Fortschrittsbericht 2022

Programm „Materie und Universum“

Programmsprecher/in:

Ralph Engel | Karlsruher Institut für Technologie

**Inhalt**

[1 Das Programm im Überblick 3](#_Toc126656296)

[1.1 Ziele und Einbettung in den Forschungsbereich 3](#_Toc126656297)

[1.2 Programmstruktur 4](#_Toc126656298)

[1.3 Neue strukturelle Entwicklungen und veränderte Rahmenbedingungen 5](#_Toc126656299)

[2 Wissenschaftliche Highlights des Programms 5](#_Toc126656300)

[3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen 8](#_Toc126656301)

[4 Strategische Themen 12](#_Toc126656302)

[4.1 Talentmanagement 13](#_Toc126656303)

[4.2 Vernetzung 15](#_Toc126656304)

[4.3 Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft 17](#_Toc126656305)

[4.4 Drittmitteleinwerbung 18](#_Toc126656306)

[5 Erfolgskennzahlen und Programmressourcen 20](#_Toc126656307)

[5.1 Quantitative Indikatoren 20](#_Toc126656308)

[5.2 Kostenentwicklung 21](#_Toc126656309)

[Assoziierte Forschungsinfrastrukturen (LK II) 22](#_Toc126656310)

[1 Forschungsinfrastruktur GridKa 22](#_Toc126656311)

[1.1 Empfehlungen des Senats 22](#_Toc126656312)

[1.2 Entwicklung der Kennzahlen und Ressourcen 22](#_Toc126656313)

[2 Forschungsinfrastruktur GSI-MU Ion Facilities 23](#_Toc126656314)

[2.1 Empfehlungen des Senats 23](#_Toc126656315)

[2.2 Entwicklung der Kennzahlen und Ressourcen 24](#_Toc126656316)

**Das Programm „Materie und das Universum“**

In der Strategischen Bewertung des Programms wurde bestätigt, dass die Programmplanung optimal ausgelegt ist, um die Forschungspolitischen Ziele – ggf. unter Berücksichtigung entsprechender Senatsempfehlung (s. Kapitel 3) – zu erreichen.

1 Das Programm im Überblick

1.1 Ziele und Einbettung in den Forschungsbereich

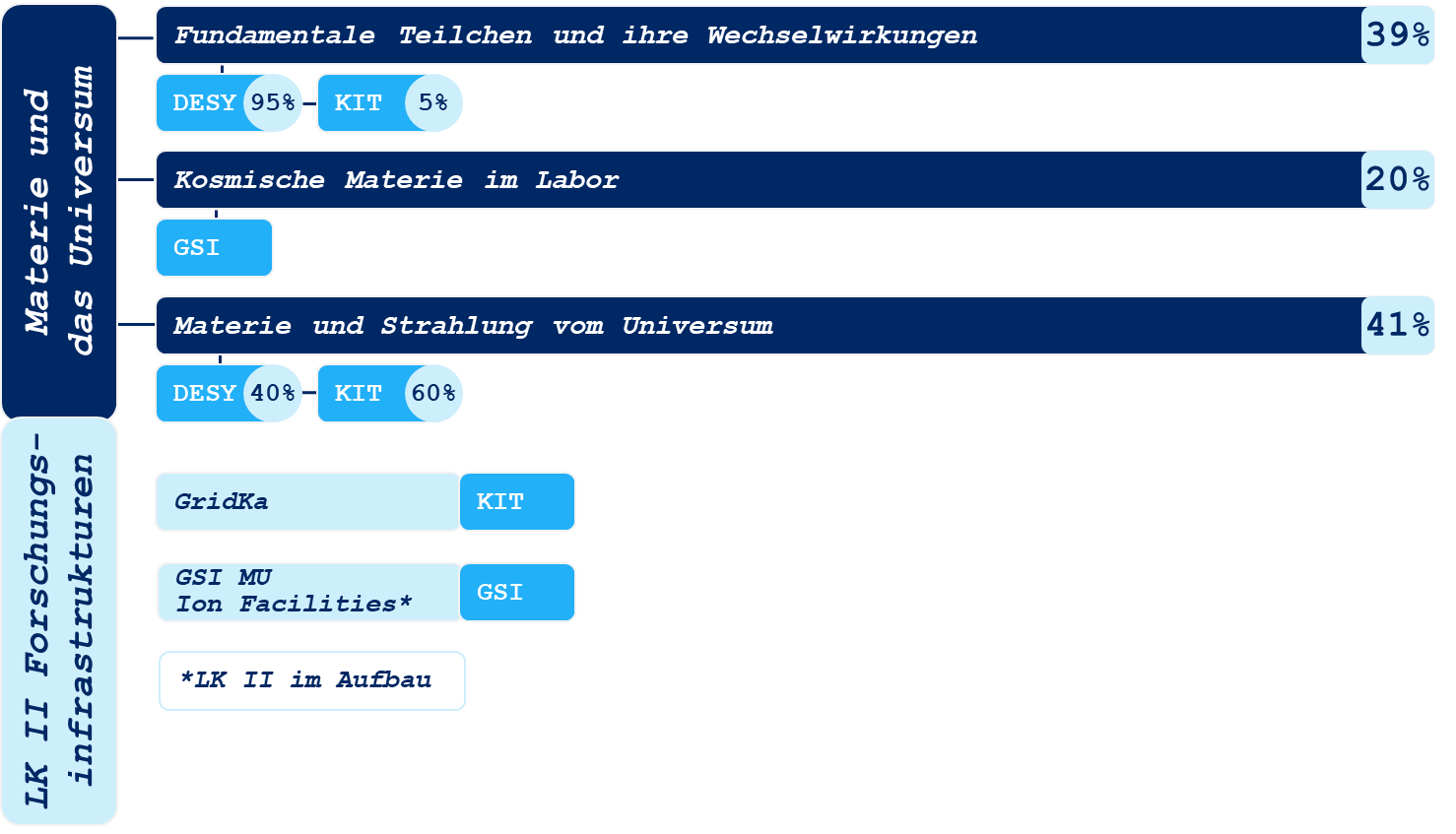
Das Programm MU zeichnet sich durch eine besondere fachliche Breite und gleichzeitige Tiefe bei seinem kohärenten Ansatz aus, das Verständnis in der Elementarteilchenphysik, der Astroteilchenphysik und der Physik der Hadronen und Kerne zu erweitern. Die gemeinsamen Forschungsarbeiten finden mit experimentellen und theoretischen Methoden statt, durch Modellierungen und Beobachtungen, mittels technologischer Entwicklungen und Betrieb von bzw. Messungen an großen Forschungsinfrastrukturen. Die Forschung in MU ist in besonderem Maße von internationalen Kooperationen verschiedener Forschungsinstitutionen geprägt, die sich in (teilweise sehr großen) Kollaborationen organisieren. Ermöglicht werden diese Arbeiten durch weltweit einzigartige Forschungsinfrastrukturen an unseren Helmholtz-Zentren und an anderen internationalen Forschungszentren bzw. -anlagen.

Das Programmtopic 1 - *Fundamental Particles and Forces* - untersucht die grundlegendsten Bausteine der Welt und ihre Wechselwirkungen und adressiert damit fundamentale Fragen der Natur wie etwa den Ursprung der Masse, die Struktur des Vakuums, das Ungleichgewicht zwischen Materie und Antimaterie im Universum oder die Natur der dunklen Materie. Die beteiligten Arbeitsgruppen sind an internationalen Großprojekten wie dem LHC am CERN oder SuperKEKB in Japan beteiligt und verfolgen in internationalen Kollaborationen ein reichhaltiges Programm an kleineren, lokalen Experimenten mit internationaler Beteiligung, u.a. zur Axion-Physik, sowie ein umfangreiches Theorie-Portfolio. Das Topic gliedert sich in drei Subtopics: i) Higgs-Eigenschaften und fundamentale Wechselwirkungen bei hoher Präzision; ii) Suchen nach neuen Teilchen und Phänomenen; iii) Kosmologie und der dunkle Sektor des Universums. Alle drei Subtopics werden querschnittsmäßig von zahlreichen experimentellen und theoretischen Projekten bearbeitet. Unterstützt wird das Topic von experimentnahen Infrastrukturen wie dem GridKa (Tier 1) am KIT oder etwa der *Interdisciplinary Analysis Facility* (IDAF, wird anteilig als Tier-2 für LHC genutzt), der Teststrahl-Anlage oder der *Detector Assembly Facility* (DAF) am DESY.

Das Programmtopic 2 – *Cosmic Matter in the Laboratory* – erforscht die Bildung von Materie aus den elementaren Bausteinen und die verschiedenen Aspekte und die Rolle der starken Wechselwirkung in diesen Prozessen. Extreme Formen der Materie werden im Labor erzeugt, um die Entstehung der primordialen Materie nachzubilden und um extreme astrophysikalische Objekte wie z.B. Neutronensterne zu verstehen. Das Themenspektrum im Topic wird von Untersuchungen an Hadronen und deren angeregte Spektren komplementiert, um wichtige experimentelle Informationen zu gewinnen, die ein vollständiges Verständnis der Quantenchromodynamik ermöglichen. FAIR, mit seinen hochintensiven, hochenergetischen, gespeicherten und gekühlen Ionen- und Antiprotonen-Strahlen, ist die zentrale Infrastruktur zur Bearbeitung der Fragestellungen in diesem Topic. Die Untersuchung der starken Wechselwirkung zielt auch auf Physik jenseits des Standardmodells, und beinhaltet die Suche nach dunkler Materie, die Erforschung der Materie-Antimaterie Asymmetrie und weiteren Tests von fundamentalen Symmetrien.

Das Programmtopic 3 – *Matter and Radiation from the Universe* – hat die größten Strukturen des Universums und die Eigenschaften der fundamentalen Bausteine als Forschungsthema. Die Astroteilchenphysik in MU wird an Observatorien an extremen Standorten auf der Erde und an Hochpräzisionsexperimenten in Laboratorien durchgeführt. Die Untersuchung von Neutrinos spielt dabei eine zentrale Rolle. Forschung in der Neutrinophysik beeinflusst dabei auch maßgeblich die Erforschung von dunkler Materie. Die Forschung im Topic 3 liefert Erkenntnisse, um ein neues und kohärentes Bild des hochenergetischen Universums zu zeichnen, in dem die verschiedenen Informationskanäle wie hochenergetische Strahlung, Neutrinos, kosmische Teilchen, Gravitationswellen sowie Suche nach dunkler Materie, zusammengefasst werden. Nur dieser Multimessenger-Ansatz ermöglicht es, die fundamentalen Fragen über die Struktur und die Entwicklung unseres Universums zu verstehen und zu beantworten. Durch neue und verbesserte Forschungsinfrastrukturen wird zukünftig eine Forschungslandschaft geschaffen, welche die ganze Bandbreite der Untersuchung von kosmischen Teilchen und Strahlung bearbeiten kann.

1.2 Programmstruktur

**

Das Programm Materie und Universum wird von Ralph Engel (Sprecher, KIT) und Beate Heinemann (Co-Sprecher, DESY) geleitet. Es gliedert sich in drei große Themenbereiche, die im Folgenden näher beschrieben werden, und zwei sog. LK-II Infrastrukturen, die im Teil B dargestellt werden.

Topic 1: Fundamentale Teilchen und ihre Wechselwirkungen (FPF)

(Sprecher: Georg Weiglein (DESY), Co-Sprecherin: Priscilla Pani (DESY))

Das Topic 1 widmet sich der Untersuchung der kleinsten Bausteine der Materie, ihren Wechselwirkungen sowie deren Einfluss auf die Struktur und Entwicklung des Universums. Die wesentlichen Fragestellungen adressieren den Ursprung der Masse, die Natur der dunklen Materie, das Ungleichgewicht zwischen Materie und Antimaterie im Universum oder die Struktur des Vakuums. Die experimentellen Arbeiten – begleitet von weltweit führenden theoretischen Studien – werden sowohl an globalen Infrastrukturen wie dem LHC oder dem SuperKEKB Collider durchgeführt als auch an kleinen oder mittelgroßen lokalen Experimenten beim DESY.

Topic 2: Kosmische Materie im Labor (CML)

(Sprecher: Frank Maas (HIM), Co-Sprecherin: Tetyana Galatyuk (GSI))

Das Topic 2 erforscht die Entstehung von Materie aus ihren elementaren Bausteinen und die Rolle der starken Kraft in diesem Prozess. Das Thema umfasst die Untersuchung von Hadronen und deren Anregungsspektrum, Kernmaterie bei extremer Temperatur, Dichte und Isospin, um wichtige experimentelle Informationen für die Entwicklung eines vollständigen Verständnisses der Quantenchromodynamik im nicht-perturbativen Bereich zu liefern. Ergänzt wird das Thema durch die Untersuchung der Physik jenseits des Standardmodells, einschließlich der Suche nach dunkler Materie, der Erforschung der Materie-Antimaterie-Asymmetrie und anderer Tests fundamentaler Symmetrien.

