

**Stellungnahme  
zu neun Großgeräten der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung und  
zur Weiterentwicklung der Investitionsplanung  
von Großgeräten**

	<u>Seite</u>
Vorbemerkung .....	3
Thesen zur Bedeutung von Großgeräten für die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung .....	7
 <u>Teil I: Übergreifende Stellungnahme</u>	
A. Fachliche Begutachtung und wissenschaftspolitische Bewertung .....	11
A.I. Vorgehensweise .....	11
A.II. Stand und Perspektiven der Forschungsgebiete, denen die geplanten Großgeräte zuzuordnen sind .....	14
A.III. Gruppe von Großgeräten, die ohne Vorbehalt förderungswürdig ist.....	28
- Labor für gepulste, sehr hohe Magnetfelder (HLD) .....	28
- Forschungsflugzeug für die Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung (HALO).....	31
A.IV. Gruppe von Großgeräten, die mit Auflagen förderungswürdig ist.....	36
- Supraleitender Elektron-Positron Linearcollider (TESLA).....	36
- TESLA Freie Elektronen Röntgenlaser (TESLA X-FEL).....	40
- Beschleunigeranlage zur Erzeugung energetischer Ionenstrahlung hoher Intensität und Qualität .....	44
A.V. Gruppe von Großgeräten, zu der spezifische Stellungnahmen gegeben werden .....	48
- Freie Elektronen Laser für weiche Röntgenstrahlung (Soft X-ray FEL)..	48
- Hochfeldmagnetanlage für Strukturuntersuchungen mit Neutronen.....	51
- Europäische Spallations-Neutronenquelle (ESS).....	54
- Europäisches eisbrechendes Forschungsbohrschiff (Aurora Borealis) ..	59
B. Zu Struktur und Finanzierung von Großgeräten .....	64
C. Zur künftigen Bewertung von Großgeräten.....	77
D. Zusammenfassung der Ergebnisse der wissenschaftspolitischen Bewertung.....	80

Teil II: Stellungnahmen der Unterarbeitsgruppen zu den einzelnen Großgeräten (in englischer Sprache)

- A. High Field Laboratory Dresden (HLD) (Drs. 5364/02)
- B. High Altitude and Long Range Research Aircraft (HALO) (Drs. 5370/02)
- C. TeV-Energy Superconducting Linear Accelerator (TESLA) (Drs. 5368/02)
- D. TESLA X-ray Free Electron Laser (TESLA X-FEL) (Drs. 5366/02)
- E. International Accelerator Facility for Beams of Ions and Antiprotons (Drs. 5374/02)
- F. Soft X-ray Free Electron Laser (Soft X-ray-FEL) (Drs. 5367/02)
- G. European Spallation Source (ESS) (Drs. 5373/02)
- H. High Magnetic Field Facility for Neutron Scattering Research (Drs. 5365/02)
- I. European Drilling Research Icebreaker (Aurora Borealis) (Drs. 5269/02)

## Vorbemerkung

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat den Wissenschaftsrat mit Schreiben vom 31. März 2000 gebeten, zur Fortentwicklung und künftigen Struktur der Großgeräte der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung Stellung zu nehmen. Das BMBF hat dies mit Schreiben vom 31. Oktober 2000 konkretisiert und dem Wissenschaftsrat eine Liste von Großgeräten mit einem Investitionsvolumen größer 15 Mio. Euro (damals 30 Mio. DM) mit der Bitte um Begutachtung vorgelegt, die von Institutionen der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF), der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz (WGL) und der Max-Planck-Gesellschaft (MPG) teilweise in Kooperation mit Universitäten sowie europäischen und internationalen Partnern in naher Zukunft geplant sind:<sup>1, 2</sup>

- Supraleitender Elektron-Positron Linearcollider (TESLA)
- TESLA Freie Elektronen Röntgenlaser (TESLA X-FEL)
- Freie Elektronen Laser für weiche Röntgenstrahlung (Soft X-ray-FEL)
- Labor für gepulste, sehr hohe Magnetfelder (HLD)
- Hochfeldmagnetanlage für Strukturuntersuchungen mit Neutronen
- Europäische Spallations-Neutronenquelle (ESS)
- Beschleunigeranlage zur Erzeugung energetischer Ionenstrahlung hoher Intensität und Qualität
- Europäisches eisbrechendes Forschungsbohrschiff (Aurora Borealis)
- Forschungsflugzeug für die Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung (HALO)

Die vorliegende Stellungnahme des Wissenschaftsrates konzentriert sich auf die vom BMBF übermittelten Projektvorschläge.

Der Wissenschaftsrat erkennt sowohl die Bedeutung der einzelnen Initiativen als auch die Bereitschaft und die Leistungen der beteiligten Institutionen im Rahmen dieses Begutachtungsprozesses ausdrücklich an, welcher auch international wahr

---

<sup>1</sup> Die deutschen Wissenschaftsorganisationen wurden im Frühjahr 2000 vom BMBF um Vorschläge für Großgeräte der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung gebeten.

<sup>2</sup> Ursprünglich zählte hierzu auch der CO<sub>2</sub>-Satellit CARBOSAT. Das Projekt wurde im Oktober 2001 zurückgezogen.

genommen und beobachtet wird. Er sieht aber in den vorgelegten Großgeräteprojekten nur einen Ausschnitt möglicher zukünftiger Forschungsinfrastrukturen und weist darauf hin, dass weitere Forschungsgebiete, in denen Großgeräten eine hohe Bedeutung zukommt, durch die Großgeräte in der vom BMBF übermittelten Liste nicht abgedeckt sind. Zu nennen wären beispielhaft die Astrophysik und die Bearbeitung und Archivierung großer Datenmengen.<sup>3</sup> Unabhängig von der hier durchgeführten Begutachtung und Bewertung einzelner Großgeräte wird der Wissenschaftsrat sich auch fortan grundlegenden Fragen der Fortentwicklung und Struktur von Großgeräten nicht nur der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung widmen. In Abschnitt C dieser Stellungnahme sind daher Anforderungen an eine künftige Begutachtung von Großgeräten formuliert.

Der Wissenschaftsrat hat im Januar 2001 die Arbeitsgruppe „Großgeräte der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung“ eingesetzt. Ihr gehören Wissenschaftler aus Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen aus Deutschland, den Vereinigten Staaten und der Schweiz sowie Angehörige und Vertreter der nationalen und internationalen Wissenschaftsverwaltung an.

Die Arbeitsgruppe hat die fachliche Begutachtung der einzelnen Großgeräte veranlasst und diese anschließend selbst in einen übergeordneten wissenschaftspolitischen Kontext gestellt. Sie hat hierzu ein geteiltes Verfahren gewählt:

- Die **fachliche Einzelbegutachtung** der neun Großgeräte wurde in der Zeit zwischen Oktober 2001 und Januar 2002 durch insgesamt sechs Unterarbeitsgruppen vorgenommen. An den Begutachtungen nahmen 53 externe Sachverständige teil, darunter 36 aus dem Ausland.<sup>4</sup>
- Eine **wissenschaftspolitische Bewertung** der Großgeräte wurde durch die Arbeitsgruppe vorbereitet. Grundlage hierzu stellten die fachlichen Einzelbegut-

---

<sup>3</sup> Dem Investitionsvolumen nach müssten Höchstleistungsrechner ebenfalls zu den hier zu betrachtenden Großgeräten zählen. Die Erarbeitung von Investitions- und Nutzungsstrategien für Höchstleistungsrechner ist bereits Aufgabe des „Nationalen Koordinierungsausschusses zur Nutzung und Beschaffung von Höchstleistungsrechnern“ des Wissenschaftsrates.

<sup>4</sup> Von den 37 ausländischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler kamen elf aus den USA, sieben aus der Schweiz, sechs aus England, vier aus Frankreich, jeweils zwei aus den Niederlanden und Schweden und jeweils eine Person aus Japan, Australien, Russland, Kanada und Griechenland.

achtung der wissenschaftlichen Qualität der jeweiligen Großgeräte dar. Durch eine personelle Verzahnung - von den Mitgliedern jeder Unterarbeitsgruppe waren mindestens zwei auch Mitglied der Arbeitsgruppe, von denen eines den Vorsitz der Unterarbeitsgruppe inne hatte - konnten die Begutachtungsergebnisse der Unterarbeitsgruppen in den Bewertungsprozess der Arbeitsgruppe einfließen.

Der Wissenschaftsrat gliedert seine Stellungnahme in zwei Teile:

Teil I „Übergreifende Stellungnahme“ umfasst in Abschnitt A - **als abschließendes Votum zu der jeweiligen Initiative** - die wissenschaftspolitische Bewertung der betrachteten Großgeräte und enthält in Abschnitt B Empfehlungen zu Struktur und Finanzierung von Großgeräten in Deutschland. In Abschnitt C sind Anforderungen an eine künftige Begutachtung von Großgeräten formuliert. Dem Teil I sind für diese und folgende Begutachtungen Thesen zur Bedeutung von Großgeräten für die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung vorangestellt.

Teil II enthält die Stellungnahmen der Unterarbeitsgruppen zu den einzelnen Großgeräten in englischer Sprache, wobei das für die Förderung bzw. Realisierung maßgebliche Votum des Wissenschaftsrates nur in Teil I enthalten ist.

Den Mitgliedern der Arbeitsgruppe und den Unterarbeitsgruppen, die nicht Mitglieder des Wissenschaftsrates sind, ist der Wissenschaftsrat zu besonderem Dank verpflichtet. Dank gilt auch den Institutionen, welche die Planungen für die betrachteten Großgeräte erarbeitet haben. Sie haben für die Arbeitsgruppe und die Unterarbeitsgruppen umfangreiche Unterlagen vorbereitet, die Unterarbeitsgruppen bei ihren Begutachtungen vor Ort offen empfangen und standen diesen für konstruktive Gespräche zur Verfügung.

Der Wissenschaftsrat hat die Stellungnahme am 12. Juli 2002 verabschiedet.

Mit seiner Stellungnahme zu neun Großgeräten der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung und zur Weiterentwicklung der Investitionsplanung von Großgeräten schließt der Wissenschaftsrat die fachliche Begutachtung und wissenschaftspolitische Bewertung der ihm vorgelegten Großgeräteplanungen zunächst ab. Die Be

wertung erfolgte zu einem Zeitpunkt, an dem sich die wissenschaftliche Qualität und technische Reife einzelner Projekte noch unterschiedlich darstellte. Die mittel- und langfristigen finanzpolitischen Bedingungen sind in wesentlichen Punkten noch klärungsbedürftig. Der Wissenschaftsrat sieht die Förderung von Großgeräten der hier betrachteten Dimension als einen kontinuierlich fortzusetzenden Prozess an. Entsprechend betrachtet er die verabschiedete Stellungnahme als Grundlage weiterer notwendiger Förderentscheidungen. Der Wissenschaftsrat wird auf Grundlage der Stellungnahme und unter Berücksichtigung der sich anschließenden wissenschaftspolitischen Debatte zu den Zielen und zur Finanzierung der Großgeräte konkrete Empfehlungen zu den Prioritäten der Realisierung der einzelnen Großgeräte vorlegen. Er bietet an, künftig sowohl die Förderung der positiv bewerteten Großgeräte zu begleiten als auch neue bzw. erneut vorgelegte Großgeräteplanungen zu begutachten.

## **Thesen zur Bedeutung von Großgeräten für die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung**

Die vorliegende Stellungnahme konzentriert sich auf die fachliche Begutachtung und wissenschaftspolitische Bewertung von neun Großgeräten, die dem Wissenschaftsrat vom BMBF im Oktober 2000 vorgelegt worden sind. Der Wissenschaftsrat sieht hierin keinen festgeschriebenen Kreis von Großgeräten, sondern einen Ausgangspunkt für eine systematische Investitionsplanung von Großgeräten. Aus diesem Grund stellt der Wissenschaftsrat seinen Überlegungen Thesen für diese und folgende Begutachtungen von Großgeräten voran:

1. Naturwissenschaftliche Grundlagenforschung nimmt weltweit für die Zukunftsgestaltung eine Schlüsselstellung ein. Wissenschaftliche und technische Entwicklungen für Wirtschaft und Gesellschaft haben oftmals ihren Ausgangspunkt in Ergebnissen der Grundlagenforschung. Sie prägen entscheidend die Identität der heutigen Gesellschaft mit und beeinflussen Kulturgut und kulturelles Verständnis.
2. Die Erfolge der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung gehen - neben Arbeiten ohne oder mit vergleichbar geringem apparativen Aufwand sowie spontanen Durchbrüchen oder zufälligen Erkenntnissen - oftmals auf den Einsatz aufwendiger Großgeräte an nationalen und internationalen Forschungszentren zurück. Die Eröffnung beziehungsweise Erschließung ganz neuer Forschungsgebiete korreliert eng mit der Verfügbarkeit von neuen, spezifischen Großgeräten.
3. Großgeräte sollten aus einer breiten Initiative gleichberechtigter Nutzer aus der Wissenschaft hervorgehen. Deshalb sollten Wissenschaftler aus allen Bereichen des Wissenschaftssystems bei Entwicklung, Planung und Bau von Großgeräten beteiligt sein. Dies gilt mit besonderem Nachdruck für Wissenschaftler aus Universitäten und deren wesentliche Beteiligung an Konzeption und Entwicklung des Großgerätes. Großgeräte der hier betrachteten Dimension müssen einen Kristallisationskern von nationalen und internationalen Forschungskollaborationen und Wissenschaftsnetzwerken darstellen.

4. Eine wesentliche Aufgabe des Betriebs von Großgeräten ist die enge Verbindung von anspruchsvoller wissenschaftlicher Forschung mit der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses und dessen Einbeziehung in internationale Forschungskollaborationen. Die Beteiligung des wissenschaftlichen Nachwuchses bedarf einer besonderen Bemühung seitens der wissenschaftlichen Leitungsebene der beteiligten Institutionen. Es ist in hohem Masse zu gewährleisten, dass eine künftige Generation von Wissenschaftlern an dem Großgerät eine adäquate und zukunftsorientierte Ausbildung erhält. Neben Fragen der Finanzierung eines Großgerätes stellt die Gewinnung und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses - eine „Ressource“, die ebenfalls nicht unbegrenzt vorhanden ist und um die unterschiedliche naturwissenschaftliche Forschungsdisziplinen, auch solche mit geringer Nutzung von Großgeräten, konkurrieren - die zentrale Voraussetzung zur Ausschöpfung des wissenschaftlichen und technischen Potenzials eines Großgerätes dar. Der Wissenschaftsrat richtet an alle Beteiligten aus allen Bereichen des Wissenschaftssystems die ausdrückliche Bitte, sich mit besonderem Nachdruck für diese Erfordernisse einzusetzen.
5. Mit Großgeräten der hier betrachteten Dimension müssen langfristige wissenschaftliche Visionen verknüpft und Voraussetzungen für technische Innovationen gegeben sein. Nur dann kann ihnen eine angemessene Rolle für den wissenschaftlichen Fortschritt, und die Anwendung neuer Erkenntnisse und eine Katalysatorwirkung für ganze Forschungsgebiete zufallen. Großgeräte der hier betrachteten Dimension müssen eine herausgehobene Bedeutung für den Wissenschaftsstandort Deutschland aufweisen.
6. Die Mehrzahl von Großgeräten kann aufgrund der notwendigen Zusammenführung des wissenschaftlichen Potenzials und der Kosten für Errichtung, Erhaltung und Betrieb nicht mehr allein national geplant und finanziert werden. Sie sollten als Forschungseinrichtungen in multinationaler europäischer oder internationaler Trägerschaft angelegt sein und einer breiten europäischen und internationalen Nutzerschaft offen stehen. Dies wird mittelfristig zu einer Weiterentwicklung der Arbeitsteilung in Europa und weltweit für Bau und Betrieb von Großgeräten führen. Voraussetzung ist die frühzeitige Einbeziehung ausländischer Partner in die Projektvorbereitung, die Beteiligung an Entscheidungen und die Übertragung von Verantwortung für eigene wissenschaftliche oder technologische Beiträge. Groß



geräte können auch einen wichtigen Beitrag zur weiteren Internationalisierung des deutschen Wissenschaftssystems durch Förderung von Kooperation und Mobilität und allgemein zur schrittweisen europäischen und internationalen Öffnung nationaler Institutionen leisten.<sup>5</sup> Auf nationaler bzw. europäischer Ebene sollte es keine vergleichbaren Konkurrenzprojekte geben, die sich bereits in der Realisierungsphase befinden, um einer Duplizierung von Forschungsinfrastrukturen, die einer effektiven Nutzerauslastung des Großgeräts abträglich wäre, vorzubeugen.

7. Deutschland sollte - über die bisherigen Einzelfälle hinaus - Standort von mehreren multinational-europäischen oder internationalen Großgeräten unter Führung deutscher Wissenschaftler sein und sich auch an Planung, Bau und Betrieb von Großgeräten mit einem Standort im Ausland wesentlich beteiligen. Der Bedeutung des Wissenschaftsstandortes Deutschland und der deutschen Wissenschaft entsprechend sollte Deutschland die wissenschaftliche Federführung bei einem bedeutsamen Anteil von Großgeräten inne haben.
8. Großgeräte, die aufgrund ihrer Kosten zentral für Nutzer vorgehalten werden müssen, die zu einem wesentlichen Anteil nicht aus der betreibenden Einrichtung kommen, sollten von einer Einrichtung betrieben werden, die durch ihr Aufgabenverständnis stark serviceorientiert ist. Hierzu bieten sich einerseits Großforschungseinrichtungen an, die naturwissenschaftlich-technische sowie biologisch-medizinische Forschung und Entwicklung betreiben, die einen konzentrierten Einsatz von erheblichen personellen, finanziellen und apparativen Mitteln erfordern. In Kooperation mit Universitäten und weiteren nationalen wie internationalen Forschungseinrichtungen können andererseits auch größere Einrichtungen der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz (WGL) und der Max-Planck-Gesellschaft (MPG) geeignete Orte zur Ansiedlung von Großgeräten sein.
9. Das Großgerät muss zentral in die strategische Planung und das Forschungsprogramm der federführenden Einrichtung(en) eingebunden sein und einen Kern des Aufgabenspektrums bilden. Profilbildung und Konzentration sind zum Zwecke der optimalen Ressourcenallokation unerlässlich. Dies kann und muss in bestimmten

---

<sup>5</sup> Wissenschaftsrat: Thesen zur künftigen Entwicklung des Wissenschaftssystems in Deutschland, Köln 2000, S. 5 ff.

Fällen bedeuten, dass im Falle einer Ansiedlung eines Großgerätes an einer Institution diese sich aus Gründen der begrenzten finanziellen und personellen Kapazitäten gegen die Weiterführung bestehender Forschungsrichtungen entscheiden muss. Damit sind in der Regel auch personelle Umschichtungen und Ressourcenverlagerungen verbunden.

10. Universitäten sind die Träger der Grundlagenforschung in der ganzen Breite der Disziplinen. Intensiver und oft langfristiger Personal- und Mitteleinsatz oder besondere Organisationserfordernisse, die mit Bau und Betrieb von Großgeräten verbunden sind, entsprechen in der Regel nicht der Struktur oder den Proportionen einer Universität und können das von dieser sinnvoll zu bewältigende organisatorische Maß überschreiten. Auf dem Gebiet der apparativen Ausstattung, wozu auch Großgeräte zählen, sollte die Zusammenarbeit von Hochschulen und Großforschungseinrichtungen eine Selbstverständlichkeit darstellen. Wissenschaftler aus Universitäten sind wichtige Nutzer von Großgeräten. Ihnen muss zur Durchführung von Forschungsvorhaben ein Zugang zu den Großgeräten systematisch und nachvollziehbar offen gehalten werden.<sup>6</sup> In gleichem Maße wie deutschen Wissenschaftlern Großgeräte im Ausland offen stehen, sollte auch ausländischen Wissenschaftlern der Zugang zu Großgeräten in Deutschland ermöglicht werden.

---

<sup>6</sup> Hierzu hat sich der Wissenschaftsrat an anderer Stelle bereits ausführlich geäußert. Siehe: Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Zusammenarbeit von Großforschungseinrichtungen und Hochschulen, Köln 1991, S. 40 ff., Wissenschaftsrat: Systemevaluation der HGF – Stellungnahme des Wissenschaftsrates zur Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, Köln 2001, S. 52 ff.

## **A. Fachliche Begutachtung und wissenschaftspolitische Bewertung**

### **A.I. Vorgehensweise**

Der Wissenschaftsrat hat die vom BMBF übermittelten Großgeräte der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung zunächst fachlich begutachtet und die einzelnen Großgeräte und deren fachliche Begutachtung in einem zweiten Schritt in einen übergeordneten wissenschaftspolitischen Kontext gestellt.

Die fachliche Einzelbegutachtung der Großgeräte erfolgte durch verschiedene Unterarbeitungsgruppen. Schwerpunkte der Begutachtung lagen auf

- der Wahrscheinlichkeit fundamental neuer Erkenntnisse bzw. den Möglichkeiten entscheidender, nur mit dem Großgerät erreichbarer wissenschaftlicher Fortschritte,
- der technischen Realisierbarkeit und dem technischen Innovationsgrad des Großgerätes,
- der wissenschaftlich-technischen Kompetenz der beteiligten Institutionen,
- der bereits vorhandenen oder zu erwartenden Akzeptanz der (potenziellen) Nutzer aus den betroffenen und angrenzenden Fachgebieten sowie
- der Erfüllung verschiedener für die Forschung bedeutsamer Ziele (Transfer, internationale Perspektiven, Nachwuchsförderung).

Eine wissenschaftspolitische Bewertung der Großgeräte erfolgte durch den Wissenschaftsrat aufbauend auf der Begutachtung der wissenschaftlichen Qualität der einzelnen Großgeräte unter Beachtung der folgenden Aspekte:

- Wissenschaftliches Potenzial des Forschungsprogramms

Im Rahmen der wissenschaftspolitischen Bewertung wurden zunächst die wissenschaftlichen Ziele betrachtet, welche mit dem jeweils geplanten Großgerät verfolgt werden. Im Fokus stand das Potenzial an besonders hohem wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn bezogen auf den gegenwärtigen Kenntnisstand und dem sich bereits heute abzeichnenden künftigen Kenntnisbedarf. Das geplante Großgerät muss mit den langfristigen Entwicklungsperspektiven des entsprechenden Fach

gebietes bzw. der entsprechenden Fachgebiete kongruent sein. Mit den wissenschaftlichen Innovationen muss ein grundlegender Beitrag zum Fortschritt der beteiligten Fachgebiete verknüpft sein. Zudem muss gewährleistet sein, dass die gewünschten Erkenntnisse mit dem Großgerät in bestmöglicher Weise erreicht werden können, d.h. es sollte auszuschließen sein, dass der angestrebte Erkenntnisgewinn nicht andernorts mit vorhandenen oder künftigen Geräten auf womöglich weniger kostenintensive Weise erreicht werden kann. Darüber hinaus sollte das Großgerät ein Potenzial an Themenoffenheit garantieren, das ein Fortschreiten der Erkenntnis in bislang „unbekannte Gebiete“ erlaubt.

Die beantragenden Institutionen müssen über die notwendige wissenschaftliche und technische Kompetenz verfügen sowie durch die vorhandene Infrastruktur Bau und Betrieb des geplanten Großgeräts überzeugend gewährleisten. Auch muss die mit dem Großgerät zu erreichende Schwerpunktbildung deutlich erkennbar sein und langfristig zu einer weiteren Profilschärfung der jeweiligen Forschungseinrichtung beitragen.

- Erfüllung von wissenschafts- und technologiepolitischen Zielen, wie sie in den Thesen (siehe Seite 6 ff.) formuliert sind
- Reifegrad des technischen Konzeptes und damit verbunden die mögliche zeitliche Realisierung der einzelnen Großgeräte

Der Wissenschaftsrat sieht die Entscheidungsreife als formale Mindestvoraussetzung an (siehe Teil C). Ein ausgereiftes technisches Konzept ist eine entscheidende Voraussetzung für die zeitnahe Realisierung des geplanten Großgeräts. Es muss im Vergleich mit bereits bestehenden oder in Planung befindlichen, ähnlichen oder konkurrierenden Initiativen Bestand haben und auf einer belastbaren Kostenschätzung basieren. Die technische Machbarkeit sollte durch Testanlagen bzw. im technischen Projektvorschlag hinreichend nachgewiesen sein.

Der Wissenschaftsrat hat auf Basis der fachlichen Einzelbegutachtungen der Unterarbeitsgruppen die betrachteten Großgeräte mit ihren konzeptionellen Stärken und Schwächen in den Kontext der weiteren nationalen und internationalen wissenschaft

lichen Entwicklung der Forschungsgebiete, in denen sie angesiedelt sind, gestellt und in ihren Wechselwirkungen zu anderen Disziplinen bewertet. Im Ergebnis führt dies zu einer Einteilung der Großgeräte in drei Gruppen:

- In eine erste Gruppe von Großgeräten, mit deren Realisierung Forschungsinfrastrukturen einer neuen Qualität verfügbar werden, die in ganz entscheidendem Maße zur Weiterentwicklung des jeweiligen Forschungsgebietes beitragen werden und neue wissenschaftliche Erkenntnisse erwarten lassen. Der Wissenschaftsrat hält die Großgeräte dieser Gruppe ohne Vorbehalt für förderungswürdig. Forschungsprogramm und technischer Projektvorschlag liegen in überzeugender Weise vor. Sie sollten rasch in Angriff genommen und finanziert werden (siehe Kapitel A.III.).
- In eine zweite Gruppe von Großgeräten, mit deren Realisierung ebenfalls Forschungsinfrastrukturen einer neuen Qualität verfügbar werden, die in ganz entscheidendem Maße zur Weiterentwicklung des jeweiligen Forschungsgebietes beitragen werden und neue wissenschaftliche Erkenntnisse erwarten lassen. Deren Forschungsprogramme und technische Projektvorschläge liegen vor und weisen einen hohen Reifegrad auf. Es besteht jedoch noch Klärungsbedarf in bestimmten Fragen, der einer vorbehaltlosen Förderung bislang noch entgegensteht. Der Wissenschaftsrat hat hierzu Auflagen formuliert und bittet den Bund, ihn über die Klärung dieser Fragen zu informieren und ihm entsprechend den Auflagen konzeptionell überarbeiteten Teile der Projektvorschläge nochmals vorzulegen, ehe auch in diesen Fällen gegebenenfalls eine vorbehaltlose Förderungswürdigkeit bestätigt werden kann (siehe Kapitel A.IV.).
- Zu einer dritten Gruppe von Großgeräten gibt der Wissenschaftsrat aus unterschiedlichen wissenschaftlichen, technischen oder verfahrensbezogenen Gründen spezifische Stellungnahmen ab (siehe Kapitel A.V.). Sollte eine Fortführung der Arbeiten am Forschungsprogramm („scientific program“) und an dem technischen Projektvorschlag („technical design report“) dieser Großgeräte zu erweiterten Erkenntnissen und zu einem neuen Projektvorschlag führen, hält der Wissenschaftsrat eine erneute Begutachtung, die auch in Konkurrenz zu weiteren Großgeräteinitiativen stehen kann, für erforderlich (zum Verfahren der künftigen Begutachtung von Großgeräten siehe Abschnitt C).

