

*23. September 2016*

# Evaluation der Verbundforschung im Bereich der „Naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung“

---

**Endbericht**

# Evaluation der Verbundforschung im Bereich der „Naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung“

Endbericht

technopolis |group|, 23. September 2016

Dr. Friedrich Dornbusch (Fraunhofer MOEZ)

Velina Schmitz (Fraunhofer MOEZ)

Prof. Dr. Thomas Heimer (Technopolis Group)

Dr. Darjusch Tafreschi (Technopolis Group)

Jérôme Treperman (Technopolis Group)

Dr. Anna-Julia Schulte (Fraunhofer INT)

Dr. Claudia Notthoff (Fraunhofer INT)

# Inhaltsverzeichnis

---

1	Executive Summary.....	2
2	Aufstellung der Fördermaßnahme und Evaluationsansatz .....	8
3	Ergebnisse der Ex-Post Evaluation .....	11
3.1	Auswertung der Projektdaten (A) .....	11
3.2	Auswertung der Wirkung der Fördermaßnahme auf die Wissenschaft (B) .....	13
3.3	Auswertung der Wirkung auf den Wissenschaftsstandort Deutschland (C).....	21
3.4	Auswertung der Ergebnisse zur Aufstellung der Fördermaßnahme (D).....	26
3.5	Bewertung der Gesamtmaßnahme aus Sicht der Ex-Post Evaluation.....	39
4	Ergebnisse der Ex-Ante Evaluation.....	42
4.1	Ergebnisse der Trendanalysen .....	42
4.1.1	Elementarteilchenphysik.....	42
4.1.2	Hadronen- und Kernphysik .....	44
4.1.3	Astro- und Astroteilchenphysik .....	46
4.1.4	Kondensierte Materie .....	49
4.2	Ergebnisse des Expertenhearings .....	52
5	Handlungsempfehlungen zur zukünftigen Ausgestaltung des Förderprogramms .....	54
5.1	Empfehlungen zur Erhöhung der Wirkung auf die Wissenschaft .....	54
5.2	Empfehlungen zur Programmorganisation und dem Förderkonzept .....	56
5.3	Empfehlungen zur Erhöhung der Wirkung auf den Wissenschaftsstandort Deutschland.....	58
5.4	Anforderungen an künftige Evaluationen.....	59

# Tabellen

---

Tabelle 1	Gesamtfördersummen (in €) nach Forschungsfeld und Förderperiode .....	12
Tabelle 2	Hochrechnung der von der Verbundforschung geschaffenen Nachwuchsstellen (nach Forschungsfeld) .....	17

# Abbildungen

---

Abbildung 1	Förderbekanntmachungen der vier Forschungsfelder nach Förderperioden .....	9
Abbildung 2	Wirkungsmodell als Strukturierungshilfe für die Entwicklung des Evaluationsansatzes .....	10
Abbildung 3	Anzahl und Verteilung der gesamten Projekte nach Forschungsfeld und Förderperiode .....	11
Abbildung 4	Anzahl und Verteilung von Erst- und Folgeprojekten (nach Forschungsfeld und Förderperiode).....	13
Abbildung 5	Intensivierung der inhaltlichen Arbeit an Großgeräten (nach Forschungsfeld) .....	14
Abbildung 6	Wären die Beziehungen, die hier entstanden sind, auch ohne das Projekt entstanden? (nach Forschungsfeld) .....	15

Abbildung 7 Hat das Projekt zu einer Modifizierung/Erweiterung der Forschungsausrichtung Ihres Lehrstuhls/Ihrer Arbeitsgruppe geführt? (nach Forschungsfeld) .....	16
Abbildung 8 Anteil (inhaltlich) des Projekts an der gesamten Forschung im Lehrstuhl/Arbeitsgruppe (nach Forschungsfeld) .....	17
Abbildung 9 Anzahl der aus den Projekten resultierenden wissenschaftlichen Publikationen (nach Forschungsfeld) .....	18
Abbildung 10 Entwicklung der Teilnahme an Keynotes, Gutachtertätigkeiten etc. seit Beginn des Projekts (nach Forschungsfeld) .....	19
Abbildung 11 Höhe komplementärer Mittel kumuliert über die Förderperiode des Projekts? (nach Forschungsfeld) .....	20
Abbildung 12 Durch Projekt mehr Teilnahme an Projekten mit ausländischen Partnereinrichtungen (nach Forschungsfeld) .....	21
Abbildung 13 Tätigkeit in ausländischen Gremien, Gutachter im Ausland und Tätigkeit in ausländischen Komitees (nach Forschungsfeld) .....	22
Abbildung 14 Infrastrukturaufbau an Universitäten im Rahmen des Projekts (nach Forschungsfeld) .....	23
Abbildung 15 Anwendungsbezug aus Projektergebnissen im Bereich angewandter, industrienaher Forschung (nach Forschungsfeld) .....	24
Abbildung 16 Anwendungsbezug entwickelter Instrumente im Bereich angewandter, industrienaher Forschung (nach Forschungsfeld) .....	25
Abbildung 17 Volumen der Aufträge im Rahmen des Projekts an externe Dienstleister (nach Forschungsfeld) ....	26
Abbildung 18 Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Erarbeitung neuer Forschungsmethoden (nach Forschungsfeld) .....	27
Abbildung 19 Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Entwicklung innovativer Instrumentierung (nach Forschungsfeld) .....	28
Abbildung 20 Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Weiterentwicklung der Basistechnologie bzw. von Schlüsselkomponenten (nach Forschungsfeld) .....	29
Abbildung 21 Haben sich ungeplante Fragen bzw. Lösungen ergeben? (nach Forschungsfeld) .....	30
Abbildung 22 Bewertung des Aufbaus der Verbundforschung (nach Forschungsfeld) .....	31
Abbildung 23 Einschätzung der Adäquanz der inhaltlichen und operativen Ausgestaltung der Maßnahme (nach Forschungsfeld) .....	32
Abbildung 24 Einfluss der Verbundforschung auf strategische Forschungsplanung der Hochschule (nach Forschungsfeld) .....	33

## 1 Executive Summary

---

Das Bundesministerium für Forschung und Bildung (BMBF) hat das Konsortium bestehend aus Fraunhofer MOEZ (Projektleiter), Fraunhofer INT und Technopolis Group beauftragt, die Evaluation der Fördermaßnahme „Naturwissenschaftliche Grundlagenforschung mit Großgeräten“ durchzuführen. Das Konsortium hat die Evaluation im Zeitraum Juni 2015 bis Mai 2016 durchgeführt. Die Aufgabenstellung der Evaluation der BMBF-Fördermaßnahme **Verbundforschung im Bereich der Naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung mit Großgeräten** beinhaltet neben der Durchführung einer Ex-Ante Evaluation die Durchführung einer Ex-Post Evaluation der Maßnahme über die Jahre 2006 bis 2014. Gegenstand der Ex-Post Evaluation ist die Erfolgskontrolle und Wirkungsanalyse der Fördermaßnahme in den vier Forschungsfeldern **Elementarteilchenphysik, Hadronen und Kerne, Kondensierte Materie** sowie **Astro- und Astroteilchenphysik**. Die Ex-Ante Evaluation beinhaltet die Erstellung forschungsfeldspezifischer Trendanalysen und die Durchführung eines Experten-Audits.

Die hier vorgestellte **Evaluation** besteht aus einer Ex-Post Evaluation, deren Kern die Erfassung der erzielten Wirkungen auf die Wissenschaft, die Wirkung der Programmorganisation und das Förderkonzept sowie der Wirkungen auf den Standort Deutschland darstellt. Der Ex-Anteil Teil beinhaltet forschungsfeldspezifische Trendanalysen sowie die Durchführung eines Experten-Audits mit ausgewählten Expertinnen und Experten aus den jeweiligen Forschungsfeldern als Auditorinnen und Auditoren. Dieser Endbericht enthält die zusammenfassenden Ergebnisse der Evaluation. Die detaillierten Ergebnisse der Evaluation sind in einem separaten Materialband ausgeführt.

Insgesamt zeigen die empirischen Analysen einen sehr positiven **Effekt der Fördermaßnahme auf die Wissenschaft**. So erscheint die Verbundforschung das einzige echte Förderinstrument zu sein, welches universitäre Forschung im Bereich der Entwicklung und dem Bau innovativer Instrumentierungen und Forschungsmethoden an Großgeräten ermöglicht. Attraktive alternative Fördermöglichkeiten werden durch die Förderempfänger nicht gesehen. Die Verbundforschung befördert so in einzigartiger Weise, dass innovative Instrument- bzw. Methodenideen aus den Universitäten an die Großgeräte gelangen, realisiert und schließlich oftmals für eine breite internationale wissenschaftliche Nutzerschaft zugänglich gemacht werden. Dieser Prozess wird insbesondere durch die Förderung „von Köpfen“, d.h. durch die Förderung von herausragenden universitären Wissenschaftlern und deren Arbeitsgruppen (Nachwuchs), ermöglicht. Diese innovativen Instrumente und Methoden steigern neben der Leistungsfähigkeit auch die Attraktivität der jeweiligen Großgeräte(-zentren) für die Wissenschaft und tragen damit zur weltweiten Spitzenforschung bei.

### Ergebnisse der Ex-Post Evaluation

Insgesamt wurden im Rahmen der Verbundforschung in den drei zugrundeliegenden Förderperioden 1032 Projekte gefördert. Dabei waren 336 Projekte im Forschungsfeld der Hadronen- und Kernphysik angesiedelt, 324 Projekte in der Kondensierten Materie, 189 Projekte in der Elementarteilchenphysik sowie 183 Projekte in der Astro- und Astroteilchenphysik. Die Gesamtfördersumme über alle Förderperioden und Forschungsfelder hinweg beträgt 577.140.373€<sup>1</sup>. Die Kondensierte Materie weist über alle Förderperioden hinweg mit knapp 200 Mio. € die höchste Gesamtfördersumme auf. Die Elementarteilchenphysik kommt auf knapp 160 Mio. € und die Hadronen- und Kernphysik auf knapp 128 Mio. € Gesamtfördersumme. Die Astro- und Astroteilchenphysik weist etwa 90 Mio. € Gesamtfördersumme auf.<sup>2</sup>

Die *Auswertung der Wirkung der Fördermaßnahme* auf die Wissenschaft zeigt, dass die Forscher der geförderten Projekte in der Vergangenheit zwar häufig bereits Erfahrung in der Arbeit an Großgeräten sammeln konnten, die Verbundforschung Ihnen aber darüber hinaus den **Zugang zu Großgeräten** ermöglicht, an denen sie bislang nicht gearbeitet haben. Die Verbundforschung fördert und vertieft insbesondere **Kollaborationen** der Forscher mit Kollegen aus anderen Universitäten und Forschungseinrichtungen. Ein Großteil der geförderten Projekte gibt an, dass die Verbundforschung die **Arbeit der Lehrstühle** und Arbeitsgruppen sowohl inhaltlich als auch zeitlich maßgeblich beeinflusst und dazu beiträgt sich auf inhaltliche Schwerpunkte zu fokussieren. Über die vier betrachteten Forschungsfelder und drei Förderperioden hinweg wurden demnach durch die Verbundforschung schätzungsweise ca. 340 Habilitanden, ca. 1750 Post-Docs, ca. 3038 Doktoranden und ca. 3296 Stellen für Masterstudenten bzw. Diplomanden finanziert. Dazu kommen knapp 2601 Stellen für technische Assistenten und studentische Hilfskräfte. Im Rahmen von Verbundforschungsprojekten wird darüber hinaus eine hohe Anzahl wissenschaftlicher **Publikationen, Konferenzbeiträge** und **Abschlussarbeiten** produziert. Die Förderung durch die Verbundforschung unterstützt die Einbindung der Forscher in den wissenschaftlichen Diskurs, was sich durch eine Erhöhung von Gutachteraktivitäten zeigt. Über alle Forschungsfelder hinweg geben ca. 75% der befragten Projekte an, Drittmittel in der Größenordnung von 100.000€ - 1.000.000€ neben der Verbundforschung akquiriert zu haben. Die bibliometrische Analyse zeigt, dass die Forschungsförderung des BMBF sich zumindest in den analysierten Fällen positiv auf das

<sup>1</sup> 10 Querschnittsprojekte, die im Rahmen der Maßnahme im Umfang von €6.298.858 finanziert wurden, sind kein Gegenstand der Evaluation.

<sup>2</sup> Insgesamt besteht der Datensatz aus 1032 Teilprojekten die entweder in Verbundprojekten organisiert sind oder Einzelprojekte darstellen (in letzterem Fall ist der Teilprojektleiter damit auch automatisch der Verbundprojektleiter).

Kooperationsverhalten der geförderten Wissenschaftler auswirkt und zwar sowohl was die Anzahl der Kooperationspartner als auch was die internationale Ausrichtung angeht.

Die *Auswertung der Wirkung auf den Wissenschaftsstandort Deutschland* zeigt hinsichtlich der Zusammenarbeit mit **ausländischen Wissenschaftlern**, dass im Feld der Astro- und Astroteilchenphysik hochgerechnet etwa 150 ausländische Mitarbeiter durch Projektmittel der Verbundforschung finanziert wurden, von denen mehr als 90 Mitarbeiter in Deutschland geblieben sind. In der Hadronen- und Kernphysik wurden etwa 340 ausländische Mitarbeiter finanziert, von denen etwa die Hälfte in Deutschland geblieben ist. In der Elementarteilchenphysik wurden mehr als 600 ausländische Mitarbeiter finanziert von denen ca. 260 Mitarbeiter in Deutschland geblieben sind. Im Feld der Kondensierten Materie wurden ca. 160 ausländische Mitarbeiter durch die Verbundforschung finanziert. Davon sind etwa 100 Mitarbeiter im Anschluss an ihre Projektstätigkeit im Rahmen der Verbundforschung in Deutschland geblieben. Die Teilnahme deutscher Wissenschaftler an Projekten mit ausländischen Partnereinrichtungen (außerhalb der Verbundforschung) hat sich bei der Hälfte der Projekte erhöht. Insbesondere Gutachtertätigkeiten im Ausland haben sich nach Angaben der befragten Wissenschaftler durch die Projekte der Verbundforschung erhöht.

**Spill-Over Effekte** aus der Verbundforschung können in dem Auf- und Ausbau von Infrastrukturen an Universitäten, der Verwertung von Forschungsergebnissen sowie der Verzahnung mit der Industrie identifiziert werden: Insgesamt wurde im Rahmen von ca. 40 % der befragten Projekte Infrastruktur (z.B. Verbesserung von Computing-Infrastrukturen) an Universitäten aufgebaut. Hinsichtlich der **Verwertbarkeit** der Forschungsergebnisse wurde in etwas mehr als 4 % der befragten Projekte auf der Basis der Forschungsergebnisse des jeweiligen geförderten Projekts Patente angemeldet. Aus den Ergebnissen des Projekts erkennen insgesamt 23 % der befragten Projekte einen **Anwendungsbezug im Bereich angewandter, industrienaher Forschung**. Während in der Kondensierten Materie in 37 % der befragten Projekte ein Anwendungsbezug aus den Projektergebnissen erkennbar ist, ist der Anteil in den anderen Forschungsfeldern wesentlich geringer. Der Anwendungsbezug der im Rahmen der Verbundforschung entwickelten Instrumente wird bei 31 % der befragten Projekte gesehen und wird somit etwas besser als der Anwendungsbezug aus den Projektergebnissen eingeschätzt.

Hinsichtlich der Stärkung der Wissensgesellschaft hat es, bezogen auf die **Öffentlichkeitsarbeit**, in 44% der befragten Projekte Veröffentlichungen in den Medien zum geförderten Projekt gegeben. Einen weiteren wichtigen Teil der Öffentlichkeitsarbeit durch die Forschung stellen Veranstaltungen wie z.B. Kinder-Universitäten oder der Girls Day dar. Hier gab es bei 55 % der befragten Projekte solche Veranstaltungen. Schließlich bieten soziale Medien sowie sonstige innovative Kanäle (z.B. Highlights der Physik) die Möglichkeit, die Öffentlichkeit über Projekte zu informieren. Dies wird jedoch lediglich in 25 % der befragten Projekte als ein genutztes Informationsmittel genannt.

Die *Auswertung der Ergebnisse zur Aufstellung der Fördermaßnahme* zeigt hinsichtlich des **Erreichens des Förderziels**, dass im Hinblick auf **die Erarbeitung neuer Forschungsmethoden** der Zielerreichungsgrad bei mehr als 80 % der befragten Projekte als hoch bzw. sehr hoch eingeschätzt wird. Der **Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Entwicklung innovativer Instrumentierung** wird bei mehr als 70 % der befragten Projekte als hoch bzw. sehr hoch angesehen. Der Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Weiterentwicklung der Basistechnologie bzw. von Schlüsselkomponenten wird bei mehr als 66% der befragten Projekte als hoch bzw. sehr hoch eingeschätzt. Der Verbundforschung wird insbesondere bei der Erarbeitung neuer Forschungsmethoden ein hoher Beitrag beigemessen. Ein weiterer Aspekt der Zielerreichung umfasst das Entstehen **ungeplanter Fragen bzw. Lösungen** durch die Arbeit im Projekt. In der Befragung zeigt sich, dass in ca. 44 % der befragten Projekte ungeplante methodische Fragen bzw. Lösungen aufgekommen sind. Doch auch ungeplante modell-theoretische Fragen bzw. Lösungen sowie anwendungsorientierte Fragen bzw. Lösungen (ca. 35 %, respektive 32 %) haben sich im Rahmen der Projektarbeit ergeben.

Bezüglich der **Zieladäquanz der Förderrichtlinien** wird in 87 % der befragten Projekte der Strategieprozess, der der Förderrichtlinie der Verbundforschung zugrunde liegt als bekannt und transparent erachtet. Einem ähnlich hohen Anteil erscheint der Strategieprozess zudem als sinnvoll. Die Einschät-



zung der Adäquanz der inhaltlichen und operativen Ausgestaltung der Maßnahme in den befragten Projekten zeigt, dass die Befragten insbesondere mit der **administrativen Ausgestaltung**, des inhaltlichen Aufwands der Projektbeantragung sowie der Flexibilität der Fördergeber während der Förderperiode größtenteils zufrieden bis sehr zufrieden sind. Größere Unzufriedenheit besteht tendenziell im Bereich der finanziellen sowie personellen Ausgestaltung der Verbundforschung, aber auch bei der Transparenz des Auswahlprozesses der Projektanträge, wo man sich bei knapp 20 % der Projekte sehr unzufrieden zeigt. Bezüglich des **Stellenwerts der Verbundforschung** wird forschungsfeldübergreifend der Aussage voll zugestimmt, dass die Verbundforschung zur Erhöhung des Stellenwerts der Grundlagenforschung an Großgeräten in der jeweiligen Universität bzw. Forschungseinrichtung beiträgt, da die Projekte im Rahmen der Verbundforschung die Entwicklung an Großgeräten überhaupt erst möglich machen. Hinsichtlich der **Wirkung der Förderinstrumente** der Verbundforschung sieht ein Großteil der befragten Projektleiter die Leistungsfähigkeit der jeweiligen Großgeräte durch die Projektergebnisse der Verbundforschung erhöht. Bezüglich der **Effekte der Verbundforschung auf die Großgeräte und deren Betreiber** sind knapp drei Viertel der Interviewten der Meinung, die Weiterentwicklung des jeweiligen Großgeräts bzw. Methodenportfolios hängt aktuell und zukünftig maßgeblich von der Projektförderung im Rahmen der Verbundforschung ab. Forschungsfeldübergreifend wird der Verbundforschung ein großer Einfluss auf die Weiterentwicklung der Großgeräte und deren Methodenportfolios zugeschrieben, da im Rahmen der Projekte der Verbundforschung insbesondere die notwendige intellektuelle Vorarbeit geleistet würde.

Vier **internationale Fallstudien** in Frankreich, der Schweiz, dem Vereinten Königreich sowie in Schweden schließen die Analyse der Aufstellung der Fördermaßnahme ab. Während es in Frankreich und Schweden kein der deutschen Verbundforschung analoges Instrument für die Förderung von Universitäten bei der Forschung zu Methoden und Instrumenten an großen Forschungsinfrastrukturen gibt, existieren im Vereinigten Königreich mit der Großprojektförderung („large projects“) des Projects Peer Review Panel (PPRP) beim Science and Technology Facilities Council (STFC) und in der Schweiz mit dem Programm FLARE des Schweizerischen Nationalfonds (SNF) in fachlichen Aspekten vergleichbare Programme. Deutlich wurde jedoch, dass keines der betrachteten Länder den expliziten Fokus der Verbundforschung, d.h. die primäre Einbindung universitärer Lehrstühle in die Methoden- und Instrumentenentwicklung an großen Forschungsinfrastrukturen, aufweist.

In der forschungsfeldübergreifenden *Bewertung der Gesamtmaßnahme* wurden die Ergebnisse der Ex-Post-Evaluation durch Interviews mit Komiteevorsitzenden, Vertretern der Großgeräte und zusätzlichen Experten gespiegelt und diskutiert. Diese bestätigten die positive Wirkung und Wahrnehmung der Maßnahme in den beteiligten wissenschaftlichen Communities. Einige Aspekte, die wichtig für die künftige Gestaltung der Maßnahme waren, betrafen die strategischen und inhaltlichen Ausgestaltung der Verbundforschung. Hier wurde im Wesentlichen der Erhalt und mit Blick auf die Etablierung von Querschnittsthemen, die Erhöhung der Interdisziplinarität zwischen den Forschungsfeldern angesprochen. Ein weiterer benannter Aspekt war die Aufnahme neuer Themen und damit entsprechender Großgeräte und Experimente. In Bezug auf die strukturelle Ausgestaltung der Fördermaßnahme wird von den Befragten insbesondere eine flexiblere Handhabung der Projektlaufzeiten empfohlen, um ggf. dem langfristigen Charakter einzelner Projekte Rechnung tragen zu können. Weiterhin wurde von den Befragten angeregt, die Transparenz und Kommunikation von vom Fördergeber getroffenen Entscheidungen zu verbessern und eine stärkere Diversifizierung (mit Blick auf Herkunft und Seniorität) bei der Auswahl der Gutachter in den Gutachterausschüssen anzustreben.

## Ergebnisse der Ex-Ante Evaluation

In den Trendanalysen wurden die Perspektiven und Herausforderungen der vier Forschungsfelder erstellt. Die Trendanalysen dienten u.a. als Vorbereitung für das Expertenhearing und wurden in komprimierter Form in ein Input-Papier überführt. Auf Basis dieses inhaltlichen Inputs wurden schließlich – mit den Teilnehmern des Experten-Audits - die zukünftigen Förderbedarfe diskutiert. Im Rahmen der forschungsfeldspezifischen Diskussionen wurden auf Basis des Input-Papieres die Perspektiven, die Herausforderungen und die zukünftigen Förderbedarfe in den jeweiligen Forschungsfeldern diskutiert.

Zentrale, forschungsfeldübergreifende Aspekte waren die gute Bewertung des Zuschnitts der in der derzeit laufenden Förderperiode neu gestalteten drei Forschungsfelder *Physik der kleinsten Teilchen* (vormals *Elementarteilchenphysik* und *Hadronen- und Kernphysik*), *Astro- und Astroteilchenphysik* sowie *Kondensierte Materie*. Darüber hinaus erwiesen sich **Theorieprojekte** als Sonderfall im Rahmen der Förderung. So sollten singuläre Theorieprojekte auch weiterhin nicht Bestandteil der Fördermaßnahme sein, sondern durch die DFG abgedeckt werden. Allerdings bestand Einigkeit darin, dass der Theoriegehalt der experimentellen Projekte auch künftig gewährleistet bleiben muss. Die Auditierenden stimmen weiterhin darin überein, dass der Bedarf an **forschungsfeldübergreifenden Querschnittsthemen** wächst. Als feldübergreifende Querschnittsthemen wurden u.a. Big Data & High-Performance Computing (einschl. Green IT), Detektorenentwicklung sowie Methoden und Konzepte für Beschleunigertechnologien identifiziert. Die Auditierenden wiesen darauf hin, dass die Diffusion der Ergebnisse der Förderprojekte in die Zivilgesellschaft wie auch die Hebelwirkung auf die Wissenschaften erhöht werden sollen. Dafür wurden **flankierende Maßnahmen** diskutiert. Um die **Sichtbarkeit der Verbundforschung** zu erhöhen, soll die Würdigung der Förderung aus Mitteln der Verbundforschung in wissenschaftlichen Publikationen (im Rahmen der Acknowledgements) verpflichtend sein. Zur **Steigerung der Diffusion der Ergebnisse** der durch die Verbundforschung geförderten Projekte in die Zivilgesellschaft („Outreach“) ist nach Ansicht der Auditierenden der Beitrag zu Outreach-Aktivitäten ab einer bestimmten Projektgröße verpflichtend zu gestalten und ein Mechanismus zu entwickeln, der die Informationszulieferung der Projekte für Diffusionsmaßnahmen verbessert. Die Auditierenden sahen gegenüber bspw. der DFG eine zu geringe Wahrnehmung der Fördermaßnahme in der wissenschaftlichen Gemeinschaft. Sie schlugen vor in den zukünftigen Fördermaßnahmen die **Wertigkeit der Förderung zu steigern**, z.B. durch eine „Markenbildung“ und entsprechende Auszeichnung derjenigen, die Förderprojekte erfolgreich beantragt haben („Grant“). Darüber hinaus sahen die Auditierenden hohen Bedarf dafür, **die Anzahl und die Qualifizierung des wissenschaftlichen Nachwuchses** stärker zu befördern. Die bisherige **Strukturierung der Fördermaßnahme**, d.h. die Aufstellung der Verbünde, wurde als unproblematisch und gut funktionierend beschrieben. Die **Flexibilisierung der Projektlaufzeiten** ist den Auditierenden zufolge ein geeigneter Weg, um längerfristige Entwicklungen in den geförderten Projekten abzubilden.

### Handlungsempfehlungen zur zukünftigen Ausgestaltung des Förderprogramms

Zusammengefasst haben die Evaluationsergebnisse gezeigt, dass die Fördermaßnahme **ihre formulierten Ziele erreicht und gut aufgestellt ist**, um auch in Zukunft Wirkung auf die Wissenschaft und den Wissenschaftsstandort Deutschland zu entfalten. Trotz positiven Ergebnissen und Wirkungsnachweisen, hat die Evaluation auch einige Hinweise auf Möglichkeiten und Ansatzpunkte zur weiteren Optimierung der Maßnahme geliefert. Die **forschungsfeldübergreifenden** Handlungsempfehlungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Eine weitere Zusammenfassung von Forschungsfeldern kann nicht empfohlen werden. Jedoch hat die Analyse gezeigt, dass eine höhere **Permeabilität** zwischen den Feldern vorteilhaft wäre.
- Die Förderung von **Theorieprojekten** sollte der DFG überlassen werden. Insofern ist die Auflösung von Theorieverbänden im Rahmen der Fördermaßnahme zu begrüßen. Dies sollte aber nicht dazu führen, den Theoriegehalt bei den experimentellen Projekten zum Bau von Instrumenten und Methoden zu reduzieren.
- Der Bedarf an forschungsfeldübergreifenden **Querschnittsthemen** wächst. Die Evaluatoren empfehlen die Diskussion über die zu fördernden Querschnittsthemen mit Vertretern der bestehenden Gremien und Communities zu führen. Von der Bildung neuer Gremien, die sich nur mit Querschnittsthemen befassen, wird abgeraten.
- Es wird empfohlen, die **Laufzeiten** der Projekte flexibler zu gestalten. Insbesondere sollte über eine Bewilligungszeit von 5-6 Jahren nachgedacht werden, wobei eine Zwischenevaluation immer nach 3 Jahren erfolgen sollte.



- Die **Sichtbarkeit** der Ergebnisse der geförderten Projekte hat sich in der Evaluation als verbesserungsfähig gezeigt. Die Evaluatoren empfehlen in der Förderung zukünftig den Verbänden die Bildung von Ressourcen zu ermöglichen, die zu einer gesteigerten Sichtbarmachung und einem gesteigerten Wissenstransfer der Ergebnisse in die Zivilgesellschaft führen. Dies könnte bspw. durch Ressourcen für Marketingunterstützung für die geförderten Verbände zu sehen sein.
- Die Strategiebildung wie auch die Begutachtung und Entscheidung über förderfähige Verbände wird positiv beurteilt. Die Evaluatoren empfehlen jedoch, die **Kommunikation** der getroffenen strategierelevanten Entscheidungen und deren Begründung in die jeweilige Community zu verbessern, um Lerneffekte in der Community der potentiellen Antragsteller zu erreichen.
- Des Weiteren empfehlen die Evaluatoren die Zusammensetzung der Begutachtungsgremien stärker **international** zu besetzen. Hierdurch können über einen international ausgerichteten Wissenstransfer weitere Hebeleffekte zur Stärkung der deutschen Wissenschaft und des Wissenschaftsstandorts Deutschland resultieren.
- Schließlich wird als Anforderung an zukünftige Evaluationen, aber auch im Hinblick auf die Verbesserung der kontinuierlichen Wirkungsüberprüfung im Förderprogramm, der **Aufbau eines Systems der standardisierten Datenerhebung** empfohlen.

Neben den forschungsfeldübergreifenden Handlungsempfehlungen haben sich in der Evaluation auch **forschungsfeldspezifische** Handlungsempfehlungen ergeben. Diese lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- So zeigt sich im Forschungsfeld *der Elementarteilchenphysik*, dass eine klarere Darstellung der Fördermöglichkeiten für Instrumente mit kleineren Volumina (bis €50 Mio.), die nicht von der nationalen Roadmap berücksichtigt werden und bei denen es keine Garantie gibt, dass sie an einem Großgerät implementiert werden, erfolgen sollte. Auch im Forschungsfeld der *Astro- und Astroteilchenphysik* sollte aufgrund der in Deutschland herrschenden Förder- und Vertretungsvielfalt – die in manchen Fällen auch zur Unübersichtlichkeit führen kann – eine bessere Abstimmung und Koordinierung zwischen den verschiedenen Organisationen der Astrophysik angestrebt werden. In diesem Kontext ist insbesondere die Finanzierung von Experimenten mittlerer Größenskala (zwischen €10 und 50€ Mio.) in Deutschland als schwierig anzusehen. Bei diesen Experimenten greift die nationale Roadmap (ab €50 Mio.) nicht. Gleichzeitig sind diese Projekte in der Regel für die DFG-Förderung zu groß. Es wird empfohlen hier den Anschluss zu bestehenden Fördermöglichkeiten herzustellen. So können beispielsweise Instrumente mit kleineren Finanzvolumina als „strategische Ausbauinvestitionen“ über die Helmholtz-Gemeinschaft finanziert werden. Diese ist wiederum an verschiedenen großen Forschungsinfrastrukturen beteiligt ist.
- Im Bereich der *Hadronen- und Kernphysik* wird empfohlen, aufgrund der langen **Vorlaufzeiten** der Entwicklung der Großgeräte, die Ausrichtung der Detektoren und Instrumente auf Day-1-Experimente (die nach Fertigstellung des jeweiligen Großgeräts sofort durchführbar sind) zu fokussieren.
- Insbesondere in der *Kondensierten Materie* ist eine stärkere Berücksichtigung von **Schnittstellen** zu mit dem Forschungsfeld verbundenen Themen und Anwendungsfeldern wie z.B. den Lebenswissenschaften, neuer Energiematerialien und Umwelttechnologien empfehlenswert. An dieser Stelle sollte die Verbundforschung die Besonderheit des Forschungsfeldes *Kondensierte Materie* noch stärker herausstellen, d.h. dass dort wichtige Werkzeuge und Methoden für unterschiedlichste Communities zur Verfügung gestellt werden, durch die wissenschaftlicher Fortschritt in vielen Feldern überhaupt erst möglich wird. Dies würde zusätzlich dazu beitragen, die gesellschaftliche Akzeptanz der großen Forschungsinfrastrukturen durch die Förderaktivitäten der Verbundforschung zu erhöhen.

## 2 Aufstellung der Fördermaßnahme und Evaluationsansatz

---

### Aufgabenstellung der Evaluation

Die Aufgabenstellung der Evaluation der BMBF-Fördermaßnahme **Verbundforschung im Bereich der Naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung mit Großgeräten** beinhaltet neben der Durchführung einer Ex-Ante Evaluation die Durchführung einer Ex-Post Evaluation der Maßnahme über die Jahre 2006 bis 2014. Gegenstand der Ex-Post Evaluation ist die Erfolgskontrolle und Wirkungsanalyse der Fördermaßnahme in den vier Forschungsfeldern **Elementarteilchenphysik, Hadronen und Kerne, Kondensierte Materie** sowie **Astro- und Astroteilchenphysik**. Die Ex-Ante Evaluation beinhaltete die Erstellung forschungsfeldspezifischer Trendanalysen und die Durchführung eines Experten-Audits. Sie diente der Überprüfung der Passfähigkeit des bestehenden Förderansatzes in Bezug auf zukünftige wissenschaftliche Entwicklungen und Herausforderungen. Aus den Ergebnissen der Evaluation sollen Empfehlungen für die zukünftige Ausgestaltung und Weiterentwicklung der Maßnahme in den vier benannten Forschungsfeldern abgeleitet werden.

Die BMBF-Fördermaßnahme **Verbundforschung im Bereich der Naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung mit Großgeräten** hat ein zentrales Element zur Stärkung und Entwicklung der nationalen physikalischen Grundlagenforschung an Großgeräten zum Fördergegenstand. Sie zielt dabei im Wesentlichen darauf ab, die bestehende und geplante Forschungsinfrastruktur im Bereich physikalischer Grundlagenforschung für die wissenschaftliche Arbeit zu nutzen und weiterzuentwickeln. Als Kernelement der Förderung sieht die Maßnahme dabei die Zusammenarbeit exzellenter Wissenschaftler deutscher Universitäten mit und an den Großgeräten vor. Insgesamt fördert sie so den Aufbau und die Fortentwicklung innovativer Instrumentierungen, Instrumente und Methoden für den wissenschaftlichen Betrieb, ohne dabei jedoch die Nutzung oder den grundsätzlichen Betrieb des Großgeräts selbst zu fördern. Mit Hilfe der Maßnahme verfolgt das BMBF insbesondere das Ziel, die wissenschaftliche Leistungsfähigkeit der nationalen Forschung im internationalen Wettbewerb zu fördern, die Ausbildung exzellenten Nachwuchses für Wissenschaft und Wirtschaft zu unterstützen und den Wissenschaftsstandort Deutschland zu stärken.

