständnis biologischer Prozesse erwartet werden, das die Biowissenschaften und Medizin wesentlich voranbringen wird.

Biomedizinische Bildgebung bezeichnet die Technik und den Prozess der Entstehung visueller Darstellungen des Körperinneren für die klinische Analyse

und medizinische Eingriffe, sowie die visuelle Darstellung der Funktion spezifischer Organe, Gewebe oder Zellen. Die Auswahl der spezifischen Bildgebungstechnik steht im Zusammenhang mit der wissenschaftlichen Fragestellung.

Mit modernen Bildgebungstechnologien, wie z. B. der fortgeschrittenen Lichtmikroskopie (*AdvancedLight Microscopy*), der Magnetresonanztomographie, der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) und der Spektroskopie können biologische Funktionen im Kontext von physiologischen und pathologischen Bedingungen über das gesamte Spektrum von einzelnen Molekülen und einzelnen Zellen bis hin zur Ganzkörperdarstellung von Tieren und Menschen untersucht werden. Die Verfügbarkeit und der Zugang zu den entsprechenden Einrichtungen der Bildgebung sind daher für die biomedizinischen Wissenschaften unerlässlich. Für diese neuen Ansätze im Bereich der Lebenswissenschaften sind technisch und logistisch herausfordernde Screeninganlagen mit Cutting-Edge-Methoden und Datenbanken erforderlich, was aufgrund der schnellen Entwicklung neuartiger hochauflösender Technologien in der Bildgebung auch zu einem zunehmenden Bedarf an Technologieexpertise und Kompetenzen im Datenmanagement führt.

Die biologischen und molekularen Bildgebungsmethoden ermöglichen die Visualisierung von biologischen Prozessen. In Kombination mit Funktionsanalysen können so physiologische und pathophysiologische Mechanismen in lebenden Zellen in Echtzeit und bei hoher räumlicher Auflösung sichtbar gemacht werden. Im Vergleich zu den sogenannten Omics-Technologien wie der Genomik, Proteomik und Metabolomik reflektieren diese funktionalen Bildgebungsansätze die Dynamik, Interaktionen und den Status eines spezifischen Moleküls in dessen natürlicher Umgebung im Laufe der Zeit auf präzisere Art und Weise. Dadurch können sie einen Beitrag zur Identifizierung und Validierung von Biomarkern sowie zur Diagnose von diversen Erkrankungszuständen leisten, beispielsweise von neuronalen Erkrankungen, Infektionskrankheiten und Krebserkrankungen. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Grundlagenforschung, Translationsforschung und klinischer Forschung unter Verwendung einer gemeinsamen Bildgebungsinfrastruktur kann so den Transfer grundlegender biologischer Erkenntnisse aus Zellen in Tiermodellen von humanen Erkrankungen in eine klinische Anwendung ermöglichen.

Mikroskopie

Durch Mikroskope werden Objekte und Bereiche von Objekten sichtbar gemacht, die außerhalb des Auflösungsbereichs des menschlichen Auges liegen. Die drei Teilbereichen der Mikroskopie sind die optische Mikroskopie, die Elektronenmikroskopie und die Rastersondenmikroskopie. Die optische und die Elektronenmikroskopie umfassen die Diffraktion, Reflektion oder Refraktion von elektromagnetischen radioaktiven Strahlen, die mit der Probe intera-

gieren sowie die Erfassung der Streustrahlung oder eines anderen Signals, um ein Bild zu erzeugen. Die Rastersondenmikroskopie beinhaltet die Interaktion einer Rastersonde mit der Oberfläche der Probe. Die Entwicklung der durch die Mikroskopie revolutionierten Biologie brachte das Feld der Histologie hervor und stellt eine unverzichtbare Technik in den Lebens- und physikalischen Wissenschaften dar.

Die optische oder Lichtmikroskopie beinhaltet den Durchtritt von sichtbarem Licht durch die Probe oder die Reflektion des Lichts von der Probe über eine einzelne oder mehrere Linsen, um eine vergrößerte Ansicht der Probe zu ermöglichen. Das daraus resultierende Bild kann direkt mit dem Auge betrachtet, auf einer fotografischen Platte abgebildet oder digital erfasst werden. Die einzelne Linse mit deren Zubehör oder das Linsensystem und die Bildgebungs-ausrüstung bilden gemeinsam mit der dazugehörigen Beleuchtungstechnik, dem Probenhalter und dem Träger das Basislichtmikroskop. Die Entwicklung der supraauflösenden Fluoreszenzmikroskopie ermöglichte der optischen Mikroskopie den Übergang in den Nanobereich.

Die Elektronenmikroskopie verwendet Mikroskope, die einen Strahl mit beschleunigten Elektronen als Beleuchtungsquelle nutzen. Da die Wellenlänge eines Elektrons bis zu 100.000-mal kürzer sein kann als jene der sichtbaren Lichtphotonen, verfügt das Elektronenmikroskop über ein höheres Auflösungsvermögen als ein Lichtmikroskop und kann die Struktur von noch kleineren Objekten anzeigen. Elektronenmikroskope werden genutzt, um die Ultrastruktur einer großen Bandbreite von biologischen und anorganischen Proben zu untersuchen, zu denen Mikroorganismen, große Moleküle und Biopsieproben gehören.

Die Rastersondenmikroskopie (SPM, *scanning probe microscopy*) ist ein Teilbereich der Mikroskopie, der Bilder von Flächen unter Verwendung einer physischen Sonde liefert, mit der die Probe gescannt wird. Die SPM wurde im Zusammenhang mit der Erfindung des Rastertunnelmikroskops entwickelt, bei dem es sich um ein Instrument zur bildlichen Darstellung von Flächen im atomaren Maßstab handelt.

Makroskopie

Im makroskopischen Maßstab sind die Objekte oder Phänomene groß genug, um praktisch mit bloßem Auge ohne Vergrößerungsgeräte erkennbar zu sein. Die am häufigsten genutzten makroskopischen Bildgebungstechniken sind Ultraschall, Röntgen und die Nuklearmedizin sowie die Endoskopie, Magnetresonanztomographie und Computertomographie.

Beim medizinischen Ultraschall (auch als diagnostische Sonographie oder Ultrasonographie bekannt) handelt es sich um eine diagnostische Bildgebungstechnik. Diese wird verwendet, um interne Körperstrukturen wie Sehnen,

Muskeln, Gelenke, Gefäße und innere Organe erkennen zu können und Ursachen von Erkrankungen zu finden oder Pathologien auszuschließen. Ultraschallbilder, die auch als Sonogramme bezeichnet werden, werden erzeugt, indem Ultraschallimpulse mit Hilfe einer Sonde in das Gewebe gesendet werden. Die Schallwellen werden vom Gewebe zurückgeworfen, wobei verschiedene Gewebe unterschiedliche Schallgrade reflektieren. Diese Echos werden aufgezeichnet und als Bild dargestellt.

Beim Röntgen handelt es sich um eine Bildgebungstechnik, bei der die Röntgenstrahlen durch den Körper auf einen Detektor projiziert werden. Das Bild wird basierend darauf erstellt, welche Strahlen den Körper durchdringen (und am Detektor ankommen) und welche Strahlen innerhalb des Körpers des Patienten absorbiert oder verteilt werden (und somit nicht am Detektor ankommen).

Bei der Nuklearmedizin werden radioaktive Substanzen zur Diagnose und Behandlung von Erkrankungen genutzt. Dabei wird die Strahlung aufgezeichnet, die aus dem Inneren des Körpers abgegeben wird. Radiopharmaka werden eingenommen, um die abgegebene Strahlung anschließend mit externen Detektoren zu erfassen und daraus Bilder zu erzeugen. Die Einzelphotonen-Emissionscomputertomographie (SPECT) und die Positronenemissionstomographie (PET) sind die beiden am häufigsten genutzten bildgebenden Verfahren in der Nuklearmedizin.

Bei der Endoskopie wird ein Instrument verwendet, welches als Endoskop bezeichnet wird, um das Innere eines Hohlorgans oder einer Körperhöhle zu untersuchen. Im Gegensatz zu den meisten anderen bildgebenden Verfahren werden Endoskope direkt in das Organ eingeführt.

Die Magnetresonanztomographie ist eine medizinische Bildgebungstechnik zur Darstellung der Anatomie und der physiologischen Prozesse des Körpers sowohl im gesunden als auch im kranken Zustand. MRI-Scanner verwenden starke magnetische Felder, Radiowellen und Feldgradienten, um Bilder des Körpers zu erzeugen. Die meisten MRI-Aufnahmen zeigen im Wesentlichen die Position von Wasser und Fett im Körper an.

Bei einer Computertomographie (CT) werden computerverarbeitete Kombinationen aus vielen Röntgenaufnahmen verwendet, die aus verschiedenen Winkeln aufgenommen wurden, um (tomographische) Querschnittsbilder (virtuelle „Scheiben“) von spezifischen Bereichen eines gescannten Objekts zu erzeugen. Ein dreidimensionales Bild des Inneren des Objekts wird aus einer großen Anzahl von zweidimensionalen radiographischen Aufnahmen erzeugt, die um eine Rotationsachse herum aufgenommen wurden.

Die Biophotonik kann als „die Entwicklung und Anwendung von optischen Technologien, insbesondere von Bildgebungstechniken, zur Studie von biologischen Molekülen, Zellen und Geweben“ beschrieben werden. |¹¹⁵ Die Anwendungen reichen von der Grundlagenforschung im Bereich der Zellbiologie bis zu diagnostischen Ansätzen in der Medizin. Einer der Hauptvorteile der Nutzung optischer Techniken, die Bestandteil der Biophotonik sind, besteht darin, dass sie die Unversehrtheit der untersuchten biologischen Zellen bewahren. Die Biophotonik kann genutzt werden, um biologische Materialien oder Materialien mit vergleichbaren Eigenschaften zu studieren, hier vor allem Streumaterialien im mikroskopischen oder makroskopischen Maßstab. Die Biophotonik ermöglicht multidisziplinäre Forschungsansätze in den Lebenswissenschaften. So stellt beispielsweise die Anwendung und Kombination von photonischen Technologien in der Infektionsforschung eine bedeutende und interdisziplinäre Möglichkeit dar, um diagnostische und therapeutische Ansätze in Bezug auf Infektionskrankheiten weiterzuentwickeln.

III.1.b Wichtige bereits vorhandene Forschungsinfrastrukturen im Bereich der biomedizinischen Bildgebung

Angesichts der stetig steigenden Nachfrage solcher Technologien in den Biowissenschaften und der Medizin ist ein Bedarf an Investitionen in Forschungsinfrastrukturen mit hoch entwickelter Ausstattung zu verzeichnen. Neben dem uneingeschränkten Zugang zu den entsprechenden Instrumenten sind geeignete Infrastrukturen für den Umgang und die Speicherung von großen Datenmengen ebenfalls wesentlicher Bestandteil derartiger Forschungsinfrastrukturen. Für diesen Aufgaben- und Anwendungsbereich existieren bereits Forschungsinfrastrukturen, die mit Blick auf die vorliegenden Konzepte im Roadmapverfahren als konkurrierend oder komplementär einzuordnen sind. Ergänzend zu den im Anhang gelisteten FIS sollen bereits hier einige komplementäre FIS genannt werden, die für alle biomedizinischen Konzepte im Rahmen des Bewertungsprozesses relevant sind.

BioMedBridges

BioMedBridges ist ein Zusammenschluss von zwölf Forschungsinfrastrukturen aus dem Bereich der biomedizinischen Wissenschaften. In dem auf der ESFRI-Roadmap befindlichen Projekt wird eine E-Infrastruktur entwickelt, die als technische Brücke zwischen den beteiligten Forschungsinfrastrukturen fungieren soll. Die Daten der jeweiligen Forschungsinfrastrukturen werden so verknüpft und in die biologischen, medizinischen, translationalen und klini-

| ¹¹⁵ King's College London Centre for Biophotonics.

schen Bereiche integriert. Auf diese Weise sollen die biomedizinischen Ressourcen in Europa gestärkt werden. |¹¹⁶

EU-Openscreen

Die *European Infrastructure of Open Screening Platforms for Chemical Biology* (EU-OPENSREEN) ist eine verteilte FIS, die darauf ausgerichtet ist, neuartige kleinformatige chemische Substanzen zu entwickeln, die spezifische biologische Reaktionen in Organismen, Zellen oder zellulären Bestandteilen hervorrufen.

EU-OPENSREEN ermöglicht den Einsatz von Substanz-Screenings, um neuartige therapeutische Zielstrukturen zu validieren. Darüber hinaus werden mechanistische Studien unterstützt, die grundlegende Fragen in der zellulären Physiologie (über menschliche, tierische und pflanzliche Systeme) mit den Methoden der chemischen Biologie behandeln. |¹¹⁷

Janelia Advanced Imaging Center (AIC)

Das AIC zielt darauf ab, Bildgebungstechnologien, die bei Janelia entwickelt wurden, in großem Umfang und kostenlos für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verfügbar zu machen, bevor die Instrumente kommerziell verfügbar sind. Durch die strategische operative Positionierung an der Schnittstelle von technikkwissenschaftlichen und biologischen Anwendungen verfügt das AIC über die Voraussetzungen, um die Zeit zwischen der Instrumentenentwicklung und der weit verbreiteten Nutzung in dem zunehmend technologieintensiven Feld der Biologie zu verkürzen. |¹¹⁸

EuroBioImaging

Die *European Research Infrastructure for Imaging Technologies in Biological and Biomedical Sciences* (Euro-BioImaging, EuBI) bietet als verteilte Infrastruktur einen offenen Zugang zu einer großen Bandbreite hochmoderner Technologien im Bereich der biologischen und medizinischen bildgebenden Verfahren. Daneben bietet EuBI Unterstützungsangebote sowohl für die Arbeit mit Bilddaten als auch Schulungen für unterschiedliche Nutzergruppen an. Neuartige Bildgebungstechnologien werden kontinuierlich geprüft, um so das Angebot von hochmodernen Instrumenten langfristig sicherzustellen. Die Infrastruktur besteht aus einer Reihe komplementärer, eng miteinander verknüpfter und geografisch verteilter Knotenpunkte in Form von spezialisierten Bildgebungsanla-

|¹¹⁶ BiomedBridges - Errichtung von Datenbrücken von der Biologie zur Medizin in Europa. <http://www.biomedbridges.eu/>, zuletzt abgerufen am 09.02.2017.

|¹¹⁷ ESFRI Strategy Report on Research Infrastructures, Roadmap 2016. https://ec.europa.eu/research/infrastructures/pdf/esfri/esfri_roadmap/esfri_roadmap_2016_full.pdf, zuletzt abgerufen am 09.02.2017.

|¹¹⁸ <https://www.janelia.org/>, zuletzt abgerufen am 09.02.2017.

gen. Damit werden europäische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in allen Mitgliedsstaaten erreicht. Die Koordinierung erfolgt durch die EuBI-Zentrale (*hub*), die eine virtuelle Zugangsplattform zur Verfügung stellt, über die die Nutzerinnen und Nutzer der EuBI-Knoten zu den gewünschten Bildgebungstechnologien weitergeleitet werden. Die EuBI-Zentrale ist auch der Ort, an dem zielgruppenspezifische Datenmanagement- und Schulungsaktivitäten entwickelt und koordiniert werden |¹¹⁹. Forschungsinfrastrukturvorhaben im Bereich der Biowissenschaften und Medizin

Im gegenwärtigen nationalen Roadmap-Prozess befinden sich vier Forschungsinfrastrukturvorhaben in der Bewertung, die dem Wissenschaftsfeld der Biowissenschaften und Medizin zuzuordnen sind und die im Zusammenhang mit den in III.1.b genannten bereits bestehenden Forschungsinfrastrukturen stehen.

Die German BioImaging Forschungsinfrastruktur (GerBI-FIS / *German BioImaging Research Infrastructure*) ist eine verteilte FIS für die biomedizinische Bildgebung. Die fünf Knotenpunkte sollen nach dem Beispiel der *Advanced Light Microscopy Core Facilities* (ALM-CF) den Zugang zu den neuesten technischen Entwicklungen im Bereich der Mikroskopie bieten, bevor diese kommerziell verfügbar werden. Die zugrunde liegende Idee besteht darin, exzellente Entwicklergruppen von Instrumenten und Methoden der biologischen Bildgebungstechnologien mit anwendungsorientierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus dem Bereich der Lebenswissenschaften und biomedizinischen Wissenschaften zusammenzubringen, und so einen Zugang zu einer einzigartigen Ausstattung und Expertise zu gewähren. Für eine Liste der konkurrierenden und komplementären Infrastrukturen im Bereich der Materialforschung siehe III.2.e.

Das Leibniz-Zentrum für Photonik in der Infektionsforschung (LPI, *Leibniz Center for Photonics in Infection Research*) zielt darauf ab, ein nutzerorientiertes offenes Zentrum für Photonik und Optik für die Entwicklung von fundamental neuen Verfahren zur Diagnose, zum Monitoring und zur Behandlung von Infektionen zu etablieren und diese Verfahren in die klinische Anwendung zu übertragen. Der zentrale Ansatz des LPI besteht darin, innovative photonikbasierte Diagnose- und Behandlungsmethoden zur Bekämpfung von Infektionskrankheiten zu entwickeln. Die Konzeptverantwortlichen beabsichtigen, neuartige Technologie- und Behandlungsansätze entlang der gesamten Innovations-Pipeline von der Idee bis hin zur validierten Methode innerhalb einer FIS zu implementieren. Für eine Liste der konkurrierenden und komplementären Infrastrukturen siehe III.3.e.

| ¹¹⁹ ESFRI Strategy Report on Research Infrastructures, Roadmap 2016. https://ec.europa.eu/research/infrastructures/pdf/esfri/esfri_roadmap/esfri_roadmap_2016_full.pdf, zuletzt abgerufen am 09.02.2017.

Mit der Nationalen Biomedizinischen Bildgebungseinrichtung (NIF, *National Biomedical Imaging Facility*) sollen wichtige diagnostische Bildgebungstechnologien, wie z. B. MRI, Positronenemissionstomographie (PET), Magnetoenzephalographie (MEG), EEG und bildgebende Hybridtechnologie (hybride MR-PET) zur Verfügung gestellt werden. NIF zielt außerdem darauf ab, den weltweit ersten 14 T-Scanner für Menschen zu etablieren. Neun Forschungsinfrastrukturen für die biomedizinische Bildgebung existieren bereits, wie beispielsweise das 10,5 T-Gesamtkörpersystem an der University of Minnesota. Vier weitere FIS befinden sich derzeit in der Konstruktionsphase, z. B. das 11,7 T-Gesamtkörpersystem in der NeuroSpin-Forschungsanlage in Paris. Für eine Liste der konkurrierenden und komplementären Infrastrukturen siehe III.4.e.

Im National Imaging Science Center (NISC) sollen mikroskopische Technologien mit makroskopischen Bildgebungsmodalitäten unter einem Dach vereint werden. Das NISC wird Expertengruppen aus verschiedenen Feldern der bildgebenden Wissenschaften zusammenbringen und Bildgebungsmodalitäten integrieren. Auf diese Weise sollen komplementäre Informationen mit verschiedenen zeitlichen und räumlichen Dimensionen integriert werden. Für eine Liste der konkurrierenden und komplementären Infrastrukturen siehe III.5.e.

III.2 German Biolmaging Forschungsinfrastruktur (GerBI-FIS)

III.2.a Wissenschaftliches Potenzial

Beschreibung

Bildgebende Verfahren sind heutzutage unentbehrlich, um die molekularen Grundlagen von Krankheiten aufzuklären und neue therapeutische Ansätze an Modellsystemen zu überprüfen, bevor sie am Menschen angewandt werden. Die zugrundeliegende komplexe Raum-Zeit-Dynamik zellulärer Prozesse kann nur mit Hilfe modernster bildgebender Technologien entschlüsselt werden. So ermöglicht es die Lichtmikroskopie einzelne Zellen eines intakten Organismus dabei zu beobachten, wie sie wachsen, sich teilen und auf Umgebungsreize reagieren. In Kombination mit elektronenmikroskopischen Techniken eröffnet die hochentwickelte Lichtmikroskopie die Möglichkeit, diese Vorgänge im strukturellen Kontext der Zelle zu untersuchen und mit der Architektur und Lokalisation einzelner Proteine und Proteinkomplexe zu korrelieren.

GerBI-FIS möchte zukunftsweisende bildgebende Technologien anbieten und sie in eine funktionale, nutzerorientierte Plattform integrieren, die als nationale Ressource für die Forschung in den Lebenswissenschaften dienen soll. Dafür wird die FIS die strukturellen, apparativen und operativen Voraussetzungen schaffen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus dem In- und Ausland sollen mit Hilfe von GerBI-FIS neue Mikroskope in einem frühen Stadium der Entwicklung zur Verfügung gestellt werden, deutlich bevor diese kommer-

ziell erhältlich sind. Daraus sollen neue Erkenntnisse hervorgehen, die wiederum in die Geräteentwicklung einfließen, diese optimieren und den Innovationsprozess ankurbeln.

GerBI-FIS wird in direkter Zusammenarbeit mit Entwicklern optischer Technologie aufgebaut. Ziel ist es, den Entwicklern die Möglichkeit zu geben, ihre neuesten Geräte über entsprechend ausgestattete ALM-CFs einer größeren Gruppe von Anwendern aus den Lebenswissenschaften zugänglich zu machen. Dank des breiten Spektrums an Applikationen soll schnell deutlich werden, welche Methoden sich für welche Anwendungen am besten eignen. Eine enge Anbindung an die industriellen Hersteller sowie der rege Austausch mit ihnen, soll die gezielte und effiziente Realisierung von kommerziellen Mikroskopen fördern.

GerBI-FIS wird sich dem Umgang mit großen Bilddatenmengen sowie ihrer Analyse und Quantifizierung annehmen, laut Konzept eine der zentralen Herausforderungen für die Zukunft bildgebender Verfahren. Dafür beabsichtigt GerBI-FIS, die an verschiedenen Knoten vorhandenen Kapazitäten und Expertise in einem übergeordneten virtuellen Knoten zu bündeln. Die gesamte Wissenschaftlergemeinschaft wird über ein zentrales Online-Portal Zugang zu den neuesten Algorithmen und Softwareentwicklungen für Bildgebung erhalten.

GerBI-FIS orientiert sich am renommierten AIC |¹²⁰ des amerikanischen *Howard Hughes Medical Institute* und wäre laut Konzept in Europa einzigartig. Die zu GerBI-FIS komplementäre Infrastruktur auf europäischer Ebene ist *Euro-BioImaging* (EuBI). Im Dezember 2015 ist das verwandte, weltweite Projekt *Global BioImaging* ins Leben gerufen worden. Es wird finanziert durch Horizont 2020 und soll die Zusammenarbeit zwischen EuBI und Bildgebungs-Infrastrukturen in Australien, Argentinien, Südafrika, Indien, Japan und den USA unterstützen. Die Möglichkeit einer Zusammenarbeit von GerBI-FIS mit anderen nationalen FIS besteht mit *EU-Openscreen*. Außerdem werden synergistische Effekte zum geplanten Leibniz-Zentrum für Photonik in der Infektionsforschung (LPI) erwartet.

Bewertung

Die geplante FIS im Feld der biomedizinischen Bildgebung ist von großer strategischer Bedeutung und Relevanz, und zwar sowohl für Deutschland als auch Europa. Sie kommt zudem genau zum rechten Zeitpunkt.