In dem folgenden Kapitel wird zunächst ein Überblick zu Stand und Perspektiven der Forschungsgebiete, denen die geplanten Großgeräte zuzuordnen sind, und zur Bedeutung von Forschungsinfrastrukturen für das jeweilige Forschungsgebiet gegeben (Kapitel A.II.). Die Ergebnisse der abschließenden wissenschaftspolitischen Bewertung der betrachteten Großgeräte durch den Wissenschaftsrat finden sich ebenso wie Kurzdarstellungen der fachlichen Begutachtungen der einzelnen Großgeräte durch die Unterarbeitsgruppen in den Kapiteln A.III. bis A.V. Die eingehenden, in englischer Sprache abgefassten Stellungnahmen der Unterarbeitsgruppen sind in Teil II dieser Stellungnahme zusammengestellt, wobei darauf hinzuweisen ist, dass nur in Teil I eine für die Förderung ausschlaggebende Bewertung gegeben wird.

## **A.II. Stand und Perspektiven der Forschungsgebiete, denen die geplanten Großgeräte zuzuordnen sind**

Der Physik der kondensierten Materie können die Großgeräte

- TESLA Freie Elektronen Röntgenlaser (TESLA X-FEL)
- Freie Elektronen Laser für weiche Röntgenstrahlung (Soft X-ray FEL)
- Labor für gepulste, sehr hohe Magnetfelder (HLD)
- Hochfeldmagnetanlage für Strukturuntersuchungen mit Neutronen
- Europäische Spallations-Neutronenquelle (ESS)

zugeordnet werden. Die Physik der kondensierten Materie befasst sich mit der Struktur und Dynamik von Festkörpern und deren Oberflächen, den elektronischen und magnetischen Eigenschaften verschiedenster Systeme, dem Aufbau und Verhalten von Makromolekülen unter unterschiedlichen Bedingungen. Die Untersuchungsverfahren werden im wesentlichen mit geladenen Teilchen, Neutronen und Synchrotronstrahlung durchgeführt. Bedeutende anwendungsorientierte Fragestellungen werden aus den Festkörper- und Materialwissenschaften sowie aus Bereichen der Lebenswissenschaften („Life Science“) aufgenommen.

Die **Festkörper- und Materialwissenschaften** beschäftigen sich mit hochwertigen Materialien, die eine wesentliche Voraussetzung für den heute erreichten technischen Stand unserer Zivilisation, sei es bei Energieversorgung, Transport, Kommunikation oder im Gesundheitswesen darstellen. Entsprechend dieser zentralen Bedeutung ist die Entwicklung zukunftsorientierter Technologien ohne eine leistungsfähige Materialforschung nicht denkbar. Der heutige Kenntnisstand ermöglicht die maßgeschneiderte Herstellung oder Verbesserung von Materialien für spezifische Anforderungen. Dabei unterscheidet man Strukturwerkstoffe, die durch gewünschte mechanische Eigenschaften wie Festigkeit, Steifigkeit, Duktilität, hohem Verschleißwiderstand sowie Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen gekennzeichnet sind, von Funktionswerkstoffen, die sich durch ihre elektrischen, magnetischen, akustischen, optischen und biologischen Eigenschaften auszeichnen. Typisch für die meisten Materialklassen ist hierbei, dass sie im allgemeinen sowohl als Struktur- als auch als Funktionswerkstoffe eingesetzt werden können.

Die Klärung der Zusammenhänge zwischen dem mikroskopischen Aufbau der Werkstoffe und den daraus resultierenden Eigenschaften sind weltweit Gegenstand intensiver Forschung und bislang nur in Teilbereichen hinreichend verstanden. Zum Stand des Wissens haben die Forschungen mit Röntgenstreuung, Neutronenstreuung, Synchrotronstrahlung und anderen spektroskopischen Methoden entscheidende Beiträge geliefert. Die Entwicklung neuer Materialien stellt nach wie vor eine große Herausforderung dar. Hochtechnologiewerkstoffe erfordern die genaue Kontrolle ihrer Struktur über weite Längen- und Zeitskalen, von Nanometern bis zu makroskopischen Dimensionen, von Pikosekunden bis zu Stunden oder sogar Jahren. Dieser weite Skalenbereich sowie die Verschiedenheit der interessierenden Eigenschaften stellen eine große Herausforderung dar und erfordern auf der Seite der Analytik den Einsatz mehrerer aufeinander abgestimmter leistungsfähiger Messverfahren, die sich gegenseitig ergänzen. Zuverlässige Messdaten und immer leistungsfähigere Rechner bilden die Basis für die ständig wachsende Bedeutung der Computersimulation.

Generell verlangt die Herstellung neuer Materialien im Nanometer-Bereich neue Strategien zur Verbindung von Selbstorganisation und der Fähigkeit zur Bildung hierarchischer Strukturen. Hier ist ein besonders hohes Maß von Interdisziplinarität gefragt, um Ansätze aus Physik, Chemie, Biologie und den Ingenieurwissenschaften zu verbinden.

Für die Materialcharakterisierung und für die dazu nötigen Großgeräte der nächsten Generation ergeben sich hieraus zahlreiche Herausforderungen, insbesondere die Notwendigkeit, immer geringere Substanzmengen handhaben zu können, bis hinunter zu einzelnen Molekülen oder sogar einzelnen Atomen. Dies erfordert immer leistungsfähigere Messgeräte und Methoden. Viele der hier angesprochenen Materialien sind nicht kristallin im gewohnten Sinne, so dass ihre Strukturen den so leistungsfähigen klassischen Verfahren wie Röntgen- und Neutronenstreuung nicht unmittelbar zugänglich sind. Dies erfordert neue Ansätze in der Strukturforschung und eine enge Abstimmung des Einsatzes von Großgeräten mit den sich ständig weiterentwickelnden Labormethoden der verschiedenen Formen von Mikroskopie, Spektroskopie und Computersimulation. Die sich hier abzeichnenden Synergien lassen bereits jetzt Chancen zu einer neuen Qualität der Nutzung von Großgeräten in diesem Bereich erkennen.

In diesem Jahrhundert wird den **Lebenswissenschaften („Life Science“)** eine ähnlich prägende Rolle wie im vergangenen Jahrhundert der Mikroelektronik zukommen. Die Gründe für diese sprunghafte Entwicklung sind vielfältig: Durch eine Aufklärung der biophysikalischen und biochemischen Primärprozesse wurde eine neue Dimension des allgemeinen Verständnisses der „Life Sciences“ erzielt (z.B. Aufklärung der Grundmechanismen der Photosynthese; weitgehende Entschlüsselung des menschlichen Genoms). Für Themen der Gesundheit und der Lebensqualität ist das Interesse in einem großen Teil der Bevölkerung stark angestiegen, was sich auch in einem deutlichen Anstieg der für diesen Wirtschaftsbereich ausgegebenen Mittel ausdrückt.

Als entscheidender Schritt auf dem Wege der wissenschaftlichen Aufklärung biologischer Prozesse kann die Strukturaufklärung durch Röntgenstrahlen angesehen werden. Hierbei wurde nicht nur die Struktur der DNA-Doppelhelix, sondern auch die Struktur des photosynthetischen Reaktionszentrums aufgeklärt. In beiden Fällen leisteten Röntgen-Strukturdaten neuer Qualität zum jeweiligen Zeitpunkt den entscheidenden Erkenntnisschritt. Mit der Aufklärung dieser biologischen Grundstrukturen ist jedoch erst ein Anfang gemacht. Die lebenserhaltenden Prozesse in allen Organismen werden nach heutiger Erkenntnis durch dynamische Vorgänge gesteuert, die durch Proteine vermittelt werden. Es gilt deshalb, sehr komplexe, dynamische



Molekülstrukturen aufzuklären, die aus teilweise mehr als 1.000 Aminosäuren aufgebaut sind. Diesen biologischen Makromoleküle liegen Primärstrukturen (Aminosäureketten) zugrunde, die teilweise recht gut verstanden sind. Durch Faltung dieser Aminosäureketten entstehen jedoch sehr komplexe sekundäre und tertiäre Strukturen, deren Aufbau und Funktion im lebenden Organismus erst noch erfasst werden müssen. Das dynamische Wechselspiel großer Bioproteine mit pharmakologisch wirksamen Molekülen kann nur in seltenen Fällen mit den konventionellen Methoden der Röntgenstreuung geklärt werden. Zur Aufklärung des Wechselspiels werden heutzutage neuere Methoden der NMR (insbesondere mehrdimensionale NMR), der Spektroskopie und der Mikroskopie eingesetzt.

Im Ansatz existieren bereits Daten aus Neutronenstreu-Experimenten, welche die dynamischen Eigenschaften von Bioproteinen beschreiben. Ein Nachteil der Neutronenstreuung besteht allerdings darin, dass es bisher nur in wenigen Fällen gelang, ausreichend große Einkristalle für Streuexperimente herzustellen. In Zukunft wird erwartet, Fortschritte in der Strukturaufklärung durch den Einsatz von X-ray Lasern mit extrem hoher Intensität zu erzielen. Mit deren Hilfe sollte es möglich sein, die Struktur einzelner Biomoleküle über Experimente „mit einem Schuss“ zu bestimmen. Dabei verdampft zwar das Molekül durch den hohen Energieeintrag, die Strukturdaten werden jedoch instantan registriert und erlauben eine Rekonstruktion der komplexen Molekülform. Erste vielversprechende Ergebnisse liegen vor. Die Leistungsfähigkeit der Methode muss experimentell aber erst noch gezeigt werden.

Parallel zu den experimentellen Techniken wird derzeit in einem anderen Forschungsstrang der Einsatz rechnerischer Methoden vorangetrieben, die aus bekannten Nukleotid-Sequenzen zunächst Aminosäuresequenzen ableiten, die dann über Faltungs-Algorithmen zu dreidimensionalen Proteinstrukturen führen sollen. Die prinzipielle Eignung der derzeit verfügbaren Algorithmen hierzu ist jedoch noch Gegenstand wissenschaftlicher Debatten.

Da die rein auf theoretische Erkenntnis gestützten Methoden, Biomoleküle zu verstehen und Pharmaka zu entwickeln, relativ langsam sind und da der Marktdruck, erfolgreiche Blockbuster-Präparate zu entwickeln, sehr groß ist, werden derzeit viele empirische Testmethoden entwickelt. Hierbei werden bekannte Chemikalien in Rahmen von kombinatorischen Testprogrammen und mittels meist optischer Testmetho

den in einer großen Vielzahl charakterisiert (High Rapid Throughput Screening). Mit diesen Methoden ist es möglich, mehr als 1.000 Testsubstanzen pro Tag zu untersuchen. Dies hat in der Vergangenheit oft dazu geführt, dass mit rein empirischen Methoden Pharmaka entwickelt wurden, deren Funktion molekular erst später aufgeklärt wurde. Die Teilinformationen über Strukturen aus Streudaten, Spektroskopie und Computersimulation müssen systematisch zusammengeführt werden. Hierzu ist eine Stärkung der Zusammenarbeit zwischen den entsprechenden Disziplinen erforderlich.

Wissenschaftliche Fortschritte sind in den Lebenswissenschaften („Life Science“) in der Vergangenheit eher durch ‚Kleingeräte‘ als durch Forschung mit Großgeräten erzielt worden. Hier liegt ein grundlegender Unterschied beispielsweise zur Elementarteilchenphysik oder zur Physik der Hadronen und Kerne. Großgeräte wie Röntgenlaser oder Neutronenquellen, die von verschiedenen wissenschaftlichen Fachdisziplinen wie Hochenergiephysik, Kernphysik, Biophysik und in Teilbereichen Mikroelektronik gegebenenfalls auch parallel genutzt werden können, werden in Zukunft für die Weiterentwicklung der Lebenswissenschaften („Life Science“) mit von Bedeutung sein.

Ein Großgerät ist im Forschungsgebiet **Elementarteilchenphysik** angesiedelt:

- Supraleitender Elektron-Positron Linearcollider (TESLA)

Die Elementarteilchenphysik widmet sich dem Studium der kleinsten Teilchen der Materie und der zwischen ihnen wirkenden Kräfte. Trotz der vielfältigen Erscheinungsformen ist Materie in unserer Welt aus nur wenigen Grundbausteinen aufgebaut, zwischen denen vier unterschiedliche Kräfte wirken. Dieses einfache Bild wird konkret erfasst vom Standardmodell der Teilchenphysik - bisher allerdings mit Ausnahme der Gravitation.

Der elementare Charakter der Bausteine der Materie und ihrer Kräfte wird im Bereich des Mikrokosmos bei Dimensionen sichtbar, die einem Bruchteil der Ausdehnung von Protonen und Neutronen entsprechen, aus denen die Atomkerne aufgebaut sind. Da alle kernphysikalischen und atomaren Gesetzmäßigkeiten aus diesem Modell

abgeleitet werden können, stellt es auch die Grundlage für das Verständnis des Makrokosmos dar. Seine Gültigkeit bei extrem kleinen Abständen führt zum Verständnis des Entstehens und der zeitlichen Entwicklung des Universums (Urknall). Das Modell stellt damit eine Verbindung her zwischen teilchenphysikalischen und kosmologischen Entwicklungen.

Das Standardmodell bildet einen Rahmen für die Strukturen und Gesetze des Mikrokosmos, dessen Gültigkeit in weiten Bereichen experimentell mit äußerst hoher Genauigkeit bestätigt worden ist. Dazu haben Experimente an Teilchenbeschleunigern entscheidend beigetragen. Dennoch gibt es Phänomene, wie die kleinen Unterschiede zwischen Materie und Antimaterie und vor allem der Mechanismus zur Erzeugung der Teilchenmassen, die experimentell noch nicht hinreichend untersucht und verstanden sind. Dazu gehört auch die sehr aktuelle Frage nach den Eigenschaften von Neutrinos, die sowohl durch Messungen des Neutrinoflusses von der Sonne, von kosmischer Strahlung und von Reaktoren wie auch des doppelten Betazerfalles untersucht werden.

Das Standardmodell parametrisiert die Eigenschaften der fundamentalen Grundbausteine und Kräfte, ohne sie physikalisch zu deuten. Eine Erklärung, warum die elektrische Ladung des elementaren Elektrons exakt identisch ist mit der des Protons, das aus Quarks zusammengesetzt ist, gibt es ebenso wenig wie eine Antwort auf die Frage, warum sechs Quarks und drei geladene Leptonen gepaart mit drei Neutrinos existieren. Es zeigt auch nicht den Ursprung der vier fundamentalen Kräfte. Bisher ist es gelungen, drei der vier Kräfte, die elektromagnetische, die schwache und die starke Wechselwirkung als Eichtheorien zu vereinheitlichen. Die quantentheoretische Integration der vierten Kraft, der Gravitation, steht noch aus. Es wird weitgehend angenommen, dass dies nur durch Einbettung in eine übergeordnete Theorie möglich sein wird.

Im Standardmodell werden Teilchenmassen durch den Higgsmechanismus erzeugt, d.h. durch eine Wechselwirkung mit einem Untergrundfeld, dem sogenannten Higgsfeld. Dieses Feld manifestiert sich in der Existenz eines elektrisch neutralen Teilchens, des Higgsbosons. Die Existenz dieses Teilchens und der Nachweis des Higgs-Mechanismus gelten zur Zeit als die wohl dringendsten Fragen, die es experimentell zu lösen gibt. Andere Fragen weisen über den Rahmen des Standardmodells

hinaus. Die Theorie der Materie kann erst dann als vollständig angesehen werden, wenn sie alle Kräfte auf einen gemeinsamen Ursprung zurückführt, die Spektren und Massen der fundamentalen Teilchen erklärt, und die Gravitation, verknüpft mit der Struktur von Raum und Zeit, in quantentheoretischer Form einbindet. Die Vereinigung der elektroschwachen mit der starken Wechselwirkung bei hohen Energien zu einer fundamentalen einheitlichen Wechselwirkung ist ein allgemein akzeptiertes Konzept. Ausgehend von den sehr präzisen Messungen der Kopplungskonstanten bei niedrigen Energien scheint dieses Konzept realisierbar zu sein, solange das Standardmodell durch Supersymmetrie ergänzt wird. Supersymmetrie erweitert das Spektrum der bekannten Teilchen, in dem es jedem Teilchen einen Partner zuteilt, dessen Eigendrehimpuls sich um eine halbe Einheit unterscheidet. Supersymmetrie bietet außerdem eine physikalische Deutung des Higgs-Mechanismus an. Darüber hinaus könnten supersymmetrische Teilchen einen großen Anteil der Masse des Universums in Form von unsichtbarer „dunkler Materie“ erklären.

Die Entwicklung des Standardmodells hat sich im Wechselspiel zwischen Theorie und Experiment vollzogen. Daran waren jahrzehntelang Experimente an Teilchenbeschleunigern verschiedenster Art von hoher Bedeutung. Durch die Entdeckung der schweren Quarks und Leptonen, der Gluonen, W and Z Mesonen haben Präzisionsmessungen das Modell konsolidiert. Der erst kürzlich erfolgte Nachweis der Verletzung der Symmetrie zwischen Materie und Anti-Materie (CP) bei B Mesonen ist eine weitere Bestätigung der Aussagen des Standardmodells. Die Suche nach dem Higgs-Teilchen verbleibt die wichtigste experimentelle Frage. An den existierenden Beschleunigern war trotz großer Anstrengungen die Suche nach dem Higgsboson bisher erfolglos, seine Eigenschaften sind im Standardmodell wohl spezifiziert, mit Ausnahme seiner Masse. Experimente an den zur Zeit im Bau befindenden Protonen-Speicherringen des Large Hadron Colliders an der Europäischen Organisation für Kernforschung (CERN) in Genf sollten in der Lage sein, die Existenz der Higgs-Teilchen bis zu einer Masse von 1 TeV (entsprechend eintausend Protonmassen) entweder als gesichert nachzuweisen oder mit Sicherheit auszuschließen. Darüber hinaus stehen detaillierte Untersuchungen an, die Anzeichen für Strukturen jenseits des Standardmodells in einem Energiebereich aufzeigen sollten, in dem das Modell keine konsistenten Aussagen machen kann. Hochenergiephysiker in aller Welt sind der Überzeugung, dass für solche Untersuchungen hochenergetische Elektron-Positron Kollisionen am besten geeignet sind. Während Protonen äußerst komplexe

Teilchen sind, deren Wechselwirkungen von vielen Nebeneffekten beeinflusst werden, sind die Annihilationen von Elektronen und Positronen (Materie und Antimaterie) einfache Prozesse, die neuartige Phänomene deutlich erkennen und mit Präzision vermessen lassen. Die bei extrem hohen Energien auftretenden Energiedichten entsprechen denen während dem ersten Billionstel einer Sekunde nach dem Urknall, so dass sich die Anfänge des Kosmos im Experiment nachvollziehen lassen könnten. Alle Teilchen, die zu Beginn des Universums vorhanden waren, sollten unter diesen Bedingungen im Experiment entstehen. Falls die Vorstellung von der Supersymmetrie relevant ist, sollte es möglich sein, die von ihr vorausgesagte Serie neuer Teilchen zu beobachten. Sie stellen eine neue Art von Materie dar, die keine Atome und daher auch keine Planeten und Galaxien bilden. Sie könnten die dunkle Materie sein, deren Existenz aus astronomischen Beobachtungen postuliert wird. Untersuchungen von Vorgängen, die sich nur bei höchsten Energien abspielen, fordern enorme technische Innovation beim Bau von Beschleunigern höchster Energie und Intensität. In den letzten Jahrzehnten konnte die effektive Energie der Teilchenbeschleuniger bei relativ geringen Kostensteigerungen um mehr als einen Faktor fünfzig erhöht werden. Die wesentliche Erneuerung war die Einführung von Speicherringen, in denen hochenergetische Teilchenstrahlen kollidieren im Gegensatz zu konventionellen Beschleunigern, an denen ein Strahl auf einen stationären Target trifft. Parallel dazu führte die Entwicklung von neuen Nachweismethoden und von schneller Elektronik zum Bau von Großdetektoren von hoher Komplexität und Leistungsfähigkeit. Anforderungen an die Selektion, den Transport und die Speicherung sehr großer Datenmengen sowie der Bedarf an weltweiter Kommunikation haben Neuentwicklungen in diesen Bereichen gefördert.

Forschungsarbeiten in der Teilchenphysik werden seit Jahrzehnten in internationaler Zusammenarbeit durchgeführt. Diese Zusammenarbeit ermöglicht nicht nur den Bau von Großgeräten durch Nutzung gemeinsamer finanzieller Ressourcen; sie führt insbesondere zu koordinierter und damit optimierter Nutzung und zu einer wesentlich erhöhten Qualität der wissenschaftlichen und technischen Projekte. Ein erfolgreiches Beispiel ist das Europäische Forschungszentrum CERN, welches in den vergangenen Jahren immer mehr zu einem weltweiten Zentrum der wissenschaftlichen Zusammenarbeit geworden ist. CERN wird nicht nur von seinen Europäischen Mitgliedsstaaten unterstützt, sondern auch von einer wachsenden Anzahl von assoziierten Staaten, deren Wissenschaftler sich an dem Bau des LHC und den Experi

menten beteiligen. DESY hat auf der Basis von bilateralen Vereinbarungen erhebliche Beiträge zum Bau von HERA und von Experimenten erhalten, sowohl durch Entwicklung und Lieferung von Komponenten als auch durch Beteiligung von ausländischem Personal.

In Zukunft werden Modelle für diese Art von weltweiter Zusammenarbeit angestrebt, die es den beteiligten Wissenschaftlern erlauben sollen, von ihrem Heimatinstitut aus, unter Nutzung moderner Methoden der Kommunikation, sich aktiv an der Planung, dem Bau und dem Betrieb eines Großbeschleunigers und den Experimenten zu beteiligen. Die Verwirklichung dieses Global Accelerator Network wird für den zukünftigen Elektron-Positron-Collider angestrebt. An den Entwicklungsarbeiten für eine technisch derart aufwändige Maschine beteiligen sich Wissenschaftler aus drei Weltregionen, Europa, Japan und den USA. Es ist zu erwarten, dass die Hochenergiephysik damit nicht nur technisches Neuland erschließen wird und den fundamentalen wissenschaftlichen Fragen des Mikro- und Makrokosmos näher kommt, sondern auch einen Beitrag zur Förderung weltweiter Zusammenarbeit liefern kann.

In das Forschungsgebiet **Physik der Hadronen und Kerne** fällt das Großgerät

- Beschleunigeranlage zur Erzeugung energetischer Ionenstrahlung hoher Intensität und Qualität.

Über die letzten 80 Jahre hinweg war das vorherrschende Thema der Kernphysik die Erforschung der phänomenologischen Grundlagen: Die Bestimmung der Eigenschaften und Struktur der stabilen und fast-stabilen Kerne, ihrer Anregungsmechanismen sowie die Reaktionen zwischen Kernen. Alle Beschreibungen der Kerneigenschaften basierten auf dem Modell der Nukleonen als Kernbausteine, welche einer phänomenologisch starken Wechselwirkung unterliegen. Diese Entdeckungen lieferten die Grundlagen für die vielen praktischen Anwendungen der Kernphysik. Das phänomenologische Modell erlaubte es zugleich, die Energiequellen und die Entwicklung der Sterne quantitativ zu verstehen und später auch den Zoo der Mesonen und Nukleonenanregungen zu beschreiben. Heute ist verstanden, dass die wahren Bausteine der Kernmaterie Quarks sind, die durch Austausch von Gluonen miteinander in Wechselwirkung stehen. Die grundlegende und im Prinzip exakte Theorie der

starken Wechselwirkung ist die Quantenchromodynamik (QCD). Sie enthält neue und mysteriöse Eigenschaften, die sie von den Theorien der anderen grundlegenden Wechselwirkungen der Natur unterscheiden. Der wichtigste Unterschied ist das sogenannte Quark Confinement. Es besagt, dass Quarks niemals einzeln auftreten können, sondern nur in Bindung an andere Quarks (oder Antiquarks). Dementsprechend verfolgt die moderne Kernphysik drei wichtige Stossrichtungen:

Die eine erforscht die grundlegenden Eigenschaften der Kernmaterie, bestehend aus Quarks und Gluonen, wie sie von QCD vorausgesagt werden. Das Ziel ist nicht nur, neue Formen von stark wechselwirkender Materie zu finden, sondern das Confinement als solches zu verstehen. Um die Quarkeigenschaften zu manifestieren, werden Reaktionen zwischen Kernen oder von Kernen mit Elektronen bei hohen Energien benötigt. Dabei können einerseits sehr hohe Kerndichten erzeugt werden, so dass die Quarks (und Gluonen) quasi frei durch einen Teil des Kernvolumens wandern und so das Confinement kurzzeitig überwinden können. Bei höheren Stossenergien wächst die lokale Energiedichte derart an, dass eine große Anzahl von Quarks, Antiquarks und Gluonen aus dem Vakuum erzeugt werden. Dieser Zustand entspricht dem des Kosmos etwa 10 Mikrosekunden nach dem Urknall. Unter diesen Umständen herrscht entsprechend der QCD eine neue Phase von Kernmaterie vor: das Quark-Gluon Plasma (QGP). Der Phasenübergang von normaler Kernmaterie zum QGP (oder umgekehrt) ist von großer Bedeutung: Die Quarks verlieren dabei über 99% ihrer Masse. Umgekehrt besagt das, dass über 99% aller Masse in unserer Welt durch den Übergang vom QGP zur normalen Kernmaterie erzeugt wurde. QCD als grundlegende Vielteilchentheorie sagt noch weitere Formen von Quark-Gluon-Materie voraus: Am interessantesten ist ein Gluonenkondensat, welches dem Bose-Einstein-Kondensat der elektromagnetischen Wechselwirkung entspricht.

Weitere wichtige Fragestellungen ergeben sich aus dem Aufbau der Nukleonen und Mesonen aus Quarks und Gluonen: Das Proton ist ein Agglomerat von Quarks und Gluonen, alle mit eigenem Spin und Drehimpuls, die sich exakt zum Gesamtwert von  $1/2\hbar$ -quer addieren müssen. Wie geschieht das? Quarks und Gluonen können auch viel komplexere Mesonen erzeugen als bisher beobachtet wurden. Wie sieht das vollständige Spektrum der Mesonen aus? Mit der Bereitstellung spezieller Höchstleistungsrechner für sogenannte Gitterrechnungen werden theoretische Voraussagen zu allen diesen Fragen bald verfügbar sein.