Topic 3: Materie und Strahlung vom Universum (MRU)

(Sprecher: Christian Stegmann (DESY), Co-Sprecherin: Kathrin Valerius (KIT))

Das Topic 3 bearbeitet Fragestellungen zu den Quellen, der Produktion und Propagation von hochenergetischen und ultra-hochenergetischen kosmischen Teilchen und zu den Eigenschaften von Neutrinos und dunkler Materie. Die beteiligten Arbeitsgruppen gestalten wesentlich bei IceCube die Neutrinoastronomie, bei CTA die Erforschung der hochenergetischer Gammastrahlung oder beim Pierre-Auger-Observatorium die Untersuchung von ultra-hochenergetischer kosmischer Strahlung mit. Die Eigenschaften der Neutrinos werden mit der einzigartigen Infrastruktur KATRIN bestimmt und die gewonnene Expertise wird zur Erforschung der dunklen Materie in DARWIN fortgeführt.

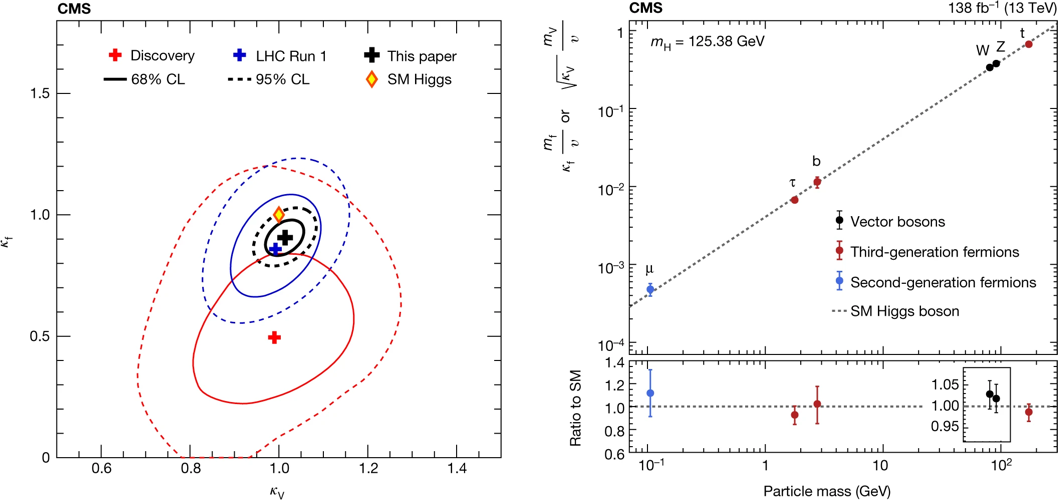
Theoretische Forschungen und die Entwicklung neuer Detektions-, Beschleunigungs- und Datenverarbeitungstechnologien zu den jeweiligen Themen ergänzen das experimentelle Programm und bilden eine verbindende Basis für die thematische Weiterentwicklung über die drei Topics hinweg.

1.3 Neue strukturelle Entwicklungen und veränderte Rahmenbedingungen

Der Angriff von Russland auf die Ukraine hat die internationale Situation sehr verändert und wird aufs Schärfste von Deutschland und der internationalen, wissenschaftlichen Community verurteilt. Viele langjährige und produktive Kooperationen sind eingestellt worden. Der langanhaltende Krieg hat zudem zur Unterbrechung von wirtschaftliche Lieferketten und insbesondere zu einer Energie-Krise geführt. Die Situation ist sehr volatil und die Auswirkungen auf die Wissenschaft und hier auf die gesteckte Ziele des Helmholtz-Programms MU sind noch nicht wirklich absehbar. So gibt es für die großen Teilchenphysik-Experimente vom CERN einen Stau von unveröffentlichten Forschungsergebnissen, weil bislang kein Umgang mit Autorenschaften von russischen Institutionen in den Kollaborationen gefunden wurde. Für andere Projekte und große Infrastruktuen (z.B. FAIR, XFEL, CERN) sind Partnerschaften mit russischen Institutionen unterbrochen worden, wodurch es zu einem Know-how-Verlust und zum Ausbleiben von technologischen und wissenschaftlichen Beiträgen gekommen ist. Die resultierende Energie-Krise hat zu ungeahnten Steigerungen des Strompreises geführt, so dass der Betrieb von zahlreichen Infrastrukturen und Experimenten in geplanten Betriebszyklen gefährdet ist. In wie weit sich diese grundlegende Veränderung der Situation in Europa und der Welt auf die Erreichbarkeit der Ziele unserer Wissenschaft auswirken, wird sich erst in den kommenden Jahren zeigen.

2 Wissenschaftliche Highlights des Programms

**Highlight 1:** Zehn Jahre nach der Higgs (H)-Entdeckung im Jahr 2012, haben sowohl ATLAS als auch CMS Veröffentlichunng zu den aktuellsten Vereinigungen der Ergebnisse zu den Eigenschaften der Higgs-Bosonen in *Nature* [1,2] veröffentlicht, mit signifikanten Beiträgen von DESY. Die Messung haben sich von reinen Entdeckungen zu Präzisionsuntersuchungen weiterentwickelt [3], was es den Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen erlaubt, das neue Teilchen für fundamental neue Untersuchungen der Quanten-Welt und der Struktur des Vakuums zu nutzen. Besonders hervorzuheben aus den bemerkenswerten Ergebnissen ist die Messung der Kopplung des Higgs-Bosons an andere Standard-Modell (SM)-Teilchen als Funktion der Teilchenmasse. Die Messung demonstriert, wie präzise das Higgs-Teilchen [4] in den SM-Vorhersagen [5] beschrieben wird. Die erreichte Präzision kann durch einen einfachen Vergleich illustriert werden: Gemäß der Veröffentlichung von ATLAS (und CMS Ergebnisse sind ähnlich) konnte die Genauigkeit für z.B. die Signalstärke des Zerfallskanals µ in H🡪​ɣɣ von ungefähr 30% im früheren Entdeckungs-Mode (µ=1,8±0,5 für eine Higgs-Masse von 126 GeV) auf besser als 10% (1,04±0,10 [4]) gesteigert werden.



*CMS Messung der Higgs Boson Kopplung an SM-Teilchen [2].*

Inzwischen konnte die Kopplung des Higgs-Teilchens an alle geladenen Teilchen der dritten Generation (τ, b, t) mit einer Präzision von <20% gemessen werden (siehe z.B. [5]). Signifikante Fortschritte konnten ebenfalls in der Suche nach der di-Higgs-Produktion erzielt werden [6], welche grundlegend ist, da sie direkt mit der Messung der H-Eigenkopplung und der Form des Higgs-Potentials verbunden ist [7].

Darüber hinaus gibt es zahlreiche Higgs-Veröffentlichungen mit führenden Beiträgen von DESY: So hat z.B. ATLAS eine Kombination der differentialen Higgs-Wirkungsquerschnitte mit hoher Präzision ver-öffentlicht [3]. All diese Messungen sind wichtig, um theoretische Berechnungen zu überprüfen und neue Theorien hinsichtlich ihrer Vorhersagen zu testen. Beispiele für derartige theoretische Beiträge von DESY zur Higgs-Physik sind die Referenzen [6-12].

Higgs-Physik ist natürlich nicht allein auf SM-Messungen beschränkt, sondern die Suche nach zusätzlichen Higgs-Bosonen und die Suche nach neuer Physik mit Higgs-Bosonen sind höchst aktive Forschungsthemen. So hat CMS z.B. Suchen nach zusätzlichen Higgs-Bosonen und nach Vektor-Leptoquarks mit zwei t-Leptonen im Endzustand veröffentlicht [13]. Die Daten zeigen zwei Überschüsse mit lokalen p-Werten, die äquivalent zu ungefähr drei Sigma in der Standard-Abweichung sind, unter der Annahme einer neuen Boson-Erzeugung *ϕ* in Gluon-Fusion für Massen von mϕ = 0,1 TeV und 1,2 TeV. Diese Analyse wurde durch eine Identifizierung hadronisch-zerfallender Tau-Leptonen mit Hilfe von neuronalen Netzen beim CMS-Experiement ermöglicht [14], ebenfalls mit starken Beiträgen von DESY. Ein interessanter Kanal ist der Zerfall von Higgs-Bosonen in unsichtbare Endzustände – z.B. leichte dunkle Materie oder langlebige Teilchen. Diese “unsichtbaren” oder “nicht-nachweisbaren” Zerfälle wurden auf Verzweigungsraten von weniger als 0,16 für alle Fälle eingeschränkt [1,2].

*[1] ATLAS Collaboration, Nature 607 (2022) no.7917, 52-59, doi:10.1038/s41586-022-04893-w,* [*arXiv:2207.00092*](https://arxiv.org/abs/2207.00092)*.*

*[2] CMS Collaboration,* [*Nature 607 (2022) 60*](https://www.nature.com/articles/s41586-022-04892-x)*,* [*arXiv:2207.00043*](https://arxiv.org/abs/2207.00043)*.*

*[3] ATLAS Collaboration,* [*arXiv:2207.08615*](https://arxiv.org/abs/2207.08615)*, submitted to JHEP.*

*[4] ATLAS Collaboration,* [*https://cds.cern.ch/record/2814435/files/2207.00348.pdf*](https://cds.cern.ch/record/2814435/files/2207.00348.pdf)*.*

*[5] CMS Collaboration,* [*arXiv:2204.12957,*](https://arxiv.org/abs/2204.12957)*CMS-HIG-19-010, CERN-EP-2022-027, submitted to EPJ C.*

*[6] H. Bahl et al.,* [*arXiv:2210.09332*](https://arxiv.org/abs/2210.09332)*.*

*[7] Q. Bonnefoy, E. Gendy, C. Grojean, J.T. Ruderman, JHEP 08 (2022) 032,* [*https://inspirehep.net/literature/1985604*](https://inspirehep.net/literature/1985604)*.*

*[8] H. Bahl et al., Eur.Phys.J.C 82 (2022) 7, 604,* [*https://inspirehep.net/literature/2037691*](https://inspirehep.net/literature/2037691)

*[9] J. de Blas et al,* [*arXiv:2206.08326*](https://arxiv.org/abs/2206.08326)*.*

*[10] P. Bredt, W. Kilian, J. Reuter, P. Stienemeier,* [*arXiv:2208.09438*](https://arxiv.org/abs/2208.09438)*.*

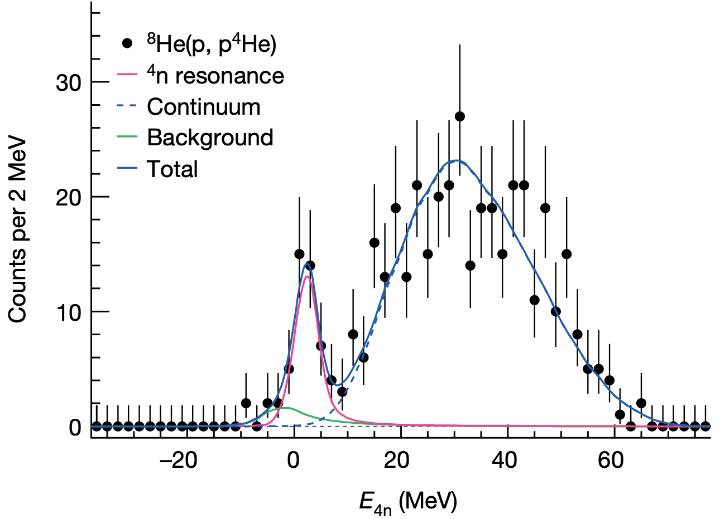
*[11] T. Biekötter, M. Pierre,* [*arxiv:2208.05505*](https://arxiv.org/abs/2208.05505)*.*

*[12] T. Biekötter et al., Eur.Phys.J.C 82 (2022) 2, 178,* [*https://inspirehep.net/literature/1915717*](https://inspirehep.net/literature/1915717)*.*

*[13] CMS Collaboration,* [*arXiv:2208.02717,*](https://arxiv.org/abs/2208.02717) *submitted to JHEP.*

*[14] CMS Collaboration, JINST 82022 17 P07023,* [*arXiv:2201.08458*](https://arxiv.org/abs/2201.08458)*.*

**Highlight 2:** Beschleunigeranlagen, mit deren Hilfe seltene exotische Isotope produziert werden, können für die Produktion von intensiven Neutronen-reichen Strahlen genutzt werden, um Multi-Neutronen-Systeme zu untersuchen. Die einzigen gebundenen Systeme bestehend aus nahezu reinen Neutronen sind Neutronensterne, kompakte, extrem dichte Objekte im Universum, die durch die Gravitationskraft zu einer Größe von typischerweise 10 km Durchmesser kompriemiert werden. Atomkerne sind durch die starke Kernkraft gebunden mit einer Bevorzugung von ausgeglichenen Neutron- und Protonanzahlen. Ein Experiment zur Erzeugung eines reinen Neutronensystems der Größe eines Atomkerns wurde an der Radioactive Ion Beam Factory RIBF am Riken von einem internationalen Forschungsteam mit führender Beteiligung von CML Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen der TU Darmstadt durchgeführt. Ein exotischer 8He-Strahl wurde an einem Wasserstofftarget fragmentiert, um Ereignisse zu untersuchen, bei denen 8He-Kerne ein α-Teilchen emittieren, also ein System aus vier Neutronen übrig lassen. Durch Messung der Energien des α-Teilchens und der gestreuten Protonen konnte die ansonsten nicht-nachgewiesene Energie (sog. *missing energy*) den vier Neutronen zugeordnet werden.

