



© iStockphoto.com/lovelyday12

Impact-Studie für die Synchrotronstrahlungsquelle PETRA III im Kontext des Forschungs- und Innovationsökosystems DESY

mit Ausblicken auf das strategische Erweiterungsvorhaben PETRA IV

Ort: Karlsruhe, 20.10.2023

Impressum

Impact-Studie DESY/PETRA III

Projektleitung

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Breslauer Straße 48, 76139 Karlsruhe

PD Dr. Henning Kroll, henning.kroll@isi.fraunhofer.de

Verantwortlich für den Inhalt des Textes

PD Dr. Henning Kroll, henning.kroll@isi.fraunhofer.de;

Dr. Thomas Stahlecker, thomas.stahlecker@isi.fraunhofer.de;

Dr. Andrea Zenker, andrea.zenker@isi.fraunhofer.de;

[unter wesentlicher Mitarbeit von](#)

Prof. Torben Schubert, Sonia Gruber

Verfasst im Auftrag von

Deutsches Elektronen Synchrotron DESY

Notkestraße 85, 22607 Hamburg

Bildnachweis

Deckblatt: © iStockphoto.com/lovelyday12

Zitierempfehlung

Kroll, H.; Stahlecker, T.; Zenker, A. (2023): Impact-Studie für die Synchrotronstrahlungsquelle PETRA III im Kontext des Forschungs- und Innovationsökosystems DESY, mit Ausblicken auf das strategische Erweiterungsvorhaben PETRA IV. Fraunhofer ISI, Karlsruhe. <https://doi.org/10.24406/publica-1929>

Veröffentlichung

Oktober 2023

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
1 Einführung: Impact und Impact-Bereiche	8
2 Analytisches Konzept	12
2.1 Grundsätzlicher methodischer Ansatz	12
2.2 Konzept und Wirkungsnarrativ	14
3 Wirkungsmodell	17
4 Wirkungen im Bereich der Wissenschaft (DESY Kernmission)	20
4.1 Einleitung	20
4.2 Allgemeine Entwicklung	20
4.3 Fachliche Struktur	21
4.4 Visibilität der Publikationen	23
4.5 Finanzierung durch renommierte Fördergeber	25
4.6 Vernetzungseffekte in Deutschland	26
4.7 Internationale Kooperationen	27
4.8 Direkte Innovationswirkungen der Wissenschaft	28
4.9 Installation und Nutzung extern finanzierter Anlagen	29
4.10 Zusammenfassung und Ausblick auf PETRA IV	30
5 Ökonomische Wirkungen: Nachfrage- und Angebotsseitige Effekte	32
5.1 Nachfrageseitige Effekte: Beschäftigung und Beschaffung	32
5.1.1 Wirtschaftliche Effekte durch die Auszahlung von Gehältern	32
5.1.2 Wirtschaftliche Effekte auf Grundlage von Sachausgaben	35
5.1.3 Nachfrageseitige Gesamteffekte	36
5.2 Gesamteffekte inkl. Angebotsseite: Ausbildung und Innovation	37
5.3 Ausblick PETRA IV	38
6 Innovationsbezogene Wirkungen: DESY als Hebel für Wissens- und Technologietransfer	41
6.1 Fokusthema Experimente unter Industriebeteiligung	42
6.1.1 Nutzertypen und Forschungsbereiche am DESY	43
6.1.2 Beispiel aus der medizinischen/pharmazeutischen Forschung: Unterstützung der Wirkstoffentwicklung durch Untersuchungen an PETRA III	45
6.1.3 Beispiel aus der materialwissenschaftlichen Forschung: Einblicke in Laserschweißprozesse durch PETRA III ermöglichen nachhaltigere Fertigung	47

6.2	Fokusthema Spin-offs und Entrepreneurship	49
6.2.1	Einordnung	49
6.2.2	Strukturen und Maßnahmen	50
6.2.3	Impact	52
6.2.4	Ausblick auf PETRA IV	54
6.3	Fokusthema Standards und Lizenzen	55
6.3.1	Standards: Das Beispiel MicroTCA	55
6.3.2	Wirkungen und Transfer	56
6.3.3	Zusammenfassende Betrachtung	57
6.3.4	Ausblick auf PETRA IV	60
6.4	Fokusthema Qualitätsprüfungen als Serviceleistung	60
6.4.1	Einordnung der Qualitätsprüfung als Service	60
6.4.2	Kooperationen und Wissenstransfer über das Angebot der Qualitätsprüfung als Service	61
6.4.3	Zusammenfassung, Wirkungen und Ausblick	62
6.4.4	Strategische Implikationen und Ausblick auf PETRA IV	63
7	Humankapitalbezogene Wirkungen: Qualifizierung in unterschiedlichen Bereichen	65
7.1	Einordnung	65
7.2	Karriereprogramme und weitere Qualifizierungsmaßnahmen	65
7.3	Zusammenfassung und Ausblick auf PETRA IV	71
8	Gesellschaftliche Wirkungen	72
9	Entwurf einer Indikatoren-Matrix	74
	Abbildungsverzeichnis	77
	Tabellenverzeichnis	78

Zusammenfassung

Allgemeine Erkenntnisse

- Im Sinne dieses Berichts und aus Sicht vieler Fördergeber treten relevante Wirkungen außerhalb des wissenschaftlichen Bereichs in folgenden Feldern auf: Wirkungen im Bereich Humankapital, wirtschaftliche Wirkungen, gesellschaftliche Wirkungen.
- Wirkungen werden dabei vor allem über vier Mechanismen vermittelt: Die Generierung und Diffusion wissenschaftlicher Erkenntnisse, den Transfer technologisch relevanten Wissens, monetär vermittelte wirtschaftliche Effekte, sowie die Vermittlung von Informationen und aktive Kommunikation im Außenraum.
- Wie in allen Wirkungsanalysen ist zu berücksichtigen, dass i.d.R. weder eine einzelne Aktivität ausschließlich auf eine spezifische Wirkungsdimension einzahlt, noch Effekte im Bereich einer Wirkungsdimension ausschließlich durch einen Aktivitätstyp ausgelöst werden.
- Mit Ausnahme der rein monetär vermittelten Effekte verlangen jedoch alle Wirkungsbeziehungen entweder eine hohe Absorptionskapazität (Interpretations- und Transferkompetenz) des Empfängers oder aber eine aktive Vermittlungsleistung DESY-seitiger Akteure.
- Damit kommt Aktivitäten zur gezielten Stärkung von Wirkungsbeziehungen auf unterschiedlichen Ebenen eine besondere Rolle zu. Hierzu zählen die gezielte Einbindung nichtwissenschaftlicher Partner in Forschungsprojekte, die Intensivierung von Aktivitäten zur konkreten Problemlösung und ein gezieltes Management der qualifizierten Beschaffung.

Konkrete Befunde

- Das DESY und seine Strahlungsquellen bieten die Möglichkeit zu wissenschaftlichen Experimenten auf höchstem Niveau und damit zur Generierung spezifischen Wissens. Ebenso bietet die vorhandene Infrastruktur die Basis für die Installation und Nutzung weiterer Anlagen sowie für nationale und internationale Kooperation in der Wissenschaft.
- Mit zuletzt über 800 Publikationen jährlich ist PETRA III eine der europa- und weltweit bedeutendsten Forschungseinrichtungen mit Kompetenzschwerpunkten in den Bereichen Physik der kondensierten Materie, Materialwissenschaften, aber auch Chemie und verschiedenen anderen Fachgebieten. Arbeiten an fachlichen Schnittstellen sind dabei die Regel.
- Die im Kontext von PETRA III durchgeführten Experimente fördern die globale Kooperation in der Wissenschaft. Lediglich ca. ein Fünftel aller hier entstandenen Veröffentlichungen werden allein von Autor:innen mit deutscher Affiliation verfasst, ein weiteres Drittel unter Beteiligung europäischer Autor:innen. Fast die Hälfte dagegen gehen aus globalen Kooperationen hervor, davon allerdings erneut fast alle unter Einbeziehung europäischer Partner.
- Die auf Grundlage von PETRA III-basierten Experimenten entstandenen Publikationen erreichten von Anfang an einen hohen Standard. Schon 2014 lag der mittlere Impact Factor der Journals, in denen entsprechende Artikel erschienen, nahe dem Referenzwert der entsprechenden Disziplinen, seit 2019 hat er diesen sogar klar überschritten.
- Durch seine wirtschaftliche Tätigkeit als Arbeitgeber sowie im Rahmen der Beschaffung entfaltet das DESY erhebliche Wirkungen in seinem regionalen Umfeld und darüber hinaus. Ausgehend von auf den DESY-Kontext angepassten Multiplikatormodellen ist davon auszugehen, dass PETRA III basierend auf einer ausgezahlten Lohnsumme von 310 Mio. Euro, Investitionskosten in Höhe von 360 Mio. Euro und Sachausgaben in Höhe von 145 Mio. Euro allein nachfrageseitig einen wirtschaftlichen Effekt von mindestens 1,2 Mrd. Euro auslöst, d.h. einen volkswirtschaftlichen Zusatznutzen von mindestens 350 Mio. Euro gestiftet hat.

- Würden auch die angebotsseitigen Effekte monetarisiert, die z.B. durch Innovationsimpulse in der qualifizierten Beschaffung oder durch Ausbildungswirkungen entstehen, läge der zusätzliche wirtschaftliche Gesamtnutzen um ein Mehrfaches höher.
- Eine zeit-, daten- und kostenintensive Analyse (z.B. Cost Benefit-Analyse) dieser Aspekte wurde im Rahmen dieser Studie nicht durchgeführt; die produktiven Interaktionen des DESY mit externen Akteuren sind allerdings jenen an anderen Institutionen, wie z.B. dem CERN, mindestens vergleichbar, an denen hierbei ein *Return on Investment* von ca. 2,0 festgestellt wurde, d.h. ein Multiplikator von ca. 1:3. Auch angepasste volkswirtschaftliche Modelle auf Basis von Schubert und Kroll (2016)¹ liefern hierzu vergleichbare Ergebnisse und sichern den Befund damit empirisch ab.
- Bau und Betrieb der Strahlungsquellen erfordern darüber hinaus vielfältige Problemlösungen in teils hoch spezialisierten Bereichen, die oft (auch) von Unternehmen der Privatwirtschaft realisiert werden müssen und diesen in Folge auch für weitere Zwecke zur Verfügung stehen bzw. dort weitere Innovationen auslösen und ermöglichen. Wissenstransfer im Rahmen der Spezifikation von Aufträgen und nachfolgende Kooperationen im Bereich der Innovation führen zu einer nachhaltigen Steigerung der Innovationsfähigkeit zahlreicher Zuliefer-Unternehmen in Hochtechnologiebereichen.
- Erforderliche Qualitätsprüfungen aus der Beschleunigerentwicklung als Treiber neuartiger Technologien konnten standardisiert und nunmehr als Service für weitere Synchrotrons sowie hoch spezialisierte Zulieferer angeboten werden. Diese im DESY-Kontext bereits erfolgreich erprobten Aktivitäten stellen auch im Rahmen von PETRA IV eine Option zur Erweiterung wirtschaftlich relevanter Kooperationsmöglichkeiten dar. Durch die technisch stark erweiterten Möglichkeiten zur Prüfung u.a. größerer Werkstücke bietet PETRA IV in diesem Zusammenhang mehr Potenziale, als PETRA III dies konnte.
- Experimente im Bereich der angewandten Forschung sowie mit Industrierelevanz haben in den letzten Jahren an Bedeutung zugenommen; so konnte u.a. die zeitnahe Impfstoffentwicklung während der COVID19-Pandemie durch Messungen am DESY maßgeblich unterstützt werden. Das DESY (PETRA III) konnte zusammen mit dem EMBL damit einen Beitrag zur Eindämmung der Pandemiefolgen leisten und somit zur Lösung einer konkreten gesellschaftlichen Herausforderung beitragen. Auch materialwissenschaftliche Messungen an PETRA III, deren Ergebnisse u.a. nachhaltigere Fertigungsprozesse für Elektroautos ermöglichen, leisten einen unmittelbaren Beitrag für Industrie und Gesellschaft.
- Darüber hinaus werden gesellschaftliche Wirkungen in vielfältiger Weise und als Konsequenz fast aller bereits genannten Wirkungsmechanismen erzielt, d.h. indirekt durch wissenschaftliche und wirtschaftliche Beiträge, aber auch konkret durch unmittelbare Beiträge zur Problemlösung sowie Aktivitäten, die gezielt bspw. auf die Erhöhung der Unterstützung für wissenschaftliche Forschung in breiten Bevölkerungsgruppen ausgerichtet sind. Auch im Rahmen von PETRA IV ist eine strategische Fokussierung auf Themenbereiche vorgesehen, in denen sich signifikante Potenziale für Beiträge zu komplexen gesellschaftlichen Herausforderungen abzeichnen.
- Zur Intensivierung (bzw. überhaupt erstmaligen Konstituierung) relevanter Wirkungsbezüge können in Zukunft in zwei unterschiedlichen, aber eng miteinander in Beziehung stehenden Bereichen verstärkte Anstrengungen unternommen werden.