Der zweite Bereich, die Kernphysik der niederen Energien, versucht die Bestimmung der instabilen Kerne bis zu den grundlegenden Grenzen der Stabilität zu erweitern. Kerne können nur eine begrenzte Anzahl von Neutronen und Protonen selbst für kurze Zeit zusammenhalten. Die Grenze bestimmen die sogenannten driplines (d.h. Tropfgrenzen). Die Eigenschaften der Kerne an der Proton-dripline bestimmen die Entwicklung der Sternmaterie und die Erzeugung der chemischen Elemente, vom Urbrennstoff Wasserstoff bis zu den stabilsten Elementen um Eisen und Nickel. Die noch schwereren Elemente entstehen dann explosiv durch Neutronenanlagerung entlang der Neutronen-dripline. Das quantitative Verständnis dieser Supernovaexplosionen und damit des Vorkommens der schweren Elemente bedarf der Messungen an Kernen weit vom Stabilitätstal. Hin zu den überschweren Kernen sind deren Stabilitätsgrenzen trotz großer Forschungsanstrengungen bislang unbekannt. Verlässliche Modellrechnungen sagen voraus, dass Kerne mit 180 Neutronen und 126 Protonen, also 306 Nukleonenmassen, praktische Lebensdauern haben sollten. Solche Kerne hätten praktische Bedeutung wegen ihrer überaus großen Spaltwahrscheinlichkeiten. Alle diese Forschung benötigt Beschleuniger niederer bis mittlerer Energien.

Ein dritter Bereich der Kernphysik konzentriert sich auf die Eigenschaften von Elektron-Neutrinos, wie sie im Betazerfall im Labor, in Kernreaktoren oder in Sternen, wie etwa der Sonne, erzeugt werden. Diese Forschung geschieht in tiefen Untergrundlaboratorien, oft mit großvolumigen Detektoren. So hat der Detektor am Sudbury Neutrino Observatory (SNO) in Kanada erst kürzlich gezeigt, dass Elektron-Neutrinos sich auf dem Weg von der Sonne zur Erde in andere Neutrinoformen umwandeln können. Dies hat zugleich auch das Standardmodell der Sonne quantitativ bestätigt. Aus der Erklärung der Brennprozesse in Sternen und der Explosionsprozesse der Supernova folgt eine quantitative Voraussage von kosmologischen Neutrinos.

Diese drei Forschungsbereiche der heutigen Kernphysik haben zu einem internationalen Konsens bezüglich der notwendigen neuen Beschleuniger und Detektoren geführt. Die Erforschung von QCD Materie bei höchsten Energiedichten benötigt Schwerionenstrahlen von mindestens 100 GeV/Nukleon. Diese stehen heute am Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) am Brookhaven National Laboratory (BNL) und nach dessen Fertigstellung auch am Large Hadron Collider (LHC) am CERN zur



Verfügung. Die Erzeugung von Kernmaterie höchster Massendichte, d.h. größter Kernkompression, bedarf Schwerionenstrahlen mittlerer Energien, etwa 30 bis 50 GeV/Nukleon.

Die Untersuchung von Quarkverteilungen und von kalter QCD Materie erfordert Elektron-Proton Kollisionen, wie etwa der Hadron-Electron Ring Accelerator (HERA), oder Elektron-Kern Kollisionen, wie etwa an der Thomas Jefferson National Accelerator Facility (Jefferson Lab) geplant. Für die QCD Spektroskopie werden zur Zeit neue Proton-Antiproton oder Photon-Nukleus Anlagen in Betracht gezogen.

Herstellung und Untersuchung von radioaktiven Kernen an den driplines benötigen Strahlen von Kernen, die selbst schon radioaktiv sind. Sehr leistungsfähige zwei-stufige Beschleuniger sind in den USA, Japan und in Deutschland in Vorbereitung.

Fragestellungen aus der **Umwelt- und Geoforschung** sollen mit den Großgeräten

- Europäisches eisbrechendes Forschungsbohrschiff (Aurora Borealis)
- Forschungsflugzeug für die Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung (HALO)

bearbeitet werden.

Die moderne **Umwelt- und Geoforschung** betrachten die Erde als einen dynamischen Planeten, der sich in einem ständigen Wandel befindet und ein System darstellt, dessen Verständnis für die menschliche Daseinsfürsorge von essentieller Bedeutung ist. Die Umwelt- und Geowissenschaften verpflichten sich daher zusehends der systematischen Erdbeobachtung, welche die Grundlage für die Erhaltung des Lebensraums Erde bildet und Voraussetzung für ein erfolgreiches Erdmanagement ist. Neben der Erhaltung und nachhaltigen Nutzung der natürlichen Ressourcen wie fossile Energieträger, mineralische Rohstoffe, Trinkwasser und Biomasse, stehen die Vorsorge für und das Management von Naturkatastrophen (Überschwemmungen, Massenbewegungen, Erdbeben, Vulkanausbrüche) und insbesondere die Auswirkungen der menschlichen Tätigkeit auf natürliche Kreisläufe (z. B. Klimaauswirkungen und Ressourceninanspruchnahme) sowie auf terrestrische und aquatische Ökosysteme im Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten. Alle genannten Bereiche sind von

hoher wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Relevanz und erfordern ein prozessorientiertes Vorgehen. Umwelt- und Geoaufgaben des 21. Jahrhunderts beinhalten im Einzelnen:

- Entwicklung und Erprobung von integrierten Modellen, die Atmosphäre, Hydrosphäre, Pedosphäre, Biosphäre und Lithosphäre als System betrachten,
- Erkennung und Bewertung der Bewegungsprozesse in der Erdkruste,
- Analyse und Beurteilung von Umwelt- und Georisiken wie Erdbeben, Vulkanismus, Massenverlagerungen, Überflutungen, Klimaanomalien (Global Change), Luftverunreinigungen, Bodendegradationen, Gewässerschäden und Veränderungen der Artenvielfalt sowie Entwurf von Vorhersage- und Managementstrategien,
- Erkennung und nachhaltige Nutzbarmachung der wesentlichen natürlichen Ressourcen wie Wasser, Rohstoffe und Biomasse,
- Beurteilung der Interaktion Mensch-Umwelt sowie Entwurf und Ausführung von geoökologischen, umweltgeologischen, geotechnischen und Umweltschutzmaßnahmen.

Die Veränderungen des Weltklimas sowie die hiermit in Zusammenhang stehenden und - aus heutigem Erkenntnisstand heraus beurteilbaren - ausschlaggebenden Veränderungen in der Troposphäre und Stratosphäre sind noch immer nur unzureichend verstanden. Zur Erstellung verlässlicher Klimamodelle und -voraussagen sind Daten über das Klima der jüngeren erdgeschichtlichen Vergangenheit ebenso erforderlich, wie Informationen über den aktuellen Zustand der oberen Luftschichten der Erde sowie über die relevanten Interaktionen der Atmosphäre z. B. mit der Bio- und Hydrosphäre. Diese Daten können nur durch Tiefseebohrungen in allen Bereichen der Ozeane, insbesondere aber in den bisher diesbezüglich nur lückenhaft erschlossenen arktischen und antarktischen Meeresregionen sowie durch direkte Messungen in der Troposphäre und unteren Stratosphäre gewonnen werden und sind für Langfriststrategien von essenzieller Bedeutung.

Großgeräte in den Umwelt- und Geowissenschaften, die für die Lösung der genannten Langfristaufgaben erforderlich sind, umfassen neben analytischen Einrichtungen insbesondere Forschungsplattformen wie mobile Tiefbohranlagen (z.B. Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland, International Continental Drilling Program), Mehrzweck- und Polar-Forschungsschiffe (Forschungsschiff Sonne, For

schungsschiff Meteor, Polarforschungsschiff Polarstern) sowie geowissenschaftliche Bohrschiffe (DRV Joides Resolution: Ocean Drilling Program, Integrated Ocean Drilling Program). Darüber hinaus werden Forschungsflugzeuge und Erdbeobachtungssatelliten zur kontinuierlichen Analyse der Atmosphäre sowie zur Vermessung des Schwerefeldes und des sich langsam verändernden Erdmagnetfeldes eingesetzt. Während landgebundene Tiefbohranlagen für die Topographie und die dreidimensionale Erkundung der oberen Stockwerke der Erdkruste im Hinblick auf tektonische Vorgänge, Vulkanismus und mineralische sowie Energierohstoffe von Bedeutung sind, stellen Forschungs- und Bohrschiffe in Kombination mit ferngesteuerten Robotersystemen und bemannten Forschungstauchbooten die einzigen Möglichkeiten zur Untersuchung des Meeresbodens im Hinblick auf die Entschlüsselung von Klimaarchiven und die Exploration von mineralischen (Massivsulfide) und Energierohstoffen (Erdöl, Erdgas, Gashydrate) dar. Langfristig werden Meeresbodenobservatorien für die Überwachung submariner vulkanischer Aktivitäten sowie der hiermit in Verbindung stehenden Hydrothermalsysteme (bis 400°C heiße Meerwasseraustritte) eingesetzt werden. Die an den Hydrothermalquellen der Tiefsee auftretenden hyperthermophilen chemosynthetischen Bakterien werden zur Zeit auf eine mögliche Nutzung in der Pharmaindustrie hin untersucht und stellen eine wichtige Geo-Bio-Schnittstelle dar.

### **A.III. Gruppe von Großgeräten, die ohne Vorbehalt förderungswürdig ist**

Der Wissenschaftsrat hält

- das Labor für gepulste, sehr hohe Magnetfelder (HLD) und
- das Forschungsflugzeug für die Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung (HALO)

ohne Vorbehalt für förderungswürdig. Forschungsprogramm und technischer Projektvorschlag liegen in überzeugender Weise vor und sind ausgereift. Beide Großgeräte sollten rasch in Angriff genommen und finanziert werden.

#### **Labor für gepulste, sehr hohe Magnetfelder (HLD)**

##### Kurzdarstellung des Großgerätes<sup>7</sup>

Magnetfelder sind mit den Zustandsgrößen Temperatur und Druck vergleichbar und haben daher für viele Forschungsgebiete Bedeutung. Bei Erhöhung der Feldstärke über den bisher zugänglichen Rahmen hinaus können neue und im Einzelnen unvorhersehbare wissenschaftliche Erkenntnisse in der Festkörperphysik und der Materialforschung erwartet werden.

Eine Initiative von Dresdner Physikern und Materialforschern unter Führung des Forschungszentrums Rossendorf (FZR) und des Instituts für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW), Dresden, beabsichtigt die Errichtung eines Hochfeldmagnetlabors mit einer Magnetfeldstärke von bis zu 100 Tesla und einer Pulsdauer von rd. 10-20 Millisekunden. Um das Labor für ein breites Spektrum von Experimenten nutzen zu können, sind drei Gruppen verschiedener Magnete vorgesehen, die jeweils unterschiedliche Kombinationen von Pulsdauer (zwischen 10 und 1000 ms), Maximalfeld (zwischen 60 und 100 Tesla) und Probenvolumen (zwischen 20 und 50 mm Durchmesser des Probenraumes) realisieren.

Das wissenschaftliche Programm der Dresdner Initiative umfasst die Bereiche Halbleiterphysik und niedrigdimensionale Systeme, Magnetismus und Metallphysik, Su-

praleitung, Atom- und Molekülphysik sowie komplexe Flüssigkeiten und spezielle Fragen der Chemie. Neben der Bedeutung hoher quasistatischer Magnetfelder für die Grundlagenforschung wird auch ein Technologietransfer zwischen Wissenschaft und Wirtschaft beispielsweise in der Anwendung und Fertigung von supraleitenden Dauermagneten oder der Entwicklung und Fertigung von hochfesten, hochleitfähigen Spulendrähten erwartet.

Ein detailliertes Forschungsprogramm und ein ausgereiftes technisches Konzept liegen vor. Die Investitionskosten für den Bau der Anlage werden einschließlich der Personalkosten mit 24,5 Mio. Euro, die jährlichen Personal- und Betriebskosten mit 3,7 Mio. Euro abgeschätzt. Für die Bauphase bis zur Inbetriebnahme des Labors sind 4 Jahre vorgesehen. Der geplante Standort ist das Forschungszentrum Rossendorf.

#### Kurzdarstellung der Begutachtungsergebnisse der Unterarbeitsgruppe<sup>8</sup>

Das geplante Labor für lang gepulste, quasistatische Magnetfelder bis zu 100 Tesla ermöglicht nach Auffassung der Unterarbeitsgruppe einzigartig neue Untersuchungen in der Physik der kondensierten Materie und den Materialwissenschaften. Zudem eröffnet die Verbindung von 100 Tesla Magnetfeldern mit dem infraroten FEL der Strahlungsquelle ELBE, der 2002 am FZR in Betrieb genommen wird, einmalige Forschungsperspektiven in verschiedenen Gebieten, hauptsächlich im Bereich Magnetismus von Materialien und Nanostrukturen, aber auch in der Chemie und Biotechnologie.

Die Zusammenarbeit zwischen Experimentalphysikern, Theoretikern und Ingenieuren aus mehreren Dresdner Instituten ist äußerst produktiv. Die am Projekt beteiligten Institutionen zeichnen sich durch eine hohe wissenschaftliche Qualifikation besonders in den Gebieten der Materialforschung und Festkörperphysik aus. Eine 50 Tesla/1 MJ Pilotanlage konnte am Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung erfolgreich demonstriert werden. Darüber hinaus wurden bedeutende Fortschritte in der Entwicklung hochfester, hochleitfähiger Legierungen erzielt, die eine entscheidende materialwissenschaftliche Voraussetzung zur Erreichung der angestrebten Feldstärken darstellen.

---

<sup>7</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

<sup>8</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

Für das als nationales Nutzerlabor konzipierte Hochfeldmagnetlabor ist eine intensive Nutzung durch Dresdner Wissenschaftler und weitere deutsche Forschergruppen zu erwarten, es wird darüber hinaus aber auch eine große Attraktivität für europäische und internationale Gruppen entfalten. Am Standort Dresden bietet sich insgesamt eine hervorragende Möglichkeit zum Aufbau eines weltweit führenden Labors für gepulste Hochfeldmagnete mit großem Potenzial einer Weiterentwicklung zum zentralen europäischen Labor für diesen Bereich. Forschungsprogramm und technischer Projektvorschlag liegen in überzeugender Form vor.

#### Abschließende wissenschaftspolitische Bewertung

Das Hochfeldmagnetlabor Dresden bietet mit seiner maximal erzielbaren Feldstärke, dem einsetzbaren Probenvolumen und der hohen Feldhomogenität sowie durch die Kombination mit spektroskopischen Verfahren neue Forschungsmöglichkeiten, die in dieser Qualität bislang weltweit nicht realisiert sind. Der Einsatz hoher magnetischer Felder hat sich in den vergangenen Jahren zu einem bedeutenden Forschungsgebiet insbesondere für die Festkörperphysik und die Materialwissenschaften entwickelt. Hohe Magnetfelder erlauben es, die elektronischen Zustände eines Systems in wohldefinierter Weise zu ändern. Sie sind beispielsweise Voraussetzung für die Untersuchung von halbleitenden und magnetischen Nanostrukturen, bei der Erforschung von Spineinflüssen auf chemische Reaktionen und des molekularen Magnetismus und für die Untersuchung magnetomechanischer Orientierungseffekte.

Das geplante Hochfeldmagnetlabor basiert auf einer hohen Fachkompetenz der beteiligten Einrichtungen. Die technologischen Vorleistungen sind beachtlich, ein kohärentes Forschungsprogramm und ein überzeugendes technisches Konzept liegen bereits seit 1999 vor. Die Forschungsaktivitäten der zurückliegenden Jahre insbesondere der federführenden Institutionen lassen ein hohes Maß an wissenschaftlicher Profilierung und ein konsequentes Hinarbeiten auf die Forschung mit hohen Magnetfeldern erkennen. Das geplante Hochfeldmagnetlabor ist in die strategische Ausrichtung der beteiligten Einrichtungen entscheidend eingebettet.

Der Wissenschaftsrat unterstreicht das hohe Innovationspotenzial, dass mit der Untersuchung der magnetischen Eigenschaften von Festkörpern und ihrem Verhalten in sehr hohen Magnetfeldern verbunden ist. Bereits in der Vergangenheit konnten be-

deutende technologische Innovationen mit weitreichenden wirtschaftlichen Auswirkungen erzielt werden, beispielsweise für die Entwicklung neuer Datenspeicher. Dies ist umso bemerkenswerter, da es sich bei Materialuntersuchungen mit Magnetfeldern um kein breites Forschungsgebiet handelt und die Anzahl der beteiligten Institutionen und Wissenschaftler auf einen engen Kreis beschränkt ist.

Der Wissenschaftsrat unterstützt die Planung, das Hochfeldmagnetlabor als nationale Einrichtung aufzubauen und zu betreiben. Besonders im Raum Dresden mit seiner hohen Konzentration von Forschungsinstituten der Festkörperphysik und Materialforschung wirkt sich der bislang unzureichende Zugang zu sehr hohen Magnetfeldern nachteilig aus. Der weltweite Konsens, hohe Magnetfelder bis zu 100 Tesla für die naturwissenschaftliche Forschung verfügbar zu machen, erfordert nach Auffassung des Wissenschaftsrates jedoch eine verstärkte Öffnung der Dresdner Initiative für europäische Nutzer. Auch sollte eine Intensivierung der Kooperation mit auswärtigen deutschen und europäischen Wissenschaftlern und Institutionen und eine Internationalisierung der Qualifizierung des wissenschaftlichen Nachwuchses angestrebt werden. Ein wichtiger Schritt hierzu ist die möglichst rasche Anerkennung als European Large-Scale Facility, wie sie von den Dresdner Wissenschaftlern auch angestrebt wird.

## **Forschungsflugzeug für die Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung (HALO)**

### Kurzdarstellung des Großgerätes<sup>9</sup>

Trotz erheblicher Fortschritte in den zurückliegenden Jahrzehnten sind viele der maßgeblichen Prozesse und systematischen Veränderungen der Erdatmosphäre bisher nur unvollständig erkannt und verstanden, was unter anderem mit einem Mangel an geeigneten Messträgern für großräumige Messungen der freien Atmosphäre begründet wird.

---

<sup>9</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

Für die weitere Erforschung der Troposphäre und unteren Stratosphäre sowie für Erdbeobachtungen beabsichtigen universitäre und außeruniversitäre Vertreter der deutschen Atmosphärenforschung unter Führung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), Oberpfaffenhofen, und des Max-Planck-Instituts für Chemie, Mainz, die Beschaffung eines Forschungsflugzeuges mit erweiterten Anforderungen an Reichweite, Gipfelflughöhe, Nutzlast und Nutzfläche. Das geplante Forschungsflugzeug soll die sich seit über 25 Jahren im Einsatz befindliche Falcon 20 ersetzen und zu einer Stärkung der deutschen und europäischen Atmosphärenforschung im internationalen Kontext beitragen.

Schwerpunkte der Forschungen mit dem Flugzeug sollen sein:

- Chemie und Transport von Spurenstoffen in der Troposphäre und unteren Stratosphäre,
- Ozonzerstörung in der Stratosphäre,
- Integrierte Untersuchungen der Wechselwirkungen Chemie-Klima-Biosphäre-Mensch,
- Transporte und chemische Umsetzungen in konvektiven und turbulenten Systemen,
- Untersuchungen der Meereisverteilung im Rahmen der Polarforschung,
- Erforschung der Auswirkungen des Luftverkehrs auf die Tropopausenregion,
- Erd- und Fernerkundung mit besonderem Schwerpunkt auf dem Kohlenstoffkreislauf.

Die wissenschaftlichen Ziele und Messaufgaben sind in einem Forschungsprogramm dokumentiert. Die geforderten technischen und wissenschaftlichen Voraussetzungen werden von zwei am Markt befindlichen Flugzeugen erfüllt. Die Gesamtinvestitionskosten werden mit 97 Mio. Euro, die jährlichen Betriebskosten, kalkuliert für die ersten sechs Jahre, mit 3,8 Mio. Euro geschätzt. Nach einer Beschaffungs- und Umrüstungsphase von 3 Jahren kann der operationelle Forschungsflugbetrieb beginnen.



Kurzdarstellung der Begutachtungsergebnisse der Unterarbeitsgruppe<sup>10</sup>

Die Grenzschicht zwischen Troposphäre und Stratosphäre ist eine wesentliche Region zum Verständnis des globalen Klimasystems. Die Unterarbeitsgruppe sieht in dem Forschungsflugzeug HALO mit seinen gegenüber derzeitigen Forschungsflugzeugen erweiterten Einsatzmöglichkeiten einen bedeutsamen Beitrag zur internationalen Global-Change-Forschung. Über die Atmosphärenforschung hinaus stellt es auch ein wertvolles Instrument für andere Disziplinen dar, so beispielsweise für die geophysikalische Forschung. Mit der Bereitstellung eines leistungsstarken, primär durch deutsche Wissenschaftler genutzten Forschungsflugzeuges kann auch die führende Position der deutschen Atmosphärenforschung in der internationalen und interdisziplinären Zusammenarbeit über Jahre gesichert werden.

Derzeit wird weltweit kein vergleichbares Forschungsflugzeug betrieben, das den Anforderungen, die HALO hinsichtlich Nutzlast, Kabinenvolumen, Reichweite und Flughöhe erfüllen soll, insgesamt entspricht. Alternative Träger von Messinstrumenten wie Ballone oder Linienflugzeuge können das Forschungsflugzeug in Teilen sinnvoll ergänzen, aber nicht ersetzen. Vergleichbare wissenschaftliche Fragestellungen werden nur von dem in Planung befindlichen US-amerikanischen Forschungsflugzeug HIAPER (High performance Instrumented Airborne Platform for Environmental Research) verfolgt. Während der ersten fünf Jahre nach Fertigstellung von HIAPER werden jedoch keine freien Kapazitäten für internationale Projekte zur Verfügung gestellt. Eine anschließende Mitnutzung durch deutsche Wissenschaftler für rein europäisch ausgerichtete Forschungsvorhaben kann nach Auffassung der Unterarbeitsgruppe ausgeschlossen werden.

Die Unterarbeitsgruppe begrüßt, dass die wissenschaftliche und technische Konzeption des geplanten Forschungsflugzeuges von einer breiten Basis an wissenschaftlichen Disziplinen und von nahezu allen Institutionen, die in Deutschland auf dem Gebiet der Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung arbeiten und die gemeinsam an der Weiterentwicklung einer auch gesellschaftlich bedeutsamen Fragestellung interessiert sind, getragen wird. Die Bereitstellung von Messzeiten für Universitäten wird die Attraktivität der Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung für Studierende wie Wissenschaftler erheblich steigern.

---

<sup>10</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

Das Forschungsflugzeug soll primär der deutschen Atmosphären- und Erdbeobachtungsforschung zur Verfügung stehen. Die Unterarbeitsgruppe sieht es als erforderlich an, das Flugzeug auch in internationale Netzwerke und in die internationale Forschung mit komplementären Instrumenten verstärkt einzubinden.

Am Standort Oberpfaffenhofen liegen umfangreiche Qualifikationen und Erfahrungen in der Abwicklung von Beschaffungen und im lufttechnischen Betrieb von Forschungsflugzeugen vor. Die Unterarbeitsgruppe sieht den dortigen Forschungsbetrieb der DLR als den geeignetsten Standort für das Forschungsflugzeug in Europa an.

#### *Abschließende wissenschaftspolitische Bewertung*

Mit dem Forschungsflugzeug HALO kann ein weiterer entscheidender Schritt zur Umsetzung einer systematischen Erdbeobachtung erreicht werden. Erkennbare Klimaanomalien und die hiermit in Zusammenhang gebrachten ausschlaggebenden Veränderungen in der Troposphäre und Atmosphäre sind noch immer nur unzureichend verstanden. Zur Entwicklung und Kalibrierung von verlässlichen Klimamodellen und -voraussagen, welche die einzelnen Luftschichten als System betrachten, sind Informationen über den aktuellen Zustand der oberen Luftschichten der Erde sowie über die relevanten Interaktionen der Atmosphäre mit der Bio- und Hydrosphäre von essentieller Bedeutung. Deren Gewinnung kann nur durch direkte Messungen erfolgen, wie sie mit dem Forschungsflugzeug HALO möglich sein werden und weltweit bislang noch nicht realisiert worden sind. Die sich hierdurch eröffnenden Forschungsmöglichkeiten sind nicht nur wissenschaftlich für zahlreiche Fachdisziplinen - wie Atmosphärenchemie, Klimaforschung, Polarforschung, Erdbeobachtung - von besonderem Reiz, sondern weisen auch eine hohe gesellschaftliche Relevanz auf.

Die in Deutschland an universitären wie außeruniversitären Einrichtungen geleistete Atmosphärenforschung besticht durch ihre Vielfalt und wissenschaftliche Qualität und ist weltweit führend. Herausgehoben werden soll die Aerosolforschung, die in Deutschland auf höchstem Niveau betrieben wird. Das Forschungsflugzeug HALO kann als eine zentrale nationale Forschungsinfrastruktur dazu beitragen, die Position der deutschen Atmosphärenforschung zu festigen und weiter auszubauen. Als Plattform stellt HALO ideale Bedingungen für die Verbundforschung und für die Universitäten zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses bereit.

Die Durchführung wissenschaftlicher Experimente mit dem Forschungsflugzeug bietet vielfältige Arbeitsmöglichkeiten und weist einen hohen Anwendungsbezug auf, die wissenschaftlichen Vorarbeiten sind durch einen vergleichbaren, ebenfalls weit fortgeschrittenen Vorbereitungsstand gekennzeichnet. Die in Frage kommenden Trägerflugzeuge sind kommerziell erwerbbar und stellen technologisch keine Herausforderung dar. Zur Kostenreduzierung sollte in Abstimmung mit der in den USA geplanten Initiative HIAPER (High-performance Instrumented Airborne Platform for Environmental Research) der Erwerb baugleicher Flugzeuge geprüft werden. Die erfolgreiche Umrüstung des Flugzeuges auf die Anforderungen eines Forschungsflugbetriebes ebenso wie die Anpassung der mitzuführenden Instrumente ist angesichts der bei den beteiligten Institutionen vorliegenden Erfahrungen in diesem Bereich erwartbar.

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) verfügt über ein koordiniertes, sachkundiges und mit den wissenschaftlichen Experimenten vertrautes Management von Forschungsflugzeugen.

Der Wissenschaftsrat begrüßt die am Beispiel der Länder Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien und Niederlande besonders deutlich werdende Koordination des Einsatzes von Forschungsflugzeugen, die in unterschiedlichen Korridoren der Atmosphäre eingesetzt werden bzw. eingesetzt werden sollen. Er sieht es als adäquat an, die Initiative für ein neues Forschungsflugzeug primär national auszulegen und eine Nutzung vorwiegend durch deutsche Wissenschaftler vorzusehen. Global relevante Fragestellungen aus der Klima- und Umweltforschung bedürfen zugleich intensivster Anstrengungen von Einzelstaaten und einer Koordination auf europäischer und internationaler Ebene. Der Wissenschaftsrat sieht es als erforderlich an, das Forschungsflugzeug HALO eng in die europäische Atmosphärenforschung einzubinden, seine Einsätze international abzustimmen und in die Erforschung des Gesamtsystems Atmosphäre zu integrieren.