Es handelt sich hinsichtlich der Bildgebungstechnologien und der Standorte um eine verteilte FIS. Das Konzept sieht vor, dass Imaging-Knoten ausgeschlos-

| ¹²⁰ <https://www.janelia.org>

sen werden können, wenn die dort vorhandenen Technologien sich nicht durchsetzen, aber auch neue Knoten aufgenommen werden können. Dies ermöglicht der FIS zukünftig schnell auf sich verändernde Anforderungen im Feld der biologischen Bildgebung zu reagieren.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt können die meisten zentralen Einrichtungen (*core facilities*) keine hochmodernen Methoden zur Verfügung stellen, bevor diese kommerziell verfügbar sind. GerBI-FIS wird eine enge Zusammenarbeit zwischen Entwicklern von modernsten Bildgebungstechnologien sowie Forscherinnen und Forschern ermöglichen, die diese Technologien nutzen, um wichtige biologische und biomedizinische Fragenstellungen zu beantworten. Neue und modernste Bildgebungstechnologien in das Feld der Biologie zu bringen, ist überaus wichtig um Fortschritte in den Biowissenschaften zu erreichen und wird voraussichtlich zu signifikanten neuen technologischen Innovationen führen. Ein brain-gain-Effekt wird erwartet, insbesondere bei Antragstellerinnen und Antragstellern am Karrierebeginn, die teils nur einen begrenzten Zugang zu neuesten Geräten haben.

Die FIS verfügt über weitreichende Unterstützung aus der deutschen biologischen Bildgebungsgemeinschaft sowie von Industriepartnern. GerBI-FIS baut auf dem starken Engagement der beteiligten Institutionen auf und der großen Bereitschaft zur Zusammenarbeit der Entwicklerinnen und Entwickler, Nutzerinnen und Nutzer sowie Industriepartner.

Der Betrieb der verschiedenen Komponenten wurde sorgfältig geplant. Die FIS wird Knoten schaffen, die von Institutionen geleitet werden, welche über ausgewiesene Expertise in der Entwicklung und im Betrieb neuer Bildgebungstechnologien verfügen. Alle fünf Knoten und der *hub* mit dem angegliederten virtuellen Knoten sind geografisch über Deutschland verteilt und verfügen über gut etablierte internationale Verbindungen. Etablierte ALM-CFs ergänzen die Infrastruktur und die Expertise, um Nutzerinnen und Nutzern, u. a. aus dem Bereich der Biologie, die notwendige Unterstützung zu geben. Die Struktur der FIS ist für die Selbstorganisation geeignet, sodass insbesondere die Möglichkeit besteht, dank des engen Kontakts zwischen den Knoten neue Beziehungen und Verbindungen zu schaffen, einschließlich derjenigen zwischen den Softwareentwicklerinnen und Softwareentwicklern und den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, welche die Mikroskope entwickeln und betreiben. Eine Stärke der FIS ist, so schnell wie möglich vielen Antragstellerinnen und Antragstellern den Zugang zu ermöglichen, während eine konstante, durch die Nutzerinnen und Nutzer angeregte, Weiterentwicklung der Geräte erfolgt.

Die Betriebsmodi von GerBI-FIS sind flexibel und anpassungsfähig, um neue Technologien und die dazugehörige Hardware und Software schnell adaptieren zu können. Es gibt weltweit keinen ähnlichen Ansatz mit derart ehrgeizigen Zielen. GerBI-FIS orientiert sich am erfolgreichen Konzept des AIC und hebt

dieses durch den Aufbau eines verteilten Netzwerks von Forschungsknoten in Deutschland auf die nächste Stufe.

Die Finanzierung von GerBI-FIS wird voraussichtlich die Beteiligung Deutschlands an Euro-BioImaging ermöglichen. Die Implementierung der FIS wird durch die früheren Erfahrungen der beteiligten Institutionen, die sie sowohl über das Konzept von *German Euro-BioImaging* (GEBI) |¹²¹ als auch über Euro-BioImaging sammeln konnten, bedeutend erleichtert.

III.2.b Nutzung

Beschreibung

Laut Schätzungen der Konzeptverantwortlichen werden jährlich etwa 5.500 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Interesse an den in der GerBI-FIS angebotenen Imaging-Technologien haben. Der Anteil der internationalen Nutzerinnen und Nutzer wird bei ca. 20-30 % der Gesamtnutzerzahl liegen. Eine der Software-Plattformen, die im Rahmen der GerBI-FIS als cloudbasierter Service angeboten werden soll, hat bereits 25.000 aktive Nutzerinnen und Nutzer weltweit. Die Mehrzahl der Nutzerinnen und Nutzer von *Imaging-CFs* wird voraussichtlich aus den Lebenswissenschaften sowie von Universitäten und Instituten der deutschen Forschungsorganisationen stammen. Die GerBI-FIS erwartet in Zukunft zunehmend Nutzerinnen und Nutzer aus der Industrie anzuziehen.

Der Zugang zu den an den einzelnen GerBI-Knoten angebotenen Imaging-Technologien soll vom *hub* koordiniert werden. Das Zugangskonzept orientiert sich an den im Rahmen von ESFRI-Projekten, insbesondere von EuBI, erarbeiteten Leitlinien. In Anlehnung an das Modell des AIC ist geplant einen Fonds einzurichten, aus dem Stipendien für die Nutzung der GerBI-FIS bezahlt werden können. Die Stipendien werden dann auf Antrag und abhängig von der wissenschaftlichen Qualität der vorgeschlagenen Projekte vergeben.

Eine zentrale Komponente der GerBI-FIS soll das Datenmanagement für experimentelle Rohdaten sein sowie die Entwicklung eines zentralen, nutzerfreundlichen Zugangsportals zur Bildanalyse. Damit wird laut Konzept Nutzern der Zugriff auf neue Bildanalysealgorithmen ermöglicht, welche speziell auf die neuen Mikroskopie-Techniken zugeschnitten sind. Die Datenspeicherung soll als hybrides System etabliert werden, in dem Rohdaten bis zur Publi-

|¹²¹ German Euro-BioImaging - GEBI (Deutsche Forschungsinfrastruktur für Bildgebungstechnologien in der Biologie und den Medizinwissenschaften/ *German Research Infrastructure for Imaging Technologies in Biology and Medical Sciences*) ist ein Konzept, welches in der Pilotphase des nationalen Roadmap-Prozesses eingereicht wurde. http://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/2841-13_engl.pdf, zuletzt abgerufen am 09.02.2017.

kation an den generierenden Knoten vorgehalten werden, um danach in einem zentralen Speicher für Referenzdatensätze abgelegt zu werden. Die dort abgelegten Daten sollen der wissenschaftlichen Forschungsgemeinschaft unter bestimmten, im Konzept dargestellten Bedingungen zur Verfügung gestellt werden. Um die qualitative und quantitative Auswertung der zunehmend entstehenden großen Datenmengen sicherzustellen, beabsichtigt GerBI-FIS die Kompetenzen der teilnehmenden Softwareentwicklerinnen und -entwickler in dem virtuellen Knoten zu bündeln. Die Integrierung einer Open-Access-Strategie wird von GerBI-FIS angestrebt.

Die Qualität der Knoten und des *hubs* soll regelmäßig evaluiert werden. In den institutionellen Rahmenbedingungen wird klar geregelt sein, wie neue Mitglieder aufgenommen und bestehende ausgeschlossen werden. Der wissenschaftliche Beirat berät den GerBI-FIS Aufsichtsrat kontinuierlich. Die GerBI-FIS Nutzerinnen und Nutzer verpflichten sich, die DFG-Empfehlungen "Standards bezüglich der Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis" einzuhalten.

Bewertung

Es wird erwartet, dass die Nutzerinnen und Nutzer aus den Feldern der Lebenswissenschaften, Grundlagenmedizin, Photonik, Biophotonik sowie Nanobiophotonik von Universitäten und Forschungsinstitutionen aus ganz Deutschland und dem Ausland kommen werden. Eine andere Nutzergruppe wird voraussichtlich aus Unternehmen kommen, insbesondere aus kleinen Start-Ups. Die Schätzung der Konzeptverantwortlichen von etwa 5.000 potenziellen Nutzerinnen und Nutzern ist eher konservativ und würde dennoch bei weitem die Kapazitäten der FIS übersteigen. Die umfangreichen Schulungs- und Datenanalyseangebote der FIS, die über den virtuellen Knoten angeboten werden, können eine noch deutlich größere Nutzergruppe bedienen. Allerdings wird die Anzahl der Nutzerinnen und Nutzer stark von dem einfachen Zugang zu den Knoten abhängen, vom Preisgestaltungsmodell für die verschiedenen Nutzergruppen und von der Art der verfügbaren Technologien. Die Nutzerorientierung dieser FIS wird als Stärke betrachtet.

Alle Aspekte des Managements und des Services wurden von den Konzeptverantwortlichen gut berücksichtigt. Dazu zählen die Transparenz und die Angemessenheit der Zugangsbedingungen, der zentralisierte Antragsprozess, die auf wissenschaftlicher Qualität basierende Zuteilung von Forschungsplätzen, die unterstützenden Einrichtungen zur Vorbereitung der Proben am Knoten, die Zugänglichkeit, die Qualitätssicherung, die Datenspeicherung und -analyse, die Verantwortlichkeiten, die Eignung der Zugangsbedingungen zur Schaffung der bestmöglichen Forschungsbedingungen, die Schulungsleistungen für die Nutzerinnen und Nutzer, die Möglichkeiten zur Nutzerbeteiligung an der Weiterentwicklung der FIS und die gesetzlichen Bedingungen. Die speziellen vom

hub organisierten Schulungsevents sind eine Stärke des Konzepts. Die Einbeziehung neuer Nutzerinnen und Nutzer während des Aufbaus und der Weiterentwicklung der FIS ist ein inhärenter Bestandteil des Zugangskonzepts. Es wird wichtig sein, die Zugangsbarriere so niedrig wie möglich zu halten, also niedrige Nutzungsgebühren zu gewährleisten und einen entsprechenden Nutzersupport zur Einwerbung nationaler und internationaler Fördermittel anzubieten. Die Konzeptverantwortlichen sind sich dieser Herausforderung bewusst und haben entsprechende Pläne ausgearbeitet.

Die FIS geht die Herausforderungen großer Datensätze sowie deren gemeinsamer Gewinnung und Verwaltung auf beispielhafte Weise durch eine enge Zusammenarbeit mit deutschen und europäischen Infrastrukturprojekten an. Das Datenkonzept ist gut für hochmoderne Bildgebungstechnologien geeignet, die enorme Datenmengen erzeugen. Der virtuelle Knoten, der für die Datenspeicherung, den Umgang mit den Daten sowie deren Analyse zuständig ist und ein zentrales, benutzerfreundliches Zugangsportal für die Bildanalyse einschließt, ist eine Stärke des Konzepts. Der Plan zur Integration von Entwicklern weit verbreiteter Open-Source-Software (Fiji, ilastik, KNIME) als Zentrum des virtuellen Software-Knotens ist gut durchdacht und wird voraussichtlich einen großen Impact auf die BioImaging-Gemeinschaft haben, und zwar sogar unabhängig von den anderen FIS-Komponenten. Die Aspekte des Datenschutzes und der Datensicherheit, der Schulungsleistungen für das professionelle Datenmanagement, der nachhaltigen Nutzung und Wiederverwendung der Daten und der offenen Datenstrategie werden angemessen angegangen. Die FIS wird ein Langzeitspeicherungssystem (Minstdauer 10 Jahre) für die veröffentlichten Daten am *hub* einrichten. Das Ziel, auf Standards für die notwendigen Metadaten hinzuarbeiten, wird sehr begrüßt.

Die Prozesse für die Projektevaluierung, Ressourcenzuteilung und die Governance sind transparent, demokratisch und folgen den Standards, die von der DFG und ähnlichen Institutionen aufgestellt wurden, um hohe ethische Standards zu gewährleisten. Alle am Vorhaben beteiligten Parteien verfügen über umfangreiche Erfahrungen und Fachkenntnisse, um ein hohes Integritätsniveau zu gewährleisten, einschließlich der Angemessenheit der vorgesehenen Maßnahmen, die für die Qualitätssicherung und die Gewährleistung der Einhaltung der ethischen Grundsätze und der guten wissenschaftlichen Praxis in der Arbeit mit Forschungsdaten und Publikationen vorgesehen sind.

III.2.c Umsetzbarkeit

Beschreibung

Die Trägerinstitutionen der GerBI-FIS verfügen, laut Konzept, über die für die Umsetzung notwendigen technischen und personellen Voraussetzungen. Es bestehen keine technischen Hürden oder Risiken, die der geplanten Zusam-

menarbeit zwischen den etablierten Entwicklergruppen und ALM-CFs im Wege stünden. Während des Aufbaus der FIS ist eine Pilot- oder Testphase geplant, in der die Erfahrungen aus einer limitierten Nutzung in den weiteren Aufbau einbezogen werden sollen.

Zu Beginn der Planungsphase der GerBI-FIS wurden alle Stakeholdergruppen, insbesondere CF-Verantwortliche sowie Mikroskopie-Forscherinnen und -Forscher, in die Planung mit einbezogen. Aus wissenschaftlicher Sicht ist das wichtigste Ziel der institutionellen Rahmenbedingungen der GerBI-FIS, dass alle vertretenen Institute und Universitäten ihren fachlichen Einfluss und ihre Qualifikationen einbringen können. Mitbestimmung und Mitwirkung sollen die zentralen Elemente sein.

Die Führungsstruktur soll sich in drei Ebenen gliedern. Die oberste Ebene wird die Generalversammlung bilden, in der alle zu GerBI-FIS gehörenden Institute und Universitäten vertreten sein werden. Sie wird die Statuten, Regeln und Normen innerhalb der GerBI-FIS definieren und wählt aus ihren Mitgliedern den Aufsichtsrat, das GerBI-FIS *board*. Dieses wird aus jeweils einer Wissenschaftlerin oder einem Wissenschaftler für jeden Knoten bzw. dem *hub* bestehen. Die Geschäftsführung, welche als Exekutive fungiert, wird vom *board* bestellt, beraten und kontrolliert werden, und beabsichtigt ihren Sitz am *hub* einzurichten. Die Rechtsform von GerBI-FIS wird bei Gründung der Infrastruktur voraussichtlich eine gemeinnützige GmbH sein. Die Geschäftsführung soll von einem wissenschaftlichen und einem wirtschaftlichen Beirat unterstützt werden.

Laut Konzept wird GerBI-FIS an allen Standorten über weitreichende administrative und organisatorische Kompetenzen für den Aufbau und den Betrieb der FIS verfügen. Jeder Knoten soll eine koordinierende Wissenschaftlerin bzw. einen Wissenschaftler und eine Kontaktperson bereitstellen, die die Zusammenarbeit der verschiedenen Forschungsgruppen mit den CFs am Standort unterstützt, so dass der jeweilige Knoten einen qualitativ hochwertigen und effizienten Service in Übereinstimmung mit den Zielen von GerBI-FIS erbringen kann. Alle Trägerorganisationen haben sich bereit erklärt, personelle Ressourcen zur Verfügung zu stellen. Zur Qualitätssicherung der Qualifizierung von Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftlern verfügt die Universität Konstanz als Hub-Standort und Koordinationsstelle von German BioImaging über umfassende Erfahrung und wird ein maßgeschneidertes Weiterbildungsangebot entwickeln.

Bewertung

Die Implementierung der Technologien weist ein sehr geringes Risiko auf, weil alle involvierten Institutionen über die notwendigen technologischen Komponenten, nachgewiesene Erfolge in der Entwicklung hochmoderner optischer Geräte und Komponenten sowie qualifiziertes Personal für die Umsetzung der

geplanten Infrastruktur, exzellente Erfahrungen im Bereich der Kooperation zwischen den Knoten und eine gute Expertise in ethischen und rechtlichen Belangen verfügen. Die verwendeten Komponenten und Technologien weisen keine Umweltrisiken auf. Die Bildung von Knoten, die den Zugang zu den Modalitäten koordinieren und die eine große Erfahrung aufweisen, stellt sicher, dass das Vorhaben wie geplant umgesetzt werden kann. Die technischen Modalitäten sind voneinander unabhängig und es werden mehr als 30 individuelle Mikroskope eingerichtet. Daher ist es sehr unwahrscheinlich, dass etwaige Verzögerungen oder sogar Ausfälle bei einzelnen Modalitäten einen Einfluss auf die Implementierung der FIS als Ganzes haben werden. Eine regelmäßige Evaluierung der Modalitäten durch die Nutzerinnen und Nutzern ist im Projekt vorgesehen.

Die Beurteilung von Seiten der Industrie bezüglich des Potenzials für Technologietransfer und Impact, die durch die FIS begünstigt werden sollen, ist erfolgskritisch. Die erwarteten Kooperationen können mindestens zu einer Verbesserung des gegenseitigen Verständnisses und des Informationsaustausches führen und der FIS dabei helfen, Ansätze mit noch größerem Impact zu entwickeln. Einige ähnliche Initiativen sind jedoch fehlgeschlagen, weil es an einer Abstimmung zwischen den Industrie- und Grundlagenforschungspartnern mangelte. Schätzungen, wie stark die Industriepartner die FIS nutzen werden und welche finanziellen Verpflichtungen sie damit eingehen wollen, könnten dieses Risiko mindern.

Die teilnehmenden Institutionen verfügen über ein starkes Interesse und Engagement in Bezug auf das Vorhaben und über beträchtliche Erfahrungen im Management von ähnlichen Projekten sowie bei der Gewährung des Zugangs zu derartigen Anlagen. Die aus dem *hub* und den Knoten bestehende Struktur, die eine enge Zusammenarbeit ermöglicht, ist gut durchdacht und äußerst gut geeignet für eine verteilte FIS. Die FIS wird von den etablierten Infrastrukturen ihrer Knoten profitieren, sodass ein ordnungsgemäßer Betrieb der FIS gewährleistet wird. Die institutionellen Anforderungen im Zusammenhang mit der Integration der FIS in die Strategie aller 18 beteiligten Institutionen sowie die Eignung und Angemessenheit des Projektmanagements in allen Phasen des Betriebs werden innerhalb des Konzepts klar beschrieben. Es wurde ein klarer Governance-Plan aufgestellt, der solide, umsetzbar und für eine verteilte FIS angemessen ist.

Das Personalkonzept für die Entwicklung, Implementierung und den Betrieb der FIS ist angemessen. Für die Umsetzung verfügen die teilnehmenden Institutionen über außerordentlich gut qualifiziertes Personal, sowohl aus dem Bereich der Lebenswissenschaften als auch aus dem Technik-/Informatikbereich. Außerdem sind an allen Knoten neue Personalstellen eingeplant. Die teilnehmenden Institutionen verfügen über Erfahrungen im Bereich des Managements und der Verwaltung, die für die Entwicklung der FIS, ihren Zugang so-

wie Schulungsmaßnahmen wichtig sind. Die Pläne zur Karriereentwicklung des Personals an den Knoten einschließlich des wissenschaftsunterstützenden Personals sind gut ausgearbeitet und beispielhaft.

GerBI-FIS baut auf jahrelangen Erfahrungen der beteiligten Institutionen sowie auf den sehr relevanten Erfahrungen bei GEBI und Euro-BioImaging auf, wo die beteiligten Institutionen wichtige Interessensvertreter waren bzw. sind. Die FIS basiert auf bestehenden *core facilities* im BioImaging-Bereich, die als Zugangspunkte für die Knoten fungieren. Alle fünf Knoten haben sich darauf geeinigt, wie die Technologien, die sie anbieten, verteilt und zugeteilt werden sollen, sowie auf eine gemeinsame Strategie zur Entwicklung neuer Algorithmen und Software-Tools für die Bildverarbeitung. Es liegt ein gemeinsames Finanzierungskonzept vor, welches die Forschungseinrichtungen der zuständigen Institutionen und deren Cluster beinhaltet.

III.2.d Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

Beschreibung

Die Biophotonik wird als eine zukunftssträchtige Forschungsrichtung und eine treibende Kraft der Gesundheitstechnologien erachtet aus der die weltweit führende deutsche optische Industrie Innovationskraft schöpft. Laut Konzept wird GerBI-FIS als Inkubator und Multiplikator für neue Ideen in der biologischen Bildgebung den Forschungsschwerpunkt Biophotonik in Deutschland weiter stärken.

GerBI-FIS möchte als Infrastrukturinitiative eine wichtige Lücke in der europäischen Landschaft nationaler Imaging-Infrastrukturen schließen. Laut Konzept ist die Realisierung Voraussetzung für eine Teilnahme Deutschlands an dem ESFRI-Projekt EuBI, die als entscheidend für die Implementierung und den langfristigen Erfolg der europäischen FIS erachtet wird.

GerBI-FIS wird internationale, insbesondere europäische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler anziehen. Dem wissenschaftlichen Nachwuchs bietet sie eine umfangreiche apparative Ausstattung und somit die Möglichkeit, eigenständig neue Projekte durchzuführen und neue Ideen mit Hilfe von Experten auszuprobieren.

Der Konstanzer *hub* wird den Wissens- und Technologietransfer umsetzen. Durch die Einrichtung des TTC soll ein intensiver Austausch zwischen entwickelnder Industrie und anwendungsorientierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern erreicht werden. Weitere Kommunikations- und Transferkanäle sind u. a. die Webseiten und die Mailliste von *German BioImaging*. Regionale Veranstaltungsformate, die Zusammenarbeit mit Schulen sowie Pressemitteilungen können die breite Öffentlichkeit erreichen.

Die biologische Bildgebungsgemeinschaft kämpft weltweit mit der Kluft zwischen den Entwicklerinnen und Entwicklern der Technologien und den Nutzerinnen und Nutzern, daher gibt es große Erwartungen an die FIS. Deutschland verfügt über eine lange Tradition und eine solide Position als akademischer und industrieller Interessensvertreter im Bereich der Optik und modernen Mikroskopie. Die Kooperationen, welche die FIS ermöglicht, werden sehr relevante wissenschaftliche Resultate erzeugen, die in sehr einflussreichen Fachzeitschriften veröffentlicht werden und auf diese Weise die Bekanntheit Deutschlands und dessen Wettbewerbsfähigkeit in diesem Feld bedeutend stärken werden. Die FIS wird auch Beteiligungen in den relevanten Initiativen auf europäischer Ebene ermöglichen, bei denen in Deutschland ansässige Institutionen derzeit eine führende Position innehaben. Die geplante Einbeziehung von kommerziellen Prototypen in den Gerätepool bietet deutschen Herstellern eine internationale Plattform, um ihre Expertise und Produkte hervorzuheben.

Der Zugang zu neuartigen Bildgebungsmethoden ist unerlässlich für erfolgreiche biologische Forschungsprojekte und wird wahrscheinlich besonders Nachwuchsforscherinnen und -forscher anziehen. Überlegungen bezüglich einer wissenschaftlichen Karriere in Deutschland würden von der geplanten FIS sicherlich positiv beeinflusst werden. GerBI-FIS wird auf mittel- und langfristige Sicht eine attraktive, international anerkannte FIS sein.

Die deutsche Industrie verfügt über eine führende Rolle im Feld der Optik und des *BioImaging* (sowohl im Bereich großer als auch kleiner Unternehmen). Die schnelle Vermarktung neuer Technologien ist ein zentrales Ziel der FIS. Ein ausgewiesenes Technologiezentrum wird am *hub* in Konstanz eingerichtet, wo Unternehmen die Möglichkeit bekommen, ihre Prototypen zu präsentieren und Feedback von der wissenschaftlichen Gemeinschaft zu erhalten. GerBI-FIS wird voraussichtlich zur Ankurbelung der biomedizinischen Forschung führen und industrielle Entwicklungen im BioImaging-Bereich vorantreiben, daher ist davon auszugehen, dass die FIS sowohl einen gesellschaftlichen als auch wirtschaftlichen Impact haben wird.

