

# Forschungspolitische Ziele des Forschungsbereichs Materie der Helmholtz-Gemeinschaft für die 4. Periode der Programmorientierten Förderung (PoF IV)

|  |    |
|--|----|
| 1. Übergeordnete Ziele für die Helmholtz-Gemeinschaft .....                      | 2  |
| 2. Globale Ziele des Forschungsbereichs Materie .....                            | 4  |
| 2.1. Mission und Auftrag.....  | 4  |
| 2.2. Prioritäre Themenfelder mit ihren Zielsetzungen .....                       | 5  |
| 2.3. Strukturelle Ziele .....  | 6  |
| 2.3.1. Nationale und internationale Zusammenarbeit .....                         | 6  |
| 2.3.2. Schaffung und Erhaltung von attraktiven Forschungsstandorten.....         | 7  |
| 2.3.3. Stärkung des Transfers in Wirtschaft und Gesellschaft .....               | 7  |
| 2.4. Weiterentwicklung der Forschungsinfrastruktur .....                         | 8  |
| 2.5. Gemeinsame Initiativen des Forschungsbereichs/Querschnittsaktivitäten ..... | 9  |
| 2.5.1. Kooperationsstrategie .....   | 9  |
| 2.5.2. Strategiepool (Materie Forum).....  | 9  |
| 2.5.3. Talentmanagement .....  | 9  |
| 2.6. Schnittstellen zu anderen Forschungsbereichen .....                         | 10 |
| 2.6.1. Materialforschung.....  | 10 |
| 2.6.2. Digitalisierung.....  | 10 |
| 2.6.3. Strukturbioogie und biologische Prozesse .....                            | 11 |
| 2.6.4. Strahlenforschung .....   | 11 |
| 2.6.5. Quantentechnologien .....   | 12 |
| 3. Einzelne Programme im Detail .....  | 13 |
| 3.1. Beteiligte Zentren .....  | 13 |
| 3.2. Übernahme koordinierender Funktionen (z. B. Programmsprecher, FIS) .....    | 14 |
| 3.3. Themenstruktur und spezifische Zielsetzung.....                             | 15 |
| 3.3.1. Programm „Materie und Universum“ (MU).....                                | 15 |
| 3.3.2. Programm „Von Materie zu Material und Leben“ (MML).....                   | 20 |
| 3.3.3. Programm „Materie und Technologien“ (MT).....                             | 27 |

# 1. Übergeordnete Ziele für die Helmholtz-Gemeinschaft

[Der Text in Kapitel 1 entspricht der Fassung des Zwischenstands, wie er dem AZG am 29.10.2018 zur Kenntnis gegeben wurde. Eine abschließende Befassung zu den übergeordneten Zielen ist im AZG am 07.03.2019 vorgesehen.]

## **Dynamische Entwicklung durch konsequente Weiterentwicklung der PoF vorantreiben**

In einem gemeinschaftsweiten Strategieprozess werden die neuen Programme noch gezielter als bisher auf die Lösung großer und drängender Fragen von Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft ausgerichtet. Dies erfordert beispielsweise eine inhaltliche und strukturelle Neuaufstellung der Programme auf Grundlage der forschungspolitischen Ziele, verbunden auch mit finanziellen Konsequenzen aus den beiden Begutachtungen. Durch eine nachvollziehbare und systematische Untergliederung der Programme wird einerseits sichergestellt, dass die Ergebnisse der beiden Begutachtungsschritte zusammengeführt werden können und die Verantwortlichkeit für die Erreichung der Ziele in den Programmen und Topics eindeutig zugeordnet werden kann. Gleichzeitig erlaubt die Untergliederung die strukturellen und thematischen Veränderungen von PoF III zu PoF IV transparent und nachvollziehbar zu dokumentieren und diese zusammen mit den Ergebnissen der beiden Begutachtungsschritte in geeigneter Form zu veröffentlichen.

## **Thematische Profilbildung und Vernetzung in den Forschungsbereichen fördern**

Durch die systematische Stärkung der Forschungsbereiche und die Bündelung von Zentrenmitteln zu einem (virtuellen) Forschungsbereichsbudget („Innovationspool“, entsprechend 1% der Programmmittel ohne LK II) werden die Vernetzung zwischen den Zentren und die Flexibilität und Reaktionsfähigkeit auf aktuelle Bedarfe innerhalb der PoF weiter gestärkt. Der Innovationspool dient u.a. dazu neue, innovative Ideen in kurzfristigen Forschungsprojekten auszuprobieren, Nachwuchswissenschaftlern Raum außerhalb der langfristig angelegten Forschungsprogramme zu geben oder in anlassbezogenen Forschungskampagnen flexibel auf aktuelle, gesellschaftsrelevante Themen eingehen zu können. Diese thematische Profilbildung wird auch nach außen sichtbar und fördert so die Zentren und die Gemeinschaft in der Außenwahrnehmung. Um Synergien in den Forschungsbereichen zu nutzen, sollen künftig gemeinsame Strategien z. B. im Bereich Internationalisierung, Wissenschaftskommunikation oder Innovationsförderung entwickelt und umgesetzt werden.

## **Forschungsinfrastrukturen durch Ausbau des Betriebs für externe Nutzer stärken**

Die Helmholtz-Gemeinschaft baut und betreibt exzellente Forschungsinfrastrukturen. Mit der Bereitstellung von exzellenten Forschungsinfrastrukturen für externe Wissenschaftler trägt sie zur internationalen Wettbewerbsfähigkeit und Attraktivität des deutschen Wissenschaftsstandorts bei. Ziel ist, durch eine langfristige strategische Planung und auskömmliche Finanzierung den internationalen Spitzenplatz der HGF in diesem Gebiet zu sichern und den Betrieb für externe Nutzer aus Wissenschaft und Wirtschaft auszubauen.

## **Digitalisierungsstrategie für die Gemeinschaft entwickeln (Open-Science/Open-Data-Strategie)**

Ziel ist es, dass die Helmholtz-Gemeinschaft künftig eine Vorreiterfunktion im Bereich Informationsverarbeitung und Informationstechnologie, Open-Access, Open-Data, Open-Science

übernimmt. Dies bedeutet nicht nur einen Beitrag zur Digitalisierung der Wissenschaften, sondern auch einen entscheidenden Beitrag zur Validität und Qualität von Grundlagenforschung. Hierzu ist ein Ausbau von Kompetenzen im Bereich Digitalisierung und Datenwissenschaften in allen Forschungsbereichen und Programmen, der Ausbau der Bereitstellung von Forschungsdaten und Rechenleistung für die deutsche wissenschaftliche Community und eine weitere Professionalisierung des Datenmanagement notwendig. Ziel ist insbesondere die Etablierung von zentrenübergreifenden, nachhaltig gepflegten Strukturen und Services, um Forschungsdaten öffentlich zugänglich zu machen und eine Integration der Open-Science-Aktivitäten in einen organisationenübergreifenden nationalen bzw. internationalen Kontext sicher zu stellen.

### **Attraktive Forschungsstandorte schaffen und erhalten**

Für die Zukunftsfähigkeit der Gemeinschaft sind attraktive Standorte und Rahmenbedingungen für die besten Köpfe unverzichtbar. Als leistungsfähiger Partner für Universitäten und andere Forschungseinrichtungen tragen die Helmholtz-Zentren zur Weiterentwicklung wissenschaftlicher Spitzenstandorte in Deutschland bei. Dazu gehört auch die bauliche Infrastruktur.

### **Stärkung des Transfers in Wirtschaft und Gesellschaft**

Durch die Stärkung von Innovationsförderung und Technologietransfer leistet die HGF einen wichtigen Beitrag, um die Spitzenposition von Deutschland zu halten und auszubauen. Dabei muss insbesondere das große Innovationspotential der Forschungsbereiche, Forschungsinfrastrukturen und der reiche Schatz an Forschungsdaten stärker als bisher genutzt werden. Mit dem Ausbau des Wissenstransfers in die Wissenschaft, Gesellschaft und Wirtschaft werden Entscheidungsgrundlagen für Gesellschaft, Politik und Wirtschaft geschaffen und der Verantwortung der Wissenschaft für die Gesellschaft Rechenschaft getragen.

### **Brücken zwischen den Forschungsbereichen**

Im Gegenzug zur Stärkung der Forschungsbereiche sollen die Schnittstellen zwischen den Forschungsbereichen gezielt herausgearbeitet werden und durch geeignete Instrumente unterstützt werden. Es gilt die vielfältigen personelle, thematische und methodische Verbindungen zu anderen Forschungsbereichen ausbauen, um so gemeinsam mehr zu erreichen.

## **2. Globale Ziele des Forschungsbereichs Materie**

### **2.1. Mission und Auftrag**

Im Forschungsbereich Materie bündelt die Helmholtz-Gemeinschaft ihre Kompetenzen in der Erforschung der Materie, im Bau und Betrieb komplexer Großforschungsanlagen sowie in der Entwicklung von Grundlagentechnologien wie Beschleuniger- und Detektorkonzepte.

Die wissenschaftliche Mission des Forschungsbereichs ist die Erforschung der Struktur und der daran gekoppelten Eigenschaften von Materie. Dies beinhaltet Untersuchungen auf allen Längenskalen, von den elementaren Bausteinen der Materie und der Erforschung der Quantenwelt bis zu grundlegenden Fragen der Entwicklung des Universums. Das Verständnis komplexer Wechselwirkungen auf verschiedenen Längenskalen dient im Forschungsbereich auch als Grundlage zur Entwicklung neuer Materialien oder Medikamente. Zu diesem Zweck entwickeln, nutzen und betreiben die Zentren ein einzigartiges komplementäres Portfolio an Forschungsinfrastrukturen, vielfach im Rahmen großer internationaler Kooperationen.

Dies alles sind Schlüsseldisziplinen der Naturwissenschaften, die in Welten führen, die experimentell und konzeptionell nur schwer und mit großem Aufwand zugänglich sind, die aber gleichzeitig sowohl grundlegende Erkenntnisse der Menschheit als auch Beiträge zur Lösung der großen Herausforderungen von heute und morgen im Portfolio haben. Mit seinen bestehenden und den im Bau befindlichen Großforschungsanlagen ist der Forschungsbereich Materie hervorragend aufgestellt, um die Herausforderungen angehen zu können. Diese Herausforderungen werden von acht eng vernetzten und interdisziplinär zusammenarbeitenden Helmholtz-Zentren angenommen (Details siehe 3.1.).

Der Forschungsbereich Materie hat sich mit Beginn der dritten Periode der Programmorientierten Förderung eine moderne und zukunftsweisende Programmstruktur gegeben, die auf einer engen Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Helmholtz-Zentren basiert und die Verbindung von Grundlagenforschung, anwendungsorientierter Forschung und Technologieentwicklung verstärkt nutzt.

Zu den strategisch wichtigen Kernkompetenzen des Forschungsbereichs zählen Entwicklung, Bau und Nutzerbetrieb von hochmodernen Großforschungsanlagen sowie, über die beteiligten Zentren, die Wahrnehmung der deutschen Beteiligungen an internationalen Großforschungsanlagen. Diese Kernkompetenzen des Forschungsbereichs Materie sollen weiter gefestigt werden.

Die Kernkompetenzen des Forschungsbereichs Materie in der Forschung mit Photonen, Neutronen, Teilchen und Feldern sollen weiter ausgebaut werden. Dazu soll die Fortentwicklung der Strategieprozesse zu Photonen, Neutronen, Teilchen und Feldern auf nationaler und europäischer/internationaler Ebene aktiv mitgestaltet werden. Die nationalen Strategien werden nach 2 Jahren der PoF-Laufzeit vorgelegt und werden - soweit vorliegend - die europäischen/internationalen Strategieprozesse bzw. Strategien berücksichtigen und umgekehrt in europäische Strategieprozesse eingebracht.