#### **A.IV. Gruppe von Großgeräten, die mit Auflagen förderungswürdig ist**

Der Wissenschaftsrat hält

- den Supraleitenden Elektron-Positron Linearcollider (TESLA),
- den TESLA Freie Elektronen Röntgenlaser (TESLA X-FEL) und
- die Beschleunigeranlage zur Erzeugung energetischer Ionenstrahlung hoher Intensität und Qualität

mit Auflagen für förderungswürdig. Deren Forschungsprogramme und technische Projektvorschläge liegen vor und weisen einen hohen Reifegrad auf. Es besteht jedoch noch Klärungsbedarf bestimmten Fragen, der einer vorbehaltlosen Förderung bislang noch entgegen steht. Der Wissenschaftsrat hat hierzu Auflagen formuliert und bittet den Bund, ihn über die Klärung dieser Fragen zu informieren und ihm die entsprechend den Auflagen konzeptionell überarbeiteten Teile der Projektvorschläge nochmals vorzulegen, ehe auch in diesem Fall gegebenenfalls eine vorbehaltlose Förderungswürdigkeit bestätigt werden kann.

#### **Supraleitender Elektron-Positron Linearcollider (TESLA)**

##### Kurzdarstellung des Großgerätes<sup>11</sup>

Auf Initiative und unter Führung des Deutschen Elektronen-Synchrotron in Hamburg (DESY) laufen im Rahmen einer weltweiten Kooperation die Entwicklungsarbeiten für einen Supraleitenden Elektron-Positron-Linearcollider (TESLA) mit einer Energie bis zu 800 GeV.

Die mit TESLA verfügbaren Energien und Intensitäten lassen Antworten auf grundlegende offene Fragen der Elementarteilchenphysik erwarten, wie beispielsweise der Nachweis des Higgs-Mechanismus, die detaillierte Untersuchung der Eigenschaften der Higgs-Teilchen sowie der experimentelle Nachweis der derzeit als fundamentale Theorie favorisierten Supersymmetrie. Darüber hinaus ist zu erhoffen, dass neue Erkenntnisse zur Frage der Vereinigung von Gravitationstheorie und Quantenphysik zu einer Zusammenführung von Teilchenphysik und Kosmologie führen werden.

Das wissenschaftliche Programm von TESLA und ein detaillierter technischer Projektvorschlag für TESLA mit integriertem X-FEL liegen seit März 2001 vor. Das technische Konzept sieht zwei supraleitende Linearbeschleuniger mit einer Gesamtlänge von 33 km vor, in denen Elektronen und Positronen in hohen elektromagnetischen Feldern entgegengesetzt beschleunigt und innerhalb eines Detektors bei möglichst kleiner Strahlgröße und möglichst hoher Strahlleistung zur Kollision gebracht werden. In Zusammenarbeit mit der Industrie sollen Beschleunigerresonatoren hergestellt werden, die Gradienten oberhalb 25 MV/m erreichen.

Es ist geplant, den Linearcollider im Rahmen eines weltweiten Netzwerkes (Global Accelerator Network) zu realisieren und zu betreiben. Die Investitionskosten für den Bau des 500 GeV TESLA Colliders werden einschließlich der Personalkosten mit 3.450 Mio. Euro, die jährlichen Personal- und Betriebskosten mit 135 Mio. Euro abgeschätzt. Für die Bauphase sind insgesamt 8 Jahre vorgesehen. Der geplante Standort ist bei DESY in Hamburg.

#### Kurzdarstellung der Begutachtungsergebnisse der Unterarbeitsgruppe<sup>12</sup>

Die Unterarbeitsgruppe hebt hervor, dass mittels des geplanten Linearcolliders fundamental wichtige Fragen der Elementarteilchenphysik und der Kosmologie zugänglich und beantwortbar werden und wesentliche, wenn nicht gar entscheidende Beiträge zum Verständnis der Entwicklung des Kosmos und der Klärung der Natur der dunklen Materie zu erwarten sind. Das TESLA Forschungsprogramm ist komplementär zu dem bei CERN im Bau befindlichen Large Hadron Collider (LHC), denn es wird erwartet, dass Phänomene, die mit dem LHC künftig nachgewiesen werden, durch die hohe Messpräzision von TESLA im Detail aufgeklärt werden können. Deshalb ist eine ausreichende zeitliche Überlappung des Betriebs beider Anlagen wünschenswert.

---

<sup>11</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

<sup>12</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

Die für eine Forschungsinfrastruktur dieser Dimension notwendige Bündelung von internationaler Kompetenz und die insgesamt hohen Investitions- und Betriebskosten lassen es als geboten erscheinen, weltweit nur einen Collider dieser Art zu realisieren. Die Unterarbeitsgruppe befürwortet die Bestrebungen der TESLA-Kollaboration, Bau, Betrieb und Nutzung des Linearcolliders im Rahmen eines weltweiten Beschleunigernetzwerkes zu verwirklichen. TESLA wird als ein herausragendes Beispiel internationaler Zusammenarbeit eine weltweite Attraktivität für den Bereich der Hochenergiephysik entfalten. Die Unterarbeitsgruppe begrüßt den weltweiten Konsens der Hochenergiephysiker, wonach ein Positron-Elektron-Linearcollider die höchste Priorität unter den gewünschten Großgeräteinvestitionen in der Elementarteilchenphysik habe.

Die TESLA-Kollaboration ist weltweit führend in der Forschung und Entwicklung supraleitender Resonatoren. Durch die TESLA-Testanlage (TTF) wurde überzeugend nachgewiesen, dass die supraleitenden Beschleunigerkomponenten die Anforderungen an Strahlenergie und Strahlintensität erfüllen. Damit ist die grundsätzliche Machbarkeit der TESLA-Technologie belegt und im Praxistest erprobt.

DESY, neben CERN die bedeutendste europäische Großforschungseinrichtung der Hochenergiephysik, hat sich als führender Kopf der internationalen TESLA-Kollaboration in herausragender Weise bewährt. Der geplante Linearcollider stellt für das Forschungszentrum DESY eine konsequente Weiterentwicklung der seit vielen Jahren erfolgreich betriebenen Großgeräte wie DORIS, PETRA oder HERA dar. Die bei DESY während der letzten 30 Jahre gesammelten Erfahrungen in Forschung und Entwicklung, Bau und Betrieb großer Beschleunigeranlagen sind eine solide Basis für die erfolgreiche Umsetzung des TESLA-Projekts.

#### Abschließende wissenschaftspolitische Bewertung

Die mit dem Linearcollider TESLA zu bearbeitenden wissenschaftlichen Fragestellungen lassen nach Auffassung des Wissenschaftsrates einen besonders hohen Wissensgewinn in fundamentalen Fragestellungen des Mikro- und Makrokosmos erwarten. Die Existenz des Higgs-Bosons und der Nachweis des Higgs-Mechanismus gelten als die zur Zeit wohl dringendsten Fragen der Elementarteilchenphysik, die es experimentell zu lösen gilt. Präzisionsexperimente in einem Energiebereich, für den das Standard-Modell keine konsistenten Aussagen macht, sollen Anzeichen für

Strukturen jenseits des Modells aufzeigen und detailliert untersuchen. Ein Elektron-Positron-Linearcollider ist hierfür das geeignete Instrument. Da weltweit nur eine Anlage dieser Art anzustreben ist, setzt die Entscheidung für den Bau des Colliders eine internationale Einigung über die zu verwendende Technologie und den Standort voraus. Die möglichen Technologien werden derzeit von einem Expertengremium des International Committee for Future Accelerators (ICFA) im Detail untersucht.

Die generelle Machbarkeit der supraleitenden Beschleunigertechnologie wurde durch den bei DESY installierten Testbeschleuniger (TTF) überzeugend bewiesen, allerdings können einzelne Komponenten, die auf Extrapolationen bisher existierender Speicherringe, theoretischen Berechnungen und detaillierten Simulationen beruhen, derzeit noch nicht vollständig experimentell belegt werden. Beschleunigerresonatoren mit Gradienten bis zu 25 MV/m sind in Zusammenarbeit mit der Industrie zuverlässig herstellbar, die nach dem heutigen Kenntnisstand eine Weiterentwicklung auf anzustrebende 35 MV/m wahrscheinlich erscheinen lassen. Hierdurch sollte es gelingen, längerfristig eine Erhöhung des Energiebereichs auf 800 GeV zu erreichen. Ein Transfer der supraleitenden Beschleunigungsstrukturen für den Bau von Synchrotronstrahlungsquellen der kommenden Generation ist von außerordentlichem Interesse.

Der Linearcollider TESLA ist das einzige unter weltweiter Beteiligung zu realisierende Großgerät der hier begutachteten Projekte. Entsprechend sollte Bau und Betrieb der Anlage in internationaler Zusammenarbeit erfolgen, die es den beteiligten Wissenschaftlern erlaubt, unter Nutzung moderner Methoden der Kommunikation von ihrem jeweiligen Heimatinstitut aus aktiv an Planung, Bau und Betrieb einer solchen Anlage sowie an den Experimenten teilzunehmen.

Der Wissenschaftsrat begrüßt die angestrebte internationale Kollaboration zur Einrichtung eines Linearcolliders, die eine grundlegend neue, zukunftsweisende Qualität weltweiter Kooperation in der Wissenschaft erwarten lässt. Mit einer Ansiedlung in Hamburg kann DESY seinen Stand als international renommiertes Forschungszentrum weiter ausbauen und stärken. Der Wissenschaftsrat weist aber darauf hin, dass hiermit ein bislang institutionell noch nicht bewerkstelligtes Maß an Koordinations- und Abstimmungsaufgaben verbunden sein wird, die auch die wichtige Frage der internationalen Finanzierung umfassen. Der Wissenschaftsrat sieht weiteren Klä

rungsbedarf hinsichtlich der internationalen Finanzierung und internationalen Bereitstellung von Personal und Gerätekomponenten sowie im Hinblick auf eine notwendige verbindliche Formalisierung der internationalen Kollaboration, zumal Wissenschaftler und Ingenieure aus den beitragenden Staaten am Projektmanagement beteiligt werden sollen. Der Wissenschaftsrat geht davon aus, dass hierüber noch in der Konzeptionsphase des Linearcolliders eine Verständigung erreicht werden kann.

Der Wissenschaftsrat bittet den Bund, nach Vorlage des hinsichtlich der internationalen Finanzierung und der internationalen Kooperation konkretisierten Projektvorschlags möglichst bald die verbindliche Zusage einer deutschen Beteiligung zu erbringen, da verbindliche finanzielle Zusagen der Partnerländer erst zu erwarten sind, wenn auf nationaler Ebene über eine Realisierung entschieden worden ist. Der Wissenschaftsrat sieht es auch als erforderlich an, sich rasch um ausländische Finanzierungsbeteiligungen zu bemühen.

### **TESLA Freie Elektronen Röntgenlaser (TESLA X-FEL)**

#### Kurzdarstellung des Großgerätes<sup>13</sup>

Die Kenntnis der Struktur kondensierter Materie und komplexer molekularer Systeme wurde bisher in erster Linie aus Untersuchungen von Gleichgewichtszuständen gewonnen. Die Strahlung eines Freie-Elektronen-Lasers (FEL) eröffnet dagegen durch ihre sehr hohe Leuchtdichte und ihre einstellbare Wellenlänge, verbunden mit sehr kurzen Pulsen und räumlicher Kohärenz, die Möglichkeit, Materie in ihrer Dynamik und außerhalb des Gleichgewichtszustandes mit atomarer Auflösung zu untersuchen. Nach dem im März 2001 vorgelegten technischen Projektvorschlag soll der erste Teil des supraleitenden TESLA-Linearbeschleunigers als Treiber für den Röntgenlaser (X-FEL) mit Wellenlängen bis zu 0,1 nm dienen.

Beispiele für neuartige Untersuchungen in Physik, Chemie, Biologie und den Material- und Geowissenschaften sind Studien der Formation von Materie beim Entstehen beziehungsweise Schmelzen von Festkörpern und Flüssigkeiten, Einblicke in den

---

<sup>13</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.



zeitlichen Ablauf von Phasenübergängen und Änderungen von Bindungskonfigurationen bei chemischen Reaktionen sowie die direkte Erforschung der Funktion von biologischen Makromolekülen. Entsprechend ist eine umfangreiche nationale wie internationale Nutzergemeinschaft aus verschiedensten Disziplinen zu erwarten.

Das Laserlicht im FEL entsteht, wenn hochenergetische Elektronen durch eine spezielle Konfiguration alternierender Magnetfelder geleitet werden. Der Linearbeschleuniger mit seinen supraleitenden Resonatoren soll die Elektronenstrahlen mit sehr kleiner Emittanz bei hoher Strahldichte, mit hoher Energieschärfe sowie mit zeitlicher und räumlicher Stabilität erzeugen. Mit der von DESY seit 1997 betriebenen Testanlage (TTF 1, VUV-FEL) wurde im Frühjahr 2000 erstmalig FEL-Laserlicht bei Wellenlängen von unter 100 nm erzeugt.

Nach dem im März 2001 vorgelegten technischen Projektvorschlag zum TESLA Linearcollider mit integriertem X-FEL werden die zusätzlichen Investitionskosten für den Bau des Röntgenlasers einschließlich der Personalkosten mit 673,4 Mio. Euro, die jährlichen Personal- und Betriebskosten mit 36,1 Mio. Euro abgeschätzt. Als Teil des TESLA Linearcollider-Projektes sind für die Bauphase 8 Jahre veranschlagt.

#### Kurzdarstellung der Begutachtungsergebnisse der Unterarbeitsgruppe<sup>14</sup>

Im Hinblick auf Zeitauflösung, Brillanz und Kohärenz ermöglicht die Strahlungsleistung von FELs neue experimentelle Methoden, die derzeitige Untersuchungstechniken der Synchrotronforschung signifikant erweitern und interdisziplinäre Forschungsfelder eröffnen. FELs werden Synchrotronquellen künftig nicht ersetzen, aber ergänzen.

Die technischen Eigenschaften des X-FEL-Laserstrahls ebenso wie das von DESY vorgelegte Forschungsprogramm sind einzigartig in Europa. Die harte Röntgenstrahlung des TESLA X-FEL liefert hochintensive Strahlung, welche sich wegen ihrer Wellenlänge und ultrakurzen Zeitauflösung besonders zur zeitaufgelösten Strukturforschung eignet. Damit können neue Einsichten in Materialstrukturen gewonnen werden; und die Möglichkeit der dreidimensionalen Darstellung von einzelnen Molekülen wird in den Biowissenschaften gänzlich neue Forschungsmöglichkeiten eröff

---

<sup>14</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

nen. Ein enormer Einfluss sowohl auf Grundlagenforschung als auch auf anwendungsorientierte Forschung ist zu erwarten.

Mit LINAC-getriebenen X-FELs können hohe Gewinne an Brillanz und Kohärenz sowie eine Verkürzung der Röntgenblitze bis auf Femtosekunden-Dauer erreicht werden. Die TESLA-Kollaboration unter Federführung von DESY ist weltweit führend in der Entwicklung supraleitender LINACs. Durch die TESLA-Testanlage (TTF) konnte die Machbarkeit dieser Technologie für den vakuum-ultravioletten (VUV) und weichen Röntgenbereich überzeugend nachgewiesen werden. Die Erweiterung in den harten Röntgenbereich hält die Unterarbeitsgruppe für realisierbar. Insgesamt ist das TESLA X-FEL-Projekt weltweit am weitesten voran geschritten.

DESY hat sich seit Jahren in Bau und Betrieb von großen Forschungsinfrastrukturen hohe Kompetenz erworben, welche auch in Zukunft die erforderlichen technischen und fachlichen Voraussetzungen für die Realisierung und den Betrieb des X-FELs erwarten lässt. DESYs herausragende Expertise in der Beschleunigertechnologie und in der Forschung mit harter Röntgenstrahlung ist ein wichtiger Vorteil für den vorgeschlagenen Standort.

Die Unterarbeitsgruppe begrüßt die von DESY beabsichtigte Entkopplung von Linearbeschleuniger und X-FEL, da eine entkoppelte Version mehr Flexibilität und Unabhängigkeit der für den TESLA -Collider und den X-FEL unterschiedlichen Nutzergruppen gewährleisten wird. Auch ist durch eine Entkopplung zu erwarten, dass sich eventuelle Verzögerungen in der Realisation des internationalen TESLA-Linearcolliders nicht auch dilatorisch auf die Umsetzung des X-FEL-Projektes auswirken.

Zur gemeinsamen Stellungnahme zu TESLA X-FEL und Soft X-ray-FEL siehe S. 50.

#### *Abschließende wissenschaftspolitische Bewertung*

Aufgrund der hohen Leuchtstärke und zeitlichen Auflösung des X-FEL ist für viele Gebiete der natur-, lebens-, geo- und materialwissenschaftlichen Forschung eine neue Qualität von Experimenten zu erwarten. Durch die hohe Kohärenz des Photonenstrahls werden strukturelle und dynamische Eigenschaften von Materie erstmals umfassend analysierbar. Diese destruktive Untersuchungsmethode erfordert die

Entwicklung neuer Verfahren zur Auswertung von Femtosekunden-Signalen und der dazu notwendigen Detektoren. Die besondere wissenschaftliche Attraktivität des X-FEL wird rasch eine breite nationale wie europäische Nutzergemeinschaft anziehen.

Bereits durch die mit dem weltweit ersten VUV-FEL der TESLA-Testanlage (TTF 1) erzielten Ergebnisse hat DESY seine zentrale Position in der europäischen Synchrotron- und Laserforschung weiter entwickeln können. Mit dem Ausbau der TESLA-Testanlage (TTF 2), die nach Optimierung der Beschleunigerkomponenten ab 2004 auch als Nutzerinfrastruktur im Spektralbereich von 20 eV bis 200 eV zur Durchführung von Pilotexperimenten dienen soll, wird in naher Zukunft ein leistungsfähiger VUV-FEL in Betrieb genommen. Die Anzahl der möglichen Experimente ist hier jedoch begrenzt. An der TTF sind bisher entscheidende theoretische und experimentelle Entwicklungsarbeiten ebenso wie durchschlagende technologische Innovationen erbracht worden und weiterhin zu erwarten, welche der Wissenschaftsrat als notwendige Vorleistungen für eine erfolgreiche Realisierung und Betreuung des Röntgenlasers X-FEL anerkennt.

Die Kopplung des Linearbeschleunigers mit dem FEL ist nach Auffassung des Wissenschaftsrates technisch möglich und finanziell sinnvoll, stellt aber aus wissenschaftlicher Sicht keine zwingende Voraussetzung für die Realisierung des X-FELs dar. Eine Entkopplung würde nicht nur eine größere Flexibilität für die Nutzung bedeuten, sondern auch eine größere Unabhängigkeit des X-FELs von der noch ausstehenden internationalen Entscheidung über die Beschleunigertechnologie. Der Wissenschaftsrat begrüßt daher die von DESY beabsichtigte Entkopplung des Linearcolliders und des X-FELs. Da eine weitere Erhöhung der Investitionskosten möglichst vermieden werden sollte, begrüßt der Wissenschaftsrat den Vorschlag von DESY, zunächst eine Teilrealisierung des X-FEL ins Auge zu fassen. Ein gegenüber dem vorliegenden integrierten technischen Konzept modifizierter, für den X-FEL optimierter technischer Projektvorschlag sollte einschließlich einer Kostenkalkulation baldmöglichst vorgelegt werden. Weiterhin sollten die komplementären Expertisen von DESY und BESSY besser genutzt werden, um den Abstimmungsgrad der Forschungsprogramme und der technischen F&E-Arbeiten beider FEL-Projekte (TESLA X-FEL, Soft X-ray-FEL) zu erhöhen. Deshalb hält der Wissenschaftsrat eine engere Kooperation der beiden Einrichtungen für erforderlich. Abgestimmte Forschungsprogramme, die auch eine überzeugende Begründung für die Notwendigkeit der Errich

tung von zwei FEL-Laboratorien an zwei Standorten enthalten müssen, sollten rasch vorgelegt werden.

Der Wissenschaftsrat ist der Auffassung, dass ein Großgerät dieser Größenordnung nur mit europäischer Beteiligung realisiert werden sollte. Verbindliche finanzielle Zusagen der Partnerländer sind jedoch erst zu erwarten, wenn auf nationaler Ebene über eine Realisierung des TESLA X-FEL entschieden worden ist. Deshalb bittet der Wissenschaftsrat den Bund, nach Vorlage des überarbeiteten Projektvorschlags möglichst bald die verbindliche Zusage einer deutschen Beteiligung am TESLA X-FEL zu erbringen. Der Wissenschaftsrat sieht es auch als erforderlich an, sich rasch um ausländische Finanzierungsbeteiligungen zu bemühen.

### **Beschleunigeranlage zur Erzeugung energetischer Ionenstrahlung hoher Intensität und Qualität**

#### Kurzdarstellung des Großgerätes<sup>15</sup>

Zur Erweiterung der Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Kern-, Hadronen-, Atom- und Plasmaphysik sowie der anwendungsorientierten Forschung in den Bereichen Materialwissenschaften, Biophysik und Strahlenbiologie beabsichtigt die Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt (GSI) den weitreichenden Ausbau der existierenden Beschleunigeranlage. Im Zentrum der geplanten Anlage steht ein supraleitendes Doppelring-Beschleunigersystem SIS 100/200 mit einer maximalen magnetischen Steifigkeit von rd. 200 Tm. Erwartet wird, um einen Faktor 100 – 1000 höhere Ionenströme auf 1-3 GeV/u zu beschleunigen und für hochgeladene Ionen um rd. einen Faktor 15 höhere Energien zu erreichen. Für Protonen soll dies auf eine Maximalenergie von 60 GeV führen. Die Synchrotronringe werden ergänzt durch Speicherringe und Experimentiereinrichtungen für die vorgeschlagenen vier wissenschaftlichen Hauptprogramme:

- Kernstrukturphysik und nukleare Astrophysik: Struktur exotischer Atomkerne weit ab der Stabilität, Produktionspfade der Nukleosynthese im Kosmos, Tests fundamentaler Symmetrien und Wechselwirkungen,

---

<sup>15</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

- Hadronenphysik mit Antiprotonenstrahlen: Quark-Gluon-Struktur und -Dynamik von Hadronen, Ursprung des Confinement und der Hadronenmasse,
- Kernmateriephysik: Kalte Kernmaterie bei hohen Dichten, Phasenübergänge von baryonreicher Kernmaterie, Ursprung der Hadronenmasse, Neutronensterne,
- Plasmaforschung: Makroskopische Materie unter extremen Dichte-, Druck- und Temperaturbedingungen, Eigenschaften stellarer Plasmen.

Das Forschungsprogramm liegt vor, das technische Konzept ist für Ende 2003 / Anfang 2004 avisiert. Die Gesamtkosten für Beschleunigeranlage und Experimentaufbauten werden mit 675 Mio. Euro, die jährlichen Personal- und Betriebskosten mit 79 Mio. Euro und die Bauzeit mit 7 Jahren abgeschätzt.

#### Kurzdarstellung der Begutachtungsergebnisse der Unterarbeitsgruppe<sup>16</sup>

Die Unterarbeitsgruppe sieht in der geplanten Beschleunigeranlage ein für Europa zentrales Instrument zur Erforschung der Materie im Dimensionsbereich Atom/Atomkern/subnukleare Teilchen und im Wirkungsbereich der starken Kraft (Quark-Materie, Nukleonen, Atomkerne). Die in Darmstadt geplante Anlage wird neuartige Forschungsmöglichkeiten mit Ionen- und Antiprotonenstrahlen bieten, mit denen neue Wege in der Grundlagenforschung und der anwendungsorientierten Forschung beschritten werden können. Dies gilt besonders für die Bereiche radioaktive Kernstrahlen, Kern-Kern-Kollisionen und die Hadronenphysik. Das Projekt wird es erlauben, die führende Rolle Europas in der Kern- und Hadronenphysik langfristig zu erhalten und auszubauen.

Die geplanten Forschungen auf dem Gebiet der Plasmaphysik weisen nicht die Qualität der vorgenannten Bereiche auf. Sie sind in die internationalen Forschungsprogramme nicht hinreichend eingebettet und sollten mit dem Ziel einer anwendungsorientierten Fusionsforschung nicht intensiviert werden.

Die Unterarbeitsgruppe begrüßt die Bereitschaft des Landes Hessen, zur Erweiterung der wissenschaftlichen Kompetenz der GSI auf dem Gebiet der Astrophysik eine gemeinsam zu berufende Professur für Astrophysik an der Universität Frankfurt/Main auszuschreiben.

---

<sup>16</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

Das geplante Beschleuniger- und Detektorsystem ist weltweit ohne Vergleich und von hohem technologischen Anspruch. Die Entwicklung von für den Bau der Anlage notwendigen technologischen Innovationen, wie sie die schnellzyklierenden supraleitenden Magnete und das System von Kollektorring und Kühler-Speicherringen darstellen, ist wahrscheinlich. Die Vielzahl der noch zu leistenden technologischen Parallelentwicklungen sowie Bau und Test der supraleitenden Magnete könnten aber zu einer zeitlichen Verzögerung des Gesamtprojektes führen.

Die GSI hat sich in den 30 Jahren ihres Bestehens zu einem international führenden Zentrum der Kernphysik und Schwerionenforschung entwickelt. Die langfristig angelegte Planung und Perspektive der GSI ist aufs Engste mit der Beschleunigeranlage verbunden. Dies schließt notwendige interne fachliche Neuausrichtung und erforderliche personelle Umschichtungen mit ein.

#### Abschließende wissenschaftspolitische Bewertung

Die Errichtung der GSI-Beschleunigeranlage für die Grundlagenforschung in den Gebieten der Kern-, Hadron-, Atom- und Plasmaphysik erlaubt die Erschließung besonders tiefgreifender fundamentaler Aspekte der Struktur der Materie. Es können ein erweitertes Verständnis des Aufbaus der umgebenden Materie und der verschiedenen Hierarchie-Ebenen der Materie, insbesondere der Nukleonen und der Kerne, erwartet werden.

Die Beschleunigeranlage erlaubt es, durch ihre Vielseitigkeit verschiedene fachlich verwandte Gebiete – starke Wechselwirkung, Vielkörpereffekte, Phasenübergänge in dichter, heißer Kernmaterie und auch in makroskopischer Materie – mit ihren unterschiedlichen Nutzergruppen an einem zentralen Großgerät zusammenzuführen. Die Doppelringanlage ermöglicht zusammen mit den Speicherringen einen effizienten Parallelbetrieb von bis zu drei, in speziellen Fällen vier Experimenten aus den vier Forschungsgebieten Kernstrukturphysik und nukleare Astrophysik, Hadronenphysik mit Antiprotonenstrahlen, Kernmateriephysik und Plasmaforschung. Daraus ergeben sich vielfältige methodisch-instrumentelle, aber auch wirtschaftliche Synergieeffekte. Das Forschungsprogramm der geplanten Beschleunigeranlage liegt damit komplementär zu den Fragestellungen der Teilchenphysik, deren Fokus auf der Erforschung der Grundbausteine der Materie und ihrer fundamentalen Wechselwirkungen liegt.