III.2.e Komplementäre und konkurrierende Forschungsinfrastrukturen

Research infrastructure landscape			
Name	Brief description and internet link	Time frame	Location/ Participants
Existing research infrastructures			
AIC - Advanced Imaging Center (complementary)	AIC aims at making imaging technologies developed at Janelia widely accessible, and at no cost, to scientists before the instruments are commercially available. Operating strategically at the interface of engineering and biological applications, the AIC is positioned to reduce the time between instrument devel-	2006	Ashburn; US

	opment and widespread use in the increasingly technology-intensive field of biology. https://www.janelia.org/ , last accessed 29 July 2016		
GBI – Global BioImaging Project (complementary)	GBI is built on three existing collaboration agreements for successful operation of imaging infrastructures, which EuBI has signed with the Australian Microscopy and Microanalysis Research Facility (AMMRF), the National Imaging Facility (Australia) and India-BioImaging already during Preparatory Phase I. The Global BioImaging Project enables Euro-BioImaging, the research infrastructure for access to biological and medical imaging technologies on the ESFRI roadmap, to work together with its international counterparts, enabling EuBI and its international partners to work on concrete services, such as setting-up a virtual platform for training in imaging technologies and a repository for image data tools, to be used by researchers around the world. Imaging facility staff is invited to participate to the facility exchange programme, to visit facilities at partner institutes for exchange of experience and best practice on all topics related to imaging infrastructure operation. Through its activities, GBI aims at sustainably providing services in imaging technologies to the international scientific community. http://www.eurobioimaging.eu , last accessed 29 July 2016	2015 - 2018	AU, AR, ZA, IN, JP, US
BioMedBridges (complementary)	BioMedBridges aims at forming a cluster of the emerging biomedical sciences research infrastructures (BMS RIs) and construct the data and service bridges needed to connect them. The BMS RIs are on the ESFRI roadmap. Their missions stretch from structural biology of specific biomolecules to clinical trials involving thousands of human patients. Most serve a specific part of the vast biological and medical research community, estimated to be at least two million scientists in Europe across more than 1,000 institutions from more than 36 ESFRI Member States and Associated Countries. BioMedBridges builds a shared data culture in the life sciences by linking up 12 of Europe's new biological, biomedical and environmental research infrastructure. Integrating the vast data resources in the life sciences, including data from genomics, biological and medical imaging, structural biology, mouse disease models, clinical trials, highly contagious agents and chemical biology, shall enable new ways of analysing them to answer new, more complex scientific questions. http://www.biomedbridges.eua last accessed 29 July 2016. http://www.biomedbridges.eu/ last accessed 25 August 2016	2012	AT, BE, BG, CZ, DE, ES, FN, FR, HU, IL, IT, NL, NO, PL, PT, SL, UK

NBIPI - Irish National Biophotonics Imaging Platform	NBIPI consists of a consortium of imaging and biophotonics laboratories from across the Universities and Institutes of Technology in Ireland, three EU partners and one associated international partner. It aims at providing a structured research and training framework for Ireland's investment in advanced imaging applied to the Life Sciences, at catalysing and support internationally competitive research grant applications, at developing and supporting Post-graduate Training Programmes underpinned by biophotonics and imaging and at bridging the Physical and Life Sciences interface. Furthermore it aims at providing a National Access for Core Facilities in Molecular, Cellular, Small Animal and Human Research Imaging and at providing the administrative and scientific infrastructure for Ireland's participation in large-scale international research programmes. http://www.nbipireland.ie , last accessed 26 August 2016	2007	IE, CNRS Montpellier; FR, CNR Institute of Biostructure and Bioimaging; IT, Nordic Imaging Network.
Planned research infrastructures/under construction			
EuBI - Euro-Biolmaging (complementary)	EuBI aims at providing open physical user access to a broad range of technologies in biological and biomedical imaging for life scientists. In addition, EuBI plans to offer image data support and training for infrastructure users and providers. EuBI currently counts 28 EuBI Node Candidates offering open access to 36 imaging technologies for biological and biomedical imaging. EuBI has been listed on the ESFRI Roadmap since 2008. http://www.eurobioimaging.eu , last accessed 1 September 2016 www.eurobioimaging-interim.eu , last accessed 29 September 2016	Start of interim operation in 2016. Official launch foreseen to take place in 2017	AT, BE, BG, CH, CZ, DE, DK, ES, FI, FR, GR, HR, IE, IT, IL, LU, NL, NO, PL, SK, UK
EU-OPENSREEN - The European Infrastructure of Open Screening Platforms for Chemical Biology (complementary)	EU-OPENSREEN aims at building a sustainable European infrastructure for Chemical Biology, supporting life science research and its translation to medicine, agriculture, bioindustries and society. It is a distributed research infrastructure which builds on national networks in 16 European countries. It aims at embracing local research groups and facilitates transnational open access to the most advanced technologies, chemical and biological resources, knowledge and expertise throughout Europe. EU-OPENSREEN is likely to be established as a European Research Infrastructure Consortium (ERIC). It will comprise high-throughput screening (HTS) centres at different sites in Europe with their special HTS and bio-assay expertise, chemical resources for optimisation of first hit compounds, bio- and chem-informatics capacities, and a publicly-accessible database (the ECBD) combining screening results, assay protocols, and chemical information. A large collection of diverse compounds, repre-	Start of preparatory phase in 2010. Expected start of operation in 2018	AT, BE, CZ, DK, FI, FR, DE, GR, HU, IT, NL, NO, PL, RO, ES, SE

	sending the chemical knowledge in Europe, will be made available from a central storage facility. http://eu-openscreen.eu last accessed 17 October 2016		
LPI - Leibniz Center for Photonics in Infec- tion Research (complementary)	For detailed information please see the con- cept proposal of LPI.	Utilisation phase: 2024-2033	Jena, DE

III.3 Leibniz-Zentrum für Photonik in der Infektionsforschung (LPI)

III.3.a Wissenschaftliches Potenzial

Beschreibung

Nach Angaben der Konzeptverantwortlichen haben photonische Technologien in den vergangenen Jahren ihr Potential bewiesen, dringende Probleme im Bereich der Infektionsdiagnostik nachhaltig zu lösen.

Laut Konzept sollen orts- und zeitaufgelöste spektroskopische bildgebende Technologieplattformen eingerichtet werden, die neuartige Multimodal-Bildgebungstechnologien vom extremen ultravioletten (XUV) bis zum fernen infraroten (FIR) sowie photonisch-molekularbiologische Point-of-Care-Technologien umfassen, die nach Angaben der Konzeptverantwortlichen die Diagnose und Therapie von schwer behandelbaren Infektionen sowie Infektionen im Kontext von Immunsuppression und definierten Begleiterkrankungen ermöglichen werden. Als nutzerorientierte Technologie- und Anwenderplattform soll LPI so das komplette Spektrum an photonischen Technologien für Diagnostik, Monitoring und experimentelle Therapie von Infektionen bieten.

Die Nutzerinnen und Nutzer sollen im LPI bei der Entwicklung neuer Diagnostika sowie neuer Therapie- und Monitoring-Verfahren für Infektionskrankheiten über den gesamten Weg vom Ansatz der wissenschaftlich-medizinischen Fragestellung bis zur technologischen Lösung und gemeinsam mit Industriepartnern bis zum Produkt oder bis hin zu einer experimentellen Therapie begleitet werden. Für diese Begleitung ist die Einrichtung von drei Forschungsplattformen im LPI geplant:

- _ Eine LPI-spezifische Spektroskopie- und Bildgebungsplattform mit Instrumenten vom XUV bis zum fernen infraroten FIR Spektralbereich für infektiologische Grundlagenforschung.
- _ Die diagnostische Service-Pipeline zur Realisierung und Validierung neuartiger spektraloptischer und chipbasierter Diagnose- und Monitoring-Verfahren. Durch klar definierte Übergabepunkte zwischen Technologieentwicklung und -validierung bis hin zur Durchführung dezentral organi-

sierter Studien kann die Entwicklung hin zum Medizinprodukt zeitlich und inhaltlich optimiert werden.

- Eine therapeutische Service-Pipeline zur Realisierung und Validierung von therapeutischen Lösungen bis hin zur experimentellen Therapie. Ausgehend vom medizinischen Bedarf des Patienten soll unter Einbeziehung der Kliniker ein therapeutischer Ansatz (z. B. mit Antiinfektiva oder Immuntherapeutika) und eine begleitende Diagnostik (Companion Diagnostik) erarbeitet werden.

Im LPI sollen biophotonische und infektionsbiologische Forschungsgruppen Zugang zu infektiologischen Tier- und Zellmodellen, zu geeigneten Verifizierungs- und Validierungsmöglichkeiten in Form von umfangreichen klinischen Patientenproben in einer passenden Sicherheitslaborumgebung sowie Beratung und Begleitung von Forschungsprojekten erhalten. Ziel ist es, die Anwendungsorientierung in einem nachhaltigen Netzwerk gezielt zu aktivieren und sinnvoll steuern zu können.

Das LPI besitzt nach Darstellung der Konzeptverantwortlichen ein Alleinstellungsmerkmal mit der Kombination von Infektionsforschung mit photonischen Technologien und ist komplementär zu bestehenden Einrichtungen. Generell fokussieren die bestehenden Forschungsinfrastrukturen entweder auf den technologischen oder auf den biomedizinischen Aspekt. Ein Beispiel für technologische Fokussierung stellt die räumlich verteilte Infrastruktur *EuroBio-imaging* dar. In *BioMed-Bridges* liegt der Schwerpunkt auf der Vernetzung biomedizinischer Forschungsinfrastrukturen. Einrichtungen, die eher als konkurrierend angesehen werden könnten, sind aufgrund der translationalen Ausrichtung das BIOMEDREG (*Biomedicine for Regional Development and Human Resources*) und das IDMIT (*Infectious Disease Models and Innovative Therapies*). Des Weiteren beherbergt das Leibniz-Institut für Molekulare Pharmakologie (FMP) ebenfalls lichtmikroskopische Imaging-Techniken. Eine Zusammenarbeit mit der *German BioImaging* Forschungsinfrastruktur (GerBI-FIS) ist geplant, insbesondere bei voller Auslastung des LPI. Schulungsressourcen für anspruchsvolle Bildgebungsverfahren sollen für die Nutzerinnen und Nutzer beider Einrichtungen gemeinsam angeboten werden. Nach Darstellung der Konzeptverantwortlichen besteht der zentrale Unterschied zwischen LPI und existierenden Forschungsinfrastrukturen darin, dass LPI ein Zentrum für den konkreten Einsatz photonischer Technologien in Diagnostik, Monitoring und Therapie in einem hochregulierten klinischen Umfeld sein soll. Laut Konzept ist dieser Ansatz einzigartig in der Infektionsforschung und komplementär zu bestehenden Einrichtungen.

Bewertung

Infektionskrankheiten stellen eine der größten Herausforderungen im klinischen Alltag dar, denn Diagnosen für gezielte Pathogen-spezifische Therapien

kommen meistens zu spät. Diese Problematik wird durch die Antibiotikaresistenz nochmals verschärft. Der in diesem Konzept vorgestellte biophotonische Ansatz ist einzigartig und hervorragend geeignet, um Infektionskrankheiten früh zu diagnostizieren und Therapieantworten in einem frühen Stadium zu evaluieren.

Der Ansatz ist für die Entwicklung von Diagnostik und Therapie strategisch sehr bedeutsam und relevant für die gegenwärtige Situation. Die Konzeptverantwortlichen verfügen über sehr viel Erfahrung in der technischen Weiterentwicklung der Vibrationsspektroskopie sowie im Bereich der Infektionsforschung. Diese Zusammenführung beider Bereiche wird im LPI Konzept als herausragend betrachtet. Das LPI-Konzept identifiziert den aktuellen Bedarf in der Diagnose und Behandlung von Infektionskrankheiten und stellt einen exzellenten Forschungsplan mit innovativen Forschungsfragen dar. Mit der Fokussierung auf optische Techniken wurde ein Forschungsansatz gewählt, der bisher einzigartig ist und bislang noch nicht in einem klinischen Ansatz zur Anwendung gekommen ist. LPI ermöglicht es, die Pathogendiagnostik weltweit zu revolutionieren und bietet damit ein enormes Potenzial für die Entwicklung neuartiger Technologien, neuer Sensoren und Messtechniken sowie neuer Leitstrukturen. Die beteiligten Forscherinnen und Forscher sowie Institutionen sind in diesen Bereichen sehr erfahren.

LPI bietet mit der Verwendung optischer Methoden und hier vor allem mit der Vibrationsspektroskopie einen innovativen Ansatz für die Erforschung von Infektionskrankheiten. Damit kann eine angemessene, ultraschnelle Detektion und Identifikation von Pathogenen sowohl in Körperflüssigkeiten als auch eine direkte Antibiotika-Empfindlichkeitsprüfung erfolgen. Dies verspricht spannende Perspektiven in diesem Forschungsbereich. Die geplanten Forschungsplattformen innerhalb des LPI können je nach Bedarf flexibel auf verschiedene Forschungs- und Diagnostikprojekte ausgerichtet werden. Zusätzlich kann diese Methodik künftig auch in weiteren Bereichen wie z. B. der Krebsforschung, Tiermedizin oder Lebensmittelsicherheit angewendet werden.

Technology scouts werden begleitend technische Innovationen identifizieren. Damit wird das LPI in der Lage sein, seine wissenschaftliche und technische Ausrichtung dem Bedarf aktueller wissenschaftlicher Fragestellungen anzupassen.

Der Ansatz, Infektionskrankheiten mithilfe biophotonischer Methoden zu erforschen, ist bisher einzigartig. Insgesamt betrachtet verfügen die Konzeptverantwortlichen über eine exzellente Vernetzung mit anderen bestehenden Forschungsinfrastrukturen und werden vorhandene technische Ansätze systematisch auch im Kontext des LPI nutzen.

Beschreibung

Die erwarteten Nutzergruppen des LPI rekrutieren sich hauptsächlich aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus den Bereichen der Infektiologie, Photonik, Medizin, Biologie und Chemie. Hinzu kommen Nutzerinnen und Nutzer aus der Diagnostik/Monitoring-Technologieforschung und -entwicklung im akademischen und wirtschaftlichen Bereich. Die Nutzerinnen und Nutzer kommen entweder aufgrund eigener Initiative auf das LPI zu (*technology push*) oder sie werden durch die *technology scouts* identifiziert und dazu motiviert, ihre Forschungsaktivitäten am LPI durchzuführen (*technology pull*).

Die LPI-Infrastruktur soll dabei in erster Linie für interdisziplinäre und internationale Spitzenforschung zur Verfügung stehen. Einzelne Dienstleistungen können sowohl von akademischen als auch von industriellen Nutzerinnen und Nutzern in Anspruch genommen werden. Die Begutachtung der Nutzungsanträge erfolgt durch ein vom *scientific advisory board* benanntes *peer review committee*.

Ziel des LPI-Datenmanagementkonzeptes ist es, Hürden beim Zugang zu meist an verschiedenen Orten und in verschiedenen Formaten abgelegten Daten, einschließlich anonymisierter klinischer Daten, wo möglich zu beseitigen und so einen offenen Datenzugang zugunsten verbesserter wissenschaftlicher Nutzung zu optimieren. Im Rahmen des LPI ist daher eine Infrastruktur für Daten in Form einer Daten- und Materialbank vorgesehen. Zunächst sollen Forschungsdatenzentren in den beteiligten Institutionen etabliert werden, die größere Datensätze im Themenspektrum des LPI produzieren. Langfristig ist die Einrichtung eines Datenservicezentrums am LPI geplant, in dem dokumentiert werden soll, welche Daten in welcher Partnereinrichtung für den Forschungsbereich der Infektiologie verfügbar sind. Ein internet-basiertes Zugangsportal, ein *LPI-(open)-data-hub*, soll die Regularien des Zugangs bzw. Nutzung von LPI-Daten/Material dokumentieren, die unter der Verantwortung von LPI verfügbar sind. Das Datenmanagementkonzept sieht außerdem vor, die Datenweitergabe mit Nutzer- und Methodenschulungen zu verbinden.

Der Zugang zu den technologischen und wissenschaftlichen Ressourcen des LPI soll auf Basis der Bewertung der wissenschaftlichen Qualität der eingereichten Projekte durch ein *peer review committee* erfolgen.

Zudem ist die Einrichtung eines Ausschusses der wissenschaftlichen Nutzerinnen und Nutzer geplant, der gemeinsam mit der LPI-Leitung im Rahmen der LPI-Nutzerversammlung für die kontinuierliche Entwicklung und den Ausbau des LPI als exzellente FIS Sorge tragen soll. Ein LPI-spezifischer *code of conduct* soll im Verlauf weiterentwickelt und kontinuierlich angepasst werden. Insbesondere ethische Fragen zur Datenverwendung für den Bereich der Gesund-

heitstechnologie sollen am LPI auch grundlegend mit Fachpartnern diskutiert werden.

Bewertung

Die Infektiologie ist ein interdisziplinäres Forschungsfeld mit einem starken Bezug zur klinischen Medizin. Es werden daher viele nationale und internationale Nutzerinnen und Nutzer, sowohl aus dem wissenschaftlichen Bereich als auch aus der Industrie erwartet. Des Weiteren ist mit einem Nutzungsinteresse von Instituten mit diagnostischer Expertise in den Bereichen der Mikrobiologie, Virologie, Parasitologie, Mykologie und Hygiene zu rechnen. LPI hat bereits zahlreiche Partnerschaften im öffentlichen und privaten Sektor etabliert, mit denen gemeinsam die Entwicklung von diagnostischen Verfahren und die Testung vielversprechender Wirkstoffkandidaten durchgeführt werden. Derartige Entwicklungen können perspektivisch aus der präklinischen Forschung in die Therapeutische Service-Pipeline des LPI übertragen werden.

Der Zugang zu den Ressourcen des LPI wird auf der Grundlage wissenschaftlicher Exzellenz der vorgeschlagenen Projekte gewährt. Die Beurteilung erfolgt durch einen vom Aufsichtsrat bestellten *peer review committee* und basiert auf definierten Kriterien, die sowohl die wissenschaftliche und technologische Qualität der geplanten Vorhaben sowie deren Implementierung umfassen. Die von den Konzeptverantwortlichen definierte *push-pull*-Strategie bezieht sich zum einen darauf, bestehende interne Initiativen zu unterstützen (*push*) und zum anderen darauf, mit Hilfe der *technology scouts*, Forschungsgruppen und Forschungsprojekte mit thematischer Relevanz an das LPI zu holen (*pull*). Die Nutzer-Versammlung und die regelmäßige Evaluation sollen dazu beitragen, bestmögliche Forschungsbedingungen zu gewährleisten und die Dienstleistungen des LPI dauerhaft weiterzuentwickeln und zu verbessern.

Das Datenmanagementkonzept des LPI sieht eine benutzerorientierte, forschungsoptimierte und gut zugängliche Plattform vor. Damit soll ein offener Zugang mit einer optimalen wissenschaftlichen Nutzung sichergestellt werden.

Um die Integrität der erhobenen Daten zu gewährleisten, legt das LPI ein sehr gutes Qualitätsmanagement vor. Die Konzeptverantwortlichen haben zudem ein erstes Konzept für die Datennutzung und das Datenmanagement entwickelt, das die Daten und die daraus resultierenden Wissensmodelle funktional verknüpft. Dieser Ansatz und die verschiedenen Aspekte im Zusammenhang mit dem Umgang der Daten sind angemessen.

Der Einhaltung der ethischen Standards und der guten wissenschaftlichen Praxis ist für die Konzeptverantwortlichen ein zentrales Kriterium und wird bei der Projektauswahl berücksichtigt.

Beschreibung

Das Risiko für die Realisierung des LPI ist nach Darstellung der Konzeptverantwortlichen als gering einzustufen, da die langjährige positive Entwicklung bei allen Partnern und deren Zusammenarbeit als solide Basis für den Aufbau des LPI in Form seiner drei Plattformen gegeben ist. Die bereits vorhandene photonische, infektionsbiologische und klinische Expertise ist die Grundlage dafür, dass Lösungen hin zu einem höheren Technologiereifegrad gelingen können und z. B. eine einzigartige LPI-spezifische Spektroskopie/Bildgebungs-Plattform vom XUV bis zum FIR für die Infektionsforschung erforscht und den Nutzerinnen und Nutzern zur Verfügung gestellt werden kann. Für die Umsetzung des LPI-Konzeptes sollen frühzeitig tragfähige Organisations- und Managementstrukturen und die damit verbundenen Prozess- und Kommunikationsabläufe eingerichtet werden.

LPI soll mit Hilfe der LPI Aufbau GmbH und der LPI Betriebs GmbH umgesetzt werden. Die LPI Aufbau GmbH steuert die Errichtung des Forschungsbaus und die Etablierung der FIS während der Aufbau- und Betriebsphase. Die Organisation und Durchführung von Forschungsprojekten und Service- sowie Programmangeboten im Bereich Photonik und Infektionserkrankungen erfolgt durch die LPI Betriebs GmbH.

Sowohl die federführenden Einrichtungen als auch die kooperierenden Partner verfügen nach Darstellung der Konzeptverantwortlichen über eine ausgezeichnete Expertise und eine breite Basis an neuesten biophotonischen Technologien sowie infektiologischen Diagnostik- und Therapieverfahren. Im Bereich der technischen Kompetenz soll die bestehende Expertise in der Entwicklungsphase durch eine enge Zusammenarbeit mit LPI-Projektpartnern ergänzt werden. Hierzu zählen bspw. Gerätehersteller und auswärtige Beratung für Infrastrukturplanung sowie Beschaffung. Im individuellen Bereich sind intensive Aus- und Weiterbildungen des LPI-Personals sowie des Schnittstellen-Personals der LPI-Projektpartner vorgesehen, vor allem, um die erworbene Expertise dauerhaft im LPI vorhalten zu können.

Bewertung

Die Konzeptverantwortlichen legen einen detaillierten Plan für die Einrichtung interner und externer Verwaltungsstrukturen vor. Die Bereiche der wissenschaftlichen und administrativen Koordination werden dabei sehr gut miteinander verknüpft.

Die Umsetzung des LPI erfolgt in drei verschiedenen Phasen: Drei Jahre Vorbereitungsphase, fünf Jahre Entwicklungsphase, die durch die LPI Aufbau GmbH koordiniert werden, sowie die Nutzungsphase in der Verantwortung der LPI

Betriebs-GmbH. Diese Planung wird äußerst detailliert erläutert und ist sehr angemessen und nachvollziehbar. Der Technologiereifegrad (TRL, *Technology Readiness Level*) ist insgesamt hoch (6–7).

Die Konzeptverantwortlichen haben bereits eine erfolgversprechende wissenschaftliche Zusammenarbeit mit den Jenaer Kliniken, dem HKI und der Universität Jena etablieren können. Die exzellente Kooperation der beteiligten Institute und das hohe wissenschaftliche Interesse tragen dazu bei, das Umsetzungsrisiko zu minimieren. Zusätzlich wurde ein überzeugender Risikomanagementplan für die im LPI zu implementierenden Modules entwickelt. Alle am LPI beteiligten Institutionen werden mit einem substanziellen Beitrag zum Erfolg des LPIs beitragen. Hier sind vor allem die Personalressourcen sehr bedeutsam, die von den beteiligten Institutionen eingebracht werden. Die Gutachterinnen und Gutachter würdigen, dass darüber hinaus weitere Positionen, sowohl für etablierte als auch für Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler geschaffen werden sollen. Das Personalentwicklungskonzept beinhaltet außerdem Technologieprogramme, medizinische Programme, Netzwerkprogramme, wissenschaftliche Programme und Graduiertenprogramme. Dieses Angebot ist besonders wertvoll für den wissenschaftlichen Nachwuchs und kann die Lücke zwischen der Photonik und den Lebenswissenschaften schließen.