¹ Schubert, T.; Kroll, H. (2016) Universities' effects on regional GDP and unemployment: The case of Germany. *Papers in Regional Science*, 95: 467–489. doi: 10.1111/pirs.12150.

- Erstens könnte eine aktive Öffnung bestehender Test- und Experimentieranordnungen für Unternehmen und andere nichtwissenschaftliche Akteur:innen deren praxisorientierte Zusammenarbeit mit dem DESY intensivieren. In diesem Zusammenhang erscheint auch eine aktive Bewerbung dieser Möglichkeit als sinnvoll.
- Eine aktive Erfassung und Nutzung jener Neuerungen, die im Rahmen der Einrichtung sowie des Betriebs der Anlagen entwickelt wurden. Hierdurch lässt sich das Potenzial einer aktiven Zusammenarbeit weiteren innovativen Unternehmen vermitteln, die bislang noch nicht an der Entwicklung und Einrichtung von Anlagen des DESY beteiligt waren.

1 Einführung: Impact und Impact-Bereiche

Im Bereich der Großforschungsinfrastrukturen stellt das DESY seit seiner Gründung 1959 nicht nur in Deutschland, sondern auch in Europa und weltweit eine wesentliche Referenz dar. Dies gilt im Besonderen für die Positron-Elektron-Tandem-Ring-Anlage (PETRA), die in verschiedenen Ausbaustufen seit 1978 in Betrieb ist, und deren letzte, PETRA III, 2009 den Betrieb aufnahm. Das Forschungszentrum verfügt über einmalige Kompetenzen in Entwicklung, Bau und Betrieb von Beschleunigeranlagen, sodass in einer Vielzahl aller weltweiten Beschleunigeranlagen aktuell DESY-Technologien genutzt werden. Im Jahr 2022 kamen über 3.350 Forschende aus über 40 Ländern ans DESY, um dort an den 25 PETRA III Beamlines ca. 1.400 Einzelexperimente im Rahmen von über 900 Proposals (inkl. Messzeiten an Strahlführungen, die von European Molecular Biology Laboratory (EMBL) und Helmholtz-Zentrum Hereon betrieben werden) zu bearbeiten. Ihre Aufenthaltsdauer betrug dabei im Schnitt vier, teils aber auch bis zu sieben Tage (vgl. DOOR²).

Die Kernmission des DESY besteht dabei in der "... Förderung der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung [...] insbesondere durch die Entwicklung, den Bau und Betrieb von Beschleunigern und deren wissenschaftliche Nutzung, die Forschung mit Photonen und auf den Gebieten der Teilchen- und Astroteilchenphysik sowie Entwicklungsarbeiten, die damit im Zusammenhang stehen." (Satzung der Stiftung Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, §2 Zweck der Stiftung). Zusätzlich zur Grundlagenforschung an und mit Teilchenbeschleunigern begreift das DESY allerdings ebenso den Transfer von Forschungsergebnissen in Wirtschaft und Gesellschaft und damit letztlich auch die Förderung von Innovationsaktivitäten als strategische Ambition (Satzung der Stiftung Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Präambel, vgl. auch Innovations- und Transferstrategie des DESY, Mai 2021).

PETRA III ist ein integraler Teil des DESY, profitiert aber, stärker noch als vergleichbare Einzelquellen wie der European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) im französischen Grenoble oder die Diamond Light Source im englischen Oxfordshire, auch von den zusätzlichen Forschungsanlagen am DESY wie z.B. FLASH oder EuXFEL, den Kooperationsplattformen und Kompetenzzentren wie dem Center for Free-Electron Laser Science (CFEL), dem Centre for X-ray and Nano Science (CXNS) und dem Centre for Structural Systems Biology (CSSB) sowie der Kompetenz der zahlreichen Campuspartner wie der Hamburger Universitäten, Hereon, EMBL oder Max-Planck und allgemeinen Aktivitäten am DESY. Viele dieser weiteren Anlagen haben sich dabei erst im Anschluss an die Errichtung von PETRA III auf dem Campus angesiedelt und sind in diesem Sinne als Folgeinvestitionen zu bewerten. Ohne die initiale Entscheidung für PETRA III als Großanlage mit Ankerfunktion hätte der aktuelle Campus somit nicht in der gleichen Weise entwickelt und könnte aktuell nicht die gleichen Synergieeffekte erzielen.

In der vorliegenden Studie liegt der Fokus auf der Darstellung der Wirkung von PETRA III, allerdings werden in einigen Teilkapiteln (vor allem Kapitel 6) auch Aktivitäten beleuchtet, die ihren Ursprung nicht notwendigerweise in PETRA III-Experimenten haben, wie u.a. einige der Start-up-Aktivitäten. Da PETRA III das zentrale Instrument des Forschungscampus sowie Kern des "Innovations-Ökosystems" und der Bestrebungen um die Science City Hamburg Bahrenfeld ist, ist es jedoch nicht nur zulässig, sondern erforderlich, auch ausgewählte Campus-Aktivitäten abzubilden, die in eher indirektem Kontext zum Beschleunigerring stehen³.

² DOOR (DESY Online Office for Research with Photons, <https://door.desy.de>) ist die interne Datenbank des DESY in der sowohl alle Anträge auf Nutzung der Anlagen sowie die im PETRA III Kontext tatsächlich durchgeführten Experimente erfasst werden.

³ Dort wo eine klare Differenzierung zw. PETRA III und weiteren Campus-Aktivitäten möglich ist, wird diese klar vermittelt, z.B. in Kapitel 4 und den Teilkapiteln zu Publikationen.

Der jährliche Grundetat des DESY von rund 349 Mio. Euro an den beiden Standorten Hamburg und Zeuthen wird zu 90% vom Bund (vertreten durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)) und zu 10% der Stadt Hamburg bzw. dem Land Brandenburg getragen.⁴

Vor diesem Hintergrund betont das BMBF die hohe Bedeutung von Forschungsinfrastrukturen für "... die Leistungsfähigkeit, Innovationskraft und internationale Wettbewerbsfähigkeit des Wissenschafts- und Wirtschaftsstandorts Deutschland"⁵ und hat in der letzten Legislaturperiode (nach vorangegangener Pilotphase 2011-2013) einen Prozess zur Entwicklung einer Nationalen Roadmap als strategisches Instrument zur Bewertung und Priorisierung der hochvolumigen Investitionen für Bau und Betrieb von Forschungsinfrastrukturen aufgesetzt.⁶

Neben ihrem grundlegenden Erkenntnisbeitrag zu umfassenden gesellschaftlichen Herausforderungen wie bspw. dem Klimawandel, dem Bereich Gesundheit (inkl. Pandemien), und dem demographischen Wandel wird der Grundlagenforschung dabei in diesem Zusammenhang zunehmend auch eine Rolle bei der Erschließung neuer Anwendungsfelder sowie der Entwicklung neuer Technologien beigemessen. Sowohl in der Phase des Baus und der Installation von Großinfrastrukturen als auch während des Betriebs und der Durchführung erkenntnisgeleiteter Experimente erhalten Kooperationen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft sowie der Wissenstransfer aus der Forschung in die Anwendung somit ein größeres Gewicht.⁷

Dessen ungeachtet verdeutlicht die Verteilung der im Jahr 2022 insgesamt vergebenen Strahlzeit nach Proposal-Typen die ungebrochen hohe Bedeutung regulärer wissenschaftlicher Proposals: auf diese entfallen, nach Stunden, ca. 62,5% der insgesamt vergebenen Strahlzeit. Auch Strahlzeit, die an Institute der Max-Planck-Gesellschaft, der Helmholtz-Gemeinschaft, im Rahmen des NFFA-Projekts,⁸ im Rahmen von Universitätsforschung sowie Eigenforschung des DESY (in-house research) vergeben wird, ist meist primär wissenschaftlich orientierten Untersuchungen zuzurechnen. Ähnliches gilt für Gruppenproposals (BAG Proposals), long-term proposals und common on-site access zu Inbetriebnahme und Weiterentwicklung von Beamlines sowie auch für short-term-Messzeit bei kurzfristig freiwerdenden Messzeiten.

Von den 2022 eingereichten Anträgen auf PETRA III Strahlzeit (Proposals) entfielen allerdings laut Selbstauskunft der Antragstellenden dennoch immerhin 22% auf den Bereich der angewandten Forschung, 5% waren aus ihrer Sicht sogar direkt relevant für industrielle Anwendungen. Einen weiteren Einblick in die Art des möglichen Langfristnutzens der an PETRA III durchgeführten Forschung ermöglicht die Tatsache, dass laut Selbstauskunft der Antragstellenden 29% der Fragestellungen aus dem Bereich Gesundheit, 27% aus dem Bereich Energie und weitere 27% aus den Bereichen *key* oder *enabling* Technologies zum Gegenstand haben. Geringere Anteile entfallen auf die Bereiche Erd- und Umweltwissenschaften (13%) sowie den Bereich Transportwissenschaften (4%) (vgl. Abbildung 1). Diese vollständige thematische Zuordnung aller Anträge zeigt, dass die interne Datenerfassung des DESY die Anwendungsperspektive bereits aktuell mitberücksichtigt.

⁴ Vgl. https://www.desy.de/ueber_desy/desy/index_ger.html.

⁵ https://www.bmbf.de/bmbf/de/forschung/das-wissenschaftssystem/roadmap-fuer-forschungsinfrastrukturen/roadmap-fuer-forschungsinfrastrukturen_node.html

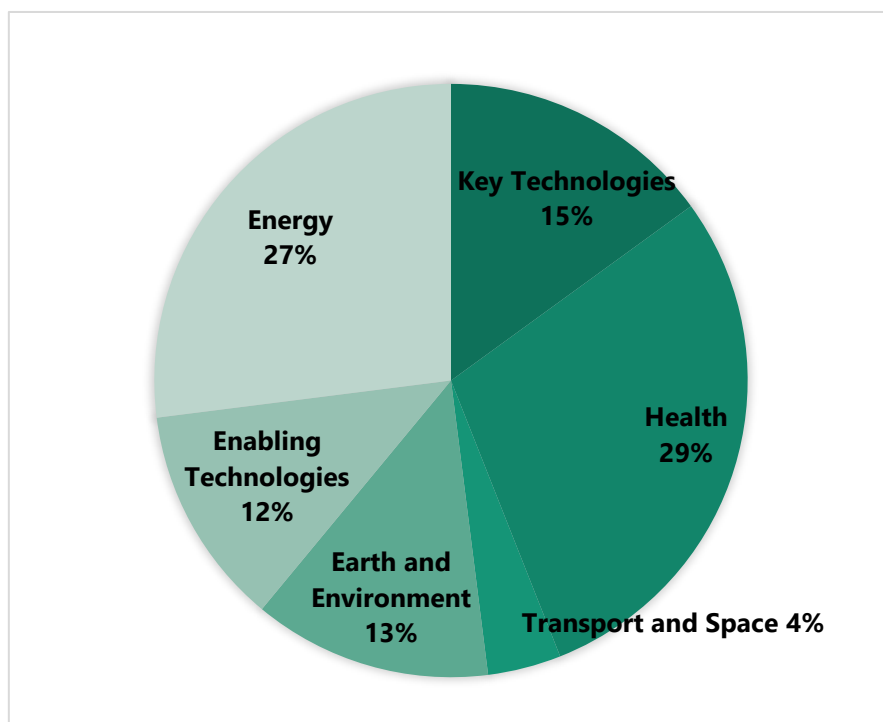
⁶ Vgl. Wissenschaftsrat (2017): Bericht zur wissenschaftsgeleiteten Bewertung umfangreicher Forschungsinfrastrukturvorhaben für die Nationale Roadmap. Köln: Wissenschaftsrat. Online: https://www.wissenschaftsrat.de/download/archiv/6410-17.pdf?__blob=publicationFile&v=1 sowie https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/downloads/files/verfahren_zur_durchfuehrung_von_kostenschaetzungen_deutsch.pdf?__blob=publicationFile&v=2, <https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/pressemitteilungen/de/neue-nationale-roadmap-fuer-forschungsinfrastrukturen.html>.

⁷ Dies formuliert die Bundesregierung in ihrer jüngst veröffentlichten Zukunftsstrategie und auch das DESY hat sich im Thema des Wissens- und Technologietransfers sowie der "Brückenbildung" zwischen Grundlagenforschung und Anwendung zunehmend positioniert. Vgl. Die Bundesregierung, herausgegeben vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2023): Zukunftsstrategie Forschung und Innovation, Berlin, sowie DESY, Innovation & Technology Transfer (2021): Innovations- und Transferstrategie DESY, Hamburg. Vgl. ebenfalls DESY (2019): PETRA III. Brillantes Röntgenlicht für Wissenschaft und Technologie. Hamburg, Zeuthen: DESY. Online verfügbar unter https://pr.desy.de/sites/sites_desy-groups/sites_extern/site_pr/content/e104098/e105787/PETRA_III_Broschuere_ger.pdf.

⁸ <https://www.nffa.eu/>.