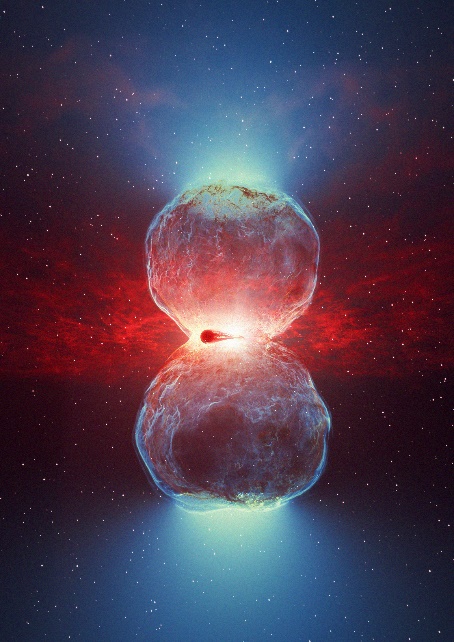


*Spektrum der nicht-nachgewiesenen (missing mass) Energie des vier-Neutronen-Systemen, extrahiert aus 8He(p,p4He)-Reaktionen. Die verschiedenen Kurven repräsentieren eine Breit–Wigner-Resonanz (pink), ein nicht-resonantes Kontinuum (gestrichelt blau), den Untergrund von Zwei-Stufen-Prozessen (grün) und die totale Summe (durchgezogen blau) [1].*

Das Spektrum der nicht-nachgewiesenen Energie zeigt einen statistisch-eindeutigen Peak bei einem positiven Wert, was als Signal des Vier-Neutronen-Systems interpretiert wird [1]. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der TU Darmstadt, GSI, TU München und des Riken Nishina Center waren an der Entdeckung beteiligt, die von *Physics World* als eines der “top 10 Breakthroughs in Physics” des Jahres 2022 klassifiziert wurde. Die detaillierte Untersuchung des bisher hypothetischen Teilchens liefert evtl. weitere Informationen oder ein besseres Verständnis der Eigenschaften von Neutronensternen. Ob Multi-Neutronen-Systemen als ungebundene resonante Zustände oder sogar gebundene Zustände existieren ist eine der langanhaltenden Fragen der Kernphysik. Ein Forscherteam, geleitet von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der TU Darmstadt, wagt einen neuen Versuch unter Zuhilfenahme neuer, experimenteller Techniken. Derzeit wird ein Experiment der nächsten Generation am R3B bei FAIR geplant, bei dem die Korrelation zwischen den vier Neutronen direkt mit dem R3B NeuLAND Detektor nachweisen wird.

*[1] Duer, M., Aumann, T., Gernhäuser, R. et al., Nature 606, 678–682 (2022). https://doi.org/10.1038/s41586-022-04827-*6.

**Highlight 3:** Die H.E.S.S.-Kollaboration hat im Jahr 2021 den Ausbruch von RS Ophiuchi beobachtet, einer wiederkehrenden Nova, und bestimmte dessen spektrale und zeitliche Entwicklung bei GeV und TeV Energien [1]. Eine Nova tritt auf, wenn ein Weisser Zwerg Material von einem Begleitstern abzieht und der akkumulierte Wasserstoff, den der Weisse Zwerg auf seiner Oberfläche aufbaut, eine Thermonukleare Explosion auslöst. Diese Explosion wirft Material aus, ohne dabei den Weissen Zwerg zu zerstören. Wiederkehrende Novae wiederholen diese Thermonukleare Explosion in den äußeren Schichten des Weissen Zwergs, aufgrund der stets weiteren Ansammlung von Material vom Begleitstern. Der generierte Schock, erzeugt durch den Aufprall von ausgeworfenem Material das auf den Wind des Begleitsterns trifft, beschleunigt Teilchen.



*Künstlerische Darstellung eines Weissen Zwergs und eines Roten Riesen Doppelstern-Systems, gefolgt von einem Nova-Ausbruch. Das ausgeworfene Material von der Oberfläche des Weissen Zwergs erzeugt Schockwellen, die sich schnell, in einer Sanduhr-förmigen Form, ausbreiten.*

*Credit: DESY/H.E.S.S., Science Communication Lab*

Mit einer genaueren Evaluierung der Daten konnte im Jahr 2022 gezeigt werden, dass die Emission der höchstenergetischen Gamma-Strahlung (VHE; ≳ 100 GeV) der wiederkehrenden Nova RS Ophiuchi mehr als 1 Monat nach dem Ausbruch andauert [2]. Das zeitliche Profil der VHE-Emission ist vergleichbar mit der von niederenergetischen GeV-Emission, was auf einen gemeinsamen Ursprung hindeutet, allerdings mit ein Verzögerung von 2 Tagen im Fluss des Peaks. Diese Beobachtungen schränken Modelle zur zeitabhängigen Teilchen-Beschleunigung ein und favorisieren ein hadronisches Emissions-Szenario gegenüber einem leptonischen. Schocks in dichten Winden liefern günstige Bedingungen für eine effiziente Beschleunigung von kosmischer Strahlung auf sehr hohe Energien.

*[1] S. J. Wagner, H.E.S.S. Collaboration, The Astronomer’s Telegram 14844 (2021).*

*[2] H.E.S.S. Collaboration et al., Science 376, 6588, 77-80, 2022.*

3 Stand der Umsetzung des Programms und seiner Senatsempfehlungen

Die „Forschungspolitische Ziele des Forschungsbereichs Materie der Helmholtz-Gemeinschaft für die IV. Periode der Programmorientierten Förderung“ des Zuwendungsgebers setzen den Rahmen der Forschungsprogramme und des Bereichs. Sie sind in einem Dokument gleichlautenden Titels beschrieben.

Die Empfehlungen des Senats der Helmholtz-Gemeinschaft knüpfen daran an. Der Senat unterstützt die Programmplanung des Forschungsbereichs Materie und gibt folgende spezifischen Empfehlungen auf Ebene des Forschungsprogramms in der LK I:

* Die starke Führungsposition der Helmholtz-Gemeinschaft in dem globalen Feld sollte voll unterstützt werden.

Mitglieder des Programms MU haben auf allen Ebenen (national, EU, international) führende Rollen in den relevanten Strategie-Gremien und Roadmap-Prozessen (national: KET, KAT, KHuK; EU: ECFA Detector Roadmap, Future Colliders Forum, APPEC; international: ICFA, IUPAP-C4). Außerdem nehmen Mitarbeitende zentrale Management- und Beratungsfunktionen in den wesentlichen internationalen, laufenden und zukünftigen Collider-Projekten ein, sei es in den LHC-Experimenten oder etwa in den Studien zu zukünftigen Higgs-Fabriken. Darüber hinaus sind Mitglieder des Programms MU in Sprecherpositionen (z.B. Auger-Observatorium, KATRIN, CMB oder ALICE) oder in weiteren zentralen Positionen der vielen internationalen Kollaborationen der von uns verfolgten Experimente und Observatorien. Durch diese Positionen und das Gewicht der wissenschaftlichen Beiträge aus Helmholtz ist der gestaltende Einfluss von Helmholtz sichergestellt.

* Ein gewisses Maß an Flexibilität für programmatische Anpassungen während der Laufzeit des PoF IV ist beizubehalten.

Das Programm MU ist geprägt von vielen langjährigen Fragestellungen und Projekten, die nur mit ausreichender Kontinuität erfolgreich bearbeitet werden können. Dennoch bieten die Themenfelder stets neue Entwicklungen, neue aufkeimende Fragestellungen oder auch technologische Entwicklungen, die neue Ansätze in unserer Forschung ermöglichen. Diese Neuerungen werden nach Abwägung ggfls. aufgegriffen und in eine kontinuierliche Gestaltung unserer programmatischen Forschung integriert.

Auf dem Gebiet der Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik liefen bzw. laufen wichtige Strategieprozesse (Europäische Strategien, US Decadal Survey on Astronomy and Astrophysics and Snowmass -Prozesse), die unter anderem die wichtigen Fragen eines nächsten internationalen Collider-Projekts und nach zukünftigen Observatorien für Neutrinos, ultrahoch-energetische kosmische Strahlung, und Gravitationswellen adressieren.

Dabei steht zum einen die Idee einer „Higgs-Fabrik“ zur hochpräzisen Vermessung dieses Teilchens im Fokus, aber auch Studien und Technologie-R&D für noch weiterreichende Projekte, die Teilchenkollisionen bei höheren Energien ermöglichen würden. Helmholtz und insbesondere DESY als nationalem Labor und „Hub“ kommt auf diesem Gebiet bei der Ermöglichung deutscher Beiträge zu einem internationalen Projekt zentrale Bedeutung zu.

Zum anderen werden in den 2020er Jahren die Weichen für die Observatorien der Multi-Messenger Astroteilchenphysik der nächsten 30-40 Jahre gestellt, wobei die Planungen für die Helmholtz-FIS Vorschläge Einstein-Teleskop, IceCube-Gen2, GCOS und DARWIN einen wichtigen Beitrag liefern und Deutschland beim R&D und Design der Infrastrukturen eine entscheidende Rolle einnimmt. Um so wichtiger ist es, dass das Einstein Teleskop und IceCube-Gen2 Teile der Helmholtz Roadmap für große Infrastrukturen sind und der Vorschlag für DARWIN im Frühjahr 2023 von der FIS-Kommission bewertet wird.

Am KIT wurden wichtige Meilensteine gelegt, um die Zukunft bei der Suche nach Dunkler Materie und der Messung von Gravitationswellen einzuleiten. Ein neues Experiment soll den Durchbruch bei der Suche nach Dunkler Materie bringen. Mehrere weltweit führende Kollaborationen (XENON, LUX-ZEPLIN, DARWIN) haben sich bei einer Tagung Ende Juni 2022 am KIT zu dem XLZD-Konsortium zusammengeschlossen. Zuvor wurde eine Absichtserklärung für die gemeinsame Suche unterzeichnet und ein wissenschaftliches White Paper veröffentlicht. Für das zukünftige Einstein-Teleskop zur Detektion von Gravitationswellen hat sich beim ´12th Einstein Telescope Symposium` im Juni 2022 in Budapest die Kollaboration offiziell gegründet. Das KIT ist Gründungs-Mitglied und bringt sich in die technologischen Herausforderungen in den Bereichen Kryo- und Vakuumtechnologie, Seismologie, Computing, sowie das Monitoring von Umgebungsvariablen ein.

* Die neuartige Idee zur Bestimmung des Elektrischen Dipolmoments (EDM) am COSY-Speicherring soll unterstützt werden.

Am COSY-Speicherring wurden Präzisionsexperimente mit polarisierten Protonen- und Deuteronenstrahlen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in einem Preprint (arXiv:2208.07293 [hep-ex]) veröffentlicht, in dem die erste Suche nach axionähnlichen Teilchen (ALPs) mit einem Speicherring detailliert beschrieben wird. In diesem Proof-of-Principle-Experiment war es nicht möglich, ein Signal für ALPs zu sehen, aber es konnte zum ersten Mal eine obere Grenze für das oszillierende elektrische Dipolmoment (EDM) des Deuterons extrahiert werden. Solche Experimente könnten mit polarisierten Strahlen am ESR oder CRYRING bei GSI/FIAR durchgeführt werden.

Ein Antrag an die EU zur Finanzierung einer Designstudie für einen speziellen Hochpräzisions-Speicherring zur Messung des Protonen-EDM wurde als exzellent eingestuft, erhielt jedoch keine Finanzierung. Daher wird dieses Projekt, die Suche nach EDM, mit dem Ende des Betriebs von COSY auslaufen. Ein Teil der gewonnenen Erkenntnisse wird für Experimente bei ESR und CRYRING genutzt, z.B. durch den Bau einer polarisierten Strahlquelle. Eine W3 Professur der Universität Köln mit dem Thema „Präzisions-Experimente an Speicherringen“ wird derzeit besetzt und unterstützt die Wiederaufnahme dieser Aktivitäten.