### Ziel der Evaluation

Die hier vorgestellte **Evaluation** hat einerseits die Überprüfung des Erreichens der in den Förderbekanntmachungen formulierten Ziele auf die Wissenschaft und den Wissenschaftsstandort Deutschland zum Gegenstand. Zum zweiten bewertet sie die Eignung und Wirkung der Programmorganisation, sowie des Förderkonzepts für die Erreichung dieser Ziele, um abschließend Empfehlungen zu dessen Weiterentwicklung ableiten zu können.

### Forschungsfelder der Verbundforschung

Die geförderten Forschungsfelder behandeln ein durchaus heterogenes Spektrum der physikalischen Grundlagenforschung. In der **Elementarteilchenphysik** geht es um die Beantwortung fundamentaler Fragen bezüglich der innersten Struktur von Materie, Raum und Zeit, z.B. darum, zu klären, was der Ursprung für die Masse der Elementarteilchen ist, was „dunkle Materie“ bedeutet und ob die Raumzeit mehr als vier Dimensionen besitzt. Weiterhin stand im Wesentlichen die Überprüfung des Standardmodells im Zentrum der Forschung auf diesem Feld. Hierzu gehören unter anderem der experimentelle Nachweis des Higgs-Bosons und seiner Eigenschaften. Die **Kondensierte Materie** baut auf dem Wissen der für die Elementarteilchenphysik entwickelten Beschleuniger auf. Wesentliches Ziel ist es immer bessere zeitliche und räumliche Auflösungen zu erreichen, um auch dynamische Prozesse und immer kleinere Strukturen analysieren zu können. Die in diesem Zusammenhang analysierten Fragestellungen kommen insbesondere aus den Bereichen Neue Werkstoffe, Nanotechnologie, Mikroelektronik und Lebenswissenschaften. Die Erforschung der **Hadronen und Kerne** zielt auf ein besseres Verständnis für die fundamentale Struktur der Materie auf dem Niveau der Hadronen und des Atomkerns. So sind z.B. Kräfte und Symmetrien zwischen den Quarks und zwischen den Nukleonen bislang nicht hinreichend verstanden. Die grundlegenden Forschungsfragestellungen in der **Astro- und Astroteilchenphysik**

lassen sich zunächst entlang der räumlichen Hierarchie des Universums anordnen. So geht es hier beispielsweise um Fragen, nach der Entstehung des Universums, von Galaxien sowie Sternen oder der Funktionsweise von Quellen kosmischer Strahlung. Für die neuen Förderbekanntmachungen hat das BMBF entschieden, das Forschungsfeld Hadronen und Kernphysik mit dem Forschungsfeld Elementarteilchenphysik zusammenzulegen. Das neue Forschungsfeld trägt den Namen „Physik der kleinsten Teilchen“.

Für den im Rahmen dieser Evaluation betrachteten Zeitraum, bilden insgesamt 12 Bekanntmachungen des BMBF die Grundlage für die erfolgten Förderentscheidungen. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die hier relevanten und analysierten Bekanntmachungen und entsprechenden Förderperioden.

Abbildung 1 Förderbekanntmachungen der vier Forschungsfelder nach Förderperioden

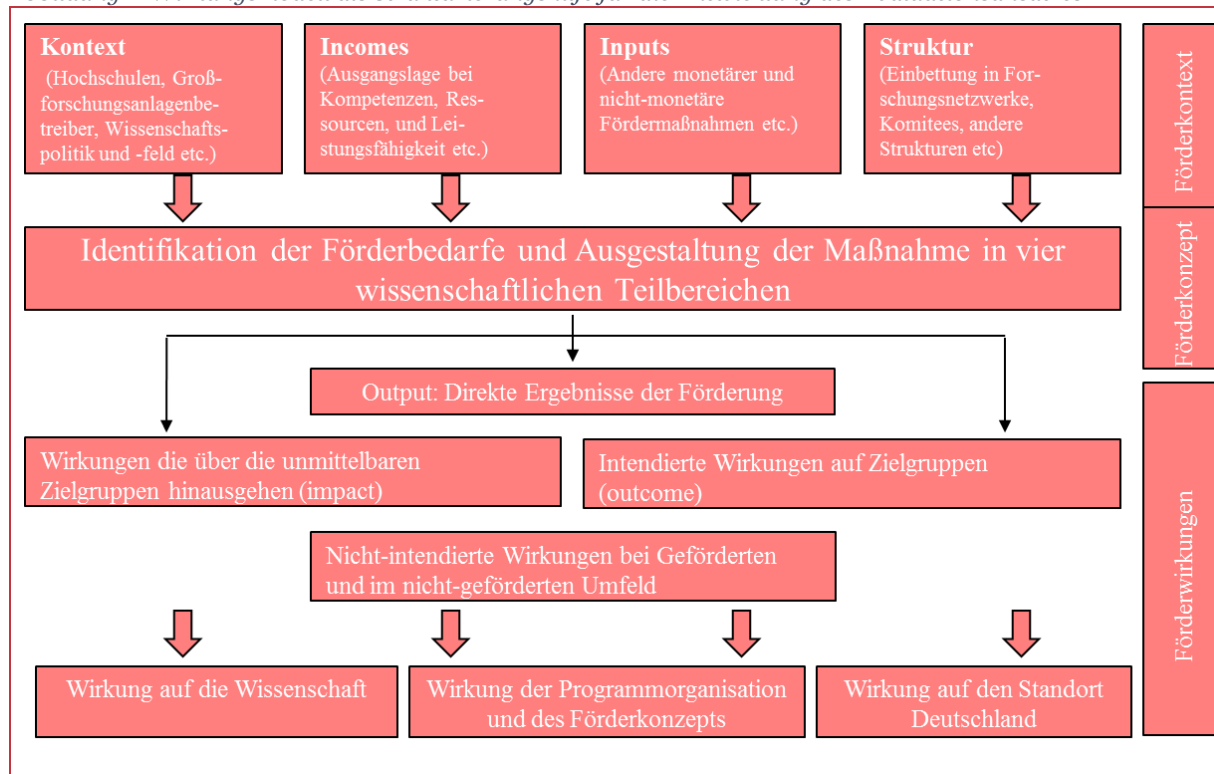
	Förderperiode 1	Förderperiode 2	Förderperiode 3
<b>Hadronen- und Kernphysik</b>	2006 - 2009	2009 - 2012	2012 - 2015
<b>Struktur und Wechselwirkung fundamentaler Teilchen/Elementarteilchenphysik</b>	2006 - 2009	2009 - 2012	2012 - 2015
<b>Erforschung kondensierter Materie an Großgeräten</b>	2007 - 2010	2010 - 2013	2013 - 2016
<b>„Erdgebundene Astrophysik“ und „Erdgebundene Astroteilchenphysik“</b>	2008 - 2011	2011 - 2014	2014 - 2017

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Förderbekanntmachungen des BMBF

### Methodischer Ansatz der Evaluation

Die Ex-Post Evaluation untersucht, inwieweit die mit der Maßnahme einhergehenden Zielstellungen erfüllt wurden und ob das Förderkonzept bzw. die Ausgestaltung der Maßnahme in den jeweiligen Forschungsfeldern geeignet ist, um die definierten Ziele zu erreichen. Dafür wird nicht nur der Förderkontext berücksichtigt, sondern Kern des Evaluationsansatzes stellt die Erfassung der erzielten Wirkungen auf die Wissenschaft, die Wirkung der Programmorganisation und das Förderkonzepts sowie der Wirkungen auf den Standort Deutschland dar (vgl. Abbildung 2).

Abbildung 2 Wirkungsmodell als Strukturierungshilfe für die Entwicklung des Evaluationsansatzes



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Beywl et al. 2009<sup>3</sup>

Das für die Ex-Post Evaluation entwickelte Evaluationssystem besteht aus vier Hauptebenen: Ebene A beinhaltet die Auswertung der Projektdaten, die durch den Projektträger zur Verfügung gestellt wurden. Ebene B umfasst die Erfolgskontrolle und Analyse der Wirkung auf die Wissenschaft, während Ebene C sich auf die relevanten Evaluationsindikatoren für die Erfolgskontrolle und Analyse der Wirkung auf den Standort Deutschland fokussiert. Ebene D umfasst schließlich die Erfolgskontrolle und Analyse der Wirkung der Programmorganisation und des Förderkonzepts. Als methodische Instrumente wurden in der Evaluation (i) die Auswertung der Projektdaten, (ii) quantitative Analysen der Daten einer Online-Befragung, (iii) Experteninterviews, (iv) bibliometrische Analysen, (v) Dokumentenanalysen, (vi) Erfolgsbeispiele und (vii) Fallstudien eingesetzt.

Der Ex-Ante Teil der „Evaluation der Verbundforschung im Bereich der „Naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung“ beinhaltet im Wesentlichen zwei zentrale Elemente bzw. methodische Ansätze. Zum einen war dies die Erstellung forschungsfeldspezifischer Trendanalysen. Zum anderen war dies die Durchführung eines Experten-Audits mit ausgewählten Expertinnen und mit kompetentem Wissen über die betrachteten Forschungsfelder und die entsprechende wissenschaftliche Community. In Summe diente die Ex-Ante Evaluation der Überprüfung der Passfähigkeit des bestehenden Förderansatzes in Bezug auf zukünftige wissenschaftliche Entwicklungen und Herausforderungen sowie insbesondere der Ableitung von entsprechenden Handlungsempfehlungen für die zukünftige Ausgestaltung der Maßnahme.

<sup>3</sup> Beywl, Wolfgang/Niestroj, Melanie (2009): "Der Programmbaum. Landmarke wirkungsorientierter Evaluation. In: Beywl, Wolfgang/Niestroj, Melanie (Hsrg.): Das A-B-C der wirkungsorientierten Evaluation. Glossar Deutsch / Englisch der wirkungsorientierten Evaluation. 2., vollständig bearbeitete und ergänzte Auflage. Köln.

### 3 Ergebnisse der Ex-Post Evaluation

#### 3.1 Auswertung der Projektdaten (A)

Insgesamt wurden im Rahmen der Verbundforschung in den drei zugrundeliegenden Förderperioden 1032 Projekte gefördert. Dabei waren 336 Projekte im Forschungsfeld der Hadronen- und Kernphysik angesiedelt, 324 Projekte in der Kondensierten Materie, 189 Projekte in der Elementarteilchenphysik sowie 183 Projekte in der Astro- und Astroteilchenphysik.. In der Verteilung nach Förderperioden (die sich je nach Forschungsfeld unterscheiden) fallen über alle Forschungsfelder hinweg 283 Projekte in die erste Förderperiode, 378 Projekte in die zweite Förderperiode und 371 Projekte in die dritte Förderperiode. Abbildung 3 visualisiert die Verteilung der Projekte nach Forschungsfeld und Förderperiode.

Abbildung 3 Anzahl und Verteilung der gesamten Projekte nach Forschungsfeld und Förderperiode



Quelle: PT DESY, eigene Darstellung

Die Gesamtfördersumme über alle Förderperioden und Forschungsfelder hinweg beträgt 577.140.373€. Tabelle 1 zeigt die Gesamtfördersummen aufgeschlüsselt nach den Förderperioden und Forschungsfeldern.

Tabelle 1 Gesamtfördersummen (in €) nach Forschungsfeld und Förderperiode

Forschungsfeld	Förderperiode 1	Förderperiode 2	Förderperiode 3	Gesamtförder-summe
Hadronen- und Kernphysik	36.864.769	41.576.449	49.360.348	<b>127.801.566</b>
Kondensierte Materie	50.988.097	67.248.629	81.4274.57	<b>199.664.183</b>
Elementarteilchenphysik	40.538.857	51.553.572	67.856.742	<b>159.949.170</b>
Astro- und Astroteilchenphysik	26.998.896	31.958.582	30.767.976	<b>89.725.454</b>
<b>Gesamtförder-summe</b>	<b>155.390.619</b>	<b>193.337.233</b>	<b>229.412.522</b>	<b>577.140.373</b>

Quelle: PT DESY, eigene Darstellung

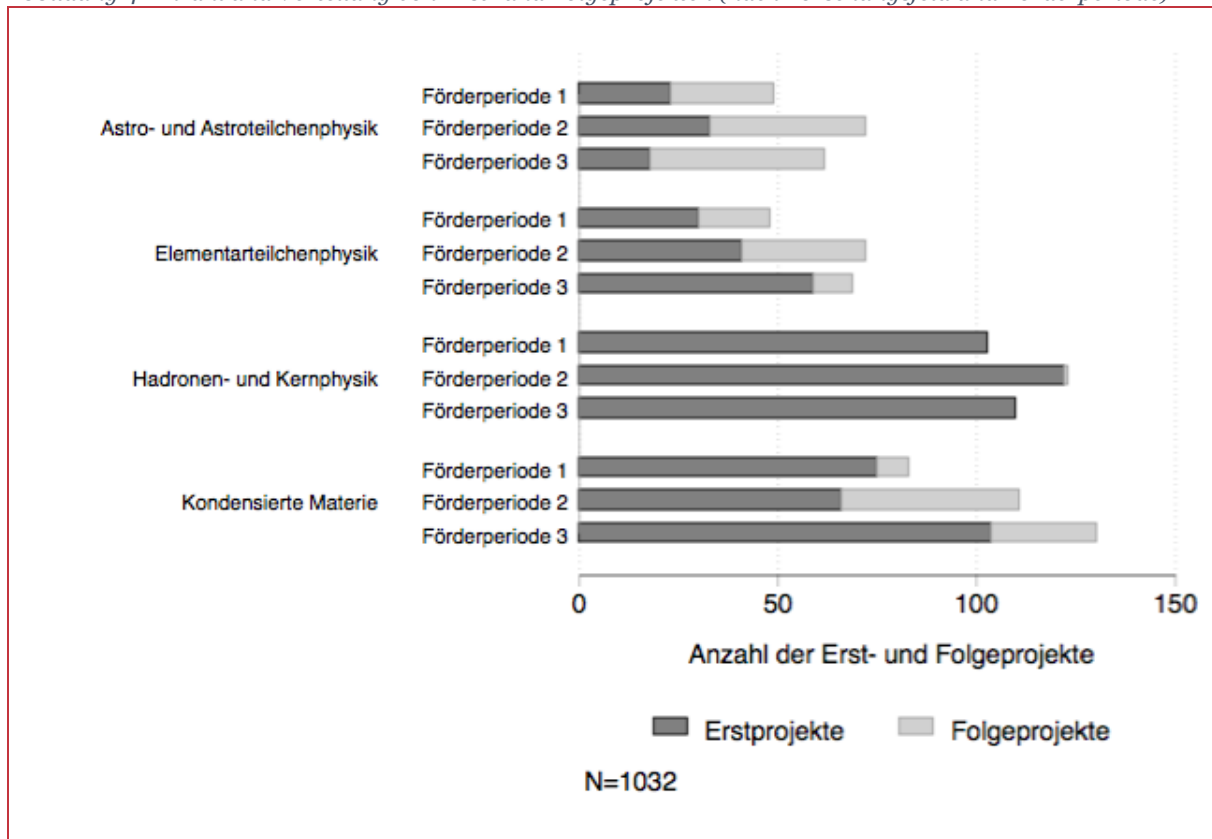
Die Kondensierte Materie weist über alle Förderperioden hinweg mit knapp 200 Mio. € die höchste Gesamtfördersumme auf. Die Elementarteilchenphysik kommt auf knapp 160 Mio. € und die Hadronen- und Kernphysik auf knapp 128 Mio. € Gesamtfördersumme. Die Astro- und Astroteilchenphysik weisen etwa 90 Mio. € Gesamtfördersumme auf. Die durchschnittliche Fördersumme der geförderten Projekte über alle Forschungsfelder und Förderperioden hinweg beträgt 559.922 €. Die höchste durchschnittliche Fördersumme weist die Elementarteilchenphysik mit 846.291 € auf. Projekte der Hadronen- und Kernphysik kommen auf eine durchschnittliche Fördersumme von 380.361 €.

Bei der Betrachtung und Verteilung von Erst- und Folgeprojekten in der Verbundforschung ist eine hohe Kontinuität feststellbar, da viele Geförderte Folgeprojekte vorweisen. Abbildung 4 stellt die jeweilige Anzahl von Erst- bzw. Folgeprojekten sowie deren Verteilung über die Forschungsfelder und Förderperioden dar.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Für den Bereich Hadrone und Kernphysik sind alle Projekte der betrachteten 3 Förderperioden als Einzelprojekte gelistet und liefern wegen des Wechsels des Projektträgers keine Informationen zu etwaigen Vorgängerprojekten.



Abbildung 4 Anzahl und Verteilung von Erst- und Folgeprojekten (nach Forschungsfeld und Förderperiode)

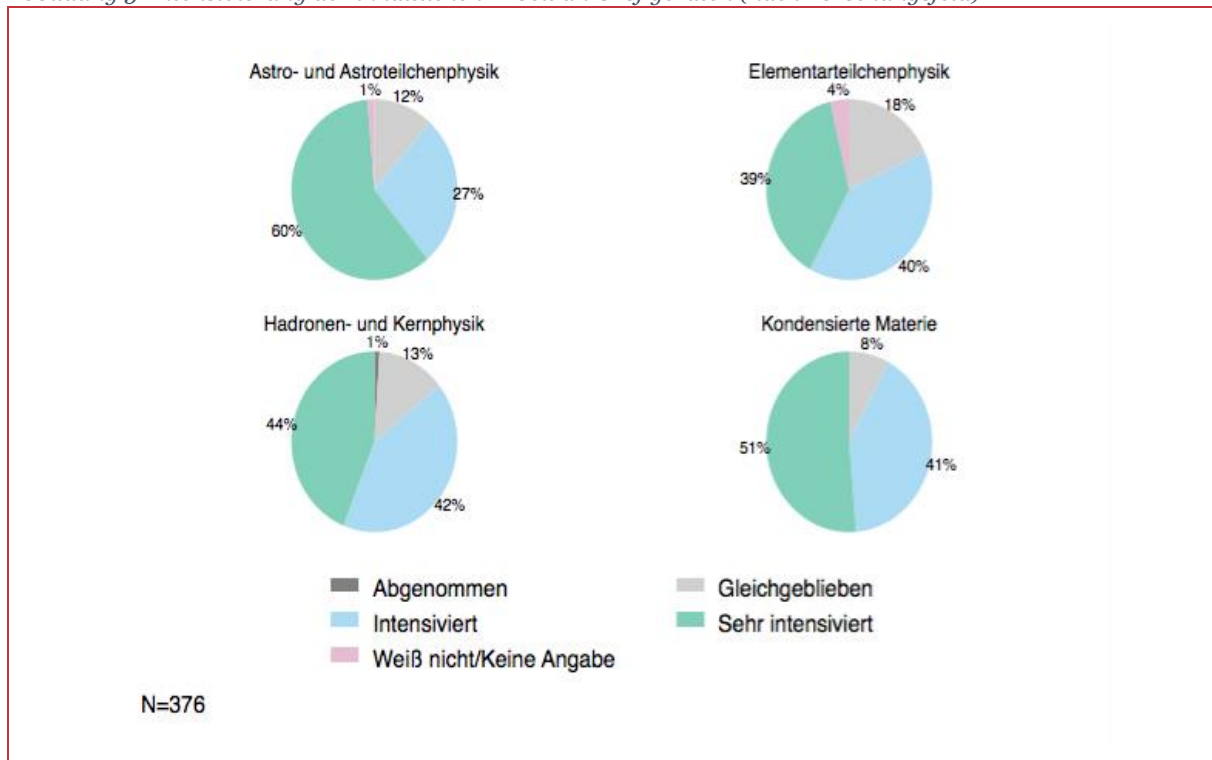


Quelle: PT DESY, eigene Darstellung

### 3.2 Auswertung der Wirkung der Fördermaßnahme auf die Wissenschaft (B)

Hinsichtlich der Zusammenarbeit von Institutionen zeigen die Auswertungen zur Wirkung der Fördermaßnahme auf die Wissenschaft, dass die Forscher der geförderten Projekte in der Vergangenheit zwar häufig bereits Erfahrung in der Arbeit an Großgeräten sammeln konnten, die Verbundforschung Ihnen aber darüber hinaus den **Zugang zu Großgeräten** ermöglicht, an denen sie bislang nicht gearbeitet haben. Der direkte Zugang zu den Großgeräten führt entsprechend häufig zu einer Intensivierung der Zusammenarbeit mit den Großgerätebetreibern, die vor dem Hintergrund der Weiterentwicklung des Großgeräts maßgeblich von den Inputs der geförderten Projekte profitieren. Die Intensivierung ist dabei besonders ausgeprägt in den Bereichen Astro- und Astroteilchenphysik und Kondensierte Materie (Abbildung 5).

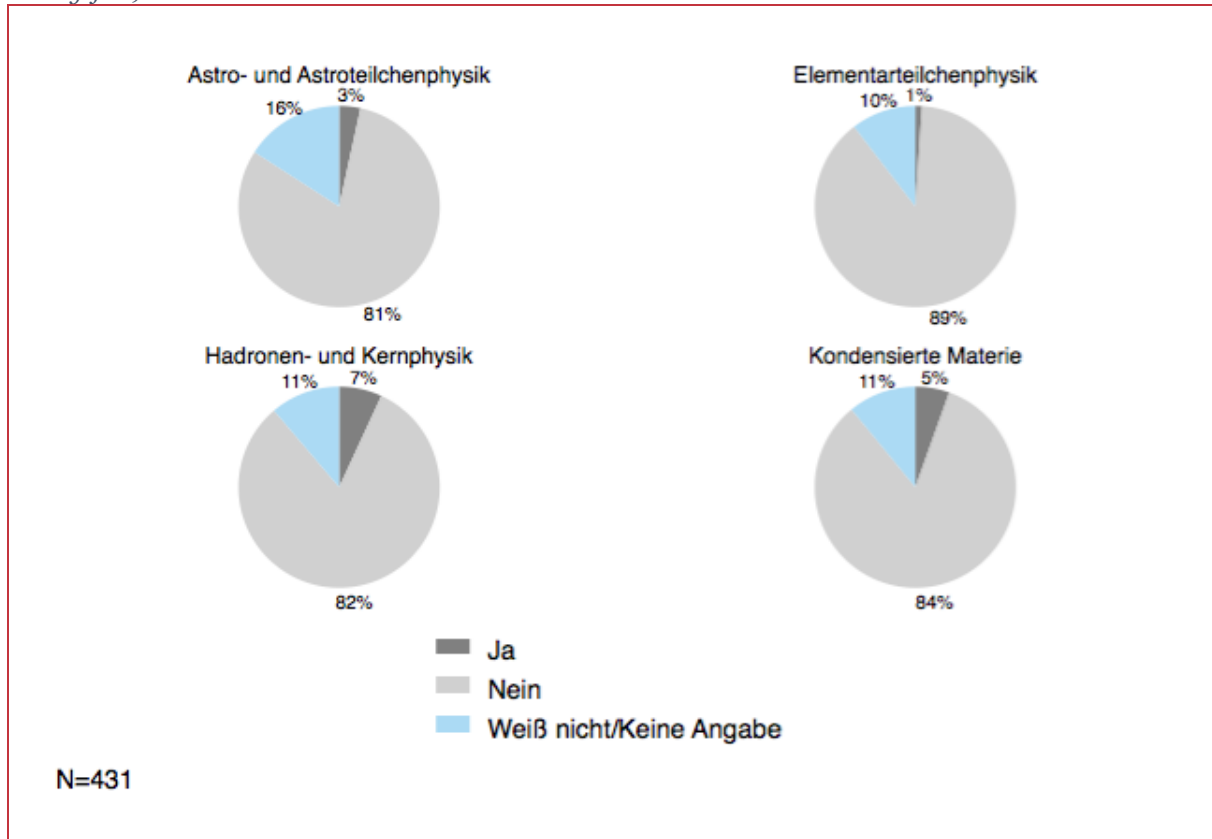
Abbildung 5 Intensivierung der inhaltlichen Arbeit an Großgeräten (nach Forschungsfeld)



Quelle: Eigene Erhebung

Die Verbundforschung fördert und vertieft insbesondere **Kollaborationen** der Forscher mit Kollegen aus anderen Universitäten und Forschungseinrichtungen. Diese Kollaborationen werden von den geförderten Projekten als intensiv und wichtig wahrgenommen und werden im Rahmen weiterer Forschungsvorhaben häufig über den Zeitraum des Projekts hinaus fortgeführt. Dabei teilen 84% der befragten Projekte die Einschätzung, dass die entstandenen Beziehungen mit beteiligten Universitäten und Forschungseinrichtungen ohne die Verbundforschung nicht zu Stande gekommen wären (vgl. Abbildung 6). Nur 1-7% der befragten Projekte – variierend nach Forschungsfeld- waren der Auffassung, dass die entstandenen Beziehungen auch ohne die Verbundforschung realisiert worden wären.

Abbildung 6 Wären die Beziehungen, die hier entstanden sind, auch ohne das Projekt entstanden? (nach Forschungsfeld)

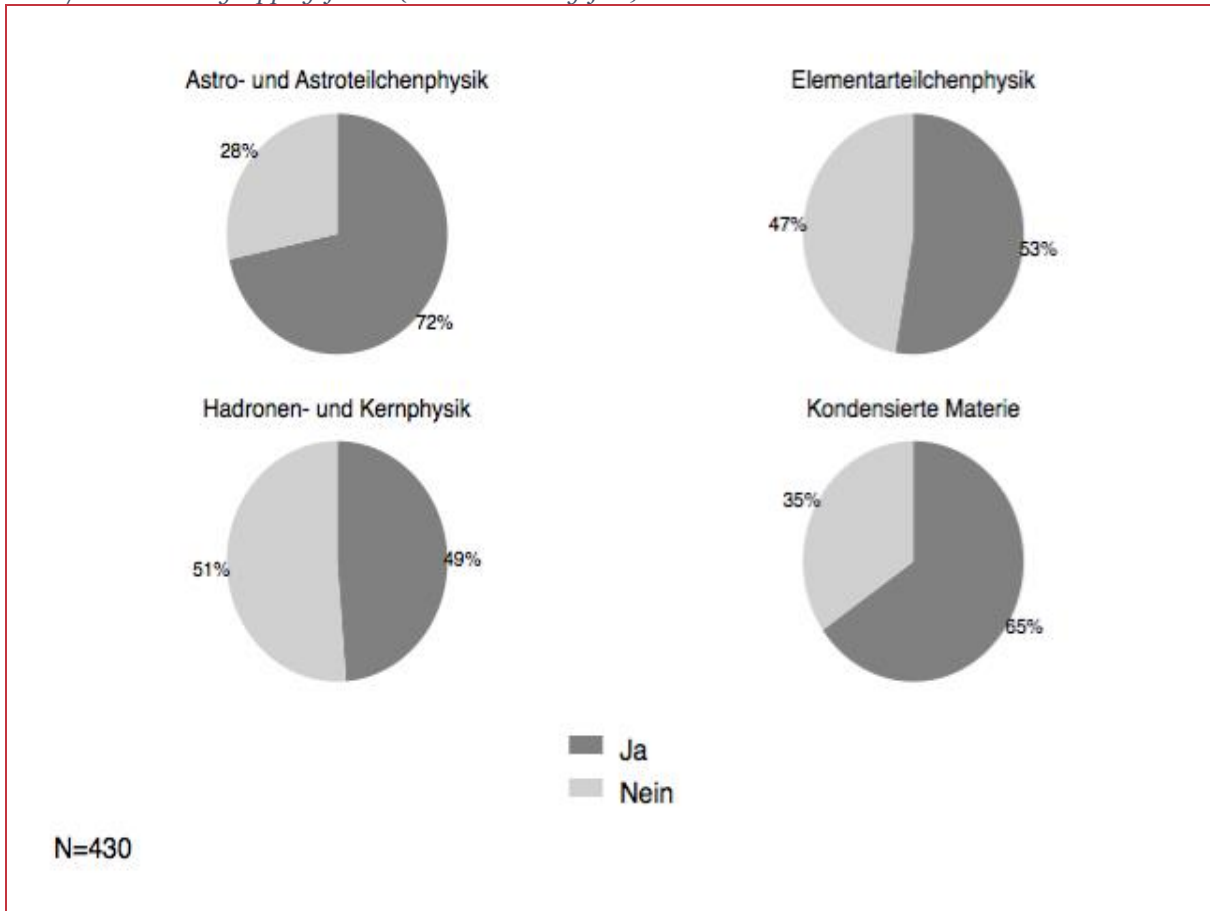


Quelle: Eigene Erhebung

Zudem gibt es Kollaborationen mit Unternehmen – insbesondere auf Zulieferer- und Entwicklungsebene. Diese werden in ihrer Gesamtheit allerdings als weniger bedeutend eingestuft und begrenzen sich in Ihrer zeitlichen Dimension häufig auf die Laufzeit der betrachteten Projekte. Des Weiteren entstehen im Rahmen der von der Verbundforschung geförderten Projekte häufig Kollaborationen mit verschiedenen naturwissenschaftlichen Disziplinen (z.B. Biologie, Medizin, etc) sowie Bereichen aus den Ingenieurwissenschaften (z.B. Mikroelektronik). Letztere haben insbesondere im Rahmen des Baus und der Weiterentwicklung der Instrumente sowie in der Instrumentierung eine wichtige Rolle.

Insgesamt gab die Mehrheit der befragten Projekte an, dass das Projekt zu einer Modifizierung bzw. Erweiterung der Forschungsausrichtung geführt hat. Diese Wahrnehmung ist insbesondere in den Bereichen Astro- und Astroteilchenphysik (72%) und Kondensierte Materie (65%) stark vertreten (Abbildung 7). Im Bereich Hadronen- und Kernphysik scheint die Beeinflussung der Forschungsausrichtung durch die Verbundforschung hingegen weniger ausgeprägt zu sein.

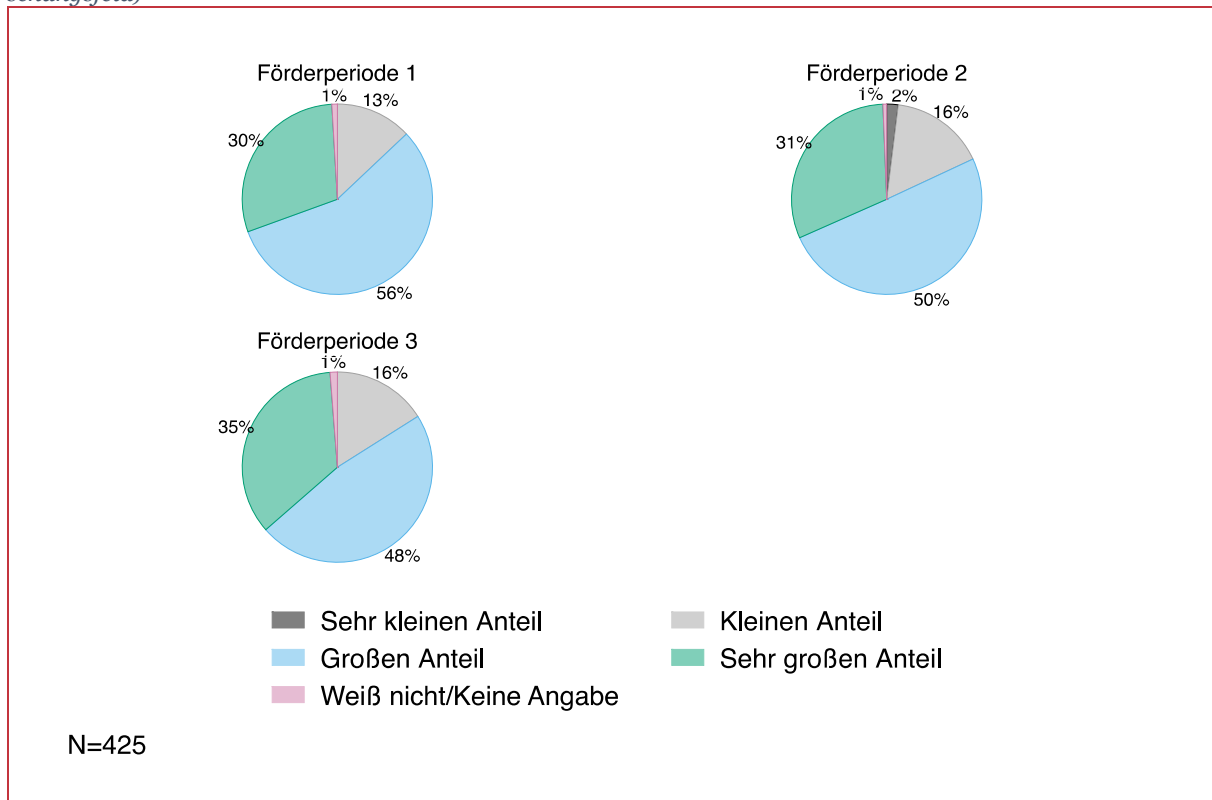
Abbildung 7 Hat das Projekt zu einer Modifizierung/Erweiterung der Forschungsausrichtung Ihres Lehrstuhls/Ihrer Arbeitsgruppe geführt? (nach Forschungsfeld)



Quelle: Eigene Erhebung

Ein Großteil der geförderten Projekte gibt an, dass die Verbundforschung die **Arbeit der Lehrstühle** und Arbeitsgruppen sowohl inhaltlich als auch zeitlich maßgeblich beeinflusst und dazu beiträgt sich auf inhaltliche Schwerpunkte zu fokussieren (vgl. Abbildung 8). Dabei stellt sich heraus, dass der Grad der Beeinflussung von der Größe des Projekts (approximiert durch die Fördersumme) abhängt.

Abbildung 8 Anteil (inhaltlich) des Projekts an der gesamten Forschung im Lehrstuhl/Arbeitsgruppe (nach Forschungsfeld)



Quelle: Eigene Erhebung

Der Wirkungsbereich **wissenschaftlicher Nachwuchs** hat eine hohe wissenschaftspolitische Relevanz. Hier stellt sich heraus, dass die Verbundforschung einen wichtigen Beitrag zur Finanzierung und Qualifizierung von Nachwuchswissenschaftlern leistet. Rechnet man die ermittelten durchschnittlichen Anzahlen der Nachwuchswissenschaftler über die Förderperioden hinweg nach Forschungsfeldern hoch, ergeben sich die Zahlen in Tabelle 2. Auch hier zeigt sich, dass der Bereich Elementarteilchenphysik trotz der vergleichsweise kleineren Anzahl an geförderten Projekten sehr viele Nachwuchsstellen schafft, was sicherlich auch auf die höheren Fördervolumina pro Projekt im Vergleich zu den anderen Feldern zurückzuführen ist.