III.3.d Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

Beschreibung

LPI bündelt wissenschaftliche Expertise in der Infektionsforschung und kombiniert diese mit technologischem *know how* auf dem Gebiet der optischen Technologien. Die Konzeptverantwortlichen gehen davon aus, dass LPI aufgrund der bestehenden Verknüpfungen zu externen Netzwerken wesentlichen Impact auf das Forschungsgebiet der Gesundheitstechnologien haben wird.

LPI soll anwendungsorientierte Grundlagenforschung der Photonik und Infektionsbiologie mit den klinischen Anforderungen im Bereich der Infektiologie zusammenbringen. Es stellt damit, wie in der High Tech Strategie 2020 der Bundesregierung |¹²² gefordert, Bedarfsfelder in den Mittelpunkt und erarbeitet an den Schnittstellen verschiedener Technologiefelder neue photonische Lösungsansätze.

Mit LPI sollen die in Jena gewachsenen Strukturen für Nutzerinnen und Nutzer aus ganz Deutschland und Europa geöffnet werden. Ein Instrument dafür sind

| ¹²² <http://www.hightech-strategie.de/de/The-new-High-Tech-Strategy-390.php>, zuletzt aufgerufen am 21.04.2017.

die *technology scouts*, die in ganz Deutschland und darüber hinaus im Sinne des *technology pull* Forschergruppen identifizieren, deren Arbeit sinnvollerweise in LPI integriert werden kann. Nicht zuletzt wegen dieses Scouting-Verfahrens erwartet LPI außerordentlich große nationale und internationale Sichtbarkeit.

Ein wichtiges Ziel des LPI ist außerdem eine interdisziplinäre Nachwuchsförderung. In diesem Zusammenhang wird ab dem Wintersemester 2016/17 der Master-Studiengang „Medizinische Photonik“ an der Universität Jena etabliert werden. Optik und Photonik ist neben der Infektionsbiologie einer der Schwerpunkte der Universität Jena, des Universitätsklinikums Jena und der außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Daher besteht ein großer Bedarf an entsprechend ausgebildeten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern.

Die beteiligten federführenden Trägereinrichtungen werden aktive und vielfältige Öffentlichkeitsarbeit betreiben und auch in der LPI-Geschäftsstelle soll dieses Thema hohe Priorität bekommen. Dies ist einerseits notwendig, um sich auf nationaler und europäischer Ebene mit themenrelevanten Verbänden und Zulassungsbehörden sowie Fachgesellschaften, Industrie-, Verbraucher- und Patientenorganisationen zu vernetzen. Zum anderen sollen Positionspapiere und Stellungnahmen zu aktuellen oder kritischen Punkten der Medizintechnik helfen, Politik und Entscheidungsträger im Gesundheitswesen zu informieren und zu beraten.

LPI baut außerdem auf Strukturen des Wissens- und Technologietransfers sowie dem umfangreichen wissenschaftlichen Portfolio an der Universität/Universitätsmedizin Jena und den LPI-Partnern auf. Ein zentraler Baustein der Transfer-Strategie ist eine Innovationsanalyse, die eine Sichtung und konzeptionelle Aufarbeitung der Verwertungsmöglichkeiten beinhaltet.

Bewertung

Mit diesem Photonik-Ansatz kann LPI eine bahnbrechende und wegweisende Methode für das Hochdurchsatz-Screening neuer Antibiotika schaffen. Die Verknüpfung der bereits international etablierten Institutionen in einem gemeinsamen Forschungszentrum wird die lokale, nationale und internationale Sichtbarkeit der photonischen und infektiologischen Forschung zusätzlich signifikant steigern.

LPI wird neu entwickelte Methoden und Technologien in die klinische Praxis übertragen, die im Falle eines Erfolges auch auf andere Bereiche der medizinischen Erkrankungen als *best practice* Modell übertragen werden können. Die Bearbeitung der anvisierten Probleme (z. B. multiresistente Bakterien) wird eine enorme gesellschaftliche Bedeutung haben. Da die Photonik in einem optimalen Szenario die meisten anderen Techniken der Pathogendiagnostik und Sensivitätstestung ersetzen kann, ist auch im wirtschaftlichen Bereich eine ähnlich tiefgreifende Wirkung zu erwarten. Der in LPI verfolgte Ansatz kann

weltweit zu einer verbesserten Diagnostik führen, die mit Blick auf den Anstieg der multiresistenten Bakterien dringend benötigt wird. Das LPI basiert auf etablierten Prozessen des Wissens- und Technologietransfers der beteiligten Institutionen sowie auf dem umfangreichen wissenschaftlichen Portfolio der Universität Jena, des medizinischen Zentrums in Jena und der Partner des LPI.

LPI ist für den wissenschaftlichen Nachwuchs, etablierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aber auch für das klinische Personal äußerst attraktiv. Das Master-Programm „Medizinische Photonik“ sowie die MD-/PhD-Programme |¹²³ werden Studierende und den wissenschaftlichen Nachwuchs gleichermaßen anziehen. LPI bietet für diese Zielgruppen langfristig ein attraktives Umfeld.

Insgesamt betrachtet ist die Kombination aus Photonik und Infektiologie in dieser Größenordnung absolut neuartig und ist damit strategisch besonders relevant für die aktuelle klinische Situation. LPI wird in Kooperation mit der wissenschaftlichen Gemeinschaft weitere Projekte initiieren, die über den Bereich Infektionsforschung hinausgehen.

III.3.e Komplementäre und konkurrierende Forschungsinfrastrukturen

Research infrastructure landscape			
Name	Brief description and internet link	Time frame	Location/ Participants
Forerunners			
BIOMEDREG - Biomedicine for regional development and human resources (competing)	BIOMEDREG infrastructure was a joined workplace of the four institutions located in the eligible region of the Czech Republic (Olomouc), and within an easy reach of the major biomedical and chemical campuses in the country. Its goals were to study the mechanisms and treatment of cancer and infectious diseases, the establishment of a national platform for chemical biology and drug design as well as the identification of new targets, biomarkers and diagnostic approaches leading to individualized therapy. BIOMEDREG took advantage of the close links with the project partners: i) the major regional hospital – the University Hospital in Olomouc (UHO, thereby providing direct access to clinical material and potential clinical trials), and ii) the Czech chemistry and biochemistry centres: Institute of Organic Chemistry and Biochemistry of the Czech Academy of Sciences (IOCB) and Institute of Chemical Technology Prague (ICT), which di-	2004-2014	Olomouc; CZ

| ¹²³ Medical Doctor/Doctor of Philosophy-Programme.

	rectly participated in the project and were highly complementary to the mission of the BIOMEDREG, providing unique compound libraries and know-how and the unifying focus on biological chemistry applied to pathogenic pathways and drug discovery. http://bioorganickachemiesite.upol.cz/site_en/?page_id=128, last accessed 21 September 2016. https://www.imtm.cz/biomedreg, last accessed 17 August 2016. http://biomedreg.eu/en/about-project/biomedreg, last accessed 15 August 2016		
Existing research infrastructures			
AIC – Advanced Imaging Center (complementary)	AIC aims at making imaging technologies developed at Janelia widely accessible, and at no cost, to scientists before the instruments are commercially available. Operating strategically at the interface of engineering and biological applications, the AIC is positioned to reduce the time between instrument development and widespread use in the increasingly technology-intensive field of biology. https://www.janelia.org/, last accessed 29 July 2016	2006	Ashburn; US
BioMedBridges (complementary)	BioMedBridges aims at forming a cluster of the emerging biomedical sciences research infrastructures (BMS RIs) and construct the data and service bridges needed to connect them. The BMS RIs are on the ESFRI roadmap. Their missions stretch from structural biology of specific biomolecules to clinical trials involving thousands of human patients. Most serve a specific part of the vast biological and medical research community, estimated to be at least two million scientists in Europe across more than 1,000 institutions from more than 36 ESFRI Member States and Associated Countries. BioMedBridges builds a shared data culture in the life sciences by linking up 12 of Europe's new biological, biomedical and environmental research infrastructure. Integrating the vast data resources in the life sciences, including data from genomics, biological and medical imaging, structural biology, mouse disease models, clinical trials, highly contagious agents and chemical biology, shall enable new ways of analysing them to answer new, more complex scientific questions. http://www.biomedbridges.eu, last accessed 29 July 2016. http://www.biomedbridges.eu, last accessed 25 August 2016	2012	AT, BE, BG, CZ, DE, ES, FN, FR, HU, IL, IT, NL, NO, PL, PT, SL, UK
BSRC – Biomedical Sciences Research Center Alexander Fleming (complementary)	BSRC is a non-profit organisation operating under the supervision of the General Secretariat for Research and Technology (GSRT) of the Hellenic Ministry of Education. It performs cutting-edge research aiming to understand molecular mechanisms of complex biological processes in health and disease. It	1998 -	Vari; Athens; GR

	further aims to contribute to innovation in medicine, by developing novel therapeutic and diagnostic methods, focusing on immunity and inflammation, cancer, and neurodegenerative diseases. BSRC currently hosts 14 research groups in four Institutes covering the areas of immunology, molecular biology and genetics, molecular oncology, cellular and developmental biology, supporting researchers by providing state-of-the science infrastructures. http://excellence.minedu.gov.gr/thales/en/institutions/biomedical-sciences-research-centre-alexander-fleming, last accessed 15 September 2016. http://www.fleming.gr, last accessed 29 July 2016		
DZIF – German Centre for Infection Research	DZIF aims at bringing together universities, university medical centres, Leibniz and Max Planck institutes, Helmholtz centres and other government research establishments with strong profiles in the field of infectious diseases to tackle the most urgent infectiology challenges with an integrative approach. Established by the German Federal Ministry for Education and Research (BMBF) established, DZIF affiliates with 35 research institutes located at seven sites distributed throughout Germany, enabling DZIF-researchers direct access to the infrastructures that already exist at each of the research institutes. http://www.dzif.de, last accessed 18 August 2016	2011 -	Hamburg-Lübeck-Borstel, Hannover-Braunschweig, Bonn-Cologne, Gießen-Marburg-Lagen, Heidelberg, Tübingen, Munich; DE
EATRIS – European Advanced Translational Research Infrastructure in Medicine (complementary)	EATRIS aims at providing a highly productive research infrastructure to enable a faster and more efficient translation of basic biomedical research discoveries into new innovative medicinal products. To achieve this EATRIS engages leading translational research centres and hospitals to provide key preclinical and clinical facilities and translational expertise necessary to support the development of new preventive, diagnostic or therapeutic strategies. Unmet medical needs in the most important disease areas and fields of research as well as in rare diseases will drive EATRIS' development policy. EATRIS was initiated by the European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI) and is currently funded by the 7th Framework Programme (FP7) of the European Commission. EATRIS aims at improving performance and conditions for translational research by _ providing easier access to research & development facilities and translational know-how for all scientists and researchers in Europe; _ overcoming fragmentation along the translational research path; _ fostering knowledge exchange and standardisation;	Preparatory phase in 2008-2010, implementation phase in 2011-2015, operational from 2016	CZ, DK, EE, ES, FI, FR, IT, NL, SE

	_ providing training programmes for the next generation of translational researchers; _ facilitating and encouraging cooperation between academia and industry. http://www.eatris.eu, last accessed 29 July 2016 https://www.helmholtz.de/forschung/helmholtz_international/europaeische_projekte/kapazitaeten/forschungsinfrastrukturen/eatris/, last accessed 9 September 2016 http://cordis.europa.eu/result/rcn/187987_en.html, last accessed 16 September 2016		
ECRIN - European Clinical Research Infrastructures Network (complementary)	ECRIN is a not-for-profit intergovernmental organisation which aims to support the conduct of multinational clinical trials in Europe. Support is primarily provided during implementation, but also for preparation and protocol evaluation. As of 2013, ECRIN has the legal status of a European Research Infrastructure Consortium (ERIC). Based in Paris, it works with European Correspondents across Europe, national networks of clinical trial units (CTUs), as well as numerous European and international stakeholders involved in clinical research. ECRIN provides its nine Member and Observer Countries with diverse trial support services and contributes to collaborative projects with additional European and international partners. http://www.ecrin.org, last accessed 29 July 2016	2004 -	CH, CZ, DE, ES, FR, HU, IT, NO, PT
FMP - Leibniz Institute for Molecular Pharmacology	FMP conducts basic research in Molecular Pharmacology with the aim to identify novel bioactive molecules and to characterize their interactions with their biological targets in cells or organisms. These compounds are useful tools in basic biomedical research and may be further developed for the treatment, prevention, or diagnosis of disease. To this aim FMP researchers study key biological processes and corresponding diseases, such as cancer, aging including osteoporosis, or neurodegeneration. They also develop and apply advanced technologies ranging from screening technologies over NMR based methods to proteomics and in vivo models. http://www.leibniz-fmp.de, last accessed 18 August 2016	1992 -	Leipzig; DE
GLBC - Gruss Lipper Biophotonics Center (complementary according to concept proposal, competing according to evaluation report)	GLBC of Albert Einstein College of Medicine of Yeshiva University is a research facility dedicated to advanced biomedical research. Its mandates are to study and develop novel microscopy techniques that answer fundamental biological questions leading to cures for biomedical problems; make advanced and novel microscopy technologies, methods and reagents available to the research community;	Not specified	New York; US

	support the education and training of post-doctoral fellows and graduate students in advanced biophotonics techniques. GLBC is comprised of three closely collaborating entities: individual research groups led by independent primary investigators, the Innovation Laboratory and the Analytical Imaging Facility. Projects led by investigators within the centre range from characterizing the dynamics of single molecules within living cells, to the development of new fluorescent proteins and biosensors, to the study of cancer progression within whole animals. https://www.einstein.yu.edu/centers/biophotonics/aboutus/, last accessed 29 July 2016		
IDMIT – Infectious Disease Models and Innovative Therapies (competing)	IDMIT is a national Research and Technological infrastructure for biology and health dedicated to preclinical research on infectious diseases. The major objective of IDMIT is to provide the national and international scientific community with a competitive infrastructure for preclinical research, facilitating the discovery of markers of safety and efficacy of new vaccines and treatments and accelerating the translation of innovations from the bench to clinical practice. It combines the expertise of international partners with core facilities implemented in IDMIT for monitoring diseases and treatments including advanced technologies for high dimensional cell phenotyping (CyTof) and in vivo imaging (Near Infra-Red fluorescence, two-photon microscope, confocal-endo microscopy, PET-CT). http://imeti.cea.fr/drf/imeti/english/Pages/SIV/IDMIT.aspx, last accessed 17 August 2016 http://www.idmitcenter.fr/, last accessed 17 August 2016	2012	Fontenay-aux-Roses; FR
moSAIC – Molecular Small Animal Imaging Centre (complementary)	moSAIC is a core facility of the University of Leuven (KU Leuven). It combines all major in vivo imaging modalities for pre-clinical research (Magnetic Resonance, Positron Emission Tomography, Ultrasound, optical imaging (bioluminescence, fluorescence, intravital microscopy, OCT) and computed tomography). Close links to the Department of Imaging and Pathology exist that allow rapid translation of pre-clinical findings. Research is performed in all fields of biomedical sciences (for example neurology, cardiology, oncology, infectious diseases, endocrinology etc.). moSAIC is also part of the Medical Imaging Research Center (MIRC) at KU Leuven, which is a collaborative project of the faculties of Medicine and Engineering focussing on image processing. The molecular imaging program includes research on the development of novel tracers, contrast agents and imaging reporters. http://portal.meril.eu/converis-esf/publicweb/research_infrastructure/3452, last accessed 15 September 2016	2007 -	Leuven; BE

NCTCR – National Centre for Translational and Clinical Research (complementary)	NCTCR is a national research infrastructure formed by the University of Tartu, Estonian University of Life Sciences and Tartu University Hospital. The aim of the Centre is to improve the quality and innovation in the health research in Estonia. NCTCR brings together researchers working in different areas in health research, and combines competencies from diverse areas of medical research. NCTCR is partner for the state, businesses and society to provide expertise in the field of health research. The vision of the National Centre for Translational and Clinical Research is to implement Estonian research, development and innovation (R & D & I) strategy for health research. NCTCR is a national centre for medical innovation. http://www.ctm.ee, last accessed 15 September 2016 http://portal.meril.eu/converis-esf/publicweb/research_infrastructure/2977, last accessed 29 July 2016	2014	Tartu; EE
NBIP – National Biophotonics Imaging Platform (complementary)	NBIP Ireland is a platform consisting of a consortium of imaging and biophotonics laboratories from across the Universities and Institutes of Technology in Ireland and three EU partners; CNRS Montpellier (France), the CNR Institute of Biostructure and Bioimaging, Naples (Italy) and The Nordic Imaging Network. NBIP's mission is to _ provide a structured research and training framework for Ireland's investment in advanced imaging applied to the Life Sciences; _ catalyse and support internationally competitive research grant applications; _ develop and support Post-graduate Training Programmes underpinned by biophotonics and imaging; _ bridge the Physical and Life Sciences interface; _ provide a National Access for Core Facilities in Molecular, Cellular, Small Animal and Human Research Imaging; _ provide the administrative and scientific infrastructure for Ireland's participation in large-scale international research programmes. http://www.nbipireland.ie, last accessed 29 July 2016	2007	IE; Montpellier; FR, Naples; IT, Nordic Imaging Net; FI/SE
NIF – Australian National Imaging Facility (complementary)	NIF aims at providing state-of-the-art imaging capability of animals, plants, and materials for the Australian research community. NIF's grid of imaging facilities spreads across Australia, aiming to provide a range of leading-edge imaging instrumentation and expertise in the optimal use of imaging technology to the Australian research community. NIF aims at providing: _ access to molecular imaging instrumentation, including a range of MRI and PET scanners; _ access to other live animal imaging equip-	2007	AU (distributed RI)

	ment including bioluminescence, microCT, ultrasound and intravital microscopy; _ development and validation of novel biomarkers/radioligands for in-vivo imaging using PET and MRI; _ development and application of stable isotope-labelled analogues to new radioligands; _ magnetic resonance spectroscopy, coil design and pulse sequence development; _ application of these new technologies in large-scale trials in animal models of disease; _ bio-mathematical modelling of tracer kinetic data and integration of the high-dimensional data in a dedicated neuroinformatics system; _ the creation of databases of normative data, and a common platform of base data; _ links to existing national infrastructure for ultra-structural imaging and measurement technologies through the Australian Microscopy and Microanalysis Research Facility. http://anif.org.au, last accessed 29 July 2016		
THD – Translating Health Discovery (complementary)	TIA aims at supporting Australian researchers in taking promising medical research from the laboratory bench and translating it into clinical application. TIA achieves this through a national network of 45 sites located at universities, medical research organisations, hospitals and clinical networks that enable development of small molecules, biopharmaceuticals, cell therapies and biomarkers. TIA forms a central partnering function between researchers, capability managers and experts in product development from academic and industry sectors. In 2013–14, TIA supported 67 proof of concept products and 80 clinical trials. http://www.therapeuticinnovation.com.au/, last accessed 19 August 2016	2011	AU
Planned research infrastructures/under construction			
CIIM – Centre for Individualized Infection Medicine	CIIM is a joint venture of the Helmholtz Centre for Infection Research (HZI) and the Hannover Medical School (MHH) which aims at individualising therapies for infectious diseases. Researchers of the centre will identify individual parameters that influence the progress of infection and will translate these findings into optimized and individualised care of patients with infectious diseases. The research at the CIIM aims at consequently promoting personalisation of health care in infection medicine. Being initially a virtual centre, the CIIM aims at utilising infrastructures of the parental institutions to align, coordinate and further expand research activities in the field of personalised medicine. https://www.helmholtz-hzi.de/en/organisation/locations/centre_for_individualised_infection_medicine, last ac-	Founded in 2015, construction in 2018 – 2022, operation at least 35 years	Hannover; DE

	cessed 19 August 2016 http://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Downloads/JCNS/EN/HBS/Road%20Map.pdf?__blob=publicationFile, last accessed 19 August 2016		
ERINHA – European Research Infrastructure on Highly Pathogenic Agents (complementary)	ERINHA aims at reinforcing the European capacities for the study of Risk Group 4 pathogens and enhance the coordination of Biosafety Level 4 (BSL-4) and supporting infrastructures. It seeks to give access to BSL-4 facilities to all interested European scientists with a relevant research project by establishing a pan-European distributed Research Infrastructure and supporting cutting-edge research into the pathogenesis of human diseases caused by the most dangerous microorganisms as well as applied research to develop new therapeutic techniques, diagnostic tools and prophylactics. http://www.erinha.eu, last accessed 28 August 2016	Preparatory phase 1: 2010 – 2016, preparatory phase 2: 2016 – 2017, operation phase from 2018	AT, BE, FR, GR, HU, IT, PT, RO, SE, UK
EuBI – Euro-BioImaging (complementary)	EuBI aims at providing open physical user access to a broad range of technologies in biological and biomedical imaging for life scientists. In addition, EuBI plans to offer image data support and training for infrastructure users and providers. EuBI currently counts 28 EuBI Node Candidates offering open access to 36 imaging technologies for biological and biomedical imaging. EuBI has been listed on the ESFRI Roadmap since 2008. http://www.eurobioimaging.eu, last accessed 1 September 2016 www.eurobioimaging-interim.eu, last accessed 29 September 2016	Start of interim operation in 2016. Official launch foreseen to take place in 2017	AT, BE, BG, CH, CZ, DE, DK, ES, FI, FR, GR, HR, IE, IT, IL, LU, NL, NO, PL, SK, UK
EU-OPENSREEN – The European Infrastructure of Open Screening Platforms for Chemical Biology (complementary)	EU-OPENSREEN aims at building a sustainable European infrastructure for Chemical Biology, supporting life science research and its translation to medicine, agriculture, bioindustries and society. It is a distributed research infrastructure which builds on national networks in 16 European countries. It aims at embracing local research groups and facilitates transnational open access to the most advanced technologies, chemical and biological resources, knowledge and expertise throughout Europe. EU-OPENSREEN is likely to be established as a European Research Infrastructure Consortium (ERIC). It will comprise high-throughput screening (HTS) centres at different sites in Europe with their special HTS and bio-assay expertise, chemical resources for optimisation of first hit compounds, bio- and chem-informatics capacities, and a publicly-accessible database (the ECBD) combining screening results, assay protocols, and chemical information. A large collection of diverse compounds, representing the chemical knowledge in Europe, will be made available from a central storage facility.	Start of preparatory phase in 2010. Expected start of operation in 2018	AT, BE, CZ, DK, FI, FR, DE, GR, HU, IT, NL, NO, PL, RO, ES, SE

III.4 Nationale Biomedizinische Bildgebungseinrichtung (NIF)

III.4.a Wissenschaftliches Potenzial

Beschreibung

Die Konzeptverantwortlichen stellen heraus, dass ein breiter Konsens hinsichtlich des Bedarfs an biomedizinischer Bildgebung auf höchstem Niveau besteht. Der Bedarf wurde anhand eines fachbezogenen Fragebogens (Euro-Bioimaging) und zielgerichteten Workshops ermittelt. Dementsprechend verfolgt NIF eine breite Zielsetzung. Hierzu gehören die Entwicklung und Anwendung von Methoden der biomedizinischen Bildgebung, um das Verständnis der Pathogenese verschiedener Erkrankungen zu verbessern und in die klinische Praxis zu transferieren. Die Hauptschwerpunkte liegen im Bereich der Weiterentwicklung der Hybrid-MR-PET, insbesondere zur Untersuchung des menschlichen Gehirns und von Tumorerkrankungen, sowie die Entwicklung der MRI im Extrem-Hochfeld (EHF) |¹²⁴.