Die wissenschaftliche Relevanz und Bedeutung der an den entsprechenden Einrichtungen durchgeführten Experimente steht aufgrund eines vorlaufenden Peer-Review-Prozesses, mittels dessen im Falle einer Überzeichnung die relevantesten Proposals ausgewählt werden, i.d.R. außer Frage. Auch wirtschaftliche bzw. öffentliche Akteure sind in vielfacher Weise in die Versuche involviert, allerdings nicht immer direkt identifizierbar, da meist nur die antragstellenden Organisationen, d.h. die projektleitenden Koordinatoren erfasst werden.

Abbildung 1: Aufteilung Proposals nach Oberthemen 2022 (inkl. EMBL)



Quelle: Analysen des DESY basierend auf DOOR-Daten zu verschiedenen Proposal-Typen – Selbsteinschätzung der Antragsteller

In der politischen Diskussion wurden nun in den vergangenen Jahren verstärkt gerade auch jene positiven Wirkungen diskutiert, die öffentlich finanzierte Großforschungseinrichtungen auch im nichtwissenschaftlichen Bereich entfalten. Diese Beiträge differenzierter herauszuarbeiten ist Zielsetzung des vorliegenden Berichts.

Vor diesem Hintergrund zielt diese Studie einerseits darauf ab, die Wirkungen bisheriger Forschungs- und Innovationsaktivitäten des DESY im Bereich Photon Science für PETRA III zu dokumentieren (Ex-post-Analyse) sowie andererseits darauf, erste Abschätzungen hinsichtlich der potenziellen Wirkungen des Zukunftsprojekts PETRA IV zu treffen (Ex-ante-Analyse).⁹

⁹ Bühner, S.; Feidenheimer, A.; Walz, R.; Lindner, R.; Beckert, B.; Wallwaey, E. (2022): Concepts and methods to measure societal impacts – an overview, Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis, No. 74. Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

Ziele der hiermit vorliegenden Studie sind die Dokumentation und Extrapolation verschiedener Effekte in unterschiedlichen Wirkungsbereichen:

- mit Blick auf die Rolle des DESY (PETRA III) als Ermöglicher exzellenter Wissenschaft wird der wissenschaftlich-technologische Output von Aktivitäten im Umfeld von PETRA III anhand von Publikationsindikatoren differenziert dargestellt und beschrieben; ergänzend werden unterschiedliche Beiträge durch Vernetzungs- und Ansiedlungseffekte in den Blick genommen,
- mit Blick auf die Rolle des DESY (PETRA III) als Problemlöser für die Industrie und Förderer von Ausgründungen werden bestehende Innovations- und Transfertätigkeiten quantitativ erfasst und qualitativ bewertet. Darüber hinaus werden auf Basis erprobter volkswirtschaftlicher Modellrechnungen sowie spezifisch für den Wissenschaftssektor neu entwickelter Ansätze regionalökonomische Effekte des Betriebs von PETRA III berechnet bzw. extrapoliert,
- mit Blick auf die Rolle des DESY (PETRA III) als Qualifikationsmotor und Wissensbroker wird in den Blick genommen, in welchem Umfang einerseits direkt Arbeitsplätze in Forschung und Infrastruktur geschaffen werden und andererseits Beiträge zur Entwicklung von Fähigkeiten und Fertigkeiten von externen und nichtakademischen Nutzergruppen geleistet werden,
- schließlich wird eingeordnet, in welchem Umfang bereits PETRA III und insbesondere die noch zu schaffende Anlage PETRA IV Potenzial für die Beschleunigung gesellschaftlich-technischer Transformationen bergen.

In ihrer Grundanlage folgt diese Studie somit der in der Impactforschung mittlerweile gängigen Differenzierung in wissenschaftliche, wirtschaftliche, humankapitalorientierte sowie im weiteren Sinne gesellschaftliche Wirkungen (vgl. u.a. Kroll et al., 2019¹⁰ sowie Kroll et al. 2020¹¹), die die Errichtung und der Betrieb einer großen Forschungsinfrastruktur entfalten können. Darüber hinaus unterstreicht sie die in der Literatur seit Mitte der 2010er Jahre gängige Unterscheidung zwischen eher unspezifischen Effekten wirtschaftlicher Tätigkeit (durch z.B. Beschäftigung und Beschaffung) und den für eine wissenschaftliche Einrichtung wie das DESY spezifischen Effekten (vgl. u.a. Schubert und Kroll 2016¹²).

¹⁰ Kroll, H.; Zenker, A.; Hansmeier, H.; Griniece, E.; Helman, A.; Angelis, J.; Vignetti, V.; Reid, A. (2019): Deliverable 4.2 Title–Consolidated report on the participatory workshop results. Report in the project – Research Infrastructure Impact Assessment pathwayS. https://ri-paths.eu/wp-content/uploads/2018/03/D4.2_Consolidated-report-on-the-participatory-workshop-results.pdf.

¹¹ Kroll, H.; Hansmeier, H.; Zenker, A.; Donath, H.-J.; Ehret, K.; Laasch, W.; Hufnagel, M.; Sassenberg, U. (2020): T5.2 Pilot IA project with DESY. Report in the Project – Research Infrastructure Impact Assessment Pathways. https://ri-paths.eu/wp-content/uploads/2020/06/T5.2_Pilot-IA-project-with-DESY.pdf.

¹² Schubert, T.; Kroll, H. (2016): Universities' effects on regional GDP and unemployment: The case of Germany. *Papers in Regional Science*, 95: 467–489. doi: 10.1111/pirs.12150.

2 Analytisches Konzept

2.1 Grundsätzlicher methodischer Ansatz

Aufgrund der Komplexität des Untersuchungsgegenstands kommt ein Mixed Method-Ansatz zur Anwendung (vgl. Abbildung 2). Je nach analysiertem Wirkungsbereich bieten sich verschiedene methodische Zugänge an bzw. kann auf verschiedenen Vorarbeiten aufgebaut werden.

Recht eindeutig ist die Sachlage im Bereich **wissenschaftlicher Wirkungen**. Relevante Beiträge, die auf Forschung am DESY an PETRA III beruhen, können mittels quantitativer Methoden der Bibliometrie bestimmt und unter Verwendung etablierter Maßzahlen eingeordnet und bewertet werden. Als Mitglied des vom BMBF finanzierten *Kompetenzzentrums* (bald *Kompetenznetzwerk*) *Bibliometrie* verfügt das Fraunhofer ISI, anders als viele andere Organisationen, über einen direkten Zugang zu Mikrodaten der Datenbanken Elsevier SCOPUS und Clarivate Web of Science. Darüber hinaus wurden interne Datenbestände herangezogen, die seitens der DESY-Bibliothek in umfangreichen Vorarbeiten erarbeitet wurden. Da die an PETRA III Forschenden meist nicht mit dem DESY selbst affiliert sind, ermöglichen erst diese Informationen eine qualifizierte Identifikation DESY-relevanter Publikationen und damit eine für das Projekt relevante Publikationsanalyse.

Über reine Performanzkennzahlen hinausgehend wird hierbei insbesondere der internationale Vernetzungsbeitrag des DESY (Ko-Publikationen) in den Blick genommen sowie die wissenschaftliche Dimension des Beitrags zur Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen. Das Fraunhofer ISI verfügt hierzu über eine Reihe von Definitionen z.B. zur Erfassung von Publikationen mit Beiträgen zur den seitens der Europäischen Union definierten *Societal Grand Challenges*.

Auch im Bereich der Bemessung direkter **wirtschaftlicher Wirkungen** liegen bereits eine Reihe erprobter methodischer Zugänge vor. In zahlreichen Vorgängerstudien vor allem zu Universitäten wurden quantitative Ansätze zur Bemessung regionalökonomischer Effekte auf Grundlage der durch große Wirtschaftssubjekte getätigten Investitionsausgaben sowie den von ihnen gezahlten Löhnen und Gehältern entwickelt. Erneut war hierbei der Zugriff auf interne DESY-Informationen insofern von Bedeutung, als dass Informationen zu den im Kontext von PETRA III – bzw. prospektiv PETRA IV – gezahlten Löhnen und Gehältern sowie erfolgten Sachinvestitionen erforderlich waren, um auf dieser Basis volkswirtschaftliche Modellierungen durchführen zu können.

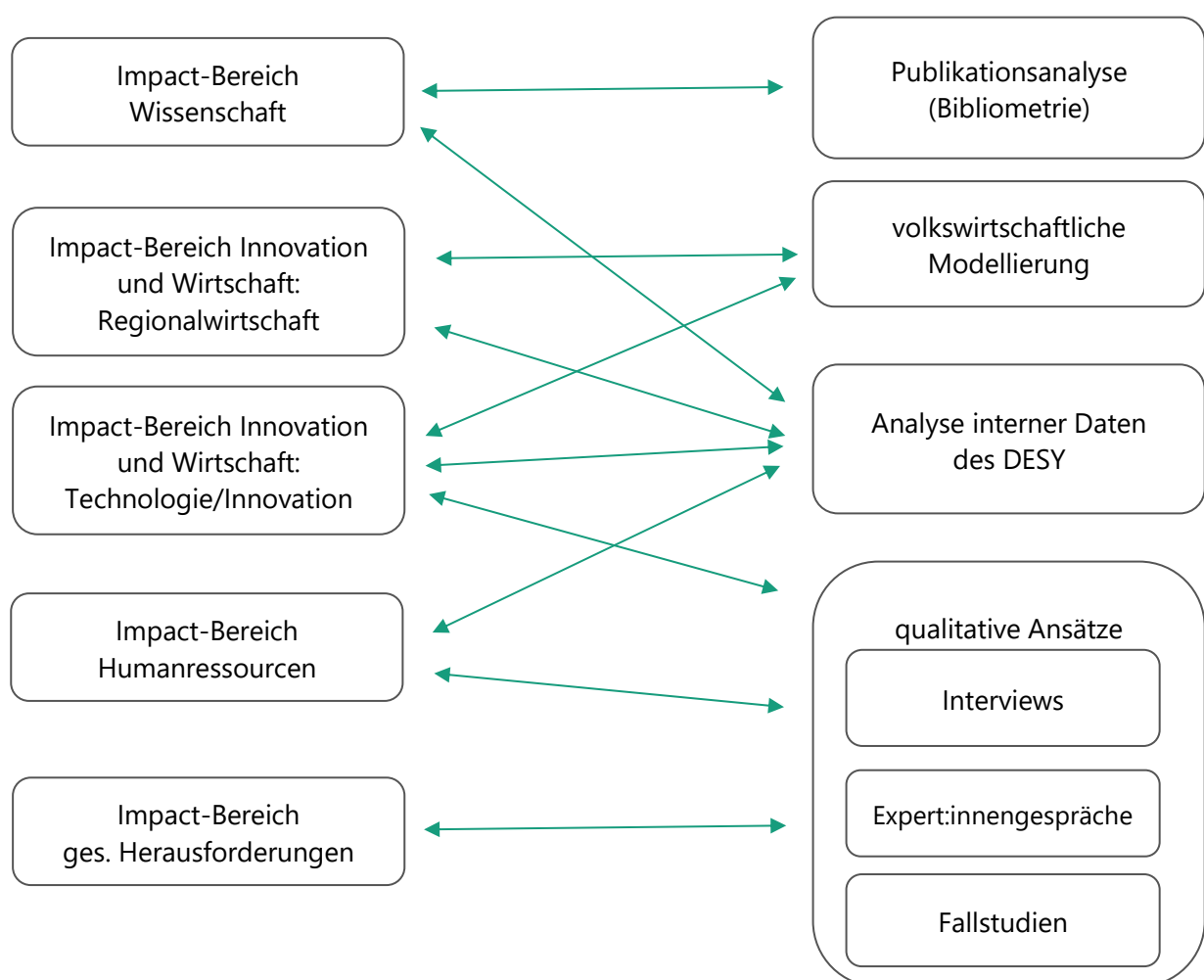
Wirkungen, die im Bereich **Technologie/Innovation** bzw. zumindest über entsprechende Effekte vermittelt im Bereich der Wirtschaft auftreten, sind dagegen nur schwer rein quantitativ zu erfassen. Zwar wäre es möglich, mittels Schätzmodellen eine ungefähre Größenordnung aufzuzeigen, diese Modelle sind allerdings bislang nicht spezifisch auf Großforschungseinrichtungen angepasst und liefern in diesem Kontext für einzelne Organisationen meist nur sehr ungenaue Ergebnisse. Um die ihrem Zustandekommen zugrundeliegenden Wirkungszusammenhänge detailliert zu verstehen und vor diesem Hintergrund auch eventuelle Veränderungen beim Übergang von PETRA III zu PETRA IV avisieren zu können, waren stattdessen qualitative Untersuchungen erforderlich. Konkret wurden relevante Informationen über Interviews vor Ort, in Fallstudien sowie in enger Interaktion mit der auftraggebenden Einheit und DESY-Expert:innen erhoben. Auch Erhebungen zu Patenten, Preisen, Fördermittelflüssen und Nutzer-Feedback fallen in diesen Bereich, da sie sich mittels sekundärstatistischer Analysen allein nicht leicht akkurat identifizieren lassen. Abschätzungen lassen sich z.B. auf Basis der Analyse von non-patent literature-Zitaten treffen, mittels derer zumindest festgestellt werden kann, wie viele Patentanmeldungen weltweit direkten Bezug auf wissenschaftliche Publikationen des DESY nehmen.