Tabelle 2 Hochrechnung der von der Verbundforschung geschaffenen Nachwuchsstellen (nach Forschungsfeld)

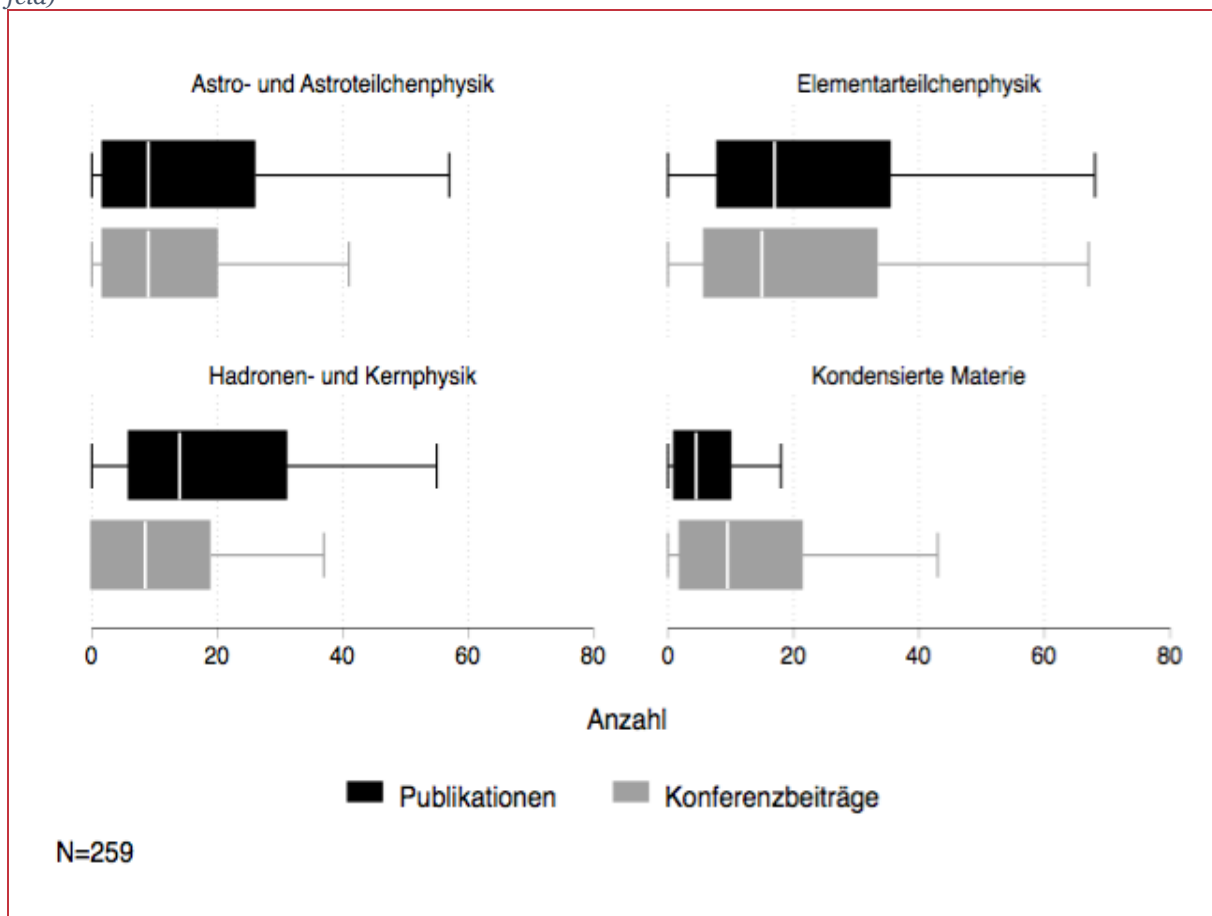
	Astro- und Astroteilchenphysik	Hadronen- und Kernphysik	Elementarteilchenphysik	Kondensierte Materie
Habilitanden	37	101	170	32
Post-Docs	275	470	680	324
Doktoranden	494	773	1.285	486
Master/Diplomanden	403	1.109	1.266	518
Technische Assistenten	146	134	57	162
Student. Hilfskräfte	165	571	718	648

Quelle: Eigene Erhebung

Über die vier betrachteten Forschungsfelder und drei Förderperioden hinweg wurden demnach durch die Verbundforschung schätzungsweise ca. 340 Habilitanden, ca. 1.750 Post-Docs, ca. 3.038 Doktoranden und ca. 3.296 Stellen für Masterstudenten bzw. Diplomanden finanziert. Dazu kommen etwa 2.601 Stellen für technische Assistenten und studentische Hilfskräfte. Profiteure sind zum einen die Universitäten und Forschungseinrichtungen selber, in zweiter Instanz aber auch die Großgerätebetreiber, die von den Arbeiten und Weiterentwicklungen der Nachwuchswissenschaftler profitieren. Ein weiterer positiver Aspekt ist auch, dass in etwa die Hälfte der im Rahmen der Projekte finanzierten Nachwuchswissenschaftler nach Projektende in die Industrie wechselt. Dies unterstreicht die Relevanz des ausgebildeten Nachwuchses für die Industrie.

Im Rahmen von Verbundforschungsprojekten wird eine hohe Anzahl wissenschaftlicher **Publikationen, Konferenzbeiträge** und **Abschlussarbeiten** produziert. Während im Bereich Kondensierte Materie vergleichsweise weniger Publikationen aus den geförderten Projekten resultieren, ist der Publikationsoutput in den Bereichen Hadronen- und Kernphysik, Astro- und Astroteilchenphysik und insbesondere Elementarteilchenphysik bedeutend (vgl. Abbildung 9). Bei der Diskussion um wissenschaftliche Publikationen ist zu berücksichtigen, dass ein Großteil der Arbeit im Rahmen der Projekte für den Bau und die Weiterentwicklung der Instrumente und Methoden verwendet wird. Insbesondere im Rahmen der Instrumentierung sind wissenschaftliche Publikationen vergleichsweise schwer zu realisieren. Im Gegensatz dazu ist die wissenschaftliche Community allgemeinhin stärker an den Ergebnissen der Experimente interessiert, die im weiteren Verlauf durch die neuen Instrumente und Methoden ermöglicht werden.

Abbildung 9 Anzahl der aus den Projekten resultierenden wissenschaftlichen Publikationen (nach Forschungsfeld)<sup>5</sup>



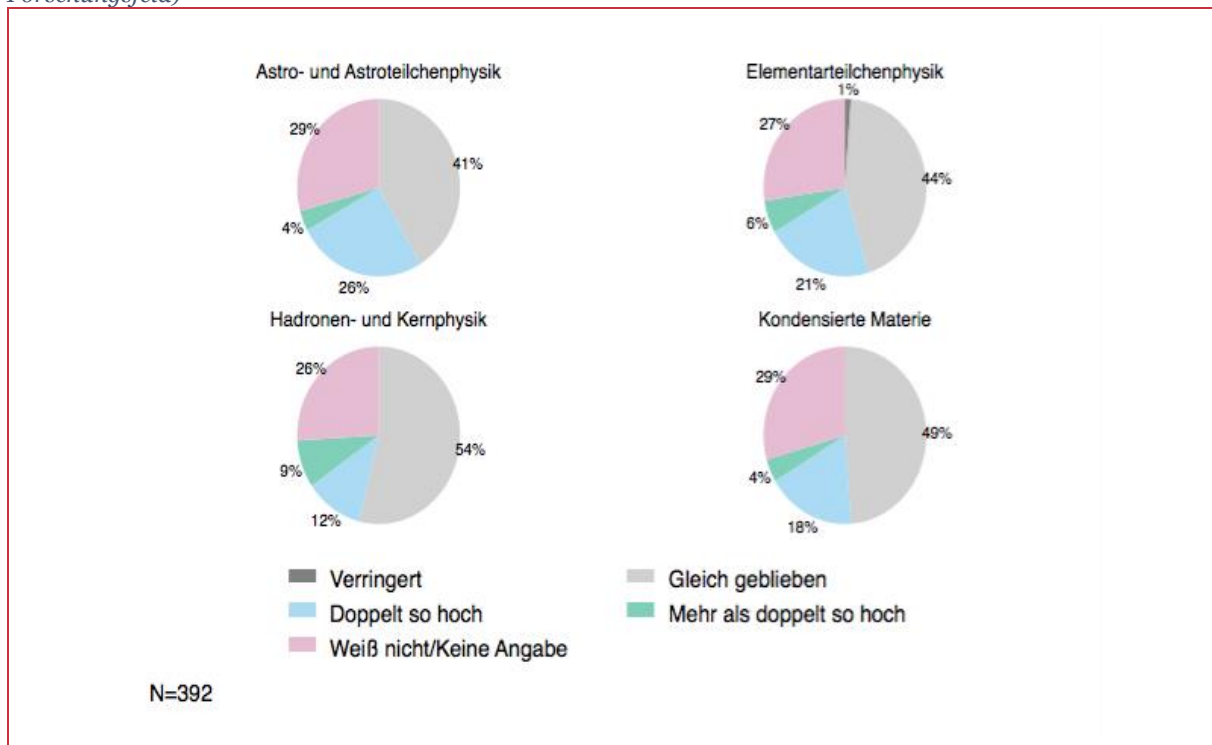
<sup>5</sup> Die Boxen entsprechen dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der zugrundeliegenden Daten liegen. Der Strich in der Box entspricht dem Median der Verteilung. Der Median-Strich teilt das Diagramm in zwei Hälften, in denen jeweils 50 % der Daten



Quelle: PT DESY, eigene Darstellung

Die Förderung durch die Verbundforschung wirkt sich nach Ansicht der geförderten Forscher auch positiv auf ihre **Einbindung** in den wissenschaftlichen Diskurs aus. Hier werden die Anzahl von Keynote-Ansprachen und Gutachtertätigkeiten als Richtgrößen herangezogen. Je nach Forschungsfeld sagen 19%-29% der befragten Forscher, dass sie durch die Projektförderung doppelt so viel oder mehr als doppelt so viele Gutachteraktivitäten bzw. Keynote-Ansprachen hatten wie zuvor (siehe Abbildung 10). Somit scheint die Hypothese zu tragen, dass die von der Verbundforschung geförderten Projekte die Einbindung der Teilnehmer in den wissenschaftlichen Diskurs unterstützen und somit der Sichtbarkeit deutscher Wissenschaftler zu Gute kommen.

Abbildung 10 Entwicklung der Teilnahme an Keynotes, Gutachtertätigkeiten etc. seit Beginn des Projekts (nach Forschungsfeld)



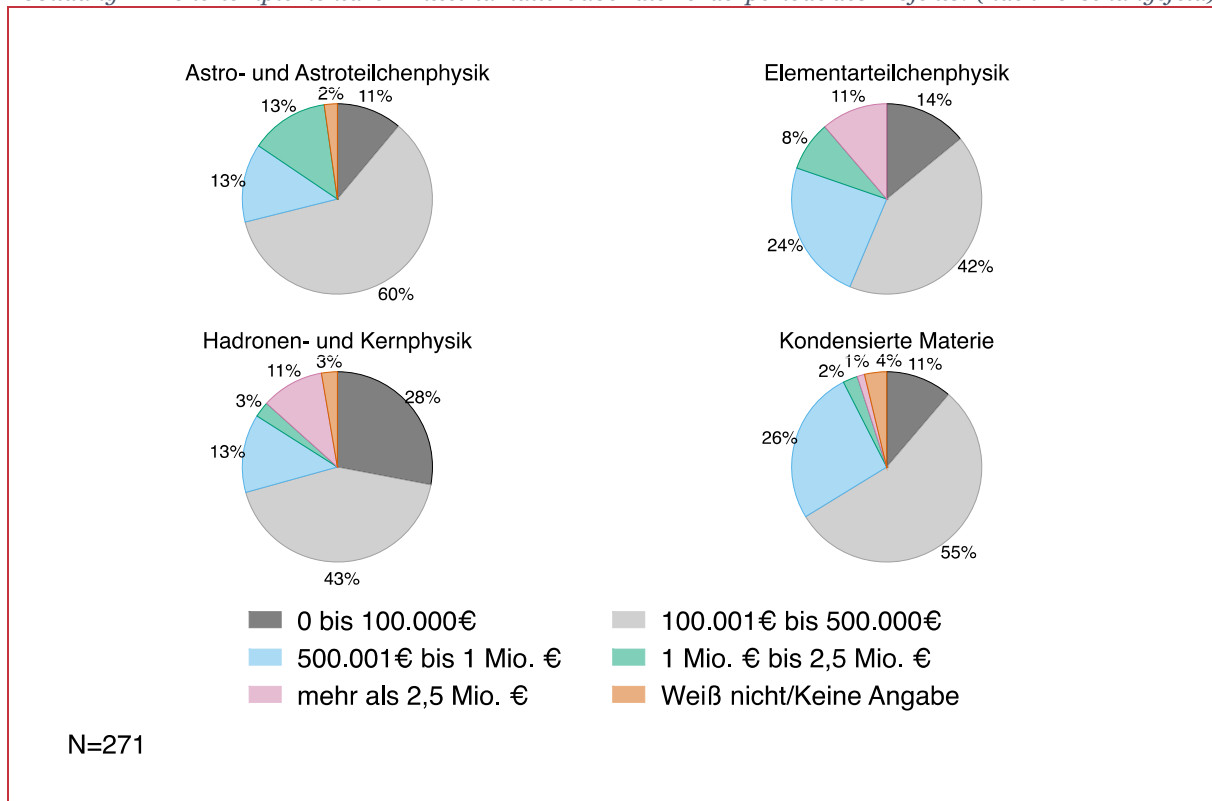
Quelle: Eigene Erhebung

Die Verbundforschung fördert insbesondere den Bau und die Weiterentwicklung von Instrumenten und Methoden an Großgeräten. Somit überrascht es kaum, dass ein Großteil (66%) der befragten Forscher angibt, parallel zu den laufenden Verbundforschungsprojekten **Drittmittel** zu akquirieren. Über alle Forschungsfelder hinweg geben ca. 75% der befragten Projekte an, Drittmittel in der Größenordnung von 100.000€ - 1.000.000€ akquiriert zu haben.

Abbildung 11 zeigt die Höhe der komplementären Drittmittel unter den befragten Projekten, die angeben Drittmittel bezogen zu haben. Innerhalb dieser Gruppe geben 35% der befragten Projekte aus dem Bereich Elementarteilchenphysik an 500.000€ oder mehr an Drittmitteln erworben haben. Der größte Teil innerhalb jedes Forschungsfeldes gibt an, Drittmittel in Höhe von 100.000€ - 500.000€ erworben zu haben. Bedeutende Drittmittelgeber sind insbesondere die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Europäische Fördergeber, DAAD sowie die Bundesländer.

liegen. Durch die „Antennen“ auf der rechten und linken Seite der Boxen werden die außerhalb der Box liegenden Werte dargestellt (Die „Antenne“ auf der linken Seite entspricht dem kleinsten Datenwert des Datensatzes und die „Antenne“ auf der rechten Seite entspricht dem größten Datenwert des Datensatzes).

Abbildung 11 Höhe komplementärer Mittel kumuliert über die Förderperiode des Projekts? (nach Forschungsfeld)



Quelle: Eigene Erhebung

Schließlich wurde im Rahmen der Auswertung der Wirkung der Verbundforschung auf die Wissenschaft das Kooperationsverhalten geförderter Wissenschaftler mittels einer **bibliometrischen Analyse** erfasst. Unter Bibliometrie versteht man die statistische, quantitative Analyse von Publikationsdaten. Im Rahmen dieses Projektes, wurden bibliometrische Ansätze *nicht* eingesetzt, um den wissenschaftlichen Output der betrachteten Institutionen zu evaluieren. Vielmehr sollte mittels bibliometrischer Methoden analysiert werden, wie sich die vom BMBF bereitgestellten Fördermittel auf das Kooperationsverhalten der geförderten Wissenschaftler auswirken.

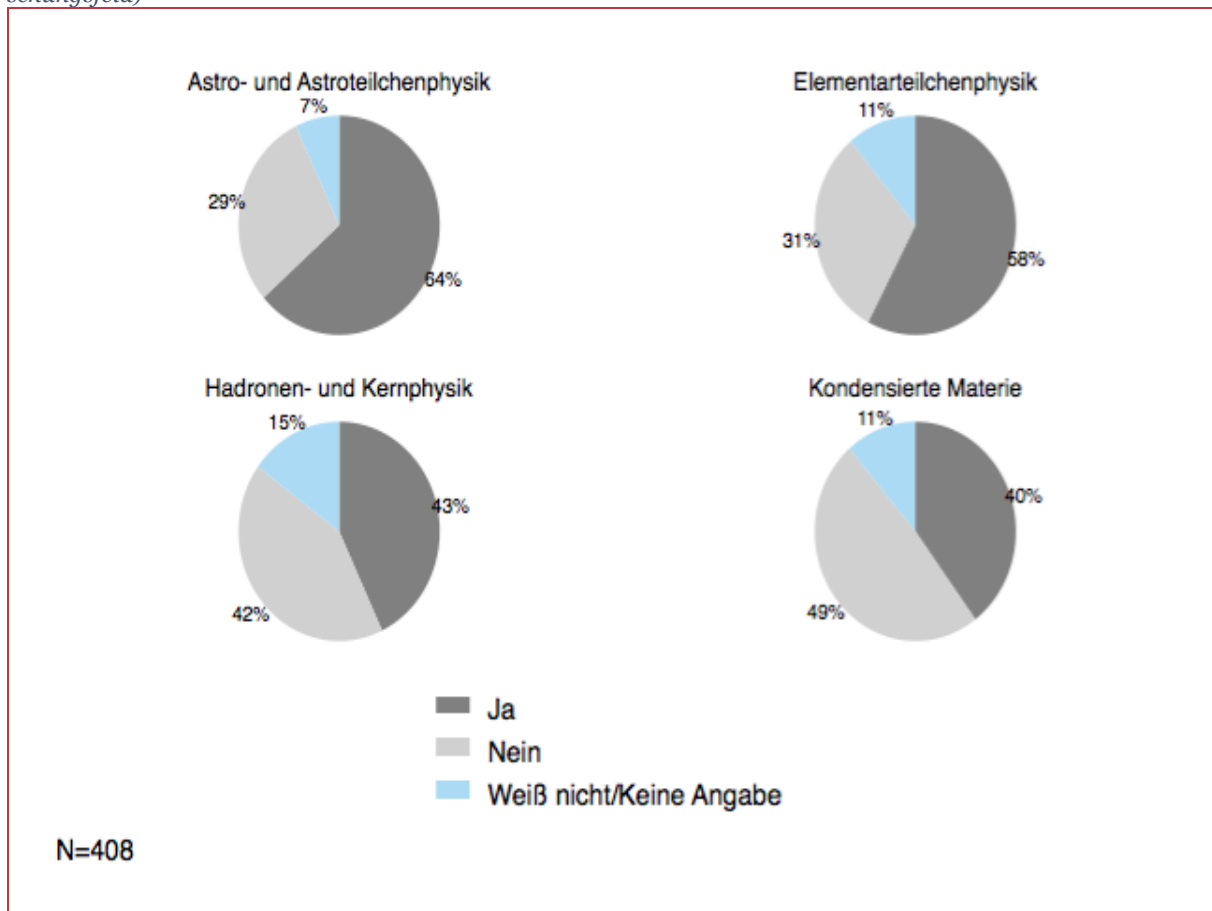
Zum einen konnte gezeigt werden, dass sich die Forschungsförderung des BMBF positiv auf das Kooperationsverhalten der geförderten Wissenschaftler auswirken kann und zwar sowohl was die Anzahl der Kooperationspartner als auch was die internationale Ausrichtung angeht. Hier erscheint es jedoch so, dass dies jedoch nicht nur von der Förderung selbst, sondern auch vom jeweiligen Forschungsfeld als auch von persönlichen Faktoren der Geförderten abhängt. So ist ein positiver Kooperationstrend insbesondere bei den Fachbereichen Elementarteilchenphysik und Astro- und Astroteilchenphysik zu sehen. Diese Forschungsfelder sind am stärksten durch große, internationale Kooperationen geprägt. In Abgleich mit den Interviews zeigt sich so, dass eine Förderung in diesem Bereich den jeweiligen Wissenschaftlern den Zugang zu diesen Kooperationen erst ermöglicht und ihnen damit ihr Kooperations- und Vernetzungsverhalten bestärkt. Anders sieht es in den Forschungsfeldern Hadronen- und Kernphysik sowie Kondensierte Materie aus. Beide Forschungsfelder weisen nicht die tendenziell nicht die großen, internationalen Kollaborationen auf und sind daher deutlich diverser. Eine Vernetzung wird daher nicht so stark sichtbar, wie in den zuvor genannten Forschungsfeldern. Dies spiegelt sich auch in den Analysen zu den Kooperationsaktivitäten wider. So konnte im Forschungsfeld der Hadronen- und Kernphysik zwar grundsätzlich ein positiver Trend erfasst werden, jedoch ist dieser durch starke Schwankungen nicht so eindeutig. Im Forschungsfeld der Kondensierten Materie konnte kein signifikanter Trend erfasst werden.

### 3.3 Auswertung der Wirkung auf den Wissenschaftsstandort Deutschland (C)

Hinsichtlich der Zusammenarbeit mit **ausländischen Wissenschaftlern** zeigt die Auswertung der Online-Befragung, dass hochgerechnet auf die Gesamtprojektzahl von 1032 im Feld der Astro- und Astroteilchenphysik etwa 150 ausländische Mitarbeiter durch Projektmittel der Verbundforschung finanziert wurden, von denen mehr als 90 Mitarbeiter in Deutschland geblieben sind. In der Hadronen- und Kernphysik wurden etwa 340 ausländische Mitarbeiter finanziert, von denen etwa die Hälfte in Deutschland geblieben ist. In der Elementarteilchenphysik wurden mehr als 600 ausländische Mitarbeiter finanziert von denen ca. 260 Mitarbeiter in Deutschland geblieben sind. Im Feld der Kondensierten Materie wurden ca. 160 ausländische Mitarbeiter durch die Verbundforschung finanziert. Davon sind etwa 100 Mitarbeiter im Anschluss an ihre Projektstätigkeit im Rahmen der Verbundforschung in Deutschland geblieben. Der Großteil der am Projekt teilnehmenden Wissenschaftler stammt forschungsfeldübergreifend aus Italien (8 %), Frankreich (7 %), den USA (7 %), dem Vereinigten Königreich, Polen und Russland (jeweils 5 %). Aus China, Spanien, der Schweiz und den Niederlanden kommen jeweils ca. 4 % der ausländischen Wissenschaftler. Des Weiteren kommen 50% der teilnehmenden ausländischen Wissenschaftler aus anderen Drittstaaten, insbesondere Australien, Indien, Ukraine, Chile, Brasilien, Korea und Georgien.

Im Hinblick auf die internationale Einbindung **deutscher Wissenschaftler** wird in der Hälfte der in der Online-Befragung befragten Projekte davon ausgegangen, dass sich durch die im Rahmen der Verbundforschung geförderten Projekte die Teilnahme an Projekten mit ausländischen Partnereinrichtungen (außerhalb der Verbundforschung) erhöht hat (vgl. Abbildung 12).

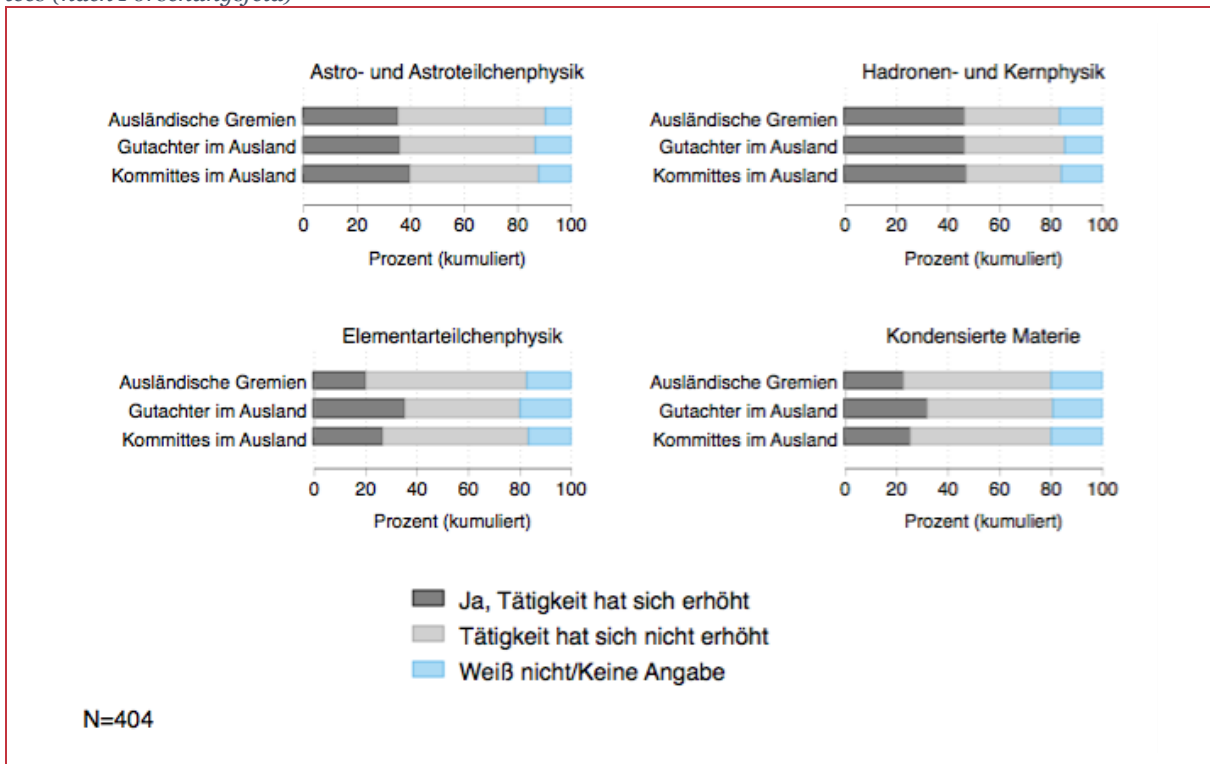
Abbildung 12 Durch Projekt mehr Teilnahme an Projekten mit ausländischen Partnereinrichtungen (nach Forschungsfeld)



Quelle: Eigene Erhebung

Insbesondere Gutachtertätigkeiten im Ausland haben sich nach Angaben der befragten Wissenschaftler durch die Projekte der Verbundforschung erhöht (siehe Abbildung 13). In Bezug auf die Tätigkeit in ausländischen Gremien sowie die Tätigkeit in ausländischen Komitees sieht eine Mehrheit der befragten Wissenschaftler keine durch das Projekt bedingte Erhöhung dieser Tätigkeiten. Betrachtet man die Länder, in denen beteiligte deutsche Wissenschaftler im Rahmen des jeweiligen Verbundforschungsprojekts tätig waren, sind die USA, Frankreich, die Schweiz, Italien und das Vereinigte Königreich die am häufigsten genannten Zielländer.

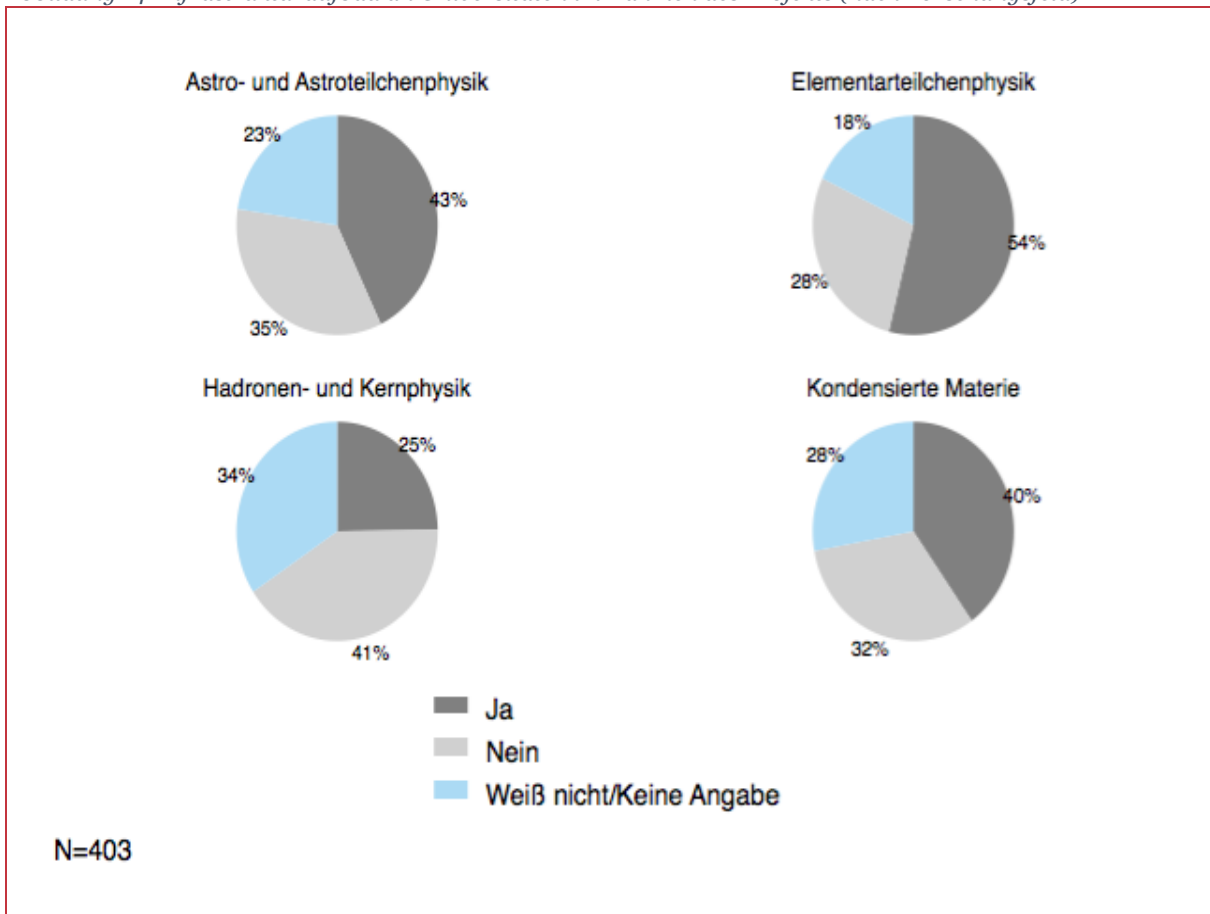
Abbildung 13 Tätigkeit in ausländischen Gremien, Gutachter im Ausland und Tätigkeit in ausländischen Komitees (nach Forschungsfeld)



Quelle: Eigene Erhebung

**Spill-Over Effekte** aus der Verbundforschung können in dem Auf- und Ausbau von Infrastrukturen an Universitäten, der Verwertung von Forschungsergebnissen sowie der Verzahnung mit der Industrie vermutet werden. Die Auswertung der Online-Befragung legt die Vermutung nahe, dass u.a. durch den **Infrastrukturaufbau** an Universitäten Spill-Over Effekte nachzuweisen sind. Insgesamt wurde im Rahmen von ca. 40 % der befragten Projekte Infrastruktur an Universitäten aufgebaut (siehe Abbildung 14). Dabei wurden insbesondere der Aufbau bzw. die Einrichtung oder die Verbesserung von Computing-Infrastrukturen, Detektorlaboren sowie anderer Labortypen genannt.

Abbildung 14 Infrastrukturaufbau an Universitäten im Rahmen des Projekts (nach Forschungsfeld)

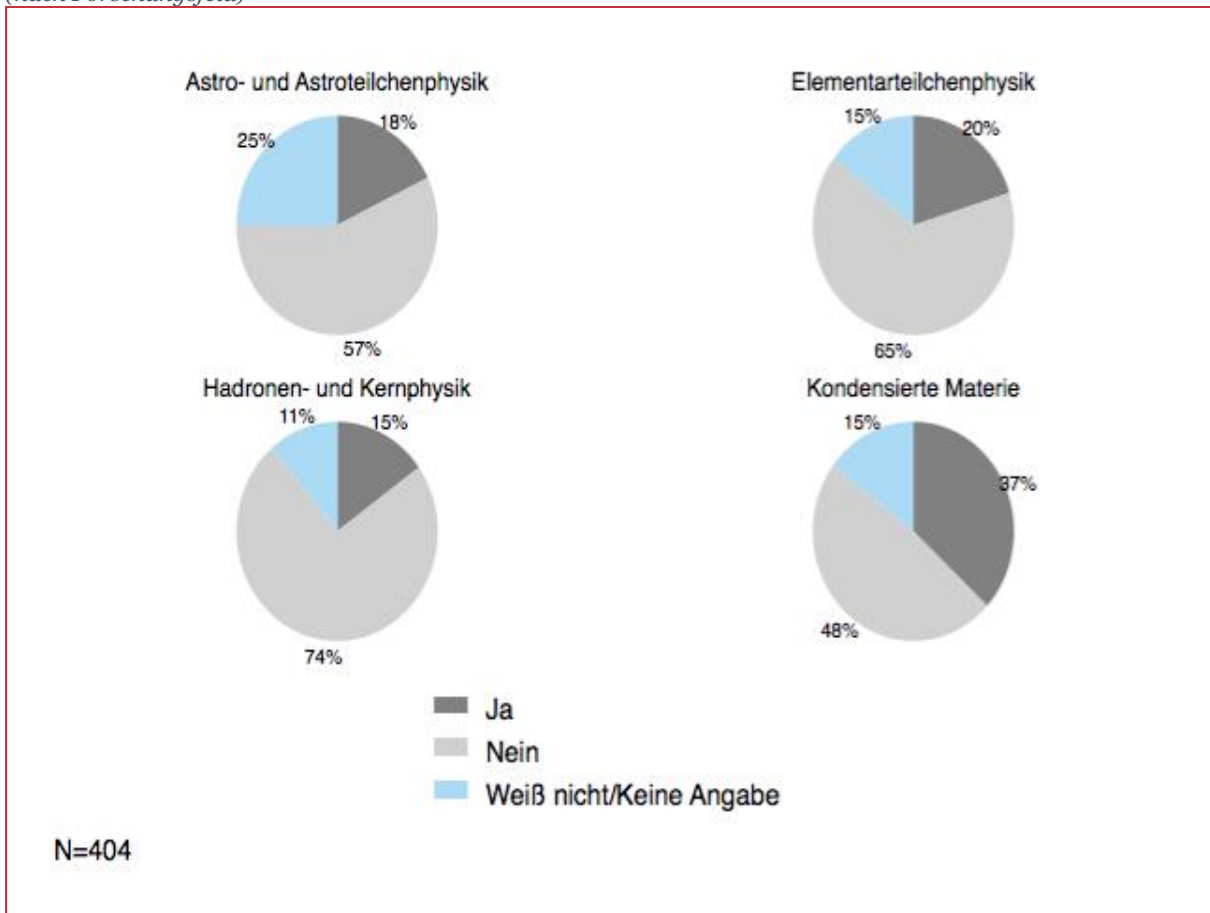


Quelle: Eigene Erhebung

Hinsichtlich der **Verwertbarkeit** der Forschungsergebnisse wurden in etwas mehr als 4 % der befragten Projekte auf der Basis der Forschungsergebnisse des jeweiligen geförderten Projekts Patente angemeldet. **Unternehmensausgründungen** bzw. Spin-Offs aus den Projekten wurden insgesamt bei etwas weniger als 3 % der befragten Projekte angegeben. Hinsichtlich von Kontakten mit Unternehmen gab es in etwa 56 % der befragten Fälle solche Kontakte. Von den befragten Projekten, in denen Kontakte zu Unternehmen zu Stande gekommen sind, wurden am häufigsten die Zulieferung von Material, informative Kontakte sowie die Zulieferung von Dienstleistungen genannt. Kooperation oder Kooperationsanbahnung machen etwa 20 % der Gesamtnennungen aus.