Mit der Umsetzung des Forschungsprogramms wird für die GSI eine weitreichende Neubestimmung verbunden sein. Der Wissenschaftsrat hält es für erforderlich, die technischen Möglichkeiten eines stufenweisen Ausbaus der existierenden Beschleunigeranlage zu prüfen, um das Forschungsprogramm zeitlich gestaffelt in Angriff nehmen zu können. Mit der Realisierung in Teilschritten sollte auch eine abgestufte Finanzierung verbunden sein.

Die GSI blickt im Rahmen ihrer Forschung zur Struktur der Materie auf eine Vielzahl von herausragenden Ergebnissen zurück. So ist die Grenze beobachteter überschwerer Kerne seit Jahren zielstrebig von der GSI nach oben erweitert worden. Wissenschaftlich und technologisch stellt die geplante Beschleunigeranlage eine konsequente Weiterentwicklung der von der GSI seit Jahren erfolgreich verfolgten Fragestellungen der Kern- und Hadronenphysik sowie der Plasmaforschung bei hohen Drücken und Dichten dar.

Die wissenschaftliche Bedeutung der GSI-Beschleunigeranlage ist unbestritten. Dagegen kann die Vielzahl der noch zu leistenden technologischen Parallelentwicklungen zu einer zeitlichen Verzögerung des Gesamtprojektes führen. Dies sollte durch ein entsprechendes Projektmanagement abgefangen werden können.

Die GSI stellt sich gegenwärtig als ein Nutzerlaboratorium mit überwiegend externen und nationalen Nutzern dar. Die Nutzergemeinschaft ist leistungsstark und quantitativ umfangreich. Durch den Ausbau der bestehenden Beschleunigeranlagen wird die GSI in zunehmendem Maße auch für internationale Spitzenwissenschaftler von hoher Attraktivität sein, was sich auch in einem Anwachsen der Nutzerschaft, nicht zuletzt durch das neu erschlossene Gebiet der Antiprotonenphysik, ausdrücken dürfte. Es ist zu erwarten dass sich die GSI wissenschaftlich zu dem zentralen europäischen Forschungszentrum für die Kernphysik weiterentwickeln wird.

Der Wissenschaftsrat ist der Auffassung, dass ein Großgerät dieser Größenordnung nur mit europäischer Beteiligung realisiert werden sollte. Verbindliche finanzielle Zusagen der Partnerländer sind jedoch erst zu erwarten, wenn auf nationaler Ebene über eine Realisierung entschieden worden ist. Deshalb bittet der Wissenschaftsrat den Bund, nach Vorlage des Stufenkonzeptes zum Ausbau der Beschleunigeranlage möglichst bald die verbindliche Zusage einer deutschen Beteiligung zu erbringen. Der Wissenschaftsrat sieht es auch als erforderlich an, sich rasch um ausländische Finanzierungsbeteiligungen zu bemühen.

## **A.V. Gruppe von Großgeräten, zu der spezifische Stellungnahmen gegeben werden**

Zu den Großgeräten

- Freie Elektronen Laser für weiche Röntgenstrahlung (Soft X-ray FEL),
- Hochfeldmagnetanlage für Strukturuntersuchungen mit Neutronen und
- Europäische Spallations-Neutronenquelle (ESS),
- Europäisches eisbrechendes Forschungsbohrschiff (Aurora Borealis)

gibt der Wissenschaftsrat aus unterschiedlichen wissenschaftlichen, technischen oder verfahrensbezogenen Gründen spezifische Stellungnahmen ab. Sollte eine Fortführung der Arbeiten am Forschungsprogramm („scientific program“) und am technischen Projektvorschlag („technical design report“) dieser Großgeräte zu erweiterten Erkenntnissen und zu einem neuen Projektvorschlag führen, hält der Wissenschaftsrat eine erneute Begutachtung, die auch in Konkurrenz zu weiteren Großgeräteinitiativen stehen kann, für erforderlich (zum Verfahren der künftigen Begutachtung von Großgeräten siehe Abschnitt C).

### **Freie Elektronen Laser für weiche Röntgenstrahlung (Soft X-ray FEL)**

#### Kurzdarstellung des Großgerätes<sup>17</sup>

Nach der Demonstration des SASE-Prinzips<sup>18</sup> liegen die Voraussetzungen für eine Lichtquelle im Spektralbereich des vakuum-ultravioletten (VUV) bis weichen Röntgenbereich vor. Als Mitglied der internationalen TESLA-Kollaboration plant die Berliner Elektronenspeicherring-Gesellschaft für Synchrotronstrahlung (BESSY), die Synchrotronstrahlungsquelle BESSY II durch einen FEL für den Spektralbereich der weichen Röntgenstrahlung von 1,2 nm bis 60 nm unter Verwendung der supraleitenden TESLA-Resonatoren zu erweitern. Durch die Steigerung der Spitzenbrillanz um bis zu zehn Größenordnungen und die ultrakurze Mikropuls-Zeitstruktur des Soft X-ray-FELs können neue Möglichkeiten der Spektroskopie erschlossen werden.

---

<sup>17</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

<sup>18</sup> Das SASE-Prinzip (Self Amplified Spontaneous Emission) wurde an der Low-Energy Undulator Test Line (LEUTL)-Teststrecke der Advanced Photon Source (APS) am Argonne National Laboratory, Illinois, sowie am VUV-FEL der TESLA-Testanlage (TTF) bei DESY erfolgreich demonstriert.



Der Soft X-ray-FEL soll neuartige Experimente mit höchster spektraler, zeitlicher und räumlicher Auflösung im Bereich der Biowissenschaften, Femtochemie, Atom- und Molekülphysik, Festkörper- und Oberflächenforschung, dem Gebiet zeitaufgelöster Prozesse zur Erforschung von Reaktionen, von Katalyseprozessen bis hin zur präzisen Untersuchung der Dynamik von Nanostrukturen der Magnetoelektronik ermöglichen.

Ein detailliertes Forschungsprogramm liegt vor, während der technische Projektvorschlag erst im Laufe des Jahres 2003 fertiggestellt werden soll. Die Investitionskosten für den Bau der Anlage werden einschließlich der Personalkosten mit 148 Mio. Euro, die jährlichen Personal- und Betriebskosten mit 12,4 Mio. Euro geschätzt. Nach Fertigstellung des technischen Projektvorschlags wird mit einer Bauzeit von vier Jahren gerechnet. Der geplante Standort ist BESSY in Berlin-Adlershof.

Kurzdarstellung der Begutachtungsergebnisse der Unterarbeitsgruppe<sup>19</sup>

Der BESSY Soft X-ray-FEL bietet weiche, laserartige Röntgenstrahlung mit einer gegenüber Synchrotronquellen und Lasern deutlich verbesserten Spitzenbrillanz, deren extrem kurze Pulse eine erweiterte räumliche und zeitliche Auflösung bei spektroskopischen und strukturellen Untersuchungen ermöglichen. Die technischen Eigenschaften des BESSY Soft X-ray-FEL erweitern die derzeitigen Untersuchungstechniken von Synchrotronquellen und konventionellen Lasern um die neuartige Möglichkeit, elektronische Prozesse und Eigenschaften in ihrer Dynamik genau zu analysieren. Damit sind auch die Voraussetzungen für bislang nicht realisierte spektroskopische Untersuchungen auf dem Gebiet der Femtochemie, für Studien von nicht-linearen Prozessen sowie für die gezielte Modifikation von Materie geschaffen. Ein enormer Einfluss sowohl auf Grundlagenforschung als auch auf anwendungsorientierte Forschung ist zu erwarten. Verglichen mit dem TESLA X-FEL ist die räumliche Auflösung des Soft X-ray-FEL geringer. Da auch die Photonenergie geringer ist, können mit dem Soft X-ray-FEL chemische Prozesse innerhalb eines einzelnen Moleküls besser verfolgt werden.

---

<sup>19</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

Der vorgeschlagene Soft X-ray-FEL basiert auf der supraleitenden TESLA-Technologie. Als Mitglied der TESLA-Kollaboration ist BESSY an der Entwicklung von Strahlführungen und Injektoren für den TESLA X-FEL sowie an der Vorbereitung von "Pump-Probe"-Experimenten beteiligt. BESSY verfügt über langjährige Erfahrungen in Entwicklung und Bau von Beschleunigern, Undulatoren und Strahlrohren für die Forschung mit Synchrotronstrahlung. BESSY's hervorragende Expertise im VUV und weichen Röntgenbereich und die Möglichkeit, den Soft X-ray-FEL parallel zur BESSY II Synchrotronquelle zu betreiben, wird von der Unterarbeitsgruppe als großer Vorteil für den vorgeschlagenen Standort gesehen.

#### Gemeinsame Stellungnahme der Unterarbeitsgruppe zu TESLA X-FEL und Soft X-ray-FEL

Sowohl der TESLA X-FEL als auch der BESSY Soft X-ray-FEL ermöglichen einen grundlegenden technischen Qualitätssprung im Hinblick auf Kohärenz, Zeitauflösung, Wellenlänge und Intensität des Laserstrahls. Damit werden einer breiten, interdisziplinären Forschung neue Wege eröffnet, die weit über die Möglichkeiten der derzeitigen Synchrotronforschung hinausgehen. Die Forschungsprogramme der beiden Freie Elektronen Laser-Projekte sind im internationalen Maßstab von höchstem wissenschaftlichen Niveau. Mit den in Hamburg und Berlin geplanten FELs sollten für die künftige Nutzergemeinschaft komplementäre Forschungsinfrastrukturen bereitgestellt werden, die bezüglich der wissenschaftlichen Zielstellungen und der Entwicklung der FEL-Technologie voneinander profitieren und den Vorsprung auf diesem Gebiet für Deutschland und Europa langfristig sicherstellen könnten. Um dies zu erreichen, empfiehlt die Unterarbeitsgruppe eine engere Kooperation zwischen DESY und BESSY und eine überzeugendere Nutzung der komplementären Expertisen beider Einrichtungen. Auch sollte unter Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten abgewogen werden, ob die Realisierung von zwei FEL-Laboratorien, die jeweils auf bestimmte Spektralbereiche spezialisiert sind, oder nur einem FEL-Laboratorium, der das gesamte Spektrum abdeckt, sinnvoll ist.

#### Abschließende wissenschaftspolitische Bewertung

Mit dem Soft X-ray-FEL werden der Forschung mit Synchrotronstrahlung qualitativ neue Arbeitsfelder insbesondere in den Material- und Lebenswissenschaften eröffnet. Die laserartige kohärente Kurzpulsstrahlung wird es erlauben, vor allem die

Dynamik der elektronischen, chemischen und magnetischen Eigenschaften der Materie zeitaufgelöst in neuer Qualität zu untersuchen.

Eine europäische Finanzierung des Soft X-ray-FEL ist zwar anzustreben, doch ist diese angesichts weiterer vergleichbarer FEL-Projekte, die sich in Europa in der Vorplanungsphase befinden, schwer zu erreichen. Obwohl der Soft X-ray-FEL auch für einen internationalen Nutzerkreis attraktiv sein wird, geht der Wissenschaftsrat zudem davon aus, dass diese Anlage vorrangig von deutschen Forschergruppen verschiedener Forschungsfelder genutzt wird.

Die beim Bau der Hochbrillanz-Synchrotronstrahlungsquelle von BESSY unter Beweis gestellte Kompetenz lässt auch in Zukunft eine erfolgreiche Technologieentwicklung erwarten. Gleichwohl bleiben substantielle Vorarbeiten zu einem ausgereiften technischen Projektvorschlag noch zu leisten, da zum jetzigen Zeitpunkt nur eine Konzeptstudie ohne Vorexperimente vorliegt. Der Wissenschaftsrat sieht es als möglich an, dass bei einer zügigen Weiterarbeit am technischem Konzept für den angestrebten Spektralbereich eine bedeutende, im europäischen Wettbewerb führende Forschungsinfrastruktur entstehen kann.

Um den Abstimmungsgrad der Forschungsprogramme und der technischen F&E-Arbeiten beider FEL-Projekte zu erhöhen und die komplementären Expertisen von DESY und BESSY besser zu nutzen, hält der Wissenschaftsrat eine engere Kooperation der beiden Einrichtungen für erforderlich. Abgestimmte Forschungsprogramme, die auch eine überzeugende Begründung für die Notwendigkeit der Errichtung von zwei FEL-Laboratorien an zwei Standorten enthalten müssen, sollten rasch vorgelegt werden.

## **Hochfeldmagnetanlage für Strukturuntersuchungen mit Neutronen**

### Kurzdarstellung des Großgerätes<sup>20</sup>

Sowohl die Neutronenstreuung als auch der Einsatz möglichst hoher Magnetfelder gehören zu den Schlüsselmethoden für die Erforschung magnetischer Phänomene. Mit der Kombination beider Methoden beabsichtigt das Berliner Zentrum für Neutro

---

<sup>20</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

nenstreuung (BENSC) des Hahn-Meitner-Instituts (HMI), Berlin, die Untersuchungsmöglichkeiten der Neutronenstreuung bei sehr hohen Magnetfeldern weiter auszubauen.

Eine Kombination von Neutronenstreuung und Hochfeldmagneten ermöglicht weitergehende materialwissenschaftliche Untersuchungen in der Festkörperphysik, beispielsweise zu magnetischen Materialien wie intermetallische Verbindungen mit Seltenen-Erden oder Aktiniden, zu magnetischen Anisotropien in technischen Materialien oder zu magnetischen Zwei- oder Mehrschichtsystemen. Bei weichen Materialien können hohe Magnetfelder auch in nicht-magnetischen Substanzen Zustandsänderungen auslösen. Von einer Strukturbestimmung durch Neutronendiffraktion wird ein wesentlicher Beitrag zu Untersuchungen vollständig orientierter makromolekularer Strukturen oder Kristalle erwartet.

Das Konzept der Hochfeldmagnetanlage sieht vor, kontinuierlich betriebene, resistive Magnete – ein (horizontaler) Solenoid für 40 Tesla, in der die Probe für den Neutronenstrahl in Längsrichtung der Spule zugänglich ist, und eine vertikale split-pair Spule für 30 Tesla, wo die Probe vertikal zur Spulenachse zwischen den beiden Spulenteilen für die Neutronen zugänglich ist – in einem Hochfeldmagnetlabor nach den Vorgaben eines am HMI zu bauenden Neutronenstreuinstrumentes fertigen zu lassen. Das Hochfeldmagnetsystem soll im Gegensatz zu konventionellen Anordnungen als stationäre Anlage konzipiert werden, welche durch mobile Neutroneninstrumente ergänzt wird.

Ein technischer Projektvorschlag liegt zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht vor. Die bisher kalkulierten Gesamtkosten für F&E-Arbeiten, den Bau der Magnete und die Bereitstellung der Energieversorgung einschließlich notwendiger Kühleinrichtungen und Personalkosten werden mit 48,5 Mio. Euro, die jährlichen Personal- und Betriebskosten mit 4,3 Mio. Euro abgeschätzt. Die Investitionskosten für die Neutroneninstrumente sollen aus dem laufenden Haushalt des HMI finanziert werden. Nach dem jetzigen Planungsstand sind drei Jahre für den Bau der Anlage vorgesehen. Der geplante Standort ist das HMI Berlin.

### Kurzdarstellung der Begutachtungsergebnisse der Unterarbeitsgruppe<sup>21</sup>

Die vom Hahn-Meitner-Institut geplante Hochfeldmagnetanlage, bei der 20 bis 40 Tesla starke statische Magnetfelder mit Neutronenstreuung kombiniert werden sollen, bietet nach Auffassung der Unterarbeitsgruppe weltweit einmalige Möglichkeiten für wichtige Messungen im Bereich der kondensierten Materie und der Materialwissenschaften. Neutronenstreuexperimente in Magnetfeldern deutlich oberhalb der derzeit möglichen 17 Tesla durchführen zu können, ist für nationale wie internationale Nutzer eine neue attraktive Forschungsoption.

Die geplante Magnettechnologie basiert auf der Expertise ausländischer Hochfeldmagnetlabore und ist an diesen bereits voll etabliert. Die Unterarbeitsgruppe ist überzeugt, dass die erstklassigen apparativen Entwicklungen des HMI (Instrumentierung, Neutronenleiter) Experimente ermöglichen würden, die mit der verfügbaren Neutronenintensität des gegenwärtig leistungsfähigsten Hochflussreaktors am Institut Laue-Langevin (ILL, Grenoble) konkurrieren könnten. Die Unterarbeitsgruppe begrüßt das Hochfeld-Projekt des HMI auch im Hinblick auf die Planungen zur European Spallation Source (ESS), da die Entwicklungen des HMI als vorbereitende Arbeiten für die Einrichtung eines ESS-Hochfeldmagnetlabors genutzt werden können.

Die Unterarbeitsgruppe sieht die mit der Hochfeldmagnetanlage verknüpften wissenschaftlichen Ziele einer methodischen und technischen Kombination zweier Großgeräte als richtungsweisend an. Deren Umsetzung in ein konkretes Forschungsprogramm steht allerdings noch aus und müsste deutlich intensiviert werden.

Die technische Konzeption und eine detaillierte Kostenkalkulation der geplanten Hochfeldmagnetanlage sind noch zu leisten. Auch fehlt bislang ein Strategieplan des HMI, der die langfristige institutionelle Einbettung der Anlage überzeugend darstellt.

### Abschließende wissenschaftspolitische Bewertung

Die mit der Hochfeldmagnetanlage am HMI verfolgte Kombination von Neutronenstreuung mit sehr hohen Magnetfeldern ist weltweit ohne Vergleich und lässt eine Vielzahl neuer Forschungsperspektiven im Bereich der kondensierten Materie und in den Materialwissenschaften erwarten.

---

<sup>21</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

Erstmals könnten Neutronenstreuexperimente in statischen Magnetfeldern deutlich oberhalb 17 Tesla durchgeführt werden. Für die Hochfeldtechnologie selbst ist dabei die Erforschung von Supraleitern, insbesondere die Erzeugung von supraleitenden Materialien mit sehr hoher kritischer Stromdichte, besonders vielversprechend.

Der Wissenschaftsrat sieht das geplante Hochfeldmagnetlabor als ein nationales Großgerät an, angestrebt wird zu 2/3 eine nationale und zu 1/3 eine internationale Nutzung. Die Kombination von Neutronenstreuung mit hohen Magnetfeldern ist ein fokussierter Forschungsansatz, der nationale und internationale Nutzergruppen in kleinerem Umfang anziehen wird. Durch die begrenzte Anzahl von jährlich möglichen Experimenten können zudem nur wenige Nutzer bedient werden.

Der Wissenschaftsrat unterstreicht die Singularität, die in der Kombination der zwei verschiedenen Forschungsinstrumente liegt. Die Erarbeitung eines konsistenten Forschungsprogramms steht allerdings ebenso noch aus wie die detaillierte technische Konzeption der Magnetanlage, ihrer Stromversorgung und der vorgesehenen Neutroneninstrumente. Hier sind noch mehr Vorarbeiten zu leisten, als bisher geschehen ist. Im Falle einer gegebenen Projektreife ist eine erneute Begutachtung erforderlich.

## **Europäische Spallations-Neutronenquelle (ESS)**

### Kurzdarstellung des Großgerätes<sup>22</sup>

Naturwissenschaften und ihre Anwendungen in Medizin und Technik basieren zu großen Anteilen auf der Kenntnis des atomaren bzw. molekularen Aufbaus der zugrundeliegenden Materie. Für die Untersuchung der Struktur und Dynamik fester und flüssiger Materie haben sich Neutronen in der Vergangenheit vielfach bewährt. Als Neutronenquellen dienen bisher Forschungsreaktoren, deren technisch mögliche Grenzen für die nutzbaren Neutronenflüsse jedoch erreicht sind. Die Europäische Spallations-Neutronenquelle (ESS) soll als gepulste 2 x 5 MW-Spallations-Neutronenquelle einen bis um den Faktor 100 gepulste Spitzenleistung im Vergleich zu dem gegenwärtig leistungsfähigsten Hochflussreaktor am Institut Laue-Langevin (ILL, Grenoble) höheren Neutronenfluss bieten.

---

<sup>22</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

Aufgrund der hohen Intensität der ESS werden die Durchführung von kinetischen Experimenten auf kleinsten Zeitskalen, die Identifizierung von Polymerketten, Proteinsequenzen und Wasserstoffbindungen in biologischen und pharmazeutischen Substanzen sowie Innovationen in der Proteinkristallographie oder Realzeitaufnahmen von Phasendiagrammen in mehrdimensionalen Parameterräumen erwartet.

Das technische Konzept der ESS sieht einen Teilchenbeschleuniger, der hochintensive Protonenpulse auf die zur effektiven Neutronenproduktion erforderlichen Energien im GeV-Bereich erzeugt, und verschiedene Target-Reflektor-Einheiten vor, in denen die Neutronen durch Protonenbeschuß von schweren Targetkernen erzeugt, in Moderatoren auf thermische oder subthermische Energien abgebremst und schließlich in Strahlröhren zu den Streuexperimenten geführt werden.

Das ESS-Projekt befindet sich derzeit in der Planungsphase, die Mitte 2003 abgeschlossen sein wird. Die F&E-Arbeiten werden unter Beteiligung von 15 europäischen Institutionen, darunter das Forschungszentrum Jülich (FZJ) als führende Institution für den Bereich „Target“ und das Hahn-Meitner-Institut Berlin (HMI) als die führende Institution im Bereich „Instrumentation“, aus 10 Ländern durchgeführt und von einem europäischen Research & Development-Council koordiniert. Die Investitionskosten einschließlich der Personalkosten für die F&E-Arbeiten werden mit 1.390 Mio. Euro, die jährlichen Personal- und Betriebskosten mit 144 Mio. Euro geschätzt. Die erste Neutronenproduktion ist nach einer Bauzeit von sieben Jahren vorgesehen.

#### Kurzdarstellung der Begutachtungsergebnisse der Unterarbeitsgruppe<sup>23</sup>

Die Unterarbeitsgruppe betont die Notwendigkeit einer leistungsstarken Neutronenquelle, wie sie die Europäische Spallationsquelle (ESS) darstellt, um die führende Stellung Europas in der Forschung mit Neutronen zu erhalten und auszubauen. Die im Vergleich zu bestehenden Forschungsreaktoren um ein Vielfaches höhere Leistungsfähigkeit lässt neuartige Forschungsmöglichkeiten in den Bereichen Festkörperphysik, Chemie, Biologie, Materialwissenschaften und Ingenieurwissenschaften erwarten. Die Unterarbeitsgruppe erachtet die technische Machbarkeit einer auf dem Spallationsprinzip beruhenden Neutronenquelle als grundsätzlich gegeben und sieht

---

<sup>23</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

die derzeit bekannten Leistungs- und Auslegungsparameter der ESS als sinnvoll und schlüssig gewählt an.

Offen blieb jedoch, ob die wissenschaftlichen Fragestellungen aus den genannten Anwendungsgebieten der Neutronenforschung, die Gegenstand des beabsichtigten Forschungsprogramms der ESS sind, zu einem realistischen Zeitpunkt der Inbetriebnahme der ESS noch über eine ausreichende Aktualität verfügen und den Bedarf an einer Neutronenquelle der neuen Generation als gerechtfertigt erscheinen lassen. Insgesamt war die Einschätzung des Forschungsprogramms in der Unterarbeitsgruppe nicht vollkommen einheitlich. Deshalb empfiehlt sie, die wissenschaftlichen Ziele der ESS zu überprüfen und die Arbeiten am Forschungsprogramm weiter intensiv fortzusetzen. Dabei sollten alternative und komplementäre Entwicklungen der Synchrotronstrahlung und von alternativen Labormethoden der Strukturforschung wie beispielsweise Mikroskopie, optische Spektroskopie, NMR oder Computersimulation stärker gewürdigt und wissenschaftliche Expertise auch außerhalb der bestehenden Akteure der Neutronenforschung mit einbezogen werden. Für ein Großgerät dieser Dimension und Anwendungsbreite sieht die Unterarbeitsgruppe es als eine wesentliche Voraussetzung an, dass die ESS in die strategische Ausrichtung der beteiligten Einrichtungen entscheidend eingebettet ist.

Die Unterarbeitsgruppe unterstreicht ausdrücklich den europäischen Charakter der ESS und sieht die geplante Einbeziehung einer Vielzahl von wissenschaftlichen Institutionen aus verschiedenen europäischen Nationen als vorbildhaft für eine institutionelle Umsetzung des europäischen Gedankens in der Wissenschaft an. Diese Vorteile können jedoch in gewünschtem Maße nur zum Tragen kommen, wenn die ESS über eine klare Projektstruktur mit transparenten Entscheidungswegen in der Projektierungs- wie Umsetzungsphase verfügt und die Rollenverteilung der Partner und deren wissenschaftliche und technologische Beiträge eindeutig ist.

Die Unterarbeitsgruppe begrüßt den europäischen Standortwettbewerb um die Ansiedlung der ESS und sieht es aufgrund der großen Tradition der Forschung mit Neutronen in Deutschland als eine Unerlässlichkeit an, dass Deutschland mit einem starken Kandidaten vertreten sein wird.



### Abschließende wissenschaftspolitische Bewertung

Die Neutronenstreuung hat sich als wichtige Untersuchungsmethode in einer Vielzahl von Bereichen der Erforschung der kondensierten Materie etabliert. Mit ihrer Hilfe konnten in der Vergangenheit grundlegende Beiträge zum mikroskopischen Verständnis der Materie geliefert werden. Die Neutronenstreuung verfügt nicht nur über ein bedeutendes Potenzial in der Untersuchung fundamentaler Bereiche wie Phasenübergänge, Magnetismus oder Quantenflüssigkeiten und technisch wichtiger Materialien wie Magnete, Supraleiter, Keramiken, Polymere oder Flüssigkristalle, sie stellt auch eine wichtige Charakterisierungsmethode für biologische Systeme dar. Die Breite der wissenschaftlichen Fragestellungen, die mit der Neutronenstreuung in der Forschung beantwortbar sind, liegt nicht zuletzt in den physikalischen Eigenschaften des Neutrons selbst begründet. Daraus resultiert auch die Komplementarität der experimentellen Techniken mit Neutronen beziehungsweise Photonen und deren Aussagekraft.