## 2.2. Prioritäre Themenfelder mit ihren Zielsetzungen

Die zur dritten Periode der Programmorientierten Förderung neu eingeführte Programmstruktur des Forschungsbereichs hat sich in den letzten Jahren sehr bewährt und zu neuen Synergien zwischen den einzelnen Forschungsdisziplinen bzw. grundlagenorientierter und anwendungsorientierter Forschung bis hin zu konkreten Anwendungen geführt. Sie soll deshalb in ihrer jetzigen Struktur fortgeführt werden.

Die zentralen wissenschaftlichen und technologischen Fragen der nächsten Jahre für den Forschungsbereich Materie umfassen:

- Wie hat sich das Universum vom Urknall bis heute entwickelt?
- Was sind die Bausteine der Materie und ihre fundamentalen Wechselwirkungen und wo liegen die Ursprünge der Elemente im Universum?
- Wie können elektronische und molekulare Prozesse auf allen relevanten Längen- und Zeitskalen besser verstanden und gesteuert werden und damit Voraussetzungen für die Entwicklung neuartiger Funktionsmaterialien und Wirkstoffe geschaffen werden?
- Wie können hoch-brillante und kompakte Teilchenbeschleuniger und moderne Detektoren und Sensoren für Forschung und Wirtschaft entwickelt werden?

In der nächsten Förderperiode werden folgende Ziele prioritär verfolgt:

- Die sichtbare Beteiligung der Zentren an den internationalen Großgeräten der Teilchen-, Hadronen- und Astroteilchenphysik, insbesondere an den Detektoren ATLAS, CMS und ALICE am LHC, an BELLE II, und an CTA, Icecube und Auger;
- Die sichtbare Beteiligung am Europäischen Röntgenlaser XFEL, an der Europäischen Spallationsquelle ESS, an der ESRF und am ILL sowie an der FAIR Facility;
- Eine verstärkte Forschungsaktivität zur Klärung der Natur der Dunklen Materie und der Eigenschaften der Neutrinos;
- Die Weiterentwicklung unseres Verständnisses des Zusammenhangs zwischen Struktur und Dynamik mit den Eigenschaften von Materie;
- Die Erforschung der Auswirkung von Struktur und Eigenschaften von Materie/Materialien auf biologische, chemische und physikalische Prozesse;
- Die gezielte Nutzung der Forschungsinfrastrukturen des Forschungsbereiches zur Charakterisierung von elektronischen, magnetischen und molekularen Prozessen auf allen relevanten Längen- und Zeitskalen als Voraussetzung für die zielgerichtete Entwicklung von neuen Materialien und Wirkstoffen z.B. in den Forschungsbereichen Information, Energie oder Gesundheit;
- Der Forschungsbereich soll den Einsatz von Forschungsbereich-spezifischen Forschungsinfrastrukturen und Kompetenzen z.B. aus der Materialforschung und/oder der Molekularbiologie zur anwendungsnahen Forschung in der Wirtschaft aktiv gestalten;
- Die Weiterentwicklung der Großgeräte des Forschungsbereichs, um diese an der weltweiten Spitze zu halten;

- Als langfristige Alternative zu immer größeren Beschleunigern und Großgeräten soll der Forschungsbereich Materie neue Ansätze erforschen und Zukunftstechnologien entwickeln, insbesondere:
  - a. für ultra-kompakte und kosteneffiziente Beschleuniger und Strahlungs- und Teilchenquellen für Wissenschaft, Wirtschaft und Medizin,
  - b. für einen Prototyp alternativer hoch brillanter Neutronenquellen;
- Die Entwicklung von Zukunftstechnologien für neue Detektoren, die den zukünftigen Anforderungen an Großgeräte genügen, z.B. in Bezug auf hohe Datenraten, Genauigkeit und Zuverlässigkeit;
- Die Weiterentwicklung von Datenmanagement und Analyse (DMA) im Forschungsbereich und Aufbau einer Kooperation von DMA mit dem Forschungsbereich Information.

## **2.3. Strukturelle Ziele**

### **2.3.1. Nationale und internationale Zusammenarbeit**

Die Zentren des Forschungsbereichs sollen die Vernetzung mit Universitäten, Forschungseinrichtungen anderer Wissenschaftsorganisationen und forschenden Wirtschaftsunternehmen gezielt weiter stärken und ausbauen. Zu den Aufgaben der Zusammenarbeit mit den Hochschulen gehören gemeinsame Berufungen, Beteiligung an Exzellenzclustern im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder, Mitwirkung in Instrumenten der DFG, wie z.B. Sonderforschungsbereichen und die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses z.B. über gemeinsame strukturierte Doktorandenprogramme. Der Auf- und Ausbau von Forschungsnetzwerken zwischen Wissenschaft und Wirtschaft soll neue Synergien schaffen und Innovationsprozesse als wichtige Faktoren für die Weiterentwicklung des Wissenschaftsstandorts ermöglichen. Die Netzwerke sollen helfen, eine geschlossene Innovationskette von grundlegenden Forschungsergebnissen bis hin zu neu entwickelten Produkten, Prozessen und Dienstleistungen herzustellen.

Der Nutzerbetrieb der Großgeräte des Forschungsbereichs bietet ein einzigartiges Potential für nationale und internationale Kooperationen. Diese sollen in Bezug auf Nutzergruppen aus Wissenschaft und Wirtschaft weiter ausgebaut werden.

Der Forschungsbereich Materie beteiligt sich zudem durch multilaterale Kooperationen seiner Zentren an großen internationalen Forschungsprojekten und Forschungsgroßgeräten, wie dem LHC und seinen Detektoren, den Großprojekten der Astroteilchenphysik, FAIR und den internationalen Großprojekten der Materialforschung (XFEL, ESRF, ILL, ESS). Hier wird erwartet, dass die Zentren sichtbar und die deutschen Nutzer außerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft erfolgreich an den Experimenten partizipieren.

Dadurch wird die Mission der Helmholtz-Gemeinschaft zum Bau und Betrieb für die nationale und internationale Nutzerschaft konkret umgesetzt.

### **2.3.2. Schaffung und Erhaltung von attraktiven Forschungsstandorten**

Die Zentren des Forschungsbereichs müssen weiterhin weltoffene Räume für die fähigsten Talente und die besten Köpfe bleiben. Dabei spielen Geschlecht, Herkunft oder persönlicher Lebensentwurf der Menschen keine Rolle. Besondere Anstrengungen müssen weiterhin unternommen werden, um im internationalen Wettbewerb um die fähigsten Köpfe zu bestehen. Die Helmholtz-Gemeinschaft bekennt sich klar zu ihrer Verantwortung zur Ausbildung junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Deutschland. Diversität und insbesondere die Umsetzung von Chancengerechtigkeit in Wissenschaft, Technik und Verwaltung sind integraler Bestandteil der Strategie des Forschungsbereichs Materie.

Die Zentren des Forschungsbereichs arbeiten gemeinsam weiter an der Optimierung der Voraussetzungen zur erfolgreichen Durchführung von ambitionierten Forschungsprojekten. Dafür müssen sie die besten Talente ausbilden oder gewinnen und sie langfristig an die Zentren binden. Programme zur Rekrutierung von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern und der Ausbau von attraktiven Karriereperspektiven gehören hierzu ebenso, wie auch zentrale Maßnahmen zur Verbesserung der Vereinbarkeit von Familie und Beruf.

### **2.3.3. Stärkung des Transfers in Wirtschaft und Gesellschaft**

Die Zentren des Forschungsbereichs Materie werden in den nächsten Jahren den Transfer ihrer grundlegenden Erkenntnisse in Gesellschaft („Wissenstransfer“) und Wirtschaft („Technologietransfer“) weiter stärken und nachhaltig verfolgen. Dies erfordert die Schaffung oder den Ausbau von geeigneten Strukturen in den Zentren, um die Zusammenarbeit des Forschungsbereichs mit der Wirtschaft und der Gesellschaft auch strategisch und organisatorisch zu verankern.

#### **Vom Forschungsergebnis zur Innovation in Wirtschaft und Gesellschaft**

Der Forschungsbereich Materie wird sich im Innovationsgeschehen stärker profilieren. Die spezifische Innovationsstrategie soll prioritär die Bereiche Materialforschung und Molekularbiologie adressieren. Sie wird spätestens ein Jahr nach Beginn der PoF-Laufzeit vorgelegt.

Die stärkere Profilierung im Innovationsgeschehen erfordert die Schaffung von geeigneten Strukturen in den Zentren, um die Zusammenarbeit des Forschungsbereichs mit der Wirtschaft und der Gesellschaft auch strategisch und organisatorisch zu verankern. Dazu gehören in den Einrichtungen jeweils auch:

- die gezielte Öffnung von Forschungsinfrastrukturen für externe Nutzer aus der Wirtschaft und der Schaffung einer entsprechenden wirtschaftsorientierten Kultur in den Zentren;
- die Etablierung von strategischen Partnerschaften mit der Wirtschaft, um frühzeitig Ziele und den Forschungsbedarf abzustimmen;
- die Schaffung von geeigneten Strukturen in den Zentren, um die Zusammenarbeit mit der Wirtschaft auch organisatorisch zu verankern, wie z.B. durch das Einsetzen eines Chief Technology Officer und/oder einer „Dienstleistungsstelle Innovation“;

- die gezielte Förderung von Ausgründungen und Startups in den Zentren, z.B. durch Technologiebeteiligungen oder durch Räume für Hightech-Gründungen und der Beteiligung am Ausbau von Helmholtz-Enterprise;
- die Entwicklung von Maßnahmen zur gezielten Ansprache der KMU;
- die Einbeziehung von regionalen Wirtschaftsunternehmen in die Überlegungen zur Weiterentwicklung der regionalen Standorte, z.B. durch die Vernetzung mit der IHK;
- die Entwicklung spezifischer Anreizsysteme im Forschungsbereich Materie, insbesondere auch unter Berücksichtigung des Umfelds der Großgeräte.

Ein Bericht der Aktivitäten mit der Wirtschaft wird zur Hälfte der PoF-Laufzeit vorgelegt.

### **Wissenstransfer und Öffentlichkeitsarbeit**

Eine Strategie für den Wissenstransfer und die Öffentlichkeitsarbeit des Forschungsbereichs Materie soll nach zwei Jahren der PoF-Laufzeit vorgelegt und innerhalb der Förderperiode umgesetzt und fortgeschrieben werden. Ziel dieser Strategie ist die Erhöhung der Sichtbarkeit des Nutzens der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung in der Bevölkerung und in der Politik. Darüber hinaus soll der Forschungsbereich Möglichkeiten und Strategien entwickeln, mit gesellschaftlichen Akteuren (wie z. B. der Politik, Nichtregierungsorganisationen, Anwohnern, Schulen) in Austausch zu treten, um gegenseitiges Verständnis der Wirkung der betriebenen Forschungsgroßgeräte in der und für die Gesellschaft zu entwickeln.

### **2.4. Weiterentwicklung der Forschungsinfrastruktur**

Die Forschungsinfrastrukturen des FB Materie werden durch den konsequenten Ausbau des Betriebs und der Zugangsmöglichkeiten für externe Nutzer aus Wissenschaft und Wirtschaft gestärkt werden. Dies bietet auch neue Möglichkeiten für nationale und internationale Kooperationen. Dabei sind die in den forschungsbereichsübergreifenden Zielen formulierten Grundsätze maßgeblich. Insbesondere sind neue Großgeräte/Forschungsinfrastrukturen und substanzielle Weiterentwicklungen existierender Großgeräte des Forschungsbereichs Materie in den nationalen und internationalen Kontext einzuordnen.