Das Konzept betont den multimodalen Zugang, einschließlich simultaner Datenakquise mittels MR-PET-EEG und MEG, in der Bildgebung. So wird NIF durch den Einsatz multimodaler Bildgebung erstmals dedizierte Studien ermöglichen, um das strukturell-funktionell-metabolische (SFM) Konnektom weitgehend zu erfassen. NIF bietet damit die Voraussetzung, Wissen über die Gehirnfunktionen zu erweitern, indem Daten mit beispielloser Auflösung generiert und gleichzeitig physiologische und biochemische Prozesse beobachtet werden können. Darüber hinaus wird im Konzept eine hohe Aussagekraft der Ultra-Hochfeld (UHF) |¹²⁵ - MRI und multimodaler Bildgebung auf die Krebsdiagnostik festgestellt. Die hochauflösende multidimensionale, multimodale Bildgebung trägt zum Verständnis der Krankheitsprozesse und zur Optimierung der individuellen Therapie insbesondere bei Krebserkrankungen bei.

Im Bereich der EHF-MRI wird NIF sich darauf konzentrieren, den weltweit ersten humanen 14 T MRI aufzubauen. MRI als nichtinvasive Technik stellt bei einer Feldstärke von 14 T ein passendes Werkzeug bei Krebserkrankungen und für klinische Langzeitstudien in den Neurowissenschaften dar. Dadurch wird die frühzeitige Entdeckung von Veränderungen der Anatomie, der Gefäße und des Stoffwechsels ermöglicht. Gleichzeitig birgt diese Technologie das Potenzial für die Entwicklung eines neuen Instrumentes für Studien von Entzün-

| ¹²⁴ Mit Extrem-Hochfeld wird der Feldstärkenbereich über 14 T bezeichnet.

| ¹²⁵ Mit Ultra-Hochfeld wird der Feldstärkenbereich zwischen 7 und 14 T bezeichnet.

dungsreaktionen bei Immunerkrankungen oder für die Beobachtung der Mikroumgebung von Tumoren unter verschiedenen onkologischen Therapieansätzen einschließlich neuer Immuntherapien.

Des Weiteren beabsichtigt NIF, das technisch am weitesten ausgereifte MEG zur Verfügung zu stellen. Mit der Einrichtung eines heliumfreien MEG und eines Echtzeit-MEG soll die medizinische Forschung wesentlich befördert werden. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erhalten so Zugang zu einer professionell betriebenen MEG-Einheit sowie der Bereitstellung der Echtzeitdatenverarbeitung.

Darüber hinaus soll NIF wichtige Aspekte des SFM Konnektoms des menschlichen Gehirns und seiner altersabhängigen Veränderungen erschließen. Erste Erkenntnisse zum metabolischen Konnektom sollen bereits bei 9,4 T erreicht werden, während fortgeschrittene Daten erst bei 14 T erwartet werden. Ein vollständiges SFM Konnektom würde einen international einzigartigen Datensatz darstellen und das menschliche Konnektom, welches derzeit in den USA akquiriert wird, ergänzen. Das SFM Konnektom wird der wissenschaftlichen Gemeinschaft und der Industrie neue Ansätze eröffnen, um Biomarker zur frühzeitigen Detektion und neue therapeutischen Ansätze bei neuropsychiatrischen Krankheiten zu entwickeln. Es wird erwartet, dass das SFM Konnektom durch Einbeziehung der metabolischen und temporalen Dimensionen einen Paradigmenwechsel beim Verständnis der Abläufe im Gehirn herbeiführt.

Zur biomedizinischen Bildgebung lassen sich neun bereits existierende und vier in Planung befindliche Forschungsinfrastrukturen benennen. Das UHF-System für Humanbildgebung mit der zurzeit höchsten Feldstärke von 10,5 T ist an der University of Minnesota eingerichtet. Für den Bereich der Kleintierbildgebung existieren Einrichtungen mit hohen Feldstärken beispielsweise am NeuroSpin, Frankreich (17 T), an der University of Minnesota (16 T) und mit einer Feldstärke von 15 T an der Vanderbilt University und am Vienna Biocenter. In Planung befinden sich für die Humanbildgebung derzeit Einrichtungen am NeuroSpin, Frankreich sowie ein reines Kopfsystem am Neuroscience Research Institute, Korea, jeweils mit einer Feldstärke von 11,7 T. Laut des vorliegenden Konzeptes bietet keine davon eine vergleichbare Bildgebungsinfrastruktur mit den Schwerpunkten simultaner Hybridbildgebung sowie Ultrahochfeld Humanbildgebung wie sie für NIF geplant ist.

Bewertung

NIF zielt auf die Entwicklung und Kombination multimodaler Bildgebungstechnologien basierend auf MRI, PET und MEG/EEG. Damit können Pathologien identifiziert werden, die im Zusammenhang mit neurologischen und onkologischen Erkrankungen stehen. Neben der Bereitstellung leistungsstarker Tools für die grundlegende neurowissenschaftliche Forschung besteht eines der zentralen Ziele von NIF in der Entwicklung des strukturell-funktionalen-

metabolischen Konnektoms, das faszinierende Perspektiven bietet. Das Konzept ist von höchster wissenschaftlicher Bedeutung und äußerst relevant für eine Reihe von Forschungsdisziplinen. Mit der technischen Ausstattung und der Entwicklung der spezifischen Bildungstechnologien ist die FIS weltweit einzigartig und kann einen Durchbruch in der neurowissenschaftlichen Bildgebung und Erkrankungspathogenese einleiten. Die FIS kann einen herausragenden Beitrag für die biomedizinische Bildgebungsforschung leisten und hat das Potenzial, den Erkenntnisgewinn bezüglich der menschlichen Hirnfunktion voranzutreiben, insbesondere mit Blick auf die Konnektivität und den Metabolismus. Die Entwicklung der Bildgebungstechnologien soll sich zunächst auf die Bereiche Neurowissenschaften, vertreten durch das FZJ, und die Krebsforschung, vertreten durch das DKFZ, konzentrieren. Langfristiges Ziel ist es, diese Technologien später auch auf eine größere Bandbreite von biomedizinischen Anwendungen zu übertragen.

Neben dem Beitrag zur Grundlagenforschung und klinischen Forschung soll die geplante Infrastruktur eine breite technische Ausstattung für verschiedene Nutzergruppen zur Verfügung stellen. Einige der Instrumente werden sofort verfügbar sein, wenn sie installiert sind. Hierzu gehören vier 7 T-MRI-Systeme, die für die Patientenversorgung zugelassen sind. Ein weiteres Instrumentenpaket mit 7 T-MR-PET-EEG-System soll für die Forschung bereitgestellt werden. Ein 14 T-MR-PET für Kleintiere wird ebenfalls angeschafft. Außerdem werden weitere 7 T-MRI-Systeme zur hochauflösenden Bildgebung im menschlichen Gehirn installiert. Ergänzend hierzu wird ein MEG-System installiert, das über eine hohe zeitliche Auflösung verfügt. Mit einem revolutionäres Design wird ermöglicht, die Detektoren näher am Patienten platzieren zu können. Darüber hinaus wird ein 21 T-Tiersystem angeschafft. Diese geplante technische Ausstattung spiegelt den neuesten technischen Fortschritt wider und ist hoch innovativ. All diese Instrumente stellen hochmoderne Forschungssysteme dar und sind besonders gut für die Beantwortung von grundlegenden Fragen im Bereich der neurowissenschaftlichen und onkologischen Forschung geeignet. Ein weiterer Schwerpunkt des Konzepts ist ein 14 T-Ganzkörpersystem, mit dem die bestehenden Systeme der aktuellen Generation bei 7 T bis 10,4 T weiterentwickelt werden und den Horizont für die Entwicklung eines 20 T-Systems im kommenden Jahrzehnt eröffnen. Die Entwicklung des 14 T-MRI-Systems stellt eine enorme wissenschaftliche und technische Entwicklung dar, die sich grundlegend auf Forschungsarbeiten zum Gehirn und Krebsdiagnosen auswirken wird. Allerdings bestehen eine Reihe signifikanter Herausforderungen im Besonderen die Magnetkonstruktion, das Gradienten-Design und die Radiofrequenz-Systeme. Hier sind technische Innovationen erforderlich. Andererseits zählen die Konzeptverantwortlichen zu den besten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern weltweit und bringen für die Lösung derartiger Probleme die bestmögliche Expertise mit. Dies wurde bereits mit der Entwicklung des 7 T-MRI bewiesen und schafft großes Vertrauen, dass die Her-

ausforderungen bewältigt werden können und das System erfolgreich sein wird.

Das Konzept ist auf die Bedürfnisse einer breiten Nutzergruppe abgestimmt, die sich von der Neurowissenschaft bis zur klinischen Medizin erstreckt. Darüber hinaus ist die FIS für die gesamte deutsche Ultra-Hochfeld-MR-Gemeinschaft attraktiv, die dieses Vorhaben ebenfalls unterstützt. Eine Reihe wichtiger Akteure verschiedener Institutionen hat ihre Unterstützungsbereitschaft bereits signalisiert und ist aktiv an der FIS beteiligt, die, sofern sie erfolgreich ist, zu großen Erkenntnisgewinnen in den biomedizinischen Studien der Humanbiologie führen kann. Mit dem Vorhaben können neben der deutschen Wissenschaft auch wichtige Industriepartner ihre Spitzenposition innerhalb dieses so wichtigen Gebiets der Wissenschaft und Technologie ausbauen. Ein enormer Wissenszuwachs wird sich aus den großen technischen Herausforderung bei der Entwicklung des 14 T-MRI ergeben.

Das Konzept verfügt über ein breites Spektrum an Instrumentierungen. Dieses reicht von den 7 T-MRI-Systemen, die einen sofortigen wissenschaftlichen und klinischen Effekt haben werden, bis zum 14 T-Human-MRI, dessen Entwicklung mehrere Jahre in Anspruch nehmen wird, und das eine kontinuierliche und nachhaltige wissenschaftliche Leistungsfähigkeit garantieren wird. Das Konzept ist über einen Zeitraum von zehn Jahren in eine Implementierungsphase mit Erwerb der Instrumente und eine Betriebsphase aufgeteilt. Einige der Instrumente werden deshalb bereits in einer frühen Phase des Projekts zur Verfügung stehen, während andere, wie z. B. das 14 T-Human-MRI, erst in der letzten Hälfte verfügbar sein wird. Es wird erwartet, dass sich die neuen Instrumente problemlos in die bestehende FIS integrieren lassen.

Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal dieses Konzepts im Vergleich zu anderen Institutionen besteht in der Vision, verschiedenste Bildgebungsmodalitäten zu verknüpfen. Die Kombination der Instrumente ist dabei wichtiger als die einzelnen Geräte. Mit NIF ist die Einrichtung einer weltweit einzigartigen Forschungsressource geplant, die Forscherinnen und Forscher auf einzigartige Art und Weise in die Lage versetzen wird, fundamentale Forschungsfragen zu stellen und zu beantworten. Keine der bestehenden FIS verfügt über eine derart umfassende Ausstattung von Geräten.

III.4.b Nutzung

Beschreibung

Nach Angaben der Konzeptverantwortlichen stellt NIF für Bedürfnisse der biomedizinischen Forschung eine passende Einrichtung dar, insbesondere für nationale und internationale Expertinnen und Experten aus den Bereichen MR-Methodenentwicklung, Neurowissenschaften, Physiologie, gesundheitlicher Auswirkungen statischer Magnetfelder, Kontrastmittelentwicklung, Moleku-

larbiologie und Medizinforschung. Es wird erwartet, dass NIF neben Forscherinnen und Forschern des FZJ und des DKFZ auch von externen Nutzerinnen und Nutzern aus Universitäten und Universitätskliniken frequentiert wird. Mit Nachfrage aus dem Bereich der industriellen Forschung bzw. nicht-universitären Forschungseinrichtungen wird ebenfalls gerechnet. Der Zugang zu NIF soll nach Regeln und Empfehlungen der *German Ultrahigh Field Imaging* (GUFI) organisiert werden. Diese Regeln basieren im Wesentlichen auf den von Euro-Bioimaging entwickelten Grundsätzen, welche auf die Gruppe deutscher Nutzerinnen und Nutzer angepasst sind. NIF wird keine Gebühren für die Messzeit erheben. Der Zugang wird anhand von wissenschaftlicher Relevanz, die mittels eines strengen Prüfungsverfahrens bestimmt wird, geregelt.

Im Kontext der NIF-Infrastruktur werden verschiedene Datentypen produziert, z. B. Rohbilddaten der Geräte, inklusive rekonstruierter Rohdaten. Diese Daten benötigen aufgrund ihrer Merkmale eine entsprechende Handhabung, Verarbeitung und Management. Dementsprechend sieht das Datenmanagementkonzept von NIF die Entwicklung von Prozessen und die Einrichtung einer eigenen E-Infrastruktur für alle Phasen des Daten-Zyklus (Aufnahme, Verarbeitung, Speicherung, Analyse und Distribution) vor. Im Kontext der NIF-Infrastruktur wird eine Open-Data-Strategie verfolgt, so dass nach Beendigung der primären Phase eines Projektes alle akquirierten Daten zur Verfügung gestellt werden und so auf Antrag von anderen Arbeitsgruppen genutzt werden können.

Mit der Einrichtung von NIF ist ebenfalls die Entwicklung eines Verfahrens zur standardisierten Qualitätssicherung vorgesehen. Ziel ist es, Methoden zur Erfassung und Charakterisierung der Systemleistung zu entwickeln, aufzubauen und standardisierte Qualitätssicherungsverfahren für alle Systeme festzulegen. Diese Verfahren sollen eine hohe Detektionsrate von Artefakten und Systemdefiziten liefern, um sich langsam abzeichnende Ausfälle früh erkennen zu können und Stillstandszeiten des Systems zu minimieren. Bezüglich der wissenschaftlichen Ethik verpflichtet sich NIF, die von der DFG zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis entworfenen Standards zu erfüllen. Studien an Tieren und Menschen werden internationalen Standards einschließlich der Erklärung von Helsinki entsprechen. Studien mit ionisierender Strahlung erfordern die Zustimmung des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS).

Bewertung

Die geplante FIS wird eine hohe Anziehungskraft für viele Nutzergruppen entfalten. Beispielhaft sind hier Expertinnen und Experten aus den Bereichen der MR-Methodik, der Physiologie, der gesundheitlichen Auswirkung von statischen magnetischen Feldern, der Kontrastmittelentwicklung, der Molekularbiologie sowie der medizinischen Forschung zu nennen. Die Konzeptverantwortlichen haben für diese sehr umfangreiche Nutzergruppe ein ausdrücklich offenes Nutzungs- und Zugangskonzept geschaffen. Außerdem ist eine Koope-

ration mit allen UHF-Zentren in Deutschland geplant. Bereits jetzt ist absehbar, dass Forscherinnen und Forscher von den vor allem neuartigen, entwicklungstechnisch eher am Beginn stehenden Bildgebungstechnologien profitieren werden. Auch hierfür sollte NIF einen Zugang ermöglichen.

Insgesamt betrachtet verfolgt NIF eine sehr großzügige Zugangspolitik. Mit Blick auf die Einzigartigkeit der Ressourcen und die große potenzielle Nutzerbasis wird mit einer erheblichen Nachfrage nach Scanzeiten und Instrumentenzugang zu rechnen sein. Sehr bemerkenswert ist daran anschließend der Aspekt, dass der Zugang und der Service im Kontext von NIF allen Nutzergruppen kostenfrei zur Verfügung stehen werden.

Die fachliche Nutzung und Bedienung dieser Instrumente fordert Expertise, da praktisch keines dieser Instrumente einfach zu bedienen ist. Besonders wichtig für die Nutzung des NIF wird es deshalb sein, Personal mit dieser technisch sehr spezialisierten Expertise für die Nutzung der Instrumente und Technologien verfügbar zu haben, das gleichzeitig auch mit den potenziellen Nutzerinnen und Nutzern interagieren kann. Das Personalkonzept und die geplanten Stellen sind so konzipiert, dass diese Expertise zur Verfügung gestellt werden kann. Neben der wissenschaftlichen Qualität sollten die Konzeptverantwortlichen wissenschaftliche und geografische Diversität auch im wissenschaftlichen Beirat und der Nutzergruppe gewährleisten.

Der im Konzept beschriebene Management- und Governance-Plan nennt neben dem wissenschaftlichen Beirat auch den Managementausschuss zur Interaktion zwischen den beteiligten Institutionen. Diese Planung erscheint in Bezug auf das Vorhaben angemessen, muss aber im Kontext der Implementierung von NIF erfolgreich umgesetzt werden.

Der für NIF geplante offene Datenzugang steht im Einklang mit den aktuellen Trends. Die Daten werden in einer Datenbank gespeichert und über eine Internet-Schnittstelle zugänglich gemacht. Zusätzlich zur Speicherung der Daten in den o. g. Datenbanken werden sämtliche Verarbeitungsprozesse von Datensätzen dokumentiert. Auf diese Weise können einzelne Forschungsergebnisse retrospektiv wiederhergestellt oder Daten erneut verarbeitet werden, falls neue Techniken entwickelt werden. Die Datenstrategie von NIF sowie die Nutzung von disziplinspezifischen Standards und die Datenmanagementpläne entsprechen dem aktuellen Stand der Technik. Das FZJ verfügt über ein etabliertes Supercomputing-Zentrum, das für die Datenverwaltung des *Human Brain Project* verantwortlich ist. Damit besteht ein angemessener institutioneller Hintergrund für das umfangreiche Datenmanagement im Kontext von NIF.

Auch die Prozessintegrität erscheint vollkommen angemessen und auf dem aktuellen Stand der Technik. Das zentrale Problem für die Prozessintegrität von NIF besteht allerdings darin, die ordnungsmäße Funktionalität der Instrumente jederzeit zu gewährleisten. Dies wird durch die systematische Qualitätsprü-

fung sichergestellt, die regelmäßig durchgeführt wird, um etwaige Leistungsabfälle festzustellen. Diese Methode wird bereits erfolgreich bei anderen Systemen erfolgreich verwendet.

III.4.c Umsetzbarkeit

Beschreibung

Das Umsetzungsrisiko der geplanten NIF-Infrastruktur kann größtenteils als gering angesehen werden, da die erforderlichen Technologien erprobt und kommerziell verfügbar sind. Eine erwähnenswerte Ausnahme ist das ambitionierte Vorhaben, einen Ganzkörper-MRI mit einer Feldstärke von 14 T aufzubauen, da diese Feldstärke alle bisher in der Humanbildgebung vorhandenen Instrumente übersteigt. Es existieren Designstudien, und das technologische Know-how am FZJ und am DKFZ ist vorhanden. Zudem haben alle UHF-Standorte in Deutschland die Absicht erklärt, zur Einrichtung eines 14 T-Systems im Sinne eines nationalen Vorhabens beizutragen.

Die Einrichtung von NIF erfolgt auf der Basis eines *virtual institute* durch die Trägereinrichtungen FZJ und DKFZ. Zur Steuerung der technischen und wissenschaftlichen Aufgaben der NIF Infrastruktur sowie zur strategischen Weiterentwicklung der Einrichtung werden entsprechende Gremien und Organe eingerichtet, so z. B. die Versammlung der Vertragspartner und ein wissenschaftlicher Lenkungsausschuss. Besonderer Wert wird hierbei auf die adäquate Einbindung weiterer Partner und der Nutzerinnen und Nutzer gelegt. Die Zusammenarbeit und gemeinsame Nutzung der geplanten Infrastruktur NIF durch das FZJ und das DKFZ wird mit einem Kollaborations-/Kooperationsvertrag geregelt, gleichzeitig ist die Aufnahme weiterer Partner möglich.

NIF fügt sich nach Ansicht der Konzeptverantwortlichen gut in die Gesamtstrategie des FZJ und des DKFZ ein. Die am FZJ bereits bestehenden Fachkompetenzen in den Bereichen Neurowissenschaften und die Expertise des DKFZ im Bereich der Krebsforschung werden durch die geplante Geräteausstattung des NIF ergänzt. So stellt das FZJ im NIF eine Reihe von Geräten zur Verfügung: darunter einen 9,4 T-MR-PET-Tomographen für Humananwendungen sowie einen 9,4 T-MR-Tomographen für Kleintieranwendungen. Das DKFZ und das FZJ werden mit umfassenden Forschungseinrichtungen wie einem 7 T-Human-MR-Tomographen, Tierlaboren, einem Zyklotron, Radiopharmazie und weiteren Bildgebungseinrichtungen beitragen. Am DKFZ ist ein 7 T Human MR-Tomograph bereits vorhanden, das FZJ befindet sich z.Zt. vor dem Abschluss eines Konsultationsprozesses zum Erwerb eines CE-zertifizierten und deshalb zur Verwendung in Patientenstudien geeigneten 7 T Scanners der neuesten Generation. Alle weiteren Geräte, die für die Einrichtung der NIF-Infrastruktur notwendig sind, sollen in der Realisierungsphase zusätzlich erworben werden.

Die vorgeschlagenen biomedizinischen Bildgebungstechniken sind einzeln gut umsetzbar. Der neue Aspekt ist die Kombination der verschiedenen Techniken. Diese Aufgabe wird die FIS aufgrund der dort vertretenen, hohen wissenschaftlichen Expertise gut umsetzen können. Ein potenzielles Risiko stellt das 14 T-Instrument dar. Hier gibt es verschiedene kritische Aspekte.

Das wahrscheinlich größte Risiko besteht in der Auswirkung des 14 T-Magnetfeldes für den Menschen. Hierbei handelt es sich um eine unbekannte Größe. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass der Erfolg bei Instrumenten, die mit bis zu 9,4 T arbeiten und deren Nutzung sich als sicher und verträglich herausgestellt hat, direkt auf ein 14 T Instrument übertragen werden kann. Tierversuche, bei denen die kognitiven, physiologischen und biologischen Effekte untersucht werden, sollten daher rechtzeitig auch im Entwicklungsprozess für das 14 T-MRI in Betracht gezogen werden. Dieser Aspekt wurde im Konzept diskutiert und stellt eine entscheidende Komponente im Hinblick auf den Umgang mit den technischen Risiken dar.

Ein anderes Risiko betrifft das Radiofrequenz-Übertragungssystem (RF). Bei 14 T entspricht die RF-Wellenlänge im Gewebe der Größenordnung von 6 cm. Vor allem den Effekten der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen sollte besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Es wird große technische Fortschritte erfordern, damit es möglich ist, das RF-Übertragungsfeld zu kontrollieren und sicherzustellen, dass die lokalen RF-Hotspots nicht die Sicherheitsgrenzen überschreiten. Mit Blick auf diese technische Herausforderung haben die Konzeptverantwortlichen entsprechende Arbeitspakete konzipiert. Angesichts der Erfahrungen bei der Entwicklung des 7 T-MRI ist es wahrscheinlich, dass die Konzeptverantwortlichen auch bei dieser technischen Entwicklung erfolgreich sein werden.

Ein weiteres Risiko besteht in der Produktion des Magneten. Für diesen ersten Magneten seiner Art werden neue Herstellungstechniken erforderlich sein. Die Konzeptverantwortlichen sind sich auch dieser Risiken voll und ganz bewusst. Für etwaige Unwägbarkeiten wurden deshalb spezifische Arbeitspakete und ein Managementplan formuliert.

Für Vorhaben und die Implementierung und Entwicklung derartiger Bildgebungseinrichtungen sind das FZJ und das DKFZ anerkannte Forschungszentren, die beide über umfangreiche Erfahrung im Management ähnlicher Instrumente und Programme verfügen. Das Vorhaben passt daher perfekt in die Forschungspolitik dieser Zentren. Allerdings wird auch die geplante Beteiligung weiterer Forschungsgruppen und der deutschen UHF-Zentren entscheidend für den Erfolg dieser FIS sein.