Auch im Impact-Bereich **Humanressourcen** bildete die Analyse DESY-interner Daten die zentrale Quelle, um zu bestimmen, wie viele Personen in den letzten Jahren im Kontext von PETRA III tätig

waren, differenziert nach Arbeitsbereichen sowie Karrierestufen. Teilweise mussten vorliegende Daten hierzu spezifisch bearbeitet und ausgewertet werden. Mit Blick auf die Frage, inwieweit sich diesbezügliche Optionen im Rahmen von PETRA IV veränderten, waren darüber hinaus Interviews bzw. Einschätzungen von DESY-Expert:innen erforderlich.

Schließlich war auch der Impact-Bereich **gesellschaftliche Transformation** vor allem im diskursiven Austausch mit DESY-Fachexpert:innen sowie über qualitative Methodiken zugänglich. Dies betrifft insbesondere die prospektive Abschätzung der zu erwartenden Wirkungen von PETRA IV, sowohl in technologischer Hinsicht als auch im Hinblick auf Potenziale zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen. Ergänzt wird dies durch eine systematische Auswertung der DESY-Aktivitäten zur Wissenschaftskommunikation sowie – sofern verfügbar und möglich – entsprechende Reaktionen aus der Zivilgesellschaft (beispielsweise über soziale Medien).

Abbildung 2: Methodische Ansätze nach Analysebereich



Quelle: Eigene Darstellung

2.2 Konzept und Wirkungsnarrativ

Zielsetzung der vorliegenden Analyse ist die Bestimmung von Wirkungen in den in der Impact-Forschung breit akzeptierten Kerndimensionen wissenschaftlicher Impact, wirtschaftlich-technologischer Impact, Impact im Bereich Humanressourcen sowie gesellschaftlicher Impact.

Entsprechende Wirkungen werden durch unterschiedlichste Aktivitäten in und im Umfeld von PETRA III und zukünftig PETRA IV ausgelöst.¹³ Wie in nahezu allen Wirkungsmodellen ist dabei zu berücksichtigen, dass i.d.R. weder eine einzelne Aktivität ausschließlich auf eine spezifische Wirkungsdimension einzahlt, noch Effekte im Bereich einer Wirkungsdimension ausschließlich durch einen Aktivitätstyp ausgelöst werden.

Die in der Praxis tatsächlich zu beobachtenden Wirkungszusammenhänge sind stattdessen sowohl komplex als auch nicht eindeutig sowie mehrheitlich auch zu einem gewissen Grad idiosynkratisch. Um dennoch valide Schlussfolgerungen abzuleiten, bedarf es daher konkreter Detailkenntnisse über die in Rede stehenden Vorgänge und einer Fähigkeit zur analytischen Reduktion komplexer, teils nicht eindeutiger Zusammenhänge.

Die Autor:innen dieses Berichts verfügen durch eine vorherige enge Zusammenarbeit mit dem DESY, auch im spezifischen Kontext von PETRA III, über diese Kompetenzen¹⁴. Sie haben Kenntnis von den spezifischen Gegebenheiten und Prozessen an einer großen Forschungsinfrastruktur, die sich auch mit Blick auf ihre wirtschaftlich-gesellschaftlichen Beiträge in unterschiedlicher Hinsicht von klassischen Forschungseinrichtungen wie Universitäten, aber auch z.B. Max-Planck-Instituten, unterscheidet. Als Forschungsinfrastruktur beschäftigt das DESY z.B. nur einen kleinen Teil der vor Ort Forschenden selbst, die Mehrzahl der Experimente wird dagegen von externen Forschungsgruppen durchgeführt, die organisatorisch nicht am DESY affiliert sind. Unter anderem deswegen ergeben sich wichtige Unterschiede zwischen der Entstehung von Wirkungen im Kontext von PETRA III und bspw. der Situation an Universitäten.

Neben klassischen, für eine Großforschungsinfrastruktur nicht oder nur sehr bedingt spezifischen Wirkmechanismen wie Nachfrageeffekten durch (lokale) Beschäftigung und Beschaffung, kommen im Rahmen von PETRA III auch weitere Aspekte zum Tragen wie Beiträge zur internationalen Vernetzung, technologische Impulse durch qualifizierte Beschaffung, die Ausbildung von Wissenschaftler:innen sowie ein direkter gesellschaftlicher Beitrag über Wissenschaftskommunikation und Outreach. Darüber hinaus kommt es – eher vereinzelt, aber dennoch regelmäßig – zu direkten Auftragsarbeiten für Unternehmen oder öffentliche Einrichtungen.

Unter Heranziehung der im Rahmen der zitierten Vorarbeiten bereits in Zusammenarbeit mit Vertreter:innen des DESY entwickelten Ansätze wurde zu Beginn des Projektes erneut über die Relevanz verschiedener Wirkungsbereiche diskutiert, die in Abbildung 3 dargestellte Gliederung festgelegt und das empirische Vorgehen beschlossen.

Die im Rahmen der empirischen Analysen zu erfassenden Wirkungspfade lassen sich dabei für die vier Wirkungsbereiche konzeptionell wie folgt zusammenfassen:

¹³ PETRA III steht als zentrale Großanlage im Zentrum des DESY Campus, der allerdings noch zahlreiche andere Anlagen beherbergt. Diese Studie analysiert und beschreibt im Folgenden – mit Ausnahmen von Kapitel 6 Innovationsbezogene Wirkungen und soweit nicht anders angegeben – ausschließlich Aktivitäten, die sich entweder inhaltlich oder räumlich PETRA III zuordnen lassen ("Aktivitäten im Umfeld von PETRA III")

¹⁴ Kroll, H.; Hansmeier, H.; Zenker, A.; Donath, H.-J.; Ehret, K.; Laasch, W.; Hufnagl, M.; Sassenberg, U. (2020): T5.2 Pilot IA project with DESY. Report in the Project – Research Infrastructure Impact Assessment Pathways. https://ri-paths.eu/wp-content/uploads/2020/06/T5.2_Pilot-IA-project-with-DESY.pdf; Kroll, H., Hansmeier, H., Hufnagl, M. (2022): Productive interactions in basic research an enquiry into impact pathways at the DESY synchrotron. Technological Forecasting and Social Change, 175, 121408. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121408>

Im Bereich des **wissenschaftlichen Impacts** entstehen Beiträge zu Wirkungen einerseits über die Publikation von Erkenntnissen, die mit Zeitverzug zunächst v.a. in der Wissenschaft, dann aber auch in Wirtschaft und Gesellschaft aufgegriffen werden können. Dokumentieren lässt sich dies unter anderem über Referenzen auf Publikationen in praxisrelevanten Dokumenten wie Patenten. Des Weiteren erscheinen wissenschaftliche Beiträge zu Konsortien unter Beteiligung von Partnern aus der angewandten Forschung als relevant, die in indirekter Weise wirtschaftlich-technologische Wirkungen auslösen können. Wie die Autor:innen in vorlaufenden Analysen zeigen konnten (Kroll et al., 2022¹⁵), wird durch solche Zusammenarbeiten der potenzielle Impact entsprechender Projekte messbar erhöht. Zudem leistet das DESY wichtige Beiträge zur nationalen und internationalen Vernetzung im wissenschaftlichen Bereich, was nicht nur den Erkenntnisgewinn erhöht, sondern als Science Diplomacy unter schwierigen Rahmenbedingungen zur Aufrechterhaltung von Gesprächskanälen mit anderen Ländern und dortigen Institutionen beiträgt. Schließlich schafft der DESY Campus einen wichtigen Schwerpunkt der Installation zusätzlicher, drittmittelfinanzierter Geräte und Versuchsaufbauten und schafft auch dadurch zusätzliche Synergien.

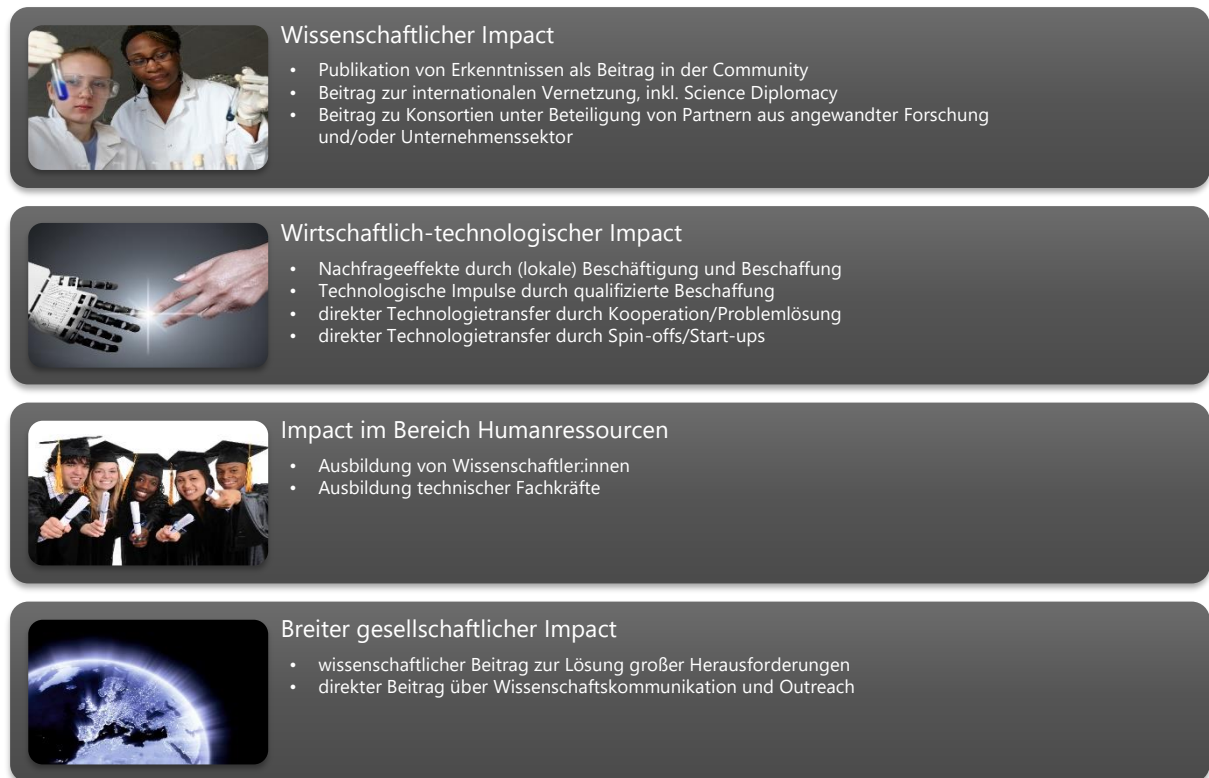
Insbesondere im Bereich des **wirtschaftlich-technologischen Impacts** finden sich zudem eine Vielzahl zusätzlicher Wirkungsmechanismen, die nur teilweise gezielt ausgelöst und daher bislang auch nur teilweise gezielt erfasst werden. Einerseits löst das DESY, wie oben dargestellt, durch die bloße lokale Präsenz als Wirtschaftsakteur (d.h. unabhängig von seiner eigentlichen Hauptaufgabe der Wissensgenerierung und akademischen Qualifikation) wesentliche lokale Nachfrageeffekte aus, die der Erwähnung bedürfen. Perspektivisch bedeutsamer dagegen sind jene Beiträge, die es durch technologische Impulse im Bereich der qualifizierten Beschaffung setzt, die technologisches Lernen und damit direkte Innovationseffekte im Unternehmenssektor auslöst. Wenige technische Komponenten und Lösungen sind ad hoc verfügbar, viele müssen in Kooperation mit Lieferanten entwickelt werden, wovon auch diese technologisch lernen. Zudem gibt es einige Fälle, in denen das DESY direkt mit Unternehmen kooperiert oder ehemalige DESY-Beschäftigte Unternehmen (Spin-offs/Start-ups) gegründet haben.

Im Bereich **Humanressourcen** ist einerseits der erhebliche Beitrag des DESY zur Qualifizierung von Wissenschaftler:innen zu erwähnen, der sich aus der Ermöglichung von Promotionen und weiteren Qualifizierungsarbeiten ergibt, die auf DESY-Daten und DESY-Infrastrukturen zurückgreifen. Da auch im Bereich der Grundlagenphysik nicht alle Absolvent:innen in der Wissenschaft verbleiben, wird auch hier die Grundlage für zukünftige sozioökonomische Breitenwirkungen gelegt. Darüber hinaus entstehen unmittelbare Qualifikationseffekte im Bereich technischer Fachkräfte in den Werkstätten, die zum Betrieb bzw. zur Errichtung der Anlage erforderlich sind, sowie ebenfalls in Forschungsmanagement und Verwaltung. In den vergangenen Jahren haben z.B. gerade auch nicht-wissenschaftliche Auszubildende des DESY mehrfach Preise z.B. der Kammern gewonnen.