Das Durchlaufen des Nationalen Roadmap-Verfahrens für Forschungsinfrastrukturen bleibt Voraussetzung für die Beteiligung der Helmholtz-Zentren an zukünftigen Forschungsinfrastrukturen bzw. deren Upgrades, zzt. mit einem Mittelvolumen an Investitionen von über 50 Mio. €.

Bei der Entscheidung über die Beteiligung am Bau/Upgrade neuer Forschungsinfrastrukturen wird grundsätzlich das forschungspolitische Interesse des Bundes und der Länder beachtet. Dies beinhaltet, dass die Zentren gemäß der Helmholtz-Mission große Forschungsinfrastrukturen betreiben und den Zugang für externe Nutzer aus Wissenschaft (insbesondere der Hochschulen) und Wirtschaft sicherstellen.

Die Beteiligung des Forschungsbereichs Materie und seiner Zentren an möglichen neuen Forschungsinfrastruktur-Vorhaben soll bei Antragstellung und Umsetzung den Regeln und Prozessen der Nationalen Roadmap sowie den Vereinbarungen zwischen der Helmholtz-Gemeinschaft und den Zuwendungsgebern entsprechen. Dies betrifft die inhaltlich-

strategische Langfristplanung innerhalb der Wissenschaftsgemeinde genauso wie die Aufteilung der Bau- und Betriebskosten.

Die Etablierung eines transparenten Prozesses zur Weiterentwicklung des Portfolios der Helmholtz-Forschungsinfrastrukturen unter Einbeziehung von potenziellen Nutzern wird umgesetzt. In diesem Prozess ist eine Priorisierung für zukünftige Forschungsinfrastrukturen des Forschungsbereichs Materie vorzunehmen, einschließlich einer strategischen Einordnung/Einbindung dieser Forschungsinfrastrukturen in die internationale FIS-Landschaft. Dies gilt insbesondere für neue Forschungsinfrastrukturen und substantielle Weiterentwicklungen der Synchrotronstrahlungsquellen, beschleunigergetriebene Strahlungsquellen, lasergetriebene Strahlungsquellen und für die Neutronenforschung.

## **2.5. Gemeinsame Initiativen des Forschungsbereichs/Querschnittsaktivitäten**

### **2.5.1. Kooperationsstrategie**

Eine Kooperationsstrategie des Forschungsbereichs Materie soll nach zwei Jahren der PoF-Laufzeit vorgelegt und innerhalb der PoF umgesetzt und fortgeschrieben werden. Gegenstand sollen Kooperationsaktivitäten innerhalb des Forschungsbereichs Materie, innerhalb der Helmholtz-Gemeinschaft, national (insbesondere mit Dritten wie z.B. Universitäten) und international sein. Ziel der Strategie ist die Darstellung des Nutzens der Großgeräte, insbesondere für die übrigen Akteure im deutschen Wissenschaftssystem und darüber hinaus.

### **2.5.2. Strategiepool (Materie Forum)**

Der Forschungsbereich Materie wird einen Strategiepool (Materie Forum) im Forschungsbereich einrichten, in den die beteiligten Helmholtz-Zentren im Sinne eines virtuellen Fonds 1% der LK I-Mittel einbringen, um damit im Forschungsbereich gemeinsam festzulegende strategische Aktivitäten zu unterstützen. Die hierfür allokierten Finanzmittel verbleiben im jeweils dafür verantwortlichen Zentrum.

### **2.5.3. Talentmanagement**

Der Forschungsbereich Materie hat das Ziel, die besten Talente auszubilden oder aus aller Welt zu gewinnen. Programme zur Rekrutierung und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses und der Ausbau von attraktiven Karriereperspektiven tragen hierzu ebenso bei, wie auch zentrale Maßnahmen zur Verbesserung der Vereinbarkeit von Familie und Beruf. Dabei soll auch die frühe Begeisterung von Schülerinnen und Schülern für die MINT-Fächer berücksichtigt werden.

Das Talentmanagement des Forschungsbereichs Materie muss – eingebettet in die entsprechenden Strategien der Helmholtz-Gemeinschaft – auf allen Ebenen weiter entwickelt und ausgebaut werden. Die erzielten Ergebnisse werden im 2-jährigen Rhythmus in der PoF-Laufzeit auf der Forschungsbereichsplattform Materie diskutiert.

## 2.6. Schnittstellen zu anderen Forschungsbereichen

Der Forschungsbereich Materie arbeitet in einigen zentralen Themen eng mit anderen Forschungsbereichen zusammen. Für die Materialforschung, Digitalisierung, Strukturbiologie, Strahlenforschung und Quantentechnologien werden durch die forschungsbereichsübergreifende Zusammenarbeit neue Synergien geschaffen und genutzt.

### 2.6.1. Materialforschung

Im Themenbereich Materialforschung wird der Forschungsbereich Materie verstärkt mit anderen Forschungsbereichen, vor allem den Forschungsbereichen Information und Energie, zusammenarbeiten. Gemeinsam werden die Forschungsbereiche eine übergreifende Helmholtz-Materialforschungsstrategie erarbeiten, die auf ihren komplementären Kompetenzen und Alleinstellungsmerkmalen systematisch aufbaut und die besonderen wissenschaftlichen Möglichkeiten der Zentren mit Anwendungsperspektiven verbindet. Die Definition/Beschreibung von Schnittstellen im Sinne von Synergien zwischen den einzelnen Forschungsbereichen soll in dieser übergreifenden Helmholtz-Materialforschungsstrategie dargestellt werden. Die Strategie wird unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Strategischen Begutachtung finalisiert und anschließend umgesetzt. Dadurch wird sich die Helmholtz-Gemeinschaft in der Materialforschung auch im nationalen Wissenschaftssystem von anderen Wissenschaftsorganisationen bzw. Forschungseinrichtungen abheben.

Dabei sind als wesentliche Beiträge des Forschungsbereichs Materie zur Materialforschung in der Helmholtz-Gemeinschaft zu betrachten:

- die besonderen Kompetenzen des Forschungsbereichs Materie bei Entwicklung, Bau, Betrieb und Nutzung von großen Forschungsinfrastrukturen für disziplinübergreifende Fragestellungen zur Charakterisierung, Modifikation und Synthese von Materialien. Dabei geht es vor allem darum, ein vertieftes, mikroskopisches Verständnis von Materie, Materialien und biologischen Systemen zu erarbeiten;
- sowie die anwendungsbezogene Materialforschung anhand konkreter Problemstellungen aus den anderen Forschungsbereichen, zu deren Lösung die Nutzung der Großgeräte beiträgt.

### 2.6.2. Digitalisierung

Der Forschungsbereich Materie wird sich an der Helmholtz-Digitalisierungsstrategie beteiligen. Dabei sollen die bisherigen und ggf. zukünftigen Aktivitäten des Forschungsbereichs in Bezug auf die Helmholtz Data Federation (HDF) und den Helmholtz-Inkubator „Information & Data Science“ in die zukünftige Helmholtz-Digitalisierungsstrategie eingebracht werden.

Die Helmholtz-Expertengruppe BigData oder ein ähnliches Format zur Einbindung und zum Austausch mit den nationalen Fachkomitees für physikalische Forschungsinfrastrukturen soll fortgeführt werden. Der Forschungsbereich Materie implementiert im Programm Materie und Technologie das neue Topic „Datamanagement und Analyse (DMA)“, das künftig eng mit dem Forschungsbereich Information zusammenarbeiten wird.

Der Forschungsbereich Materie bringt sich auch über den BMBF-Aktionsplan ErUM-Data zu relevanten Themen zu einschlägigen Aktivitäten der Bundesregierung (z.B. Umsetzungsstra-

ategie der Bundesregierung zur Gestaltung des digitalen Wandels, Strategie zur Künstlichen Intelligenz etc.) ein. Dies betrifft neben einem modernen und effektiven Forschungsdatenmanagement insbesondere auch Entwicklung und Anwendung von Methoden der BigData Analyse.

Darüber hinaus arbeitet der Forschungsbereich Materie an einer Open-Access-, Open-Data- und Open-Science-Strategie, die zusammen mit den anderen Forschungsbereichen umgesetzt werden soll.

### **2.6.3. Strukturbiologie und biologische Prozesse**

Der Forschungsbereich Materie betreibt an seinen Messstationen an Synchrotron-, FEL- und Neutronenstrahlungsquellen einzigartige Analysekapazitäten für die Strukturbiologie sowie die biologische und medizinische Bildgebung. Der dabei zugängliche Auflösungsbereich erstreckt sich von kompletten Organismen bis in den atomaren Bereich für alle zur Untersuchung von Funktion und Dynamik biologischer Systeme notwendigen Zeitskalen.

In enger Abstimmung mit den Forschungsbereichen Gesundheit und Information sollen die bestehenden Experimentiermöglichkeiten auch im Hinblick auf die Suche nach neuen Wirkstoffen weiterentwickelt und betrieben werden. Weiterhin sollen neue Experimentier- und Auswertetechniken unter Ausnutzung der einzigartigen Möglichkeiten der Strahlungsquellen des Forschungsbereichs entwickelt werden, um neuartige Einblicke im Bereich der Strukturbiologie und biologischer Prozesse zu ermöglichen.

### **2.6.4. Strahlenforschung**

Beim Querschnittsthema Strahlenforschung (Radiation Research) arbeitet der Forschungsbereich Materie eng mit dem Forschungsbereich Gesundheit zusammen. Das Hauptziel dieser programmübergreifenden Aktivität ist es, fundierte Kenntnisse über die Auswirkungen ionisierender Strahlung auf biologische Systeme zu erlangen. Dazu wird die komplementäre Expertise in der Strahlenforschung verschiedener Helmholtz-Zentren gebündelt und auf die Bereiche Strahlenbiologie und Strahlentherapie sowie molekulare Bildgebung für biomedizinische Anwendungen fokussiert. Mögliche Synergien mit dem Forschungsbereich Energie sind auszuloten und zu nutzen.

Die Entwicklung neuartiger lasergetriebener Strahlenquellen für die Strahlentherapie wird forschungsbereichsübergreifend von HZDR (Materie und Gesundheit) und DKFZ (Gesundheit) im Rahmen des Nationalen Centrums für Tumorerkrankungen (NCT) vorangetrieben. Zusätzlich werden Methoden der Echtzeitdosimetrie in der Strahlentherapie untersucht. Innerhalb von PoF IV sollen therapierelevante Beschleunigungsenergien erreicht werden und strahlenbiologische Eigenschaften, die sich aus den speziellen Strahleigenschaften ergeben, geklärt und genutzt werden. Ergebnisse der klinischen Radiobiologie zur Überprüfung der Bestrahlungsplanung in der Schwerionentherapie (HIT/DKFZ) mit innovativen zellulären Phantomen (entwickelt an der GSI) werden innerhalb des ersten Jahres des Programms erwartet. Weitere Ergebnisse zur Kombination von geladenen Teilchen mit neuen, zielgerichteten Medikamenten, die am DKFZ entwickelt wurden, werden für die Mitte der PoF IV erwartet. Synergieeffekte werden darüber hinaus durch die Zusammenarbeit mit den For-

schungsbereichen Energie, Erde und Umwelt, sowie Verkehr, Luft- und Raumfahrt erwartet. Diese sollen ausgelotet, spezifiziert und genutzt werden.

#### **2.6.5. Quantentechnologien**

Die Zentren des Forschungsbereichs Materie beteiligen sich mit ihren Kernkompetenzen und insbesondere mit dem Einsatz ihrer Forschungsinfrastrukturen an der Strategie und deren Umsetzung für Quantentechnologien in der Helmholtz-Gemeinschaft (s. Strategiepapier Quantentechnologien).