Aus den Ergebnissen des Projekts erkennen insgesamt 23 % der befragten Projekte einen Anwendungsbezug im Bereich angewandter, industrienaher Forschung. 61 % sehen keinen Anwendungsbezug in diesem Bereich und 16 % wissen es nicht bzw. machen dazu keine Angabe. Dieses Bild variiert im Vergleich zwischen den Forschungsfeldern, wie Abbildung 15 verdeutlicht. Während in der Kondensierten Materie in 37 % der befragten Projekte ein Anwendungsbezug aus den Projektergebnissen erkennbar ist, ist der Anteil in den anderen Forschungsfeldern wesentlich geringer.

Abbildung 15 Anwendungsbezug aus Projektergebnissen im Bereich angewandter, industrienaher Forschung (nach Forschungsfeld)

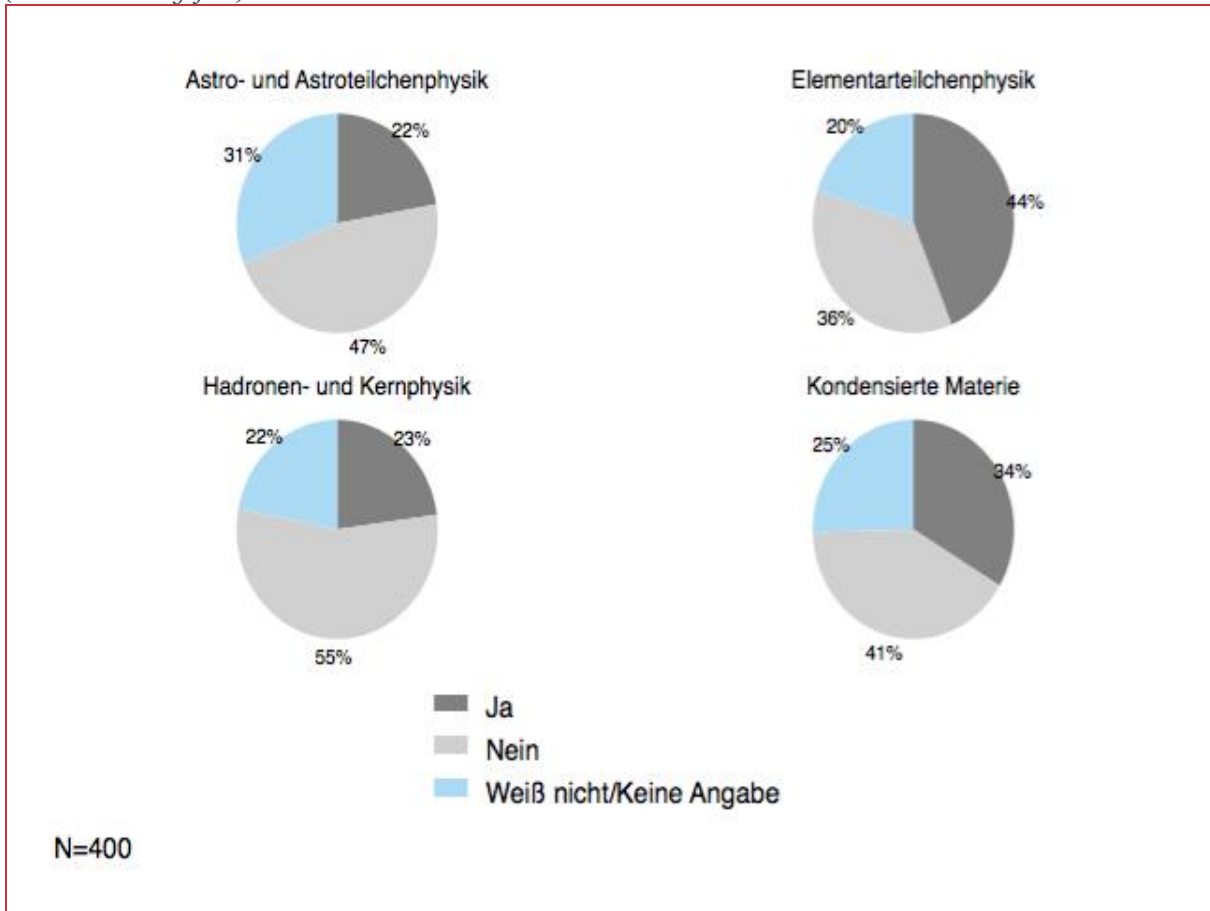


Quelle: Eigene Erhebung

Der Anwendungsbezug der im Rahmen der Verbundforschung entwickelten Instrumente wird bei 31 % der befragten Projekte gesehen, der somit etwas besser als der Anwendungsbezug aus den Projektergebnissen eingeschätzt wird. Abbildung 16 illustriert die unterschiedlichen Einschätzungen der einzelnen Forschungsfelder. In der Elementarteilchenphysik sieht man in 44 % der befragten Projekte aus den entwickelten Instrumenten einen Anwendungsbezug im Bereich angewandter, industrienaher Forschung. Somit wird der Anwendungsbezug aus entwickelten Instrumenten besser eingeschätzt als der Anwendungsbezug der Projektergebnisse.



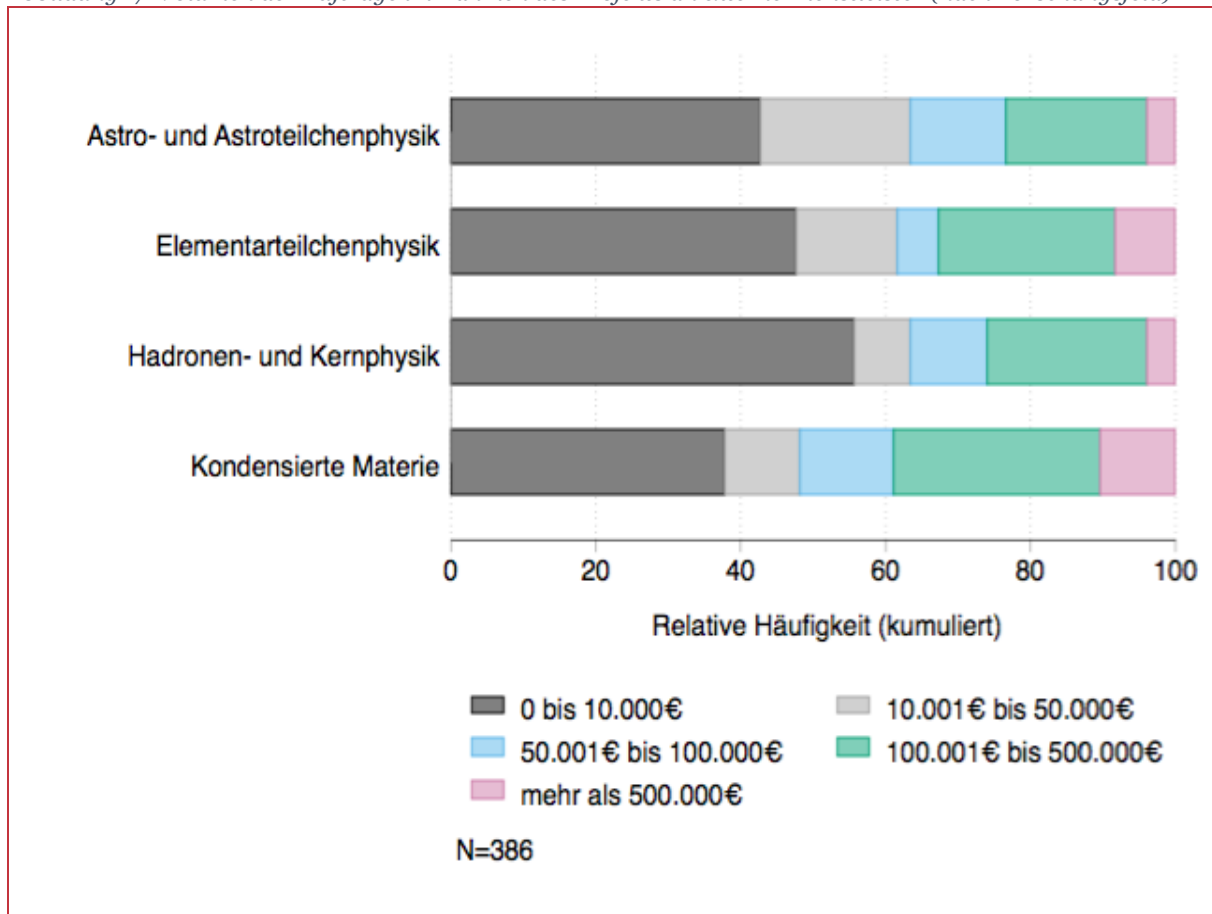
Abbildung 16 Anwendungsbezug entwickelter Instrumente im Bereich angewandter, industrienaher Forschung (nach Forschungsfeld)



Quelle: Eigene Erhebung

Abbildung 17 visualisiert die Volumina der im Rahmen des Projekts an externe Dienstleister vergebenen Aufträge für die vier Forschungsfelder. Relativ hohe Volumina sind in den befragten Projekten vor allem in der Elementarteilchenphysik und in der Kondensierten Materie entstanden, wo in jeweils ca. 15 bzw. 20 % der befragten Projekte Volumina von über 500.000€ an externe Dienstleister vergeben wurden.

Abbildung 17 Volumen der Aufträge im Rahmen des Projekts an externe Dienstleister (nach Forschungsfeld)



Quelle: Eigene Erhebung

Hinsichtlich der Stärkung der Wissensgesellschaft hat es, bezogen auf die **Öffentlichkeitsarbeit**, in 44% der befragten Projekte Veröffentlichungen in den Medien zum geförderten Projekt gegeben. Mit 70% bzw. 62% hat es in der Elementarteilchenphysik sowie in der Astro- und Astroteilchenphysik am häufigsten Veröffentlichungen in Medien gegeben. Der Vergleich der drei Förderperioden zeigt, dass es in der ersten Förderperiode noch in 47% der befragten Projekte Veröffentlichungen in Medien gegeben hat, während dieser Wert bei befragten Projekten aus der dritten Förderperiode bei 41 % liegt. Einen weiteren wichtigen Teil der Öffentlichkeitsarbeit durch die Forschung stellen Veranstaltungen wie z.B. Kinder-Universitäten oder der Girls Day dar. Hier gab es bei 55% der befragten Projekte solche Veranstaltungen. Im Vergleich der drei Förderperioden ist erkennbar, dass sich das Angebot solcher Veranstaltungen von 62% in den befragten Projekten der ersten Förderperiode auf 51 % in der dritten Förderperiode reduziert hat. Schließlich bieten soziale Medien sowie sonstige innovative Kanäle (z.B. Highlights der Physik) die Möglichkeit, die Öffentlichkeit über Projekte zu informieren. Dies wird jedoch lediglich in 25% der befragten Projekte als ein Informationsmittel genannt.

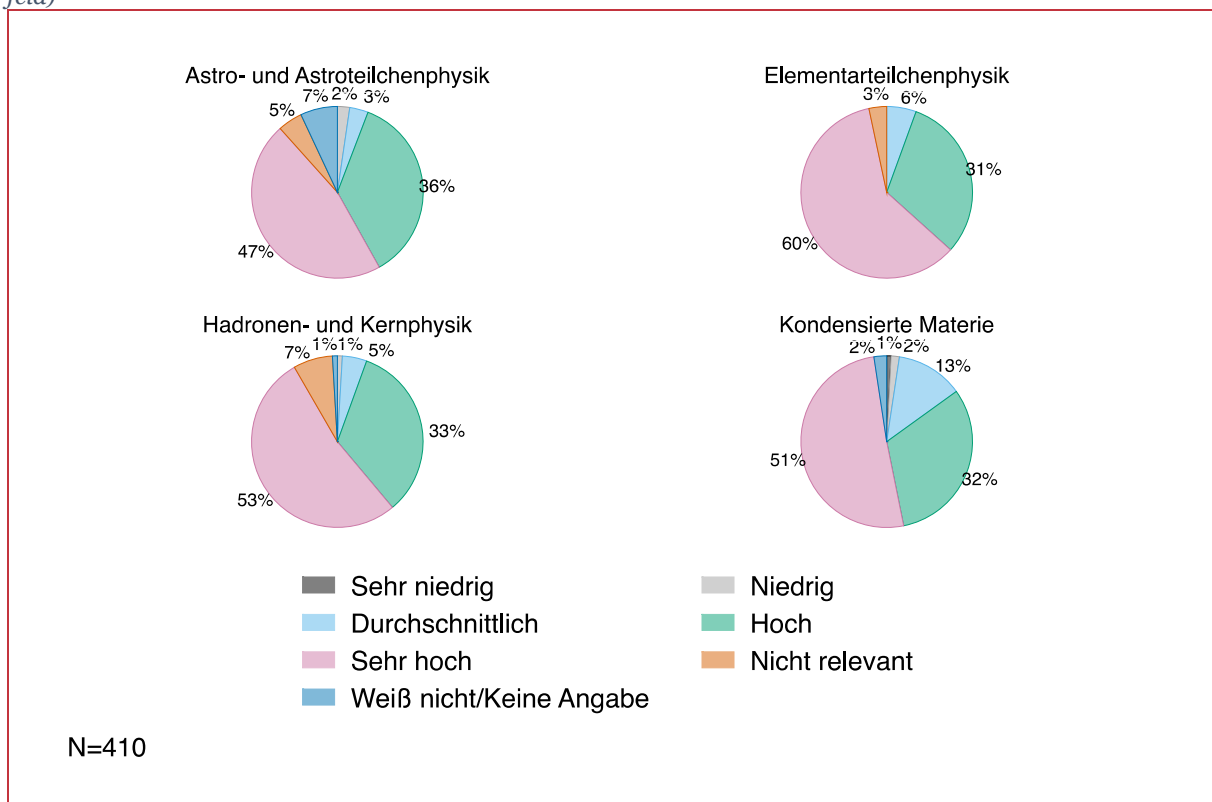
### 3.4 Auswertung der Ergebnisse zur Aufstellung der Fördermaßnahme (D)

Die Auswertung der Ergebnisse zur Aufstellung der Fördermaßnahme zeigt hinsichtlich des **Erreichens des Förderziels**, dass im Hinblick auf **die Erarbeitung neuer Forschungsmethoden** der Zielerreichungsgrad bei 52 % der befragten Projekte insgesamt als sehr hoch und von 33 % als hoch angesehen wird. Somit wird bei mehr als 80 % der befragten Projekte der Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Erarbeitung neuer Forschungsmethoden als hoch bzw. sehr hoch eingeschätzt. Abbildung 18 stellt die Angaben zum Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Erarbeitung neuer Forschungsmethoden nach Forschungsfeld dar. Dabei zeigt sich, dass der Zielerreichungsgrad bei den befragten Projekten über alle Forschungsfelder hinweg hoch bzw. sehr hoch ist. Bei der Elementarteilchenphysik liegt der

Anteil von Projekten, wo der Zielerreichungsgrad mit „sehr hoch“ angegeben wurde, sogar bei 60 %. Hinsichtlich der Ursächlichkeit der Verbundforschung bei der Zielerreichung in Bezug auf die Erarbeitung neuer Forschungsmethoden wird bei 94 % der befragten Projekte festgestellt, dass das Ziel nicht ohne die Förderung durch die Verbundforschung hätte erreicht werden können.

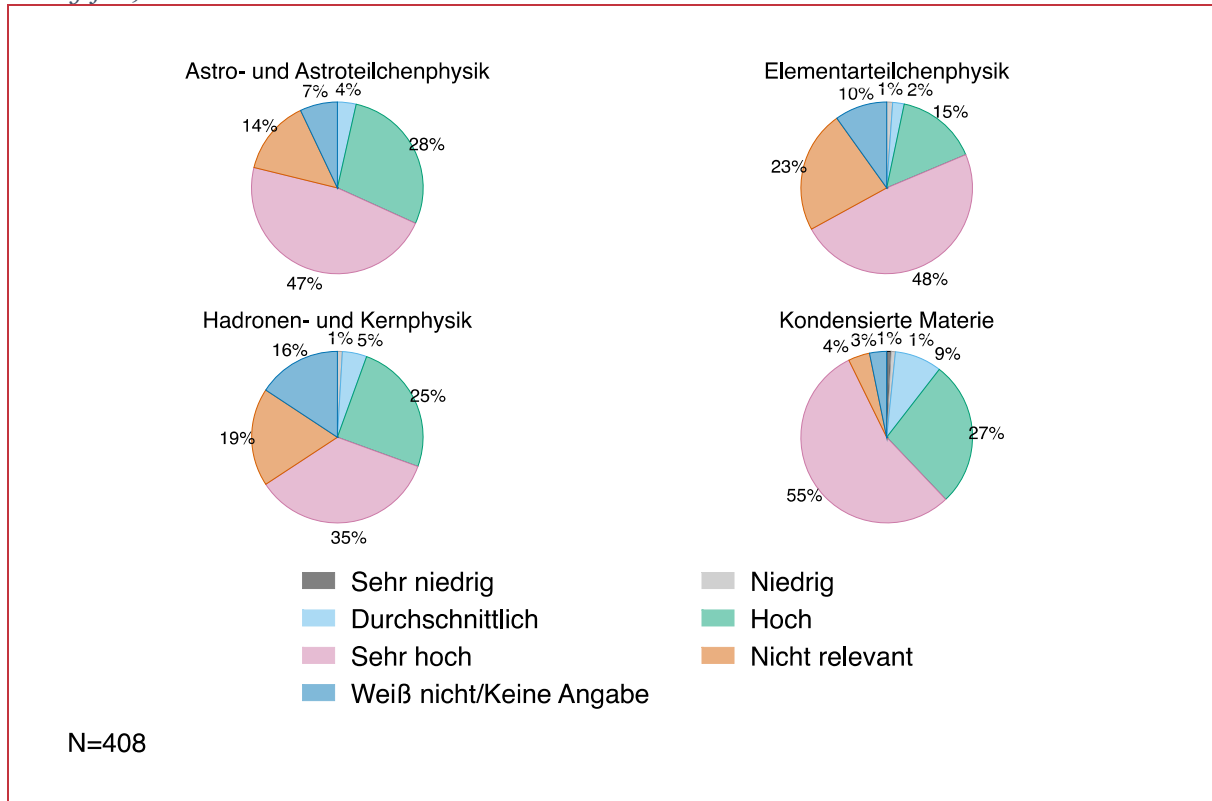
Der **Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Entwicklung innovativer Instrumentierung** wird bei ca. 47 % der befragten Projekte insgesamt als sehr hoch und von etwa 24 % als hoch angesehen. Somit ist bei mehr als 70 % der befragten Projekte der Zielerreichungsgrad hoch bzw. sehr hoch. Verglichen mit dem Zielerreichungsgrad bei der Erarbeitung neuer Forschungsmethoden ist dieser Wert um ca. 10 % niedriger. Abbildung 19 stellt die Angaben zum Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Entwicklung innovativer Instrumentierung nach Forschungsfeld dar. Dabei zeigt sich, dass der Zielerreichungsgrad bei den befragten Projekten über alle Forschungsfelder hinweg als hoch bzw. sehr hoch eingeschätzt wird. Bei der Kondensierten Materie liegt der Anteil von Projekten, wo der Zielerreichungsgrad mit „sehr hoch“ angegeben wurde mit 55 % am höchsten, im Bereich der Hadronen- und Kernphysik mit 35 % am niedrigsten. Hinsichtlich der Ursächlichkeit der Verbundforschung bei der Zielerreichung in Bezug auf die Entwicklung innovativer Instrumentierung wird bei ca. 78 % der befragten Projekte festgestellt, dass das Ziel nicht ohne die Förderung durch die Verbundforschung hätte erreicht werden können.

Abbildung 18 Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Erarbeitung neuer Forschungsmethoden (nach Forschungsfeld)



Quelle: Eigene Erhebung

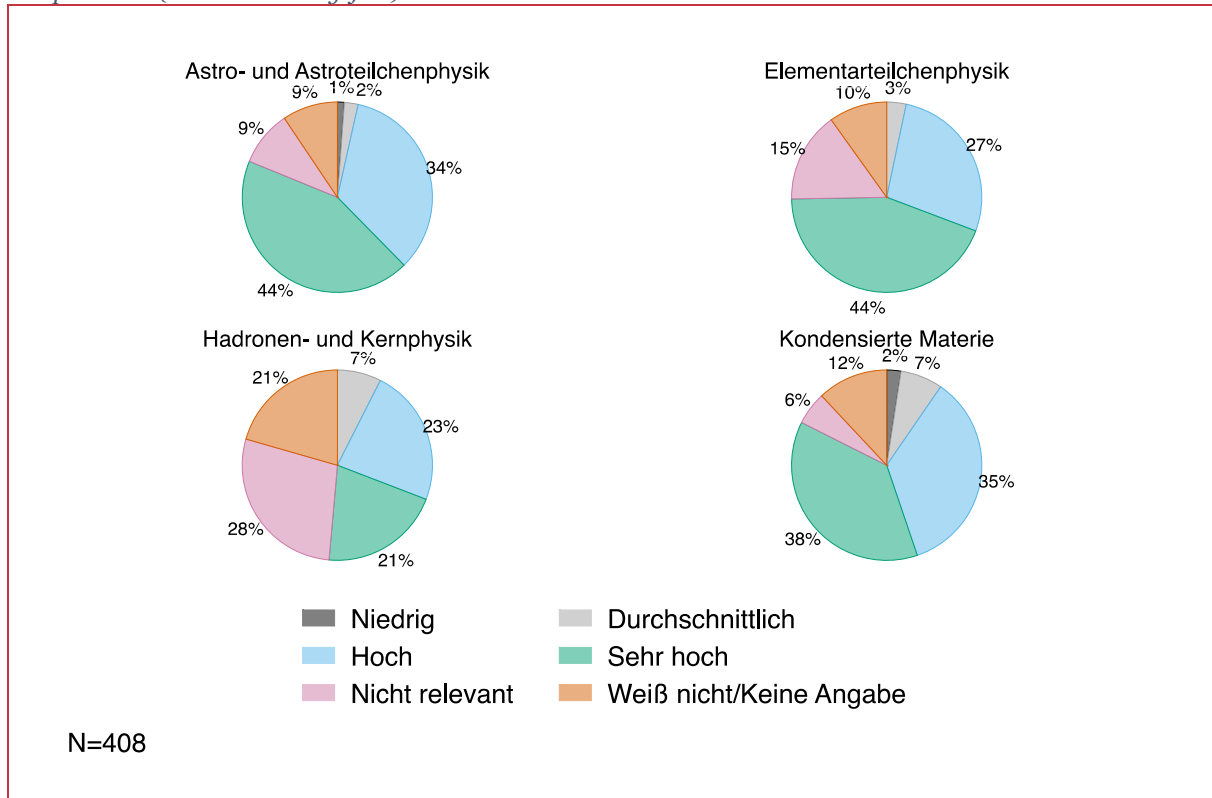
Abbildung 19 Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Entwicklung innovativer Instrumentierung (nach Forschungsfeld)



Quelle: Eigene Erhebung

Der Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Weiterentwicklung der Basistechnologie bzw. von Schlüsselkomponenten wird bei 36 % der befragten Projekte insgesamt als sehr hoch und von 30 % als hoch angesehen. Somit ist bei mehr als 66% der befragten Projekte der Zielerreichungsgrad hoch bzw. sehr hoch. Abbildung 20 stellt die Angaben zum Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Weiterentwicklung der Basistechnologie bzw. von Schlüsselkomponenten nach Forschungsfeld dar. Dabei zeigt sich, dass der Zielerreichungsgrad diesbezüglich bei den befragten Projekten über alle Forschungsfelder hinweg als hoch bzw. sehr hoch eingeschätzt wird. Lediglich in der Hadronen- und Kernphysik sieht man den Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Weiterentwicklung der Basistechnologie als vergleichsweise geringer an. Hinsichtlich der Ursächlichkeit der Verbundforschung bei der Zielerreichung in Bezug auf die Weiterentwicklung der Basistechnologie bzw. von Schlüsselkomponenten wird bei ca. 70 % der befragten Projekte festgestellt, dass das Ziel nicht ohne die Förderung durch die Verbundforschung hätte erreicht werden können. Bei den ca. 30 befragten Projekten, bei denen der Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Entwicklung innovativer Instrumentierung als durchschnittlich bzw. niedrig oder sehr niedrig eingeschätzt wird, werden wie auch beim Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Erarbeitung neuer Forschungsmethoden vor allem technische Probleme als Gründe genannt. Das Aufkommen solcher technischen Probleme wird u.a. mit Verzögerungen seitens der Zuliefererunternehmen begründet, da diese Unternehmen oftmals erst nach Förderbeginn mit der konkreten Entwicklung der Instrumentierung beginnen.

Abbildung 20 Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Weiterentwicklung der Basistechnologie bzw. von Schlüsselkomponenten (nach Forschungsfeld)

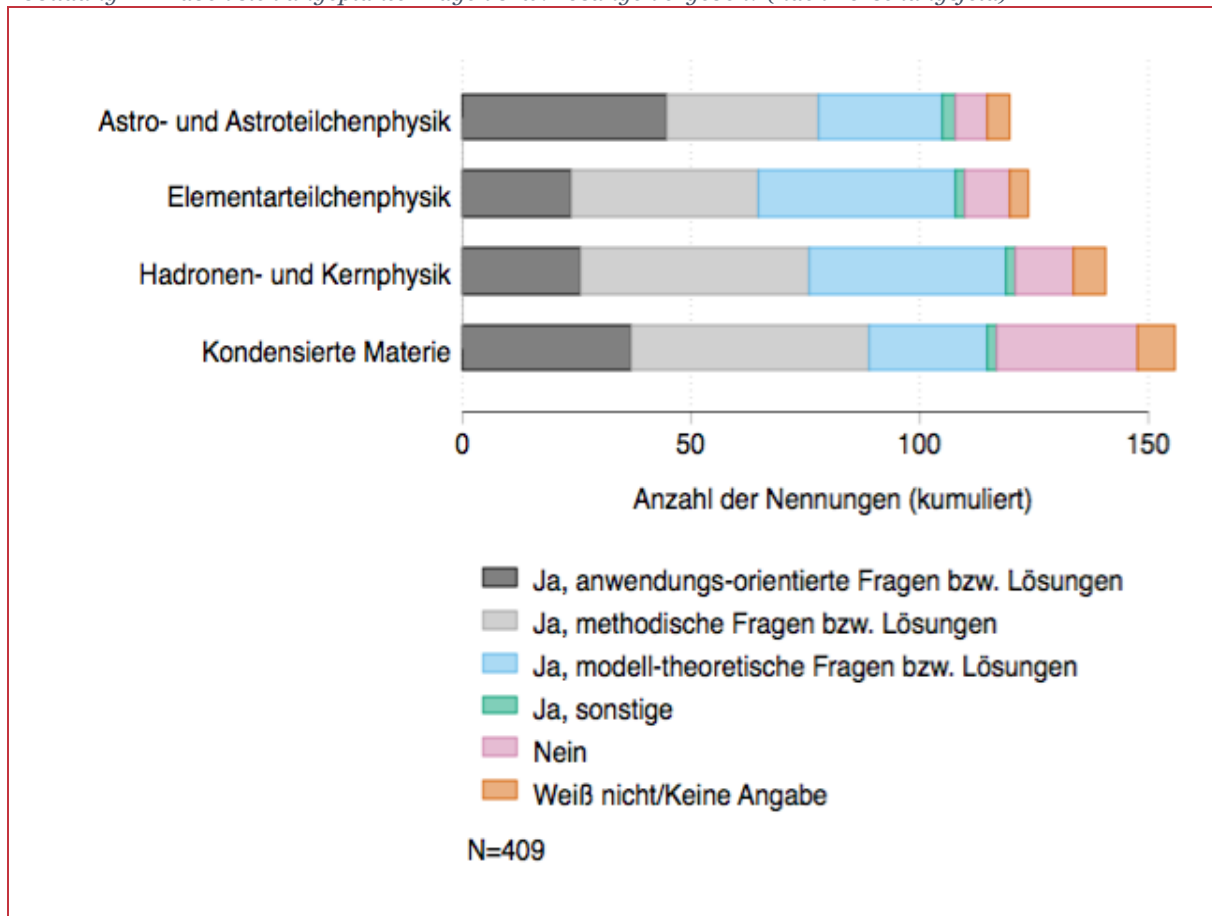


Quelle: Eigene Erhebung

Bei der Einschätzung, ob die Verbundforschung ausschlaggebend für den Zielerreichungsgrad war, gibt es Unterschiede zwischen den drei Zielkategorien. Während bei der Erarbeitung neuer Forschungsmethoden in 94 % der befragten Projekte die Förderung durch die Verbundforschung als ausschlaggebend für den Zielerreichungsgrad angesehen wird, sehen das in Bezug auf die Entwicklung innovativer Instrumentierung nur 78 % so und bei der Weiterentwicklung der Basistechnologie bzw. von Schlüsselkomponenten lediglich 70 % der befragten Projekte. Somit wird der Verbundforschung insbesondere hinsichtlich der Erarbeitung neuer Forschungsmethoden ein hoher Beitrag beigemessen, während der Beitrag der Verbundforschung zur Zielerreichung in der Weiterentwicklung der Basistechnologie bzw. von Schlüsselkomponenten geringer eingeschätzt wird. Bei den 27 befragten Projekten, bei denen der Zielerreichungsgrad in Bezug auf die Weiterentwicklung der Basistechnologie bzw. von Schlüsselkomponenten als durchschnittlich bzw. niedrig oder sehr niedrig eingeschätzt wurde, werden insbesondere personelle Probleme als häufige Gründe genannt. Das Aufkommen solcher personellen Probleme wird u.a. mit dem hohen personellen Aufwand begründet, den die Weiterentwicklungen der Basistechnologie bzw. von Schlüsselkomponenten mit sich bringen und somit häufig zu einem Personalmangel in diesem Bereich führt.

Ein weiterer Aspekt der Zielerreichung umfasst das Entstehen **ungeplanter Fragen bzw. Lösungen** durch die Arbeit im Projekt. In der Befragung zeigt sich, dass in ca. 44 % der befragten Projekte ungeplante methodische Fragen bzw. Lösungen aufgekommen sind (Abbildung 21). Doch auch ungeplante modell-theoretische Fragen bzw. Lösungen sowie anwendungsorientierte Fragen bzw. Lösungen (ca. 35 %, respektive 32 %) haben sich im Rahmen der Projektarbeit ergeben. Nur in weniger als 15 % der befragten Projekte haben sich keine ungeplanten Fragen bzw. Lösungen ergeben.