* Die weitere Umsetzung von TransFAIR (FZJ/GSI) soll geklärt werden.

Der TransFAIR-Prozess wurde im Jahr 2022 fortgesetzt. Zum 31. Dezember 2022 waren 38 Mitarabeitende des IKP an die GSI überführt worden und 35 neue Mitarbeitende konnten mit TransFAIR-Mitteln eingestellt werden. Die Findungs-Kommission für eine gemeinsame W3-Professur an der Universität Köln wurde gestartet. Die Überleitung einer gemeinsamen FZJ/RWTH W2-Professur zu einer gemeinsamen W2 Professur GSI/JGU-Mainz wurde initiiert und die Berufungsverhandlungen stehen kurz vor dem Abschluss. Es werden große Anstrengungen seitens der Beschleuniger-Abteilung am Standort GSI unternommen, erfahrenes Personal im Betrieb von COSY zugewinnen, um das Betriebspersonal-Team an der GSI zu stärken.

* Eine Teilnahme seitens Helmholtz an künftigen internationalen Forschungsinitiativen zur experimentellen Bestimmung von Gravitationswellen, wie z. B. dem Einstein-Teleskop (ET), ist zu erwägen.

Im Topic 1 werden intensiv die teilchenphysikalisch relevanten Aspekte der Gravitationswel-lenforschung diskutiert und neuartige Konzepte entwickelt, die es ermöglichen, Gravitationswellen kosmologischen Ursprungs zu studieren unter Berücksichtigung der bestehenden Expertise und Infrastruktur. Diese Studien werden in enger Abstimmung zwischen theoretischen und experimentellen Physikerinnen und Physikern vorgenommen. Es wurden auch neue Berechnungen angestellt, die aufzeigen, welche Schlüsse man aus Gravitationswellen kosmologischen Ursprungs prinzipiell über das frühe Universum (z.B. Inflation oder Higgs-Potential) ziehen könnte.

In Topic 2 werden die kernphysikalisch relevanten Aspekte der Gravitationswellenforschung intensiv theoretisch untersucht. Dieses wichtige Projekt hat eine starke Überschneidung mit den GSI/FAIR-Forschungsaktivitäten. Die GSI-Theoriegruppe ist führend bei der Untersuchung der Dynamik von Fusionsereignissen von binären Neutronensternen, wobei die fortschrittlichsten numerischen Simulationen der allgemeinen Relativitätstheorie eingesetzt werden, um genaue Vorhersagen zu erhalten. Das zu erwartende Signal der Gravitationswellen und das damit assoziierte Begleitsignal im elektromagnetischen Spektrum als Fingerabdruck der Nukleosynthese schwerer Elemente wurde im Detail vorausgesagt und dient zur Aufstellung der Zustandsgleichung der Materie bei hohen Dichten. Dieses Projekt wird neue Möglichkeiten bei topic- und programmübergreifenden Aktivitäten für theoretische Arbeiten, für die Analyse großer Datenmengen und für die Entwicklung neuer Detektortechnologien eröffnen.

DESY und KIT haben im Rahmen der Topic 3-Aktivitäten im vergangenen Jahr als führende Zentren auf dem Gebiet der Multi-Messenger-Astronomie in verschiedenen Rollen in koordinierter Weise zur Stärkung des ET-Projekts in Deutschland beigetragen und damit auch eine mögliche Beteiligung der Helmholtz Gemeinschaft vorbereitet. Die Beiträge der Zentren reichen von der direkten experimentellen Beteiligung am Projekt, über die Implementierung des Projekts in der Helmholtz-Gemeinschaft bis hin zu koordinierenden Aufgaben für die deutsche ET-Community und der Unterstützung von Initiativen zur Stärkung der Gravitationswellenastronomie in Deutschland.

KIT trägt bereits in einer koordinierenden Rolle im ET Instrument Science Board und e-Infrastructure Board direkt zu ET bei. Des Weiteren wird ein MoU mit VIRGO erarbeitet.

DESY hat sich gemeinsam mit Partnern aus der Astronomie und Astroteilchenphysik in Deutschland unter der Leitung von Günther Hasinger, dem wissenschaftlichen Direktor der ESA, mit der Idee eines Deutschen Zentrums für Astrophysik (DZA) in einem offenen Ideenwettbewerb des BMBF für zwei Großforschungszentren in Sachsen beworben. Der Antrag mit DESY-Beteilung war erfolgreich und konnte sich in der Endrunde von 6 Vollanträgen als einer von zwei geförderten Projekten durchsetzen. Das Deutsche Zentrum für Astrophysik wird in Görlitz und in der Nähe von Bautzen entstehen. Nach der Aufbauphase ist eine jährliche Förderung von rund 170 Mio€ vorgesehen, im Zentrum selbst werden mehr als 1000 Mitarbeitende beschäftigt sein.

* Die Koordination von theoretischen und experimentellen Ansätzen im gesamten Programm soll gestärkt werden.

In allen Topics des Programms MU ist eine enge Zusammenarbeit zwischen experimentellen und theoretischen Arbeiten unerlässlich. An allen Standorten und in allen Fachbereichen wird daher die Kooperation zwischen eher theoretisch und eher experimentell arbeitenden Gruppen gesucht, was z.B. immer wieder zu gemeinsamen Publikationen führt.

Im Topic 1 ist die Zusammenarbeit von Theoretikern und Experimentalphysikern seit langem fest etabliert; beide befruchten sich wechselseitig und arbeiten eng an gemeinsamen Forschungsfragen. Es wurden regelmäßig mehrere gemeinsame Veröffentlichungen ergestellt.

Das im Rahmen der Landesexzellenzinitiative des Landes Hessen von der Goethe-Universität Frankfurt, der TU Darmstadt, der JLU Gießen und dem GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung organisierte Clusterprojekt “ELEMENTS: Exploring the Universe from Microscopic to Macroscopic Scales” bringt Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus historisch unterschiedlichen Forschungsbereichen zusammen - der Teilchen- und Kernphysik, der Gravitationsphysik von Neutronensternen und der Nukleosynthese schwerer Elemente -, um die mikroskopischen Maßstäbe von Elementarteilchen mit den makroskopischen Maßstäben astrophysikalischer Objekte zu verbinden. Dadurch bietet es Möglichkeiten für den interdisziplinären Austausch und insbesondere die gegenseitige Ergänzung von Theorie und Experiment.

Auch in der Astroteilchenphysik können valide wissenschaftliche Aussagen nur durch das Zusammenspiel von Experiment und Theorie erfolgen. Zahlreiche Publikationen im Jahr 2022 von den Kollaborationen IceCube, Auger Observatory oder H.E.S.S. bezeugen die erfolgreiche Zusammenarbeit.

* Das FAIR Phase-0-Programm soll mit den avisierten Ressourcen für Management und Umsetzung durchgeführt werden, und damit ist ein reibungsloser Übergang von alten zu neuen Einrichtungen an der GSI zu erreichen

Das internationale wissenschaftliche Interesse an dem FAIR Phase-0 Programm ist nach wie vor sehr groß. Im zwei-jährlichen Aufruf zu Projekt-Vorschlägen für Strahlzeiten in den Jahren 2023 und 2024 wurden 124 Projektskizzen von mehr als 1500 Teilnehmern an das Program Advisory Committee eingereicht. Während des FAIR Phase-0 Programms plant die GSI eine begrenzte Strahlzeit (~100 Tage/Jahr) für den Experimentierbetrieb anzubieten, wobei Tests der Beschleunigeranlage und Verifizierung der diversen Beschleunigerupgrade-Maßnahmen ebenfalls Priorität haben. Neben wissenschaftlichen Experimenten, die sich durch Exzellenz auszeichnen müssen und die ausschließlich an der GSI durchgeführt werden können, finden während dieser Strahlzeiten wichtige Tests von FAIR-Detektoren statt. Der Erstellung des Strahlzeitplans ist sehr aufwändig und findet in enger Abstimmung zwischen der Beschleunigermannschaft und den Experimentatoren statt. Eine übergeordnete Ressourcenplanung sorgt für einen Ausgleich zwischen den verschiedenen Anforderungen: Durchführung des FAIR Phase-0- Programms, Upgrade der existierenden Beschleuniger, Bau der Beschleuniger und Detektoren für FAIR und Weiterentwicklung des GSI Campus für den Bedarf bei FAIR. Jedoch haben Kostensteigerungen bei der Energie-Versorgung und für Materialien das GSI Management dazu gezwungen, Sparmaßnahmen einzuführen. Daher wird es im Jahr 2023 keine Strahlzeiten für wissenschaftliche Experiment geben, sondern nur für Verifikationen von Beschleuniger-Upgrades und Betriebs-Tests. Die Experiment-Strahlzeit 2023 wurde nach 2024 verschoben. Der nächste Nutzer-Strahlbetrieb wird Anfang 2024 beginnen. Die Verifizierung des technischen Betriebs zum Jahresende 2023 wird aber einen schnellen Start der Nutzer-Experimente sicherstellen.

4 Strategische Themen

Zur strategischen Förderung von Programm- und Forschungsbereichvernetzenden, innovativen Aktivitäten werden derzeit drei Projekte aus den Mitteln des Innovations-Pools im Programm MU gefördert: „LUXE-QED - LUXE-Quantum-computing and advanced Experimental Detectors“ - (DESY, HZDR, GSI (HI Jena)); „ADC-MAPP - Analysis and Data Centre for Multi-Messenger Astroparticle Physics“ - (KIT, DESY); „VQCS - Variational Quantum Computer Simulations for complex quantum systems and optimization problems“ - (DESY).

LUXE ist ein neues Experiment zur Untersuchung der Quantenelektrodynamik (QED) im Regime von bisher unerreichten Feldstärken (jenseits des Schwinger-Limits). Diese sollen durch die Kollision der intensiven Teilchenpakete des European XFEL mit starken Laserpulsen erreicht werden. Das Experiment wird Elektron-Photon-Streuung sowie die Bildung von Elektron-Positron-Paaren aus rei-nen Lichtstreuprozessen messen. Diese Messungen werden den Übergang zwischen linearer und nichtlinearer QED untersuchen. Der Genehmigungsprozess des LUXE-Experiments schreitet voran, CD1 wurde Ende 2022 vom DESY-Direktorium erteilt. Das erste Ziel des Innovationspool-Projekts LUXE-QED wurde erreicht: Das Design des Lasers und seiner Diagnostik wurde entscheidend weiterentwickelt und im Technical Design Report des Experiments dokumentiert, der im Genehmigungsverfahren verwendet wurde und 2023 veröffentlicht werden soll. Auch der zweite Teil des LUXE-QED-Projekts schreitet erfolgreich voran: Basierend auf dem qiskit-Framework von IBM wurde eine Quantencomputermethode entwickelt, um aus den Energiedepositionen im LUXE-Tracking-Detektor die Bahnen geladener Teilchen zu rekonstruieren. Die Funktionalität der Software wurde anhand einer Simulation der erwarteten Signale im LUXE-Tracking-Detektor im gesamten Bereich der Laserintensitäten demonstriert, die in der ersten Phase der Datenaufnahme in LUXE erwartet werden. Die Ergebnisse wurden mit modernen klassischen Ansätzen verglichen, wobei eine hervorragende Übereinstimmung festgestellt wurde [1,2].