### 3. Einzelne Programme im Detail

#### 3.1. Beteiligte Zentren

In der vierten Periode der Programmorientierten Förderung sind im Forschungsbereich Materie acht Zentren beteiligt, die im Rahmen einer gemeinsamen Zielstellung und Strategie zusammenarbeiten:

- das Deutsche Elektronen-Synchrotron (DESY)
- das Forschungszentrum Jülich (FZJ)
- das Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung\*) (GSI/FAIR)
- das Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB)
- das Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)
- das Helmholtz-Zentrum Geesthacht – Zentrum für Material- und Küstenforschung (HZG)
- das Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP)

\*) Alle materie-spezifischen Aktivitäten und die Beiträge der GSI und des FZJ zu FAIR sind in PoF IV zu integrieren und sollen im Forschungsbereich Materie begutachtet werden.

### 3.2. Übernahme koordinierender Funktionen

Im Forschungsbereich Materie werden die Programme und Topics zentrenübergreifend bearbeitet. Dies erfordert einen entsprechenden Koordinierungsaufwand. In der nachfolgenden Tabelle sind die Programm- und TopicsprecherInnen für die PoF IV Förderperiode aufgelistet.

| Programm/Topic   | LK    | 1. SprecherIn                      | 2. SprecherIn                    |
|--|-------|------------------------------------|----------------------------------|
| <b>MATERIE UND DAS UNIVERSUM (MU)</b>                        |       | <b>R. Engel (m)<br/>KIT</b>        | <b>B. Heinemann (w)<br/>DESY</b> |
| Fundamentale Teilchen und ihre Wechselwirkungen              | LK I  | J. Mnich (m)<br>DESY               | P. Pani (w)<br>DESY              |
| Kosmische Materie im Labor                                   |       | F. Maas (m)<br>GSI/HIM             | T. Galatyuk (w)<br>GSI           |
| Materie und Strahlung vom Universum                          |       | C. Stegmann (m)<br>DESY            | K. Valerius (w)<br>KIT           |
| <b>VON MATERIE ZU MATERIALIEN UND LEBEN (MML)</b>            |       | <b>T. Stöhlker (m)<br/>GSI/HIJ</b> | <b>A. Stierle (m)<br/>DESY</b>   |
| Materie – Dynamik, Mechanismen und Kontrolle                 | LK I  | R. Santra (m)<br>DESY              | T. Lau (m)<br>HZB                |
| Materialien – Quanten-, komplexe und funktionale Materialien |       | J. Wosnitza (m)<br>HZDR            | K. Friese (w)<br>FZJ             |
| Leben – Bausteine des Lebens: Struktur und Funktion          |       | C. Fournier (w)<br>GSI             | T. Baumbach (m)<br>KIT           |
| Erforschung von Materie und brillanten Lichtquellen          | LK II | E. Weckert (m)<br>DESY             | A. Föhlich (m)<br>HZB            |
| Neutronensonden zur Erforschung kondensierter Materie        |       | T. Brückel (m)<br>FZJ              | M. Müller (m)<br>HZG             |
| Physik und Materialwissenschaften mit Ionenstrahlen          |       | M. T.-Molares (w)<br>GSI           | J. Faßbender (m)<br>HZDR         |
| Forschung mit höchsten elektromagnetischen Feldern           |       | T. Cowan (m)<br>HZDR               | A. Wagner (m)<br>HDZR            |
| <b>MATERIE UND TECHNOLOGIEN (MT)</b>                         |       | <b>T. Behnke (m)<br/>DESY</b>      | <b>A.S. Müller (w)<br/>KIT</b>   |
| Beschleunigerforschung und -entwicklung                      | LK I  | A. Jankowiak (m)<br>HZB            | J. Osterhoff (m)<br>DESY         |
| Detektortechnologien und -systeme                            |       | M. Weber (m)<br>KIT                | S. Masciocchi (w)<br>GSI         |
| Datenmanagement und -analyse (NEU in PoF IV)                 |       | M. Bussmann (m)<br>HZDR            | V. Gülzow (m)<br>DESY            |

#### SprecherInnen für die LK II-Anlagen in MU und MT

| LK II Anlagen MU und MT |       | SprecherIn                                  |
|-------------------------|-------|---|
| GSI-MU (MU)             | LK II | Y. Leifels (w)<br>GSI                       |
| GridKa (MU)             |       | A. Heiss (m)<br>KIT                         |
| IDAF (MT)               |       | C. Voss (m)<br>DESY<br>S. Aplin (m)<br>DESY |

### 3.3. Themenstruktur und spezifische Zielsetzung

Der Forschungsbereich Materie gliedert sich in die drei Programme „Materie und Universum“ (MU), „Von Materie zu Materialien und Leben“ (MML) und „Materie und Technologien“ (MT), welche wiederum aus jeweils drei Forschungs-Topics bestehen. Für MML kommen noch vier Facility-Topics hinzu, die Entwicklung und Betrieb der Nutzeranlagen des Programms umfassen.

#### 3.3.1. Programm „Materie und Universum“ (MU)

In diesem Programm werden mit modernsten theoretischen und experimentellen Methoden die grundlegenden Bausteine der Materie erforscht sowie ihre Rolle für die Entwicklung des Universums und die Ausbildung der größten darin befindlichen Strukturen untersucht.

Forschungsziele sind insbesondere

- die Identifikation der fundamentalen Teilchen und ihrer Wechselwirkungen sowie das genaue Verständnis der Struktur des Vakuums,
- das Verständnis des Aufbaus und der Dynamik von Hadronen, Kernen und Kernmaterie und ihrer Rolle bei der astrophysikalischen Entstehung der chemischen Elemente sowie
- das Verständnis der Natur der Dunklen Materie und der Dunklen Energie sowie des Universums bei hohen Energien.

Aus den erzielten Erkenntnissen soll ein kohärentes Bild des Mikrokosmos und eine detaillierte Vorstellung der Entwicklung unseres Universums gewonnen werden.

Diese große Aufgabe wird ganzheitlich und strukturiert bearbeitet; dazu werden Erkenntnisse der Elementarteilchenphysik, Kernphysik, Astroteilchenphysik, Astrophysik und Kosmologie zusammengeführt. Dies geschieht in drei Programmtopics: Fundamentale Teilchen und ihre Wechselwirkungen (Fundamental Particles and Forces), Kosmische Materie im Labor (Cosmic Matter in the Laboratory) sowie Materie und Strahlung vom Universum (Matter and Radiation from the Universe).

Die Erweiterung der experimentellen Möglichkeiten zu höheren Energien, zu extrem seltenen Prozessen und zu sehr komplexen Systemen von Materie ist unverzichtbar, weshalb das Programm MU eng mit den Programmen MML und MT zusammenarbeitet und selber Treiber in der Detektorentwicklung und der Weiterentwicklung des wissenschaftlichen Computings ist.

Eine besondere Rolle kommt einer breit aufgestellten theoretischen Physik zu, die Ergebnisse interpretiert und zusammenführt, Ideen für zukünftige Forschungsinitiativen gibt und Methoden entwickelt.

Die Kompetenzen und Aktivitäten der Institutsbereiche IKP-1, IKP-2 und IKP-4 des FZJ im Bereich der Kernphysik sollen insgesamt erhalten bleiben. Die Ressourcen sollen vom FZJ an die GSI überführt werden. Die Forschungsaktivitäten des IKP-3, verortet im Forschungsbereich Information, werden weiterhin auch dem Forschungsbereich Materie zugutekommen.

## Topic Fundamentale Teilchen und ihre Wechselwirkungen

Die Helmholtz-Zentren DESY und KIT tragen zu diesem Topic bei. Es beschäftigt sich mit den fundamentalen Teilchen und ihren Wechselwirkungen und stellt sich einigen der grundlegendsten Fragen der Physik wie der Materie-Antimaterie-Asymmetrie im Universum, dem Hierarchieproblem oder der elektroschwachen Symmetriebrechung. Im Fokus vieler Experimente und theoretischer Anstrengungen steht die Suche nach neuer Physik jenseits des Standardmodells der Teilchenphysik – also z.B. nach Teilchen der Dunklen Materie oder nach Supersymmetrie.

Prominente Forschungseinrichtungen sind die Experimente ATLAS und CMS am Large Hadron Collider (LHC) des CERN sowie das Belle/Belle II-Experiment zur Untersuchung von Elektron-Positron-Kollisionen am KEK in Japan. An den Betrieb des LHC bis Ende 2022 schließt sich der Hochluminositäts-Upgrade HL-LHC an, zu dem DESY und deutsche Universitäten die Spurdetektor-Endkappen für ATLAS und CMS liefern. Ab 2026 bis Mitte der 2030er Jahre soll der HL-LHC die Datenmenge nochmal verzehnfachen. Belle-II geht Ende 2019 mit allen Komponenten in Betrieb und soll bis Ende der POF IV-Periode Daten liefern.

Das Topic hat sich folgende spezifische Ziele gesetzt:

- Es werden genaue Vermessungen der Eigenschaften des Higgs-Bosons am LHC/HL-LHC sowie hochpräzise Untersuchungen der elektroschwachen und starken Wechselwirkung am LHC/HL-LHC und mit dem Belle II-Experiment durchgeführt. Von Belle II werden tiefe Einblicke in die Ursachen der Materie-Antimaterie-Asymmetrie erwartet.

Die verfolgten Experimente dienen auch der Suche nach neuen Teilchen und Phänomenen, entweder durch eine direkte Beobachtung oder durch Abweichungen zwischen Theorie und Präzisionsmessung.

Neu in der PoF IV ist die Suche nach Axionen und ähnlichen hypothetischen Teilchen mit dem ALPS II-Experiment bei DESY. Darüber hinaus werden die technische und finanzielle Machbarkeit der möglichen Nachfolgeprojekte MADMAX und IAXO erarbeitet und ggf. bereits erste Demonstratoren fertiggestellt.

- Diese Aktivitäten treiben das Thema des Verständnisses der Kosmologie voran, beleuchten die „dunkle Seite“ des Universums und sind komplementär zu denen der Astroteilchenphysik im Topic Materie und Strahlung vom Universum.

## Topic Kosmische Materie im Labor

Das Helmholtz-Zentrum GSI mit den Außenstellen HI Mainz und IKP Jülich tragen zu diesem Topic bei. Im Topic werden an den Beschleunigeranlagen der GSI/FAIR und mit ALICE am CERN die komplexen und exotischen Materieformen untersucht, die die Dynamik im Frühen Universum und von Sternen dominieren. Die Komplexität von Materie wird auf allen Längenskalen studiert, vom Verhalten und dem Aufbau von Hadronen aus Quarks und Gluonen und der dynamischen Erzeugung ihrer Masse bis zu den komplexen und vielfältigen Strukturen von Atomkernen und Kernmaterie und ihrer Bedeutung für die Entwicklung unseres Universums.

Der Aufbau und die schrittweise Inbetriebnahme der FAIR-Beschleuniger und Speicherringe sowie der Detektorsysteme sind eine dominante Aufgabe für die erste Hälfte der PoF IV-Periode, in der erste Teilchenstrahlen erwartet werden. Es folgt die Datennahme der Detektoren CBM, NUSTAR und PANDA (das APPA-Projekt ist dem Programm MML zugeordnet). Bis dahin ermöglichen die bereits verfügbaren Anlagen der GSI und die ersten Instrumente für FAIR ein ambitioniertes Messprogramm, die sogenannte FAIR Phase-0, die durch Forschungsaktivitäten an anderen internationalen Forschungsinfrastrukturen ergänzt werden.