Abbildung 21 Haben sich ungeplante Fragen bzw. Lösungen ergeben? (nach Forschungsfeld)

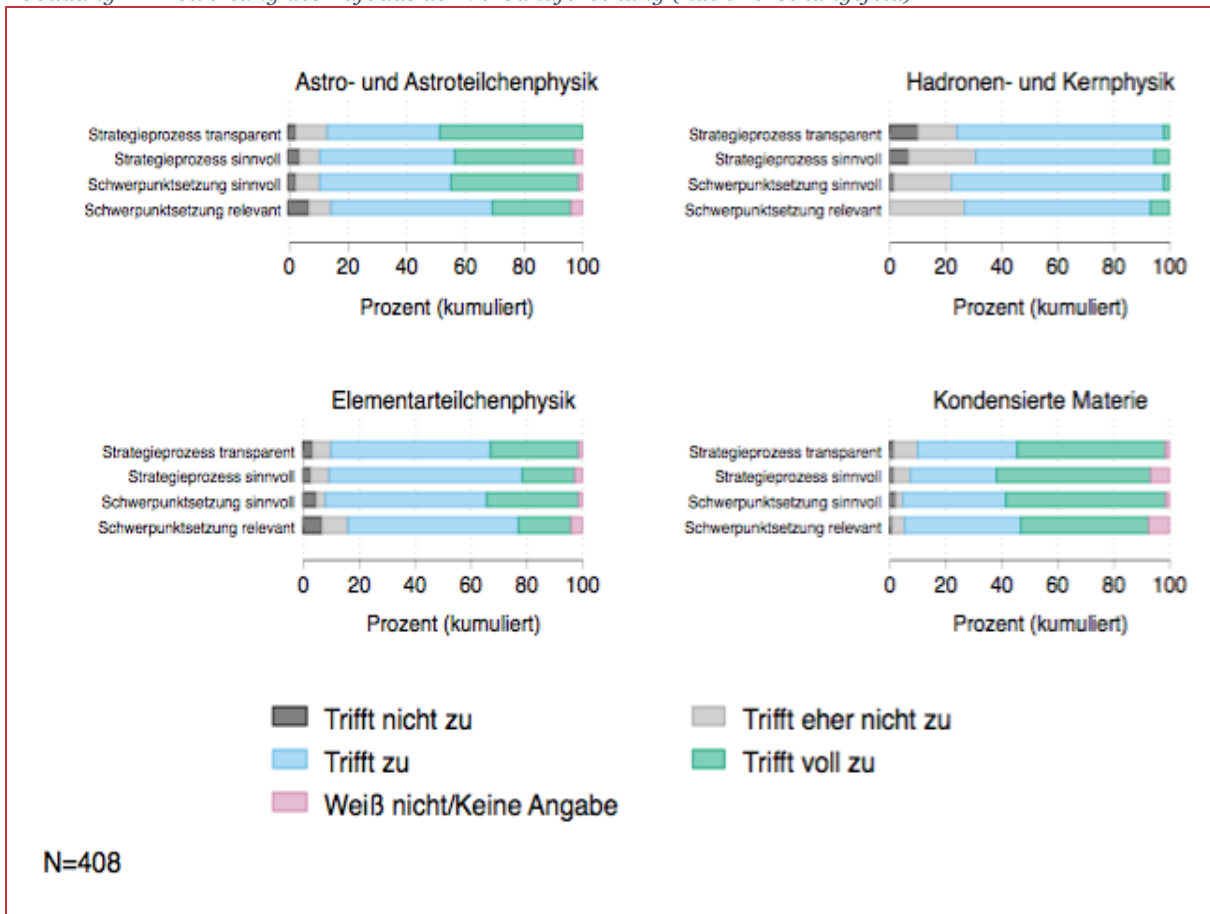


Quelle: Eigene Erhebung

Bezüglich der **Zieladäquanz der Förderrichtlinien** wird in 87 % der befragten Projekte der Strategieprozess, der der Förderrichtlinie der Verbundforschung zugrunde liegt als bekannt und transparent erachtet (siehe Abbildung 22). Einem ähnlich hohen Anteil erscheint der Strategieprozess zudem als sinnvoll. Bei knapp 93 % der befragten Projekte wird die inhaltliche Schwerpunktsetzung der für das Projekt relevanten Förderrichtlinie als sinnvoll erachtet und bei ca. 86 % der befragten Projekte wird die inhaltliche Schwerpunktsetzung der für das jeweilige Projekt relevanten Förderrichtlinie als in geeigneter Weise an die sich wandelnde Großgeräte- und Forschungslandschaft angepasst angesehen. Betrachtet man die Einschätzungen des Strategieprozesses sowie zur inhaltlichen Schwerpunktsetzung über die vier Forschungsfelder getrennt, lassen sich Unterschiede erkennen. In der Elementarteilchenphysik sieht etwa ein Fünftel den Strategieprozess als nicht besonders sinnvoll sowie die inhaltliche Schwerpunktsetzung der relevanten Förderrichtlinie als nicht ausreichend flexibel an, um sich an die wandelnde Großgeräte- und Forschungslandschaft anzupassen. Hier könnte eine Rolle spielen, dass die Verbundforschung, gemäß ihres bundespolitischen Auftrags, stark an den vorgeschalteten Roadmap-Prozessen orientiert ist und hier nationale Interessen wahrt. Damit reduziert sich aus Sicht der Befragten der gefühlte wissenschaftliche Freiraum ein Stück weit. In den anderen Forschungsfeldern wird von den befragten Projekten der zugrundeliegende Strategieprozess als sehr transparent und sinnvoll sowie die inhaltliche Schwerpunktsetzung als sinnvoll und relevant eingeschätzt.



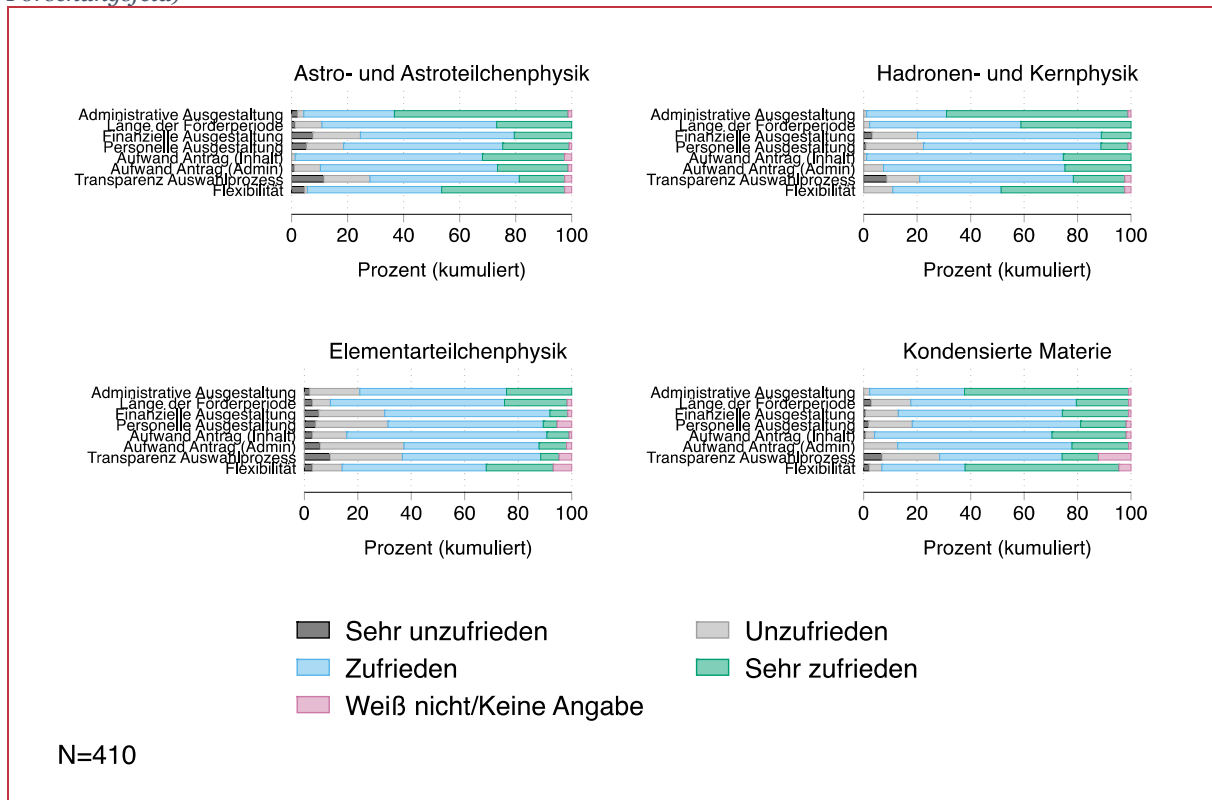
Abbildung 22 Bewertung des Aufbaus der Verbundforschung (nach Forschungsfeld)



Quelle: Eigene Erhebung

Die Einschätzung der Adäquanz der inhaltlichen und operativen Ausgestaltung der Maßnahme in den befragten Projekten zeigt, dass die Befragten insbesondere mit der **administrativen Ausgestaltung**, des **inhaltlichen Aufwands** der Projektbeantragung sowie der **Flexibilität** der Fördergeber während der Förderperiode größtenteils zufrieden bis sehr zufrieden sind (siehe Abbildung 23). Größere Unzufriedenheit besteht tendenziell im Bereich der finanziellen sowie personellen Ausgestaltung der Verbundforschung, aber auch bei der Transparenz des Auswahlprozesses der Projektanträge, wo man sich bei knapp 20 % der Projekte unzufrieden zeigt. Die Zufriedenheit wird insgesamt über alle Forschungsfelder hinweg geteilt. In der Hadronen- und Kernphysik ist man mit dem administrativen Aufwand der Projektbeantragung vergleichsweise unzufriedener als in den anderen Forschungsfeldern, was durch die geänderte Umsetzung der Anforderungen des Controllings an diese Projekte nachvollziehbar ist. Eine mögliche Erklärung ist hier, dass es einen Wechsel des zuständigen Projektträgers gab. Die Community scheint sich auf die damit verbundenen administrativen Veränderungen noch einstellen zu müssen. Auch mit der Transparenz des Auswahlprozesses der Projektanträge ist ein größerer Prozentsatz unzufrieden als in den anderen Forschungsfeldern. Die Auswertung der Interviews mit Projektleitern zeigt, dass etwa zwei Drittel der Interviewten die Auswahl der Fachthemen und Gestaltung der Förderrichtlinien bezogen auf nicht-geförderte Fachthemen und auf die Sinnhaftigkeit der Fachthemenauswahl mit Blick auf die Förderziele als angemessen beurteilen. Hinsichtlich der Anpassung der Maßnahme auf die sich wandelnde Großgeräte-Landschaft schätzt etwa die Hälfte der Interviewten die Auswahl der Fachthemen und Gestaltung der Förderrichtlinien als angemessen ein.

Abbildung 23 Einschätzung der Adäquanz der inhaltlichen und operativen Ausgestaltung der Maßnahme (nach Forschungsfeld)



Quelle: Eigene Erhebung

Bezüglich des **Stellenwerts der Verbundforschung** wird forschungsfeldübergreifend der Aussage voll zugestimmt, dass die Verbundforschung zur Erhöhung des Stellenwerts der Grundlagenforschung an Großgeräten in der jeweiligen Universität bzw. Forschungseinrichtung beiträgt, da die Projekte im Rahmen der Verbundforschung die Entwicklung an Großgeräten überhaupt erst möglich machen. Im Vergleich zwischen den Forschungsfeldern war der „volle“ Zustimmungswert besonders in der Astro- und Astroteilchenphysik mit 80 % hoch. In der Kondensierten Materie stimmten dagegen 67 % dieser Aussage voll zu. Ein wesentlicher Unterschied in der Einschätzung zwischen den Förderperioden wurde nicht identifiziert.

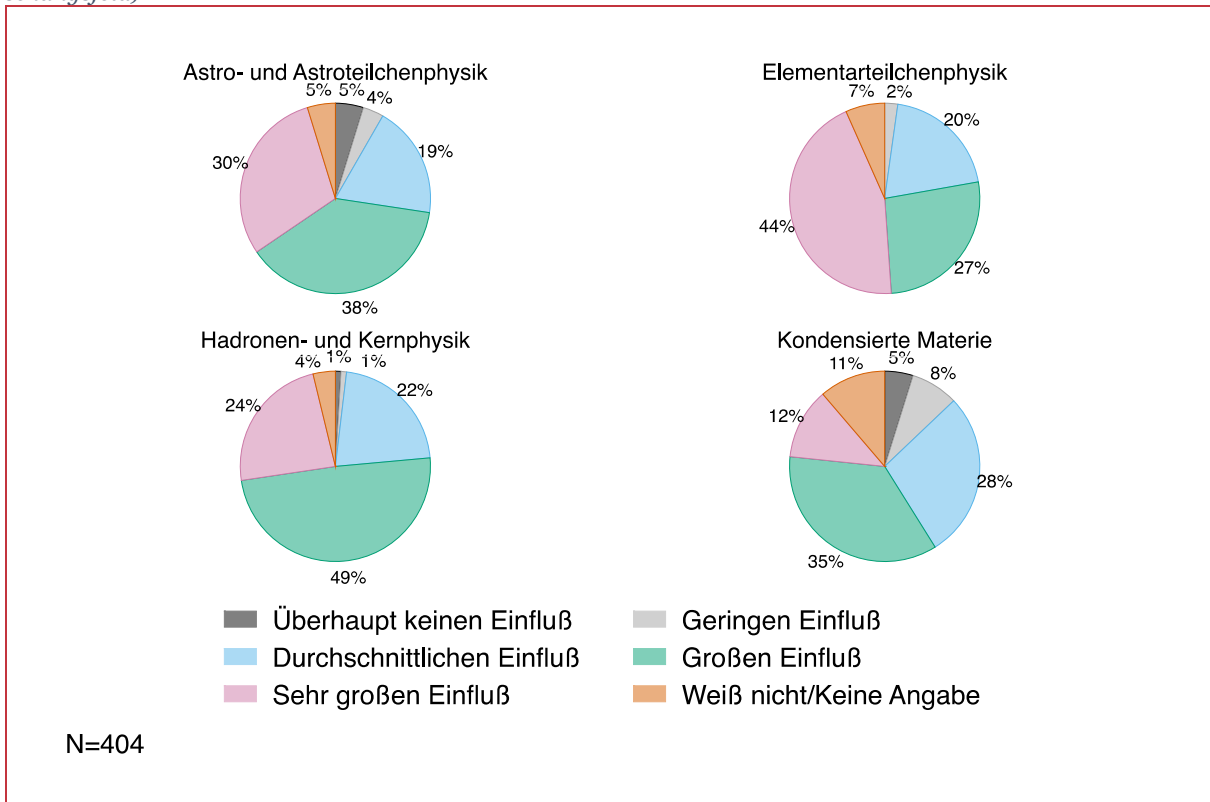
Bei mehr als 90 % der befragten Projekte liegt keine **Kenntnis alternativer Förderprogramme** vor. Die, denen alternative Förderprogramme bekannt sind nennen hier als mögliche Quellen die Förderprogramme der Europäischen Union sowie die der DFG, wobei die Förderung durch die DFG hier von den Befragten nur als eingeschränkt möglich gesehen wird.

Hinsichtlich der **Wirkung der Förderinstrumente** der Verbundforschung sieht ein Großteil der befragten Projektleiter die Leistungsfähigkeit der jeweiligen Großgeräte durch die Projektergebnisse der Verbundforschung als erhöht an. Darüber hinaus wird forschungsfeldübergreifend die universitätsbasierte Entwicklung von Instrumenten und Methoden an Großgeräten als **nationales Alleinstellungsmerkmal im globalen Vergleich** gesehen.

Die Frage nach dem **Einfluss der Verbundforschung auf die strategische Forschungsplanung** der Hochschulen bringt insbesondere im Vergleich zwischen den verschiedenen Forschungsfeldern ein differenziertes Bild hervor (siehe Abbildung 24). Während in der Astro- und Astroteilchenphysik, der Hadronen- und Kernphysik sowie in der Elementarteilchenphysik ungefähr zwei Drittel der befragten Projekte den Einfluss der Verbundforschung auf die strategische Forschungsplanung der Hoch-

schulen als „groß“ bzw. „sehr groß“ einschätzen, sehen dies im Forschungsfeld der Kondensierten Materie lediglich weniger als die Hälfte der Befragten so. Dieses Bild ist über die verschiedenen Förderperioden hinweg konsistent.

Abbildung 24 Einfluss der Verbundforschung auf strategische Forschungsplanung der Hochschule (nach Forschungsfeld)



Quelle: Eigene Erhebung

Schließlich ist ein weiterer Aspekt der Wirkung des Förderinstruments die Frage ob die Ausgestaltung der Förderrichtlinien möglicherweise zu einer zu starken Verengung auf bestimmte wissenschaftliche Entwicklungen führt. Wohingegen in knapp zwei Drittel der befragten Projekte keine zu starke Verengung auf bestimmte wissenschaftliche Entwicklungen durch die Förderrichtlinien gesehen wird, wird dies von immerhin knapp einem Fünftel so gesehen.

Bezüglich der **Effekte der Verbundforschung auf die Großgeräte und deren Betreiber** sind knapp drei Viertel der Interviewten der Meinung, die Weiterentwicklung des jeweiligen Großgeräts bzw. Methodenportfolios hängt aktuell und zukünftig maßgeblich von der Projektförderung im Rahmen der Verbundforschung ab. Forschungsfeldübergreifend wird der Verbundforschung ein großer Einfluss auf die Weiterentwicklung der Großgeräte und deren Methodenportfolios zugeschrieben, da im Rahmen der Projekte der Verbundforschung insbesondere die notwendige intellektuelle Vorarbeit zur geleistet würde.

Ein weiterer Aspekt, der mit den Projektleitern in den Interviews diskutiert wurde, war die Bedeutung der Verbundforschung für die Großgeräte-Betreiber zur Gewinnung wissenschaftlichen Nachwuchses. Hier sind etwa zwei Drittel der Interviewten der Ansicht, die Verbundforschung habe eine große Bedeutung für die Großgeräte-Betreiber zur Gewinnung wissenschaftlichen Nachwuchses. Ein Drittel der Interviewten sieht nur eine mittelmäßige bis gar keine Bedeutung. Forschungsfeldübergreifend sind sich die Interviewten darin einig, dass die Ermöglichung einer längerfristigen Tätigkeit an Großgeräten der zentrale Beitrag der Verbundforschung für die Großgeräte-Betreiber bei der Gewinnung wissenschaftlichen Nachwuchses darstellt. In einigen Fällen werden die hohen Zahlen der Industrieabgänger aus Sicht

der Wissenschaft kritisch diskutiert, diese allerdings in vielen Fällen auch der geringen Stellenzahl an Großgeräten geschuldet ist. Gleichzeitig ist aber auch hier festzuhalten, dass die Beschäftigung von im Rahmen der Fördermaßnahme qualifizierten Beschäftigten in der Industrie insgesamt sehr positiv zu bewerten ist, auch wenn mancher Interviewpartner es lieber gesehen hätte, dass alle Qualifizierten in der Wissenschaft verblieben.

Ein weiterer diskutierter Punkt war der Einfluss der Forschungsstrategie der jeweiligen Großgeräte-Betreiber auf die Forschung der Projektleiter im Rahmen der Förderung aus der Verbundforschung. Etwa zwei Drittel der Interviewten schätzen den Einfluss der Forschungsstrategie des jeweiligen Großgeräte-Betreibers auf ihre Forschung als groß ein, wobei dieser Einfluss in der Elementarteilchenphysik und der Hadronen- und Kernphysik am bedeutsamsten eingeschätzt wird. Während in der Astro- und Astroteilchenphysik der Einfluss von den Interviewten als eher marginal angesehen wird, ist in der Kondensierten Materie der Einfluss der Großgeräte-Forschungsstrategie zwar gegeben, jedoch in enger Kopplung mit der Forschungsstrategie der eigenen Forschung.

Schließlich wurde der Einfluss der Aktivitäten der aus der Verbundforschung geförderten Projekte auf das/die jeweilige/n Großgerät/e und deren Betreiber diskutiert. Forschungsfeldübergreifend wird in den Interviews die Entwicklung neuer bzw. verbesserter Instrumente als zentraler Beitrag zur Leistungssteigerung der Großgeräte genannt. Obgleich wenig formaler Einfluss auf die Forschungsstrategien der Großgeräte über Teilnahmen an Gremien etc. identifiziert wird, sind nach Ansicht vieler Interviewten die meisten Großgeräte „durchlässig“ für gute Ideen und gute Arbeit. So werden indirekt die Forschungsstrategie und auch die Leistungsfähigkeit der Großgeräte beeinflusst.

An „großen Großgeräten“ wie am CERN gibt es bereits frühzeitig Workshops bei denen die Forschergruppen einbezogen werden und man über Ideen und Zukunftspläne diskutieren kann. Bei wirklich längerfristigen Fragen gibt es ein Scientific Policy Comitee, das sich anschließend mit dem Council abpricht. Diese Vorgehensweise trägt insbesondere am CERN dazu bei, eine enge Verknüpfung zwischen den zentral durchgeführten Experimenten mit den dezentralen Vorhersagen und Analysen herzustellen. Auch der Bau neuer Großgeräte resultiert aus Ideen, die in der Community „geboren“ werden und nicht exklusiv am spezifischen Großgerät.

Interessenskonflikte mit Großgeräte-Betreibern wurden lediglich von einem Drittel der Interviewten vermeldet. Generell rühren diese Differenzen daher, dass die Wünsche der Forschungsgruppen meist größer als die Möglichkeit ihrer Umsetzung an den Großgeräten sind. Die Vielzahl an Gremien und Abstimmungsprozessen – vor allem der BMBF-Strategieprozess – vermindern größtenteils das Potential für Interessenskonflikte. Nach Ansicht der Interviewten hat die Forscher-Community eine naturgemäß pluralistische Struktur, so dass eine Vielzahl an Vorschlägen gemacht wird, jedoch am Ende Entscheidungen getroffen werden müssen. Konflikte liegen jedoch stets im Prozess der normalen Meinungsbildung und laufen „stets zivilisiert“ ab.

Ein besonderes Konfliktpotenzial wird von den Interviewten in Situationen der bevorstehenden oder imminenten Abschaltung von Großgeräten gesehen. So gab es zum Ende von HERA scharfe Diskussionen, da man sich einigen musste worauf die Forschung am Großgerät in den letzten zwei Jahren konzentriert werden sollte.

Auch bei der Nachwuchsförderung sieht ein Interviewter einen naturgegebenen Interessenskonflikt zwischen Forschern und Großgeräte-Betreibern. Während die Forschergruppen junge Studenten möglichst oft und für eine längere Dauer in Experimenten (und deren Entwicklung) an Großgeräten unterbringen möchten, um diese auszubilden und in ihrem Studienverlauf zu begünstigen, sind die Großgeräte-Betreiber eher an der schnellen Fertigstellung und Maximierung der Laufzeit des Großgeräts interessiert. Bislang konnte dieser potentielle Interessenkonflikt jedoch durch die beteiligten Akteure offenbar austariert werden und ist bislang nicht zum Tragen gekommen.

Konflikte um Bewilligungen von Mess- oder Strahlzeit wurden nur vereinzelt erwähnt. Da prinzipiell die Vergabe solcher Zeiten unabhängig von den Fördermitteln ist und rein von der Einschätzung der wissenschaftlichen Leistungsfähigkeit des Forschungsvorhabens durch die Großgeräte-Betreiber (und die

beteiligten Komitees) abhängt, gab es in der Vergangenheit bei Verbundprojekten Probleme, wenn im Rahmen der dreijährigen Förderperiode nur ein Strahlzeit-Slot bewilligt wurde.

Schließlich wurde von Interviewten der Forschungsfelder Astroteilchenphysik sowie Elementarteilchenphysik die Debatte um eine stärkere Förderung der Neutrino-Physik erwähnt, die in der Community häufig diskutiert wird.

Vier **internationale Fallstudien** in Frankreich, der Schweiz, dem Vereinten Königreich sowie in Schweden schließen die Analyse der Aufstellung der Fördermaßnahme ab.<sup>6</sup> Ziel der Analysen im Rahmen der vier erstellten Fallstudien war es, zu identifizieren, ob in anderen Ländern analoge Fördermaßnahmen zur Verbundforschung existieren. Die Auswahl der Länder Frankreich, Schweden, Schweiz und Vereinigtes Königreich wurde auf Basis der Überlegung getroffen, dass diese europäischen Länder großtechnische Anlagen auf ihrem Staatsgebiet beherbergen bzw. Wissenschaftler aus diesen Ländern erhebliche Teilnahme an naturwissenschaftlicher Forschung mit großtechnischen Geräten betreiben. Die Fallstudien zeigen, dass durchaus in der Schweiz und im Vereinigten Königreich vergleichbare Förderprogramme bestehen, die ähnliche Ziele der Methoden- und Instrumentenentwicklung an Großgeräten anvisieren. Deutlich wurde jedoch, dass keines der betrachteten Länder den expliziten Fokus der Verbundforschung, d.h. die primäre Einbindung universitärer Lehrstühle in die Methoden- und Instrumentenentwicklung an großen Forschungsinfrastrukturen, aufweist.

Somit ist festzuhalten, dass das Alleinstellungsmerkmal der Verbundforschung, nämlich die universitäre Methoden- und Instrumentenentwicklung an Großgeräten, in keinem der für die internationalen Fallstudien herangezogenen Vergleichsländer ein Äquivalent findet. Im Folgenden werden zum einen die Ergebnisse der Befragung von Wissenschaftlern dargelegt, die im Ausland tätig sind aber mit der Fördermaßnahme vertraut sind. Daran schließen sich Fallstudien an, die für die ausgewählten Länder die Förderstruktur mit einer analogen inhaltlichen Ausprägung auf die Entwicklung von Instrumenten und Methoden für großtechnische Geräte aufweisen.

#### 3.4.1.1 Ergebnisse der Befragung von Wissenschaftlern im Ausland mit Kenntnis der Fördermaßnahme

Dieser Eindruck bestätigte sich im Rahmen von Interviews mit im Ausland tätigen deutschsprachigen Wissenschaftlern, die mit der Verbundforschung vertraut sind (z.B. durch Gutachtertätigkeit oder anderen Tätigkeiten im deutschen Wissenschaftssystem).

In **Frankreich** gibt es demnach nicht nur kein der Verbundforschung vergleichbares Forschungsförderungsprogramm, sondern auch keine anderen Möglichkeiten für Hochschulgruppen, die Entwicklung von Instrumentierungen an Großgeräten zu finanzieren. Nicht zur Besserung der Situation beigetragen hat darüber hinaus auch die deutliche Mittelreduzierung und die dadurch gesunkene Erfolgsquote der Förderanträge. Eine der wenigen Möglichkeiten für Universitäten, am Bau von Instrumenten mitzuwirken ist das französische Äquivalent zur Exzellenzinitiative, die es mehreren Universitäten erlaubt hat, am französischen Synchrotronstrahler SOLEIL ein Instrument zu bauen. Der fehlende Zugang der Universitäten zu den Großgeräten wirkt sich insbesondere auf die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses aus. Da die Kapazität für Doktoranden an den Großgeräten in Frankreich gering ausfällt gibt es einen deutlichen Nachteil für Nachwuchswissenschaftler, die ihre Forschungsprojekte an Großgeräten ansiedeln möchten. Im Vergleich zur universitären Forschungsförderung an Großgeräten in Frankreich steht die Community in Deutschland demnach sehr gut da. Wer sich als Wissenschaftler im Ausland mit der Idee trägt, eine Professur mit Instrumentierungsbezug in Deutschland anzunehmen, für den sei die Verbundforschung ein besonders schlagkräftiges Argument. Die Verbundforschung ermöglicht den universitären Gruppen nicht nur das physikalische Know-how sondern insbesondere auch die „Ingenieurserfahrung“, die man zur erfolgreichen Forschung an Großgeräten benötigt.

In der **Schweiz** hingegen gibt es mit dem sogenannten FLARE-Programm des schweizerischen Nationalfonds ein Programm, dass die Entwicklung von Instrumentierungen an Großgeräten ermöglicht. Die

---

<sup>6</sup> Die vollständigen internationalen Fallstudien sind im Materialband zur Evaluation enthalten.



universitäre Großgeräteforschung wird in der Schweiz als besonders wichtig angesehen, da es im Gegensatz zur Situation in Deutschland keine außeruniversitären Forschungseinrichtungen wie etwa die Max-Planck-Institute gibt. Die Verbundforschung ist insofern als Vorbild für die Schweiz tauglich, als dass durch die geringe Größe des Wissenschaftssystems die Kooperation der universitären Gruppen noch stärker greifen muss. Nur so könnten schweizerische Forschergruppen auch im internationalen Vergleich eine führende Rolle spielen. Zurzeit sind die Gruppen aufgrund der fehlenden „kritischen Masse“ nicht bedeutend genug, um in internationalen Kollaborationen etwa den „Principal Investigator“ zu stellen.

Im **Vereinigten Königreich (UK)** gibt es kein mit der Verbundforschung vergleichbares Forschungsförderungsprogramm. Die Großgerätforschung wird separat vom zuständigen Research Council vorgenommen, also einer der DFG ähnlichen Forschungsförderorganisation, die es für jeden Wissenschaftsbereich gibt. Dabei werden die Instrumentierungen und Experimente direkt am Großgerät durchgeführt, so dass in erster Linie keine Universitäten an der Entwicklung beteiligt sind (höchstens in beratender Form). Diese Form der Durchführung von Instrumentenbau und Durchführung der Experimente hat den Vorteil, dass alle Geräte „standardisiert“ an die Großforschungsanlage konstruiert werden. Ein anderer Vorteil wird darin gesehen, dass alle Nutzer Zugang zu den Großgeräten bekommen können, da man nicht zwingend an einer universitären Forschungsgruppe beteiligt sein muss. Der geringe Austausch an den Großgeräten (durch geschlossene und kontinuierliche Forscher und Ingenieure) wird jedoch auch als Hemmnis gesehen, da der Fokus immer auf den gleichen Leuten liegt und man somit ggf. weniger innovative Experimente ausprobieren kann. Darüber hinaus führt die starke „Drittmittel-Lastigkeit“ des britischen Forschungsförderungssystems auch zu einer wesentlich längeren Reaktionszeit bei der Mittelbeantragung zur Weiterführung oder Modifizierung von Projekten. Gleichzeitig bietet das große Angebot an drittmittel-finanzierten Nachwuchsprogrammen (Fellowships“ dem wissenschaftlichen Nachwuchs die Möglichkeit, an Großgeräten tätig zu sein. Hier besteht der wesentliche Vorteil in der Flexibilität, z.B. sich ausschließlich der Forschung widmen zu können, wenn es das jeweilige Nachwuchsprogramm ermöglicht. Mit spezifischen Programmen können bspw. Post-Docs aber auch Juniorprofessoren für mehrere Jahre an einem bestimmten Großgerät ihre Forschung finanzieren. Obgleich es wenig universitäre Gruppen an den Großgeräten gibt, sondern häufig die gleichen Forscher über längere Zeiträume hinweg dort tätig sind, erlaubt die Vielzahl der kleinen Förderprogramme im Vereinigten Königreich eine große Diversität bei den Forschungsthemen. Da sich die Zusammensetzung der Gutachtergremien in den unterschiedlichen Förderprogrammen stark unterscheidet, haben hochinnovative, abseits vom wissenschaftlichen „Mainstream“ verortete Forschungsprojekte eine gute Chance eine Finanzierung zu erhalten. So haben insbesondere auch „Outsider“, also Forscher die nicht unbedingt stark in der nationalen wissenschaftlichen Community etabliert sind, die Möglichkeit durch Forschungsprojekte hervorzustechen.

In **Schweden** hat das Interview mit einem deutschsprachigen Forscher ebenfalls bestätigt, dass es dort kein mit der Verbundforschung vergleichbares Forschungsförderungsprogramm gibt. Da es nur wenige Finanzierungsquellen für die Forschung an Großgeräten gibt, leidet darunter auch die Großgeräteeinfrastruktur im Land. Hier wird der Vorteil eines Programms auf nationaler Ebene deutlich. Die Verbundforschung erfüllt einen überregionalen Auftrag und bringt universitäre Gruppen aus dem ganze Land an den Großgeräten zusammen. Einzelne universitäre Gruppen losgelöst von anderen zu finanzieren führt zu einem starken lokalen Fokus, welcher dem Umfang und der Notwendigkeit für den Austausch über Forschungsfelder hinweg an Großgeräten nicht gerecht wird. Anstatt lokale Gruppen in ihren spezifischen Projekten zu finanzieren, wird die Verbundforschung mit ihren zentralen Förderbekanntmachungen als Vorbild gesehen. Durch Förderlinien, die gemeinsam von Vertretern der verschiedenen Forschungsfelder beschlossen werden, hat die Förderung einen strategischeren Ansatz und kann die Fördersummen gezielt auf wichtige und zeitgemäße Fragestellungen fokussieren. Die Abwägung, welches Forschungsfeld in der Förderung angesichts knapper Ressourcen vorzuziehen ist, wird demnach in Deutschland bereits im Vorfeld getroffen, wohingegen die Forschungsfelder und wissenschaftlichen Teilgebiete kontinuierlich über die Förderperioden im Wettbewerb stehen. Diese Situation führt insbesondere dazu, dass immer mehr schwedische Forscher ihre Finanzierung über internationale Förder-

töpfe bestreiten und ihren Forschungsschwerpunkt auf Großgeräte im Ausland anlegen. Durch die Kooperation mit Forschern aus anderen relativ kleineren Ländern wie der Schweiz kann man sich darüber hinaus Kosten für den Betrieb der Instrumentierung teilen.

#### 3.4.1.2 Frankreich

In **Frankreich** gibt es kein spezifisches Programm oder ein einziges Modell zur Finanzierung der Instrumentierung an Großgeräten. Vielmehr kommen verschiedene Formen der Finanzierung von Instrumenten für Großgeräte zur Anwendung. Dabei kommt den beiden Forschungsorganisationen CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) und CEA (Centre d’Energie Atomique) eine zentrale Rolle zu. Besonders interessant am französischen Modell sind unserer Einschätzung nach folgende Aspekte:

- Frankreich zeigt, dass die Finanzierung der Instrumentierung von physikalischen Grundgeräten komplett anders gelöst werden kann. Frankreich verfügt über kein einheitliches Modell zur Finanzierung von Instrumenten an Großgeräten. Die Instrumentierung wird finanziert über die Budgets des CNRS und CEA bzw. der Großgeräte, ergänzt durch kompetitive Gelder namentlich aus dem Investitionsprogramm für die Zukunft. Interessant am französischen Weg ist der koordinative Ansatz, der es erlaubt, klare Prioritäten zu setzen. Dies ist in Frankreich möglich, weil die gesamte Finanzierung über den Zentralstaat und seine Forschungsorganisationen läuft, in deren Rahmen die Großgeräte und ihre Instrumentierung geplant und koordiniert wird.
- In Frankreich spielen die beiden Forschungsorganisationen, CNRS und CEA, bei der Steuerung und Finanzierung der Forschungsinfrastrukturen eine zentrale Rolle. Im Gegenzug ist die Rolle der Universitäten marginal. Angehörige der Universität haben über die „unités mixtes“ (gemeinsame Forschungslabors des CNRS und der Universitäten) Zugang zu Großgeräten. Eine Eigenheit der Forschungsorganisationen ist, dass ihre Forscher und Techniker (Ingenieure) über eine Festanstellung verfügen. Dies erlaubt es den Labors (ähnlich der Helmholtz-Gemeinschaft in Deutschland) des CNRS und des CEA, Expertise im Design und in der Entwicklung von Instrumenten aufzubauen. Gemäß unseren Gesprächspartnern ist dies einer der Erfolgsfaktoren, der Frankreichs Stärke in der Instrumentierung von physikalischen Großgeräten erklärt.
- In Frankreich wird die Wichtigkeit der Instrumentierung betont, um Großgeräte aktuell und wettbewerbsfähig zu erhalten und neue wissenschaftliche Wege zu eröffnen. Auch wird die Bedeutung der Instrumentierung für die französische Industrie anerkannt, nicht nur in Frankreich selber, sondern auch als Exportprodukt. Dies zeigt sich nicht nur in den wirtschaftlichen Zielen in der französischen Roadmap, der Berücksichtigung der französischen Industrie im Evaluationsprozess und im Lobbying der Industrie beim zuständigen Ministerium, sondern auch im Zusammenarbeitsabkommen zwischen Forschungsorganisationen, Großgeräten und Industrie.