*[1] A. Crippa et al., Track reconstruction at the LUXE experiment using quantum algorithms, arXiv: 2210.13021 [hep-ex]*

*[2] L. Funcke et al., Studying quantum algorithms for particle track reconstruction in the LUXE experiment, arXiv:  2202.06874 [hep-ex]*

Das Ziel von ADC-MAPP ist es, ein globales und nutzerorientiertes Analyse- und Datenzentrum für die Multi-Messenger Astroteilchenphysik vorzubereiten. Die Aktivitäten dienen der Digitalisierung dieses datenintensiven Forschungsfeldes und konzentrieren sich in diesem Projekt auf konkrete Aufgaben in den Bereichen Forschungsdatenmanagement, Big-Data- und Multi-Messenger-Analysen, Dienstleistungen für eine breite Nutzergemeinschaft sowie Netzwerke und Training. Im Jahr 2022 konnten wir mit Hilfe von Deep-Learning-Methoden (Sequentielle Netze) bedeutende Fortschritte bei der Beschleunigung von Luftschauer-Simulationen erzielen. Darüber hinaus werden jetzt graphische Neurale Netzwerke eingesetzt, um die Zusammensetzung der kosmischen Strahlung im PeV- bis EeV-Energiebereich aus den IceCube/IceTop-Daten zu bestimmen [1]. Die Integration von einer FAIR-langfristigen Archivierung und Zugänglichkeit von Daten, Arbeitsabläufen und Software erreichte einen wichtigen Meilenstein mit dem erfolgreichen Testen der Gemeinschaftsdatenformate und der wissenschaftlichen Software (gammapy) für die Gammastrahlenobservatorien VERITAS und H.E.S.S. [2]. Eine Verallgemeinerung des Konzepts für Astroteilchenexperimente wie HAWC oder IceCube ist in Arbeit.  Dies wird konsistente Multi-Messenger-Analysen mit gemeinsamen Algorithmen ermöglichen. Maschinenlesbare Kataloge für physikalische Ergebnisse von Gammastrahlenobservatorien werden zum ersten Mal über die Datenportale Zenodo und HEASARC veröffentlicht. Die Multi-Messenger-Plattform AMPEL wurde erweitert, um LSST-ähnliche Alarme zu verarbeiten, und nahm am ELAsTiCC-Echtzeit-Stresstest teil, der von der DESC-Kollaboration veranstaltet wurde. Parallel dazu wurde mit der Verarbeitung von IceCube-Neutrinoereignissen unterhalb der Schwelle begonnen und diese mit optischen Archiven mit kadenzierten Daten abgeglichen. Die Arbeitsgruppen in ADC-MAPP arbeiten eng mit anderen Initiativen wie NFDI (PUNCH4NFDI), ErUM-Data oder EOSC auf dem Gebiet der Digitalisierung der Astroteilchenphysik, des Forschungsdatenmanagements und der nachhaltigen Veröffentlichung wissenschaftlicher Daten zusammen.

*[1] Paras Koundal, Graph Neural Networks and Application for Cosmic-Ray Analysis; PoS DLCP2021 (2022), 004; DOI: 10.22323/1.410.0004*

*[2] A. Acharyya et al; VTSCat: The VERITAS Catalog of Gamma-Ray Observations; Res.Notes AAS 7 (2023) 1, 6; DOI: 10.3847/2515-5172/acb147*

Das Innovationspool-Projekt "Variational quantum computer simulations for complex quantum systems and optimization problems" (VQCS) hat sich im letzten Jahr sehr gut weiterentwickelt. So wurde eine Implementierung der Quantenelektrodynamik (QED), also der Wechselwirkung zwischen Elektronen und Photonen, für einen Quantencomputer erfolgreich durchgeführt und in Phys. Rev. D publiziert [1]. Außerdem wurde gezeigt, dass durch ein klassisches Teilen eines Quanten-Schaltkreises Konvergenzprobleme von gradientenbasierten Optimierungsalgorithmen, sogenannte „Barren-Plateaus“, vermieden werden können [2]. In einer anderen Arbeit wurde Quantencomputing erfolgreich angewandt, um kausale Schleifen in Feynman-Diagrammen zu identifizieren [3]. Schließlich wurde ein eingeladenes Kapitel in einem Buch über Quantenmusik veröffentlicht [4]. Die Arbeit an diesem Kapitel führte zu neuen Algorithmen und Methoden des Quantencomputing, die nun auch in physikalischen Modellen eingesetzt werden.

Eine Studentin im VQCS-Projekt, A. Crippa, wurde als Praktikandin im IBMQ Zürich Lab akzeptiert und arbeitet dort momentan für sechs Monate. Dies hat eine einzigartige Verbindung und Kooperation zu dem Quantenteam und dessen Aktivitäten bei IBM geführt, von dem insbesondere das VQCS-Projekt erheblich profitiert. Es sollte auch nicht unerwähnt bleiben, dass es einen großen Überlapp des Projekts mit dem LUXE-Innovationspool-Projekt gibt ([5], siehe unten), von dem beide Projekte sehr stark profitiert haben.

*[1]* [*Giuseppe Clemente*](https://arxiv.org/search/hep-lat?searchtype=author&query=Clemente,+G)*,*[*Arianna Crippa*](https://arxiv.org/search/hep-lat?searchtype=author&query=Crippa%252C+A)*,*[*Karl Jansen*](https://arxiv.org/search/hep-lat?searchtype=author&query=Jansen%252C+K)*, Strategies for the Determination of the Running Coupling of (2+1)-dimensional QED with Quantum Computing, Phys.Rev.D 106 (2022) 11, 114511*

*[2]* [*Cenk Tüysüz*](https://arxiv.org/search/quant-ph?searchtype=author&query=T%25C3%25BCys%25C3%25BCz,+C)*,*[*Giuseppe Clemente*](https://arxiv.org/search/quant-ph?searchtype=author&query=Clemente%252C+G)*,*[*Arianna Crippa*](https://arxiv.org/search/quant-ph?searchtype=author&query=Crippa%252C+A)*,*[*Tobias Hartung*](https://arxiv.org/search/quant-ph?searchtype=author&query=Hartung%252C+T)*,*[*Stefan Kühn*](https://arxiv.org/search/quant-ph?searchtype=author&query=K%25C3%25BChn%252C+S)*,*[*Karl Jansen*](https://arxiv.org/search/quant-ph?searchtype=author&query=Jansen%252C+K)*, Classical Splitting of Parametrized Quantum Circuits, arxiv:2206.12454*

*[3]* [*Giuseppe Clemente*](https://arxiv.org/search/hep-ph?searchtype=author&query=Clemente,+G)*,*[*Arianna Crippa*](https://arxiv.org/search/hep-ph?searchtype=author&query=Crippa%252C+A)*,*[*Karl Jansen*](https://arxiv.org/search/hep-ph?searchtype=author&query=Jansen%252C+K)*,*[*Selomit Ramírez-Uribe*](https://arxiv.org/search/hep-ph?searchtype=author&query=Ram%25C3%25ADrez-Uribe%252C+S)*,*[*Andrés E. Rentería-Olivo*](https://arxiv.org/search/hep-ph?searchtype=author&query=Renter%25C3%25ADa-Olivo%252C+A+E)*,*[*Germán Rodrigo*](https://arxiv.org/search/hep-ph?searchtype=author&query=Rodrigo%252C+G)*,*[*German F. R. Sborlini*](https://arxiv.org/search/hep-ph?searchtype=author&query=Sborlini%252C+G+F+R)*,*[*Luiz Vale Silva*](https://arxiv.org/search/hep-ph?searchtype=author&query=Silva%252C+L+V)*, Variational quantum eigensolver for causal loop Feynman diagrams and acyclic directed graphs, arxiv:2210.13240*

*[4]* [*Giuseppe Clemente*](https://arxiv.org/search/quant-ph?searchtype=author&query=Clemente,+G)*,*[*Arianna Crippa*](https://arxiv.org/search/quant-ph?searchtype=author&query=Crippa%252C+A)*,*[*Karl Jansen*](https://arxiv.org/search/quant-ph?searchtype=author&query=Jansen%252C+K)*,*[*Cenk Tüysüz*](https://arxiv.org/search/quant-ph?searchtype=author&query=T%25C3%25BCys%25C3%25BCz%252C+C)*, New Directions in Quantum Music: concepts for a quantum keyboard and the sound of the Ising model, to appear in the book "Quantum Computer Music" (Springer, 2022), Edited by Miranda, E. R*

*[5]* [*Arianna Crippa*](https://arxiv.org/search/hep-ex?searchtype=author&query=Crippa,+A)*,*[*Lena Funcke*](https://arxiv.org/search/hep-ex?searchtype=author&query=Funcke%252C+L)*,*[*Tobias Hartung*](https://arxiv.org/search/hep-ex?searchtype=author&query=Hartung%252C+T)*,*[*Beate Heinemann*](https://arxiv.org/search/hep-ex?searchtype=author&query=Heinemann%252C+B)*,*[*Karl Jansen*](https://arxiv.org/search/hep-ex?searchtype=author&query=Jansen%252C+K)*,*[*Annabel Kropf*](https://arxiv.org/search/hep-ex?searchtype=author&query=Kropf%252C+A)*,*[*Stefan Kühn*](https://arxiv.org/search/hep-ex?searchtype=author&query=K%25C3%25BChn%252C+S)*,*[*Federico Meloni*](https://arxiv.org/search/hep-ex?searchtype=author&query=Meloni%252C+F)*,*[*David Spataro*](https://arxiv.org/search/hep-ex?searchtype=author&query=Spataro%252C+D)*,*[*Cenk Tüysüz*](https://arxiv.org/search/hep-ex?searchtype=author&query=T%25C3%25BCys%25C3%25BCz%252C+C)*,*[*Yee Chinn Yap*](https://arxiv.org/search/hep-ex?searchtype=author&query=Yap%252C+Y+C)*, Track reconstruction at the LUXE experiment using quantum algorithms, arxiv:2210.13021*

4.1 Talentmanagement

Die DESY-Theoretikerin Elli Pomoni hat einen ERC Consolidator Grant gewonnen. Ihr Projekt trägt den Titel "Exact results from broken symmetries". Außerdem wurde Elli Pomoni mit einer Helmholtz-W2-Professur ausgezeichnet, die zwischen DESY und der Universität Hamburg organisiert ist. Die Professur ist mit einer jährlichen Förderung von 300.000 Euro verbunden.

Thibaud Humair (derzeit am Max-Planck-Institut für Physik, München) erhielt eine Helmholtz-Nachwuchsgruppe für sein Projekt "Time for Antimatter" mit dem Belle II-Experiment, das im Jahr 2024 beginnen wird. Das Projekt wird mit 750.000 Euro gefördert.

„Data Science in Hamburg - Helmholtz-Graduiertenschule für die Struktur der Materie“ (DASHH, www.dashh.org) fördert innovative Verbundprojekte an der Schnittstelle von Naturwissenschaften und angewandter Mathematik oder Informatik. Dazu gehört ein einzigartiges Format der Vernetzung zwischen den Forschern der neun DASHH-Partnerinstitutionen. Neun der 35 Doktoranden beschäftigen sich mit der Entwicklung neuer Algorithmen für die Teilchenphysik. Mehrere Projekte tragen zu den ATLAS- und CMS-Kollaborationen bei und wurden auf verschiedenen nationalen und internationalen Konferenzen vorgestellt. Die DASHH fördert sowohl die Ausbildung in den Datenwissenschaften als auch die interdisziplinäre Vernetzung. Im Jahr 2022 organisierte die Schule 29 Netzwerkveranstaltungen, 21 Vorträge und sechs Kurse. Einer der Höhepunkte ist das gemeinsame Data Science Colloquium, das allen Partnern und Helmholtz-Zentren offensteht und an dem durchschnittlich 130 Personen teilnehmen.

HGS-HIRe, die Graduiertenschule von GSI/FAIR, hatte im Jahr 2022 insgesamt 345 Studierende aus allen vier Forschungssäulen von FAIR, von denen 232 Doktoranden an Forschungsprojekten zum Thema "Kosmische Materie im Labor" arbeiten. Insgesamt wurden 30 Dissertationen erfolgreich abgeschlossen.

Dr. Livia Ludhova, IKP Jülich, wurde auf eine W2-Professur zum Thema "Low-Energy Neutrino Phys-ics (Solar and Geo-Neutrinos)" an der Universität Mainz berufen.

Dr. Thorsten Kollegger (Leiter der GSI-IT-Abteilung) hat einen Ruf auf eine W3-Professur an die Goethe-Universität Frankfurt, Fachbereich Informatik und Mathematik, erhalten.

Prof. Dr. Hannah Elfner wurde als Senior Fellow an das Frankfurt Institute for Advanced Studies (FIAS) berufen, und befasst sich mit theoretischer Forschung zu verschiedenen Themen. Sie ist damit in die höchste Kategorie am FIAS aufgestiegen - vergleichbar mit einer W3-Professur an einer Universität.

Dr. Kai Schweda, GSI, ist zum stellvertretenden Sprecher der ALICE Collaboration ernannt und bestätigt worden. Seine dreijährige Amtszeit wird im Januar 2023 beginnen.

Prof. Dr. Tetyana Galatyuk ist die Vorsitzenden des Komitees für Hadronen- und Kernphysik (KHuK) in Deutschland. Sie wurde von der Gemeinschaft in den DFG-Fachausschuss 309-01 Kern- und Elementarteilchenphysik, Quantenmechanik, Relativitätstheorie, Felder gewählt. Sie wurde zur stellvertretenden Sprecherin der CBM-Kollaboration ernannt und bestätigt.

Im Jahr 2022 haben rund 50 Doktorandinnen und Doktoranden der KIT-Graduiertenschule KSETA - "Karlsruhe School of Elementary Particle and Astroparticle Physics: Science and Technology" ihre Doktorarbeit zu Themen des Programms MU bearbeitet. Die Schule bot rund 20 Lehrveranstaltungen unter dem interdisziplinären Motto DEEPER - BROADER - BETTER an, das auf die wissenschaftliche Spezialisierung ausgerichtet ist und die breitere fachliche Ausbildung und Schlüsselkompetenzen anspricht. Besondere Höhepunkte im Jahr 2022 waren der große Plenarworkshop und die „Wess-Lecture", die der Julius-Wess-Preisträger des Jahres 2021, Prof. Mark Wise vom Caltech, USA, hielt.