Spezifische Ziele sind

- die Untersuchung des Phasendiagramms von heißer und dichter Kernmaterie mit Auswirkung auf die Zustandsgleichung von astrophysikalischen Objekten wie Supernovae, Neutronensternen und verschmelzenden Neutronensternen. Daraus können sich auch neue Erkenntnisse über Gravitationswellensignale ergeben;
- die Untersuchung der Kernstruktur und der Reaktionsphänomene weit entfernt vom sogenannten Tal der Stabilität. Insbesondere soll aus dem Studium des r-Prozesses ein besseres Verständnis der Elemententstehung im Universum in Supernovae und Neutronenstern-Verschmelzungen folgen, z.B. die Elementhäufigkeiten der Elemente Gold, Platin und darüber hinaus
- Tests der QCD-Vorhersagen für exotische Teilchenzustände durch Präzisionsmessungen von Proton-Antiproton-Kollisionen.

Das Helmholtz-Institut Mainz beteiligt sich am Topic Kosmische Materie im Labor mit wesentlichen Beiträgen zum PANDA-Experiment, zur Physik der Hadronen und Kerne und zur Entwicklung von Beschleunigern und Detektoren in den Programmen MU und MT. Das IKP in Jülich baut federführend den HESR für FAIR und beteiligt sich im Topic "Kosmische Materie im Labor" an den Vorbereitungen und Tests von FAIR Beschleuniger- und Detektorsystemen sowie mit wesentlichen Beiträgen zu PANDA. Darüber hinaus entwickelt das IKP in Jülich Methoden zur Messung elektrischer Dipolmomente geladener Teilchen und beteiligt sich an Neutrinoexperimenten.

## Topic Materie und Strahlung vom Universum

Die Helmholtz-Zentren DESY, KIT und IPP tragen zu diesem Topic bei, in dem die hoch-energetischen Teilchen und Prozesse im Kosmos sowie die fundamentalen Eigenschaften von Neutrinos und der Dunklen Materie Gegenstand der experimentellen und theoretischen Forschung sind.

Im Topic werden führende Beiträge zu großen Observatorien für verschiedene Strahlungsarten aus dem Universum geleistet.

Das Cherenkov Telescope Array CTA für hochenergetische Gammastrahlung soll bis 2025 seinen Betrieb aufnehmen. CTA wird als offenes Observatorium der Astroteilchenphysik mit dem Wissenschafts- und Datenzentrum bei DESY in Zeuthen betrieben.

Das Neutrinoobservatorium IceCube am Südpol soll bis 2023/24 ein Upgrade mit sieben zusätzlichen Detektor-Strings und Detektoren auf der Eisoberfläche erhalten. Mit dem Upgrade wird IceCube-Gen2 vorbereitet.

Die Eigenschaften der Neutrinos, insbesondere die Masse, werden mit dem KATRIN-Experiment vermessen, das 2018 in Betrieb genommen wurde und im Laufe des Jahres 2019 in den 5- bis 7-jährigen Regelbetrieb zur Neutrinomasse geht.

Spezifische Ziele sind

- ein umfassendes Verständnis der Struktur des gesamten Universums, das sich aus den Beobachtungen der verschiedenen komplementären Boten erschließt (Gammastrahlung, Neutrinos, Teilchen und Kerne und Gravitationswellen). Dieser sogenannte *multi-messenger*-Zugang wird in der PoF IV-Periode signifikant verstärkt;
- proaktive Zusammenführung von existierenden und zukünftigen Daten der Observatorien zu einem Daten- und Analysezentrum der Hochenergie-Astroteilchenphysik;
- die Messung oder stringenteste Eingrenzung der Masse der Elektron-Neutrinos mit dem KATRIN-Experiment soll bis Ende der PoF IV-Periode erfolgt sein. Da insbesondere sterile Neutrinos signifikante Beiträge zur Dunklen Materie darstellen können, wird die Machbarkeit einer entsprechenden Kampagne zur Suche nach Dunkler Materie mit KATRIN untersucht.

## Große Forschungsanlagen des Programms MU

Für experimentelle Zugänge sind häufig große und äußerst anspruchsvolle Forschungsinfrastrukturen notwendig, wie Teilchenbeschleuniger und -detektoren, Teleskope, ausgedehnte Detektorfelder, oder Untergrundlabore. Es ist charakteristisch für das Programm, dass sich diese Instrumente aufgrund der notwendigen Beobachtungsbedingungen an entfernten, teilweise schwer zugänglichen Orten befinden, z. B. am Südpol oder in der argentinischen Pampa.

Das Programm MU nimmt die Herausforderungen auf, die sich aus der wissenschaftsgetriebenen Weiterentwicklung und Hinführung zu einer modernen digitalen Open-Science-Kultur ergeben.

Von großer Bedeutung ist

- der Bau und die Implementierung der Experimente für den Hochluminositäts-LHC,
- die Entwicklung neuartiger Sensoren und Detektorsysteme für zukünftige Experimente der Teilchen-, Hadronen-, und Astroteilchenphysik,
- der Aufbau des Gamma-Observatoriums CTA als offenes Observatorium der Astroteilchenphysik mit dem Wissenschafts- und Datenzentrum,
- die Erstellung eines TDR des IAXO-Experiments zur Suche nach axionartiger Dunkler Materie,
- die Realisierung des interdisziplinär nutzbaren Neutrino-Observatorium IceCube-Gen2 am Südpol,
- die Realisierung des Global Cosmic Ray Observatory GCOS, wenn das Auger-Observatorium mit Hilfe des AugerPrime-Upgrades deutliche Hinweise auf die Position von Quellen der energiereichsten kosmischen Strahlung findet, und
- die Realisierung des DARWIN-Projekts zur Suche nach schweren Teilchen der Dunklen Materie

### **LK II-Anlagen**

Die LK II- Forschungsinfrastrukturen der GSI/FAIR im Programm MU sind die Beschleunigeranlagen UNILAC, SIS-18 und ESR sowie der FAIR Green IT-Cube.

KIT betreibt das deutsche Tier1-Zentrum GridKa für die LHC-Experimente, für Belle und weitere Konsortien aus der Teilchen- und Astroteilchenphysik. Insbesondere soll GridKa weiterentwickelt werden um in der Lage zu sein, die deutlich höheren Datenflüsse des HL-LHC zu bewältigen.

### **Strategieprozesse**

Das Programm wird sich sowohl in den deutschen und internationalen Strategieprozessen wie auch in den internationalen Komitees ICFA, NuPECC und APPEC an zentralen Stellen einbringen und damit Einfluss auf die richtungsweisenden Entscheidungen des Feldes in den kommenden Jahren ausüben.

### 3.3.2. Programm „Von Materie zu Material und Leben“ (MML)

Das Programm MML erforscht die detaillierte Struktur und die elektronischen, magnetischen und chemischen Eigenschaften von Materie und Materialien sowie elektronische, katalytische und (bio-) chemische Prozesse. Unter gezielter Nutzung der MML-Großgeräte und deren diagnostischen Möglichkeiten erfolgen diese Untersuchungen auf allen relevanten Längen- und Zeitskalen.

In diesem Programm geht es also um die Erforschung von Strukturen, Strukturbildung und Eigenschaften von Materie und (Bio-)Materialien auf allen relevanten Längen- und Zeitskalen, wie sie nur unter gezielter Nutzung der Großgeräte des Forschungsbereichs möglich sind. So ergänzt der Forschungsbereich im Topic „Materialien“ die Materialkompetenzen in den Forschungsbereichen Information und Energie.

Die zentralen Forschungsschwerpunkte zielen auf die dedizierte Nutzung der Großgeräte und sind wie folgt:

- Erforschung des Zusammenhangs zwischen Struktur und Dynamik und den daraus resultierenden Eigenschaften und Funktionen der Materie, auch unter extremen Bedingungen;
- Aufklärung der Eigenschaften von Materialien und deren Wechselwirkung mit biologischen, chemischen und physikalischen Prozessen;
- In situ/operando Untersuchungen unter Realbedingungen mit Blick auf die zielgerichtete Entwicklung neuer Materialien und Wirkstoffe;
- Aufklärung der Struktur und Funktion der Bausteine des Lebens sowie damit verbundener biologischer Prozesse und Reaktionen auf externe Stressoren;
- Bereitstellung und Unterstützung bei der Anwendung neuartiger analytischer Methoden und Dienste für Industrieunternehmen zusammen mit entsprechendem Technologietransfer.

Um diese Themen möglichst effektiv anzugehen, wurde die Struktur der Programmt Themen neu aufgestellt und ist zukünftig in drei neue Topics gegliedert, die im Folgenden basierend auf ihren Zielsetzungen erläutert werden.

#### a) Materie – Dynamik, Mechanismen und Kontrolle

In diesem Programmt hema stehen grundlegende Aspekte der Struktur und Dynamik von komplexer Materie im Vordergrund. Hierzu wird ein vertieftes Verständnis der den Materieeigenschaften zugrundeliegenden Mechanismen angestrebt.

- **Neue Erkenntnisse zu Prozessen in starken Feldern:**

Die Beobachtung und Nutzung von nichtlinearen Röntgenprozessen soll vorangetrieben werden. Zum Beispiel soll die stimulierte Röntgen-Raman-Streuung an biologisch und chemisch relevanten Proben demonstriert werden. Der erstmalige Nachweis von verschränkten Photonen aus einem dynamisch kontrollierten Zustand von angeregten Mössbauerkernen soll bis Mitte von PoF IV erfolgen. Mit Hilfe intensiver Terahertz-Strahlung

sollen zudem „Filme“ transienter elektronischer Zustände möglich gemacht werden, z.B. von komplexen organischen Systemen in Wasser. Mit den neuen Speicherring- und Fallenanlagen für Ionen soll die Vermessung der Struktur (z.B. g-Faktor gebundener Elektronen) und Dynamik (z.B. korrelierte Vielfachionisation) elektronischer Systeme mit bislang unerreichter Präzision gelingen. Komplementäre Experimente sollen an XFELs durchgeführt werden. Insbesondere soll dort der Nachweis von Polarisierungseffekten in extremen Feldern wie bspw. die Doppelbrechung im Vakuum realisiert werden. Erste Resultate werden für die zweite Hälfte von PoF IV erwartet. Gegen Ende der Förderperiode soll die Computersimulation von XFEL-induzierter Dynamik in komplexer Materie gelingen.

- **Fortschritte bei Beobachtung und Steuerung von Echtzeitdynamik:**

Während der ersten Hälfte von PoF IV sollen die konzertierten ultraschnellen Übertragungen von Elektronen, Protonen und Wasserstoffatomen zwischen Molekülen und die einhergehende Modifikation molekularer Wechselwirkungen durch Lösungsmittel, wie Wasser, identifiziert werden. Parallel dazu sollen Wirkprinzipien und relevante Zeitskalen auf der atomaren Ebene durch die Selektivität innovativer Röntgenmethoden erfasst und dadurch entscheidende transiente Zustände sowie Eigenschaften des Gleichgewichts und Nichtgleichgewichts identifiziert werden. Während der zweiten Hälfte der Förderperiode sollen transiente sub-zyklen optische Wellenformen mit mehreren Millijoule Pulsenergie mit multi-kHz Pulswiederholraten zur Verfügung gestellt werden. Damit soll bis zum Ende von PoF IV die Steuerung der chemischen Reaktivität von biomolekularen Bausteinen auf der Elektronenzeitskala gezeigt werden. Zudem sollen geeignete FEL-Röntgenimpulsfolgen erzeugt werden, um die Bewegung von Elektronen in Aminosäurederivaten zu steuern.