Auch in Zukunft müssen deutschen und europäischen Wissenschaftlern leistungsfähige Neutronenquellen zur Verfügung stehen. Der Wissenschaftsrat hält es aber für entscheidend, die Notwendigkeit für den Neubau einer weiteren Neutronenquelle wie der Europäischen Spallations-Neutronenquelle (ESS) vom zukünftigen Bedarf für die Forschung mit Neutronen abhängig zu machen. Für eine Neuinvestition der hier betrachteten finanziellen Dimension muss die Erschließung neuer Forschungsgebiete für die Neutronenstreuung Vorrang haben gegenüber einem weiteren Ausbau von Neutronenquellen allein aufgrund der absehbaren technischen Begrenztheit der in Deutschland und Europa derzeit betriebenen Neutronenquellen (sog. „Neutronenlücke“).

Der Wissenschaftsrat hält es zudem für erforderlich, die Feststellung des Bedarfs an Neutronen eng mit der Prüfung von alternativen und komplementären (Labor-)Methoden auf dem Gebiet der Strukturforschung zu verknüpfen. So stehen mit der Synchrotronstrahlung, der Mikroskopie, der optischen Spektroskopie, der NMR oder der Computersimulation Verfahren zur Verfügung, die für einen Teil der Forschungsthemen der ESS mit einem geringeren apparativen und investiven Aufwand vergleichbare Informationen liefern können.

Auch wenn der Wissenschaftsrat im Vergleich mit den weiteren wissenschafts-politisch zu begutachtenden Großgeräten der Ansiedlung einer Neutronenquelle der neuen Generation in Deutschland für den Wissenschaftsstandort Deutschland eine eher geringere Bedeutung beimisst, würde er es aus übergeordneten wissenschafts-politischen Gründen begrüßen, wenn die ESS in Deutschland angesiedelt werden könnte. Deutschland besitzt eine große und aktive Nutzergemeinschaft sowohl in den Forschungsbereichen, in denen die Neutronenstreuung traditionell eine wichtige Rolle spielt (Festkörperphysik, Materialwissenschaften und Kristallographie), als auch in für die Neutronenstreuung jüngeren Forschungsbereichen wie Biologie oder weiche Materie, die auch international einen wichtigen Teil der Nutzergemeinde ausmachen.

Der Wissenschaftsrat weist aber auch darauf hin, dass die bisherige Deckung des deutschen Bedarfs an Neutronenquellen der obersten Leistungsklasse durch eine europäische Neutronenquelle mit Sitz in Frankreich nicht zu strukturellen Nachteilen für die deutsche Neutronenforschung geführt hat. Dem Wissenschaftsrat kommt es daher darauf an, dass ein europäischer Wettbewerb um die Ansiedlung der ESS stattfindet. Er sieht hierin den einzig geeigneten Weg zur Auswahl des optimalen Standortes.

Dem Wissenschaftsrat lagen anlässlich seiner Begutachtung der ESS ein Standortkonzept zur Ansiedlung der ESS am Forschungszentrum Jülich und eine gemeinsame Interessensbekundung der Länder Sachsen und Sachsen-Anhalt zur Ansiedlung der ESS in der Region Halle-Leipzig vor.

Der Wissenschaftsrat betont, dass am Forschungszentrum Jülich ein traditioneller Schwerpunkt der Forschungsarbeiten in der Anwendung von Neutronen in der Festkörperforschung liegt. Das Forschungszentrum verfügt über eine im Bau und Betrieb von Großgeräten erfahrene und bewährte Infrastruktur. Im Städtedreieck Aachen - Düsseldorf - Köln gelegen, befindet sich Jülich in einer Region mit einer guten Anbindung zu Universitäten, Forschungsinstituten und Industrieunternehmen.

Sollte das Forschungszentrum Jülich in einem europäischen Wettbewerb als geeigneter Standort für die Ansiedlung der ESS identifiziert werden, weist der Wissenschaftsrat darauf hin, dass die ESS angesichts ihrer Dimension zentral in die strate

gische Planung und das Forschungsprogramm des Forschungszentrums Jülich eingebunden sein und einen Kern seines Aufgabenspektrums bilden müsste. Am Forschungszentrum müsste diese institutionelle Einbindung stärker als zum Zeitpunkt der Begutachtung erkennbar werden.

Für die Region Halle-Leipzig betont der Wissenschaftsrat, dass mit dem dynamischen wissenschaftlichen Umfeld aus Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen eine wichtige Voraussetzung für die wissenschaftliche Anbindung eines Großgerätes der hier betrachteten Dimension gegeben ist. Eine abschließende Bewertung des Standortes in der Region Halle-Leipzig ist dem Wissenschaftsrat aufgrund noch nicht vorliegender aussagekräftiger Unterlagen derzeit nicht möglich.

Der Wissenschaftsrat weist abschließend darauf hin, dass die deutschen finanziellen Investitionen im Falle einer Ansiedlung der ESS in Deutschland höher ausfallen würden als im Falle einer deutschen Beteiligung am Bau der Spallationsquelle im europäischen Ausland. Die finanzielle Beteiligung Deutschlands an der ESS unabhängig von deren Ansiedlung darf der Umsetzung der in dieser Stellungnahme als förderwürdig angesehenen Großgeräte nicht entgegen stehen.

### **Europäisches eisbrechendes Forschungsbohrschiff (Aurora Borealis)**

#### Kurzdarstellung des Großgerätes<sup>24</sup>

Ein internationales Konsortium unter Federführung des Alfred-Wegener-Instituts für Polarforschung in Bremerhaven (AWI) plant die Entwicklung eines eisbrechenden Forschungsbohrschiffes, das Expeditionen während aller Jahreszeiten bis in den zentralen Arktischen Ozean ermöglichen und mit den technischen Einrichtungen zur Durchführung von Tiefseebohrungen ausgerüstet sein soll.

Mit dem eisbrechenden Forschungsbohrschiff sollen die Forschungsbedürfnisse der marinen Polarforschung und Geoforschung erfüllt werden. In der Klimaforschung als Teil der marinen Polarforschung stehen Fragestellungen aus der physikalischen Ozeanographie, der Meereisforschung und der Meteorologie im Mittelpunkt. Die bio

logische Forschung zielt exemplarisch auf die Erfassung von Lebensgemeinschaften in der bislang unerforschten Schlüsselregion Arktis und auf eine systematische Erarbeitung von Zeitserien zu Lebenszyklen und Überwinterungsstrategien arktischer Organismen sowie auf biochemische Untersuchungen zu Stoffkreisläufen in der Arktis ab. Gegenstand der geowissenschaftlichen Forschung soll die Untersuchung der wissenschaftlich weitgehend unbekanntem arktischen Tiefseeböden in permanent eisbedeckten Meeresgebieten sein.

Technische Innovationen des eisbrechenden Forschungsbohrschiffes sind neben der Realisierung einer dynamischen Positionierung im treibenden Meereis der mobile Bohrturm, das containerisierte mobile Laborkonzept und die zwei sog. Moon Pools, welche ein Tiefseebohren und den Einsatz von ferngesteuerten Tiefseefahrzeugen (Remotely Operated Vehicles) und autonomen Unterwasserfahrzeugen (Autonomous Underwater Vehicles) zulassen.

Die Planungsarbeiten werden derzeit im Rahmen nationaler und europäischer Arbeitsgruppen in enger Anlehnung an die Fortschreibung des bestehenden internationalen Ozeanbohrprogramms vorangetrieben. Die Gesamtkosten werden mit 250 Mio. Euro, die jährlichen Betriebskosten mit 20-25 Mio. Euro geschätzt. Die ersten Forschungsfahrten sollen nach einer vierjährigen Bau- und Inbetriebnahmephase stattfinden.

#### Kurzdarstellung der Begutachtungsergebnisse der Unterarbeitsgruppe<sup>25</sup>

Die Ozeanbecken höchster nördlicher und südlicher Breitengrade spielen eine zentrale Rolle bei Untersuchungen über die Möglichkeiten von Veränderungen der Ozeanographie und des Klimas der Weltmeere. Der Arktische Ozean ist das einzige Teilbecken des Weltmeeres, das bisher nicht durch die internationalen Forschungsprogramme erreicht werden konnte, da keines der eingesetzten Bohrschiffe eisbrechende Qualitäten hatte. Für die Arktisregion als ein hochsensibles und klimabestimmendes Ökosystem liegen bislang nur unzureichende Datensätze beispielsweise zu geologischen und Klimafragen und zur Entwicklung der ozeanischen Kruste vor.

---

<sup>24</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

<sup>25</sup> Siehe ausführlich Teil II dieser Stellungnahme.

Die Unterarbeitsgruppe sieht die mit dem eisbrechenden Forschungsbohrschiff verbundenen Möglichkeiten, Expeditionen während aller Jahreszeiten bis in den zentralen Arktischen Ozean und gleichzeitig durch seine Konzeption als Bohrschiff Tiefseebohrungen durchführen zu können, als bislang nicht realisiert an. Die Forschungsziele greifen wissenschaftlich und gesellschaftlich aktuelle Fragestellungen auf. Deren Verdichtung zu einem konkreten Forschungsprogramm steht allerdings noch aus.

Das eisbrechende Forschungsbohrschiff baut auf ambitionierten technischen Innovationen wie die dynamische Positionierung eines Schiffes in driftendem Seeeis und die sog. Moon Pools auf, welche die Möglichkeit zur ganzjährigen Beobachtung unterhalb von Seeeis bieten. Mit deren Realisierung können auch wichtige wirtschaftliche Impulse für den Maschinen- und Schiffsbau sowie die Bohrtechnik erwartet werden. Nicht zuletzt mit Blick auf die technischen Herausforderungen für den Schiffsbau, eine Kombination aus Forschungsschiff und Eisbrecher zu fertigen, ist die Kostenkalkulation noch nicht belastbar.

Das Alfred-Wegener-Institut hat sich in der Vergangenheit eine hohe internationale Reputation in der wissenschaftlichen Betreuung und logistischen Unterstützung von Arktisexpeditionen erworben. Die Unterarbeitsgruppe sieht das AWI als die weltweit einzige Institution an, die derzeit personell und technologisch in der Lage ist, die Federführung bei Bau und Betrieb eines eisbrechenden Forschungsbohrschiffes zu übernehmen. Das eisbrechende Forschungsbohrschiff sollte als ein europäisches Großgerät ausgelegt werden.

Der Standort Bremerhaven verfügt über ideale Voraussetzungen zum Betrieb von Forschungsschiffen; mit Hilfe des geplanten eisbrechenden Forschungsbohrschiffes ließe sich die vorhandene wissenschaftliche Kompetenz in Bremerhaven zu einem Center of Excellence der Polarforschung ausbauen.

#### *Abschließende wissenschaftspolitische Bewertung*

Forschungs- und Bohrschiffe in Kombination mit Robotersystemen und Forschungstauchbooten, wie es auch die Planung des eisbrechenden Forschungsbohrschiffes Aurora Borealis vorsieht, stellen derzeit die vielversprechendste Möglichkeit zur Untersuchung des Meeresbodens als ein bedeutendes Klimaarchiv dar. Für die Unter

suchungen der Auswirkungen der menschlichen Tätigkeit auf natürliche Kreisläufe sowie auf terrestrische und aquatische Ökosysteme sind die arktischen und antarktischen Meeresregionen nach wie vor nur lückenhaft erschlossen; Datenmaterial als Voraussetzung für belastbare Langzeitstrategien steht nur ausschnittsweise zur Verfügung. Die sich mit dem eisbrechenden Forschungsbohrschiff eröffnenden Forschungsmöglichkeiten würden nicht nur die nationale wie internationale Polarforschung und Geowissenschaften sehr befördern, sondern weisen auch eine hohe gesellschaftliche Relevanz auf.

Die deutsche Polarforschung verfügt international über eine außerordentliche Reputation. Besondere Stärken liegen bei dem Alfred-Wegener-Institut für Polarforschung aus Bremerhaven, welches die Federführung an dem Projekt inne hat, und bei dem ebenfalls beteiligten Forschungszentrum für marine Geowissenschaften an der Universität Kiel (GEOMAR). Die deutsche Meeresforschung hat in der Vergangenheit mit den Forschungsschiffen Sonne, Meteor und Polarstern mehrfach bewiesen, dass sie in der Lage ist, Bau und Betrieb eines Schiffes der hier betrachteten Dimension zu leisten.

Der Wissenschaftsrat betont die Aktualität und Bedeutung der wissenschaftlichen Fragestellungen, zu deren Lösung das geplante eisbrechende Forschungsbohrschiff wichtige Beiträge leisten könnte. Ein konkretes Forschungsprogramm liegt allerdings noch nicht vor. Mit der dynamischen Positionierung im treibenden Meereis, dem mobilen Bohrturm, dem mobilen Laborkonzept und den zwei sog. Moon Pools sind die technischen Anforderungen klar festgelegt. Eine Prüfung der technischen Machbarkeit ist bislang nicht erfolgt, ein technisches Konzept für den Forschungseisbrecher liegt noch nicht vor. Auch erscheint die zwingende Notwendigkeit der Kombination von Tiefseebohren und Eisgängigkeit durch einen Schiffstyp noch nicht ausreichend begründet. Der Wissenschaftsrat hält das Projekt aufgrund des noch nicht vorliegenden Forschungsprogramms<sup>26</sup> und eines fehlenden technischen Konzeptes für noch nicht bewertbar. Im Falle einer gegebenen Projektreife ist eine erneute Begutachtung erforderlich. Der weiterzuentwickelnde Projektvorschlag muss eine belastbare Kostenkalkulation für den bohrenden Forschungseisbrecher und die Prüfung technischer

---

<sup>26</sup> Das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung hat in einem Schreiben an den Wissenschaftsrat vom Juni 2002 die Veröffentlichung des Forschungsprogramms für diesen oder den kommenden Monat angekündigt.

Alternativen umfassen, die mit einem geringeren apparativen und investiven Aufwand zu gleichwertigen wissenschaftlichen Ergebnissen führen könnten.

Der Wissenschaftsrat sieht eine Zusammenarbeit auf internationaler Ebene in der Meeres- und Polarforschung als eine zwingende Voraussetzung an. Das eisbrechende Forschungsbohrschiff Aurora Borealis könnte als eine alternative Plattform einen europäischen Beitrag zum Integrated Ocean Drilling Program (IODP) darstellen und sollte hinsichtlich der zu beteiligenden Kooperationspartner und der nutzenden Wissenschaftler klar europäisch ausgerichtet sein.

## **B. Zu Struktur und Finanzierung von Großgeräten**

### **Ausgangslage**

In der Ausgangslage wird nicht der Anspruch erhoben, Daten zu Struktur und Finanzierung aller Großgeräte in den verschiedenen Forschungsgebieten in Deutschland und zur deutschen Beteiligung an Großgeräten im Ausland darzustellen. Die Ausführungen beschränken sich auf Großgeräte in Teilbereichen der Physik sowie der Umwelt- und Geoforschung, die mit den wissenschaftspolitisch zu bewertenden neun Großgeräten der vorliegenden Stellungnahme vergleichbar sind. Der Wissenschaftsrat sieht hierin einen Ausgangspunkt für allgemeine Überlegungen zu Struktur und Finanzierung von Großgeräten.<sup>27</sup>

Thematische Schwerpunkte der in Deutschland in der Physik genutzten Großgeräte liegen auf grundlegenden Fragen von Struktur und Eigenschaften der Materie sowie ihrer kleinsten Bausteine, bis hin zu Galaxien und der Entwicklung des Kosmos (Teilchenbeschleuniger mit ihren Detektoren, Teleskope und Satelliten) sowie zu Aufbau und Dynamik kondensierter Materie (Neutronen-, Ionen- und Synchrotronstrahlungsquellen).

Physikalische Großforschung mit Großgeräten erfolgt in vielfältiger Form in den außeruniversitären Einrichtungen Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI), Hahn-Meitner-Institut (HMI), Forschungszentren Jülich, Karlsruhe und Geesthacht (FZJ, FZK und GKSS) und in größeren Blaue Liste-Instituten wie bei der Berliner Elektronen-Speicherring-Gesellschaft für Synchrotronstrahlung (BESSY) und im Forschungszentrum Rossendorf (FZR).

Die folgende Übersicht zeigt die an den genannten Forschungszentren bearbeiteten Forschungsgebiete.

---

<sup>27</sup> Der Wissenschaftsrat weist darauf hin, dass weitere Forschungsgebiete, in denen Großgeräten eine hohe Bedeutung zukommt, durch die vom BMBF dem Wissenschaftsrat übermittelte Liste von Großgeräten nicht abgedeckt sind. Für die Koordination von Nutzung und Beschaffung von Höchstleistungsrechnern, die in vielen Forschungsgebieten eingesetzt werden, hat der Wissenschaftsrat einen gleichnamigen nationalen Koordinierungsausschuss eingesetzt.



Forschungs- zentrum	Physik der kondensierten Materie			Hoch- energie- physik	Hadronen- und Kern- physik	Astro- physik
	Synchrotron- strahlung	Neutronen- strahlung	Ionen- strahlung			
BESSY	X					
DESY	X			X	X	X
FZ Jülich		X			X	
FZ Karlsruhe	X				X	X
FZ Rossendorf			X			
GKSS		X				
GSI			X		X	
HMI		X	X			

Bau und Betrieb von Großgeräten an Universitäten ist demgegenüber vom Umfang her wesentlich weniger ausgeprägt. Die Technische Universität München errichtet auf dem Campus in Garching bei München, finanziert innerhalb der Gemeinschaftsaufgabe Hochschulbau durch den Bund und das Land Bayern, eine neue Hochflussneutronenquelle (FRM II), die den seit 1957 betriebenen Forschungsreaktor FRM ersetzen und für Forschungen in Physik, Chemie, Material- sowie Ingenieurwissenschaften und Lebenswissenschaften zur Verfügung stehen wird.

Die Bundesrepublik Deutschland ist an der Finanzierung verschiedener europäischer Forschungseinrichtungen zum Teil maßgeblich beteiligt. Internationale Beteiligungen in der Physik betreffen das Europäische Laboratorium für Teilchenphysik (CERN), die Europäische Synchrotron-Strahlungsquelle (ESRF) und das Institut Laue-Langevin (ILL).<sup>28</sup>

- Europäisches Laboratorium für Teilchenphysik (CERN), Genf  
CERN leistet Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Elementarteilchen der Materie (Hochenergiephysik) mit den Schwerpunkten Untersuchung der elementaren Bausteine der Materie mit Hilfe von Teilchenbeschleunigern und in der Kernphysik. In Bau befindet sich der Large Hadron Collider (LHC), dessen Fertigstel

<sup>28</sup> Zudem besteht eine Mitbeteiligung an der Europäischen Weltraumagentur (ESA), der Europäischen Organisation für astronomische Forschung auf der südlichen Hemisphäre (ESO), der Europäischen Konferenz für Molekularbiologie (EMBL), dem Europäischen Zentrum für mittelfristige Wettervorhersagen (EZMW), dem Europäischen Hochschulinstitut (EHI), der Stiftung Deutsch-Niederländischer Windkanal (DNW), dem Europäischen Transschall-Windkanal (ETW) und dem Deutsch-Französischen Forschungsinstitut Saint-Louis (ISL).

lung bis 2006 geplant ist. Die Mittel für die Durchführung der Arbeiten werden von den Mitgliedsstaaten jeweils in Höhe eines nach Bruttosozialprodukt-Schlüssel ermittelten Beitragsprozentsatzes zur Verfügung gestellt. Der deutsche Beitragsanteil beträgt zur Zeit rd. 23 Prozent.<sup>29</sup>

- Europäische Synchrotron-Strahlungsanlage (ESRF), Grenoble  
ESRF, geführt in der Rechtsform einer Gesellschaft nach französischem Privatrecht, leistet den Bau und Betrieb von Synchrotronstrahlungsanlagen für die Forschung auf dem Gebiet der kondensierten Materie. Der deutsche Beitragsanteil zu den Betriebskosten beträgt 25,5 Prozent.<sup>30</sup>
- Institut Max von Laue - Paul Langevin (ILL), Grenoble  
ILL, geführt in der Rechtsform einer Gesellschaft nach französischem Privatrecht, leistet den Betrieb eines Höchstflussreaktors mit seinen Instrumenten. Die Mittel für die Durchführung der Arbeiten werden von den Mitgliedsstaaten jeweils in Höhe des vereinbarten Beitragsprozentsatzes zur Verfügung gestellt. Der deutsche Beitragsanteil beträgt zur Zeit rd. 37 Prozent.<sup>31</sup>

Die folgende Übersicht zeigt die an den genannten internationalen Forschungszentren bearbeiteten Forschungsgebiete.

Forschungszentrum	Physik der kondensierten Materie			Hochenergiephysik	Hadronen- und Kernphysik
	Synchrotronstrahlung	Neutronenstrahlung	Ionenstrahlung		
CERN			X	X	X
ESRF	X				
ILL		X			

<sup>29</sup> Mitgliedsländer der in der Rechtsform einer internationalen Organisation geführten Forschungseinrichtung sind Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Italien, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakische Republik, Spanien, Tschechische Republik und Ungarn sowie Israel, Japan, Russland, Türkei und die Vereinigten Staaten von Amerika als Beobachterländer.

<sup>30</sup> Mitgliedsländer sind Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Spanien, Schweiz, Nordsync (Dänemark, Finnland, Norwegen, Schweden), Benesync (Belgien, Niederlande) sowie als wissenschaftliche Mitglieder mit eingeschränkten Rechten Portugal und Israel. Der deutsche Gesellschafter ist das Forschungszentrum Jülich.

<sup>31</sup> Mitgliedsländer sind Deutschland, Frankreich und Großbritannien sowie als wissenschaftliche Mitglieder mit eingeschränkten Rechten Schweiz, Spanien, Österreich, Italien, Tschechien und Russland. Der deutsche Gesellschafter ist das Forschungszentrum Jülich.

Großgeräte in den Umwelt- und Geowissenschaften umfassen in Deutschland insbesondere Forschungsplattformen wie mobile Tiefbohranlagen (z.B. gefördert im Rahmen des Kontinentalen Tiefbohrprogramms der Bundesrepublik Deutschland), Forschungsflugzeuge, Mehrzweck- und Polar-Forschungsschiffe sowie Höchstleistungsrechner.<sup>32</sup>

Ziel des Kontinentalen Tiefbohrprogramms (KTB) war es, einen Temperaturbereich von ca. 300 °C bei einer Tiefe von 10.000 m und Gebirgsdrücken von fast 3.000 bar aufzuschließen. Das KTB, Teil eines internationalen Programms zur Erforschung der Lithosphäre, wurde vom damaligen BMFT für den Zeitraum von 1983 - 1994 mit 528 Millionen DM finanziert. Nach dem Abschluss der Bohrungen wird eine Mitwirkung deutscher Geologen am International Continental Drilling Program (ICDP) angestrebt, welches nach dem Vorbild des Ocean Drilling Program (ODP) eine direkte Beteiligung an international finanzierten Bohrprogrammen vorsieht.

Deutschland verfügt gegenwärtig über eine Reihe mittelgroßer Forschungsflugzeuge. Das Flugzeug mit der größten Höhe und Reichweite ist hierbei das vom DLR betriebene Forschungsflugzeug FALCON, das seit Mitte der 70er Jahre mit einer Gipfelhöhe von bis zu 13,7 km, einer Reichweite von 3.500 km und einer Nutzlast von ca. 1.200 kg für Messungen mit in-situ- und Fernerkundungssensoren in der Troposphäre und in mittleren und hohen Breiten auch in der unteren Stratosphäre eingesetzt wird.

Das Forschungsschiff Polarstern ist seit seiner Indienststellung im Jahr 1982 im Besitz der Bundesrepublik Deutschland. Die Polarstern ist Deutschlands einziger Forschungseisbrecher und wird in den Sommern der jeweiligen Hemisphäre eingesetzt, d. h. sowohl im Südozean um die Antarktis als auch im Arktischen Ozean.

Auch die 1985/86 gebaute Meteor ist im Besitz der Bundesrepublik Deutschland. Sie wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) betrieben und von der Reederei Forschungsschiffahrt (RF) bereedert. Die Expeditionen mit FS Meteor wird von der Leitstelle Meteor an der Universität Hamburg für die Senatskommission für Ozeanografie der DFG geplant und organisiert. In den letzten Jahren operierte sie haupt

---

<sup>32</sup> Eine bedeutende Mitbeteiligung Deutschlands an einem europäischen Großgerät ist die Beteiligung an ENVISAT (ENVironmental SATellite). Seit 1991 wird die Nutzungsvorbereitung für die European Space Agency (ESA) - Mission mit jährlich rd. 5 Mio. Euro vom BMBF unterstützt.

sächlich im Atlantik, Mittelmeer, Schwarzen Meer, westlichen Indischen Ozean und in der Karibik.

Das Forschungsschiff Sonne (Baujahr 1969) ist im Besitz der Reedereigemeinschaft Forschungsschiffahrt (RF) und ist langfristig (derzeit bis zum Jahre 2003) vom BMBF gechartert, um Meeresforschung zu fördern. Die Fahrtorganisation wird vom Projektträger BEO, Außenstelle Warnemünde, durchgeführt. Das Forschungsschiff Sonne operierte in den vergangenen Jahren vornehmlich im Pazifischen und Indischen Ozean.

Schiffszeit anderer europäischer Forschungsschiffe stehen deutschen Wissenschaftlern zur Verfügung, wenn eine entsprechende Kompensation mit Fahrkapazitäten auf deutschen Forschungsschiffen möglich ist.

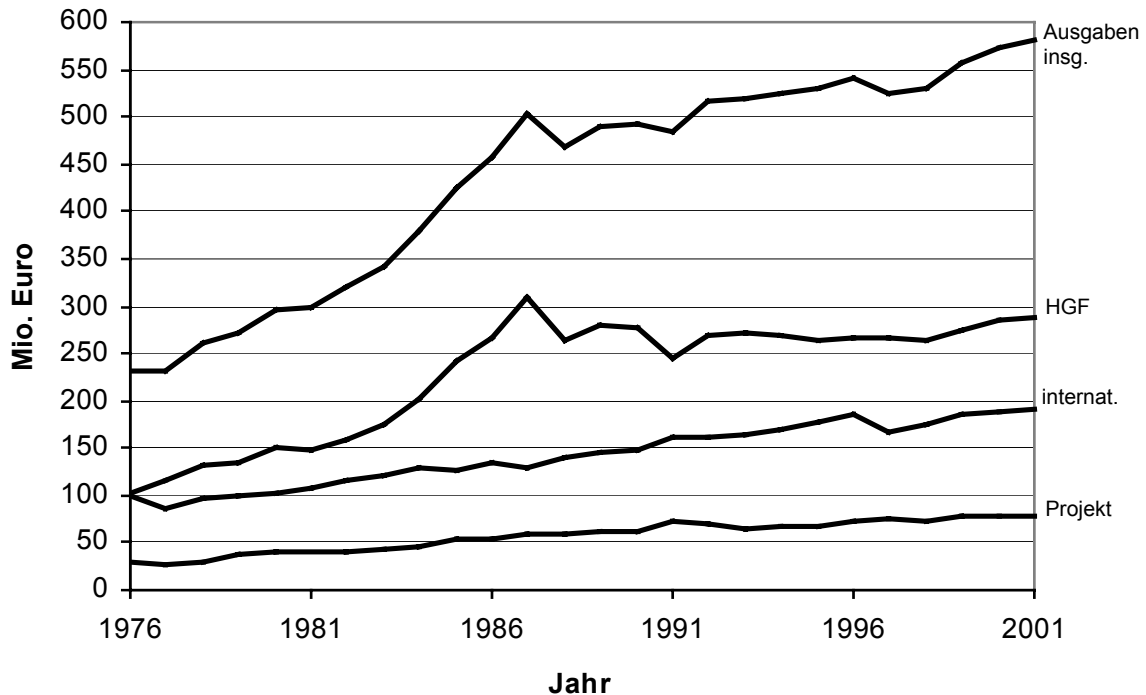
Seit Mitte 2001 steht der deutschen Klima- und Erdsystemforschung ein dedizierter Höchstleistungsrechner am Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) in Hamburg zur Verfügung. Die Investitionskosten betragen über einen Zeitraum von 10 Jahren 61,4 Mio. Euro.