Der freie Zugang zu dem originären 14 T-MRI-Instrument wird starke Anziehungskraft entfalten. Darüber hinaus müssen allerdings auch Karriereperspek-

tiven für den wissenschaftlichen Nachwuchs entsprechende Berücksichtigung in der Personalplanung finden. Erwartungsgemäß bieten die etablierten Graduiertenschulen und die beteiligten Universitäten in Heidelberg, Aachen und Köln hier geeignete Perspektiven. Zur Realisierung des Konzeptes ist eine große Anzahl neuer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für die Entwicklungs- und Betriebsphase gleichermaßen erforderlich.

Aufgabe des Stammpersonals von NIF wird es sein, die Plattform zu entwickeln und daran anschließend die externen Nutzergruppen bei der Durchführung ihrer Experimente zu unterstützen. Denn es erscheint angesichts des einzigartigen Aufbaus der geplanten FIS unrealistisch, dass Externe diese besondere Ausrüstung bedienen können. NIF wird die entsprechende Expertise deshalb für externe Nutzergruppen vor Ort vorhalten, damit diese Instrumente greifen und ihre Forschungsvorhaben entsprechend umsetzen können.

Ohne jeden Zweifel ist die FIS ausgereift und perfekt für dieses Vorhaben geeignet. Das FZJ und das DKFZ sind etablierte Institutionen mit einem großen Spektrum an hochmodernen Instrumenten. Damit ist ein exzellentes Umfeld für die Entwicklung, das Management und die Nutzung der neuen Bildgebungsinstrumente gegeben. Eine Herausforderung besteht zudem auch darin, das Führungspersonal derart zahlreicher verschiedener Institutionen zusammenzubringen und ein koordiniertes Zusammenarbeiten zu ermöglichen. Das FZJ und das DKFZ werden neue Instrumente und Techniken entwickeln, die für Forscherinnen und Forscher weltweit bedeutungsvoll sind. Von wesentlicher Bedeutung für den Erfolg des Konzeptes wird es sein, die Institutionen zu verknüpfen, als auch deren technologischen Beiträge entsprechend zu integrieren.

III.4.d Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

Beschreibung

Nach Ansicht der Konzeptverantwortlichen weist der Einsatz biomedizinischer Bildgebungsverfahren in der Medizin und den Biowissenschaften ein hohes Potenzial auf. Neben wissenschaftlichen Fragestellungen werden sich auch neue Aspekte für die klinische Diagnostik ergeben. Die metabolische Bildgebung mit einer bisher unerreichten räumlichen und zeitlichen Auflösung soll zudem zentrale Fragestellungen der Hirnforschung, wie z. B. die Erforschung des SFM Konnektoms, auch während des Alterungsprozesses, vorantreiben und ein Werkzeug zur Untersuchung der Pathogenese verschiedener Krankheiten liefern. Laut Konzept wäre der beantragte 14 T-Ganzkörper-MRI als Teil von NIF ein wichtiger Schritt, um dieses Potenzial zu erschließen und Aufschluss darüber zu geben, ob eine weitere Steigerung der Feldstärke auf 20 T umsetzbar ist.

NIF soll mit Bildgebungsgeräten und Hochleistungsrechnern sowie der nötigen Expertise eine exzellente Plattform bereitstellen, um neue Methoden für die Neurobildgebung und die biomedizinische Bildgebung selbst zu entwickeln. Damit soll die Präsenz deutscher Forschung in Europa und international erhöht werden. Im Kontext der Einrichtung von NIF sind außerdem Industriepartnerschaften geplant, um innovative Forschungsergebnisse direkt in kommerzielle Entwicklungen einfließen lassen zu können.

Die Infrastruktur wird nicht nur für die Hersteller der klinischen Geräte, sondern auch für die Pharmaindustrie von besonderem Interesse sein, da die genannten Bildgebungstechnologien zur Beschleunigung der Arzneimittelentwicklung und -prüfung verwendet werden können. Die Translationszentren (Universitätskliniken Aachen, Köln, Heidelberg, das Nationale Centrum für Tumorerkrankungen in Heidelberg und Dresden sowie neun weitere Universitätskliniken des Deutschen Konsortiums für Translationale Krebsforschung) werden im Hinblick auf ihre grundlegende und klinische Forschung ebenfalls von den Möglichkeiten von NIF profitieren. Aufgrund der direkten Partnerschaft von FZJ und DKFZ sowie mit verschiedenen Universitätskliniken können neue Bildgebungsverfahren mit hohem klinischem Potenzial direkt in groß angelegten klinischen Studien angewendet werden. Diese Verfahrensweise wurde bereits in der Vergangenheit erfolgreich angewendet, und Bildgebungsmethoden aus dem FZJ und DKFZ werden so in etlichen Ländern eingesetzt. Laut der Konzeptverantwortlichen zielt die Einrichtung von NIF darauf ab, die Stellung deutscher Hochschulen, Forschungseinrichtungen und Industrie im Bereich der UHF-MRI und der MR-PET aufrechtzuerhalten.

Bewertung

Im Bereich der biomedizinischen Bildgebung wird NIF Deutschland zu einer weltweit führenden Position verhelfen und die FIS zu einem der attraktivsten Arbeitsplätze machen. Als weltweit einzigartige Infrastruktur wird sie eine hochmoderne multimodale Bildgebungshardware bereitstellen, die die simultane Erhebung von MR-PET-/ EEG-Daten sowie MEG-Daten ermöglicht. Im Laufe der Zeit wird zudem mit dem menschlichen strukturell funktionell-metabolischen Konnektom eine unschätzbare E-Infrastruktur entwickelt. Darüber hinaus wird der 14 T-MRI als einziger seiner Art Forscherinnen und Forscher aus ganz Europa anziehen und dadurch die Bekanntheit der FIS verstärken. Diese einzigartige Infrastruktur und E-Infrastruktur wird Forscherinnen und Forscher aus aller Welt zur Nutzung kostenfrei zur Verfügung stehen und die bestehenden Netzwerke und Kooperationen stärken. Dies betrifft neben den MRI- und PET-Gemeinschaften die Neurowissenschaften und hier besonders die wissenschaftliche Gemeinschaft derjenigen, die in den Bereichen der Bildgebung des Gehirns und der Neuroonkologie tätig sind.

NIF wird durch seine Einzigartigkeit und Attraktivität einen enormen Einfluss in Deutschland haben. Die führende Rolle wird neben der Wissenschaft auch auf den industriellen Bereich ausgebaut. Durch die Konzentrierung von vielen verschiedenen Bildgebungsressourcen an einigen wenigen Standorten werden Forscherinnen und Forscher in der Lage sein, ein viel größeres Parameterspektrum an biomedizinischen Daten zu erforschen. Dies sollte einzigartige Vorteile gegenüber Ländern verschaffen, deren Ressourcen viel weiter verteilt sind.

NIF wird ein Inkubator für die Ausbildung der nächsten Generation des wissenschaftlichen Nachwuchses sein, deren Projekte - basierend auf wissenschaftlicher Qualität - durch die FIS finanziert werden. Die Nachwuchsförderung der FIS steht damit im Einklang mit der Politik der Helmholtz-Gemeinschaft, die den wissenschaftlichen Nachwuchs fordert und fördert und damit das Rückgrat der künftigen Forschungsgemeinschaft bildet. Eine wesentliche Stärke des Konzeptes ist außerdem das Potential für die Translation sowohl in die klinische Medizin als auch der Wissens- und Technologietransfer in die Industrie.

Die technologischen Entwicklungen können für Anwendung in der Klinik oder zur Nutzung in den Ultra-Hochfeld-Tiersystemen herangezogen werden. Die spezifischen Entwicklungen im Rahmen eines jeden Systems versprechen auch für andere Systeme Nutzen zu entfalten. Von der Lösung grundlegender Probleme für die anspruchsvollen 14 T-Systeme werden die klinischen 7 T-Systeme direkt profitieren können.

Die Arbeitspakete sind eine weitere wichtige Stärke des Konzeptes. Viele dieser Pakete sind große Forschungsprojekte, die im Erfolgsfall die Konzipierung und die Nutzung von MRI-Systemen auf bedeutende Weise beeinflussen werden, beispielsweise bei der Entwicklung zukünftiger UHF-MRI-Systeme. Hier sind kommerzielle Effekte absehbar, die der Firma Siemens dabei helfen, seine Führungsposition in diesem Feld aufrechtzuerhalten.

Darüber hinaus wird die gemeinsame jährliche internationale Konferenz zur Hybrid-MR-PET-Bildgebung, die von dem FZJ veranstaltet wird, die PSMR |¹²⁶, zur Verbreitung der Forschungsergebnisse genutzt werden.

Die gesellschaftliche Wirkung im Hinblick auf die Früherkennung von Krankheiten wird erwartungsgemäß enorm sein. Die metabolischen Signaturen des Gehirns (ein Kernaspekt des Konzeptes) werden beispielsweise zusammen mit strukturellen und funktionalen Informationen aufgezeichnet, was mit dem humanen strukturell-funktional-metabolischen Konnektom zu einer einzig-

| ¹²⁶ Conference on PET/MR and SPECT/MR.

artigen E-Infrastruktur führen wird. Dies wird die Identifizierung von frühen Biomarkern für eine Reihe von Erkrankungen beschleunigen, insbesondere Erkrankungen, die das alternde Gehirn betreffen, wie z. B. Alzheimer. Für die Diagnose und den Verlauf diverser Erkrankungen an anderen Körperorganen, insbesondere Krebserkrankungen, Diabetes, Herzerkrankungen, Arthritis und Adipositas, wird die FIS ebenfalls herausragende Tools liefern.

NIF plant eine enge Beteiligung der Industrie beim Aufbau der Plattform. Das Personal der FIS wird bei der Umsetzung der technischen Entwicklungen zusammen mit einer Reihe von Unternehmen arbeiten, darunter Hersteller von Bildgebungstechnologien als auch die pharmazeutische Industrie. Insgesamt betrachtet können die Forschungs- und Technologieentwicklungen der FIS spezifische Erkenntnisse ermöglichen, die die Entwicklung neuer Pharmazeutika hervorbringen und durch die Übertragung in die medizinische Anwendung zudem Kosten im Gesundheitssektor reduziert.

III.4.e Komplementäre und konkurrierende Forschungsinfrastrukturen

Research infrastructure landscape			
Name	Brief description and internet link	Time frame	Location/ Participants
Existing research infrastructures			
AIC – Advanced Imaging Center (complementary)	AIC aims at making imaging technologies developed at Janelia widely accessible, and at no cost, to scientists before the instruments are commercially available. Operating strategically at the interface of engineering and biological applications, the AIC is positioned to reduce the time between instrument development and widespread use in the increasingly technology-intensive field of biology. https://www.janelia.org/ , last accessed 29 July 2016	2006	Ashburn; US
BioMedBridges (complementary)	BioMedBridges aims at forming a cluster of the emerging biomedical sciences research infrastructures (BMS RIs) and construct the data and service bridges needed to connect them. The BMS RIs are on the ESFRI roadmap. Their missions stretch from structural biology of specific biomolecules to clinical trials involving thousands of human patients. Most serve a specific part of the vast biological and medical research community, estimated to be at least two million scientists in Europe across more than 1,000 institutions from more than 36 ESFRI Member States and Associated Countries. BioMedBridges builds a shared data culture in the life sciences by linking up 12 of Europe's new biological, biomedical and environmental research infrastructure. Integrating the vast data resources in the life sciences, including data from genomics, biological and medical imaging, structural biology, mouse disease models,	2012	AT, BE, BG, CZ, DE, ES, FN, FR, HU, IL, IT, NL, NO, PL, PT, SL, UK

	clinical trials, highly contagious agents and chemical biology, shall enable new ways of analysing them to answer new, more complex scientific questions. http://www.biomedbridges.eu last accessed 29 July 2016. http://www.biomedbridges.eu/ , last accessed 25 August 2016		
CNIR - Center for Neuroscience Imaging Research (competing)	Small-animal imaging: 15 Tesla http://cnir.ibs.re.kr/html/cnir_en/ , last accessed 25 August 2016	Not specified	Sungkyunkwan University, KR
EPFL - École polytechnique fédérale de Lausanne (competing)	Small-animal imaging: 14 Tesla www.cibm.ch/14-Tesla , last accessed 25 August 2016	Not specified	Lausanne, CH
Max Planck Institute for Biological Cybernetics (competing)	Small-animal imaging: 14 Tesla (16 Tesla before magnet repair) www.kyb.tuebingen.mpg.de/de/forschung/abt/ks.html , last accessed 25 August 2016	Since 2007	Tübingen, DE
National High Magnetic Field Laboratory (competing)	Small-animal imaging: 21 Tesla Designed for Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance (FT-ICR) mass spectroscopy; not used routinely for small-animal imaging www.nationalmaglab.org/user-facilities/icr , last accessed 25 August 2016	Not specified	Florida, US
NeuroSpin (competing)	Small-animal imaging: 17 Tesla www.meteoreservice.com/neurospin , last accessed 25 August 2016	Not specified	Paris, FR
NIF - Australian National Imaging Facility	NIF aims at providing state-of-the-art imaging capability of animals, plants, and materials for the Australian research community. NIF's grid of imaging facilities spreads across Australia, aiming to provide a range of leading-edge imaging instrumentation and expertise in the optimal use of imaging technology to the Australian research community. NIF aims at providing: _ access to molecular imaging instrumentation, including a range of MRI and PET scanners; _ access to other live animal imaging equipment including bioluminescence, microCT, ultrasound and intravital microscopy; _ development and validation of novel biomarkers/radioligands for in-vivo imaging using PET and MRI; _ development and application of stable isotope-labelled analogues to new radioligands; _ magnetic resonance spectroscopy, coil design and pulse sequence development; _ application of these new technologies in large-scale trials in animal models of disease; _ bio-mathematical modelling of tracer kinetic data and integration of the high-dimensional data in a dedicated neuroinformatics system; _ the creation of databases of normative data, and a common platform of base data;	Since 2007	AU (distributed RI)

	_ links to existing national infrastructure for ultra-structural imaging and measurement technologies through the Australian Microscopy and Microanalysis Research Facility. http://anif.org.au, last accessed 29 July 2016.		
University of Minnesota (competing)	Human imaging: 10.5 Tesla whole-body system www.cmrr.umn.edu/magnets/105t88.shtml, last accessed 25 August 2016 Small-animal imaging: 16 Tesla www.cmrr.umn.edu/magnets/164t26.shtml, last accessed 25 August 2016	Since 2013	Minnesota, US
VUIIS - Vanderbilt University Institute of Imaging Science (competing)	Small-animal imaging: 15 Tesla https://www.vuiis.vanderbilt.edu/index, last accessed 25 August 2016	Not specified	Nashville, US
VBCF - Vienna Bio-Center Core Facilities (competing)	Small-animal imaging: 15 Tesla www.csf.ac.at/home/, last accessed 25 August 2016	Not specified	Vienna, AT
Planned research infrastructures/under construction			
EuBI - Euro-BioImaging (complementary)	EuBI aims at providing open physical user access to a broad range of technologies in biological and biomedical imaging for life scientists. In addition, EuBI plans to offer image data support and training for infrastructure users and providers. EuBI currently counts 28 EuBI Node Candidates offering open access to 36 imaging technologies for biological and biomedical imaging. EuBI has been listed on the ESFRI Roadmap since 2008. http://www.eurobioimaging.eu, last accessed 1 September 2016 www.eurobioimaging-interim.eu, last accessed 29 September 2016	Start of interim operation in 2016. Official launch foreseen to take place in 2017	AT, BE, BG, CH, CZ, DE, DK, ES, FI, FR, GR, HR, IE, IT, IL, LU, NL, NO, PL, SK, UK
EU-OPENSREEN - The European Infrastructure of Open Screening Platforms for Chemical Biology (complementary)	EU-OPENSREEN aims at building a sustainable European infrastructure for Chemical Biology, supporting life science research and its translation to medicine, agriculture, bioindustries and society. It is a distributed research infrastructure which builds on national networks in 16 European countries. It aims at embracing local research groups and facilitates transnational open access to the most advanced technologies, chemical and biological resources, knowledge and expertise throughout Europe. EU-OPENSREEN is likely to be established as a European Research Infrastructure Consortium (ERIC). It will comprise high-throughput screening (HTS) centres at different sites in Europe with their special HTS and bio-assay expertise, chemical resources for optimisation of first hit compounds, bio- and chem-informatics capacities, and a publicly-accessible database (the ECBD) combining screening results, assay protocols, and chemical information. A large collection of diverse compounds, representing the chemical knowledge in Europe,	Start of preparatory phase in 2010. Expected start of operation in 2018	AT, BE, CZ, DK, FI, FR, DE, GR, HU, IT, NL, NO, PL, RO, ES, SE

	will be made available from a central storage facility. http://eu-openscreen.eu , last accessed 17 October 2016.		
Neuroscience Research Institute, Gachon Medical School (competing)	11.7 Tesla human system http://nri.gachon.ac.kr/d_02_e.html	Call for bids	Incheon, KR
NeuroSpin (competing)	11.7 Tesla whole-body system www.cea.fr/english-portal/fundamental-research/inauguration-of-neurospin-a-major-neuroimaging-4342 , last accessed 29 September 2016	Installation: 2016	Paris, FR
NIH - National Institute of Mental Health (competing)	11.7 Tesla head-only system scheduled for re-installation after magnet repair Small-animal imaging: 18 Tesla https://amri.ninds.nih.gov , last accessed 29 September 2016 www.nimh.nih.gov/labs-at-nimh/research-areas/clinics-and-labs/mib/smrs/index.shtml , last accessed 29 September 2016	11.7 T: Start: near future 18 T: Start: 2016	Bethesda, US

III.5.a Wissenschaftliches Potenzial

Beschreibung

Die Akzeptanz der Bildgebung und die erfolgreiche Integration der bildgebenden Verfahren in der biomedizinischen Grundlagen- und klinischen Forschung in Bereichen, wie der Onkologie, Neurologie und Kardiologie, sowie neuerdings auch in den Bereichen der Immunologie, Infektiologie und Regenerativen Medizin wurde stark gefördert durch die Verfügbarkeit multimodaler bildgebender Verfahren, die multi-parametrische Daten über beispielsweise Anatomie, Morphologie, Funktion, Rezeptorverfügbarkeit und Metabolismus liefern. Aktuell basiert die multimodale Bildgebung jedoch in erster Linie auf makroskopischen bildgebenden Verfahren, realisiert durch die Hardware-Fusion der Positronen-Emissions-Tomografie mit der Computertomografie (PET-CT) und der Magnetresonanztomografie (PET-MRI), oder der Kombination unabhängiger bildgebender Informationen verschiedener Modalitäten.

Laut Konzept fehlen bislang in einigen Bereichen der Bildgebungswissenschaften folgende Verknüpfungen:

- _ Kombination komplementärer multiparametrischer und multiskalarer Technologien, wie mikroskopische und makroskopische Bildgebung.
- _ Die örtlich und zeitlich präzise und parametrisch-quantitative Zusammenführung von in-vivo-Bildgebungsdaten mit *ex vivo* akquirierten Daten (z. B. Omics, Pathologie).
- _ Die enge interdisziplinäre Integration von Tracerentwicklung, in-vivo und *ex vivo* präklinischer Validierung, klinischer Translation und Datenverarbeitung.
- _ Die Etablierung von standardisierten Workflows und *Standard Operating Procedures* (SOPs) für Forschung, Entwicklung, präklinische Testung und klinische Translation unter Berücksichtigung des multiparametrischen wissenschaftlichen Ansatzes.
- _ Die Integration von interdisziplinären Wissenschaftsbereichen und Experten, sowie pharmazeutischen und technologischen Industriepartnern.

Laut Konzept, ist die Etablierung einer Wissenschaftseinrichtung essentiell, in der Expertinnen und Experten der jeweiligen Fachgebiete zeitnah und direkt miteinander interagieren sowie aktuelle Forschungsergebnisse untereinander austauschen und diskutieren können, um auch zukünftig bahnbrechende Entwicklungen im Bereich der Bildgebung sicherzustellen. Solch eine enge Kooperation und das stark interdisziplinäre Arbeiten sollen die Entwicklung neuer Ideen im Bereich der Bildgebungswissenschaft fördern. Bei einem integrier-

ten Konzept wie NISC besteht der Vorteil, dass die Anzahl und Belastung der Labortiere im Vergleich zu den meisten konventionellen Verfahren durch Bildgebungsstudien deutlich reduziert werden kann. Darüber hinaus ermöglicht die vielseitige Bildgebung unter einem Dach longitudinale Studien am selben Tier, die gerade für das Monitoring der Entstehung einer Erkrankung oder das Therapieansprechen essentiell sind. Dadurch kann nicht nur die Anzahl der Versuchstiere reduziert werden, sondern die Studie liefert auch verlässlichere Daten mit einer geringeren statistischen Varianz als vergleichbare invasive Studien.

NISC möchte die Basis für eine leicht zugängliche Plattform bieten, um komplexe und innovative wissenschaftliche Studien durchzuführen und eine schnelle Translation der Grundlagenforschung, Probenentwicklung, präklinischen Erprobung und klinischen Studien zu ermöglichen. NISC stellt den Anspruch, reproduzierbare Daten auf höchstem Niveau zu generieren, um die wissenschaftliche Integrität zu sichern. Über die zentralen Einrichtungen soll der einfache Zugang zu allen Daten über zugeschnittene Webtools und Schnittstellen zur Studienplanung, Datenakquisition, Bildanalyse, Datengewinnung und Datenspeicherung ermöglicht werden. Laut Konzept haben die Universitätscampi Tübingen und Stuttgart zusammen mit den Tübinger Max-Planck-Instituten die nötige kritische Masse erreicht, um ein weltweit führendes Bildgebungszentrum hervorzubringen, welches weltweite Spitzenforschung betreibt und gleichzeitig internen und externen Partnern den bestmöglichen Service bietet. Noch sind all diese Institute, Labore und Infrastrukturen auf verschiedene Campi verteilt und lediglich als virtuelle Struktur miteinander verbunden, wodurch laut Konzept das Potenzial für komplexe interdisziplinäre oder translationale Kollaborationen stark begrenzt ist.

NISC soll für den Bereich präklinischer Studien (z. B. Nager, Schweine) und klinischer Studien der wissenschaftlichen Bildgebung genutzt werden. Laut Konzept ist das Alleinstellungsmerkmal und die Stärke von NISC, die biomedizinische Forschung in allen relevanten Disziplinen (Onkologie, Neurologie, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Immunologie, Infektiologie, Mikrobiologie, Regenerative Medizin) unter einem Dach zu vereinen. Ein wichtiger Punkt ist, dass NISC auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern außerhalb der biomedizinischen Forschung für technologische Innovationen (z. B. Pflanzenbildgebung) offen stehen möchte.

NISC wird bereits während der Vorbereitungs- und Realisierungsphase bis zur Fertigstellung des Gebäudes als virtuelle Struktur mit limitierten Ressourcen in Betrieb gehen. Diese Zeit soll zur Entwicklung standardisierter Protokolle und multi-modaler Bildgebungs-Arbeitsabläufe, verlässlicher SOPs und internetbasierter Plattformen für Information, Registrierung und Datenspeicherung genutzt werden.