- **Neue Einsichten in Materie bei extremen Bedingungen:**

Extreme Materiezustände sollen mit Ionenstrahlen, intensiven Laserpulsen und Röntgenstrahlen erzeugt und untersucht werden. Mit ersten Ergebnissen ist für die Mitte von PoF IV zu rechnen. Gegen Ende der Förderperiode sollen die Phasendiagramme komplexer Mischungen leichter Elemente in planetaren Umgebungen sowie die Rolle von wasserhaltigen Mineralen bei der Entstehung von Vulkanen und Erdbeben detailliert erforscht werden. Von großem Interesse ist insbesondere die Wechselwirkung von Strömungen und Magnetfeldern. So soll der erstmalige Nachweis des homogenen Dynamoeffekts in einer präzedierenden Natriumströmung in 2024 erfolgen. Zudem sollen mit Teilchenbeschleunigern wichtige Informationen zu den führenden Reaktionen des Wasserstoffbrennens im Sonneninnern gewonnen werden. Erste Leuchtturm-Experimente mit Hochleistungslasern an der XFEL-Röntgenquelle sollen zur Mitte der PoF IV transiente Nichtgleichgewichtszustände in dichten Plasmen erstmals detailliert erfassen.

## **b) Materialien – Quanten-, komplexe und funktionale Materialien**

Das Programm MML mit seiner Systemkompetenz in der gezielten Nutzung der Großgeräte zur Forschung mit Photonen, Neutronen, Ionen und höchsten elektromagnetischen Feldern erschließt und erweitert in einmaliger Weise das Verständnis grundlegender Prozesse der kondensierten und biologischen Materie. Die vielfältigen und größtenteils einzigartigen analytischen Möglichkeiten sind fundamental für eine wissensbasierte Entwicklung von funktiona-

len Materialien und Prozessen. Durch eine wissenschaftsgetriebene Weiterentwicklung der LK II-Forschungsinfrastrukturen, insbesondere bezüglich der zeitlichen und räumlichen Auflösung, stellt das Programm MML u.a. auch anderen Forschungsbereichen einzigartige Werkzeuge für die Entwicklung von Quanten-, Energiematerialien und pharmazeutischen Wirkstoffen zur Verfügung.

- **Struktur und Eigenschaft von Materialien:**

Für die Entwicklung neuartiger, komplexer Materialien ist ein möglichst umfassendes, fundamentales Verständnis der Zusammenhänge von Struktur und Eigenschaft unverzichtbar. Geplant ist es, durch die Entwicklung und Nutzung einzigartiger analytischer Möglichkeiten der LK II-Forschungsinfrastrukturen und der damit erreichten Erkenntnisse eine optimierte Synthese sowie Modifikation (z. B. mittels Ionenstrahlen) neuartiger Materialien zu erlangen. So sollen bis zur Mitte der PoF IV erste wegweisende materialwissenschaftliche Hochfeld-Experimente an der neuen HIBEF-Anlage am XFEL durchgeführt werden. Weiterhin soll ab Mitte der PoF IV durch die gezielte Entwicklung von problemspezifischen Probenumgebungen die Untersuchung von Materialien unter extremen Bedingungen ermöglicht werden.

- **Nanoskalige Funktions- und Quantenmaterialien:**

Die teilweise einmaligen analytischen Potentiale der MML-Anlagen erlauben die Herstellung, Charakterisierung und maßgeschneiderte Modifikation nanoskaliger neuer Funktions- und Quantenmaterialien. Ziel ist es, basierend auf dem grundlegenden Verständnis der elektronischen und strukturellen Eigenschaften, die Funktionalität von Nanostrukturen und nanostrukturierter Materie in rationaler Weise zu optimieren. Dies soll z. B. ab Mitte der PoF IV mit Hilfe eines Niederenergie-Ionenlabors (HZDR) für ultradünne Materialien erreicht werden. Ein besonderes Augenmerk liegt zudem auf dem Übergangsbereich zwischen klassischem und quantenmechanischem Materialverhalten im Zeit-Ort-Energie-Impuls-Raum. Mit Hilfe gezielter Erweiterungen an den MML-Großgeräten werden bis zum Ende von PoF IV die Nanostrukturen umfassend auf der Nanometerlängen- und Femtosekunden-Zeitskala sowohl mit Röntgen-, XUV-, Ionen als auch mit THz-Strahlung und mit Neutronen untersucht und entsprechend optimiert. Weiter ist der Aufbau und Betrieb einer Extraktionslinie mit UHV-Messstands am CRYRING (GSI) zur Strukturierung von Materialien mit einzelnen, höchst geladenen Ionen bis Mitte der PoF IV geplant.

- **Funktionale Materialien für Bauelemente und Anwendungen:**

Um funktionale Materialien und Werkstoffe für neuartige Bauelemente und Anwendungen maßgeschneidert zu entwickeln, sind in-situ und operando-fähige Analysemethoden und deren gezielte Anwendung essenziell. Dies erlaubt eine detaillierte Charakterisierung der Strukturentwicklung und zwar a) *während der Herstellung* neuartiger Nanostrukturen und -materialien im Übergangsbereich zwischen klassischem und quantenmechanischem Materialverhalten, sowie von Materialien, die unter extremen Nichtgleichgewichtsbedingungen entstehen, und b) *während des Betriebs* von darauf beruhenden Bauelementen. Ziel ist die Weiterentwicklung neuer Messmethoden mit verbesserter Orts- und Zeitauflösung. Hier soll z. B. ab Mitte der PoF IV ein additives Fertigungsverfahren (Selective Laser Melting) durch zeitlich hochaufgelöste in-operando Beobachtung des Prozesses mit hochenergetischer Synchrotronstrahlung an PETRA III optimiert werden.

### c) Lebenswissenschaften – Bausteine des Lebens: Struktur und Funktion

Dieses Programmthema zielt auf ein tieferes Verständnis des Lebens und der zugrunde liegenden biologischen Prozesse ab, indem sich die Forschung auf die Bausteine und Organisationsstufen des Lebens – ihre Struktur, Dynamik und Funktion – konzentriert. Untersucht werden hierbei die atomistischen Bewegungen in chemischen und biochemischen Prozessen ebenso wie der strukturelle Aufbau von Zellen oder ganzen Organismen.

- **Struktur und Interaktion Subzellulärer und molekularer Komponenten:** Der Auftrag ist die strukturelle Analyse subzellulärer Komponenten bis hin zu atomarer und Echtzeit-Auflösung einzelner Bausteine (wie Proteine, Membrane, RNA etc.), die in-vitro und in-vivo Untersuchung molekularer (biochemischer) Interaktionen und die Aufklärung der Struktur, Dynamik und Funktionalität von Wasser in komplexer biochemischer Umgebung. Ein mittelfristiges Ziel der Förderperiode ist es, kristallographische Methoden, u.a. serielle Kristallographie, Hochdurchfluss-Röntgenspektroskopie und -bildgebung etc. derart weiterzuentwickeln, dass damit Einflüsse äußerer Stressoren (Medikamente bzw. deren Vorläufer, Ladung, Strahlung etc.) auf die strukturelle Integrität der beteiligten Entitäten bestimmt und Wirkmechanismen aufgedeckt werden können, um in der zweiten Hälfte der Förderperiode, z.B. über strukturbasiertes Screening, weiterführende Anwendungsmöglichkeiten abzuleiten.
- **Morphologie und Funktion biologischer Systeme im Spannungsfeld von Genetik und Umwelt:** Der Auftrag ist es, verstärkt auch höhere Hierarchiestufen wie zelluläre Systeme, Gewebe, Organe bis hin zu kleinen Organismen mit bildgebenden und korrelativen Methoden zu adressieren. Mittelfristiges Ziel sind Ergebnisse zur Morphologie und Funktion biologischer Systeme im Organismus, z.B. exoskelettaler Gelenke, und im Ökosystem, z.B. im Zusammenhang mit dem Insektensterben. Außerdem sollen Röntgenmikroskopie und -tomographie großer Probenserien mit KI-gestützter Bildanalyse kombiniert werden. Damit sollen zum Ende der Förderperiode u.a. Korrelationen zwischen dem 3D Phänotyp und dem Genotyp von Wirbeltiermodellorganismen aufgeklärt werden.
- **Die Wirkung von Strahlung (Ionen, Photonen) und externen Stressoren:** Es werden Zusammenhänge zwischen oben aufgelisteten Komplexitätsebenen ermittelt und biologische strukturdynamische Reaktionen auf verschiedene externe Stressoren und Reize wie Medikamentenwirkstoffe, Toxine und Strahlung untersucht. Mittelfristig soll die Einwirkung hochbrillanter FEL- und Synchrotron-Strahlung auf in-vitro und in-vivo Biomaterie aufgeklärt werden. Weitere Ziele sind die Aufklärung der Auswirkungen dicht- (d.h. lokal stark) ionisierender Teilchenstrahlung auf lebende Materie und, in der zweiten Hälfte der Antragsperiode, weiterer externer Stressoren.
- **Anwendungsspezifische Forschung:** Neue anwendungsrelevante Erkenntnisse sollen in der Biomedizin mit Biomaterialien und künstlichem Gewebe, der Strukturbiologie, der Infektionsforschung, der Bionik und Biotechnologie, der Molekular-, Zell- und Geweberadiobiologie bis hin zur biophysikalischen Modellierung und in der medizinischen Physik und Therapie gewonnen werden, unter Einbindung weiterer Helmholtz-Forschungsbereiche (Energie, Gesundheit etc., s.u.). Mittelfristige Ziele sind die innovative Kombination von Schwerionentherapie und Immuntherapie von metastasierenden Tumoren und

die Evaluierung der Wirksamkeit immuntherapeutischer Medikamente kombiniert mit Teilchentherapie. Als weiteres Ziel sollen mit dem Bereich Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr (DLR) für den Strahlenschutz im Weltraum innovative Abschirmmaterialien an hoch-energetischen Teilchenbeschleunigern untersucht und getestet werden.

Ein enges Zusammenspiel von Experiment und Theorie ist für alle drei Themengebiete des Programms MML essentiell. Gerade im Hinblick auf die stetige Zunahme der bei den MML-Großforschungsanlagen anfallenden Datenmengen sind verstärkte Bemühungen um das tiefere, mikroskopische Verständnis dieser Daten unerlässlich. Daher soll im Zusammenhang mit den experimentellen MML-Forschungsaktivitäten ein besonderes Augenmerk auf der Entwicklung und Anwendung von Theorie, Algorithmen und Simulationen gelegt werden. Folglich wird MML eng mit dem neuen Topic DMA im Programm MT kooperieren, um den zukünftigen Anforderungen in Bezug auf Zugang, Verwaltung und Auswertung von Messdaten an den Großforschungsanlagen in Materie Rechnung zu tragen. Darüber hinaus soll eine enge Zusammenarbeit mit den Programmen MU und MT erfolgen sowie mit den Helmholtz-Forschungsbereichen Information, Energie, Erde und Umwelt, Gesundheit sowie Verkehr, Luft- und Raumfahrt. In Bezug auf MT seien die Entwicklung neuartiger, kompakter Beschleuniger und Strahlungs- wie auch Neutronenquellen aber auch neuartige Instrumentierung/Detektoren beispielhaft genannt. Als offensichtliches Beispiel für die Zusammenarbeit mit MU sei auf den Themenkomplex der extremen Materiezustände und der stellaren Plasmen wie auch auf Präzisionsexperimente im Bereich der elektromagnetischen Wechselwirkung hingewiesen.

### **Große Forschungsanlagen des Programms MML**

Für die Mission und die Forschungsziele des Programms MML spielen die Großgeräte für Photonen, Ionen, Neutronen und hohe Felder und deren Weiterentwicklung und damit verbundene langfristige, strategische Planungen eine zentrale Rolle.