Im Hinblick auf **gesellschaftliche Wirkungen** geht es einerseits um die grundsätzliche Erwägung, inwieweit wissenschaftliche Einrichtungen dazu beitragen können, zentrale, offene Fragen (in der Literatur oft als 'Puzzles' bezeichnet) der sozioökonomischen und sozioökologischen Entwicklung erstmalig zu lösen, andererseits um die vielfältigen, alltäglichen Beiträge, die eine Organisation wie das DESY im Bereich Wissenschaftskommunikation und *Outreach* bspw. in der Kooperation mit Schulen, Universitäten, aber auch der breiten Öffentlichkeit leistet – und die Rückwirkungen auch auf den Bereich Humanressourcen entfalten.

¹⁵ Kroll, H.; Hansmeier, H.; Hufnagl, M. (2022): Productive interactions in basic research an enquiry into impact pathways at the DESY synchrotron. Technological Forecasting and Social Change, 175, 121408. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121408>

Abbildung 3: Relevante Impact Pathways am DESY/PETRA III



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Kroll et al., 2022¹⁶ sowie dem RI-PATHS-Modell (Kroll et al. 2019¹⁷)

¹⁶ Kroll, H.; Hansmeier, H.; Hufnagl, M. (2022): Productive interactions in basic research an enquiry into impact pathways at the DESY synchrotron. Technological Forecasting and Social Change, 175, 121408. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121408>

¹⁷ Kroll, H.; Zenker, A.; Hansmeier, H.; Griniece, E.; Helman, A.; Angelis, J.; Vignetti, V.; Reid, A. (2019): Deliverable 4.2 Title–Consolidated report on the participatory workshop results. Report in the project – Research Infrastructure Impact Assessment pathway. https://ri-paths.eu/wp-content/uploads/2018/03/D4.2_Consolidated-report-on-the-participatory-workshop-results.pdf

3 Wirkungsmodell

Jenseits der dargestellten allgemeinen Erwägungen ist es für jede Impact-Studie erforderlich, ein für die jeweilige Forschungsinstitution spezifisches Wirkungsmodell zu entwickeln.

Grundlegend hierfür ist es einerseits, relevante Aktivitäten zu identifizieren, die seitens des DESY durch interne Monitoring-Mechanismen erfasst werden können, sowie andererseits, die im vorigen Kapitel noch eher allgemein dargestellten Wirkungsbereiche und -felder differenziert darzustellen.

Ziel einer Darstellung in Form eines Wirkungsmodells ist es im Folgenden, die vielfältigen, nicht selten indirekten und nicht immer unidirektionalen Bezüge zwischen Aktivitäten und Wirkungen darzustellen und – bei indirekten Wirkungsbezügen – jene Organisationstypen zu benennen, über die Wirkungen vermittelt werden.

Die für eine Wirkungsbetrachtung relevanten Aktivitäten lassen sich dabei im DESY-Kontext in drei zentrale Gruppen untergliedern.

In den Bereich der **wissenschaftsbezogenen Aktivitäten** fallen einerseits originär wissenschaftsbezogene Aktivitäten wie die Ermöglichung und Durchführung von Experimenten und Analysen, die Entwicklung und Etablierung wissenschaftlicher Standards sowie die akademische Ausbildung. Andererseits zählen zu ihnen ebenso Aktivitäten im Bereich der wissenschaftlichen und sektorübergreifenden Vernetzung z.B. in Projektkonsortien sowie Analysen mit dem Ziel der konkreten Problemlösung für nichtwissenschaftliche Akteure. Diese zählen insofern zum Kreis der wissenschaftsbezogenen Aktivitäten, als dass sie direkt auf wissenschaftlicher Wissensgenerierung aufbauen und nur an einer wissenschaftlichen Einrichtung durchgeführt werden können.

Ihre Wirkung entfaltet sich unmittelbar auf Basis von wissenschaftlichen Erkenntnissen bzw. der Diffusion dieser Erkenntnisse in der wissenschaftlichen Community sowie darüber hinaus.

Abzugrenzen hiervon sind **betriebs- und verwertungsorientierte Aktivitäten**, deren Wirkung sich nicht direkt über die Generierung und Diffusion wissenschaftlicher Erkenntnisse entfaltet, sondern vielmehr über die Schaffung der für sie notwendigen Voraussetzungen bzw. den gezielten Umgang mit bereits vorliegenden Ergebnissen. Hierbei besteht zwar ein enger Bezug zum wissenschaftlichen Arbeiten, allerdings nicht zu spezifischen Erkenntnissen einzelner Reihen von Experimenten. Stattdessen entfalten sie ihre Wirkung über den hohen technologischen Standard der zur Errichtung und zum Betrieb einer führenden Forschungsinfrastruktur erreicht und gehalten werden muss. Zwar können Teile und Anlagen durchaus teils direkt beschafft werden, nicht selten müssen allerdings seitens der Lieferanten zunächst spezifische Entwicklungen durchgeführt werden. Viele der seitens des DESY in die Privatwirtschaft transferierten Technologien resultierten eher aus der Entwicklung betriebsfähiger Strahlführungen (Beamlines), als aus konkreten, angewandten Forschungsaktivitäten.

Ihre Wirkung entfaltet sich damit auf Grundlage des für den Betrieb einer Forschungsinfrastruktur erforderlichen Einsatzes aktuellster Technologien.

Schließlich finden an Forschungsinfrastrukturen **gezielte Outreach-Aktivitäten** statt, die von der Organisation insgesamt ausgehen, oft ohne konkreten Bezug zu Einzelprojekten oder spezifischen Testumgebungen wie einzelnen Beamlines. Hierzu zählt u.a. die Öffnung der Einrichtungen für Personen ohne Fachkenntnisse oder konkreten beruflichen Bezug zur Wissenschaft mit dem Ziel einer verbesserten öffentlichen Wahrnehmung. Hierunter fallen unter anderem Veranstaltungen für interessierte Schüler:innen und Studierende zu Studienbeginn, aber auch solche für Bürger:innen und NGOs bzw. die Interaktion mit lokalen und überregionalen politischen Akteuren jenseits der unmittelbaren Fördergeber. Diese Aktivitäten stehen nicht unmittelbar mit im Rahmen von DESY erzeug-

tem Wissen in Verbindung, sondern zielen vielmehr auf eine allgemeine Verbesserung der öffentlichen Sichtbarkeit der Einrichtungen auf dem DESY Campus sowie von Forschungsinfrastrukturen allgemein.

Auf Seiten der Wirkungen finden sich entsprechend vier hauptsächliche Bereiche:

Wissenschaftliche Wirkungen ergeben sich vor allem durch die Verbreitung von im DESY-Kontext generierten wissenschaftlichen Erkenntnissen sowie, mittelfristig, durch die im DESY-Kontext entstehenden Vernetzungen mit neuen, wissenschaftlichen Partnern, die in Zukunft neue Kooperationen ermöglichen und oft bereits vorlaufend einen verbesserten Wissensfluss im Wissenschaftssystem sicherstellen.

Wirkungen im Bereich Humankapital ergeben sich einerseits unmittelbar durch die am DESY bestehenden Möglichkeiten zur wissenschaftlichen Qualifizierung, ergänzend zudem durch die Qualifizierung von Techniker:innen interner und externer Leistungserbringer. Somit ist der Bereich Humankapital in der Wirkungslogik zwischen Wissenschaft und Wirtschaft einzuordnen.

Wirtschaftliche Wirkungen ergeben sich einerseits durch die wirtschaftliche Tätigkeit des DESY als Arbeitgeber sowie im Bereich der Beschaffung, andererseits indirekter durch Produktivitäts- und Innovationseffekte, ausgelöst mittels konkreter Problemlösungen (Nutzereffekte) und die durch qualifizierte Beschaffung gesetzten Impulse zur Technologieentwicklung.

Breitere **gesellschaftliche Wirkungen** werden i.d.R. durch gezielte Wissenschaftskommunikation, stärker noch aber durch konkrete Outreach-Aktivitäten erzielt, die interessierten Akteursgruppen eine persönliche Erfahrung sowie ein besseres Verständnis der Aktivitäten am DESY ermöglichen. Zudem können vereinzelt Beiträge zur Lösung konkreter Herausforderungen geleistet werden.

Auch auf der Ebene der Wirkungsbeziehungen lassen sich vier wesentliche Typen unterscheiden (vgl. Abbildung 4):

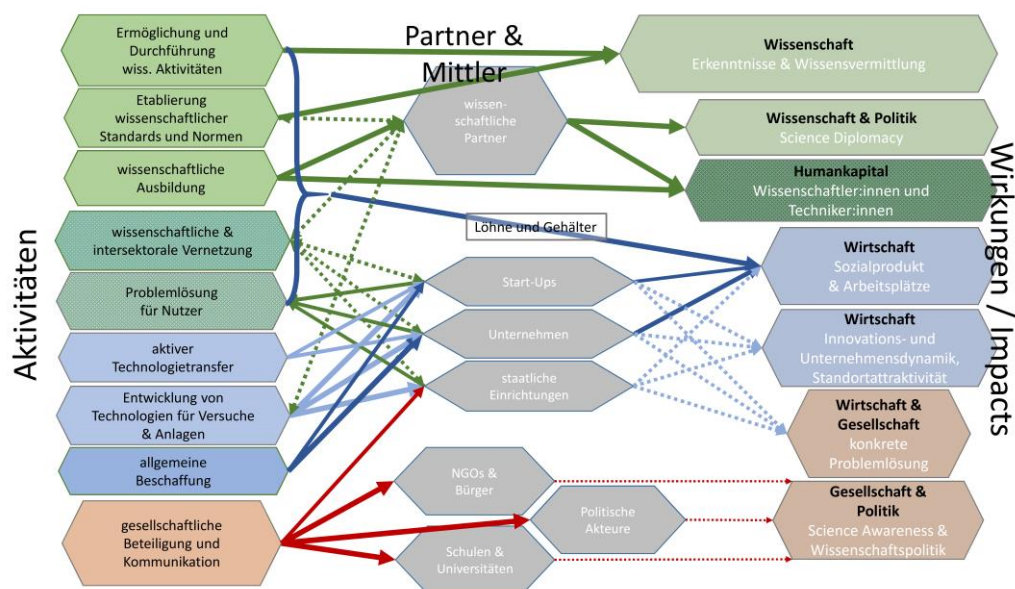
Wirkungen, vermittelt über die Diffusion von Erkenntnissen (grüne Linien), verlangen in der Regel hohe, fachspezifische Kompetenzen und eine Fähigkeit zur Interpretation und Kontextualisierung empfangener Informationen. Sie kommen daher im Wesentlichen im wissenschaftlichen Bereich zum Tragen, fallen dagegen in den Beziehungen zwischen DESY, Wirtschaft und Gesellschaft eher schwach aus. Zwar gibt es im Außenraum, z.B. unter konkret Projektbeteiligten, durchaus einzelne nichtwissenschaftliche Akteure, die die hochformalisierten Forschungsergebnisse auch direkt für sich nutzen können, dies ist aber nicht die Regel. Am ehesten gelingt eine solche primär wissenschaftsbasierte Wirkungsvermittlung im Kontext spezifischer Problemlösungen für externe Partner, in denen sich das DESY aktiv in die Interpretation der erzielten Erkenntnisse einbringt.

Wirkungen, vermittelt über technologisch nutzbare Informationen (hellblaue Linien), basieren auf der Vermittlung von praxisorientiertem Wissen. Entsprechende Bezüge entfalten sich vor allem basierend auf aktivem Technologietransfer, im Rahmen dessen Erkenntnisse entweder voraufbereitet oder "über Köpfe" transferiert werden (Start-ups), sowie der Entwicklung von Technologien für Ausrüstung und Anlagen, die bereits unternehmensseitig stattfindet. Infolge werden diese technologischen Erkenntnisse über Start-ups, Unternehmen und teils auch staatliche Einrichtungen in Wirtschaft und Gesellschaft vermittelt, wo sie zu Produktivitätsgewinnen beitragen sowie die Entstehung weiterer Unternehmensgründungen und Innovationen befördern. Zudem erhöhen sie die Attraktivität des Wirtschaftsstandorts Hamburg.

Wirkungen, vermittelt über monetäre Effekte (dunkelblaue Linien), spiegeln die Tatsache, dass das DESY – unabhängig von seiner konkreten Tätigkeit – ein wesentlicher Wirtschaftsakteur ist, der, wie jede andere Organisation durch die Zahlung von Löhnen und Gehältern sowie durch allgemeine Beschaffung positive Effekte im Wirtschaftsumfeld auslöst. Insbesondere im Rahmen der Bauphase wird so z.B. ein maßgeblicher Impuls im Bereich der Baubranche gesetzt, der nicht direkt von den am DESY verfolgten wissenschaftlichen Aktivitäten abhängt.

Wirkungen durch die Vermittlung allgemeiner Informationen (rote Linien), betreffen vor allem den Bereich der gesellschaftlichen Wirkungen. Diese sind in der Regel entkoppelt vom konkreten Forschungsgeschehen am DESY und beziehen sich vor allem auf die Vermittlung von zur Erreichung von 'Science Awareness' erforderlicher, allgemeiner Informationen.