Die KSETA-Schule ist mit der „Helmholtz International Research School for Astroparticle Physics and Enabling Technologies“ (HIRSAP) verflochten, die zwei spezielle Doppelpromotionsstudiengänge zwischen dem KIT und der UNSAM in Buenos Aires, Argentinien, anbietet: den Doppelpromotionsstudiengang in Astrophysik (DDAp) und den Doppelpromotionsstudiengang in Elektrotechnik und Informationstechnik (DDEIT). Im Jahr 2022 arbeiteten 21 Doktoranden der HIRSAP an Themen der beiden Forschungsprogramme MU und MT. Nach der COVID19-Pandemie konnten die Langzeitaufenthalte von jeweils mindestens 6 Monaten, bei denen die Doktoranden beim Partner-Gastgeber arbeiten, wiederbelebt werden und 13 dieser Austausche fanden statt.

Auch das internationale Austauschprogramm der Helmholtz-Allianz für Astroteilchenphysik (HAP) konnte zwei iPROGRESS - Internship Program for Young Research Scientists - Forschungsaufenthalte für Doktorandinnen und Doktoranden der MU zur Zusammenarbeit mit Partnern in den USA und in Spanien fördern.

Im Jahr 2022 forschten rund 35 Studierende im Rahmen der International Helmholtz-Weizmann Research School on Multimessenger Astronomy. Die Schule bot einen persönlichen Austausch mit ihren Partnermitgliedern vom Weizmann Institute of Science (Rehovot, Israel) über das jährliche Schultreffen und einen Workshop über maschinelles Lernen für LSST-Daten und Daten der Zwicky Transient Facility. Außerdem hat die Schule die Zwischenevaluation im Rahmen des Helmholtz-Impuls- und Vernetzungsfonds erfolgreich bestanden.

Prof. Dr. Kathrin Valerius (KIT) ist zur stellvertretenden Vorsitzenden des Komitees für Astroteilchenphysik (KAT) in Deutschland gewählt worden. Sie repräsentiert den Wahlbereich Neutrino-Eigenschaften in KAT. Weitere gewählte Mitglieder von MU sind Dr. Markus Roth (KIT) für den Bereich Kosmische Strahlung, Dr. Walter Winter (DESY) für den Bereich Theorie, und als Vertreter Prof. Dr. Marek Kowalski (DESY) für den Bereich Hoch-Energie Neutrino-Astrophysik und Dr. David Berge (DESY) für den Bereich Gammastrahlungs-Astronomie.

Im November 2022 hat die DPG die 2023 Preisträger für DPG-Preise verkündet. Dr. Belina von Krosigk (KIT) wird mit dem Hertha-Sponer Preis „Für ihre fundamentalen Beiträge zur direkten Suche und zum Verständnis von Dunkler Materie durch die Weiterentwicklung von Modellen sowie der methodischen und analytischen Techniken zur Detektion kleinster Signale“ ausgezeichnet.

Im Oktober 2022 wurde die exzellente Dissertation der HIRSAP/DDAp Alumna Ana Laura Müller (KIT und UNSAM, jetzt am “Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences” (CAS) in Prague) von Springer als Teil der Buchserie „Springer Theses“ veröffentlicht. Die Dissertation wurde zudem mit dem Carlos M. Varsavsky Award der “Argentine Astronomical Society” (Asociación Argentina de Astronomía) ausgezeichnet, zusammen mit der Varsavsky Foundation, welche die besten Argentinischen Doktorarbeiten in Astronomie und Astrophysik der letzten zwei Jahre kürt.

4.2 Vernetzung

Das Zentrum für Anwendungen der Quantentechnologie (CQTA) bei DESY in Zeuthen wurde bereits im Jahr 2021 mit knapp 13 Millionen Euro durch das Land Brandenburg gefördert. Jetzt wurden weitere zwei Millionen Euro für den Bau eines CQTA-Gebäudes bewilligt. Das Zentrum soll als Entwicklungszentrum für Forschung und Industrie für Anwendungen komplexer Quantensysteme dienen und an Optimierungsalgorithmen für Quantencomputer arbeiten. Eine führende Rolle in dieser Schlüsseltechnologie wird angestrebt, die auch der regionalen Entwicklung dient. Das Projekt "Noise in Quantum Algorithms", das vom BMBF mit rund 500.000 Euro gefördert wird, ergänzt das CQTA. Das Projekt zielt auf einen Paradigmenwechsel, indem es untersucht, inwieweit Rauschen reduziert werden kann, aber auch, indem es auf die Entwicklung von Algorithmen abzielt, die tatsächlich vom Rauschen profitieren.

Die Helmholtz-Allianz "Physik an der Teraskala" - ein Zusammenschluss aller deutschen Universitäten und Forschungszentren, die auf dem Gebiet der Elementarteilchenphysik arbeiten - hat 2022 zahlreiche Aus- und Weiterbildungsveranstaltungen durchgeführt, darunter den 14. Teraskalen-Detektor-Workshop und ein Jahrestreffen im November 2022. Terascale Detector Workshop und die Jahrestagung im November 2022. Die Veranstaltungen wurden als Hybrid- oder reine Online-Veranstaltungen organisiert (siehe www.terascale.de).

Im ersten vollen Jahr seines Bestehens hat das PUNCH4NFDI-Konsortium (www.punch4nfdi.de) in der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur NFDI seine Arbeit aufgenommen und alle Aufgabenbereiche erfüllt. Insbesondere die Definition der angestrebten Wissenschaftsdatenplattform SDP und Ideen zur Definition von "digitalen Forschungsprodukten" schreiten voran. Das Jahr 2022 war durch eine Reihe von Entwicklungen gekennzeichnet, die sich auch auf den Arbeitsplan des Konsortiums auswirken werden, das die Datenmanagement-Bemühungen in den Bereichen Teilchenphysik, Astroteilchenphysik, Astrophysik sowie Hadronen- und Kernphysik bündelt. Um drei Beispiele zu nennen: Erstens wird sich die verstärkte Aktivität in den NFDI-Sektionen auf die Art und Weise auswirken, wie die verschiedenen NFDI-Konsortien zusammenarbeiten und gemeinsame Lösungen für die Herausforderungen des Datenmanagements entwickeln. Insbesondere eine Reihe von Diskussionen, die PUNCH4NFDI mit anderen Konsortien aus verschiedenen Disziplinen geführt hat, wurde in die Sektionen verlagert. Zweitens hat die Bildung von Konsortien in der dritten DFG-Ausschreibung die Basis für die Zusammenarbeit im gesamten Wissenschaftssystem gestärkt. Drittens wirft der erfolgreiche Antrag der Base4NFDI-Initiative ein neues Licht auf eine Reihe von Aktivitäten, die PUNCH4NFDI vorantreibt.

Base4NFDI ist eine von allen 19 NFDI-Konsortien der ersten beiden DFG-Ausschreibungen getragene Initiative, die darauf abzielt, dem gesamten deutschen Wissenschaftssystem "Basisdienste" im Datenmanagement zur Verfügung zu stellen. Wichtige Beispiele sind ein einheitliches Identifikations- und Zugriffsmanagement (IAM), ein Terminologiedienst oder Langzeitarchivierungslösungen. Die Initiative ist 2022 mit erheblichen Mitteln ausgestattet worden und wird im März 2023 offiziell ihre Arbeit aufnehmen. DESY beteiligt sich an Base4NFDI in der Rolle einer mitantragstellenden Institution und KIT-Experten wurden für das Base4NFDI TEC (Technical Expert Committee) nominiert.

Der Beitrag von DESY zum Exzellenzcluster "The Quantum Universe" (QU) stärkt die interdisziplinäre wissenschaftliche Forschung auf höchstem Niveau, bringt neue Impulse für das Forschungsportfolio, ergänzt die Kompetenzen von DESY und trägt zur Weiterentwicklung der einzigartigen Forschungsinfrastruktur von DESY bei. Darüber hinaus trägt QU zur zukünftigen Entwicklung des Forschungsbereichs Materie und insbesondere des MU-Programms bei und erweitert die internationale Zusammenarbeit von DESY. Im Juli 2022 wurde der Staffelstab der QU-Sprecherin an Prof. Erika Garutti (Universität Hamburg) übergeben. Für das Jahr 2022 können zwei hochkarätige Berufungen vermeldet werden: Prof. Stephan Rosswog hat im August 2022 einen Ruf auf eine W3-Professur an die Hamburger Sternwarte erhalten, und Prof. Kostas Nikolopoulos hat einen Ruf auf eine Professur für Experimentalphysik erhalten und wird im Februar 2023 beginnen. Ein weiteres Highlight ist die Ausstellung "Wie alles begann" im Hamburger "Museum für Arbeit", die von Oktober 2022 bis April 2023 läuft und maßgeblich von QU kuratiert wurde. Mit den "Quantum Universe Days" wurde ein neues Austauschformat geschaffen: Viermal im Jahr treffen sich alle QU-Forscherinnen und -Forscher zu einem Tag des Austauschs über die Grenzen der Forschungsgebiete hinweg. Derzeit laufen die Diskussionen über die Zukunft des Clusters nach dem Ende der ersten Förderperiode im Jahr 2027 an.

Ein Antrag im Rahmen von TransFAIR zur Förderung der FAIR-Forschung, das Netzwerk NRW-FAIR, wurde von der nordrhein-westfälischen Landesregierung zur Förderung bewilligt. Das Netzwerk wird in den nächsten vier Jahren mit 16,5 Millionen Euro gefördert. Mit diesen Mitteln sollen experimentelle und theoretische Aktivitäten zu CBM und PANDA an den Universitäten Bochum, Bonn, Münster und Wuppertal sowie dem Forschungszentrum Jülich mit der GSI als assoziiertem Partner unterstützt und koordiniert werden. Das Netzwerk der NRW-Hochschulen gestaltet die Arbeiten an der "Facility for Antiproton and Ion Research" (FAIR) in Darmstadt maßgeblich mit. In einem nächsten Schritt ist zu erwarten, dass sich in naher Zukunft weitere Universitäten in NRW (z.B. Köln und Bielefeld) anschließen und das wissenschaftliche Spektrum erweitert wird.

Die GSI beteiligt sich an dem EU-Projekt EURO-LABS (EUROpean Laboratories for Accelerator Based Science), das im Rahmen des Programms HORIZON Research Infrastructures gefördert wird und von 24 Institutionen und 8 assoziierten Partnern getragen wird. Es zielt darauf ab, einen einheitlichen transnationalen Zugang zu führenden Forschungsinfrastrukturen in ganz Europa zu schaffen und bringt die Nuklearphysik-, Hochenergiebeschleuniger- und Hochenergiedetektor-F&E-Gemeinschaften zusammen, um Forschung an den Grenzen der Beschleuniger- und Detektorentwicklung zu ermöglichen.

Im Juni 2022 startete das Verbundprojekt "NUTRIG - novel techniques for pure, efficient and scalable autonomous radio detection of high energy neutrinos and cosmic rays". Es ist ein "projets de recherche collaborative international" zwischen dem KIT, dem *Laboratoire physique nucléaire et hautes énergies* LPNHE und dem *Institut d'astrophysique de Paris* IAP in Frankreich, das gemeinsam von der ANR, *Agence Nationale de la Recherche*, Frankreich, und der DFG, Deutschland, für drei Jahre mit rund 660 kEUR gefördert wird.

Auf dem Gebiet der Messung hochenergetischer kosmischer Strahlung besteht eine enge Zusammenarbeit des KIT mit indischen Gruppen. Diese ergab sich aus der Verbindung des KASCADE-Grande-Experiments mit dem indischen Experiment GRAPES. Auch im Jahr 2022 konnten drei indische Studenten (2 Master, 1 PhD) jeweils ein zweimonatiges Praktikum absolvieren und in den lokalen Forschungsgruppen von IceCube und Pierre Auger am KIT arbeiten. Die Finanzierung erfolgte über die KSETA-Graduiertenschule und das KCETA-Zentrum.