#### **Photonen-Anlagen**

Die Erforschung von Materie an den hochbrillanten Synchrotronstrahlungsquellen BESSY II und PETRA III, sowie an den Freie-Elektronen-Laser-Anlagen FLASH und European XFEL ermöglicht die Untersuchung der Struktur und Dynamik von Materie auf fundamentalen, atomaren Zeit- und Längenskalen in einem sehr breiten Anwendungsbereich. Daher besitzt der Betrieb dieser Anlagen auf höchstem, internationalem Niveau für eine nationale und internationale Nutzergemeinde höchste Priorität. Der Europäische Röntgenlaser XFEL hat seinen Betrieb 2017 aufgenommen. Die Helmholtz-Gemeinschaft wird mit den "Helmholtz International Beamlines" HIB (HZDR, DESY) sichtbar an der wissenschaftlichen Nutzung dieses neuen internationalen Großgerätes beteiligt sein.

Im ersten Teil der Förderperiode PoF IV soll FLASH2020+ realisiert werden und den Nutzerbetrieb aufnehmen. Für BESSY VSR sollen diese Ziele innerhalb der PoF IV Periode erreicht werden.

Die kontinuierliche Weiterentwicklung der MML-Photonenquellen unter Berücksichtigung ihrer komplementären Strahleigenschaften und der bewährten Aufteilung des Photonen-

spektral- bzw. Elektronenenergiebereichs im europäischen und internationalen Kontext ist von essentieller Bedeutung für die Wettbewerbs- und Zukunftsfähigkeit dieser Quellen und damit des gesamten MML-Programms. In diesem Rahmen wird in PoF IV die Entwicklung einer gemeinsamen und abgestimmten Quellenstrategie weiter vorangetrieben, in enger Konsultation auf europäischer Ebene im Rahmen eines Roadmap-Prozesses von LEAPS (League of European Accelerator Based Photon Sources). Mit dem Ziel, die folgenden Projekte auf der nationalen Roadmap zu platzieren, sollen im ersten Jahr der PoF IV–Periode CDRs (Conceptual Design Reports) und TDRs (Technical Design Reports) für PETRA IV, und DALI vorliegen. Für BESSY III soll spätestens Mitte der PoF IV–Periode ein CDR fertiggestellt werden und in der zweiten Hälfte der PoF IV–Periode ein entsprechender TDR.

Ebenfalls im Verlauf der PoF IV–Periode sollen Szenarien zur Weiterentwicklung des European XFEL in Richtung auf eine kontinuierliche Pulsabfolge und einen zweiten Fächer von weiteren Strahlführungen in enger Abstimmung mit dem XFEL-Management, XFEL-Council und auf europäischer Ebene im Rahmen von LEAPS ausgearbeitet werden.

### **Neutronen-Anlagen**

Die Erforschung von Materialien mit Neutronen an weltweit führenden Quellen, u.a. der ESS (Inbetriebnahme voraussichtlich 2025), ILL, SNS und MLZ, wird über die Nutzerplattformen „Jülich Centre for Neutron Science“ (JCNS) und „German Engineering Material Science Centre“ (GEMS, HZG) organisiert. Eine Abstimmung mit und gegenüber den europäischen Einrichtungen erfolgt über die neugegründete "League of advanced European Neutron Sources" (LENS). Eine Schlüsselrolle spielt das Heinz Maier-Leibnitz Zentrum MLZ als die nationale Nutzereinrichtung. Im Rahmen der Vision MLZ 2030 soll dieses Zentrum in drei Stufen ausgebaut werden: (i) Anschluss und Inbetriebnahme der Instrumente in der Neutronenleiterhalle Ost, (ii) Transfer, in Abstimmung mit den Zuwendungsgebern, und Aufrüstung von Instrumentierung des BERII-Reaktors und (iii) Realisierung neuer Instrumente zur Erschließung weiterer Wissenschaftsbereiche. Zusammen mit den MLZ Kooperationspartnern wird die Realisierung dieser Aufgaben bis Mitte bzw. Ende der PoF IV-Periode angestrebt.

Die deutschen Partner bei ESS beteiligen sich an sieben Projekten zur Instrumentierung und haben bei fünf Projekten die Federführung. Diese Instrumente sollen zur Mitte der PoF IV-Periode in den Nutzerbetrieb übergehen. Im Rahmen einer deutsch-russischen Kooperation soll ein Beitrag dazu geleistet werden, den PIK-Reaktor für die Forschung mit Neutronen zu erschließen. Diese neue Aufgabe wird über den derzeitigen Zeitrahmen von PoF IV hinaus zu erfüllen sein.

Ein zentraler Bestandteil der Neutronenstrategie ist die Entwicklung und Realisierung kompakter beschleunigergetriebener Neutronenquellen, die durch Optimierung auf Brillanz zur ESS komplementäre Experimente ermöglichen und durch ihre Skalierbarkeit ein breites Anwendungsspektrum finden werden. Dieses neuartige Konzept soll durch die Vorlage eines CDR und TDR bis Mitte PoF IV evaluiert werden und auf dieser Basis innerhalb der PoF IV über den Bau eines Prototypen in Abstimmung mit den Zuwendungsgebern entschieden und ggf. realisiert werden.

## **Ionen-Anlagen**

Die Forschung mit Ionen erfolgt an den komplementären Infrastrukturen des HZDR und der GSI/FAIR. Basierend auf dem gezielten Einsatz dieser MML-Großgeräte, umfasst das Programm die Erforschung von Materie unter extremen Bedingungen, die Nanowissenschaften und die Strahlentherapie mit geladenen Teilchen. Am HZDR steht das Ion Beam Center (IBC) für die Anwendung in der Materialforschung, in interdisziplinären Forschungsfeldern (Ressourcentechnologie, Geomorphologie, Umwelt- und Klimaforschung) und den Ionenstrahlenservice für industrielle Partner zur Verfügung. In den kommenden Jahren sollen vor allem der Aufbau eines Niederenergie-Ionenlabors zur Modifikation und Analyse von 2D-Materialien sowie die signifikante Ausweitung des AMS-Betriebs im Vordergrund stehen. Bei GSI soll die Entwicklung neuartiger FAIR-Instrumentierung für die Experimente der international aufgestellten APPA-Kollaborationen (BIOMAT: Biophysik und Materialforschung; HED@FAIR: Plasmaphysik; SPARC: Atomphysik) vorangetrieben werden und an den gegenwärtigen Beschleuniger- und Speicherringanlagen der GSI zum Einsatz kommen (UNILAC, SIS18, ESR und HITRAP). Ab 2021 soll der neu installierte Speicherring CRYRING den regulären Betrieb aufnehmen und hochgeladene, abgebremste Ionen den Experimenten zur Verfügung stellen. Für die Atomphysik und die Materialforschung werden hierdurch neuartige Möglichkeiten zur Untersuchung der Materie unter extremen Bedingungen erschlossen. Ab 2024/2025 sollen für alle APPA-Kollaborationen erste Experimente auch mit den neuen FAIR-Anlagen APPA-Cave und HESR (High Energy Storage Ring) möglich werden, die Ionen höchster Energien und Strahlqualität liefern werden.

## **Hochfeld-Anlagen**

Die Erforschung von Materie in höchsten elektromagnetischen Feldern erfolgt an Forschungsinfrastrukturen des HZDR (HLD, ELBE, DRACO und PENELOPE sowie zukünftig HIBEF) und der GSI/FAIR (PHELIX). Das Hochfeld-Magnetlabor Dresden (HLD) am HZDR ist eine deutschlandweit einzigartige Einrichtung, in dem ultrahohe Magnetfelder zur Verfügung gestellt werden, die für grundlegende Untersuchungen, insbesondere im Bereich der Festkörperphysik und Materialwissenschaften, genutzt werden können. Zusammen mit den Hochfeld-Laboratorien in Nijmegen, Grenoble und Toulouse bildet das HLD das European Magnetic Field Laboratory (EMFL). Als Plattform bietet das EMFL den Nutzern einen zentralen Zugang zu den Infrastrukturen der einzelnen Partner, der passgenau auf die experimentellen Notwendigkeiten abgestimmt ist. Als europäische Institution ist EMFL weltweit sichtbar und verfolgt eine gemeinsame Strategie für die Weiterentwicklung der einzelnen Labore, aber auch der Hochfeld-Forschung insgesamt. Hier liegt ein Schwerpunkt in den kommenden Jahren darin, die Integration weiterer Partnerinstitutionen voranzutreiben. Am ELBE-Zentrum für Hochleistungsstrahlenquellen (HZDR) werden beschleuniger-basierte Infrarot- und Terahertz (THz)-Quellen zur Erzeugung von hochintensiven Photonenpulsen genutzt, um die Struktur und Dynamik von Materie über einen breiten Bereich von Disziplinen zu untersuchen. Daneben bietet ELBE Elektronenstrahlen und eine Reihe von Sekundärstrahlungsquellen (Neutronen, Positronen, Gammastrahlen) für das Studium von Materie und Materialien unter extremen Bedingungen, die Physik von Materialdefekten und für die Strahlenbiologie, was auch für Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aus den Forschungsbereichen Gesundheit, Energie und Information von großer Relevanz ist. DRACO und PENELO-

PE (HZDR) sowie PHELIX (GSI/FAIR) sind einzigartige Hochleistungslasersysteme, mit denen unter anderem experimentell bisher nicht zugängliche Materiezustände und die Physik starker Felder studiert werden können. Mit HIBEF entsteht am European XFEL derzeit eine neue Infrastruktur, in der hohe Felder mit brillanten Röntgenstrahlen gekoppelt werden können. In den ersten Jahren der PoF IV-Periode soll die Hochfeld-Anlage HIBEF in den Nutzerbetrieb übergehen. Außerdem entwickelt das HZDR mit DALI (Dresden Advanced Light Infrastructure) aktuell die Konzeption einer neuen Forschungsinfrastruktur, die gepulste Magnetfelder, hochintensive Lasersysteme und Hochfeld-THz-Strahlanlagen unter einem Dach vereinigen soll.

### 3.3.3. Programm „Materie und Technologien“ (MT)

Das Programm Materie und Technologien erforscht die Möglichkeiten und die Grenzen heutiger und zukünftiger beschleunigerbasierter Forschungsanlagen und untersucht, wie die dort und an anderen Experimenten entstehenden extremen Teilchen- und Photonenflüsse und hohen Felder optimal erfasst und die dabei generierten Daten verarbeitet werden können.

Die programmweiten Herausforderungen von MT sind:

- Die Physik der Beschleunigung geladener Teilchen soll umfassend untersucht werden und die Beschleunigertechnologie im Hinblick auf höchste Brillanz, Luminosität, Kompaktheit und Stabilität weiterentwickelt werden.
- Das Verständnis der Physik des Nachweises von Strahlung soll weiter vertieft und entwickelt werden und in konkreten Detektorsystemen resultieren, die bis an die physikalischen Grenzen der Orts-, Energie- und Zeitauflösung gehen.
- Die Digitalisierung des wissenschaftlichen Prozesses in allen Forschungsfeldern in Materie soll mit innovativen Methoden und Technologien vorangetrieben werden, um die in Materie in extremer Menge und hoher Komplexität entstehenden Daten zu verarbeiten und somit optimal Wissen aus diesen Daten zu extrahieren und bereitzustellen.