#### 3.4.1.3 Schweiz

In der **Schweiz** gibt es seit 1997 ein der Verbundforschung des BMBF in einigen fachlichen Aspekten vergleichbares Programm für die Förderung der Forschung zu Methoden und Instrumenten an Großforschungsanlagen. Dies gilt insbesondere für die wesentlichen geförderten **Themen** sowie die förderfähigen **Projekthalte**. Es handelt sich dabei um das Programm FLARE des Schweizerischen Nationalfonds (SNF), das sich hauptsächlich an die Universitäten richtet. Interessante Punkte aus deutscher Perspektive sind:

- FLARE fungiert als Begleitprogramm zur SNF-Projektförderung. Das wettbewerbliche Element wird in die Projektförderung der Abteilung II des SNF (Mathematik, Natur- und Ingenieurwissenschaften) verlegt, wo die Anträge, denen FLARE zugrunde liegt, mit Anträgen aus verschiedenen anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen konkurrieren, die nicht unbedingt einen Zusammenhang mit Forschungsinfrastrukturen und deren Instrumentierung haben.



- Das schweizerische Programm hat wie das deutsche einen kooperativen Aspekt. Dadurch, dass nur ein Antrag pro Großgerät zugelassen wird, wird die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Universitäten (ETH-Bereich und kantonalen Universitäten) forciert. Da die Schweiz über keinen nennenswerten außeruniversitären Forschungsbereich verfügt, ist die Förderung der Zusammenarbeit zwischen dem universitären und außeruniversitären Sektor kein Thema.
- In Zukunft sollen verstärkt ausländische Experten und Expertinnen in den Auswahlprozess integriert werden, um die Kleinheit der Community zu überwinden. Auf diesem Weg sollen die Einbindung in den internationalen wissenschaftlichen Diskurs und die Integration neuer Ideen und Ansätze gestärkt werden.

#### 3.4.1.4 Vereinigtes Königreich (UK)

Im **Vereinigten Königreich (UK)** gibt es ebenfalls ein der Verbundforschung des BMBF in einigen Aspekten vergleichbares Programm für die Förderung der Forschung zu Methoden und Instrumenten an Großforschungsanlagen. Dies gilt insbesondere für die wesentlichen geförderten Themen sowie die förderfähigen Projektinhalte. Es handelt sich dabei um die Großprojektförderung („*large projects*“) des Projects Peer Review Panel (PPRP) beim Science and Technology Facilities Council (STFC). Dieses Instrument steht sowohl Universitäten als auch außeruniversitären Forschungseinrichtungen offen und ist Hauptgegenstand dieser Fallstudie.

Besonders interessant am britischen Modell sind unserer Einschätzung nach folgende Aspekte:

- Die fachliche Ausrichtung des STFC insgesamt und der BMBF-Verbundforschung ähneln sich. Daher sind der STFC und die Mitglieder seiner Gremien interessante Kandidaten für den fachlichen Austausch, aber auch für die Besetzung von Gutachterpanels und anderer Gremien.
- Das PPRP-Modell unterstützt substanzielle Projekte in einem mehrstufigen Verfahren, die Hearings sind öffentlich. Wir konnten nicht erfahren, wie sehr diese Möglichkeit von der interessierten (Fach-)Öffentlichkeit wahrgenommen wird, halten dies jedoch für einen interessanten Ansatz der Transparenz.
- Die Mitgliedschaft in Gremien wird öffentlich ausgeschrieben und ist zeitlich klar begrenzt. Möglicherweise kann dieses Vorgehen eine Anregung für die Besetzung von Gremien im BMBF-Modell sein.

#### 3.4.1.5 Schweden

In **Schweden** gibt es kein der deutschen Förderung über das Programm „Grundlagenforschung“ analoges Instrument für die Förderung von Universitäten bei der Forschung zu Methoden und Instrumenten an Großforschungsanlagen. Dennoch ist ein Blick nach Schweden interessant, denn derartige Aktivitäten werden dort im Wettbewerb aller Forschungsfelder und aller Arten von Forschungsorganisationen (Universitäten und außeruniversitäre Forschung) gefördert, und zwar ohne Unterschied zu anderen infrastrukturbezogenen Tätigkeiten (z.B. Planung, Errichtung und Betrieb). Dabei wird zwischen Großgeräten und anderen Arten von überregional bedeutenden Forschungsinfrastrukturen kein prinzipieller Unterschied gemacht. Die gesamte Forschungsinfrastrukturförderung in Schweden verfolgt also einen umfassenden Ansatz, der zudem seit 2015 auf eine neue Basis gestellt worden ist. Diese neue Strategie und das seit 2015 darauf beruhende Förderungsmodell sind Gegenstand dieser Fallstudie. Besonders interessant am schwedischen Modell sind unserer Einschätzung nach folgende Aspekte:

- Die Förderung der Forschung zu Methoden und Instrumenten an Großforschungsanlagen ist im Vergleich zum deutschen Modell „zweifach integriert“: Diese Tätigkeiten werden nicht separat, sondern ohne Unterschied zu anderen infrastrukturbezogenen Tätigkeiten (z.B. Planung, Errichtung und Betrieb) gefördert, d.h. ein Projekt kann, muss aber nicht, mehrere dieser Phasen im Leben einer Forschungsinfrastruktur enthalten. Außerdem ist die Förderung meistens thematisch offen<sup>7</sup>, d.h. alle Forschungsfelder stehen untereinander im Wettbewerb.

---

<sup>7</sup> Es gibt allerdings gelegentlich kleinere Ausschreibungen zu speziell identifizierten Schwerpunkten.

- Die Strategieentwicklung, die jeweils in den Swedish Research Council's Guide to Research Infrastructures mündet, ist sehr offen und partizipativ: Forschende aus allen Arten von Forschungseinrichtungen (ausgenommen Unternehmen) und aus allen Forschungsfeldern können sich beteiligen.
- Dennoch sieht der schwedische Wissenschaftsrat offenbar Bedarf nach mehr Aufmerksamkeit und Unterstützung für die Entwicklung von Instrumenten und Methoden und er fordert diese in seinen aktuellen Politikempfehlungen mehrfach ein<sup>8</sup>, gerade auch für jene Forschungsfelder, die im Grundlagenforschungsprogramm des BMBF gefördert werden.
- In seiner neuen Strategie fordert der schwedische Wissenschaftsrat für die nationalen Infrastrukturen ein wesentlich stärkeres Commitment der jeweiligen Hochschulleitungen, um die institutionelle Verantwortung der Hochschulen für die Infrastrukturen zu stärken. Dies, zusammen mit der verlängerten Förderdauer, unterstreicht den langfristigen Charakter der Infrastrukturfinanzierung und stärkt die Rolle der Betreiber-Organisationen (im Schwedischen Fall der jeweiligen Universitäten).
- Das Auswahlverfahren involviert neuerdings zusätzliche Gremien, nämlich explizit die internationale Perspektive sowie die fachspezifische Erfahrung jener Evaluierungsgremien, die beim Wissenschaftsrat die „normalen“ Forschungsprojekte bewerten und auswählen. Auch wenn dieses Verfahren erstmals eingesetzt wurde, es also noch an tragfähigen Erfahrungen mangelt, scheinen dies doch zwei Schritte in Richtung einer stärkeren Einbettung der Infrastrukturförderung in das internationale Geschehen einerseits und in die schwedische Forschungslandschaft andererseits zu sein.

### 3.5 Bewertung der Gesamtmaßnahme aus Sicht der Ex-Post Evaluation

Die aus den Interviews und der Befragung bei den Programmteilnehmern gewonnenen Erkenntnisse wurden zusätzlich durch Interviews mit 27 Experten (Komiteeleiter, Vertretern der Großgeräte und zusätzlichen Experten) gespiegelt und diskutiert. Im Folgenden werden aus der Ex-Post Evaluation die zentralen Ergebnisse zusammengefasst und erste Handlungsempfehlungen abgeleitet. Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Ex-Post Evaluation deutlich **positive Effekte** der Fördermaßnahme. Sowohl hinsichtlich der Stärkung der wissenschaftlichen Entwicklung von Methoden und Instrumenten in den geförderten Forschungsfeldern als auch hinsichtlich der Stärkung des Wissenschaftsstandorts Deutschland sind positive Effekte der Fördermaßnahme zu identifizieren. Hinzu kommt, dass die Ausgestaltung der Fördermaßnahme von den Geförderten hinsichtlich **Strategie, Transparenz und Effektivität** mehrheitlich als sehr positiv bewertet wird. Somit bestätigen die empirischen Ergebnisse der Ex-Post Evaluation die Zielerreichung durch die Maßnahme im Evaluationszeitraum 2006 – 2014. Einzelne Diskussionspunkte und Handlungsempfehlungen sind dennoch identifiziert worden und werden im Folgenden zusammengefasst:

Bezogen auf die **strategische und inhaltliche Ausgestaltung** lassen sich die folgenden Aspekte festhalten:

1. In den Interviews verwiesen verschiedene Gesprächspartner auf gemeinsame Forschungsinteressen vor allem zwischen der Astro- und Astroteilchenphysik, Hadronen- und Kernen sowie der Elementarteilchenphysik.<sup>9</sup> Die Analysen zeigten, dass die **Interdisziplinarität** zwischen den wissenschaftlichen Teilgebieten künftig besser adressiert werden könnte. So wäre beispielsweise zu überlegen, wie die Schnittstellen zu **angrenzenden wissenschaftlichen Disziplinen** (z.B. den Materialwissenschaften oder der Chemie etc.) besser ausgestaltet werden könnten.
2. Kritik im Rahmen der Interviews wurde auch an der **Anpassungsfähigkeit und die Aufnahme neuer Themen, Großgeräte und Experimente** in die Förderbekanntmachungen geäußert. So wurde angemerkt, dass die Maßnahme aus strukturellen und förderpolitischen Gründen innovative,

<sup>8</sup> Vetenskapsrådet: „The Swedish Research Council's Guide to Research Infrastructure 2014“

<sup>9</sup> Im Rahmen der Ausschreibung der laufenden Maßnahme wurden die Technologiefelder Elementarteilchenphysik sowie Hadronen und Kerne bereits zusammengelegt.

kleinere Forschungsansätze oder Projekte an Großgeräten, die nicht in den Bekanntmachungen genannt seien, nur begrenzt fördern könne. Aus Sicht der Ex-Post Evaluation sollte hier das Bewusstsein für die Öffnungsklauseln in den Förderrichtlinien gestärkt werden.

3. Aus Sicht der **wissenschaftlichen Verwertung** der aus den Experimenten entstehenden Daten wurden die Themen **Computing und Big Data** als Themen genannt, die stärker in den Fokus rücken sollten. So wurde z.B. die Finanzierung des Aufbaus spezifischer benötigter Hard- sowie die Entwicklung von Softwarelösungen als schwierig beschrieben. Aber auch die Auswertung der wissenschaftlichen Daten sei für zahlreiche Projekte offenbar nur schwer abzubilden. Es wurde insbesondere eine Lücke zwischen den relevanten Fördereinrichtungen (namentlich DFG und BMBF) gesehen. Als Ergebnis der Ex-Post Evaluation erscheint es daher erstrebenswert diesen Bedarfen Rechnung zu tragen.
4. Die empirischen Daten der Ex-Post Evaluation legen nahe, dass die Gesprächspartner offenkundig zahlreiche potentiell verwertungsrelevante methodische Ansätze und Technologien sehen. So entsteht der Eindruck, dass die Erkennung von Potentialen für **die angewandte Forschung und der daraus resultierenden wirtschaftlichen Verwertung** ebenfalls stärker in das Blickfeld der Fördermaßnahme gerückt werden sollte. Daher wird an dieser Stelle empfohlen, Ansätze zu entwickeln, die dabei helfen, diese Potentiale systematisch zu erfassen, ohne dabei jedoch die Bedingungen für wissenschaftliche Grundlagenforschung aufzuheben.

Bezogen auf die **strukturelle Ausgestaltung der Fördermaßnahme** sind die folgenden zentralen Aspekte als Anregungen zu benennen:

1. Zunächst zeigen die Analysen, dass in einigen Bereichen, insbesondere innerhalb der Forschungsschwerpunkte, die Fördermaßnahme durch hohe Kontinuität der geförderten Verbünde gekennzeichnet ist. In Teilen scheint sich bereits eine längerfristige Projektlaufzeit der Verbünde eingestellt zu haben. Nach Auswertung der Befragungsergebnisse ist die daraus resultierende Kontinuität in der Förderung jedoch eine wesentliche Grundvoraussetzung für den Erfolg der Maßnahme. Diese Anforderung einer relativ hohen Kontinuität in der Fördermaßnahme wird im Rahmen der Ex-Post Evaluation auch durch die kritischen Aussagen betont, die den wettbewerblichen Charakter projektbezogener Fördermaßnahmen hinterfragen. Aus Sicht der Ergebnisse der Ex-Post Evaluation wurde empfohlen, zumindest Alternativen der zeitlichen Ausgestaltung der Laufzeiten der Verbundprojekte in der Fördermaßnahme - von sehr langfristigen Laufzeiten bestimmter Bereiche bis zur Stärkung des Wettbewerbs durch kürzere Laufzeiten in anderen Bereichen - zu diskutieren. Es wurde empfohlen, zu diskutieren, ob die vier Forschungsfelder nicht jeweils **angepasster Förderansätze** bezüglich der Verbundprojektlaufzeiten bedürften.
2. Überdenkenswert erschien vor dem Hintergrund der empirischen Ergebnisse auch die Rolle von Verbänden. So entstand in einigen Verbänden der Eindruck, dass die Tendenz zu **größeren Verbänden** zu Scheinlösungen mit geringer Zusammenarbeit der Verbundpartner führen kann. Die Interviews zeigten zudem, dass die Aufgabe des **Theorieverbundes** vereinzelt auf Kritik gestoßen ist. Deren Rolle wurde kontrovers diskutiert, aber trotz dessen die Wichtigkeit dieser Arbeiten für die Experimente betont. Aus Sicht der Ex-Post Evaluation wurde angeraten, die Einbindung von Theorieprojekten in die Verbünde konzeptionell klarer für die Antragsteller zu regeln.

Bezogen auf die **prozessuale Gestaltung und Organisation der Maßnahme** wurde festgehalten:

1. Grundsätzlich ist die Bewertung durch die Programmteilnehmer und die externen Experten sehr positiv. Weitgehend ist es Konsens bei den Befragten, dass die jetzige Form der Strategiebildung und der Begutachtung anders nicht durchführbar sein wird. Nichtsdestotrotz wurden auch hier einige Anregungen erfasst. Bezogen auf die **Strategiesitzungen sowie die Prioritätensetzung zwischen den Forschungsfeldern** verwiesen einige Gesprächspartner darauf, dass sie sich nicht ausreichend informiert fühlten. Gleichzeitig wurde darauf hingewiesen, dass sichergestellt werden sollte, dass nicht ausschließlich die politischen Schwerpunkte und der wissenschaftliche „Mainstream“ die Strategiediskussion (z.B. bei Planungen zur Einbeziehung neuer Großgeräte) dominieren. Trotz der vorgeschalteten Roadmap-Prozesse und der gemäß ihres bundepolitischen Auftrags notwendigen Wahrung nationale Interessen, wurde aus Sicht der Wissenschaft der Wunsch

geäußert, das die Verbundforschung Bottom-up-Elemente zur Erhaltung der Vielfalt zu stärkt. Vor diesem Hintergrund wurde die Kommunikation getroffener Entscheidungen kritisch angemerkt. So könne die Prioritätensetzung zwischen den Forschungsfeldern transparenter gemacht werden. Daher ist es basierend auf den Ergebnissen der Ex-Post Evaluation sinnvoll, Wege zu finden, um die Kommunikation der resultierenden Entscheidungen in Richtung der jeweiligen Community zu verbessern.

2. Die inhaltlich und strukturell begründeten **Prozesse zur Begutachtung und Auswahl von Projekten** könnten, aus Sicht einiger Gesprächspartner dazu führen, dass das Wettbewerbsprinzip eingeschränkt würde und - mindestens in der Außendarstellung – der Eindruck wissenschaftlicher Objektivität verloren gehen könne. Auch könne es unter Umständen dazu kommen, dass Nachwuchswissenschaftler und junge Forschungsgebiete, in denen es noch keine etablierte Community gibt, Schwierigkeiten haben im Rahmen der Verbundforschung gefördert zu werden. So würde potentiell neuer thematischer Input zumindest teilweise begrenzt. Auch wenn die Ex-Post Evaluation keine solchen Entwicklungen direkt identifiziert hat, sollte zumindest diese Gefahr bedacht und ggf. durch geeignete Maßnahmen begrenzt werden. Dabei ist zu bedenken, dass die Verbundforschung, gemäß ihres bundespolitischen Auftrags, stark an den vorgeschalteten Roadmap-Prozessen orientiert ist und hier nationale Interessen wahren muss. Damit sind klassische wissenschaftliche Bottom-up Prozesse, wie z.B. bei der DFG weitgehend in Kraft, hier nicht oder nur eingeschränkt möglich. Dennoch wird empfohlen, diesen Trade-off im Blick zu behalten und ggf. über Elemente nachzudenken, die eine Öffnung für externe Einflüsse beinhalten. Häufig in diesem Kontext vorgebrachte Vorschläge waren mehr **internationale Gutachter als externe Experten** in die Gutachterausschüsse einzubinden. Inwieweit dies tatsächlich umsetzbar ist, muss aus Sicht der Ex-Post Evaluation geprüft werden.
3. Ein weiteres Ergebnis der Ex-Post Evaluation zielte auf die **Öffentlichkeitsarbeit** und die öffentliche Wahrnehmung der Verbundforschung bzw. der erzielten Forschungsergebnisse, die aus Sicht vieler Gesprächspartner ausbaufähig ist.

## 4 Ergebnisse der Ex-Ante Evaluation

Der Ex-Ante Teil der „Evaluation der Verbundforschung im Bereich der „Naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung“ beinhaltet im Wesentlichen zwei zentrale Elemente bzw. methodische Ansätze. Zum einen war dies die Erstellung forschungsfeldspezifischer Trendanalysen. Zum anderen war dies die Durchführung eines Experten-Audits mit ausgewählten Expertinnen und Experten aus den jeweiligen Forschungsfeldern als Auditorinnen und Auditoren. In Summe diente die Ex-Ante Evaluation der Überprüfung der Passfähigkeit des bestehenden Förderansatzes in Bezug auf zukünftige wissenschaftliche Entwicklungen und Herausforderungen sowie insbesondere der Ableitung von entsprechenden Handlungsempfehlungen für die zukünftige Ausgestaltung der Maßnahme.

### 4.1 Ergebnisse der Trendanalysen

In den Trendanalysen wurden die Perspektiven und Herausforderungen für die vier Forschungsfelder (*Elementarteilchenphysik, Hadronen- und Kernphysik, Astro- und Astroteilchenphysik sowie Kondensierte Materie*) erstellt. Die Aufteilung in die drei Forschungsfelder *Physik der kleinsten Teilchen* (Zusammenlegung von *Elementarteilchenphysik* und *Hadronen und Kernphysik*), *Astro- und Astroteilchenphysik* sowie *Kondensierte Materie* erfolgte erst im Rahmen der Förderrichtlinie „Physik der kleinsten Teilchen“ im Juli 2014, d.h. am Ende des Evaluationszeitraums und wurde entsprechend durch die Ex-Ante Evaluation noch nicht berücksichtigt. Die Trendanalysen dienten u.a. als Vorbereitung für das Expertenhearing und wurden in komprimierter Form in ein Input-Papier überführt. Auf Basis diesen inhaltlichen Inputs wurden schließlich – mit den Experten - die zukünftigen Förderbedarfe diskutiert. Im Folgenden sind die wesentlichen Aspekte der jeweiligen Forschungsfelder aufgezeigt.

#### 4.1.1 Elementarteilchenphysik

Die Elementarteilchenphysik beschäftigt sich mit den elementaren Bausteinen der Materie und deren Wechselwirkungen. Sie adressiert damit die großen Fragestellungen zur Entstehung und Weiterentwicklung des Universums. Aufgrund der hierzu benötigten hohen Teilchenenergien und Luminositäten, die nur an wenigen Teilchenbeschleunigern weltweit zur Verfügung stehen, werden die entsprechenden Experimente in internationaler Kooperation mit großem personellem und finanziellen Einsatz geführt (z.B. LHCb oder ATLAS am CERN).

#### **Erfolgsbeispiel - Elementarteilchenphysik: „Vom Pixel zum Higgs“ – LHC-ATLAS**

Im Rahmen der Verbundforschung aktiviert das BMBF gezielt die Kompetenz der Hochschulen für die Forschungsinfrastrukturen. So ist der erste große Erfolg am **ATLAS-Detektor** am LHC des **CERN** in Genf, die Entdeckung des Higgs-Bosons, auch auf die BMBF-geförderte Verbundforschung zurückzuführen. Denn Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler deutscher Universitäten trugen wesentlich zur Entwicklung des ATLAS-Detektors bei und ebneten so erst den Weg für diese bahnbrechende Entdeckung. Mit dem Higgs-Boson konnten einige der zentralen Theorien der Elementarteilchenphysik bestätigt werden. Dieser Meilenstein wurde im Jahr 2013 durch den Physik-Nobelpreis bekräftigt, der für die korrekte theoretische Vorhersage des Higgs-Bosons verliehen wurde.

Die Erforschung des Aufbaus der Materie und der fundamentalen Wechselwirkungen zwischen den Elementarteilchen ist eine der größten wissenschaftlichen und technischen Herausforderungen unserer Zeit. Damit die Wissenschaft diese Herausforderung meistern kann, fördert die BMBF-Verbundforschung die Arbeit deutscher Forschungsgruppen am ATLAS-Experiment des europäischen Zentrums für Kernforschung CERN in Genf. Dazu zählt der Betrieb des Pixeldetektors, einer der zentralen Messeinheiten des ATLAS-Experiments, sowie dessen Ausbau mithilfe eines sogenannten „Insertable B-Layer“. Dabei handelt es sich um eine zusätzliche Lage Sensoren, die die Sensitivität der Messungen weiter erhöht. Zudem ermöglicht die Förderung des BMBF die kontinuierliche Weiterentwicklung der Pixeldetektoren für zukünftige Upgrades am ATLAS-Experiment und die Bearbeitung aktueller Fragestellungen der Teilchenphysik.



Zu den wesentlichen Forschungsfragen der experimentellen Teilchenphysik zählen Untersuchungen zum Standardmodell der Physik, die Physik jenseits des Standardmodells, das Studium der elektroschwachen Symmetriebrechung (Higgs-Mechanismus), die Neutrino-Physik, die Flavourphysik und CP-Verletzungen.

Hierfür müssen sowohl Beschleuniger als auch Detektoren deutlich verbessert bzw. neu entwickelt werden. Ebenso sind neue Computer-Hard- und -Softwareentwicklungen notwendig, um Aufnahme, –verarbeitung und -speicherung großer Datenmengen zu gewährleisten. Hierzu gehört auch die Entwicklung geeigneter Computermodelle, um die Messdaten mit den theoretischen Vorhersagen zu vergleichen. Um weitere experimentelle Fortschritte zu erzielen, ist die Entwicklung von Teilchenbeschleunigern der nächsten Generation notwendig. Hier werden im Wesentlichen zwei unterschiedliche Konzepte diskutiert, Elektron-Positron-Ringe (z.B. das CEPC-SPPC-Konzept in China oder der FCC- $e^+e^-$ -Beschleuniger am CERN) und Linearbeschleuniger (z.B. ILC – International Linear Collider).

Es zeigt sich, dass es für die Teilchenphysik bislang noch keine geeigneten Table-Top-Beschleuniger gibt. Neue Ideen kommen von so genannten Plasma-Wakefield-Beschleunigern. Simulationen am DESY haben gezeigt, dass Elektronen in einem Plasma auf einer Länge von wenigen Zentimetern mehrere GeV erreichen können. Dies soll durch Experimente bestätigt werden. Solche Energien würden ausreichen, um Vorbeschleuniger für Freie-Elektronen-Laser oder Röntgenlaser wie Flash am DESY oder den European XFEL zu betreiben. Durch Plasmabeschleuniger könnten diese Maschinen deutlich kompakter gebaut werden. Bis sie aber einen präzisen Strahl liefern, dürften noch einige Jahre vergehen.

Die Analysen im Rahmen der Evaluation weisen auf eine sehr gute Positionierung der deutschen Community in den relevanten Kollaborationen der Elementarteilchenphysik hin. Ebenso zeigt sich, dass die deutsche Community zu vielen wichtigen Instrumentierungen substantielle Beiträge geliefert hat bzw. liefert. Eine solche Beteiligung wird auch erst durch die Verbundforschung möglich und spricht für das Förderinstrument.

Als Herausforderungen müssen, wie bereits oben erwähnt, nicht nur die Detektoren parallel zu den geplanten Beschleuniger-Upgrades bzw. -Neuentwicklungen verbessert bzw. neu entwickelt werden, sondern auch Datenerfassung, -verarbeitung und Speicherung bleiben eine Herausforderung für zukünftige Computer-, Hard- und Softwareentwicklungen. Dabei ist das Thema Big Data bzw. Computing auch zukünftig als strategisch wichtig zu erachten.

Insbesondere im Bereich der Neutrino-Physik sind die Elementarteilchenphysik, die Astroteilchenphysik und die Hadronen- und Kernphysik eng miteinander verknüpft. In diesem Bereich sind elementare Fragestellungen, wie bspw. zur Neutrinomasse, bis heute nicht hinreichend verstanden. Solche Fragestellungen können bei einer Fokussierung auf den LHC weniger gut bearbeitet werden. Hier sollte der Austausch zwischen Forschungsfeldern gestärkt und der Bedarf nach gemeinsamen Experimenten diskutiert werden.

Die Realisierung teilchenphysikalischer Großprojekte erfordert international ausgelegte Kooperationen und ist nur im Rahmen von Langfriststrategien möglich. So existieren insbesondere die Europäische Strategie für die Zukunft der Teilchenphysik (letzte Aktualisierung 2013) aber auch einzelne Länder wie die USA (2014), das Vereinigte Königreich (2015) oder Japan (2012/2013) veröffentlichen konkrete Roadmaps. In den USA gibt es bspw. drei Szenarien, die budgetabhängig entstanden sind. Auch politische Entscheidungen bestimmen die Ausrichtung zukünftiger Forschungsvorhaben. Es stellt sich daher die Frage, welche Konzepte für die Entwicklung von Teilchenbeschleunigern der nächsten Generation als elementar für die deutsche Community einzustufen sind und welche Strategie (Fokussierung auf Experimente am CERN vs. langfristiger Ausbau der Beteiligung an andern internationalen Projekten) bei der zukünftigen Entwicklung von Methoden und Instrumenten verfolgt werden sollte. In die Diskussion wäre ebenfalls mit einzubeziehen, ob zukünftig stärker die Entwicklung von Methoden und Instrumenten für kompaktere Beschleuniger, wie bspw. Plasma-Wakefield-Beschleuniger, in die Förderung mit einzubeziehen sind?

Des Weiteren sollte überlegt werden, ob bei teilchenphysikalischen Großprojekten eine längerfristige Förderung von Forschungsfeldern sinnvoll sein könnte, um eine langfristig erfolgreiche Beteiligung der

deutschen Akteure zu gewährleisten. In diesem Zuge ist auch zu erörtern, ob – über die Stellungnahmen und Empfehlungen des KET hinaus – eine übergeordnete forschungspolitische Strategie in Deutschland entwickelt werden sollte. Eine solche Strategie könnte die wesentlichen wissenschaftlichen großen Fragestellungen zusammenfassen, ein Element zur Darstellung und Positionierung der Verbundforschung darstellen und so der öffentlichen Sichtbarkeit dienen.

#### **Erfolgsbeispiel - Elementarteilchenphysik: Erforschung und Entwicklung von Detektoren in der Elementarteilchenphysik - CALICE**

Die Vernetzung der Forschenden an deutschen Hochschulen mit den Forschungsinfrastrukturen befördert neben exzellenter Wissenschaft auch die Entwicklung neuer innovativer Technologien, die häufig auch konkrete Anwendung in unserem Alltag finden. Dies belegt ein BMBF-gefördertes Projekt am **Calorimeter for Linear Collider Experiment (CALICE)**. Im Rahmen dieses Projektes entwickelten Forscherinnen und Forscher aus Deutschland Messeinheiten für die internationale Forschungskooperation am CALICE. Messeinheiten, die auch für die Positronen-Emissions-Tomographie eingesetzt werden können, also zur Krebsdiagnose.

Technologien, die auch Diagnosemethoden in der Humanmedizin signifikant verbessern, werden häufig in der physikalischen Grundlagenforschung entwickelt: Sogenannte Hadronische Kalorimeter wie CALICE gehören zu den zentralen Messinstrumenten in der Teilchenphysik. Sie sind Nachweisgeräte für die Energie von Elementarteilchen. Ihre kontinuierliche Weiterentwicklung ist unter anderem essentiell für die erfolgreiche Konstruktion zukünftiger Teilchenbeschleuniger wie dem geplanten International Linear Collider, ILC, oder dem Compact Linear Collider, CLIC. Das BMBF fördert gezielt deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die federführend bei solchen Verbesserungen im Rahmen des CALICE-Experiments mitarbeiten. Hauptaugenmerk liegt dabei unter anderem auf der Weiterentwicklung einer der zentralen Komponenten der Kalorimeter, den sogenannten Silizium-Photomultipliern (SiPM) und speziell der Ausleseelektronik. Die aus dieser Arbeit hervorgegangenen neuen Messeinheiten zeichnen sich unter anderem durch eine deutlich gesteigerte Signalschärfe aus und werden bereits durch mehrere internationale Institute stark nachgefragt. Und eben solche Messeinheiten sind es, die in Zukunft nicht nur die Teilchenphysik, sondern z. B. auch die Krebsdiagnostik erleichtern werden.

#### *4.1.2 Hadronen- und Kernphysik*

Das Forschungsfeld Hadronen- und Kernphysik befasst sich mit der Erforschung der Hadronenstruktur, der zwischen den Quarks wirkenden Starken Kraft sowie dem Aufbau der Atomkerne.

Zu den drängendsten Forschungsfragen in der Hadronenphysik gehört die nach der Natur des sogenannten Confinement, das dafür verantwortlich ist, dass Quarks in Hadronen wie dem Proton und dem Neutron eingesperrt sind und nicht als freie Teilchen existieren. Unklar ist auch, warum die Massen der Hadronen so viel höher sind als die Massen ihrer konstituierenden Quarks, oder wie das Phasendiagramm hadronischer Materie bei unterschiedlichen Temperaturen und Dichten aussieht. In der Kernphysik stehen ferner die Fragen im Mittelpunkt, wo die Grenze der Stabilität von Kernen verläuft und wie die in der Natur vorkommenden Kerne in Supernovae und anderen kosmischen Ereignissen erzeugt werden. Dies zeigt ebenfalls, dass eine inhaltliche Verknüpfung insbesondere mit der Astro- und Astroteilchenphysik besteht.

Die Forschung im Feld der Hadronen- und Kernphysik ist im Wesentlichen von den Experimentiermöglichkeiten abhängig und wird damit stark durch neue technologische Entwicklungen in den Bereichen Beschleuniger, Detektorsysteme sowie Datenaufnahme- und Analysensysteme geprägt. Die europäische Kernphysik-Community sieht höchste Priorität bei dem im Bau befindlichen internationalen Beschleunigerzentrum FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) am GSI in Darmstadt und dem Linearbeschleuniger ALICE des LHC am CERN.



### Erfolgsbeispiel - Hadronen- und Kernphysik: Zeitreise in die erste Sekunde unseres Universums – LHC-Alice

Eine Beteiligung am **ALICE-Experiment** des Large Hadron Coliders (LHC) – der „Weltmaschine“ – am **CERN** in Genf wäre ohne die Verbundforschung für viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an deutschen Hochschulen kaum zu realisieren. Mit seiner Förderung ermöglicht das BMBF ihnen den Zugang zu diesem einzigartigen Experiment. Und das ist schon jetzt eine echte Erfolgsgeschichte: Es war das internationale ALICE-Team, das die ersten Ergebnisse der Forschung am LHC schon kurz nach Inbetriebnahme publizieren und damit der gesamten Forschungsgemeinde zur Verfügung stellen konnte. Dabei ist das ALICE-Experiment für nichts weniger entwickelt worden als für eine Zeitreise: Im Mittelpunkt der Arbeit an diesem Instrument steht die Erforschung des Materiezustandes zu Beginn der kosmischen Entwicklung unseres Universums. Sie beschäftigt sich dabei mit einer der zentralen Fragen der modernen Teilchenphysik. Um die Suche nach möglichen Antworten in diesem Bereich voran zu bringen, fördert die BMBF-Verbundforschung die teilweise federführende Mitarbeit deutscher Wissenschaftler am ALICE-Experiment des europäischen Zentrums für Kernforschung CERN in Genf. Im ALICE-Experiment lassen die Forschenden die im Teilchenbeschleuniger LHC auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigten Teilchen gegenläufig miteinander kollidieren. Auf diese Weise können sie kurzzeitig ein sogenanntes „Quark-Gluon-Plasma“ erzeugen, wie es einige Milliardstel Sekunden nach dem Urknall vorhanden war. Es handelt sich dabei um das, was landläufig gerne „Ur-Suppe“ genannt wird: Der Materiezustand, in dem die Kräfte, die Quarks und Gluonen normalerweise zu Elementarteilchen wie Protonen und Neutronen zusammenbinden, für kurze Zeit überwunden war. So wird es möglich, einen Blick in die früheste Geschichte unseres Universums zu richten. Die Förderung des BMBF ermöglichte und ermöglicht dabei eine zentrale Rolle deutscher Forschungsgruppen am ALICE-Experiment von Planung über Bau und Betrieb bis zur Datenanalyse – ein Beispiel ist eine der technischen Kernkomponenten, der Übergangsstrahlungsdetektor TRD.

Die deutsche Community nimmt eine Führungsrolle im Bereich der Hadronen- und Kernphysik ein. So ist das Gebiet gegenwärtig an mehr als 25 Hochschulen vertreten. Durch die Beteiligung an großen internationalen Projekten wie am CERN und dem Bau von FAIR hat die deutsche Community den Grundstein für eine auch in Zukunft herausragende Rolle Deutschlands in der Hadronen- und Kernphysik gelegt.