Im Jahr 2022 hat die theoretische Astroteilchengruppe am IAP mehrere internationale Besucher für mehrmonatige Aufenthalte aufgenommen. Dazu gehörte Federica Pompa, Doktorandin am IFIC Valencia, Spanien, die im Rahmen des HIDDeN-Netzwerks an der Phänomenologie des neutrinolosen doppelten Betazerfalls arbeitete; der Besuch von Jorge Terol-Calvo, Doktorand an der Univ. de la Laguna, Teneriffa, Spanien, der zu der gemeinsamen Veröffentlichung M. Escudero, T. Schwetz und J. Terol-Calvo, "A seesaw model for large neutrino masses in concordance with cosmology", [arXiv:2211.01729 [hep-ph]], die zur Veröffentlichung in JHEP angenommen wurde; sowie Dr. Manuela Saez von der Univ. la Plata, Argentinien, mit der wir an einem gemeinsamen Projekt mit Dr. Belina von Krosigk von der experimentellen Gruppe am IAP über astrophysikalische Neutrinomessungen gearbeitet haben. Darüber hinaus haben wir Dr. Jing-yu Zhu im Rahmen des deutsch-chinesischen OCPC-Helmholtz-Stipendiums beherbergt, was ebenfalls zu einer gemeinsamen Veröffentlichung führte: M. Ovchynnikov, T. Schwetz und J. Y. Zhu, "Dipole portal and neutrinophilic scalars at DUNE revisited: the importance of the high-energy neutrino tail", [arXiv:2210.13141 [hep-ph]], akzeptiert zur Veröffentlichung in PRD.

4.3 Transfer in Wirtschaft und Gesellschaft

Mit den Aktivitäten im Wissenstransfer verfolgt der Forschungsbereich Materie das Ziel, gesellschaftlich relevante wissenschaftliche Themen und Erkenntnisse über nicht monetäre Kanäle verfügbar zu machen und in die Anwendung zu bringen. Damit werden gesellschaftliche Stakeholder in die Lage versetzt, robuste und evidenzbasierte Entscheidungen zu treffen, sich an wissenschaftlichen Dialogen zu beteiligen oder selbst eine wissenschaftliche Laufbahn anzustreben. Darüber hinaus verfolgt der Forschungsbereich Materie auch Wissenstransfer als Bereicherung für die Gesellschaft zur Befriedigung der Neugier auf Grundlagenerkenntnisse – das Interesse an dem „was die Welt zusammenhält“.

Der Forschungsbereich Materie stellt seine Forschungsergebnisse und Forschungsdaten mit dazugehörigen Analysetools in signifikantem Umfang öffentlich zur Verfügung. Klassische Forschungspublikationen werden in entsprechenden Fachjournalen veröffentlicht, nach Möglichkeit aber auch als „open access“-Veröffentlichungen angeboten. Die Bibliotheken der im Forschungsbereich Materie beteiligten Helmholtz-Zentren bieten hierzu weitreichende Angebote, die allen Wissenschaftlern, Mitarbeitern der Forschungszentren und der Öffentlichkeit zur Verfügung stehen. Neben der „open access“ Verfügbarkeit von Publikationen werden aber auch Forschungsdaten, Medien und Software angeboten, wobei das Programm MU, charakterisiert durch seine besondere Vielfalt an internationalen Kollaborationen, hierbei sehr aktiv ist. Beispielhaft seien hier das CERN open data portal (https://opendata.cern.ch/), das KCDC cosmic ray data centre (https://kcdc.iap.kit.edu/), Cosmic@Web (http://cosmicatweb.desy.de/ctplot/) und die Auger Open Data (https://opendata.auger.org/) [1] genannt. Diese Datenportale bieten Datenreihen zum Download und für online-Analysen. Sogenannte Ereignisse von ausgedehnten Luftschauern oder Teilchenkollisionen können in Event-Displays angezeigt werden und mit Hilfe von bereitgestellter Analyse-Software selbst analysiert werden. Informative Tutorials bieten Einstiege in die wissenschaftliche Arbeit. Das hohe Maß an oft internationalen, Kooperationen im Forschungsbereich Materie, insbesondere im Programm MU und der LK-II Infrastruktur GridKa, hat neben dem offenen Austausch von reinen Forschungsdaten auch dazu geführt, dass umfängliche Software-Entwicklungen gemeinschaftlich und öffentlich durchgeführt werden. Hierzu zählen umfangreiche Simulations-Software von physikalischen Prozessen und experimentellen Anlagen (z.B. CORSIKA 8 - https://www.iap.kit.edu/corsika/88.php), Datennahme-Software (z.B. ORCA - http://orca.physics.unc.edu/orca/Orca\_Help/Home.html) sowie übergeordnete Tools zur Ermöglichung von Analysen und Datentransfers zwischen hochvernetzten Computing-Infrastrukturen (z.B. TARDIS Resourcemanager - https://github.com/MatterMiners/tardis/ und COBalD Opportunistic Balancing Daemon - <https://github.com/MatterMiners/cobald>) [2]. Diese Open Source Software wird üblicherweise auf Plattformen wie github.com oder pypi.org veröffentlicht. Die gemeinschaftlichen Software-Entwicklungen stellen einen direkten Wissenstransfer in andere wissenschaftliche Communities dar und können darüber hinaus auch Anwendungen in Industrie und Wirtschaft finden.

*[1] DOI 10.5281/zenodo.6867688, Pierre Auger Observatory Open Data, Version 2.0, Dec. 22, 2022*

*[2] DOI 10.5281/zenodo.7032186, MatterMiners/cobald: v0.13.0, Aug. 29, 2022*

Das GSI/FAIR Digital Open Lab wurde im Green IT Cube etabliert. Dieses " Real Lab" steht Industrie- und Forschungspartnern zur Verfügung und umfasst die Bereitstellung der Infrastruktur und IT-Kompetenzen von GSI und FAIR für gemeinsame Entwicklungen rund um die Themen HPC, Big Data und ultraschnelle Datenerfassung, inklusive Softwareentwicklungen und Produkte. Der Zugang zu HPC-Systemen und -Projekten für externe Partner über Kooperationsprojekte ist ebenso möglich wie das Angebot von Dienstleistungen im Rechenzentrum, etwa die Bereitstellung von Rackspace. Das KI-Innovationslabor wird derzeit am Hessischen Zentrum für Künstliche Intelligenz (HKI) eingerichtet. KI wird im Green IT Cube mit seiner KI-Recheninfrastruktur angesiedelt sein.

Mit einem besonderen Sommer-Ereignis konnte das KIT-Zentrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA mit der Wanderausstellung „Code of the Universe“ vom CERN, einer mehrwöchigen Serie *Afternoon Science* und zahlreichen Vorträgen im Rahmen der EFFEKTE zu „Antimaterie, Dunkle Materie, neue Materie?“ seine wissenschaftlichen und technologischen Erkenntnisse einer breiten Öffentlichkeit im Herzen der Fußgängerzone von Karlsruhe näher bringen. Die Wissenschafts-Nachmittage widmeten sich allen Themen der Programme MU und MT, sowie der Daten- und Computing-Infrastruktur GridKa. An drei Nachmittagen wurde zusätzlich Master-Classes für alle interessierten Schüler ab Klasse 10 zu IceCube, CMS und Belle-II angeboten.

4.4 Drittmitteleinwerbung

Die Projekte PUNCH4NFDI und Base4NFDI wurden bereits oben erwähnt. Beide sind mit insgesamt sehr signifikanten Mitteln ausgestattet. Bei PUNCH4NFDI ist DESY Koordinator und antragstellende Institution, KIT, GSI und FZJ sind Mitantragsteller. Bei Base4NFDI tritt DESY als Mitantragsteller auf.

Der SFB Transregio 257 "Particle Physics Phenomenology after the Higgs Discovery" zwischen dem KIT, der RWTH Aachen und den Universitäten Siegen und Heidelberg ist mit einem Fördervolumen von 13 Millionen Euro in die zweite Förderperiode gegangen.

Das Projekt "International research collaboration in a search for physics beyond the Standard Model" unterstützt die binationale Forschungskooperation mit dem französischen Partnerinstitut IP2I Lyon im Rahmen der Suche nach neuer Physik in Endzuständen mit b-Quarks in den Jahren 2022-23. Es wird im Rahmen des vom DAAD kofinanzierten Programms für projektbezogenen Personenaustausch Frankreich (PROCOPE) gefördert und ist Anfang 2022 sehr gut angelaufen. Im Rahmen dieses Programms wurden mehrere Besuche von insgesamt vier Forschern von DESY finanziert, darunter ein Treffen mit dem IP2I-Direktor und ein Kolloquiumsvortrag in Lyon. Ebenso fanden mehrere Besuche unserer IP2I-Kollegen bei DESY statt. Dies führte zu einer deutlich intensiveren Zusammenarbeit zwischen den Gruppen und zu einem beträchtlichen Gewinn an internationaler Forschungserfahrung, insbesondere für die Nachwuchswissenschaftler der Gruppe. Diese erfolgreiche Aktivität wird auch im Jahr 2023 fortgesetzt.

Wie bereits berichtet, erhielt die DESY-Theoretikerin Elli Pomoni einen ERC Consolidator Grant sowie eine Helmholtz-Professur an der Universität Hamburg.

EAJADE ("Europe-America-Japan Accelerator Development and Exchange") ist eine Horizon-Europe Marie Sklodowska-Curie Personalaustauschmaßnahme, die die EU im Jahr 2022 mit rund 1,3 Millionen Euro unterstützen wird. Über einen Zeitraum von vier Jahren werden DESY als Koordinator und seine zahlreichen EU-Partner (u.a. CERN, CNRS, CEA und INFN) damit Forscher an Forschungseinrichtungen in Japan, den USA und Kanada entsenden, um dort Forschung im Bereich der Beschleunigerentwicklung zu betreiben. Der Schwerpunkt des Programms liegt auf der Forschung und Entwicklung für die Komponenten einer zukünftigen "Higgs-Fabrik", aber auch Aspekte wie spezielle Technologien, Magnetentwicklung und Nachhaltigkeit des Beschleunigers sind von großer Bedeutung. EAJADE ist Nachfolger und Erweiterung des Vorläuferprogramms E-JADE, das von 2014-2018 lief und Entsendungen ausschließlich nach Japan ermöglichte.

Das Projekt EURO-LABS bringt zum ersten Mal die drei Forschungsgemeinschaften Kernphysik, Beschleuniger- und Detektortechnologien für die Hochenergiephysik zusammen. EURO-LABS ist ein Netzwerk von 33 Forschungs- und Hochschuleinrichtungen aus 18 Ländern (25 Begünstigte und 8 assoziierte Partner) aus europäischen und Nicht-EU-Ländern, das 47 Forschungsinfrastrukturen in den Säulen Kernphysik, Beschleuniger und Detektoren umfasst. EURO-LABS wird von Horizon EU mit einem Gesamtbudget von 14,5 Millionen finanziert. Es begann im September 2022 und läuft bis August 2026. Es bietet einen effizienten transnationalen Zugang zu den verfügbaren Ressourcen und organisiert die Ausbildung der neuen Generation von Forschern und jungen technischen Mitarbeitern. Die DESY II-Teststrahlanlage ist eine der Kernanlagen der Detektorsäule, und der transnationale Zugang wird es vielen weiteren Nutzern ermöglichen, diese einzigartige Infrastruktur zu nutzen.

interTwin ("An interdisciplinary digital twin engine for science") ist eine Horizon-RIA-Aktion, die im September 2022 gestartet wurde und eine Laufzeit von 36 Monaten hat, mit einer EU-Finanzierung von etwa 11,7 Millionen Euro (etwa 320.000 Euro für DESY). interTwin entwickelt und implementiert den Prototyp einer interdisziplinären digitalen Zwillingsmaschine (Digital Twin Engine, DTE), einer Open-Source-Plattform, die generische und maßgeschneiderte Softwarekomponenten für die Modellierung und Simulation bereitstellt, um anwendungsspezifische digitale Zwillinge (Digital Twins, DT) zu integrieren. Das Ziel ist es, einen gemeinsamen Ansatz für die Implementierung von DTs zu entwickeln, der über das gesamte Spektrum wissenschaftlicher Disziplinen und darüber hinaus anwendbar ist, um Entwicklungen und Zusammenarbeit zu erleichtern.

Ziel des EU-Projekts Cosmic Wisper, das im Oktober 2022 gestartet wurde und eine Laufzeit von vier Jahren hat, ist es, die WISP-Suche an der Grenze zwischen Teilchenphysik, Astrophysik und Kosmologie zu koordinieren und synergetisch zu unterstützen. Es wird eine Plattform bieten, um von den neuesten Daten aus Labor- und astrophysikalischen Experimenten zu profitieren. Es wird auch eine Orientierungshilfe für experimentelle Bemühungen und theoretische Untersuchungen bieten, die sich mit grundlegenden Fragen wie dem Problem der starken CP und der Natur der dunklen Materie befassen. Das Projekt wird mit insgesamt 129.000 Euro pro Jahr gefördert.