Für die kommende Förderperiode PoF IV stehen die Herausforderungen durch die umfassende Digitalisierung aller Lebensbereiche und insbesondere auch der Forschung im Bereich Materie im Mittelpunkt der Arbeit. In einem neuen Topic „Data Management and Analysis“ (DMA) werden Aktivitäten hierzu gebündelt. Damit ist das Programm in drei Topics organisiert: „Accelerator Research and Development“ (ARD), „Detector Technologies and Systems“ (DTS) und DMA. Die in den Topics behandelten Themen erfordern eine intensive Zusammenarbeit und eine in enger Abstimmung kontinuierlich weiterentwickelte Strategie. Insbesondere das neue Topic DMA wird bewusst als Querschnittsthema aufgestellt, um eine enge Verzahnung mit den beiden anderen Programmthemen, mit den beiden anderen Materie-Programmen, dem Forschungsbereich Information und den Inkubatorprojekten in Helmholtz zu erreichen. Darüber hinaus sollen Verbindungen entstehen, die über die Helmholtz-Gemeinschaft hinauszielen wie beispielsweise zum von Helmholtz-Gemeinschaft, Max-Planck-Gesellschaft und TU Dresden initiierten, zukünftigen Center for Advanced Systems

Understanding (CASUS), oder dem Center for Data and Computing Science (CDCS) in Hamburg. DMA wird auch eine wichtige Rolle in der Koordination von Scientific-Computing-Projekten in Materie spielen. Nur durch eine klare Fokussierung und Bündelung der Ressourcen im Bereich Data Science können Resultate auf internationalem Spitzenniveau erreicht werden.

Eine weitere wichtige Änderung in der Programmstruktur ist der Aufbau einer MT angegliederten LK II Infrastruktur, der „Interdisciplinary Data and Analysis Facility“ (IDAF). Diese geht aus dem bisherigen Tier-2-Zentrum am DESY hervor, wird aber deutlich breiter aufgestellt um der gesamten Materie-Community als Nutzereinrichtung zur Verfügung zu stehen und dazu in Ausstattung, Methodik und Services für die Wissenschaft in Materie optimal angepasst zu sein.

In enger Abstimmung der beteiligten Zentren werden Aktivitäten zum Wissens- und Innovationstransfer weiter intensiviert werden. Aufbauend auf einer Serie von erfolgreichen Transferprojekten sollen aktiv weitere Möglichkeiten in diesem Bereich identifiziert und initiiert werden.

Ein entscheidender Faktor zum Erfolg des Forschungsprogramms in MT ist die Rekrutierung und die professionelle Entwicklung von Menschen im Programm. Die Anwerbung exzellenter Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Natur- und Ingenieurwissenschaften und Technikerinnen und Technikern in den Forschungsbereich und das Aufzeigen nachhaltiger Karrierechancen spielt dabei eine zentrale Rolle.

Um diese sehr ambitionierten Ziele zu erreichen, sind eine Reihe von konkreten Zielen identifiziert worden:

Die Ziele im **Topic ARD** sind:

- **Entwicklung von zuverlässigem Dauerstrichbetrieb von SCRF Beschleunigern.** Bis zur Mitte der PoF IV Periode soll gezeigt werden, dass SCRF Systeme für den effizienten Dauerstrichbetrieb mit mittleren Gradienten für die Anwendung in FEL, Speicherringen und Hadronen-Linearbeschleunigern einsetzbar sind. Konkrete Beispiele, für die diese Entwicklungen relevant sind, sind BESSY VSR sowie die Ausbaupläne des EU-XFEL und FLASH2020, DALI und der Hadronen-Linearbeschleuniger, z. B. zur Erzeugung superschwerer Elemente.
- **Optimierung von Parametern von Beschleunigern für Hadronen und Elektronen, um ultimative Intensitäten und Stabilitäten zu erreichen.** Radiofrequenzbasierte Beschleuniger werden auf absehbare Zeit eine zentrale Rolle im Forschungsbereich spielen. Die Weiterentwicklung dieser Technologie und die Entwicklung neuer Konzepte, insbesondere im Hinblick auf Stabilität, Flexibilisierung und Optimierung, auch unter Kostenaspekten, bilden einen Schwerpunkt in der kommenden Förderperiode. Anwendungsbeispiele sind hier u.a. Diffraktions-limitierte Synchrotronstrahlungsquellen oder Hadronenbeschleuniger der nächsten Generation, wie z. B. skalierbare Neutronenquellen, die in der ersten Hälfte der PoF IV eine große Rolle spielen werden. Die Weiterentwicklung des FAIR-Komplexes wird durch die Rückkehr der GSI in die PoF sichtbar werden.

- **Entwicklung avancierter Konzepte von Strahlkontrolle, -dynamik und -diagnose.** Moderne RF-betriebene oder plasmabasierte Beschleuniger erfordern innovative Technologien zur Diagnose und Kontrolle der zunehmend komplexen Strahldynamik bzw. zur Formung der Teilchen- und Photonenstrahlparameter. Unterstützt durch den Betrieb von Beschleunigertestanlagen werden große Fortschritte im Bereich der as- und fs-Diagnose und Kontrolle erwartet, die in enger Zusammenarbeit insbesondere mit DTS, sowie im Bereich der Weiterentwicklung von Optimierungs- und Regelstrategien/Technologie zusammen mit DMA erarbeitet werden.
- **Entwicklung von Konzepten kompakter Beschleuniger bis zur Anwendbarkeit.** Die Entwicklung kompakter, innovativer Beschleunigeranlagen spielt eine zentrale Rolle im MT-Programm. Innerhalb der nächsten Jahre sollen insbesondere die Möglichkeiten der verteilten ATHENA Forschungsinfrastrukturen genutzt werden. Zusammen mit den europäischen Partnern soll spätestens im Laufe der PoF IV geklärt werden, wo eine erste europäische Anlage basierend auf Plasmabeschleunigung gebaut wird. Parallel wird intensiv die Anwendung von Plasma basierenden Beschleunigern für einen breiten Bereich von Anwendungen studiert werden. Beispiele sind kompakte Synchrotronstrahlungsquellen für wissenschaftliche Studien und Systeme für medizinische und industrielle Anwendungen. Diese Arbeiten werden auch in enger Abstimmung mit europäischen Partnern durchgeführt.

Wissenschaftlich verfolgt das **Topic DTS** folgende Ziele:

- **Optimierung der Sensitivität, sowie der Zeit-, Orts- und Energieauflösung von Sensoren** im Kontext von neuartigen Beschleunigern und extremen Quellen. Neben der im Moment dominierenden Siliziumhalbleitertechnologie für Sensoren wird das DTS-Portfolio insbesondere im Bereich der supraleitenden Sensoren bis zur Mitte der PoF IV-Periode deutlich ausgebaut werden. Des Weiteren werden für den Einsatz am EU-XFEL neue Detektoren entwickelt werden, die für einen Dauerstrichbetrieb ausgelegt sind.
- **Entwicklung von neuartigen Detektor- und Auslesekonzepten** für extreme Datenraten und Umgebungen. Die Datenraten, die z. B. am European XFEL und am High-Luminosity LHC in der PoF IV-Periode auftreten, bedingen neue Datenakquisitions- und Triggertechnologien. Um darüber hinaus die Herausforderungen in der Datenübertragung zu bewältigen, wird die Forschung auf dem Gebiet der Silicon-Photonics intensiviert werden. Der Aufbau hochintegrierter anwendungsspezifischer Detektoren mit Millionen von Pixeln erfordert die Entwicklung von neuen Materialien, Integrationskonzepten sowie Aufbau- und Verbindungstechniken. Innerhalb der nächsten Jahre werden Prototypen aufgebaut und charakterisiert, um sukzessive eine neue Generation von Detektorsystemen für höchste Datenraten zu etablieren. Bei nahezu allen Einsatzfeldern des Forschungsbereiches Materie werden auch an die Zuverlässigkeit der Systeme in extremen Umgebungsbedingungen höchste Anforderungen gestellt, insbesondere so zum Beispiel in der Astroteilchenphysik.

- **Zusammenführung von Technologien in anwendungsspezifische, integrierte Detektorsysteme.** Eine wesentliche Rolle des MT-Programms besteht darin, entwickelte Technologien anwendbar zu machen. Das Konzept sieht vor, für spezifische Anwendungen in einem Zeitraum von zwei bis vier Jahren komplette Detektorsysteme zu entwickeln und einzusetzen. Dies ist ein natürlicher Anknüpfungspunkt, um Detektortechnologien in den Innovationstransferprozess an den beteiligten Zentren einzuspeisen.

Neben den genannten wissenschaftlichen Zielen ist eine signifikante Verbesserung der Infrastruktur durch den Aufbau eines verteilten Detektorlabors (DDL) ein erklärtes Ziel des Programmes.

Das neue **Topic DMA** hat sich gemeinsam mit den LK-II Einrichtungen die Umsetzung einer umfassenden Digitalisierungsstrategie für den Forschungsbereich Materie als ein zentrales Ziel gesetzt. Es baut dabei auf einer bereits sehr weit entwickelten Infrastruktur auf, die aber für eine sehr viel heterogenere Nutzerschaft weiter entwickelt werden muss.

- **Entwicklung und Anwendung innovativer digitaler Lösungen für die Handhabung und Analyse der extremen Mengen und Raten komplexer Daten,** die an den Großforschungsanlagen in Materie entstehen. Hierzu wird die Infrastruktur im Bereich Soft- und Hardware ausgebaut werden, die die Behandlung sehr großer Datenmengen für die Nutzer ermöglicht. Modulare, wiederverwendbare und offene Konzepte und Lösungen werden gemeinsam ausgearbeitet werden, um den Zugriff auf die Daten zu regeln und im Sinne von open-data/open-access den Nutzern zur Verfügung zu stellen. Entscheidend für den Erfolg ist dabei die Etablierung einer nachhaltigen Softwareentwicklung mit internationaler Sichtbarkeit. Zu Beginn von PoF IV wird das Tier-2-Zentrum am DESY in die IDAF mit einem geregelten Nutzerbetrieb überführt werden und dem gesamten Forschungsbereich zur Verfügung stehen.
- **Entwicklung und Bereitstellung neuartiger digitaler Methoden zur Wissensextraktion aus Experimenten und digitalen Modellen in Materie.** Ein wesentliches Ziel des Topics ist es, die Methodenkompetenz der Fachwissenschaftler innerhalb von Materie zu bündeln und über gemeinsame Plattformen dem gesamten Forschungsbereich zugänglich zu machen. In enger Zusammenarbeit mit dem Forschungsbereich Information werden neueste Entwicklungen in der Informatik und benachbarten Wissenschaften aufgegriffen und im Forschungsbereich Materie eingesetzt werden.
- **Entwicklung und Integration modernster digitaler Methoden, um Experimente und Anlagen in Materie optimal zu nutzen.** Auf vielen Ebenen werden innovative Methoden und Ansätze benötigt, um das Potential der Digitalisierung des Forschungsbereichs Materie voll auszuschöpfen. Dazu muss im Bereich der Entwicklung der Software für leistungsfähige Kontrollsysteme, leistungsfähige Auslesesysteme sowie von Systemen, um die anfallenden Daten effizient und schnell zu bearbeiten, signifikant investiert werden, in enger Abstimmung mit den anderen Topics im Programm. Eine Einbindung der Nutzer in diesen Prozess ist unumgänglich und erfordert die Entwicklung und Bereitstellung geeigneter Softwarelösungen.

**Große Forschungsanlagen des Programms MT**

Daten- und Analysenzentren sind unverzichtbar, um die großen Datenmengen zu prozessieren und um aus Daten neues Wissen zu generieren. In enger Zusammenarbeit mit den Datenzentren im Programm MU wird das TIER-2-Zentrum am DESY zu einem Zentrum für alle Programme in Materie ausgebaut werden, ohne dabei die Verpflichtungen, die im Bereich LHC oder EU-XFEL bereits bestehen, zu kompromittieren. Diese Interdisciplinary Data and Analysis Facility (IDAF) als eine Nutzereinrichtung wird eine zentrale Rolle bei der Implementierung der DMA Strategie einnehmen.