Laut Konzept stellt NISC eine einzigartige Struktur in Europa dar; weltweit gibt es keine vergleichbaren physischen Forschungsinfrastrukturen. Der Fokus des *Cells in Motion for a Multiscale Imaging Centre* (MIC) in Münster liegt verstärkt auf der mikroskopischen Bildgebung und der zugehörigen Bildanalyse. Die Verantwortlichen des NISC sehen eine große Synergie zwischen den beiden Konzepten und planen eine Zusammenarbeit. Die Universität Aachen baut das *Aachen Center for Biomedical Image Analysis, Visualization and Exploration* (ACTIVE) innerhalb ihrer biomedizintechnischen wissenschaftlichen Infrastruktur auf, jedoch liegt der Fokus hier generell auf den Ingenieurwissenschaften. NISC und *Euro-BioImaging* ergänzen sich, da beide FIS umfangreiche Möglichkeiten für Kollaborationen bieten. Unter den bildgebenden Zentren in den USA und Australien, die als virtuelle Strukturen agieren, hat das Institut für Bildgebungswissenschaften der Vanderbilt Universität in Tennessee eine physikalische Struktur implementiert, die eine umfangreiche bildgebende Expertise und Infrastruktur unter einem Dach vereint. Das Moffitt Krebszentrum in Florida agiert als ein großes Bildgebungszentrum für Krebsforschung, das auch Omics-Methoden und Bioinformatik miteinbezieht. Der Fokus von NISC ist jedoch, laut Konzept, ein anderer, da NISC darüber hinaus Bereiche der Sequenzierung/Omics, Bioinformatik, Systembiologie und Pharmakologie (im Vergleich zu Vanderbilt) beinhaltet und sich nicht auf einen spezifischen Krankheitsbereich fokussiert (im Vergleich zu Moffitt).

Bewertung

Das wissenschaftliche Potenzial der geplanten FIS ist hoch. Die Integration mikroskopischer Technologien und makroskopischer Bildgebungsmodalitäten ist ein zentraler Aspekt. Diese Zusammenführung wird zu tieferen Einblicken in biologische Fragestellungen führen und bei der Validierung von in-vivo-Bildgebungsmethoden helfen können. Das Konzept spiegelt den wachsenden Bereich der bildgebenden Verfahren sowie deren Einfluss und Bedeutung in der modernen biomedizinischen Forschung wider. Obwohl ein Zugang zu bildgebenden Verfahren für Forschungszwecke bereits in vielen anderen großen europäischen Zentren zur Verfügung steht, gibt es nur sehr wenige Standorte, an denen diese Bandbreite von Bildgebungstechniken und derartige Ressourcen für die Entwicklung neuer Radiotracer angeboten werden können. An den in Tübingen bereits vorhandenen Instituten besteht bereits die Möglichkeit Tierstudien mit einem umfassenden Spektrum an Tools für präklinische Studien durchzuführen, was eine wichtige Stärke der FIS darstellt. Außerdem liegt ein solides Programm zur Entwicklung neuartiger molekularer Sonden vor. Ein besonders neuartiger Aspekt und eine Stärke dieses Konzepts ist der visionäre Plan, Informationen aus verschiedenen Bildtypen (mikro- und makroskopische Bildgebung) mit Informationen aus anderen Messtechniken (wie z. B. Proteomik) zu integrieren und diese mittels fortschrittlicher Rechenalgorithmen zu analysieren und zu interpretieren. Die wichtigsten Neuerungen sind aus der

technologieübergreifenden Datenverknüpfung und der funktionalen Integration zu erwarten, die zur Gewinnung wissenschaftlichen Verständnisses beitragen können. Es liegen allerdings nur unzureichende Angaben vor, wie die mikroskopische und die makroskopische Bildgebung kombiniert werden sollen. Es werden zwar einige Beispiele aufgeführt, wie dies erreicht werden kann, jedoch konnte die Möglichkeit der Verallgemeinerung dieser Ansätze im Hinblick auf andere biologische Systeme nicht verdeutlicht werden. Obwohl die Integration von bildgebenden Verfahren mit Omics- und anderen Daten eine sehr wichtige Aufgabe ist, ist es unwahrscheinlich, dass NISC in diesen weiteren Forschungsbereichen eine international führende Rolle aufbauen und aufrechterhalten kann. Ein alternatives Modell wäre die Kooperation mit Zentren oder Abteilungen mit diesen Forschungsschwerpunkten, die gewährleisten würde, dass diese komplementären Technologien immer auf dem neuesten Stand und für das Zentrum verfügbar sind. Daher wird eine Kooperation von NISC mit dem *Multiscale Imaging Centre of the University Münster* (MIC) und dem *Central Institute for Translational Cancer Research* (TranslaTUM) als sehr wichtig angesehen. Insgesamt kombiniert das Konzept einige herausragende Merkmale (wie z. B. die Entwicklung molekularer Sonden) mit anderen Aspekten, bei denen es sich um wichtige inkrementelle, aber nicht notwendigerweise bahnbrechende Fortschritte handelt.

Die Ressourcen sollen alle unter einem Dach zusammengeführt werden, wodurch Synergien und eine Effizienzsteigerung erreicht werden sollen. Das Konzept betont, dass die Etablierung einer einzelnen Einrichtung der einzige Weg sei, um sich international abzuheben. Zwar sind die Vorteile einer kohärenten einzelnen Einheit unter einem Dach überzeugend, dennoch sollte das Konzept alternative Strategien aufzeigen. Innerhalb der biomedizinischen Bildgebung sind überzeugende Exzellenzzentren an mehreren großen Institutionen entstanden, die fortschrittliche Bildgebungstechnologien und Anwendungen entwickeln. Diese spezialisieren sich jedoch im Allgemeinen auf eine oder einige wenige Technologien. Nur selten realisieren sie das Niveau der multimodalen Integration, welches durch die Etablierung von NISC erreicht werden soll. NISC wird einzigartig in Europa sein und eine weitreichendere Zielsetzung aufweisen als alle anderen Zentren.

Für eine erfolgreiche Implementierung und Etablierung von NISC, ist es wichtig Grenzen zu definieren, was genau die Bestandteile der bildgebenden Wissenschaft sind. Mit der Integration der Omics-Technologien, der Bioinformatik, der Sondenentwicklung, des maschinellen Lernens und der Systembiologie kann es sonst zur Vergeudung von Ressourcen, aufgrund mangelnder Fokussierung kommen.

Der Versuch, mehrere Bildgebungsmodalitäten auf eine große Bandbreite an Disziplinen anzuwenden (Onkologie, Neurologie, kardiovaskuläre Erkrankungen, Immunologie, Infektionskrankheiten und Mikrobiologie), könnte die Fä-

higkeiten zum gelungenen Austausch zwischen den Disziplinen und zur Erzeugung von Synergien verringern. Die Formulierung eines gemeinsamen Kernziels ist unabdingbar. NISC will versierte und leistungsfähige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit einem hohen Erfahrungsgrad im Bereich der technologischen Innovation unter einem Dach zusammenbringen. Jeoch werden Details zur spezifischen Ausrichtungen dieser Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nicht gut in dem Konzept beschrieben.

Es wird einige Jahre dauern, bis die FIS aufgebaut ist. Während dieses Zeitraums werden wahrscheinlich Entwicklungen in einigen der Kerntechnologien erfolgen, die für den Einsatzbereich von NISC relevant sind. Dementsprechend müssen Vorkehrungen getroffen werden, um flexibel Instrumentierungen austauschen zu können. Beispielsweise gibt es in der Neurowissenschaft jüngste Entwicklungen im Bereich der neuen Mikroskopie und Optogenetik, die einen starken Einfluss auf die Bedeutung der aktuellen Modalitäten haben könnten. Obwohl NISC einen Fonds für die Integration zusätzlicher Instrumentierungen eingerichtet hat, ist nicht klar, welche Mechanismen zur Auswahl genutzt werden.

Es genießt eine starke Unterstützung von mehreren beteiligten Gruppen mit verschiedenen fachlichen Schwerpunkten. Der Grad der Unterstützung und des Engagements in Bezug auf klinische Studien scheint weniger gut entwickelt als in anderen Bereichen der FIS.

III.5.b Nutzung

Beschreibung

Nutzergruppen der FIS können unterteilt werden in interne und externe Nutzerinnen und Nutzer aus der Forschung sowie der Industrie. Im zweiten Betriebsjahr erwartet NISC 100 Nutzerinnen und Nutzer im Bereich der präklinischen Bildgebung, darunter 85 akademische Nutzerinnen und Nutzer (~40 % national, 40 % europäisches Ausland, 20 % international) und 15 aus der Industrie. Des Weiteren, gehen die Antragsteller von 220 Nutzerinnen und Nutzern (~70 % national, 20 % europäisches Ausland, 10 % international) der klinischen Bildgebung und klinischen in-vivo-Diagnostik aus, die am NISC forschen und klinische Studien durchführen werden. Neben den Bildgebungseinheiten am NISC stehen als Back-up (z. B. Konflikt von Messzeiten, Geräteausfall, nicht transportfähige stationäre Studienpatienten) Messzeiten an den klinischen Geräten des Department Radiologie zur Verfügung.

Projekte werden nach Innovation und wissenschaftlicher Leistung ausgewählt. Alle Nutzungsanfragen sollen durch ein ad-hoc Studienkomitee bestehend aus interdisziplinären Expertinnen und Experten, die vom wissenschaftlichen Beirat genehmigt werden, nach dem *peer review*-Prinzip begutachtet werden. Den industriellen Partnern soll ein Overhead von 70 % der Studienkosten für Ge-

meinkosten in Rechnung gestellt werden, von denen 25 % für neue Investitionen in wissenschaftliche Geräte und Infrastrukturen, sowie weitere 25 % für die Unterstützung innovativer akademischer Forschungsprojekte genutzt werden sollen, die nicht die finanziellen Möglichkeiten haben. NISC beabsichtigt neben der Nutzung der Geräte und *tracer*, auch die bestmögliche Unterstützung bei der Studienplanung, Genehmigungsverfahren, Durchführung der Experimente, Datenauswertung und Dateninterpretation anzubieten.

Laut Konzept ist das Management großer Mengen komplexer Daten, bzw. ihre Gewinnung, Erforschung und Darstellung und die Erschließung ihrer enthaltenen Informationen eine Schlüsselfunktion eines Bildgebungszentrums, um das Datenverständnis und die Erkenntnisse daraus zu unterstützen. Dieses Management benötigt eine beträchtliche Expertise in verschiedenen Bereichen der (Bio-)Informatik und des maschinellen Lernens, *data minings* und der Visualisierung. Die Informatik-Abteilungen der Universitäten Tübingen und Stuttgart haben vor, sich zusammenzuschließen und ein gemeinsames Computer- und Visualisierungs-Zentrum innerhalb von NISC zu etablieren. Ein zentrales Rechenzentrum soll für die Speicherung, Verwaltung und Prozessierung aller generierten Daten verantwortlich sein. Eines der Ziele von NISC ist es, so viele anonymisierte Daten wie möglich für die Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Der unbegrenzte Zugang (kostenlos für kollaborierende akademische Einrichtungen) auf große, in NISC generierte Bildgebungsdatensätze kann ein enormes positives Potenzial für die Bildgebungswissenschaft, Bioinformatik und Informationstechnikwissenschaften aufweisen.

Um die wissenschaftliche Integrität von NISC zu sichern, müssen alle Nutzerinnen und Nutzer sich mit ihrer Unterschrift zum Handeln nach den Regeln der DFG zur „Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ verpflichten. Zweimal jährlich sollen Lehrgänge für „gute wissenschaftliche Praxis“ angeboten werden, an denen alle Studierende, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie leitende technische Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von NISC mindestens einmal pro Jahr teilnehmen müssen. Die SOPs werden jährlich begutachtet und nötigenfalls angepasst.

Bewertung

Die Anzahl der Forschenden, die potenziell die FIS nutzen werden, ist hoch. Die erwarteten Nutzergruppen umfassen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus der Grundlagen- und klinischen Forschung biomedizinischer Disziplinen sowie der Industrie, die sich z. B. mit Krebserkrankungen, neurologische Erkrankungen, Stoffwechselstörungen und kardiovaskulären Erkrankungen befassen. Diese Gruppen würden NISC nutzen, um z. B. funktionale MRI-Studien des Gehirns durchzuführen, molekulare Bildgebungsstudien zu Tiertumormodellen zu verfolgen sowie strukturelle und funktionale Studien an genetisch modifizierten Mäusen zu verwirklichen. Die Schätzungen zu

den Nutzergruppen scheinen angemessen, basierend auf den aktuellen Erfahrungen der präklinischen und klinischen Abteilungen an der Universität. Die erwartete Wachstumsrate ist vielversprechend.

NISC bietet verschiedenen interessierten Nutzerinnen und Nutzern einen offenen Zugang. Interne und externe akademische Nutzerinnen und Nutzer sowie externe Industrievertreterinnen und -vertreter werden die Instrumentierungen und die Serviceleistungen nutzen. Es wurden angemessene Richtlinien für das Zugangsmanagement und den Service definiert. Ein *peer review*-Gremium wird die eingereichten Studien prüfen, wodurch der qualitätsbasierte Zugang sichergestellt werden soll. Die zusätzliche Prüfung der geplanten Studien auf ihre Umsetzbarkeit sollte durch ein internes Gremium erfolgen. Das Verfahren für die Auswahl des *review*-Gremiums und die Bewertung der eingereichten Studien wird klar beschrieben.

In ihrer Gesamtheit sind die Pläne für das Management und den Zugang angemessen. Jedoch sollte noch sorgfältiger über die formalen Mechanismen nachgedacht werden, so z. B. wie Kooperationen gebildet werden, wie die Nutzung von Serviceroutinen zu Kooperationen ausgebaut werden kann und wie die Vergütung von im Vorfeld entstandenen Entwicklungskosten und Verbindlichkeiten zwischen den Beteiligten Kooperationspartnern festgesetzt wird. Die Entwicklung von neuen Methoden, Protokollen und Substanzen kann beispielsweise einen hohen Ressourcenverbrauch sowie hohe Kosten verursachen. Es kann sich somit nicht bei all diesen Entwicklungen um kostenfreie Leistungen von Seiten der FIS handeln. Außerdem müssen für die verschiedenen Nutzergruppen die Daten in unterschiedlichen Abstufungen des Zugangs, der Eigentumsrechte und der Serviceleistungen bereitgestellt werden.

Zu den Schulungs- und Beratungsleistungen für Nutzerinnen und Nutzer, die einen qualifizierten Zugang zur FIS ermöglichen, sind kaum Details im Konzept enthalten. Wie die Nutzerinnen und Nutzer an der Weiterentwicklung der FIS beteiligt werden, wird nicht beschrieben.

Insgesamt sind die Pläne für das Datenmanagement und die Archivierung gut entwickelt, jedoch wird die langfristige Datenverwaltung als der schwächste Bestandteil des Konzepts angesehen. Es wird eine enorme Datenmenge erzeugt werden. Für das Datenmanagement und das langfristige (mind. 10 Jahre) Vorhalten der Daten sollte daher ein ausreichendes Budget eingeplant werden. Man sollte realistisch etwa 5–10 % der gesamten Investitionskosten hierfür veranschlagen. Dies ist im Konzept nicht geschehen. Es ist geplant, dass alle mit der Datenspeicherung verbundenen Kosten von der Universität Tübingen getragen werden. Wie NISC mit den vielen existierenden Dateninfrastrukturen

(wie z. B. BBMRI |¹²⁷, EATRIS |¹²⁸ und ELIXIR |¹²⁹) interagiert und diese konzeptionell berücksichtigt, wird innerhalb des Konzepts unzureichend beschrieben. Keine der modernen verknüpften Daten- und Cloud-Ansätze, die von zentraler Bedeutung für ein Zentrum wie dieses sind, werden im Konzept systematisch berücksichtigt. Dass Daten aus vielen anderen Feldern integriert werden müssen (Omics- und darüber hinaus) spiegelt sich nicht in den Plänen zur Umsetzung wider, was verhindern könnte, dass die FIS ihr volles Potenzial ausgeschöpft. Die FIS wird anonymisierte Datensätze auch für andere Forscher verfügbar machen (Metadaten, offener Zugang und Datenaustausch). Dieser Ansatz ist anderswo sehr positiv genutzt worden, z. B. bei der ADNI-Datenbank (*Alzheimer's disease Neuroimaging Initiative*) und den Konnektom-Daten in den USA, wo viele externe Nutzerinnen und Nutzer die Daten zur Überprüfung von Hypothesen herangezogen haben. Diese Anstrengungen werden eine kontinuierliche langfristige Betreuung erfordern, um den Zugang sicherzustellen. Dafür werden ausreichend spezialisierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, auch aus dem Bereich des nichtwissenschaftlichen Personals, notwendig sein.

Die Pläne zur Qualitätssicherung und Gewährleistung der Einhaltung ethischer Standards sind angemessen, basieren aber in gewissem Maße auf sehr allgemeinen Kriterien, die nicht spezifisch auf Bildungsdaten abgestimmt sind. Die Einhaltung der DFG-Richtlinien ist obligatorisch, jedoch sollten die SOPs spezifische Angaben enthalten, wie die Reproduzierbarkeit und Bildqualität für jedes Bildungsprotokoll überprüft werden. Außerdem ist bei vielen Studien eine sorgfältige Analyse der Aussagekraft erforderlich, die Kenntnisse zu den Varianzquellen und deren Größenordnungen erfordert. In Anbetracht der Tatsache, dass die klinischen Studien an verschiedenen Instrumenten und Standorten stattfinden werden, muss sorgfältig bedacht werden, wie eine Vergleichbarkeit und Standardisierung der Ergebnisse gewährleistet werden kann. Die Gewinnung einer qualifizierten Biostatistikerin bzw. eines qualifizierten Biostatistikers, mit Erfahrungen im Bereich präklinischer und klinischer Studien, ist notwendig.

III.5.c Umsetzbarkeit

Beschreibung

Die Konzeptverantwortlichen erklären, dass alle für die Umsetzung von NISC relevanten technologischen Entwicklungen bereits existieren. Während die technische Entwicklung während der gesamten Realisierungs- und Betriebs-

| ¹²⁷ *Biobanking and Biomolecular Resources Research Infrastructure.*

| ¹²⁸ *European Advanced Translational Research Infrastructure in Medicine.*

| ¹²⁹ *ELIXIR – A distributed infrastructure for life-science information.*

phase von NISC fortschreitet, soll die grundsätzliche Umsetzung und Handlung nicht von diesen technologischen und methodischen Fortschritten abhängig sein. Es existieren keine großen Risiken, die die gesamte Realisierung gefährden könnten.

NISC wird eine Rechtskörperschaft innerhalb der Universität Tübingen darstellen und als „Körperschaft des öffentlichen Rechts“ agieren. Zur Sicherstellung der wissenschaftlichen Qualität von NISC sollen zwei externe Fachbeiräte aufgestellt werden (ein Beirat mit acht internationalen Fachkolleginnen und -kollegen sowie ein industrieller Beirat).

Da die Universität Tübingen bereits ein auf einer virtuellen Struktur basierendes Bildgebungszentrum betreibt, sind laut Konzept alle erforderlichen Fachkolleginnen und -kollegen für die bildgebende Wissenschaft, Bioinformatik und Omics bereits vorhanden. NISC wird ebenfalls eine Struktur bieten, um weitere Expertinnen und Experten für innovative Bereiche, sowohl auf Nachwuchs-, Satelliten- und Direktoralebene zu rekrutieren. Während der Realisierungsphase beabsichtigt die Universität Tübingen, Personal für die Planung und Umsetzung des NISC-Gebäudes sowie für die Entwicklung aller finalen Rechtsdokumente, Genehmigungen, Statuten, Vorlagen, Budgetpläne und Buchhaltung zur Verfügung zu stellen. Es existieren bereits hochmoderne Labore für die präklinische Bildgebung, klinische Bildgebung, Systembiologie, Pharmazie, Radiochemie, Bioinformatik, IT/QBiC |¹³⁰ und Sequenzierung/Omics. Bereits existierende Abteilungen, Nachwuchsgruppen und Satellitengruppen werden letztlich in das NISC-Gebäude umziehen.

Bewertung

Das Ziel von NISC besteht darin, existierende Forschungsprogramme auszuweiten und zu integrieren. Synergien sollen erzielt werden, indem diese in einer einzigen verwaltungsgestützten und physischen Struktur zusammengebracht werden. Hierfür liegt ein systematischer Stufenplan vor. Es besteht dennoch ein Risiko in der Umsetzung, da der Erfolg der angestrebten Integration von makro- und mikroskopischen Daten im Bereich von biologischen Prozessen und Krankheiten noch nicht sicher feststeht. Ein anderes Risiko besteht darin, dass sich im Prinzip über den vorgesehenen Aufbauzeitraum der FIS herausstellen könnte, dass die geplanten Modalitäten sehr viel weniger wissenschaftliche Bedeutung haben oder sich als obsolet herausstellen. So zählt zu den kostenintensivsten Posten die 7 T MRI- und die Hyperpolarisierte MRI-Technologie, die es beide bereits seit einigen Jahren gibt und die über ein großes Potenzial verfügen. Bisher existieren sie jedoch kaum in der praktischen klinischen An-

|¹³⁰ Webportal, das Software zur Datenanalyse und -speicherung bereitstellt. QBiC: *Quantitative Biology Center*.

wendung. Es ist weiterhin möglich, dass zwischen den Primärinnovationen und der Fähigkeit bedeutsame Forschungsergebnisse zu generieren, zu viel Zeit vergeht, um daraus einen Erfolg für NISC zu erzeugen. Das starke Engagement der wichtigsten an dem Vorhaben beteiligten Partner erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die Projektziele erreicht werden.

Es liegt eine starke institutionelle Unterstützung der Universitäten in Tübingen und Stuttgart für das Konzept vor. Die Pläne für das Projektmanagement sind auf allen Ebenen gut entwickelt und angemessen, ebenso wie das Governance-Konzept. Es gibt solide Pläne, wie NISC in die Universitäten integriert werden soll und sich an ihre strategischen Prioritäten anpasst. Das Governance-Konzept beinhaltet zwei externe Ausschüsse, die eine gute Kontrolle ermöglichen sollten. Die derzeitigen Strukturen bieten eine solide Basis für den Aufbau und die Erweiterung der FIS. NISC besteht bereits virtuell über Einrichtungen, Programme und Kooperationen und sollte schnell in der Lage sein, zu der geplanten FIS zu reifen. Die Finanzstruktur und die entsprechenden Grundlagen erscheinen solide. Auch die operative Unterstützung durch die Träger ist solide. Die Rentabilität wird von der Nutzungsintensität der verschiedenen Anlagen abhängen, aber die Schätzungen erscheinen realistisch.

In dem Konzept ist die Angabe enthalten, dass alle erforderlichen Expertinnen und Experten in den Fachbereichen bereits vor Ort sind. Diese Einschätzung kann in Bezug auf den derzeit vorgesehenen Fokus richtig sein, könnte aber auch die Möglichkeiten, künftig andere vielversprechende Technologien einzubeziehen, begrenzen. Vielmehr sollten die besten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler angeworben werden. Es wird wichtig sein, eine solidere Strategie zur Etablierung des Leitungspersonals in den Subprogrammen aufzustellen und neues Personal zu gewinnen. Die Erstellung eines klaren Plans zur Karriereentwicklung ist notwendig. Für das wissenschaftliche Personal liegen klare Kriterien vor, aber die anderen Personalgruppen der FIS benötigen vergleichbare Möglichkeiten der Personalentwicklung.

III.5.d Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland

Beschreibung

Laut Konzept wird NISC die erste räumlich integrierte bildgebungswissenschaftliche FIS in Europa sein, die hochrangige Wissenschaft bereitstellt und für nationale und internationale Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, ohne große administrative oder organisatorische Hürden, zugänglich ist. NISC kann dazu beitragen, die Stärken Deutschlands in der Wissenschaft und zur Fortschreibung seiner langjährigen Erfolgsgeschichte in der bildgebungstechnologischen Entwicklung zu erhalten.