Abbildung 4: DESY-spezifisches Wirkungsmodell



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von generischeren Entwürfen im Rahmen des RI-PATHS-Projekts (Kroll et al. 2019¹⁸)

Zusammenfassend zeigt das Wirkungsmodell, dass die Entfaltung von Wirkungen v.a. außerhalb des originär wissenschaftlichen Bereichs die Einbindung von und Öffnung für Partner aus nichtwissenschaftlichen Bereichen fast zwingend erfordert.

Nur wenige Akteure im nichtwissenschaftlichen Bereich sind in der Lage, den potenziellen Nutzen abstrakt formulierter wissenschaftlicher Erkenntnisse zu erfassen und zu bewerten bzw. aus ihnen konkrete Vorteile in der Verfolgung ihrer eigenen Aktivitäten zu ziehen.

Zur Intensivierung (bzw. überhaupt erstmaligen Konstituierung) der in Abbildung 4 dargestellten Wirkungsbezüge können in zwei unterschiedlichen, aber eng miteinander in Beziehung stehenden Bereichen verstärkte Anstrengungen unternommen werden.

Eine aktive Öffnung bestehender Test- und Experimentieranordnungen für Unternehmen und andere nichtwissenschaftliche Akteure sowie ggf. deren aktive Bewerbung könnte deren Zusammenarbeit mit dem DESY intensivieren. Erst als Folge solch konkreter Zusammenarbeit erhöht sich das beiderseitige Verständnis von Möglichkeiten und Limitationen auf deren Grundlage infolge auch andere, distanziertere Formen des Technologietransfers leichter realisierbar werden.

Parallel kann die Erfassung und Nutzung jener technologischen Neuerungen, die im Rahmen der Einrichtung sowie des Betriebs der Anlagen entwickelt werden, aktiv vorangetrieben werden. Hierdurch lässt sich das Potenzial einer diesbezüglichen Zusammenarbeit mit dem DESY weiteren innovativen Unternehmen vermitteln, die bislang noch nicht an der Entwicklung und Einrichtung von Anlagen beteiligt waren. Zwar sind viele dieser Aufgaben sehr spezifisch und damit die Zahl der geeigneten Anbieter gering, dennoch profitieren die entsprechenden Wirkungsbeziehungen in der Regel stark von einem bewussten Management relevanter Beschaffungsvorgänge.

¹⁸ Kroll, H.; Zenker, A.; Hansmeier, H.; Griniece, E.; Helman, A.; Angelis, J.; Vignetti, V.; Reid, A. (2019): Deliverable 4.2 Title – Consolidated report on the participatory workshop results. Report in the project – Research Infrastructure Impact Assessment pathway S. https://ri-paths.eu/wp-content/uploads/2018/03/D4.2_Consolidated-report-on-the-participatory-workshop-results.pdf

4 Wirkungen im Bereich der Wissenschaft (DESY Kernmission)

4.1 Einleitung

Eine, wenn nicht die zentrale Rolle jeder großen Forschungsinfrastruktur liegt darin, wissenschaftliche Forschung zu ermöglichen. Entsprechend ist auch ihr Erfolg und die Wirksamkeit der in ihrem Zusammenhang stattfindenden Aktivitäten nicht zuletzt daran zu bemessen, inwieweit diese zum wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn beitragen. Dieser Erkenntnisgewinn wurde seit Aufnahme des Betriebs von PETRA III in insgesamt ca. 5.200 Publikationen veröffentlicht.

Bei allen bekannten Kritikpunkten an der verkürzenden Verwendung bibliometrischer Indikatoren im Sinne von Key Performance Indicators (Kennzahlen) auf sowohl individueller als auch organisatorischer Ebene bilden diese dennoch unzweifelhaft einen wesentlichen Anhaltspunkt zur Bemessung wissenschaftlicher Beiträge.

Wichtiger noch als Aussagen zum absoluten Umfang solcher Beiträge, der stets schwer eindimensional zu bemessen sein wird, ist dabei die Möglichkeit, mittels bibliometrischer Analysen Aussagen über die Zusammensetzung und Entwicklung wissenschaftlicher Aktivitäten in einem gegebenen Zusammenhang zu machen.

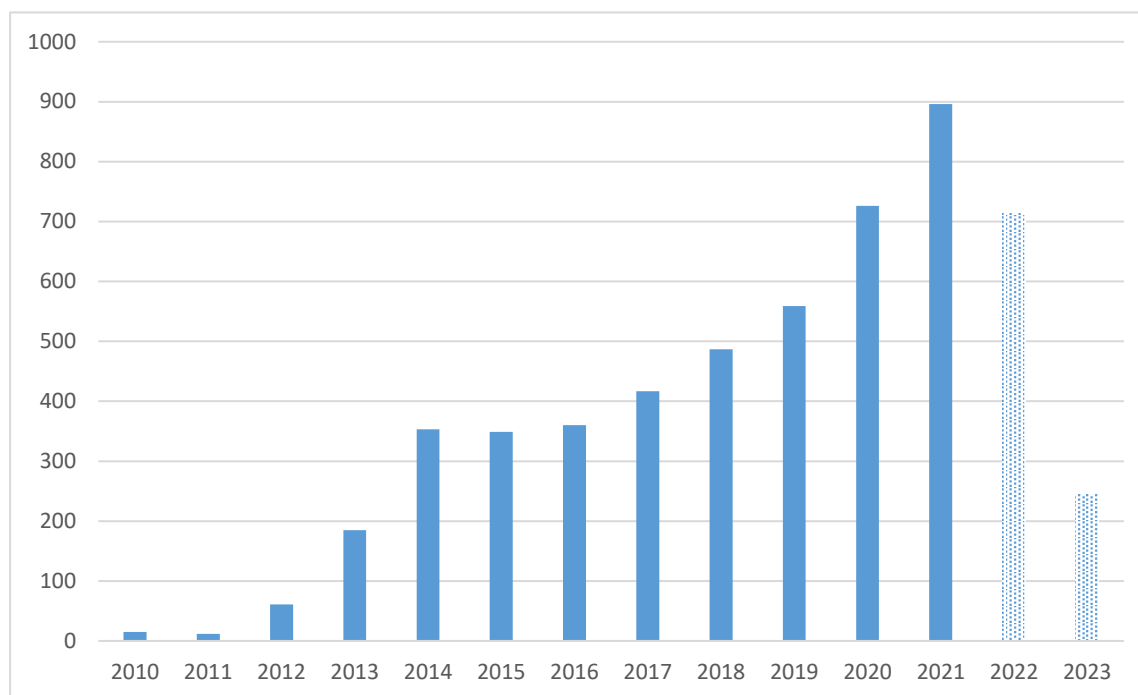
Vor diesem Hintergrund und in Anerkennung dieser Limitationen werden die folgenden Analysen die im Rahmen von PETRA III-basierten Experimenten erstellten Beiträge darstellen und bewerten. Die Analysen basieren dabei auf einem seitens der DESY Bibliothek geführten Verzeichnis von Publikationen, die im Zusammenhang mit PETRA III-basierten Aktivitäten entstanden sind. Dieses wurde seitens Fraunhofer ISI mit der Datenbank Elsevier SCOPUS zusammengeführt, um auf dieser Grundlage vertiefende bibliometrische Analysen durchführen zu können. Bei den hier betrachteten Veröffentlichungen handelt es sich dabei zu fast 95% um klassische Veröffentlichungen. Die Zahl der Conference Proceedings (Konferenzbeiträge) liegt bei unter 5%.

Zur Verbesserung der Lesbarkeit werden Details methodischer Ansätze im Folgenden nicht überall ausgeführt. In der Regel handelt es sich bei der in diesem Teil der Studie verwendeten Methodik aus Gründen der Vergleichbarkeit um bereits erprobte Definitionen und Verfahren. Diese sind, insofern möglich, im Quellenverzeichnis oder Anhang erläutert bzw. können bei Bedarf zur Verfügung gestellt werden.

4.2 Allgemeine Entwicklung

Abbildung 5 zeigt auf, dass ein erster wissenschaftlicher Impact ca. zwei bis drei Jahre nach Eröffnung von PETRA III (also ab 2014/2015) zu beobachten war. Angesichts der Tatsache, dass die Durchführung eines Experiments inklusive der Analyse der Daten oft mindestens ein Jahr in Anspruch nimmt und auch bei qualitativ hochwertigen Studien leicht ein weiteres Jahr vergeht, bis der akademische Peer-Review-Prozess abgeschlossen ist, ist diese Verzögerung zu erwarten. Im Gegenteil zeugt sie von einer recht unmittelbaren Wirksamkeit der im Rahmen von PETRA III stattfindenden Aktivitäten.

Detaillierter lässt sich nach einem initialen Aufwuchs ab 2014 als Folge einer Betriebspause zur Erweiterung von PETRA III zunächst eine erste Stabilisierung des wissenschaftlichen Outputs beobachten, der infolge des fortschreitenden Ausbaus ab ca. 2017 erneut anstieg und sich insbesondere seit 2019 noch einmal deutlich erhöhte. 2021 wurde so ein nahezu zweieinhalb Mal so hoher wissenschaftlicher Output realisiert wie 2014.

Abbildung 5: Anzahl aller PETRA III-Publikationen in SCOPUS nach Jahren

Quelle: Analyse der DESY Bibliothek basierend auf WoS, Stand 09/2023, Jahrgänge 2022 und 2023 unvollständig

4.3 Fachliche Struktur

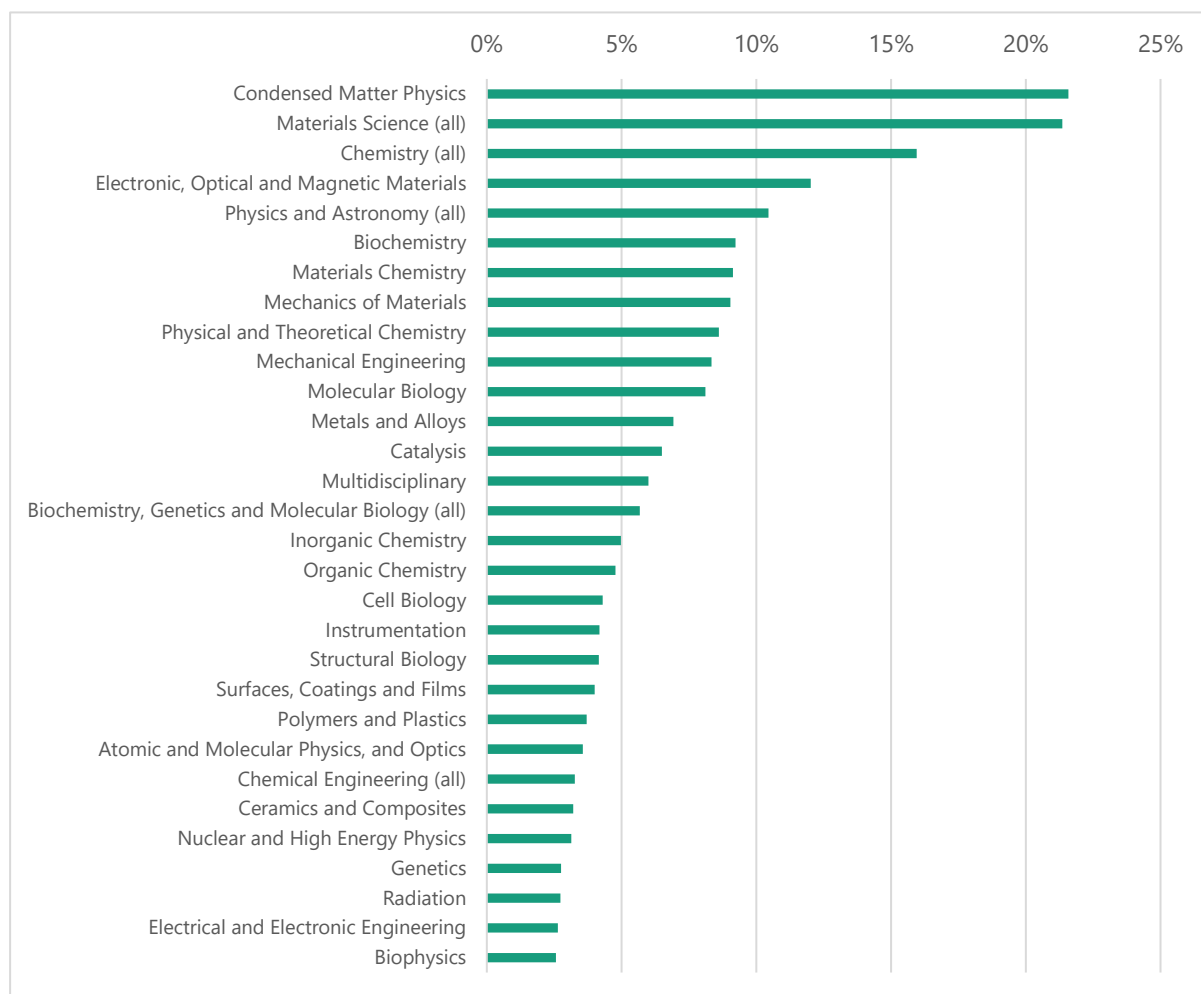
Im Zusammenhang mit PETRA III-basierten Experimenten entstandene Publikationen sind fast ausschließlich im Bereich der Natur- und Ingenieurwissenschaften zu verorten. Nur sehr wenige Publikationen sind (auch) von Autor:innen verfasst, die (mit Blick auf die Mehrzahl ihrer Publikationen) v.a. außerhalb dieser Felder publizieren.¹⁹ Immerhin fast 50% haben allerdings mindestens ein:e Ko-Autor:in außerhalb des Kernbereichs der Physik.