Je nach Fragestellung kommen im Bereich der Hadronen- und Kernphysik unterschiedliche Beschleunigertypen (Teilchensorte, Energiebereich) zum Einsatz. So ist z.B. die hochpräzise Messung von Symmetrieverletzungen ein viel versprechender Ansatz zur Suche nach neuen physikalischen Gesetzmäßigkeiten jenseits des Standardmodells der Teilchenphysik. Gleichmaßen ist das Entdeckungspotential der LHC-Experimente durch die unzureichenden Kenntnisse der Struktur der kollidierenden Protonen und der Starken Kraft zwischen Quarks und Gluonen begrenzt. Das zeigt, dass bei der Suche nach der Physik jenseits des Standardmodells ein Zusammenspiel von Teilchen- und Hadronenphysik notwendig ist. Aus diesem Grund erscheint hier als eine der Herausforderungen ebenfalls eine Stärkung der Vernetzung zwischen den Forschungsfeldern sinnvoll. So wurden beispielsweise die Felder Elementarteilchenphysik sowie Hadronen- und Kernphysik im Rahmen der Förderrichtlinie „Physik der kleinsten Teilchen“ (vom 15. Juli 2014) bereits durch das BMBF zusammengelegt.

Durch die Entscheidung zur Realisierung des Beschleunigerzentrums FAIR in Darmstadt wurde in Deutschland langfristig ein Forschungsschwerpunkt gesetzt. Sobald FAIR einsatzfähig ist, wird die Anlage einzigartig für die Schwerionenforschung ( $Z > 60$ ) sein und im Bereich der Hadronen- und Kernphysik als Vielzweckmaschine für die Untersuchung von Atomkernen fernab der Insel der Stabilität, von Materie unter extremen Bedingungen und der Antimaterie-Materie-Wechselwirkung dienen. Sie wird sowohl komplementär zum ALICE-Experiment am LHC als auch zu SPIRAL 2 am GANIL sein.

Gerade die Realisierung solcher großen Forschungsinfrastrukturen, stellt besondere Anforderungen an die Beschleunigertechnologie und deren Entwicklung. So erscheint die Fertigstellung der Forschungsinfrastrukturen als eine weitere wesentliche Herausforderung. In diesem Kontext stellt sich die Frage, ob die Förderintervalle (i.d.R. 3 Jahre) der Verbundforschung geeignet sind, um ein langfristig angelegtes Projekt wie FAIR insbesondere in der Aufbauphase zu befördern.

Grundsätzlich sollte darauf geachtet werden, dass die Förderung kleinerer insbesondere deutscher Experimente oder Anlagen, die einen wichtigen Beitrag im Bereich der Hadronen- und Kernphysik leisten, nicht außer Acht gelassen werden. Durch die Fokussierung auf FAIR könnte so die Möglichkeit bestehen, dass Universitäten die Anbindung an andere Projekte ohne direkten FAIR Bezug verlieren und diese Arbeiten in Zukunft nicht durchgeführt werden können. In Anbetracht begrenzter Budgets kann dies natürlich bewusst in Kauf genommen werden. Hier stellt sich die Frage, ob die Möglichkeit besteht, dass durch die Fokussierung auf FAIR andere, jedoch für die Community wichtige Anlagen auf der Strecke bleiben. Zudem sollte erörtert werden, ob aufgrund der Fokussierung auf FAIR - trotz der Öffnungsklausel - wichtige wissenschaftliche Themen nicht adressiert werden, wenn sie kein „FAIR-Label“ aufweisen.

#### **Erfolgsbeispiel 6 - Hadronen- und Kernphysik: Verstehen, was den Atomkern im Innersten zusammenhält – Kernfusion am TASCA**

Was hält den Atomkern im Innersten zusammen? Welche Wechselwirkungen herrschen zwischen den Teilchen in Atomkernen und welche Rückschlüsse erlaubt das auf die Entstehung unseres Universums? Die Verbundforschung fördert exzellente Wissenschaft, indem sie die richtigen Köpfe zusammenbringt, und trägt so zur Entschlüsselung solcher fundamentalen Fragen bei. Die Herstellung und Analyse neuer, auf der Erde nicht natürlich vorkommender superschwerer chemische Elemente erlaubte bereits spannende grundlegende Rückschlüsse auf die Kräfte, die Atomkerne zusammenhalten. Im Rahmen der Verbundforschung fördert das BMBF die Erforschung dieser superschweren Elemente am GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung in Darmstadt, das in der Vergangenheit unter anderem für die Entdeckung einer ganzen Reihe von neuen Elementen mit den Ordnungszahlen 107 bis 112 verantwortlich war. In einem aktuellen Projekt fördert das BMBF die Zusammenarbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Mainzer Universität und des GSI: Sie befassen sich unter anderem mit der Herstellung und Erforschung des superschweren Elementes Z114. Aufgrund seiner ungewöhnlich stabilen Isotope ist es von besonderem Interesse für die Erforschung der grundlegenden Kräfte in atomaren Kernen. Die Erforschung von Element Z114 und seiner Isotope wurde unter anderem durch die Inbetriebnahme und Weiterentwicklung des Gas-gefüllten Instruments **TASCA** (TransActinide Separator and Chemistry Apparatus) ermöglicht, einem sogenannten „Recoil-Separator“, in dem superschwere Elemente durch den Prozess der Kernfusion hergestellt und anschließend analysiert werden können. Zudem unterstützt die Verbundforschung die Entwicklung der neuen internationalen Teilchenbeschleunigeranlage **FAIR**, die derzeit am GSI gebaut und in Zukunft weltweit einzigartige Forschungsmöglichkeiten bieten wird. Hier wird insbesondere die Beteiligung deutscher Forschergruppen an der **NuSTAR-Kollaboration** unterstützt, die sich die Erforschung von Kernstrukturen, Astrophysik und Kernchemie auf die Fahnen geschrieben hat.

#### *4.1.3 Astro- und Astroteilchenphysik*

Das Forschungsfeld Astro- und Astroteilchenphysik wurde in verschiedene Teilbereiche differenziert. Die Astrophysik kann als Teilgebiet der Astronomie angesehen werden und befasst sich mit den physikalischen Grundlagen astronomischer Objekte. Die Astroteilchenphysik dagegen ist ein Forschungsgebiet, welches im Grenzbereich von Astrophysik, Teilchenphysik und Kernphysik angesiedelt ist. Innerhalb dieses Bereiches kann die Nukleare Astrophysik als weiteres Teilgebiet angesehen werden, in welchem sich die Forschung auf die Untersuchung kernphysikalischer Phänomene und Prozesse in astrophysikalischen Plasmen konzentriert.

Primär adressiert das Forschungsfeld „Große Forschungsfragen“, z.B. Wie entstand das Universum und wie entwickelt es sich? Wie entstanden und entwickeln sich Galaxien, Sterne und Planeten? Was ist die Natur der Dunklen Materie? Zur Beantwortung dieser Fragen können neben der Entwicklung geeigneter Detektortechnologien und Beobachtungsverfahren auch die Datenbeschaffung und Auswertung als elementar erachtet werden.

Seit jeher ist in der Astrophysik der Trend zu beobachten, dass immer größere Datenmengen erfasst und ausgewertet werden müssen. Dies deutet auf die Notwendigkeit hin, das Thema Big Data bzw. Big Data

Analyse nach wie vor als strategisch wichtig zu erachten. Dies gilt neben den Experimenten der Astroteilchenphysik ebenfalls für die sogenannten virtuellen Observatorien in der Astrophysik, in denen die (Roh-)Daten verschiedener Observatorien und Beobachtungssatelliten über eine entsprechende computergestützte Infrastruktur archiviert und zugänglich gemacht werden. In Deutschland wird dieser Ansatz durch das vom BMBF geförderte Projekt GAVO realisiert.

Die wesentlichen zukünftigen Forschungsfragen lassen sich, wie es schon der Name des Forschungsfeldes nahelegt, in zwei große Themenblöcke aufteilen. Der erste betrifft die *klassische* Astrophysik, die im Wesentlichen auf die Beobachtung der elektromagnetischen Strahlung setzt. In diesem Bereich wird die Detektion und Beobachtung extraterrestrischer Planeten in den nächsten Jahren von zentraler Bedeutung sein. Dabei wird es vor allem darum gehen, die Beobachtungstechnologien soweit zu verbessern, dass eine spektroskopische Analyse der Atmosphäre von Exoplaneten möglich ist. Letztlich geht es dabei darum, die Existenz extraterrestrischen Lebens im Universum nachzuweisen. Der zweite Themenblock befasst sich mit Fragen aus dem Bereich der Astroteilchenphysik. Als wichtige künftige Forschungsfragen werden hier die direkte Suche nach Dunkler Materie, die Bestimmung der Neutrinomasse, die Niedrigenergie-Neutrino-Physik, die bodengebundene Gamma-Astrophysik, kosmische Strahlen bei höchsten Energien, Neutrino-Teleskope, Gravitationswellen, nukleare Astrophysik und theoretische Astroteilchenphysik benannt.

Aus Sicht der notwendigen Beobachtungs- und Detektionstechniken gibt es den generellen Trend zu immer genaueren und empfindlicheren Detektoren, so auch bei hoch priorisierten Großgeräten, wie dem E-ELT, dem CTA aber auch anderen wie XENON1T. Letzteres dient dem Nachweis sogenannter WIMPs und soll die Empfindlichkeit direkter Nachweismethoden um weitere zwei Größenordnungen steigern. Bei der Entwicklung zuletzt genannter Detektortechnologien zeigt sich ein starker inhaltlicher Überlapp zu den Forschungsfeldern Elementarteilchenphysik sowie Hadronen- und Kernphysik.

Des Weiteren ist zu sehen, dass unterschiedliche Beobachtungsverfahren und Detektortechnologien zunehmend miteinander vernetzt werden und einander ergänzen. Diese multiperspektivischen Ansätze zeigen sich bspw. bei der Suche nach den Bestandteilen der Dunklen Materie und der Dunklen Energie, bei der Befunde und Methoden aus den Bereichen der (klassischen, beobachtenden) Astrophysik, der Astroteilchenphysik und der Elementarteilchenphysik zusammengeführt werden. In ähnlicher Art und Weise ergänzen sich die Beobachtung der kosmischen Strahlung und die Forschungsaktivitäten am LHC. In beiden Fällen wird versucht, die teilchenphysikalischen Modelle und Prozesse kurz nach dem Urknall zu verstehen. Darüber hinaus sind gemeinsame Forschungsgebiete - mit der Elementarteilchenphysik und der Hadronen- und Kernphysik - die Detektorentwicklung, schnelle Elektronik oder der Nachweis von Photonen.

Generell zeigt sich als eine der Herausforderungen, dass sich die Förderung auf relativ wenige, große Beobachtungsverfahren bzw. Experimente konzentriert. An dieser Stelle ist das Einbringen der nationalen Kompetenzen in die Roadmap-Prozesse auf europäischer und internationaler Ebene wesentlich, um bei der strategischen Weiterentwicklung der Forschungslandschaft mitzuwirken.

### Erfolgsbeispiel - Astro- und Astroteilchenphysik: Der einzigartige Blick ins Universum - 3D-Spektrograf MUSE

Mit der Verbundforschung vernetzt das BMBF deutsche Hochschulen mit weltweit führenden Forschungsinfrastrukturen in Projekten, die eng mit der Entwicklung und dem Aufbau innovativer Methoden und Instrumente verknüpft sind. Besonders eindrucksvoll zeigt dies der „**Multi Unit Spectroscopic Explorer**“ (**MUSE**). Dieser weltweit einmalige 3D-Spektrograf wurde dank Verbundforschungsmitteln maßgeblich von deutschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern mitentwickelt: Die vom BMBF geförderten Projekte beinhalten zum einen die Konstruktion einiger technischer Kernkomponenten sowie die Entwicklung spezieller Software für die Datenanalyse. Zum anderen waren die Forschenden maßgeblich am Zusammenbau der in verschiedenen europäischen Instituten hergestellten Einzelkomponenten, der Verschiffung und der Installation und Inbetriebnahme am Very Large Telescope (VLT) des Paranal-Observatoriums der ESO in Chile beteiligt. Seit seiner Inbetriebnahme ist MUSE eines der am meisten nachgefragten Instrumente an der Europäischen Südsternwarte (ESO) in der chilenischen Atacama-Wüste. Dieser Erfolg ist naheliegend, denn MUSE erlaubt einzigartige Einblicke in unser Universum. Um die Frühphasen der Galaxienentwicklung oder Galaxien und ihre massereichen Schwarzen Löcher detailliert zu untersuchen, vereint MUSE erstmals das Entdeckungspotential einer Kamera mit den Analysemöglichkeiten eines Spektrographen. Verschiedene Bereiche einer Galaxie oder unterschiedliche Sterne eines Sternhaufens können somit gleichzeitig mit ihrer Beobachtung spektroskopiert werden. Die spektroskopische Analyse lässt Rückschlüsse auf die Eigenschaften der beobachteten Objekte zu. Mit MUSE nehmen die Forscherinnen und Forscher gewissermaßen die dreidimensionale Bewegung der Materie in den Spiralarmen einer Galaxie oder der Sterne im Sternhaufen auf: ein Abbild der Objekte und ihres Bewegungszustands – einmalige Einblicke in unser Universum.

Die bei der Konstruktion von MUSE gewonnene Expertise fließt in die Planung der Instrumente des im Bau befindlichen European Extremely Large Telescope (E-ELT) der ESO ein. Das E-ELT wird zukünftig das weltweit größte optische Teleskop sein.

Die gesamte deutsche Community ist an vielen relevanten Projekten im Bereich der Astro- und Astroteilchenphysik beteiligt und nimmt dort in fast allen Bereichen eine führende Rolle ein. Dies gilt für alle Wellenlängenbereiche, die mittels erdgebundener Beobachtungstechniken zugänglich sind. Eine gewisse Ausnahme bilden Experimente zur Neutrino-Astrophysik bei niedrigen Energien aber auch die Gravitationswellenforschung. Zwar gehört insbesondere bei letzterer Deutschland ebenfalls zu den führenden Forschungsnationen, allerdings werden die entsprechenden Projekte (GEO600 in enger Kooperation mit LIGO) nicht direkt im Rahmen der Verbundforschung gefördert.<sup>10</sup> Die Existenz unterschiedlicher Förderinstanzen bedeutet einen erhöhten Abstimmungsbedarf. Ebenfalls ist zu beachten, dass es im Bereich der Astrophysik und der Astroteilchenphysik wichtige Wellenlängenbereiche gibt, die nicht mittels terrestrischer Observatorien genutzt werden können. So sind weite Bereiche des infraroten- und des ultravioletten Lichts nur mittels satellitengestützter Observatorien zugänglich. Diese stellen wichtige Ergänzungen zu den hier geförderten Projekten dar. Eine gute Vernetzung der verschiedenen Förderinstanzen ist wichtig. Hierbei sollte erörtert werden, wo es einer noch besseren Abstimmung zwischen den Förderinstanzen bedarf, z.B. inhaltlicher Überlapp oder Anschaffungen im Bereich der Datenauswertung. Zudem sollte diskutiert werden, ob eine Anpassung der inhaltlichen Ausrichtung der Förderrichtlinien notwendig erscheint. Sollte bspw. eine Beteiligung der Verbundforschung im Bereich der Gravitationswellenforschung angestrebt werden oder ist die Förderung im Bereich der Neutrino-physik ausreichend? Eine wichtige Herausforderung für die Forschungsförderung wird sein, multiperspektivische und interdisziplinäre Ansätze in den nächsten Jahren zu ermöglichen und auszubauen. Hierzu könnte es zunächst sinnvoll sein, entsprechende Formate für einen wissenschaftlichen Austausch über die Grenzen des einen Fachgebiets hinaus zu etablieren bzw. zu verstärken. So wäre zu diskutieren, wie die Synergien der verschiedenen Forschungsfelder gestärkt werden könnten. Möglicherweise könnte der Austausch zwischen Communities gezielter befördert werden, indem das BMBF spezielle Tagungs- oder Konferenzformate im Rahmen begleitender Maßnahmen aufsetzt. So sind die

<sup>10</sup> Nach Projektdaten des PT-Desy

*nichterdgebundene- und die erdgebundene Weltraumforschung* derzeit förderpolitisch separiert (welt- raumgebunden bei BMWi und erdgebunden bei BMBF). Da es ansonsten viele Kooperationen mit dem BMWi gibt, sind Kooperationen in diesem Gebiet bei spezifischen Themen denkbar. Hier fehlt es derzeit noch an einem Forum, das alle Partner zusammenbringt. In diesem Zusammenhang zeigt die Verbund- forschung sich als ein positives Beispiel. Sie fördert über die Akteure den Austausch und die Vernetzung der beiden Communities, weil es häufig dieselben Wissenschaftler sind. Eine weitere mögliche Anpas- sung im Rahmen des Beantragungsprozesses könnte sein, dass schon bei der Beantragung von For- schungsprojekten der Aspekt „Synergien mit andern Forschungsfeldern“ konkret aufzuzeigen ist.

Eine weitere Herausforderung in diesem Forschungsfeld scheint zu sein, die Zusammenarbeit zwischen den universitären und außeruniversitären Forschungsgruppen so zu bestärken, dass die Universitäten auch zukünftig gute Zugangsmöglichkeiten zu den Großgeräten erhalten. Gerade dies wird jedoch durch die Verbundforschung adressiert. Die Evaluation hat zudem empirische Hinweise zu Überlegungen identifiziert, dass sich Universitäten zukünftig über Mitgliedsbeiträge an experimentübergreifenden Kosten großer Infrastrukturen beteiligen sollten (hier am Beispiel CTA).

### **Erfolgsbeispiel 8 - Astro- und Astroteilchenphysik: Supernovae und Schwarze Löcher verstehen - Ausbau des H.E.S.S.-Observatoriums**

Wie entwickeln sich Supernovae und wie funktionieren zum Beispiel schwarze Löcher? Rückschlüsse auf solche energiereichen Objekte im Universum ermöglicht die Messung von kosmischer Gamma-Strahlung. Eines der weltweit leistungsfähigsten Teleskop-Systeme zum indirekten Nachweis dieser Strahlung konnte von deutschen Forschenden mit dem **High Energy Stereoscopic System (H.E.S.S.)** im Khomas-Hochland in Namibia dank der Verbundforschung angestoßen und entwi- ckelt werden. Im Rahmen der BMBF-Verbundforschung wurde zudem die Mitarbeit von Wissen- schaftlerinnen und Wissenschaftlern deutscher Hochschulen beim Ausbau des H.E.S.S. sowie For- schungsarbeiten dort unterstützt. Die Verbundforschung beförderte die enge Zusammenarbeit zwi- schen technischen und wissenschaftlichen Arbeitsgruppen, in der das Teleskop-System im Förder- zeitraum kontinuierlich weiterentwickelt und seine Sensitivität für die Erfassung von Gamma-Strah- lung systematisch erhöht wurde. Damit trug die Förderung wesentlich dazu bei, ein neues Fenster zu den energiereichsten und extremsten Phänomenen des hochenergetischen Universums zu öffnen: Mit H.E.S.S. haben Astrophysikerinnen und -physiker bereits über 80 bislang unbekannte Gamma- strahlungsquellen gefunden. Diese Quellen können z.B. Supernova-Überreste, Pulsare und Schwarze Löcher im Zentrum aktiver Galaxien sein.

Aktuell fließt das durch die kontinuierliche Weiterentwicklung des H.E.S.S. gewonnene technische Know-How unter anderem in die Realisierung des geplanten und noch erheblich größeren und damit leistungsfähigerem Cherenkov Telescope Array (CTA) ein. Es wird nach seiner Fertigstellung neue spektakuläre Blicke in das Universum ermöglichen.

#### 4.1.4 Kondensierte Materie

Ziel der Erforschung Kondensierter Materie ist das Verständnis der inneren strukturellen Wechselwir- kungen und ihrer Auswirkungen auf die makroskopischen Eigenschaften von Festkörpern, Flüssigkei- ten und sogenannter weicher kondensierter Materie.

Als die dominierenden Forschungsfragen und Trends im Forschungsfeld der kondensierten Materie werden konkrete Beiträge zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen<sup>11</sup> identifiziert, wie bspw. zur Energiegewinnung der Zukunft, Revolution der Informationstechnik oder die Aufklärung der „Physik des Lebens“. Aus diesen Herausforderungen ergeben sich die wesentlichen derzeitigen und zukünftigen Aufgaben bei der Erforschung kondensierter Materie. Dies bedingt eine Besonderheit dieses For- schungsfeldes, die darin besteht, dass es eine Vielzahl unterschiedlicher und zum Teil komplementärer Methoden für die Untersuchung mannigfaltiger Systeme und Fragestellungen zur Verfügung stellt.

<sup>11</sup> Condensed Matter and Materials Physics – The Science of the World around Us, National Research Council of the National Academies, The National Academic Press, Washington D.C. 2010, www.nap.edu (aufgerufen am 08.01.2016)



Diese werden von einer ganzen Reihe wissenschaftlicher Communities genutzt, von den Lebenswissenschaften, über die klassische Festkörperphysik bis zu Ingenieurwissenschaften.

Aufgrund der relativen Nähe und der Vielzahl der die Stoffe konstituierenden Teilchen hat man es in diesem Forschungsfeld mit einer besonders großen Anzahl an Wechselwirkungen zu tun. Deshalb und wegen der Breite des Untersuchungsbereichs handelt es sich hier um das vielfältigste und in gewisser Weise heterogenste Technologiefeld der Verbundforschung. Mit vielen aus den diesbezüglichen Arbeiten resultierenden Innovationen gehen wir heute in unserem täglichen Leben um. Aktuelle Beispiele sind Halbleiterlaser in DVD-Playern, neue magnetische Materialien in Computerfestplatten oder die Flüssigkristalldisplays unserer Flachbildfernseher. Außerdem konnte in vielen Fällen das grundlegende Verständnis physikalischer Phänomene entscheidend verbessert werden. So ist gerade die Erforschung kondensierter Materie durch eine enge Verflechtung zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung gekennzeichnet und unterscheidet sich dadurch deutlich von den anderen drei Forschungsfeldern.

### **Erfolgsbeispiel - Kondensierte Materie: Erforschung des Erdinneren unter Hochdruck**

Das BMBF nutzt die Verbundforschung, um die Expertise der Hochschulen mit den einzigartigen Experimentiermöglichkeiten an den Forschungsinfrastrukturen zu verknüpfen und so innovative Methoden und Instrumente hervorzubringen. So konnte eine Gruppe Forschender der Universität Bayreuth zusammen mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des Forschungszentrums DESY unterstützt durch die Verbundforschung ein weltweit einzigartiges Messinstrument an der **Synchrotronstrahlungsquelle PETRA III** des **DESY** realisieren: Eine neuartige Hochdruckpresse bildet die extremen Bedingungen nach, wie sie im Erdinneren in mehr als 600 km Tiefe herrschen. Mit einem Druck bis zum 300 000-fachen des Drucks unserer Erdatmosphäre pressen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Materialproben extrem stark zusammen – und heizen sie zeitgleich auf bis zu 2000 °C auf. Unter solchen Bedingungen verändern Mineralien ihre Kristallstruktur und damit auch ihre Eigenschaften. Einzigartig an dem neuen Instrument ist die Möglichkeit, die Proben zeitgleich, also während des Pressens, mit der Synchrotronstrahlung an PETRA III zu analysieren. Damit wird es erstmals möglich in die zusammengepressten Proben „hineinzuschauen“: Die Strahlung wird von Teilen der Probe absorbiert, so wie es auch bei der Erstellung eines gewöhnlichen Röntgenbildes der Fall ist. Gleichzeitig messen die Forschenden die Beugung des Röntgenlichtes an der Kristallstruktur der Mineralien und schlüsseln diese anhand der Messdaten auf. Die gewonnenen Ergebnisse erlauben zum Beispiel eine bessere Auswertung von Erdbeben- und Daten. Die Hochdruckpresse eignet sich aber auch für darüber hinausgehende Anwendungen.

Moderne bzw. neue Experimentiereinrichtungen zur Untersuchung kondensierter Materie bieten bei insgesamt steigender Strahlqualität immer höhere Flussdichten mit immer höherenergetischen Photonen sowie Teilchen und damit zunehmend besseren Auflösungen und Empfindlichkeiten. Anders als z.B. bei den Kollisionsexperimenten in der Teilchenphysik gibt es für kondensierte Materie nicht die eine Untersuchungsmethode. Je nach Untersuchungsgegenstand und Fragestellung kommen vom physikalischen Prinzip her verschiedene Experimentiereinrichtungen in Frage.

Neben der Schaffung von Möglichkeiten zur Untersuchung von Materialien unter extremen Bedingungen bzw. äußeren Feldern (magnetisch, mechanisch, elektrisch usw.) ist die wichtigste übergreifende Forderung an die experimentellen Untersuchungsmethoden die Notwendigkeit zur Erhöhung der räumlichen und zeitlichen Auflösung, und zwar gleich über mehrere Größenordnungen hinweg.

Hier sind insbesondere Synchrotronstrahlungsquellen bzw. Freie-Elektronen-Laser, Neutronenquellen (Reaktoren oder Spallationsquellen), Nukleare Sonden und geladene Teilchen (wie Radionuklide, Ionenstrahlen und Positronen), Materialforschung in hohen Magnetfeldern (z.B. Kernmagnetische Resonanz (NMR)) und Hochauflösende Elektronenmikroskope die wesentlichen Untersuchungsmethoden bzw. -einrichtungen. Bei jeder einzelnen der damit verbundenen Experimentiertechniken gibt es einen

Trend hin zur Erfüllung der geschilderten Anforderungen. Von zunehmender Bedeutung ist dabei insbesondere der oftmals angezeigte kombinierte Einsatz der verschiedenen, oft komplementär wirksamen experimentellen Methoden.

### **Erfolgsbeispiel - Kondensierte Materie: Auf dem Weg zu sauberer Energie – Ein kombiniertes Tomografiesystem für die Materialforschung**

Durch die Verbundforschung geförderte Projekte liefern als Ergebnis der Vernetzung von Hochschulen und Großgeräten wissenschaftliche Resultate auf exzellenter Basis, die häufig auch in unseren Alltag ausstrahlen. Dies gilt zum Beispiel für das Verbundprojekt **NeuroTom** am **Forschungsreaktor Heinz Maier-Leibniz FRM II** in München. Dabei handelt es sich um ein innovatives Tomografiesystem, das Forscherinnen und Forscher der TU München und der Universität Freiburg mit Unterstützung durch die Verbundforschungsförderung des BMBF entwickelt haben. Mit NeuroTom können mikroskopische Prozesse regelrecht gefilmt werden. So gelingt es beispielsweise, einzigartige Einblicke in das Innere von Brennstoffzellen und neuartigen Batterien während des Betriebs zu erhalten und so die ablaufenden Vorgänge besser zu verstehen und zu optimieren. Innovationen im Bereich der Brennstoffzellen versprechen weitere Meilensteine auf dem Weg zu sauberer Energie: Brennstoffzellen und neue Batterien sind zentrale Technologien zur Lösung klimapolitischer Herausforderungen und spielen eine wichtige Rolle für zukünftige Industriezweige. Sie führen Sauerstoff und Wasserstoff zusammen und wandeln die dabei entstehende chemische Reaktionsenergie in nutzbare elektrische Energie um. Einziges Abfallprodukt bei dieser Reaktion ist Wasser. Insbesondere Korrosionserscheinungen und Stofftransportlimitierungen im laufenden Betrieb schränken die effektive Umwandlung der chemischen in elektrische Energie noch ein. Diese Effekte untersuchen die Forschenden mit Hilfe von NeuroTom am **Forschungsreaktor Heinz Maier-Leibniz FRM II** in München. Mit NeuroTom kombinieren sie die Vorteile zweier Bildgebungsverfahren – der Röntgen- und Neutronentomografie. Während die Röntgentomografie sich vor allem zur Untersuchung der Brennstoffzellen selbst eignet, kann mit den Neutronen gleichzeitig der Wassertransport in der Zelle beobachtet werden. Man erhält simultan Aussagen über den Zustand der Zelle und die Prozesse, die sich dabei in ihrem Inneren abspielen. Diese Messungen liefern einen unverzichtbaren Beitrag auf dem Weg zu effektiven und damit alltagstauglichen Brennstoffzellen.

Die Zusammenführung der sehr heterogenen Community im Bereich der kondensierten Materie, die sich unter anderem aus Physikern, Materialwissenschaftlern, Chemikern und Biologen zusammensetzt, kann als eine der wesentlichen Herausforderungen aufgezeigt werden. In Zukunft werden diese Communities immer mehr das gesamte umrissene Spektrum der Aktivitäten auf dem Gebiet der kondensierten Materie kennen und verstehen müssen, um erfolgreich weitere Fortschritte erzielen zu können. Die Komplexität dieses ohnehin sehr weit gefächerten Forschungsfeldes wird danach inzwischen so groß, dass nur eine intelligente Vernetzung aller beteiligten Personen und aller Experimente auf den verschiedensten Auflösungsebenen zum Erfolg führen kann. Auch hier spielen die Erfassung, der Transfer und die Aufbereitung größerer Datenmengen eine zunehmend größere Rolle. So sollte diskutiert werden, ob eine zukünftige Förderrichtlinie thematisch stärker zu fokussieren ist oder gerade die breite Aufstellung elementar für die Entstehung von Innovationen ist. Des Weiteren soll betrachtet werden, wie die Vernetzung dieser sehr diversen Community verbessert werden könnte. Wären bspw. universitäre Kompetenzzentren – z.B. im Bereich „Analyse biologischer Materie“ oder „Innere Spannung in Materialien“ - als Ergänzung zur Verbundforschung geeignet, um eine intelligente Vernetzung zu befördern und Kompetenzen für Deutschland zu schaffen? Dies kann jedoch nicht aus der Verbundforschung heraus geschehen, da diese auf Instrumentierung und Methoden fokussiert. Allerdings sollten aus förderpolitischer Sicht komplementäre Maßnahmen angedacht werden.

Im Hinblick auf die geförderten Großgeräte stellt sich die Frage, wie sich die Forschungslandschaft zukünftig strategisch weiter entwickeln sollte. So könnte diskutiert werden welche Quellen in Anbetracht wegfallender Experimentiereinrichtungen - wie bspw. BER II – zukünftig adressiert werden sollten und ob beispielsweise die Entwicklung kompakter Neutronenquellen stärker befördert werden sollte.



Aufgrund der engen Verknüpfungen zwischen Grundlagen- und angewandter Forschung sollte zudem diskutiert werden, ob zukünftige Förderrichtlinien im Bereich der Kondensierten Materie Aspekte zum Technologietransfer stärker berücksichtigen sollten.

## 4.2 Ergebnisse des Expertenhearings

Das Ziel des Experten-Audits im Rahmen der Ex-Ante Evaluation, war es, sich ein umfassendes Bild über mögliche zukünftige Entwicklungen in der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung zu verschaffen, um Anhaltspunkte für zukünftige Bedarfe in der Ausrichtung der Fördermaßnahme im Bereich der Methoden- und Instrumentenentwicklung zu erhalten.

Im Rahmen der forschungsfeldspezifischen Diskussionen wurden auf Basis des Input-Papieres die Perspektiven, die Herausforderungen und die zukünftigen Förderbedarfe in den jeweiligen Forschungsfeldern diskutiert. Dabei zeigte sich grundsätzlich, dass die in den Trendanalysen aufgezeigten Perspektiven und Herausforderungen gut adressiert wurden. Die Diskussion ergab schließlich forschungsfeldübergreifende Aspekte, die im Folgenden aufgezeigt werden.

Der **Zuschnitt der neu gestalteten drei Forschungsfelder** *Physik der kleinsten Teilchen* (vormals *Elementarteilchenphysik* und *Hadronen- und Kernphysik*), *Astro- und Astroteilchenphysik* sowie *Kondensierte Materie* wird von den Experten als zielführend eingestuft. Dabei wurde seitens der Auditierenden betont, dass die Permeabilität zwischen den drei Forschungsfeldern erhöht und die jeweiligen Begutachtungs- bzw. Antragsprozesse stärker synchronisiert werden sollten. Dies gilt zeitlich, wie auch organisatorisch. Dies heißt nicht, dass die Prozesse zeitgleich stattfinden sollten, sondern zeitlich versetzt. Damit einhergehend, wurde angeregt, Maßnahmen zu entwickeln, die einen stärkeren Austausch zwischen den Feldern anregen. Bei Projekten, die an den Schnittstellen der Forschungsfelder Gefahr laufen „durch das Raster zu fallen“, hat das BMBF Entscheidungsbefugnis, um zu entscheiden in welches Forschungsfeld das jeweilige beantragte Projekt eingeordnet wird. Die Ausschreibungen sollten entsprechend gestaltet sein.

Darüber hinaus erwiesen sich **Theorieprojekte** als Sonderfall im Rahmen der Förderung. So sollten singuläre Theorieprojekte auch weiterhin nicht Bestandteil der Fördermaßnahme sein, sondern durch die DFG abgedeckt werden. Allerdings bestand Einigkeit darin, dass der Theoriegehalt der experimentellen Projekte auch künftig gewährleistet bleiben muss. Hinsichtlich der *Andockung von entsprechend förderfähigen Theorieprojekten an Experimente* in der Verbundforschung sollte ein spezifischer Workshop organisiert werden, bei dem entsprechende Bedarfe diskutiert werden könnten. Die Experten sind sich darüber einig, dass Theorieprojekte generell stark an die Instrumente bzw. Großgeräte gekoppelt sein müssen, um in der Verbundforschung förderfähig zu sein. Ein zentraler thematischer Aspekt mit klarem experimentellem Anwendungsbezug ist das Thema Computing und Modellierung.