Im Jahr 2001 wurden Bau und Betrieb von sowie Forschung an nationalen wie internationalen Großgeräten vom BMBF mit insgesamt 582 Mio. Euro gefördert.<sup>33</sup> Dies entspricht rd. 1/12 des gesamten Budgets des BMBF. Der Großteil entfiel auf die institutionelle Förderung (287 Mio. Euro, 49 Prozent), gefolgt von der Beteiligung an Europäischen Forschungseinrichtungen (192 Mio. Euro, 33 Prozent). 78 Mio. Euro oder 13 Prozent wurden für die Projektförderung ausgegeben. Die F&E-Ausgaben des BMBF für Großgeräte der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung liegen seit 1992 zwischen 516 und 582 Mio. Euro jährlich (siehe die nachfolgende Graphik).

---

<sup>33</sup> Nachrichtlich: Nach dem Hochschulbauförderungsgesetz sind Großgeräteinvestitionen für Forschung, Lehre und Krankenversorgung mitfinanzierungsfähig, wenn die Kosten des Gerätes einschließlich Zubehör an Universitäten die Bagatellgrenze von 125 TEuro, an anderen Hochschulen von 75 TEuro übersteigt. Das Empfehlungsvolumen des Wissenschaftsrates für Großgeräte (einschließlich Computer-Investitions-Programm CIP und Arbeitsplatzrechnern für Wissenschaftler WAP) betrug seit 1991 im Mittel 370 Mio. Euro jährlich. Investitionen größer 10 Mio. Euro entfielen in den vergangenen Jahren auf zwei Höchstleistungsrechner. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft verfügt über einen Großgeräteetat von rd. 15 Mio. Euro im Jahr.

### Ist-Ausgaben des BMBF für Großgeräte der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung



Quelle: BMBF

Der Großteil der beschriebenen Großgeräte ist an Großforschungseinrichtungen angesiedelt, die in der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) zusammengeschlossen sind. Die 15 HGF-Zentren verfügen über Gesamtmittel in Höhe von rd. 2,2 Mrd. Euro, wovon rd. 1,65 Mrd. Euro auf die institutionelle Förderung durch Bund und Länder im Verhältnis 90:10 entfallen; der Anteil an Drittmitteln, Erträgen (einschließlich solcher durch Tätigkeiten außerhalb der Forschung) und sonstigen Zuwendungen liegt bei knapp über 0,5 Mrd. Euro. Rd. 35 % der im Rahmen der gemeinsamen Forschungsförderung von Bund und Ländern zur Verfügung gestellten 4,6 Mrd. Euro (2000, Soll) entfallen auf die Helmholtz-Zentren. Das BMBF finanziert die Helmholtz-Zentren mit rd. 27% seines Forschungsetats. Das Budget der HGF entspricht gut 28% der Forschungsausgaben der Hochschulen (aus Grund- und Drittmitteln), die 1999 7,8 Mrd. Euro betragen.<sup>34</sup>

<sup>34</sup> BMBF: Bundesbericht Forschung 2000. S. 96 ff.

Angaben zu Investitions- und Betriebskosten der betrachteten, wissenschaftspolitisch zu bewertenden Großgeräte sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Die Angaben beruhen teilweise auf ersten Schätzungen. Den einzelnen Planungen liegen keine einheitlichen Finanzierungsmodelle zugrunde. Die von den federführenden Institutionen vorgeschlagenen nationalen, europäischen oder internationalen Finanzierungsanteile weisen eine breite Spannweite auf und sind teilweise nur erste und nicht abschließend abgestimmte Überlegungen. Aus den Angaben kann daher zum jetzigen Zeitpunkt keine Aussage über den deutschen Förderanteil nach Höhe und zeitlicher Staffelung abgeleitet werden.

	Investitions- kosten (ca.)	Betriebs- kosten pro Jahr	Bauzeiten (geplant)	Finanzie- rungs- modell
Labor für gepulste, sehr hohe Magnetfelder (HLD)	25 Mio. €	3,7 Mio. €	4 Jahre	national
Forschungsflugzeug für die Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung (HALO)	97 Mio. €	3,8 Mio. €	3 Jahre	national
Supraleitender Elektron-Positron Linearcollider (TESLA)	3.450 Mio €	135 Mio. €	8 Jahre	international
TESLA Freie Elektronen Röntgenlaser (TESLA X-FEL)	673 Mio. € <sup>35</sup>	36,1 Mio. €	8 Jahre <sup>36</sup>	europäisch
Beschleunigeranlage zur Erzeugung energetischer Ionenstrahlung hoher Intensität und Qualität	675 Mio. €	79 Mio. €	7 Jahre	europäisch
Freie Elektronen Laser für weiche Röntgenstrahlung (Soft X-ray FEL)	148 Mio. €	12, 4 Mio. €	4 Jahre	national
Europäische Spallations-Neutronenquelle (ESS)	1.390 Mio. €	144 Mio. €	7 Jahre	europäisch
Hochfeldmagnetanlage für Strukturuntersuchungen mit Neutronen	49 Mio. €	4,3 Mio. €	3 Jahre	national
Europäisches eisbrechendes Forschungsbohrschiff (Aurora Borealis)	250 Mio. €	10-15 Mio. €	4 Jahre	europäisch

Quelle: Angaben der Einrichtungen

<sup>35</sup> Kosten zusätzlich für Einbau der FEL-Anlage. Der XFEL soll nach jetziger Planung die ersten drei Kilometer des TESLA Linearbeschleunigers nutzen.

<sup>36</sup> In der mit TESLA gekoppelten Errichtung.

## **Stellungnahme zu strukturellen Aspekten**

Die Mehrzahl der Großgeräte der hier betrachteten Dimension (siehe ausführlich Kapitel A.III. bis A.V.) erfordert die Zusammenführung nationaler wie internationaler wissenschaftlicher Kompetenz. Sie können nicht mehr allein als nationale Einrichtung geplant und betrieben werden und sollten als Forschungseinrichtungen in multinationaler europäischer oder internationaler Trägerschaft angelegt sein, die neben einer deutschen auch einer breiten europäischen und internationalen Nutzerschaft offen stehen. Dies wird mittelfristig zu einer Weiterentwicklung der Arbeitsteilung der Wissenschaft sowohl in Europa als auch weltweit für Bau und Betrieb von Großgeräten führen. Ausländischer Partner müssen dabei zu einem möglichst frühen Zeitpunkt in die Projektvorbereitung einbezogen werden. Dies muss auch ihre Beteiligung an Entscheidungen und die Übertragung von Verantwortung für eigene wissenschaftliche oder technologische Beiträge umfassen.

Deutsche Wissenschaftler können bei Bau und Betrieb von Großgeräten in Deutschland auf eine lange und erfolgreiche Tradition verweisen. Dies umfasst sowohl überwiegend national finanzierte und genutzte Großgeräte als auch Großgeräte mit einem bedeutenden internationalen Finanzierungsanteil und einer sich auch international zusammensetzenden Nutzerschaft. Der Wissenschaftsrat ist der Auffassung, dass Deutschland angesichts seiner Bedeutung und Qualität als Wissenschaftsstandort - über die bisherigen Einzelfälle hinaus - Standort von mehreren europäischen oder internationalen Großgeräten unter Führung deutscher Wissenschaftler sein sollte. Bei Standorten dieser Großgeräte im Ausland sollte sich Deutschland auch weiterhin an deren Planung, Bau und Betrieb wesentlich beteiligen; zumindest bei einigen der multinational-europäischen oder internationalen Großgeräten sollte Deutschland die Federführung inne haben.

Großgeräte, die aufgrund ihrer Kosten nur zentral vorgehalten werden können und von Nutzern in Anspruch genommen werden, die zu einem wesentlichen Anteil nicht aus der betreibenden Einrichtung kommen, sollten von einer Einrichtung betrieben werden, die durch ihr Aufgabenverständnis stark serviceorientiert ist. Hierzu bieten sich Großforschungseinrichtungen oder wissenschaftliche Einrichtungen mit vergleichbaren Strukturen an, die naturwissenschaftlich-technische Forschung und Entwicklung betreiben, die einen konzentrierten Einsatz von erheblichen personellen,

finanziellen und apparativen Mitteln erfordern. Der Wissenschaftsrat hat sich in an anderer Stelle bereits dafür ausgesprochen, die Ansiedlung von Großgeräten in Deutschland vornehmlich an Großforschungseinrichtungen vorzunehmen, die auch deren Betrieb sicherstellen sollten.<sup>37</sup> Die Stellungnahmen des Wissenschaftsrates zum Forschungsflugzeug HALO und zum Labor für gepulste, sehr hohe Magnetfelder (HLD) zeigen allerdings auch, dass in Kooperation mit Universitäten und weiteren nationalen wie internationalen Forschungseinrichtungen auch größere Einrichtungen der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz (WGL) und der Max-Planck-Gesellschaft (MPG) geeignete Orte zur Ansiedlung von Großgeräten sein können.

Universitäten sind die Träger der Grundlagenforschung in der ganzen Breite der Disziplinen. Intensiver und oft langfristiger Personal- und Mitteleinsatz in einem speziellen Fachgebiet oder besondere Organisationserfordernisse, die mit Bau und Betrieb von Großgeräten verbunden sind, entsprechen in der Regel nicht der Struktur oder den Proportionen einer Universität und können das von dieser sinnvoll zu bewältigende organisatorische Maß überschreiten. Der Wissenschaftsrat sieht die Ansiedlung von Großgeräten der hier betrachteten Dimension an Universitäten als Ausnahme an.

Der Wissenschaftsrat hat bereits in der Vergangenheit in verschiedenen Stellungnahmen die hohe Bedeutung der Zusammenarbeit von Hochschulen und Großforschungseinrichtungen hervorgehoben.<sup>38</sup> Sie sollte auf dem Gebiet der apparativen Ausstattung, wozu auch Großgeräte zählen, eine Selbstverständlichkeit darstellen. Den Großforschungseinrichtungen eröffnet sich durch dieses Zusammenwirken der Zugang zum wissenschaftlichen Nachwuchs und damit neuem Kreativitätspotenzial, zugleich wird den Studierenden und Wissenschaftlern der Hochschulen der Zugang zu wissenschaftlich-technischer und komplexer logistischer Infrastruktur ermöglicht.

---

<sup>37</sup> Wissenschaftsrat: Systemevaluation der HGF – Stellungnahme des Wissenschaftsrates zur Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren, Köln 2001, S. 19.

<sup>38</sup> Wissenschaftsrat: Empfehlungen zur Zusammenarbeit von Großforschungseinrichtungen und Hochschulen, Köln 1991, S. 40 ff., Wissenschaftsrat: Systemevaluation der HGF..., Köln 2001, S. 52 ff.



## **Stellungnahme zur Finanzierung**

Naturwissenschaftliche Grundlagenforschung nimmt weltweit für die Zukunftsgestaltung eine Schlüsselstellung ein. Die Erfolge der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung gehen - neben Arbeiten ohne oder mit vergleichbar geringem apparativen Aufwand sowie spontanen Durchbrüchen oder zufälligen Erkenntnissen - auch auf den Einsatz aufwendiger Großgeräte an nationalen und internationalen Forschungszentren zurück. Der Wissenschaftsrat unterstreicht die herausgehobene Bedeutung für die Weiterentwicklung und den Attraktivitätsgewinn des Wissenschaftsstandortes Deutschland, die mit der Ansiedlung von Großgeräten der hier betrachteten Dimension verbunden sein wird. Er weist zugleich darauf hin, dass es gut ausgebildeter kreativer Köpfe bedarf, um das wissenschaftliche und technische Potenzial eines Großgerätes auch ausschöpfen zu können. Neben Fragen der Finanzierung von Großgeräten stellt die Gewinnung und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses die zentrale Voraussetzung für eine erfolgreiche Nutzung von Großgeräten dar. Um das bereits heute vorhandene Potenzial des deutschen Wissenschaftssystems voll auszuschöpfen und damit zugleich die Grundlage für die weitere internationale Einbindung des Wissenschaftsstandortes Deutschland zu legen, bedarf es konzentrierter Anstrengungen aller Beteiligten aus allen Bereichen des Wissenschaftssystems. Großgeräte mit hoher Attraktivität für nationale wie internationale Wissenschaftler können für diese Ziele wichtige Beiträge leisten.

\*\*\*

Bund und Länder haben in den letzten Jahrzehnten bedeutende finanzielle Anstrengungen zum Ausbau des deutschen Wissenschaftssystems unternommen. Hierdurch ist eine leistungsfähige und international konkurrenzfähige Infrastruktur geschaffen worden.

Der Wissenschaftsrat hat sich in den vergangenen Jahren immer wieder und zuletzt in seinen Thesen zur künftigen Entwicklung des Wissenschaftssystems in Deutschland für eine deutliche Erhöhung der Investitionen in Wissenschaft und Forschung ausgesprochen. Er begrüßt die aktuelle Initiative des Bundes und einiger Länder, zur Förderung der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung Investitionsmittel für den Bau weiterer Großgeräte bereit zu stellen. Es zeichnet sich jedoch ab, dass die

notwendigen Investitionen zum Bau der in dieser Stellungnahme - teilweise mit Auflagen – als förderwürdig angesehenen Großgeräte (siehe Kapitel A.III. und A.IV.) alle bisherigen Einzelinvestitionen in Großgeräte in Deutschland deutlich übersteigen werden.

Die Planung eines Großgerätes setzt zuallererst eine Feststellung seiner wissenschaftlichen Notwendigkeit und technischen Realisierbarkeit voraus. Fällt diese Beurteilung als Ausgangspunkt einer systematischen Investitionsplanung positiv aus, ist zu prüfen, ob und wie sich das Großgerät institutionell in die Förderstrukturen des bestehenden Wissenschaftssystems einbetten lässt und welche Finanzierungsmodalitäten sich eröffnen.<sup>39</sup>

Zur Finanzierung von förderungswürdigen Großgeräten bietet sich eine Kombination verschiedener Möglichkeiten an:

- Nach Auffassung des Wissenschaftsrates sollten Bund und Länder auch weiterhin erhebliche Mittel für Bau und Betrieb von Großgeräten in Deutschland und für eine deutsche Beteiligung an Großgeräten im Ausland bereitstellen. Gleichwohl ist es erforderlich, dass sowohl Bund und Länder als auch die beteiligten Forschungs-(träger)organisationen und ihre betroffenen Einrichtungen bereit sind, innerhalb ihrer Förderprogramme und -strukturen Umschichtungen zugunsten neuer Großgeräte vorzunehmen.
- Über die vorgenannten Möglichkeiten der Umschichtung hinaus sollte - insbesondere bei Großgeräten mit sehr hohen Investitionskosten - geprüft werden, zusätzliche Mittel seitens der staatlichen Forschungsförderer bereitzustellen, damit das Großgerät überhaupt realisiert werden kann. (Investitions-)Mittel der Europäischen Union bzw. von europäischen und internationalen Partnern sind hierbei ausdrücklich einzubeziehen.

Der Wissenschaftsrat nimmt diese Situation zum Anlass, an Bund, Länder und Förderorganisationen die Bitte um eingehende Prüfung zu richten, welche Auswirkungen mit der Finanzierung von Großgeräten der hier betrachteten Dimension auf die Finanzierung des gesamten Wissenschaftssystems verbunden sind. Dies gilt insbe

sondere mit Blick auf die Finanzierung der Hochschulen einschließlich der Hochschulbauförderung, für die seit langem eine vom Wissenschaftsrat immer wieder kritisierte Unterfinanzierung besteht, sowie der außeruniversitären Forschungseinrichtungen.

Die Initiativen zum Bau weiterer Großgeräte werden sowohl von Wissenschaftlern aus Universitäten als auch aus außeruniversitären Forschungseinrichtungen getragen. Die Notwendigkeit der Zusammenarbeit von Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen zum gegenseitigen Nutzen wird auf dem Gebiet der apparativen Ausstattung, wozu auch Großgeräte zählen, besonders deutlich. Dies sollte auch in einem angemessenen finanziellen Eigenbeitrag aller beteiligten Institutionen<sup>40</sup> an Bau und Betrieb von Großgeräten seinen Niederschlag finden.<sup>41</sup>

Ein Großgerät muss zentral in die strategische Planung und das Forschungsprogramm der federführenden Einrichtung(en) eingebunden sein und einen Kern des Aufgabenspektrums bilden. Profilbildung und Konzentration sind zum Zwecke der optimalen Ressourcenallokation unerlässlich. Dies kann und muss in bestimmten Fällen bedeuten, dass im Falle einer Ansiedlung eines Großgerätes an einer Institution diese sich aus Gründen der begrenzten finanziellen und personellen Kapazitäten gegen die Weiterführung bestehender Forschungsrichtungen entscheiden muss. Damit sind in der Regel auch personelle Umschichtungen und Ressourcenverlagerungen verbunden.

Der Wissenschaftsrat bittet die Sitzländer von Großgeräten, die Möglichkeit zu prüfen, entsprechend den wissenschaftlichen, aber auch wirtschaftlichen Effekten, die mit der Ansiedlung eines Großgerätes verbunden sind, einen zusätzlichen Beitrag zur Finanzierung zu leisten.

---

<sup>39</sup> Zu Anforderungen an eine künftige Bewertung von Großgeräten siehe Abschnitt C.

<sup>40</sup> Dies kann bei der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) zu einer neuen finanziellen Gewichtung der Programmbereiche im Rahmen der programmorientierten Förderung führen.

<sup>41</sup> Der Wissenschaftsrat verkennt nicht, dass die unterschiedlichen Finanzierungsmodalitäten der Gemeinschaftsaufgaben in Deutschland gegenwärtig noch keine gemeinsame Finanzierung von Großgeräten durch Universitäten und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen ermöglicht.

Die Mehrzahl der Großgeräte der hier betrachteten Dimension kann aufgrund ihrer Kosten für Errichtung, Erhaltung und Betrieb nicht mehr allein national geplant und finanziert werden. Sie sollten als europäische oder internationale Einrichtungen angelegt sein. Dementsprechend sollte der Bau dieser Großgeräte zu einem hohen Anteil europäisch bzw. international finanziert werden. Dies könnte organisatorisch zur Bildung von Europäischen oder Internationalen Konsortien führen. Investitionen könnten auch über europäische oder internationale Programme finanziert werden, wie das Beispiel des „Ocean Drilling Programs“ zeigt.

Großgeräte, die als nationales Nutzerlabor betrieben, aber auch der internationalen Forschergemeinde offen stehen sollen, sollten bei der EU die Anerkennung als „Large Scale Facility“ beantragen. Damit ist die finanzielle Förderung der Nutzung des Großgerätes durch Interessenten aus der EU (und anderen Ländern) sowie ein weiterer Ausbau zu einer internationalen Einrichtung möglich.

### **C. Zur künftigen Bewertung von Großgeräten**

Mit der Initiative des BMBF ist es gelungen, zu einem bestimmten Zeitpunkt zahlreiche geplante Beschaffungen von Großgeräten unterschiedlicher wissenschaftlicher Institutionen gemeinsam zu erfassen. Der Wissenschaftsrat bewertete erstmals eine Vielzahl solcher Vorhaben unter wissenschaftlichen und forschungspolitischen Gesichtspunkten.<sup>42</sup>

Nach Auffassung des Wissenschaftsrates kommt es darauf an, - analog zu bereits etablierten und bewährten Verfahren - die Beschaffung von Großgeräten auch künftig stärker zu koordinieren und geeignete Initiativen unter einheitlichen wissenschaftlichen und forschungspolitischen Kriterien zu bewerten. Gegenwärtig zeichnet sich bereits ab, dass auch nach der abgeschlossenen Begutachtung der vorliegenden Vorhaben weitere Initiativen - nicht nur in Großforschungseinrichtungen - vorbereitet werden.

Bei einer solchen national koordinierten Betrachtung von Vorhaben mit einem erheblichen Finanzierungsanteil des Bundes sollten folgende allgemeine Ziele verfolgt werden:

- Die Vorhaben sollten unter der Voraussetzung eines in der Forschung zunehmend vernetzten Hochschul- und Wissenschaftssystems, also unter einer institutionenübergreifenden Perspektive betrachtet werden.
- Die Transparenz der Entscheidungen über hohe und längerfristig bindende Investitionsentscheidungen sollte erhöht werden.
- Es sollten auch solche internationale Beteiligungen an Großgeräten beraten werden können, für die kein Standort in Deutschland vorgesehen ist; Ziel sollte es sein, eine Versorgung der Wissenschaft in Deutschland mit Forschungsinfrastruktur einer bestimmten Größenordnung auch an auswärtigen Standorten unter dem Gesichtspunkt des Bedarfs zu ermöglichen.

---

<sup>42</sup> Vor einigen Jahren hatte der Wissenschaftsrat bereits eine Stellungnahme zur Beschaffung des Forschungsreaktors München abgegeben. Für die Begutachtung und eine darauf fußende Beschaffung von Großgeräten primär für Großforschungseinrichtungen hatte der BMBF in der Vergangenheit mehrfach spezielle Kommissionen eingesetzt.

Hierzu ist ein kontinuierliches und geregeltes Verfahren erforderlich. Dabei sollten vorhandene Möglichkeiten zur Begutachtung genutzt und neue Institutionalisierungen vermieden werden. Beschaffungen oberhalb einer Kostengrenze von 50 - 100 Mio. Euro, die institutionenübergreifend genutzt werden und Bedeutung für weite Teile des Wissenschaftssystems haben, müssen auf Förderempfehlungen aus einer entsprechenden übergreifenden Perspektive beruhen. Daher sollten Institutionen oder Forschungsorganisationen nicht ausschließlich durch interne Entscheidungsprozesse über die Beschaffung überregional bedeutsamer Großgeräte befinden können. Es bietet sich an, den Wissenschaftsrat weiterhin mit dieser Aufgabe zu betrauen. Er verfügt über einschlägige Erfahrung in der Begutachtung von Großgeräten bzw. umfangreichen Investitionsvorhaben (auch im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe Hochschulbau sowie bei Höchstleistungsrechnern). Ihm sollten sämtliche geplante Beschaffungen dieser Größenordnung bzw. Struktur zur wissenschaftspolitischen Bewertung vorgelegt werden.

Bei der Bewertung sollten folgende Aufgaben wahrgenommen werden:

- Es sollten nicht nur spezifische Großgerätebeschaffungen betrachtet, sondern auch die Bedeutung und Perspektive der betroffenen Forschungsgebiete erörtert werden.
- Es sind Beschaffungen unter Federführung von sowohl Universitäten als auch außeruniversitären Forschungseinrichtungen einzubeziehen.
- Die Begutachtung sollte möglichst vergleichend in einem strukturierten Rahmen erfolgen.
- Eine Beschaffung kann auch - falls notwendig - über die erste Begutachtung hinaus begleitet werden.

Über die organisatorische und verfahrensbezogene Ausgestaltung, insbesondere die Durchführung der fachlichen Begutachtung, wird im Wissenschaftsrat zu gegebener Zeit zu beraten sein.

Bewährt hat sich beim Verfahren der Betrachtung der vorliegenden Großgeräte der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung die Zweistufigkeit des Verfahrens, nämlich die Bewertung der einzelnen Projekte durch Unterarbeitsgruppen unter (fach)wissenschaftlichem Vorzeichen und die Stellungnahme der Arbeitsgruppe aus

übergeordneter wissenschaftspolitischer Perspektive. Dabei fand eine personelle Verknüpfung der beiden Ebenen statt. Ebenfalls bewährt hat sich die internationale Zusammensetzung der Gutachter sowohl der Unterarbeitsgruppen als auch der Arbeitsgruppe, da sie eine „Außenschau“ im Sinne einer Einordnung und eines Leistungsvergleichs aus internationaler Perspektive ermöglicht. Beide Aspekte sollten aus Sicht des Wissenschaftsrates bei künftigen Begutachtungen von Großgeräten als unverzichtbarer Bestandteil beibehalten werden.

Dieses Verfahren hat allerdings gezeigt, dass als formale Mindestvoraussetzung an die eingereichten Anträge deren Entscheidungsreife gestellt werden sollte. Dies setzt voraus, dass für das Großgerät

- ein Forschungsprogramm ("scientific program") und
- eine technischer Projektvorschlag ("technical design report")

vorliegen müssen, hat sich in der Praxis doch gezeigt, dass diejenigen Anträge, die diese Minimalforderungen nicht oder nur unzureichend erfüllen, nicht konkurrenzfähig sind. Um zu gewährleisten, dass ausschließlich entscheidungsreife Anträge begutachtet werden, sollte eine Vorprüfung der eingereichten Unterlagen dem eigentlichen Begutachtungsverfahren vorausgehen. Hierbei sind vor allem die Gesichtspunkte zu prüfen, die einleitend in den „Thesen zur Bedeutung von Großgeräten für die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung“ formuliert wurden.

## **D. Zusammenfassung der Ergebnisse der wissenschaftspolitischen Bewertung**

Auf Bitten des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) hat der Wissenschaftsrat zu den Großgeräten

- Supraleitender Elektron-Positron Linearcollider (TESLA)
- TESLA Freie Elektronen Röntgenlaser (TESLA X-FEL)
- Freie Elektronen Laser für weiche Röntgenstrahlung (Soft X-ray FEL)
- Labor für gepulste, sehr hohe Magnetfelder (HLD)
- Hochfeldmagnetanlage für Strukturuntersuchungen mit Neutronen
- Europäische Spallations-Neutronenquelle (ESS)
- Beschleunigeranlage zur Erzeugung energetischer Ionenstrahlung hoher Intensität und Qualität
- Europäisches eisbrechendes Forschungsbohrschiff (Aurora Borealis)
- Forschungsflugzeug für die Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung (HALO)

eine fachliche Begutachtung und wissenschaftspolitische Bewertung erarbeitet sowie Empfehlungen zu Struktur und Finanzierung von Großgeräten und zur künftigen Begutachtung von Großgeräten abgegeben.