Detaillierter entfallen die meisten Publikationen auf die Bereiche²⁰ *Condensed Matter Physics* (22%) und/oder *Material Sciences* (21%). Es folgen *Chemistry* mit 16%, *Electronic, Optical, Magnetic Materials* mit 12%, *Physics and Astronomy* mit 10%, mit 9% *Biochemistry, Materials Chemistry, Mechanics of Materials* und *Physical and Theoretical Chemistry*, sowie mit 8% *Mechanical Engineering* und *Molecular Biology*.

Bei Verwendung größerer Kategorien lassen sich entsprechend sogar 43% aller Publikationen dem Oberbereich *Material Sciences* sowie 40% dem Bereich *Physics and Astronomy* zuordnen. Es folgen *Chemistry* mit 33% sowie *Biochemistry, Genetics and Molecular Biology* mit 23% und *Engineering* mit 15%. Die noch größere FoS-Klassifizierung der OECD verortet ca. 80% der Arbeiten im Bereich *Natural Sciences*, 46% im Bereich *Engineering and Technology*, 43% im Bereich *Materials Engineering*, 40% im Bereich *Physical Sciences and Astronomy*, 34% im Bereich *Chemical Sciences* und 25% im Bereich *Biological Sciences*. Doppelzuordnungen zu verschiedenen Fachbereichen sind dabei in beiden Fällen möglich und üblich, wie im Folgenden näher ausgeführt wird.

¹⁹ Die hauptsächliche fachliche Orientierung einer Autor:in wird anhand der mehrheitlichen ASJC-Zuordnung aller von ihr/ihm bislang verfassten wissenschaftlichen Artikel bestimmt. Im seltenen Fall einer exakt gleichen Anzahl wird zufällig eine von beiden zugewiesen.

²⁰ Verwendet werden unterschiedliche Gliederungsebenen der in Elsevier SCOPUS verwendeten All Science Journal Classification (ASJC).

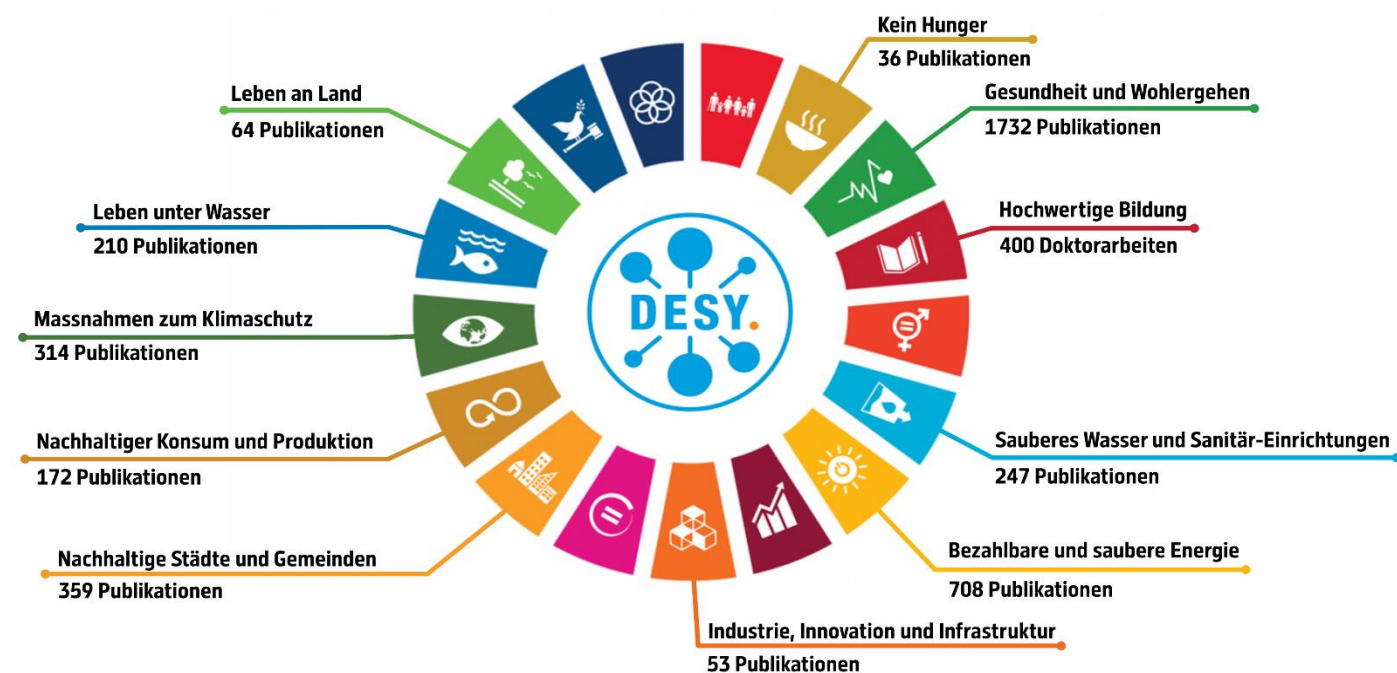
Abbildung 6: Anzahl aller PETRA III-Publikationen in SCOPUS nach Themenbereichen

Quelle: Analyse des Fraunhofer ISI, basierend auf Daten von Elsevier SCOPUS und DESY

Arbeiten an fachlichen Schnittstellen sind eher die Regel als die Ausnahme, was daraus deutlich wird, dass bei fachlich anteiliger Zählung auf die Bereiche *Condensed Matter Physics* und *Material Sciences* nur 8% bzw. 10% entfallen, was darauf hindeutet, dass Arbeiten überwiegend in Zeitschriften erscheinen, die mehr als einem Themenfeld zugeordnet sind. Auch bei Verwendung größerer Kategorien entfallen mit 21% für *Material Sciences*, 23% für *Physics and Astronomy*, 15% für *Chemistry*, 16% für *Biochemistry, Genetics and Molecular Biology* und lediglich 6% für Engineering bei anteiliger Zählung wesentlich geringere Anteile auf die entsprechenden Bereiche. Auch der Anteil der interdisziplinären Publikationen, d.h. jener, die Referenzen aus anderen Feldern zitieren, liegt mit 32% nahezu im nationalen Mittel (der Anteil interdisziplinärer Publikationen liegt für alle deutschen Veröffentlichungen bei zzt. 36%).

Mit Blick auf Nachhaltigkeit lassen sich Beiträge zu zahlreichen Zielen der Vereinten Nationen (SDGs) identifizieren, wie Abbildung 7 verdeutlicht. Vor allem zum Ziel SDG 3 *Gesundheit und Wohlergehen* als auch zu umweltpolitischen Aspekten (SDG 6 Sauberes Wasser und Sanitär-Einrichtungen, SDG 11 Nachhaltige Städte und Gemeinden, SDG 12 Nachhaltiger Konsum und Produktion sowie SDG 13 Maßnahmen zum Klimaschutz) und Energiefragen (SDG Ziel 7) können Publikationen beitragen. Insgesamt leisten ca. 80% aller im PETRA III-Kontext entstandenen Publikationen einen Beitrag zu wichtigen Nachhaltigkeitszielen. Das Ziel *hochwertige Bildung* wird symbolisiert durch 400 abgeschlossene Doktorarbeiten an PETRA III, die der DESY Bibliothek als Publikationen vorlegt wurden, d.h. die eigentliche Zahl liegt noch höher.

Abbildung 7: PETRA III-Publikationen mit thematischen Beiträgen zu den UN-Zielen für eine nachhaltige Entwicklung



Hinweis: Publikationen klassifiziert auf Basis der Web of Science Sustainability Goals Classification
 Quelle: Darstellung DESY, auf Basis eigener Analysen

4.4 Visibilität der Publikationen

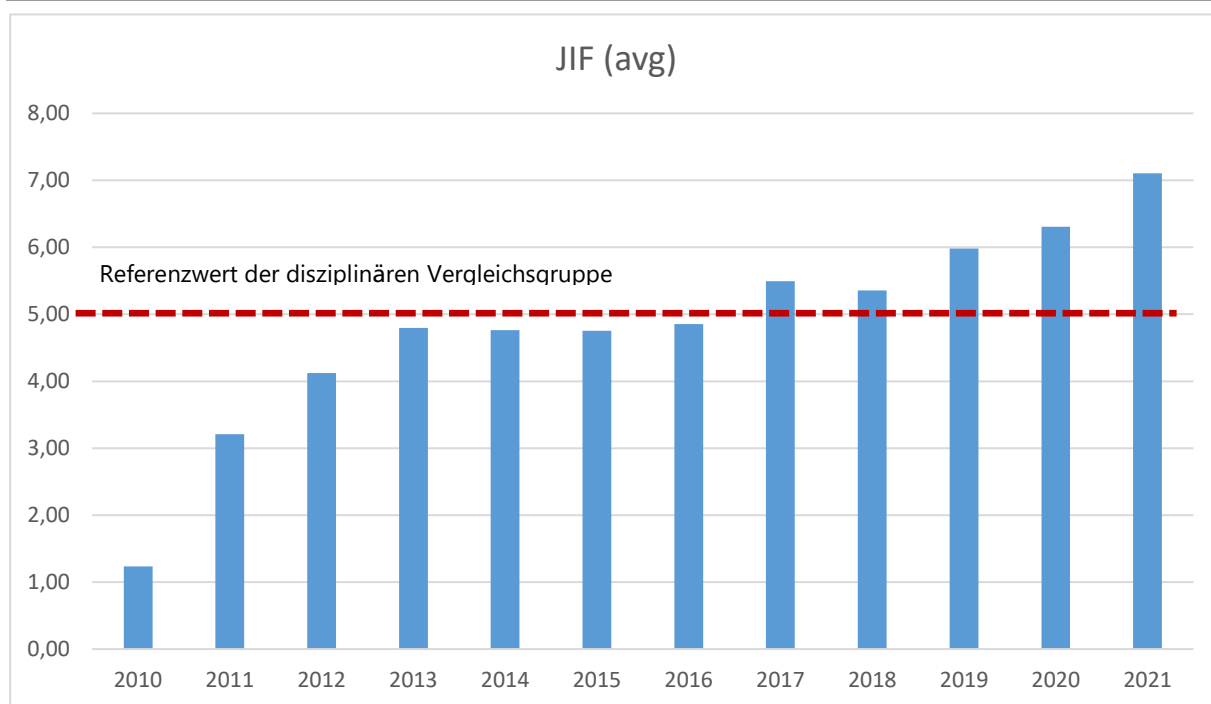
Wie einleitend dargestellt, ist die inhaltliche Qualität von Publikationen anhand bibliometrischer Indikatoren nicht leicht absolut zu bewerten. Allerdings ermöglichen es zitationsbasierte Indikatoren, eindeutig zu dokumentieren, in welchem Umfang Veröffentlichungen in der wissenschaftlichen Community rezipiert wurden (Visibilität). Hierbei kann einerseits auf direkte Zitate abgestellt werden (z.B. feldkorrigierter Crown Indicator bzw. Exzellenzrate, d.h. Anteil unter den 10% meist zitierten Publikationen), andererseits auf die durchschnittliche Sichtbarkeit der Journals, in denen publiziert wird (z.B. Impact Factor, vgl. Abbildung 8). Die im Zusammenhang mit PETRA III-basierten Experimenten entstandenen Publikationen erreichten diesbezüglich von Anfang an einen hohen Standard bzw. eine hohe akademische Sichtbarkeit.

Schon 2014 lag der mittlere Impact Factor²¹ der wissenschaftlichen Zeitschriften (Journals), in denen entsprechende Artikel erschienen, nahe dem Referenzwert, der sich für eine hinsichtlich ihrer disziplinären Zusammensetzung strukturgleiche Gruppe von Publikationen in internationalen Mittel ergäbe²². Seit 2019 hat er diesen theoretischen Bezugswert von ca. 5,65 sogar klar überschritten, 2021 lag er bereits bei ca. 7,10. Auch die tatsächliche Exzellenzrate der Publikationen blieb über den Zeitraum von 2014-2019 stabil und vergleichsweise hoch, in der Größenordnung von ca. 13%, der mittlere Crown Indicator, d.h. die tatsächliche feldgewichtete Zittrate lag bei ca. 1,13 (vgl. Abbildung 9).