Zwei alljährlich stattfindende Tübinger Workshops, für Kleintierbildgebung und multimodale klinisch-translationsale Bildgebung (PET-MR, PET-CT) sind

etabliert. NISC möchte eine attraktive Umgebung für mindestens sechs Juniorgruppenleiterinnen bzw. -leiter bieten, die ihre eigene wissenschaftliche Karriere vorantreiben sollen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von NISC werden regelmäßig an Tagungen teilnehmen, diese ausrichten und Workshops organisieren. NISC wird geistiges Eigentum erarbeiten, sichern und übertragen.

Bewertung

Deutschland ist bereits äußerst anerkannt und aktiv im Bereich der bildgebenden Wissenschaft, es fehlt jedoch ein führendes Zentrum, das alle Forschungsfelder vereint. Daher wird NISC wahrscheinlich einen starken, positiven Beitrag zur internationalen Sichtbarkeit der deutschen Forschung leisten. In Anbetracht der Stärke von Deutschland im Bereich einiger Mikroskopie-Modalitäten, die nicht in dem Konzept erwähnt sind (nanoSIMS |¹³¹, SHG/THG |¹³², Super-Auflösung und Lichtschnittbildgebung), könnte die Infrastruktur jedoch eventuell nicht in der Lage sein, dieses Potenzial vollumfänglich auszuschöpfen.

Es gibt bereits starke Forschungsprogramme in den relevanten Feldern, aber NISC würde alle anderen aktuellen Bestrebungen überbieten und ein Zeichen setzen, dass Deutschland vorhat, in Zukunft sogar eine noch größere Rolle in diesem wichtigen Bereich der Biomedizin zu spielen. Es kann mit Sicherheit eine wichtige Einrichtung für die führenden deutschen Pharmaunternehmen werden und ein Standort sein, der internationale und nationale Kooperationspartner anziehen wird. Dies trifft insbesondere auf das Forschungsprogramm in der Radiochemie zu, welches einen starken und seltenen Bereich innerhalb Europas darstellt.

NISC positioniert sich selbst am attraktiven Übergang zwischen der Grundlagen- und angewandten interdisziplinären biomedizinischen Forschung. Dies ist ein Feld, das zukünftig sicherlich wachsen wird. Zentrale Einrichtungen (*core facilities*) ziehen Forscherinnen und Forscher an, die die vorhandenen Geräte benötigen, deren Expertise jedoch in anderen Bereichen liegt. Daher sollte die Schaffung von NISC Forschungskarrieren diverser Nutzergruppen aus den Biowissenschaften und der Medizin ermöglichen. NISC wird fünf gut etablierte Senior-Gruppen sowie sechs neue Nachwuchsgruppenleiterinnen und -leiter und viele internationale Studierende sowie Postdoktorandinnen und -doktoranden unterstützen. Diese werden hauptsächlich aus kooperierenden Laboratorien und Institutionen stammen, die nicht in ihrer Gesamtheit in

| ¹³¹ Nano Sekundärionen-Massenspektrometer.

| ¹³² *Second Harmonic Generation/Third Harmonic Generation.*

das neue Gebäude umziehen werden. Das Zentrum wird Auszubildende im Bereich der Bildgebungswissenschaft und aus verschiedenen Anwendungsfeldern anziehen.

NISC ist in seiner vorgeschlagenen Form nur schwach mit den existierenden nationalen und internationalen Infrastrukturen im Bereich des BioImaging, der Biomarkerentwicklung, des Biobankings, der Bioinformatik und Biodatenanalyse verknüpft. Die Einbettung in die breite Forschungslandschaft wird im Konzept nicht genügend betont und untermauert. Die Errichtung einer derart großen Infrastruktur mit vergleichsweise schwacher Anbindung an bestehende Infrastrukturen, könnte Gefahr laufen nicht voll ausgelastet zu sein. Zudem könnte die Sichtbarkeit, Bekanntheit und Stellung von NISC in der nationalen und internationalen Forschungslandschaft darunter leider. Weiterhin ist der Aspekt der Datenintegration mit anderen Disziplinen und der (semantischen) Verknüpfung der Annotation etc. ein schwächerer Teil des Konzepts, der die Attraktivität von NISC negativ beeinflussen könnte.

Das neue Zentrum wird zweifellos ein Katalysator für zunehmende Kooperationen zwischen akademischen und industriellen Nutzerinnen und Nutzern sein. Die Pläne für Technologietransfer und Impact verlassen sich allerdings zu sehr auf traditionelle Verbreitungsmodi. Es könnten viel stärkere Anstrengungen unternommen werden, um technologische Fortschritte zu verbreiten. Beispielsweise sollten Innovationen im Bereich der Kontrastmittel, der Software und der Technik aktiv beworben und über Websites, etc. verfügbar gemacht werden. Beispiele einer derartigen Verbreitung existieren bereits im Bildgebungsbereich. NISC sollte spezifische Anstrengungen unternehmen, um die eigenen Produkte zu vermarkten. Es wurde eine Struktur geschaffen, damit Patente entwickelt werden können. Es wäre hilfreich, spezifische Ziele mit Blick auf die Rendite aus derartigen Erfindungen zu entwickeln.

Die Mitglieder von NISC sind aktiv in die Organisation von Konferenzen involviert und publizieren in Fachzeitschriften mit hoher Bekanntheit. Der Forschungsbereich der präklinischen und klinischen Diagnose sowie Behandlung wird erwartungsgemäß einen bedeutenden gesellschaftlichen Einfluss haben.

III.5.e Komplementäre und konkurrierende Forschungsinfrastrukturen

Research infrastructure landscape			
Name	Brief description and internet link	Time frame	Location/ Participants
Existing research infrastructures			
AIC – Advanced Imaging Center (complementary)	AIC aims at making imaging technologies developed at Janelia widely accessible, and at no cost, to scientists before the instruments are commercially available. Operating strategically at the interface of engineering and biological applications, the AIC is positioned to	2006	Ashburn; US

	reduce the time between instrument development and widespread use in the increasingly technology-intensive field of biology. https://www.janelia.org/, last accessed 29 July 2016		
BioMedBridges (complementary)	BioMedBridges aims at forming a cluster of the emerging biomedical sciences research infrastructures (BMS RIs) and construct the data and service bridges needed to connect them. The BMS RIs are on the ESFRI road-map. Their missions stretch from structural biology of specific biomolecules to clinical trials involving thousands of human patients. Most serve a specific part of the vast biological and medical research community, estimated to be at least two million scientists in Europe across more than 1,000 institutions from more than 36 ESFRI Member States and Associated Countries. BioMedBridges builds a shared data culture in the life sciences by linking up 12 of Europe's new biological, biomedical and environmental research infrastructure. Integrating the vast data resources in the life sciences, including data from genomics, biological and medical imaging, structural biology, mouse disease models, clinical trials, highly contagious agents and chemical biology, shall enable new ways of analysing them to answer new, more complex scientific questions. http://www.biomedbridges.eu, last accessed 29 July 2016 http://www.biomedbridges.eu/, last accessed 25 August 2016	2012	AT, BE, BG, CZ, DE, ES, FN, FR, HU, IL, IT, NL, NO, PL, PT, SL, UK
CAI – Centre for Advanced Imaging	CAI is a strategic initiative of The University of Queensland, reflecting the growth in biotechnology and biomedical research requiring spectroscopic and imaging research capabilities. Its researchers work on innovations in spectroscopic and imaging technology, imaging biomarker development and in biomedical research disciplines, frequently in collaboration with clinical research sites and other local, national, and international research institutes in a range of programmes. https://cai.centre.uq.edu.au/, last accessed 25 August 2016 https://cai.centre.uq.edu.au/files/1162/2015_CAI_Ann_Rep.pdf, last accessed 25 August 2016	Since 2014	Brisbane, AU
CMINT – Memorial Sloan Kettering's Center for Molecular Imaging and Nanotechnology	CMINT is a broad-scope, multidisciplinary translational research programme that unites two rapidly evolving fields – molecular imaging and nanotechnology – by creating expert teams of researchers working in diverse areas such as cancer biology, medicine, chemistry, developmental biology, physics, radiochemistry, immunology, genomics, pharmacology, and engineering.	Launched in 2014	New York, US

	https://www.mskcc.org/research-areas/programs-centers/molecular-imaging-nanotechnology , last accessed 6 September 2016		
CRUK & EPSRC Cancer Imaging Centre – Cancer Research UK & Engineering and Physical Sciences Research Council Cancer Imaging Centre	The CRUK and EPSRC Cancer Imaging Centre brings together scientists and clinicians working on imaging technologies within the field of oncology. The partnership intends to drive forward the development of non-invasive imaging techniques that provide early disease detection, give prognostic information and can detect early treatment response in order to guide therapy in individual cancer patients. http://www.cam-man-cic.ac.uk/, last accessed 15 September 2016	Established in 2013	Manchester and Cambridge, UK
CSB – The MGH (Massachusetts General Hospital) Center for Systems Biology	The CSB was established as one of the five thematic interdisciplinary centres at MGH. It is home to over 200 researchers in 12 PI groups. The mission of the centre is to analyse at a systems level how biological molecules, proteins and cells interact in both healthy and diseased states. https://csb.mgh.harvard.edu/, last accessed 25 August 2016	Established in 2007	Boston, US
EIMI – European Institute for Molecular Imaging (complementary)	EIMI is an established imaging infrastructure at the University of Münster. It was initiated and is primarily operated through the clinic of nuclear medicine. The RI focuses on cardiovascular disease, oncology, neurology and immunology. EIMI depends on radiotracer production from the clinic for nuclear medicine and has a number of locations distributed campus-wide (high field animal MR, PET/CT/Optical, and radiopharmacy). Currently, EIMI is a virtual infrastructure, as not all imaging-relevant infrastructures (radiochemistry, cyclotron, high-field MRI, microscopy, etc.) are under one roof and one leadership. This will change with the inauguration of MIC, where the EIMI concept will be integrated with molecular biology and microscopy. http://www.uni-muenster.de/EIMI/, last accessed 9 September 2016	Since 2007	Münster, DE
IBMI – The Institute of Biological and Medical Imaging of the Helmholtz-Zentrum München	The IBMI is an institute in the realm of optical imaging technology development and its translation into clinical application. The individual groups perform research at nearly all levels of macroscopic optical imaging, ranging from fluorescence and bioluminescence optical imaging, optoacoustic imaging and optical microscopy. Research groups at the centre also cover areas like molecular magnetic resonance imaging, inverse problems and computation, image and signal processing and cell engineering. https://www.helmholtz-muenchen.de/ibmi/, last accessed 9 September 2016	Not specified	Munich, DE
MD Anderson of the University of Texas	Research performed at the institution focuses on four key areas: basic science, translational research, clinical research, and prevention and personalized risk assessment. It hosts	Not specified	US

	different Imaging core facilities being available to external users. https://www.mdanderson.org/research/departments-labs-institutes/programs-centers.html , last accessed 18 October 2016		
ICMIC - In-vivo Cellular and Molecular Imaging Center at Johns Hopkins University	The ICMIC conducts multidisciplinary research on cellular and molecular imaging related to cancer. It provides resources, such as consultation on biostatistics and bioinformatics and optical imaging and probe development, to understand and effectively treat cancer. Its molecular oncology experts consult on preclinical studies, use of human tissues, interpretation of data and molecular characterization of cells and tumour tissue. http://icmic.rad.jhmi.edu/ , last accessed 9 September 2016 http://www.hopkinsmedicine.org/research/labs/in-vivo-cellular-and-molecular-imaging-center , last accessed 18 October 2016	Not specified	Baltimore, US
MGH/HST Athinoula A. Martinos Center for Biomedical Imaging	The Athinoula A. Martinos Center for Biomedical Imaging at MGH is devoted to the development and application of advanced biomedical imaging technologies. Its mission is to advance imaging in healthcare through technology development, translational research and education. http://www.martinos.org/ , last accessed 9 September 2016	Launched in 2000	Charlestown, US
MIPS - Molecular Imaging Program at Stanford	The MIPS was established as an interdisciplinary programme to bring together scientists and physicians who share a common interest in developing and using state-of-the-art imaging technology and developing molecular imaging assays for studying intact biological systems. The goals of the programme are to fundamentally change how biological research is performed with cells in their intact environment in living subjects and to develop new ways to diagnose diseases and monitor therapies in patients. Areas of active investigation are cancer research, microbiology/immunology, developmental biology and pharmacology. http://med.stanford.edu/mips.html , last accessed 25 August 2016	Since 2003	Stanford, US
The Moffitt Cancer Center	Moffitt is the only NCI (National Cancer Institute)-designated Comprehensive Cancer Center based in Florida. Its impact on cancer research spans basic science, prevention and clinical research with a focus on translating discoveries into better care. It operates a large imaging centre for cancer research which also includes omics approaches and bioinformatics. https://moffitt.org/ , last accessed 6 September 2016	Established in 1981, operation since 1986	Tampa, US
VUIIS - Vanderbilt University Institute of Imaging Science	The VUIIS supports advances in physics, engineering, computing, chemistry, and other basic sciences for the development and application of new and enhanced imaging tech-	Since 2002	Nashville, US

	niques to address problems and stimulate new research directions in biology and medicine in health and disease. It has implemented a physical structure, assembling imaging experts and infrastructure at a large scale under one roof. https://www.vuiv.vanderbilt.edu/, last accessed 25 August 2016		
Planned research infrastructures/under construction			
EuBI - Euro-BioImaging (complementary)	EuBI aims at providing open physical user access to a broad range of technologies in biological and biomedical imaging for life scientists. In addition, EuBI plans to offer image data support and training for infrastructure users and providers. EuBI currently counts 28 EuBI Node Candidates offering open access to 36 imaging technologies for biological and biomedical imaging. EuBI has been listed on the ESFRI Roadmap since 2008. http://www.eurobioimaging.eu, last accessed 1 September 2016 www.eurobioimaging-interim.eu, last accessed 29 September 2016	Start of interim operation in 2016. Official launch foreseen to take place in 2017	AT, BE, BG, CH, CZ, DE, DK, ES, FI, FR, GR, HR, IE, IT, IL, LU, NL, NO, PL, SK, UK
EU-OPENSREEN - The European Infrastructure of Open Screening Platforms for Chemical Biology (complementary)	EU-OPENSREEN aims at building a sustainable European infrastructure for Chemical Biology, supporting life science research and its translation to medicine, agriculture, bioindustries and society. It is a distributed research infrastructure which builds on national networks in 16 European countries. It aims at embracing local research groups and facilitates transnational open access to the most advanced technologies, chemical and biological resources, knowledge and expertise throughout Europe. EU-OPENSREEN is likely to be established as a European Research Infrastructure Consortium (ERIC). It will comprise high-throughput screening (HTS) centres at different sites in Europe with their special HTS and bio-assay expertise, chemical resources for optimisation of first hit compounds, bio- and chem-informatics capacities, and a publicly-accessible database (the ECBD) combining screening results, assay protocols, and chemical information. A large collection of diverse compounds, representing the chemical knowledge in Europe, will be made available from a central storage facility. http://eu-openscreen.eu, last accessed 17 October 2016.	Start of preparatory phase in 2010. Expected start of operation in 2018	AT, BE, CZ, DK, FI, FR, DE, GR, HU, IT, NL, NO, PL, RO, ES, SE
MIC - Multiscale Imaging Centre of the University Münster (complementary)	In the MIC, biomedical imaging and the respective technologies will be united under one roof. Imaging techniques ranging from high-resolution microscopy to whole body positron emission tomography (PET) are integral to the project. Cellular components of tissues and molecular processes at the scale of a millionth of a millimetre, as well as tissue	Construction to be completed by 2019	Münster, DE

	and organ structure and function, will be visualised and thereby better understood. http://www.uni-muenster.de/Cells-in-Motion/research/multiscale-imaging-centre/index.html , last accessed 25 August 2016		
NIF - National Biomedical Imaging Facility	For detailed information please see the concept proposal of LPI.	Project start 2018	DE
TranslaTUM – Central Institute for Translational Cancer Research	The centre places medical doctors, biologists, engineers, physicists and chemists under one roof, closely working together to multi-disciplinary tackle cancer. It also includes core labs for small animal imaging (PET, SPECT, CT, MRI, and optical), bioinformatics and microscopy, a central sequencing unit and histology. http://www.tum.de/en/research/researchcenters/translatum/#c27695 , last accessed 25 August 2016	Construction to be completed by the end of 2016	Munich, DE

ACTRIS	<i>Aerosol, Clouds and Trace gases Research Infrastructure</i>
ACTRIS-D	<i>Aerosole, Wolken und Spurengase Forschungsinfrastruktur – Deutscher Beitrag / Aerosol, Clouds and Trace gases Research Infrastructure – German Contribution</i>
AIC	<i>Janelia Advanced Imaging Center</i>
AIM Photonics	<i>American Institute for Manufacturing Integrated Photonics</i>
ALM	<i>Advanced Light Microscopy</i>
ALM-CFs	<i>Advanced Light Microscopy – Core Facilities</i>
AWI	<i>Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung</i>
BBMRI	<i>Biobanking and Biomolecular Resources Research Infrastructure</i>
BESSY FEL	<i>The BESSY Soft X-ray Free Electron Laser</i>
BGBM	<i>Botanischer Garten und Botanisches Museum Berlin</i>
BioM-D	<i>Deutsches Zentrum für Biodiversitätsmonitoring / German Center for Biodiversity Monitoring</i>
BMBF	<i>Bundesministerium für Bildung und Forschung</i>
CETAF	<i>Consortium of European Taxonomic Facilities</i>
CF	<i>Core Facilities</i>
CT	<i>Computertomographie</i>
DCOLL	<i>Deutsche Naturwissenschaftliche Sammlungen als integrierte Forschungsinfrastruktur / German Natural Science Collections Infrastructure</i>
DESY	<i>Deutsches Elektronen-Synchrotron</i>
DFG	<i>Deutsche Forschungsgemeinschaft</i>
DKFZ	<i>Deutsches Krebsforschungszentrum</i>
DKIST	<i>Daniel K. Inoue Solar Telescope</i>
DLR	<i>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt</i>

DOI	<i>Digital Object Identifier</i>
DSMZ	Leibniz-Institut DSMZ – Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen
DWD	Deutscher Wetterdienst
EAST	<i>European Association for Solar Telescopes</i>
EATRIS	<i>European Advanced Translational Research Infrastructure in Medicine</i>
ECSS	<i>European Cooperation for Space Standardization</i>
EEG	Elektroenzephalographie
EHF	Extrem-Hochfeld
e-IRG	<i>e-Infrastructure Reflection Group</i>
ELIXIR	<i>ELIXIR - A distributed infrastructure for life-science information</i>
ER-C	Ernst Ruska-Centrum für Mikroskopie und Spektroskopie mit Elektronen
ER-C 2.0	Ernst Ruska-Centrum 2.0: Die Nationale Forschungsinfrastruktur für höchstauflösende Elektronenmikroskopie / Ernst Ruska-Centre 2.0: National Research Infrastructure for Ultra-High-Resolution Electron Microscopy
ERIC	<i>European Research Infrastructure Consortium</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
ESFRI	<i>European Strategy Forum on Research Infrastructures</i>
ESO	<i>European Southern Observatory</i>
EST	<i>European Solar Telescope</i>
EU	Europäische Union
EuBI	<i>Euro-BioImaging - The European Research Infrastructure for Imaging Technologies in Biological and Medical Sciences</i>
EUCOLL	<i>European Science Collection Infrastructure</i>
EU-OPENSREEN	<i>European Infrastructure of Open Screening Platforms for Chemical Biology</i>
EUROCHAMP	<i>Integration of European Simulation Chambers for In-</i>

FAIR data principles	<i>Findable, Accessible, Interoperable, Reusable</i>
FEI	<i>FEI Company, Inc.</i>
FIR	<i>Fernes Infrarot</i>
FIS	<i>Forschungsinfrastruktur</i>
FZJ	<i>Forschungszentrum Jülich</i>
GBIF	<i>Global Biodiversity Information Facility</i>
GEBI	<i>German Euro-BioImaging</i>
GerBI-FIS	<i>German BioImaging Forschungsinfrastruktur / German BioImaging Research Infrastructure</i>
GFBio	<i>German Federation for Biological Data</i>
GFZ	<i>Deutsches GeoForschungsZentrum - Helmholtz-zentrum Potsdam</i>
GHz	<i>Gigahertz</i>
GLORIA	<i>Global limb Radiance Imager for the Atmosphere</i>
GmbH	<i>Gesellschaft mit beschränkter Haftung</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GREST	<i>Getting Ready for EST</i>
GSI	<i>GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH</i>
GSRT	<i>General Secretariat for Research and Technology</i>
H2020	<i>Horizon 2020 – The EU Framework Programme for Research and Innovation</i>
HGF	<i>Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren</i>
HKI	<i>Hans-Knöll-Institut – Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie</i>
IAGOS	<i>In-service Aircraft for a Global Observing System</i>
ICOS	<i>Integrated Carbon Observation System</i>
iDigBio	<i>Integrated Digitized Biocollections</i>
IGBP	<i>International Geosphere-Biosphere Programme</i>

IOF	Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik
IT	Informationstechnik
KCS	<i>Key Community Scientist</i>
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LPI	Leibniz-Zentrum für Photonik in der Infektions- forschung / <i>Leibniz Center for Photonics in Infection Research</i>
LTER	<i>Long Term Ecological Research</i>
MCAO	<i>Multi-Conjugate Adaptive Optics</i> / Multikonjugierte Adaptive Optik
MEG	Magnetenzephalographie
MERIA	<i>Multiple Eye for Remote Investigation of the Atmosphere</i>
MfN	Museum für Naturkunde – Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung
MIC	<i>Multiscale Imaging Center</i>
MPG	Max-Planck-Gesellschaft
MR	Magnetresonanz
MRI	<i>Magnetic Resonance Imaging</i>
NCB NATURALIS	<i>Nederlands Centrum voor Biodiversiteit Naturalis / Naturalis Biodiversity Center</i>
NFDI	Nationale Forschungsdateninfrastruktur
NIF	Nationale Biomedizinische Bildgebungs- einrichtung / <i>National Biomedical Imaging Facility</i>
NISC	<i>National Imaging Science Center</i>
NPL	<i>National Photonics Labs</i>
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Develop- ment</i>
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
PI	<i>Principal Investigator</i>
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt

QS-Modus	<i>Queued-Service-Modus</i>
RF	Radiofrequenz
RfII	Rat für Informationsinfrastrukturen
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
SFM	Strukturell-funktionell-metabolisch
SHS	<i>Spatial Herodyne Spectrometer</i>
SNSB	Staatliche Naturwissenschaftliche Sammlungen Bayerns
SOLARNET	<i>High-Resolution Solar Physics Network</i>
SOP	<i>Standard Operation Procedure</i>
SPM	<i>Scanning Probe Microscopy</i>
T	Tesla
TanDEM-X	<i>TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement</i>
TB	Terabyte
TEM	Transmissionselektronenmikroskop
TERENO	<i>Terrestrial Environmental Observatories</i>
TOSC	<i>Telescope Operation and Science Centre</i>
TriG	<i>Triple GNSS = GPS/Glonass/Galileo</i>
TRL	<i>Technology Readiness Level</i>
TTC	Trainings- und Transferzentrum
UBA	Umweltbundesamt
UHF	Ultra-Hochfeld
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
UV	ultraviolett
VTT	<i>Vacuum Tower Telescope</i>
WCRP	<i>World Climate Research Programme</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
XUV	<i>Extreme ultraviolet</i>
ZFMK	Zoologisches Forschungsmuseum Alexander Koenig – Leibniz-Institut für Biodiversität der Tiere