Der Wissenschaftsrat hat hierzu die Arbeitsgruppe „Großgeräte der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung“ eingesetzt. Eine fachliche Begutachtung der einzelnen Großgeräte wurde durch verschiedene Unterarbeitsgruppen vorgenommen. Die wissenschaftspolitische Bewertung aller neun Großgeräte erfolgte durch den Wissenschaftsrat auf Grundlage der Begutachtungsergebnisse der jeweiligen Unterarbeitsgruppe.

Der Wissenschaftsrat hat die betrachteten Großgeräte mit ihren konzeptionellen Stärken und Schwächen in den Kontext der weiteren nationalen und internationalen wissenschaftlichen Entwicklung der Forschungsgebiete, in denen sie angesiedelt sind, gestellt und in ihren Wechselwirkungen zu anderen Disziplinen bewertet. Im Ergebnis führt dies zu einer Einteilung der Großgeräte in drei Gruppen:



- In eine erste Gruppe von Großgeräten, mit deren Realisierung Forschungsinfrastrukturen einer neuen Qualität verfügbar werden, die in ganz entscheidendem Maße zur Weiterentwicklung des jeweiligen Forschungsgebietes beitragen werden und neue wissenschaftliche Erkenntnisse erwarten lassen. Der Wissenschaftsrat hält die Großgeräte dieser Gruppe ohne Vorbehalt für förderungswürdig. Forschungsprogramm und technischer Projektvorschlag liegen in überzeugender Weise vor. Sie sollten rasch in Angriff genommen und finanziert werden. Zu dieser Gruppe zählen das Labor für gepulste, sehr hohe Magnetfelder (HLD) und das Forschungsflugzeug für die Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung (HALO).
  
- In eine zweite Gruppe von Großgeräten, mit deren Realisierung ebenfalls Forschungsinfrastrukturen einer neuen Qualität verfügbar werden, die in ganz entscheidendem Maße zur Weiterentwicklung des jeweiligen Forschungsgebietes beitragen werden und neue wissenschaftliche Erkenntnisse erwarten lassen. Es besteht jedoch noch Klärungsbedarf in Einzelfragen, der einer vorbehaltlosen Förderung bislang noch entgegen steht. Der Wissenschaftsrat hält die Großgeräte dieser Gruppe mit Auflagen für förderungswürdig. Er bittet den Bund, ihn über den Fortgang der Klärung der Einzelfragen kontinuierlich zu informieren und ihm die überarbeiteten Projektvorschläge rechtzeitig vor Abschluss von Verhandlungen nochmals vorzulegen, ehe auch in diesen Fällen gegebenenfalls eine vorbehaltlose Förderungswürdigkeit bestätigt werden kann. Zu dieser Gruppe zählen der Supraleitende Elektron-Positron Linearcollider (TESLA), der TESLA Freie Elektronen Röntgenlaser (TESLA X-FEL) und die Beschleunigeranlage zur Erzeugung energetischer Ionenstrahlung hoher Intensität und Qualität.
  
- Zu einer dritten Gruppe von Großgeräten gibt der Wissenschaftsrat aus unterschiedlichen wissenschaftlichen, technischen oder verfahrensbezogenen Gründen spezifische Stellungnahmen ab. Sollte eine Fortführung der Arbeiten am Forschungsprogramm („scientific program“) und an dem technischen Projektvorschlag („technical design report“) dieser Großgeräte zu erweiterten Erkenntnissen und zu einem neuen Projektvorschlag führen, hält der Wissenschaftsrat eine erneute Begutachtung, die auch in Konkurrenz zu weiteren Großgeräteinitiativen stehen kann, für erforderlich. Zu dieser Gruppe zählen der Freie Elektronen Laser für weiche Röntgenstrahlung (Soft X-ray FEL), die Europäische Spallations-

Neutronenquelle (ESS), die Hochfeldmagnetanlage für Strukturuntersuchungen mit Neutronen und das Europäische eisbrechende Forschungsbohrschiff (Aurora Borealis).

Nach Auffassung des Wissenschaftsrates kommt es künftig darauf an, analog zu bereits etablierten und bewährten Verfahren die Beschaffung von Großgeräten stärker zu koordinieren und geeignete Initiativen unter einheitlichen wissenschaftlichen und forschungspolitischen Kriterien zu bewerten.

\*\*\*

Mit seiner Stellungnahme zu neun Großgeräten der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung und zur Weiterentwicklung der Investitionsplanung von Großgeräten schließt der Wissenschaftsrat die fachliche Begutachtung und wissenschaftspolitische Bewertung der ihm vorgelegten Großgeräteplanungen zunächst ab. Die Bewertung erfolgte zu einem Zeitpunkt, an dem sich die wissenschaftliche Qualität und technische Reife einzelner Projekte noch unterschiedlich darstellte. Die mittel- und langfristigen finanzpolitischen Bedingungen sind in wesentlichen Punkten noch klärungsbedürftig. Der Wissenschaftsrat sieht die Förderung von Großgeräten der hier betrachteten Dimension als einen kontinuierlich fortzusetzenden Prozess an. Entsprechend betrachtet er die verabschiedete Stellungnahme als Grundlage weiterer notwendiger Förderentscheidungen. Der Wissenschaftsrat wird auf Grundlage der Stellungnahme und unter Berücksichtigung der sich anschließenden wissenschaftspolitischen Debatte zu den Zielen und zur Finanzierung der Großgeräte konkrete Empfehlungen zu den Prioritäten der Realisierung der einzelnen Großgeräte vorlegen. Er bietet an, künftig sowohl die Förderung der positiv bewerteten Großgeräte zu begleiten als auch neue bzw. erneut vorgelegte Großgeräteplanungen zu begutachten.

## **Anlagen**

- Fragenkatalog der Arbeitsgruppe „Großgeräte der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung“ des Wissenschaftsrates (deutsche Fassung)
- Questionnaire of the Science Council's Working Group on Large-Scale Facilities for Fundamental Scientific Research (English version)

## **Fragenkatalog der Arbeitsgruppe „Großgeräte der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung“ des Wissenschaftsrates**

### Vorbemerkung

Die folgenden Bitten und Fragen zielen darauf ab, den Unterarbeitsgruppen der Arbeitsgruppe „Großgeräte der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung“ des Wissenschaftsrates die wichtigsten Informationen über das geplante Großgerät zur Verfügung zu stellen. Die Antworten können durch Anhänge ergänzt werden, darüber hinaus steht es den Einrichtungen frei, weitere Ausführungen zu Sachverhalten mitzuteilen, die weder in dem Fragebogen noch in den erbetenen Unterlagen enthalten sind. Der Umfang der Antworten ist der Sache nach nicht limitiert, im Sinne der weiteren Bearbeitung wird aber um eine überschaubar gehaltene, prägnante Beantwortung gebeten.

Der Berichtszeitraum umfasst die letzten fünf Jahre (1996 bis 2000 einschließlich), aktuelle Angaben sollten sich auf den Stichtag 1. Januar 2001 beziehen. Bitte geben Sie alle Finanzdaten in EURO an.

Weitere Fragen insbesondere zu den Bereichen Physikalische Grundlagen sowie Technologie und Betrieb des Großgerätes sind einer detaillierteren Befassung anlässlich des Ortsbesuchs der Unterarbeitsgruppe vorbehalten.

### Hinweis

Der Begriff „Forschungsgebiet“ steht stets für das Forschungsgebiet bzw. die Forschungsgebiete, in dem/denen das Großgerät angesiedelt ist.

## A Executive summary

Bitte geben Sie eine kurze Zusammenfassung des Großgeräte-Projekts (wissenschaftliche Vision, strategische Bedeutung, wissenschaftliche Zielstellung und Veranlassung) (max. 2 Textseiten).

## B Fragen zum Forschungsgebiet

- B.1 Wie hat sich das Forschungsgebiet in den letzten zehn Jahren entwickelt, und wie wird es sich Ihrer Auffassung nach in den kommenden Jahren national und international entwickeln? (ca. 3-4 Seiten)
- B.2 Wie ist der Stand der deutschen Beteiligung in dem Forschungsgebiet zu beurteilen? Gibt es aus der Sicht Ihrer Einrichtung grundsätzliche qualitative oder strukturelle Defizite in dem Forschungsgebiet in Deutschland?
- B.3 Welche alternativen Techniken gibt es, um verwandte bzw. ergänzende Informationen zu erhalten? Wie haben sich diese in den letzten Jahren national und international entwickelt? Wie schätzen Sie deren Entwicklung in den kommenden Jahren ein (bitte die Teilfragen ggf. für verschiedene Forschungsgebiete getrennt beantworten)?

## C Fragen zum Großgerät

- C.1 Wissenschaftliche Ziele und Perspektiven der Forschung im unmittelbaren Zusammenhang mit dem Großgerät
  - C.1.1 Welches Forschungsprogramm ist vorgesehen?
  - C.1.2 Welche Dienstleistungsangebote des Großgerätes für Wissenschaftler sind vorgesehen? Wie unterscheiden sich diese von denen der Vorgängergeräte?
  - C.1.3 Wo sehen Sie die wesentlichen Stärken, wo die wesentlichen Schwächen des Großgerätes? Bleiben aus wissenschaftlicher oder aus technologischer Sicht wichtige Wünsche offen und warum?
  - C.1.4 Begründen Sie die Machbarkeit und den Grad der Entscheidungsreife des Großgeräts.
  - C.1.5 Welche Einflüsse der angestrebten Forschungsergebnisse auf wissenschaftliche, technische und gesellschaftliche Entwicklungen erwarten Sie?

- C.1.6 Welche Vorteile sehen Sie im Falle der Realisierung des Großgerätes für den Wissenschaftsstandort Deutschland bzw. die EU? Bitte skizzieren Sie alternative Infrastrukturen (Neuplanungen oder Erweiterungsplanungen bestehender Einrichtungen) im Falle der Nichtrealisierung des geplanten Großgerätes.
- C.1.7 Bitte geben Sie nationale und internationale Netzwerke und Programme an, in die das Großgerät eingebracht werden soll.
- C.1.8 Bestehen wesentliche Überschneidungen zwischen Ihren Investitionsplanungen mit denen anderer Einrichtungen? Falls ja: Wie beurteilen Sie mögliche Überschneidungen (national, europaweit, außereuropäisches Ausland)? Wie sind diese zu begründen und wie können mögliche negative Auswirkungen verhindert werden?
- C.1.9 Welche Evaluationen des Großgerätes (Konzeptbegutachtungen, Begutachtungen von Vorleistungen, etc.) durch externe Gutachter sind in den letzten fünf Jahren erfolgt? Mit welchen Ergebnissen und Auswirkungen? Wie und durch wen erfolgte die Benennung der Evaluationsgruppen?
- C.1.10 Welche Anforderungen wären bereits aus heutiger Sicht an die Erweiterungsmöglichkeiten des Großgerätes zu stellen?
- C.2 Transfer der Forschungsergebnisse, Bedeutung des Großgerätes für die Wirtschaft
- C.2.1 Welche Bedeutung messen Sie der Verwertung von Erkenntnissen bei, die durch die Forschung mit und an dem Großgerät erzielt werden sollen? Welche Wirtschaftszweige bzw. welche Schlüsseltechnologien könnten besonders von den Ergebnissen und der Entwicklung des Großgerätes profitieren? Sind hierzu entsprechende Transfermechanismen vorgesehen?
- C.2.2 Werden Ausgründungen erwartet und wie werden diese ggf. gezielt gefördert?
- C.2.3 In welchem Umfang schätzen Sie die Beteiligung der regionalen, nationalen und internationalen Industrie durch Auftragsvergabe für Planungs- und Bauleistungen sowie (Dienst-) Leistungen für den weiteren Betrieb des Großgerätes ab?
- C.2.4 Welche Konsequenzen ergeben sich bei Realisierung des Projekts für Struktur und Schwerpunkte der außeruniversitären Forschung?

D Fragen zu den am Projekt beteiligten Institutionen

- D.1 Bitte nennen Sie die am Projekt beteiligte Einrichtungen und skizzieren Sie deren Beitrag und spezifische Kompetenz. Inwieweit waren oder sind Wissenschaftler aus Universitäten an der Planung beteiligt (gewesen)?
- D.2 Bitte beschreiben Sie die wichtigsten Arbeitsschwerpunkte Ihrer und der am Projekt beteiligten Einrichtungen in dem Forschungsgebiet. Worin sehen die beteiligten Einrichtungen wesentliche Perspektiven ihrer künftigen Tätigkeit? Welche davon sind direkt mit dem Großgerät gekoppelt? Welche derzeitigen oder geplanten Arbeitsschwerpunkte werden im Falle einer Realisierung des Großgerätes aufgegeben oder umorientiert?
- D.3 Welche Erfahrungen in Planung und Betrieb von Großgeräten liegen bei den federführend beteiligten Institutionen vor?
- D.4 Skizzieren Sie die für die Realisierung des Großgerätes wichtigsten Forschungsergebnisse der vergangenen Jahre, die a) an ihrer Einrichtung, b) an einer der kooperierenden Einrichtungen und c) weltweit erzielt worden sind.
- D.5 Wie viel Personal mit welchen Qualifikationen ist für die angemessene Nutzung und den Betrieb des Großgerätes erforderlich? Welche personellen Voraussetzungen sind bei den beteiligten Einrichtungen gegeben? Wie soll das fehlende Personal bereitgestellt werden? Sind Umwidmungen bei dem bestehenden Personal notwendig?
- D.6 Welche Kosten sind bislang für Vorentwicklungen etc. für das Großgerät angefallen und wie wurden diese finanziert? Wie viel externe Finanzmittel (keine Haushaltsmittel) wurden hierzu von Ihrer Einrichtung (bzw. den Kooperationspartnern) in den letzten fünf Jahren eingeworben (aufgeteilt nach Bund, Land, DFG, EU, Industrie, Andere)? Spezifizieren Sie bitte, in welchen Bereichen diese Mittel eingesetzt worden sind.

E Nutzer

- E.1 Welche Disziplinen sind in welchem Umfang in der Forschung auf die Nutzung des Großgerätes angewiesen und können von diesem profitieren (Hauptinteressenten)? In welcher Weise lassen sich an dem Großgerät Bedürfnisse der verschiedensten Wissenschaftlergruppen miteinander vereinbaren?

- E.2 Welche Inanspruchnahme durch externe Nutzer erwarten Sie (Umfang, Herkunft, Verweildauer)? In welcher Form waren (und sind) die potentiellen Nutzer in die Planungen des Großgerätes eingebunden? (Bitte legen Sie – falls vorhanden – entsprechende Dokumentationen von Nutzertagungen Ihren Antworten bei.)
- E.3 Wie ist der Zugang zu dem Großgerät für Wissenschaftler aus Universitäten und für weitere externe Wissenschaftlern geregelt?
- E.4 Welche Rolle spielt das Großgerät für die Ausbildung und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses (angeleitete und selbständige wissenschaftliche Arbeit, Lehrveranstaltungen, Graduiertenkollegs etc.)?
- E.5 In welchen Arbeits- und Forschungsgebieten kann der wissenschaftliche Nachwuchs nach erfolgreicher Qualifizierung eingesetzt werden?
- E.6 Wie werden die Planungen des Großgerätes und die künftigen Forschungsergebnisse der breiteren (nicht nur wissenschaftlichen) Öffentlichkeit vorgestellt?
- E.7 In welchem Umfang erwarten Sie eine Nutzung des Großgerätes durch Wirtschaftsunternehmen?
- F Projektmanagement, Standort, Kosten und Zeitplanung
- F.1 Projektmanagement
- F.1.1 Bitte stellen Sie Ihr Vorgehen in der Projektplanung und Organisation dar und benennen Sie Mechanismen der Qualitätssicherung.
- F.1.2 Wie ist die Budgetverantwortung personell und strukturell geregelt?
- F.1.3 Ist ein Fachbeirat („Advisory board“) eingerichtet bzw. dessen Einrichtung geplant? Bitte benennen Sie ggf. dessen Aufgaben und Mitglieder.
- F.1.4 Wo liegt die organisatorische Verantwortung für die Aufrechterhaltung des permanenten Betriebes des Großgerätes?
- F.2 Standort
- F.2.1 Bitte legen Sie Ihre Standortplanungen dar.
- F.2.2 Welche allgemeinen Standortfaktoren existieren, die als förderlich bzw. hinderlich für die Realisierung des Großgerätes eingeschätzt werden? Welche Überlegungen für einen a) nationalen Standort, für einen Standort im b) europäischen und c) außereuropäischen Ausland gibt es?



F.2.3 Welche Folgen hätte die Realisierung des Großgerätes (oder eines vergleichbaren Großgerätes) an einem anderen Standort und möglicherweise durch andere (in- oder ausländische) Antragsteller für a) die derzeit beteiligten Forschungseinrichtungen und b) für die nationalen Forschungseinrichtungen in dem Forschungsgebiet?

### F.3 Kosten

F.3.1 Bitte stellen Sie die zu erwartenden Gesamtkosten getrennt nach Investitions-, Personal- und Betriebskosten ausführlich dar. Wie schätzen Sie die langfristigen Folgekosten ab und welche Kriterien legen Sie Ihrer Einschätzung zugrunde?

F.3.2 Wie beurteilen Sie Aktualität und Status der Kostenübersicht?

F.3.3 Wie werden die Gesamtkosten für das Großgerät finanziert? Inwieweit ist die Beteiligung ausländischer Partner an der Finanzierung vorgesehen und realisierbar? Nach welchem Schlüssel werden die Gesamtkosten (oder Teile davon) auf die ggf. mitbeteiligten ausländischen Partner aufgeteilt? Ist eine Beteiligung der Industrie vorgesehen? Wenn ja, in welchem Rahmen bzw. mit welchen Leistungen?

F.3.4 Welche finanziellen Konsequenzen wären bei Verzögerungen in der Zeitplanung zu erwarten?

### F.4 Zeitplanung

F.4.1 Welche Zeitplanung liegt dem Großgerät zugrunde? Wie gestalten sich Planungs-/Bau-, Inbetriebnahme- und Nutzungszeiten?

F.4.2 Geben Sie die jährliche Nutzungsdauer des Großgerätes an und machen Sie Angaben zur Gesamtlaufzeit mit/ohne Erweiterungsmöglichkeiten des Großgeräts.

### G Ergänzende Anlagen

Die beteiligten Institutionen werden unter Koordination der federführenden Institution gebeten, zusätzlich folgende Unterlagen - soweit zutreffend - in 3facher Ausführung zur Verfügung zu stellen:

G.1 Projektvorschlag („proposal“) für das Großgerät (sofern vorhanden);

- G.2 Liste der Publikationen (Veröffentlichungen in begutachteten Zeitschriften, Sammelwerke, Monographien, Lehrbücher) der führend an der Entwicklung des Großgerätes beteiligten Wissenschaftler;
- G.3 Dokumentationen der Evaluationen des Großgerätes (Konzeptbegutachtungen, Begutachtungen von Vorleistungen, etc.) durch externe Gutachter der letzten fünf Jahre;
- G.4 Organigramme der beteiligten wissenschaftlichen Einrichtungen.

## **Questionnaire of the Science Council's Working Group on Large-Scale Facilities for Fundamental Scientific Research (English version)**

### Foreword

The purpose of the following requests and questions is to provide the sub-working groups of the Science Council Working Group on Large-Scale Facilities for Fundamental Scientific Research with key information on the planned large-scale facility for which they are responsible. The responses can be supplemented by additional documents and each institution may, if it so wishes, provide further details in addition to the information in the questionnaire or in the requested documents. As such, there is no restriction on the length of the responses; however, to facilitate further processing of the information, it would be preferable if the responses were kept brief and concise.

The reporting period covers the last five years (1996 up to and including 2000); all facts and figures provided should be those that were current on 1 January 2001. All financial data should be given in euros.

Any further questions, particularly those concerning fundamental physical principles or the technology and operation of the large-scale facilities, will be dealt with in more detail during a visit by the sub-working group to the premises.

### NB

Throughout this questionnaire, the term "field of research" refers to the field of research or fields of research in which the large-scale facility is or will be used.

A Executive summary

Please provide a brief summary of the facility project (scientific vision, strategic importance, scientific objectives and purpose, max. two pages).

B Questions regarding the field of research

B.1 How has your field of research developed over the last ten years and, in your opinion, how will it develop nationally and internationally in the coming years? (approx. 3-4 pages)

B.2 How do you assess the present situation with regard to Germany's participation in this field of research? From your institution's point of view, are there any fundamental qualitative or structural deficits in this field of research in Germany?

B.3 What alternative technologies exist for obtaining related or supplementary information? How have these developed at national and international level over the past few years? How do you think they will develop in the next few years? (Should there be more than one field of research involved, please answer these individual sub-questions separately for each field.)

C Questions regarding the facility itself

C.1 Scientific objectives and research prospects directly linked to the facility

C.1.1 Outline the planned research programme.

C.1.2 What range of services is the facility meant to offer scientists? How do these services differ from those of previous facilities?

C.1.3 In your view, what are the facility's main strengths and weaknesses? From a scientific or technological point of view, are there any serious shortcomings, and if so, please explain them.

C.1.4 Justify the feasibility of the facility and the state of affairs with regard to planning.

C.1.5 What impact do you expect the targeted research results to have on scientific, technological and social developments?

C.1.6 In what way does Germany as a centre of scientific activity and excellence stand to benefit from implementation of the facility, and to what extent is it likely to benefit the EU? Please outline alternative infrastructures (plans for

new facilities or expansion / upgrading of existing facilities) should the planned facility not be implemented.

- C.1.7 Please state the national and international networks and programmes into which the facility is to be incorporated.
- C.1.8 Do your investment plans significantly overlap with those of other institutions? If so, how do you assess any possible overlaps (national, Europe-wide, overseas)? How do you justify these, and how can any possible negative effects be prevented?
- C.1.9 What evaluations of the facility (assessment of concepts, preliminary work, etc.) have been carried out by external assessors in the last five years? What were the results and what was the impact? How and by whom were the evaluation groups named?
- C.1.10 From the present point of view, what requirements could be set regarding the possibilities for enlarging / upgrading the facility?
- C.2 Transfer of research results, importance of the facility for the economy
- C.2.1 What importance do you attach to utilisation of the knowledge that will be gained through research using the facility and research on the facility? Which business sectors and which key technologies could particularly benefit from the results and the development of the facility? Have appropriate transfer mechanisms been put in place for this purpose?
- C.2.2 Are spin-offs expected to arise from this project, and if so, how are these being specifically supported?
- C.2.3 According to your estimates, to what extent will regional, national and international businesses participate in the project by way of contracts awarded for planning and construction services as well as for services relating to further operation of the facility?
- C.2.4 When the project is implemented, how will it affect the structure and priorities of extra-university research?

- D Questions regarding the institutions participating in the project
- D.1 Please list the establishments participating in the project and outline their contribution and specific competence. To what extent have university scientists participated in the planning?
- D.2 Please describe the main focus of activities carried out by your institution and the other institutions involved in this research field. What do the participating institutions see as being essential aspects of their future activities? Which of these are directly linked to the facility? Which of the current or planned future key activities will be discontinued or re-oriented if the facility is implemented?
- D.3 What experience do the institutions in charge have in planning and operating large-scale facilities?
- D.4 Describe the research results of the past years achieved either a) at your institution, b) at one of the collaborating institutions or c) worldwide which were most important for implementation of the facility.
- D.5 How many members of staff and what qualifications will be required for the appropriate use and operation of the facility? What is the personnel situation at the various participating institutions? How will additional staff requirements be met? Is it necessary to re-allocate some of the existing personnel?
- D.6 What costs have been incurred so far for preliminary development work etc. for the facility, and how have these been financed? How much external funding (not including budgetary funds) has been obtained for this purpose by your institution (or its cooperation partners) in the last five years (broken down into funding from the Federal Government, regional government, the DFG, the EU, business and industry and other sources)? Please specify the fields in which this funding was used.
- E Users
- E.1 Which disciplines are dependent on use of the facility for research purposes and to what extent; which disciplines stand to benefit from it (main interested parties)? How can use of this facility reconcile the different needs of diverse groups of scientists?
- E.2 What situation do you anticipate with regard to external users (duration and extent of use, origin of users)? How have potential users been taken into ac

count in the planning for the facility? (If available, please enclose with your responses appropriate documentation on user meetings.)

- E.3 How is access to the facility organised for scientists from universities and for other external scientists?
- E.4 What role does the facility play in training and furthering the future generation of scientists (both guided and independent scientific work, seminars, post-graduate studies, etc.)?
- E.5 In which fields of work and research can future scientists be employed following successful qualification?
- E.6 How will the plans for the facility and the future research results be presented to the general public (i.e. not just the scientific community)?
- E.7 To what extent do you expect the facility to be used by private-sector companies?

F Project management, location, costs and schedules

F.1 Project management

- F.1.1 Please outline your approach concerning project planning and management and name your quality assurance procedures.
- F.1.2 How is budget responsibility organised structurally and in terms of personnel?
- F.1.3 Has an advisory board been established, or are there plans to do so? If so, please specify its functions and name its members.
- F.1.4 Who has organisational responsibility for maintaining permanent operation of the facility?

F.2 Location

- F.2.1 Please outline your locational planning of the facility.
- F.2.2 Outline any general locational factors which, in your opinion, may be advantageous or disadvantageous to implementation of a large-scale facility at your location? What possibilities have been envisaged for a) a national location, b) a location elsewhere in Europe and c) a location overseas?
- F.2.3 What would be the consequences for a) the research institutions currently involved in your project and b) for the national research institutions working in your field of research if the facility (or a similar facility) was implemented at another location and possibly by other (domestic or foreign) applicants?

### F.3 Costs

- F.3.1 Please detail the expected total cost broken down into investment, personnel and operating costs. How do you assess the long-term cost impact, and on what criteria is your assessment based?
- F.3.2 How do you rate the status of the table of costs and how up-to-date is it?
- F.3.3 How is the overall cost for the facility financed? Are there plans to involve foreign partners in the financing, and to what extent would this be realistic? What mechanism is used for apportioning overall costs (or parts thereof) to any foreign partners involved? Are there plans to involve industry? If so, what will be the modalities, and what kind of services will be provided?
- F.3.4 What financial consequences do you expect if the project were to fall behind schedule?

### F.4 Schedule

- F.4.1 What is the schedule for implementation of the facility? Please provide the necessary details concerning planning, construction, time of commissioning and periods of use.
- F.4.2 Specify the annual period of use for the facility and the total period of operation including / without any expansions to the facility.

### G Additional information

The institutions involved are requested to provide, if applicable, the following additional documents in triplicate:

- G.1 Proposal for the facility (if any);
- G.2 List of publications (publications in renowned scientific journals, collections, monographs, textbooks) of the leading scientists involved in developing the facility;
- G.3 Documentation of the evaluations carried out with regard to the facility (assessment of concepts, preliminary work, etc.) by external experts in the last five years;
- G.4 Organisational charts of the scientific institutions involved.