Die Auditierenden stimmen weiterhin darin überein, dass der Bedarf an **forschungsfeldübergreifenden Querschnittsthemen** wächst. Als feldübergreifende Querschnittsthemen wurden u.a. Big Data & High-Performance Computing (einschl. Green IT), Detektorenentwicklung sowie Methoden und Konzepte für Beschleunigertechnologien identifiziert. Um zukünftig die Anforderungen an die Querschnittsthemen besser zu erfüllen sollen aus den bestehenden Gremien und den Communities ein oder mehr spezifische Ausschüsse für forschungsfeldübergreifende Querschnittsthemen gebildet werden. Diesem Gremium bzw. diesen Gremien sollten neben Vertretern der Communities – d.h. Repräsentanten der jeweiligen Gutachterausschüsse – zusätzlich Experten der spezifischen Themen als auch Vertreter des BMBF angehören. Diese sollten Sorge tragen, dass eine „Versäulung“ der Themen, d.h. eine Isolierung und wissenschaftliche Verselbstständigung losgelöst von den eigentlichen wissenschaftlichen Themenfeldern, nicht stattfindet. Durch eine geeignete Koordination soll zudem das Synergiepotenzial zwischen den Forschungsfeldern ausgeschöpft werden.

Die Auditierenden wiesen darauf hin, dass die Diffusion der Ergebnisse der Förderprojekte in die Zivilgesellschaft wie auch die Hebelwirkung auf die Wissenschaften erhöht werden sollen. Dafür wurden folgende **flankierende Maßnahmen** diskutiert:

Um die **Sichtbarkeit der Verbundforschung** zu erhöhen, soll die Würdigung der Förderung aus Mitteln der Verbundforschung in wissenschaftlichen Publikationen (im Rahmen der Acknowledgements) verpflichtend sein. Wissenschaftler, die bei Publikationen die Förderung durch die Verbundforschung nicht aufführen, sollen zukünftig keine Förderung mehr erhalten. In den Acknowledgements soll der Name des neuen BMBF-Rahmenprogramms sowie das BMBF genannt werden. Die jeweiligen Komitees sollen die spezifischen Formen der Acknowledgements ausformulieren, so dass Besonderheiten in den einzelnen Forschungsfeldern berücksichtigt werden. Weiterhin wird eine **Zitierpflicht** für spätere Nutzer der Experimente bzw. der von der Verbundforschung geförderten Instrumente vorgeschlagen. So könnte die Nutzung der Experimente an die Bedingung geknüpft werden, dass spätere, unter Nutzung des Experiments entstandene und publizierte Forschungsergebnisse eine Referenzpublikation zitieren müssen. Dies würde stärker den Stellenwert der Verbundforschungsergebnisse für die anschließenden wissenschaftlichen Arbeiten hervorheben.

Zur **Steigerung der Diffusion der Ergebnisse** der durch die Verbundforschung geförderten Projekte in die Zivilgesellschaft („Outreach“) ist nach Ansicht der Auditierenden der Beitrag zu Outreach-Aktivitäten ab einer bestimmten Projektgröße verpflichtend zu gestalten und ein Mechanismus zu entwickeln, der die Informationszulieferung der Projekte für Diffusionsmaßnahmen verbessert. Unter dem Strich müsse es das Ziel sein, projektübergeordnet zu vermarkten, weil Öffentlichkeitsarbeit auf Projektebene in Gefahr einer zu geringen Aufmerksamkeit läuft und damit keine Beachtung zu finden. In diesem Zusammenhang müssten für die Projekte zusätzlich entsprechende Anreize geschaffen werden, stärker Ressourcen zur professionellen Wissenschaftskommunikation zu nutzen. Entsprechende Lösungen und organisatorische Formate wären zu entwickeln.

Die Auditierenden sahen gegenüber bspw. der DFG eine zu geringe Wahrnehmung der Fördermaßnahme in der wissenschaftlichen Gemeinschaft. Sie schlugen vor in den zukünftigen Fördermaßnahmen die **Wertigkeit der Förderung zu steigern**, z.B. durch eine „Markenbildung“ und entsprechende Auszeichnung derjenigen, die Förderprojekte erfolgreich beantragt haben („Grant“).

Darüber hinaus sahen die Auditierenden hohen Bedarf dafür, den **Aufbau des wissenschaftlichen Nachwuchses** stärker zu befördern. Es sollten Wege gefunden werden, die dazu führen, dass der wissenschaftliche Nachwuchs frühzeitig auch Projektmanagement-Kompetenzen erlernt. Ein Weg um dies zu erreichen –neben Trainingsmaßnahmen für Nachwuchswissenschaftler –wird darin gesehen, diesen früh Verantwortung für Projektmodule zu geben bzw. sofern möglich mit der Umsetzung von Förderprojekten mit geringeren Projektvolumina zu betrauen. Weiterhin könnten beispielsweise Auszeichnungen für die/den beste(n) Projektmitarbeiterin/s oder Doktorand(in) in Form einer Teilnahme an einer Leadership-Academy (Soft-Skill Training) vergeben werden.

Die bisherige **Strukturierung der Fördermaßnahme**, d.h. die Aufstellung der Verbünde, wurde als unproblematisch und gut funktionierend beschrieben. Um den Begutachtungsprozess weiter zu öffnen und neue Perspektiven zu erhalten, sollen verstärkt jüngere Gutachter ausgewählt werden. Damit wird indirekt auch der wissenschaftliche Nachwuchs gefördert.

Die **Flexibilisierung der Projektlaufzeiten** ist ein geeigneter Weg, um längerfristige Entwicklungen in den geförderten Projekten abzubilden. Projektlaufzeiten können flexibel auf bis zu 5 Jahre erweitert werden. Ungeachtet der jeweiligen Laufzeit sollte nach drei Jahren eine Projektevaluation vorgenommen werden. In den Projektanträgen soll dazu eine entsprechende Klausel aufgenommen werden. Die letzte Entscheidung liegt beim BMBF.

## 5 Handlungsempfehlungen zur zukünftigen Ausgestaltung des Förderprogramms

---

Zusammengefasst haben die Evaluationsergebnisse gezeigt, dass die Fördermaßnahme **ihre formulierten Ziele erreicht und gut aufgestellt ist**, um auch in Zukunft Wirkung auf die Wissenschaft und den Wissenschaftsstandort Deutschland zu entfalten. Trotz positiver Ergebnisse und Wirkungsnachweise, hat die Evaluation einige Hinweise auf Möglichkeiten und Ansatzpunkte zur weiteren Optimierung der Maßnahme geliefert. In den im Folgenden aufgeführten Handlungsempfehlungen fließen die Erkenntnisse aus der **Ex-Post Evaluation** (Quantitative Befragungen von Projektleitern, Wissenschaftlern und Intermediären, auf Basis des zuvor entwickelten, indikatorgestützten Evaluationssystems; Qualitativen Experteninterviews basierend auf einem zuvor erstellten Kernleitfaden; Bibliometrische Analysen; Sekundärstatistische Analysen; Dokumentenanalyse) als auch die Erkenntnisse aus der **Ex-Ante Evaluation** (Trendanalysen; Fallstudien; Expertenhearing) zusammen.

### 5.1 Empfehlungen zur Erhöhung der Wirkung auf die Wissenschaft

Insgesamt zeigen die empirischen Analysen einen sehr positiven **Effekt der Fördermaßnahme auf die Wissenschaft**. So erscheint die Verbundforschung das einzige echte Förderinstrument zu sein, welches universitäre Forschung im Bereich der Entwicklung und dem Bau innovativer Instrumentierungen und Forschungsmethoden an Großgeräten ermöglicht. Attraktive alternative Fördermöglichkeiten werden durch die Förderempfänger nicht gesehen. Die Verbundforschung befördert so in einzigartiger Weise, dass innovative Instrument- bzw. Methodenideen aus den Universitäten an die Großgeräte gelangen, realisiert und schließlich oftmals für eine breite internationale wissenschaftliche Nutzerschaft zugänglich gemacht werden. Dieser Prozess wird insbesondere durch die Förderung „von Köpfen“, d.h. durch die Förderung von herausragenden universitären Wissenschaftlern und deren Arbeitsgruppen (Nachwuchs), ermöglicht. Diese innovativen Instrumente und Methoden steigern neben der Leistungsfähigkeit auch die Attraktivität der jeweiligen Großgeräte(-zentren) für die Wissenschaft und tragen damit zur weltweiten Spitzenforschung bei.

Bei der **wissenschaftlichen Ausrichtung des Förderprogramms** zeigte die Evaluation, dass der grundsätzliche Prozess zur Förderthemenfindung in den Forschungsfeldern als gut und sinnvoll einzuschätzen ist. So speist die wissenschaftliche Community weitgehend über die jeweiligen Komitees die relevanten Forschungsthemen in den Strategieprozess des BMBF ein. Nichtsdestotrotz wurde darauf hingewiesen, dass nicht zu stark die politischen Schwerpunkte und der wissenschaftliche „Mainstream“ die Strategiediskussion (z.B. bei Planungen zur Einbeziehung neuer Großgeräte) dominieren sollten. Dabei ist zu bedenken, dass die die Verbundforschung, gemäß ihres bundespolitischen Auftrags, stark an den vorgeschalteten Roadmap-Prozessen orientiert ist und im Bundesauftrag handelt. Dieser Trade-off sollte in der Kommunikation stärker Berücksichtigung finden. Auch die Prioritätensetzung zwischen den Forschungsfeldern könne transparenter gemacht werden. Vor diesem Hintergrund empfehlen wir Wege zu finden, um die Kommunikation der resultierenden Entscheidungen in Richtung der jeweiligen Community weiter zu verbessern.

Die Evaluation ergab weiterhin, dass die Aufteilung in die drei derzeitigen **Forschungsfelder Physik der kleinsten Teilchen** (vormals *Elementarteilchenphysik* und *Hadronen- und Kernphysik*), *Astro- und Astroteilchenphysik* sowie *Kondensierte Materie* als zielführend und sinnvoll einzustufen ist. Diese Einschätzung bezieht sich somit insbesondere auch auf die Zusammenlegung der Forschungsfelder *Elementarteilchenphysik* und *Hadronen- und Kernphysik* zur *Physik der kleinsten Teilchen*. Eine weitere Zusammenlegung von Forschungsfeldern sollte jedoch nicht angestrebt werden, damit die Gutachter- bzw. Gremientätigkeiten auch zukünftig handelbar bleiben. Darüber hinaus sollte jedoch die **Permeabilität** zwischen den drei Feldern erhöht werden. So sollten die Begutachtungs- bzw. Antragsprozesse zeitlich, als auch organisatorisch stärker synchronisiert werden. Damit einhergehend sollten zusätzlich Maßnahmen entwickelt werden, die einen stärkeren Austausch zwischen den Feldern anregen. Bei Projekten, die an den Schnittstellen der Forschungsfelder Gefahr laufen „durch das Raster zu fallen“, hat

das BMBF Entscheidungsbefugnis, um zu entscheiden in welches Forschungsfeld das jeweilige beantragte Projekt eingeordnet wird. Dabei erscheint jedoch wichtig, dass die relevante Bekanntmachung offen ist. Die Ausschreibung sollte entsprechend gestaltet sein.

Im Rahmen der Ex-Post Evaluation erwiesen sich **Theorieprojekte/ verbünde** als förderpolitischer Sonderfall. Zwar erscheint ihr wissenschaftlicher Wert unbestritten, jedoch kommen sie allein oft nicht über eine gewisse „Bagatellgrenze“ hinaus. Der daraus resultierende administrative Aufwand erweist sich als unverhältnismäßig und lässt eine Verbundlösung besonders sinnvoll erscheinen. Gleichzeitig erscheint ihre Zusammenarbeit mit den experimentellen Gruppen ausbaufähig. Die Auflösung der bisherigen Theorieverbünde war daher ebenfalls sinnvoll. Grundsätzlich bedeutet dies, dass von den Experimenten losgelöste Theorieprojekte nicht Bestandteil der Fördermaßnahme sein und durch die DFG abgedeckt werden sollten. Allerdings sollte der Theoriegehalt der experimentellen Projekte auch künftig gewährleistet bleiben. So wird empfohlen, dass – für die Experimente wichtige – Theorieprojekte zukünftig stärker an die Instrumente bzw. Experimente gekoppelt werden, um über die Verbundforschung gefördert werden zu können. Ein zentraler thematischer Aspekt mit klarem experimentellem Anwendungsbezug ist beispielsweise das Thema Computing und Modellierung. Zur besseren Andockung von Theorieprojekten an Experimente könnte ein spezifischer Workshop organisiert werden, in dem Anliegen gesammelt und der Transfer in andere Bereiche gestaltet wird.

Die Evaluation ergab darüber hinaus, dass der Bedarf an **forschungsfeldübergreifenden Querschnittsthemen** wächst. Als solche Themen wurden u.a. Big Data & High-Performance Computing (einschließlich Green IT), Detektorenentwicklung sowie Methoden und Konzepte für Beschleunigertechnologien identifiziert. Um zukünftig die Anforderungen an die Querschnittsthemen besser erfüllen zu können, sollte aus den bestehenden Gremien und den Communities ein oder mehrere **spezifische Ausschüsse** für forschungsfeldübergreifende Querschnittsthemen gebildet werden. In diesem Zusammenhang ist es wichtig eine „Versäulung“, d.h. eine Isolierung und wissenschaftliche Verselbstständigung losgelöst von den eigentlichen wissenschaftlichen Forschungsfeldern, der Themen zu vermeiden.

Die oben genannten Empfehlungen beziehen sich übergeordnet auf alle Forschungsfelder. Im Folgenden sollen zusammenfassend weitere spezifische Empfehlungen aufgezeigt werden, die aus den **forschungsfeldspezifischen Betrachtungen** abgeleitet wurden:

- So zeigte sich im Forschungsfeld *der Elementarteilchenphysik*, dass eine klarere Darstellung der Fördermöglichkeiten für Instrumente mit kleineren Volumina (bis €50 Mio.), die nicht von der nationalen Roadmap berücksichtigt werden und bei denen es keine Garantie gibt, dass sie an einem Großgerät implementiert werden, erfolgen sollte. Auch im Forschungsfeld der *Astro- und Astroteilchenphysik* sollte aufgrund der in Deutschland herrschenden Förder- und Vertretungsvielfalt – die in manchen Fällen auch zur Unübersichtlichkeit führen kann – eine bessere Abstimmung und Koordinierung zwischen den verschiedenen Organisationen der Astrophysik angestrebt werden. In diesem Kontext ist insbesondere die Finanzierung von Experimenten mittlerer Größenskala (zwischen €10 und 50€ Mio.) in Deutschland als schwierig anzusehen. Bei diesen Experimenten greift die nationale Roadmap (ab €50 Mio.) nicht. Gleichzeitig sind diese Projekte in der Regel für die DFG-Förderung zu groß. Es wird empfohlen hier den Anschluss zu bestehenden Fördermöglichkeiten herzustellen bzw. zu kommunizieren. So können beispielsweise Instrumente mit kleineren Finanzvolumina als „strategische Ausbauinvestitionen“ in der Helmholtz-Gemeinschaft finanziert werden. Diese ist wiederum an verschiedenen großen Forschungsinfrastrukturen beteiligt ist.
- Im Bereich der *Hadronen- und Kernphysik* wird empfohlen, aufgrund der langen **Vorlaufzeiten** der Entwicklung der Großgeräte, die Ausrichtung der Detektoren und Instrumente auf Day-1-Experimente (die nach Fertigstellung des jeweiligen Großgeräts sofort durchführbar sind) zu fokussieren.
- Insbesondere in der *Kondensierten Materie* ist eine stärkere Berücksichtigung von **Schnittstellen** zu den mit dem Forschungsfeld verbundenen Themen und Anwendungsfeldern wie z.B. den Lebenswissenschaften, neuer Energiematerialien und Umwelttechnologien empfehlenswert. An dieser Stelle sollte die Verbundforschung die Besonderheit des Forschungsfeldes *Kondensierte Mate-*



rie noch stärker herausstellen, d.h. dass dort wichtige Werkzeuge und Methoden für unterschiedlichste Communities zur Verfügung gestellt werden, durch die wissenschaftlicher Fortschritt in vielen Feldern überhaupt erst möglich wird. Dies würde zusätzlich dazu beitragen, die gesellschaftliche Akzeptanz der großen Forschungsinfrastrukturen durch die Förderaktivitäten der Verbundforschung zu erhöhen.

## 5.2 Empfehlungen zur Programmorganisation und dem Förderkonzept

Wie bereits mehrfach dargelegt, sind die Programmorganisation und deren Wirkung als wirksam und zielführend einzuschätzen. Strategie, Transparenz und Effizienz werden in allen Untersuchungsschritten positiv bewertet. Dennoch zeigten gerade die Interviews und das Experten-Audit einige Optimierungspotentiale auf.

Die Fördermaßnahme ist durch hohe Kontinuität der geförderten Verbünde gekennzeichnet. In Teilen scheint sich bereits eine längerfristige Projektlaufzeit der Verbünde eingestellt zu haben. Die Befragungsergebnisse zeigen, dass die resultierende Kontinuität in der Förderung eine wesentliche Grundvoraussetzung für den Erfolg der Maßnahme ist. Gleichzeitig weisen kritische Stimmen darauf hin, dass dies den wettbewerblichen Charakter projektbezogener Fördermaßnahmen hinterfragen könnte. Auch wenn aus Sicht des Evaluationsteams keine konkreten Anhaltspunkte diesbezüglich vorliegen, wird empfohlen, Alternativen der zeitlichen Ausgestaltung der Laufzeiten der Verbundprojekte zu prüfen. Dabei könnte auch berücksichtigt werden, dass innerhalb der unterschiedlichen Forschungsfelder **unterschiedliche Laufzeiten** notwendig sein könnten. Insbesondere die kondensierte Materie weist offenkundig starke Unterschiede (z.B. Projektlaufzeiten und -volumina, Interdisziplinarität, Anwendungsnahe) zu den anderen Forschungsfeldern auf. Insofern erscheint die **Flexibilisierung der Projektlaufzeiten** als ein geeigneter Weg, um längerfristige Entwicklungen in den geförderten Projekten abzubilden. Projektlaufzeiten können flexibel auf bis zu 5 Jahre erweitert werden. Ungeachtet der jeweiligen Laufzeit sollte **nach drei Jahren eine Projektevaluation** vorgenommen werden. In den Projektanträgen soll dazu eine entsprechende Klausel aufgenommen werden. Die letzte Entscheidung liegt beim BMBF.

Wie bereits oben angesprochen, ist angezeigt, die **Permeabilität** zwischen den drei Forschungsfeldern zu erhöhen. Gleichzeitig ist festzustellen, dass der Bedarf an forschungsfeldübergreifenden **Querschnittsthemen** (Big Data & High-Performance Computing (einschl. Green IT), Detektorenentwicklung sowie Methoden und Konzepte für Beschleunigertechnologien). Daher wird empfohlen, Maßnahmen zu entwickeln, die einen stärkeren Austausch zwischen den Feldern anregen und gleichzeitig aufkommende Querschnittsthemen berücksichtigen und koordinieren. So sollten Themen, die Gefahr laufen durch das Raster zu fallen per **Entscheidung durch das BMBF** einem Förderfeld zugeschlagen werden. Gleichzeitig werden diese Themen aber auch häufig **Querschnittsthemen** darstellen. Der Bedarf an diesen **Themen** wächst. Um zukünftig die Anforderungen an die Querschnittsthemen besser erfüllen zu können, wird vorgeschlagen, aus den bestehenden Gremien und den Communities **einen oder mehrere spezifische Ausschüsse für forschungsfeldübergreifende Querschnittsthemen zu bilden**. Diese Ausschüsse sollten so gestaltet sein, dass diese die Durchlässigkeit zwischen den Feldern im Blick haben und ggf. das BMBF bei der Entscheidung unterstützen können. Um die „Versäuerung“ von Themen zu vermeiden, wird empfohlen Repräsentanten der Gutachterausschüsse aus den drei Forschungsfeldern (Physik der kleinsten Teilchen, Astro- und Astroteilchenphysik, Kondensierte Materie) in den Ausschuss zur Behandlung der Querschnittsthemen zu entsenden. Weiterhin sollten zusätzliche externe Experten mit Bezug zu den Themen und Vertreter des BMBF einbezogen werden. In Summe wird es wichtig sein, darauf zu achten, dass Synergien zwischen einzelnen Querschnittsthemen durch eine geeignete Koordination über die Ausschüsse, die die Querschnittsfelder bearbeiten, gehoben werden. Weiterhin sollte der Ausschuss es ermöglichen, die Gewichtung der einzelnen Querschnittsthemen festzulegen und auch die Balance zwischen den Feldern im Blick zu haben.

Mit Blick auf die **Verbundlösungen** zeigt sich, dass diese mehrheitlich als **gut funktionierend** erlebt werden. Gerade etablierte Verbundstrukturen (wie die Forschungsschwerpunkte) werden als gut funktionierend hervorgehoben. Dies stellt sich als besonders sinnvoll dar, wenn Vorhaben auf mehrere

Förderperioden ausgerichtet sind und einer hohen Kooperationsintensität bedürfen. Größere Verbünde bieten strukturelle Vorteile bei der Projektkoordination, administrativen Fragen, bei der Gewinnung von Ressourcen für die Nachwuchsausbildung sowie in der Öffentlichkeitsarbeit. Sie ermöglichen zudem eine vereinfachte Kommunikation mit dem Geldgeber sowie den Großgerätebetreibern. Die Verbünde werden überwiegend als sinnvoll und gut funktionierend wahrgenommen. Dabei sind vor allem die koordinierte und effizientere Zusammenarbeit und die Synergiegewinnung der ausschlaggebende Faktor. Es scheint auch so zu sein, dass den Verbänden das Potential beigemessen wird, eher eine kritische Masse an Wissenschaftlern zusammenzubekommen und dadurch zu demonstrieren, dass ihr Thema keine Randfrage ist. Gleichzeitig weisen viele Gesprächspartner jedoch auch darauf hin, dass gerade die Forschungsschwerpunkte nicht die gewünschte Sichtbarkeit erzielt hätten. Vor allem gegenüber der DFG-Förderung wird der Fördermaßnahme eine zu geringe Wahrnehmung in der wissenschaftlichen Gemeinschaft attestiert. Es wird empfohlen, hier über Maßnahmen und Organisationsformen nachzudenken, die eine **bessere Sichtbarkeit** von wissenschaftlichen Schwerpunkten befördern. So könnte bei der zukünftigen Ausgestaltung der Fördermaßnahme, z.B. durch eine „Markenbildung“ und entsprechende Auszeichnung derjenigen, die Förderprojekte erfolgreich beantragt haben („Grant“), die Wertigkeit der Förderung gesteigert werden.

Die Evaluationsergebnisse zeigen, dass die derzeitigen **Prozesse zur Strategiebildung, der Projektbegutachtung und Förderentscheidung** als gut einzuschätzen sind und anders nicht sinnvoll durchführbar sein werden. Nichtsdestotrotz wurden auch hier einige kritische Anregungen erfasst. Bezogen auf die Strategiesitzungen, die Prioritätensetzung zwischen den Forschungsfeldern und weitere gefällte Entscheidungen, wurde relativ häufig darauf verwiesen, dass die Geförderten und Antragsteller sich nicht ausreichend informiert fühlten. Es wurde oft der Wunsch geäußert, die Prioritätensetzungen und Entscheidungen transparenter zu machen. Vor diesem Hintergrund erscheint es basierend auf den Ergebnissen der Evaluation sinnvoll, Wege zu finden, um die **Kommunikation der resultierenden Entscheidungen in Richtung der jeweiligen Community zu verbessern**.

Bei den etablierten Prozessen zur Begutachtung und Auswahl von Projekten ist festzustellen, dass - mindestens in der Außendarstellung – der Eindruck entstehen kann, dass die wissenschaftliche Objektivität eingeschränkt würde und, dass das Verfahren die Wahrscheinlichkeit geschlossener Netzwerke erhöhen kann. Die Evaluation ergab zwar keine direkten Hinweise darauf, dass dies der Fall ist, jedoch, sollte zumindest diese Gefahr bedacht und ggf. durch geeignete Maßnahmen begrenzt werden. Dabei ist zu bedenken, dass die Verbundforschung, gemäß ihres bundespolitischen Auftrags, stark an den vorgeschalteten Roadmap-Prozessen orientiert ist und im Bundesauftrag handelt. Damit sind die etablierten Gremien und Prozesse als gut funktionierend und zielführend einzuschätzen. Dennoch wird empfohlen, diesen Trade-off im Blick zu behalten. Als eine mögliche Maßnahme wird vorgeschlagen, **stärker internationale Gutachter als externe Experten in die Gutachterausschüsse einzubinden**. Es sollte geprüft werden, inwieweit dies vor dem beschriebenen wissenschaftspolitischen Auftrag sinnvoll umsetzbar ist. Innerhalb der Community scheint es diesbezüglich zumindest Offenheit vorzuliegen. Unter dem Strich würde dies die Transparenz, internationale Sichtbarkeit und wissenschaftliche Objektivität stärken.

Vor allem die Diskussionen mit Vertretern des Forschungsfeldes Hadronen- und Kernphysik zeigten, dass die möglichst schnelle Fertigstellung der Forschungsinfrastruktur FAIR eine primäre Herausforderung darstellt. Gleichzeitig wird es wichtig sein, trotz Verzögerungen, dem wissenschaftlichen Fortschritt in diesem Bereich Rechnung zu tragen. Diese Diskussion ist – weniger dringlich – auch auf die übrigen Felder übertragbar. Aufgrund der langen **Vorlaufzeiten bei der Entwicklung der Großgeräte** ist die Ausrichtung der Detektoren und Instrumente auf Day-1-Experimente (die nach Fertigstellung des jeweiligen Großgeräts sofort durchführbar sind) unabdingbar. Daher wird vor allem auf Basis der Diskussionen im Laufe des Experten-Hearings empfohlen, Maßnahme zu entwickeln, die **strategische Vorbereitung zukünftiger (im Bau befindlicher oder beschlossener) Experimente** stärker zu berücksichtigen und dabei neben der Instrumentierung auch eine kontinuierliche Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses ohne signifikante Unterbrechungen gewährleisten.

Weiterhin wird empfohlen, in vereinzelt Bereichen die **Verzahnung mit anderen Förderresorts** zu optimieren. Zunächst ergab die Evaluation Hinweise, dass beispielsweise im Bereich der Datenverarbeitung und IT-Infrastruktur klarer gemacht werden sollte, wo jeweils die Förderzuständigkeiten der Verbundforschung bzw. der DFG beginnen bzw. enden. Im Bereich der Astrophysik scheint zudem eine stärkere Abstimmung zwischen dem BMBF im Bereich erdgebundener Astrophysik und dem BMWi im Bereich der Astrophysik im Weltraum notwendig zu sein. Es wird empfohlen, die Reziprozität in der Kommunikation und Abstimmung zwischen BMBF und DFG sowie BMBF und BMWi zu verbessern.

### 5.3 Empfehlungen zur Erhöhung der Wirkung auf den Wissenschaftsstandort Deutschland

Wie eingangs betont, sind die Wirkungen der Maßnahme auf den Wissenschaftsstandort beträchtlich und die Maßnahme ist in ihrer Aufstellung als zieladäquat einzuschätzen. Nichtsdestotrotz zeigen die Evaluationsergebnisse und vor allem die Einschätzungen der Auditierenden im Experten-Hearing, dass die Diffusion der Ergebnisse der Förderprojekte in die Zivilgesellschaft, wie auch die Hebelwirkung auf die Wissenschaften erhöht werden könnte. Dafür werden folgende, die Verbundforschung flankierende Maßnahmen vorgeschlagen:

Um die **Sichtbarkeit der Verbundforschung** zu erhöhen, sollte die Würdigung der Förderung aus Mitteln der Verbundforschung in wissenschaftlichen Publikationen (im Rahmen der Acknowledgements) verpflichtend sein. Wissenschaftler, die bei Publikationen die Förderung durch die Verbundforschung nicht aufführen, sollten zukünftig keine Förderung mehr erhalten. In den Acknowledgements sollte zudem der Name des neuen BMBF-Rahmenprogramms sowie das BMBF genannt werden. Hier könnten die jeweiligen Komitees die spezifischen Formen der Acknowledgements ausformulieren, so dass Besonderheiten in den einzelnen Forschungsfeldern berücksichtigt werden. Weiterhin könnte eine **Zitierpflicht** für spätere Nutzer der Experimente bzw. der von der Verbundforschung geförderten Instrumente sinnvoll sein. So könnte die Nutzung der Experimente an die Bedingung geknüpft werden, dass spätere, unter Nutzung des Experiments entstandene und publizierte Forschungsergebnisse eine Referenzpublikation zitieren müssen. Dies würde stärker den Stellenwert der Verbundforschungsergebnisse für die anschließenden wissenschaftlichen Arbeiten hervorheben.

Die **Steigerung der Diffusion der Ergebnisse** der durch die Verbundforschung geförderten Projekte in die Zivilgesellschaft könnte durch entsprechende Outreach-Aktivitäten erreicht werden. Diese Aktivitäten sollten nach Möglichkeit zentral und projektübergeordnet erfolgen, weil Öffentlichkeitsarbeit auf Projektebene in Gefahr einer zu geringen Aufmerksamkeit - und damit keine Beachtung zu finden - läuft. Dazu wird vorgeschlagen, den Beitrag zu Outreach-Aktivitäten ab einer bestimmten Projektgröße verpflichtend zu gestalten und einen Mechanismus zu entwickeln, der die Informationszulieferung der Projekte für Diffusionsmaßnahmen verbessert. In diesem Zusammenhang sollten für die Projekte zusätzlich entsprechende Anreize geschaffen werden, stärker Ressourcen zur professionellen Wissenschaftskommunikation zu nutzen. Entsprechende Lösungen und organisatorische Formate sollten in Abstimmung mit den jeweiligen Communities bzw. den jeweiligen Komitees entwickelt werden.

Weiterhin wird vorgeschlagen, den wissenschaftlichen Nachwuchs innerhalb der Maßnahme gezielter zu fördern. Ziel sollte sein den **Nachwuchs sowohl für Führungspositionen in der Wissenschaft, aber auch in der Industrie zu qualifizieren**. Dabei sollte vor allem der frühzeitige Aufbau von Projektmanagement-Kompetenzen im Fokus stehen. Neben Trainingsmaßnahmen für Nachwuchswissenschaftler, könnte eine Maßnahme sein, diesen früh Verantwortung für Projektmodule zu geben, bzw. sofern möglich mit der Umsetzung von Förderprojekten mit geringeren Projektvolumina zu betrauen. Weiterhin könnte beispielsweise eine Leadership-Academy (Soft-Skill Training) aufgebaut und die besten Projektmitarbeiter/-doktoranden dieser Academy ausgezeichnet werden.

Ein zentrales Element zur Steigerung des gesellschaftlichen Impacts der Maßnahme könnte im Hinblick auf die oft bestehende Anwendungsorientierung innerhalb der Fördermaßnahme sein, sogenannte „Innovationskeime“ zu etablieren. Vor allem in der Kondensierten Materie, aber auch in den anderen Forschungsfeldern wurden durchaus große technologische Anwendungspotentiale deutlich. Die Analysen



haben gezeigt, dass die Erkennung von Potentialen für **die angewandte Forschung und der daraus resultierenden wirtschaftlichen Verwertung** ebenfalls stärker in das Blickfeld der Fördermaßnahme gerückt werden sollte. Daher wird empfohlen, Ansätze zu entwickeln, die dabei helfen, diese Potentiale systematisch zu erfassen, ohne dabei jedoch die Bedingungen für wissenschaftliche Grundlagenforschung zu beeinträchtigen. Beispielsweise könnten junge Forscher an Hochschulen dazu angeregt werden, aus Zuliefererbeziehungen mit Unternehmen Kooperationsbeziehungen zu schöpfen. So könnten aus dem Bau von Großgeräten auch tatsächlich neue Technologien in der Industrie entstehen.

#### 5.4 Anforderungen an künftige Evaluationen

Als wesentliche **Anforderung an zukünftige Evaluationen**, aber auch im Hinblick auf die Verbesserung der kontinuierlichen Wirkungsüberprüfung im Förderprogramm, folgende Vorgehensweise zum Aufbau eines Systems der standardisierten Datenerhebung vorgeschlagen:

1. Aufbau einer einheitlichen elektronischen Datenbank in tabellarischer Form, parallel bzw. ergänzend zur offiziellen Förderdatenbank
2. Festlegung von zu erhebenden Datenpunkten (wie z.B. Publikationen, Konferenzbeiträge, ausländische Mitarbeiter im Projekt etc.)
3. Datenerhebung sowohl auf Verbundprojekt-Ebene (Verbundprojekt-Koordinator) als auch auf Teilprojekt-Ebene (Leiter der Teilprojekte)

Eine einheitliche elektronische Datenbank in tabellarischer Form, parallel bzw. ergänzend zur bestehenden Förderdatenbank hat den Vorteil, dass die Datenstruktur und –erhebungsweise selbst bestimmt werden kann und nicht von unflexiblen Vorgaben abhängt. Eine solche Datenbank könnte in Excel, Access oder mittels online-basierter Lösungen umgesetzt werden. Eine online-basierte Lösung hätte den Vorteil, dass Daten von den Projektleitern online abgefragt werden könnten und direkt in digitaler Form vorlägen. Dieser Prozess der Datenerhebung könnte ggf. automatisiert werden, so dass den Projektleitern bspw. jährlich eine Aufforderung zur Dateneingabe elektronisch zugeschickt wird. Dies würde ggf. Time Lags verhindern und die Validität und Aktualität der Daten gewährleisten.

Zentrale Voraussetzung für die Einrichtung einer Datenbank ist die vorherige Festlegung der zu erhebenden Datenpunkte. Hier gilt es zu beachten, dass sich der erhoffte Informationsgewinn und die damit verbundene Aufwandsbelastung der Projektteilnehmer die Waage halten. Es sollten zweifelsohne mehr als die bestehenden Indikatoren erhoben werden, aber nicht unbedingt alle Indikatoren die in der Ex-Post Evaluation herangezogen wurden.<sup>12</sup>

Ein einheitliches System zur standardisierten Datenerhebung unterstützt den evidenzbasierten Anspruch der Verbundforschung und würde den Erfolg der Fördermaßnahme nach außen nachhaltiger und kontinuierlicher sichtbar machen. Darüber hinaus würde ein solches System die Aussagekraft künftiger Evaluationen erhöhen und die Datengrundlage für die Weiterentwicklung der Verbundforschung darstellen.

---

<sup>12</sup> Eine detailliertere Aufzählung der Datenpunkte findet sich im Materialband zur Evaluation.

technopolis |group| Germany  
Große Seestr. 26  
60486 Frankfurt am Main  
Germany  
T +49 69 348 7679-80  
F +49 69 348 7679-89  
E [info.de@technopolis-group.com](mailto:info.de@technopolis-group.com)  
[www.technopolis-group.com](http://www.technopolis-group.com)