In der zweiten Projektausschreibung der Helmholtz Metadata Collaboration (HMC) war der Antrag "PATOF - From the Past To the Future: Legacy Data in Small and Medium-Scale "PUNCH" Experiments - a Blueprint for PUNCH and Other Disciplines" erfolgreich und wird ab April 2023 mit 400.000 Euro für DESY und das Helmholtz-Institut Mainz gefördert. Das Projekt wird die Möglichkeiten der nachhaltigen Nutzung von Forschungsdaten von kleinen bis mittleren Experimenten in der Teilchen- sowie Hadron- und Kernphysik nach den FAIR Prinzipien untersuchen. Mit vereinten Kräften wird das Projekt auch mit dem PUNCH4NFDI Konsortium zusammenarbeiten.

Im Rahmen der Helmholtz-Initiative "Researchers at Risk" haben sechs Forscherinnen und Forscher in den MU-Aktivitäten des Bereichs Teilchenphysik bei DESY zumindest vorübergehend Zuflucht und eine wissenschaftliche Perspektive gefunden: Vier Wissenschaftler aus der Ukraine und je einer aus Weißrussland und Russland haben die Möglichkeit, ihre Forschungsarbeiten oder Doktorarbeiten für die Dauer von sechs Monaten bei DESY fortzusetzen.

Prof. Dr. Gabriel Martínez-Pinedo, Leiter der GSI-Theorieabteilung "Nuclear Structure & Astrophysics", erhielt den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis 2022 für seine herausragenden Arbeiten in der theoretischen Astrophysik zur Entstehung der schweren Elemente. Der Leibniz-Preis der DFG ist der wichtigste deutsche Forschungspreis und ist mit 2,5 Mio. Euro dotiert.

Die EU hat 11,3 Mio. Euro für das Forschungsprojekt HEAVYMETAL bewilligt, das die Synthese chemischer Elemente in Neutronensternverschmelzungen untersuchen soll. Dr. Andreas Bauswein, Forscher in der GSI-Theorieabteilung "Nuclear Structure & Astrophysics", ist Teil des vierköpfigen internationalen Teams, das die Förderung im Rahmen eines ERC Synergy Grant erhält.

Zusätzliche Mittel für die Erweiterung der Infrastruktur (Kühlung und Racks) des Green IT Cube wurden bewilligt. Die Mittel in Höhe von 5,5 Mio. € stammen aus dem REACT-EU-Programm, das vom Land Hessen verwaltet wird. Die Arbeiten zur Umsetzung begannen im ersten Quartal 2022 und werden größtenteils im Dezember 2022 abgeschlossen sein. Die Kapazität des Green-IT-Würfels für das Hosting von Rechnern und/oder Festplatten wird durch diese Maßnahme verdoppelt.

Prof. Dr. Thomas Schwetz-Mangold (KIT) wurde ein 3-jähriges DFG-Projekt zur "Modellunabhängigen Untersuchung der Zeitumkehr Symmetrie in Neutrinooszillationen" bewilligt.

5 Erfolgskennzahlen und Programmressourcen

5.1 Quantitative Indikatoren



Beispiel

Kommentierungen zu den dargestellten Erfolgsindikatoren:

*Bitte ergänzen Sie hier Ihre Erklärungen und Kommentierungen von Entwicklungen und Veränderungen in der Anzahl der ISI oder SCOPUS zitierten Publikationen, Drittmittelerträge, abgeschlossenen Dissertationen sowie der Kapazität der grund- und drittmittelfinanzierten Wissenschaftler/innen:*

Publikationen:

Drittmittelerträge:

Abgeschlossene Promotionen:

Grundfinanzierte Wissenschaftler/innen:

Drittmittelfinanzierte Wissenschaftler/innen:

5.2 Kostenentwicklung

Kommentierung der Abweichungen:

Beispiel

*Bitte kommentieren Sie Abweichungen der Ist-Kosten von den Senatsempfehlungen. Abweichungen > 20 % bedürfen eines Beschlusses des Senates und eine Kommentierung ist zwingend erforderlich.*

Forschungszentrum X

Forschungszentrum Y

Forschungszentrum Z

Assoziierte Forschungsinfrastrukturen (LK II)

1 Forschungsinfrastruktur GridKa

Im Berichtszeitraum wurden die GridKa-Rechen- und Speicherressourcen entsprechend den Anforderungen der Experimente weiter ausgebaut; dies geschieht traditionell in enger Abstimmung mit dem GridKa Overview Board. Der Betrieb der Batch Farm verlief reibungslos; alle neu installierten Worker Nodes (~ 50 k Cores) wurden wie geplant in Betrieb genommen und einige Monate später wurden die ältesten verbleibenden Worker Nodes (~ 10 k Cores) abgeschaltet. Sicherheitsupdates wurden kontinuierlich durchgeführt, und die Token-basierte Authentifizierung/Autorisierung wird nun unterstützt. Die Nutzung der GPU-Knoten nimmt langsam aber stetig zu. Eine präzise und detaillierte Stromverbrauchüberwachung wurde installiert.

Der GridKa-Online-Speicher wurde um 71 Petabyte erweitert, die im Jahr 2021 beschafft werden. Herausforderungen in der Lieferkette bestimmter Komponenten (insbesondere Infiniband-Karten und -Kabel) verzögerten den Start für die Produktionsnutzung um etwa sechs Monate. Die Migration der Daten erfolgt für die Nutzer transparent. Insgesamt sind 99 Petabyte verfügbar, um die Zusagen für 2022 und 2023 zu erfüllen. Eine große Downtime im Juni wurde vor allem für Software- und Sicherheitsupdates im Speichernetzwerk, dem Filesystem und dCache genutzt.

Die Aktivitäten im GridKa-Bandspeichersystem wurden von der TSM-zu-HPSS-Migration dominiert, die bereits 2021 begonnen wurde. Nach CMS, LHCb und Belle-II folgen nun ATLAS und schließlich ALICE; es wird erwartet, dass die Migration bis Anfang 2024 abgeschlossen ist.

Die GridKa-WAN-Netzwerkverbindung funktionierte reibungslos, und die beantragten Bandbreitenerweiterungen wurden sofort genutzt. Die Beschaffung der geplanten 400 Gb/s Netzwerkhardware musste modifiziert werden, da bestimmte Komponenten der geplanten Router sehr lange Lieferzeiten (> 1 Jahr) aufweisen.

Da das Root-Zertifikat der GridKa X.509 Certification Authority (CA) im Juni 2023 ausläuft, wurde die Ausstellung neuer Zertifikate im Juni 2022 eingestellt. Stattdessen werden die DFN GridCA und die GEANT TCS eingesetzt und als Alternativen angeboten.

1.1 Empfehlungen des Senats

* *Der Senat stimmt mit den sehr positiven Begutachtungsergebnissen der LK II Forschungsinfrastruktur Tier-1-Rechen- und Datenzentrum GridKA überein und bestätigt deren Finanzierung entsprechend der auf eine Steigerung von 2 % angepassten Vollkostenplanung.*

Das GridKa LK II ist für diese Empfehlung sehr dankbar, da sie eine wichtige Grundlage für den Betrieb der GridKa-Rechen- und Datenressourcen für den LHC Run3 sowie für die HL-LHC-Phase für die internationale Nutzergemeinschaft darstellt. Allerdings haben die Preissteigerungen, insbesondere beim Strom im letzten Halbjahr 2022, gezeigt, dass die 2 %ige Erhöhung nicht ausreichen wird. Im GridKa werden alle Maßnahmen ergriffen, um die Ressourcenzusage 2023 ff so energieeffizient und energieminimiert wie möglich zu erfüllen.

1.2 Entwicklung der Kennzahlen und Ressourcen

1.2.1 Kennzahlen

**KENNZAHLENTABELLE ZU DER FIS-1**

Kommentierungen zu den Erfolgsindikatoren:

*Bitte erklären und kommentieren Sie Entwicklungen/Veränderungen der einzelnen Kennzahlen. Ohne diese Information ist eine Beurteilung der Entwicklungen in den Kennzahlen nur bedingt möglich.*

Verfügbarkeit

Auslastung

Publikationen

Grundfinanzierte Wissenschaftler/innen

1.2.2 Ressourcen

**RESSOURCENTABELLE ZU DER FIS-1**

Kommentierung der Abweichungen

*Bitte kommentieren Sie Abweichungen der Ist-Kosten von den Senatsempfehlungen.*

2 Forschungsinfrastruktur GSI-MU Ion Facilities

Die Linearbeschleunigeranlage UNILAC, das Schwerionensynchrotron SIS18 und der Fragmentseparator FRS, der hochenergetische exotische Kerne liefert, wurden 2022 von einer breiten Nutzerschaft genutzt. Die Verfügbarkeit für die Nutzer (Strahl am Ziel) betrug 75 %, und im Durchschnitt wurden 2,6 Experimente parallel durchgeführt. Zwanzig Tage waren für Studien an der Beschleunigeranlage vorgesehen. Dieser Maschinenstrahlblock wurde zum Testen von FAIR-Komponenten, zur Hochstromoptimierung mit schwach geladenem Uran, zur allgemeinen Inbetriebnahme und zum Testen neuer Betriebsmodi genutzt.

Die wichtigsten Experimente, die im Jahr 2022 Strahlzeit erhalten haben, sind die Experimente HADES und WASA. Für die Untersuchung des elektromagnetischen Zerfalls von seltsamen Hyperonen wurde die Akzeptanz des HADES-Experiments in Vorwärtsrichtung instrumentiert, indem Straw Tube Tracking-Stationen installiert wurden, die für den Inner Tracker des PANDA-Experiments bei FAIR entworfen und gebaut wurden. Der WASA-Aufbau wurde in der mittleren Fokusebene des FRS installiert und diente zur Untersuchung der Wechselwirkung von fremden Teilchen mit Kernmaterie.

Ein Antrag an das EU-REACT-Programm für eine Erweiterung des Green-IT-Cubes zur Stärkung der Forschungs- und Transferaktivitäten rund um Rechenzentrumstechnologien wurde genehmigt. Ein Gesamtbudget von 5,5 Mio. € wurde für die Erweiterung der Infrastruktur des Green-IT Cube verwendet. Das Interesse von Partnern aus Industrie und Wissenschaft an einer Zusammenarbeit steigt. Das neu gegründete Digital Open Lab innerhalb des Green-IT Cube wird eine Umgebung für die Entwicklung, Erprobung und Skalierung von energieeffizienten Hochleistungsrechnern bis hin zu industriellen Demonstratoren in Partnerschaft mit der Industrie bieten.

Die Anstrengungen zur Senkung des Energieverbrauchs der GSI-Beschleuniger werden intensiviert, um den steigenden Energiekosten zu begegnen. Eine Arbeitsgruppe aus Gebäude- und Systemtechnik, Beschleuniger und Forschung hat Einsparmaßnahmen identifiziert. Erste Maßnahmen sind bereits umgesetzt bzw. begonnen worden.

2.1 Empfehlungen des Senats

* *Die Finanzierung der mit dem Forschungsbereich assoziierten und in einem reduzierten Betrieb befindlichen Nutzer-Anlagen der GSI (UNILAC, SIS18, FRS, ESR usw.) ist durch Sondervereinbarungen der Helmholtz-Gemeinschaft und GSI geregelt, die ggf. auch eine Zuordnung dieser Anlagen oder Teile dieser Anlage als LK II Anlagen in der PoF IV vorsieht, sofern die hierfür gültigen Kriterien erfüllt werden.*

Die Finanzierung der mit dem Forschungsbereich assoziierten und im reduzierten Modus betriebenen Nutzereinrichtungen der GSI (UNILAC, SIS 18, FRS, ESR, etc.) wird durch gesonderte Vereinbarungen zwischen der Helmholtz-Gemeinschaft und der GSI geregelt. Im Jahr 2022 wurde entschieden, dass die GSI-Ionen-Anlagen tatsächlich alle Voraussetzungen für die Einstufung als LK II-Nutzer-Infrastrukturen erfüllen und daher als solche eingestuft werden. Dies hat keine effektiven finanziellen Auswirkungen, und die GSI-MU-Ionen-Einrichtungen profitieren nicht von der Aufstockung der Mittel für LK II-Infrastrukturen.

2.2 Entwicklung der Kennzahlen und Ressourcen

2.2.1 Kennzahlen

**KENNZAHLENTABELLE ZU DER FIS-1**

Kommentierungen zu den Erfolgsindikatoren:

*Bitte erklären und kommentieren Sie Entwicklungen/Veränderungen der einzelnen Kennzahlen. Ohne diese Information ist eine Beurteilung der Entwicklungen in den Kennzahlen nur bedingt möglich.*

Verfügbarkeit

Auslastung

Publikationen

Grundfinanzierte Wissenschaftler/innen

2.2.2 Ressourcen

**RESSOURCENTABELLE ZU DER FIS-1**

Kommentierung der Abweichungen

*Bitte kommentieren Sie Abweichungen der Ist-Kosten von den Senatsempfehlungen.*