²¹ Der Impact Factor wird berechnet auf Grundlage der bisherigen Zitationen, die alle in einem Journal veröffentlichten Artikel erhalten haben. Somit dokumentiert er die mittlere Sichtbarkeit der entsprechend wissenschaftlichen Zeitschrift insgesamt.

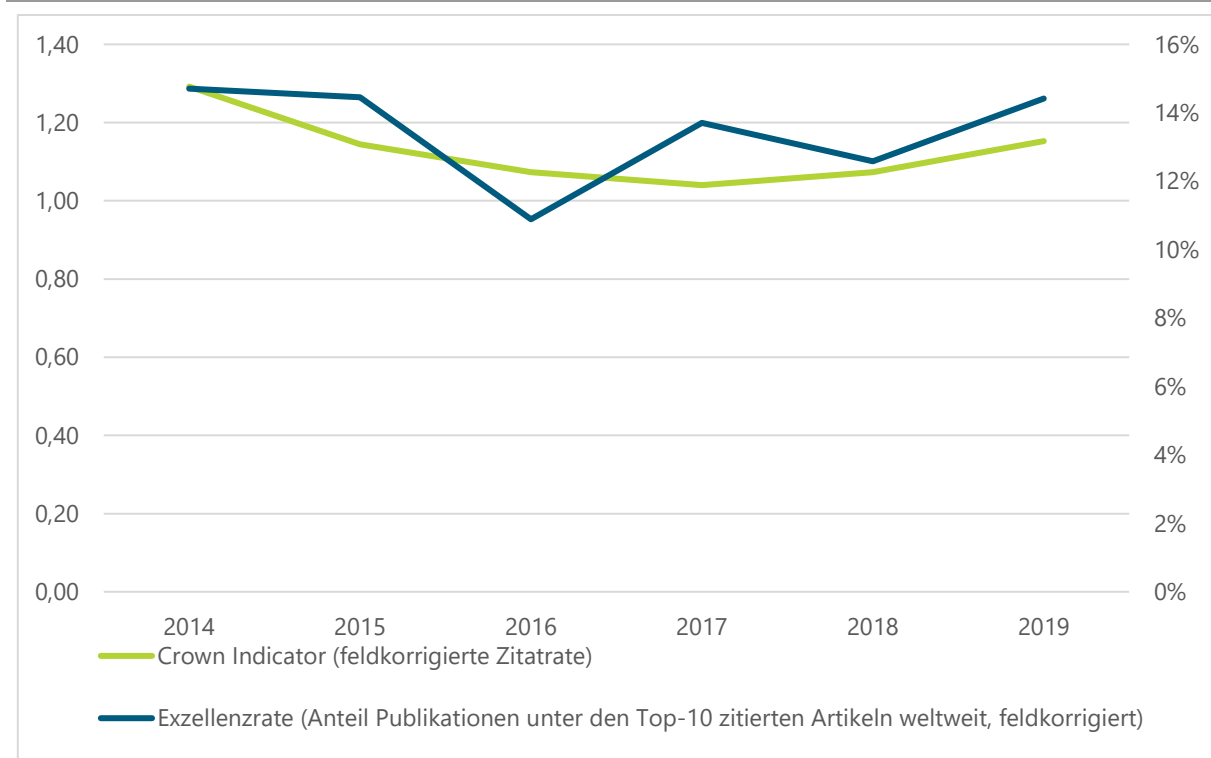
²² Da sich das Zitationsverhalten und damit auch die mittlere Zittrate zwischen akademischen Disziplinen teils stark unterscheiden, sind Vergleiche nur zwischen disziplinär strukturgleichen Stichproben möglich.

Abbildung 8: Durchschnittlicher Journal Impact Factor aller PETRA III-Publikationen



Quelle: Analyse des Fraunhofer ISI, basierend auf Daten von Elsevier SCOPUS und DESY

Abbildung 9: Exzellenzrate und Crown Indicator aller PETRA III-Publikationen in SCOPUS



Quelle: Analyse des Fraunhofer ISI, basierend auf Daten von Elsevier SCOPUS und DESY

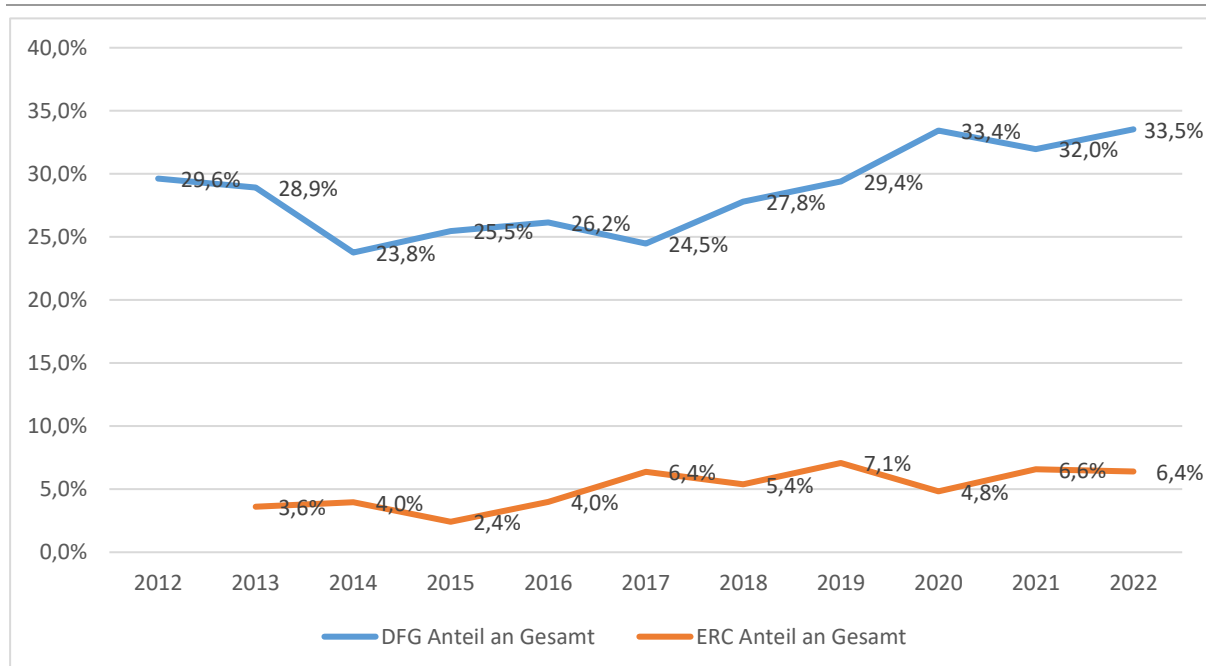
4.5 Finanzierung durch renommierte Fördergeber

Als weiterer Indikator für eine hohe Visibilität und Attraktivität des DESY kann die Nutzung von PETRA III durch ERC Grantees²³ gewertet werden: Allein im Jahr 2021 wurden 59 Publikationen von 39 ERC Grant-finanzierten Forschenden mit PETRA III-Daten veröffentlicht.

Insgesamt resultierten seit Inbetriebnahme von PETRA III durchgängig über 20% aller wissenschaftlichen Publikationen im PETRA III-Kontext aus DFG-geförderten Projekten und fast durchgängig über 4% aus ERC-geförderten Projekten (Abbildung 10). Trotz der allgemein steigenden Publikationszahl (vgl. Abbildung 5) hat sich ihr relativer Anteil dabei über die Jahre dabei sogar noch erhöht. 2022 resultierten 33,5% aller auf PETRA III-basierte Forschungsarbeiten zurückgehenden Publikationen auf DFG-geförderten Projekten sowie 6,4% auf ERC-geförderte Projekte.

Insbesondere die auf ERC-geförderten Projekten basierenden Publikationen sind dabei disziplinär auch etwas breiter gestreut, als dies für PETRA III-basierte Arbeiten anderenfalls üblich ist. So entfallen nur etwa 15% auf den Kernbereich Materialwissenschaften, auf die beiden folgenden Bereiche Multidisziplinäre Chemie und Multidisziplinäre Wissenschaften dagegen zusammen über 22%. Es folgen Physikalische Chemie, Molekularbiologie und angewandte Physik.

Abbildung 10: Anzahl Publikationen, gefördert durch DFG oder ERC



Quelle: Analyse der DESY Bibliothek basierend auf WoS, Stand 09/2023, Jahrgänge 2022 und 2023 unvollständig

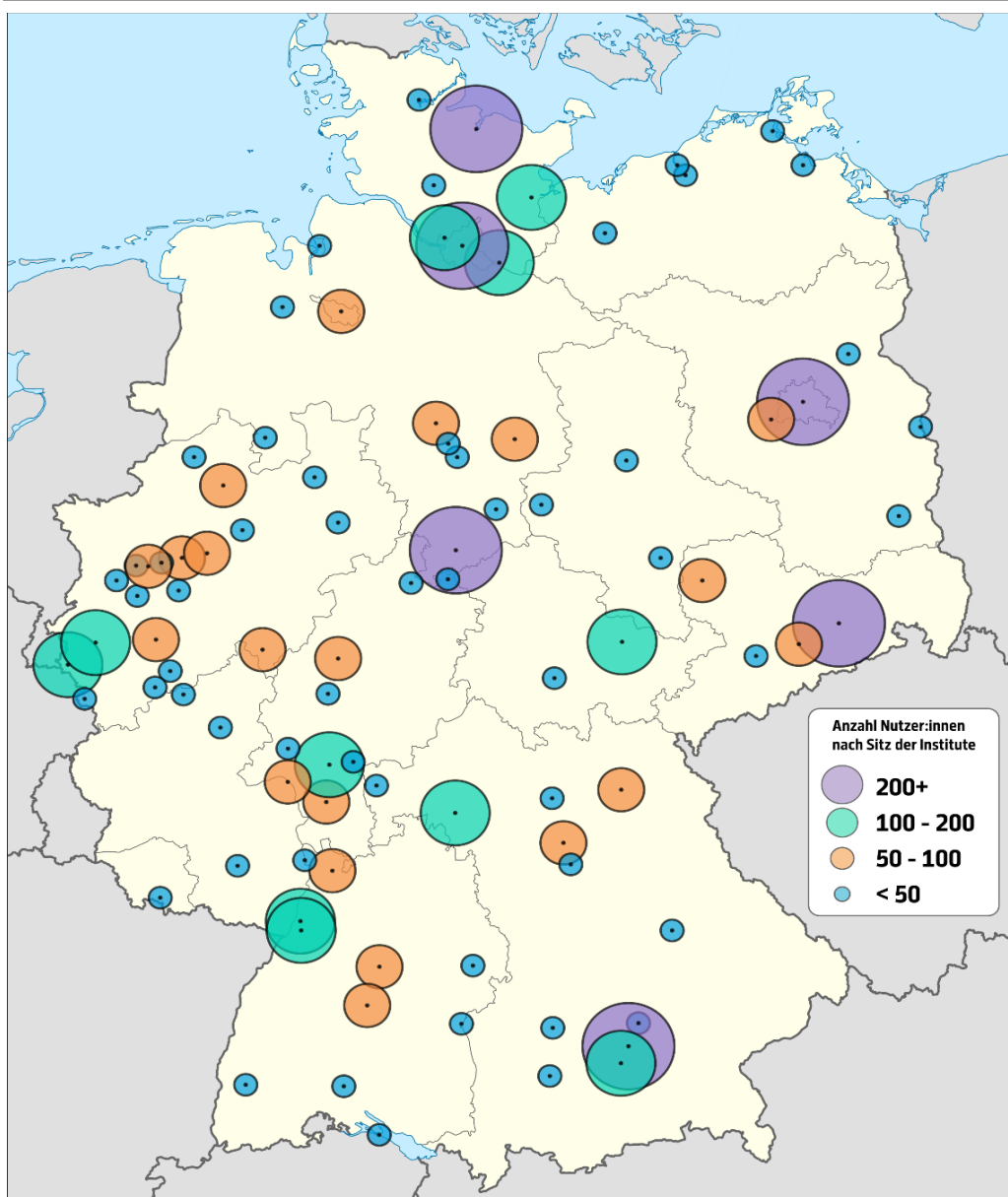
²³ Die EU-Forschungsförderungen (ERC-Grants) von bis zu 3,5 Mio. Euro unterstützen Wissenschaftler:innen, die über anerkannt erfolgreiche Forschungsleistungen verfügen.

4.6 Vernetzungseffekte in Deutschland

Insgesamt liegt der Anteil der an PETRA III Forschenden aus Deutschland bei etwa 52%, was exemplarisch für das Jahr 2022 einer Gesamtzahl von 1.870 Wissenschaftler:innen entspricht.

Wie Abbildung 11 verdeutlicht, ist die Beteiligung forschender Institute dabei über ganz Deutschland verteilt, mit einer deutlichen Nachfrage von Universitäten mit Exzellenzstatus: Insgesamt publizierten Forschende von 27% der deutschen Exzellenzcluster verwendeten Daten, die durch Experimente an PETRA III generiert wurden. Und auch die Exzellenzcluster der Universität Hamburg *Understanding Written Artefacts* und *CUI: Advanced Imaging of Matter* profitieren durch Experimente am Synchrotron.

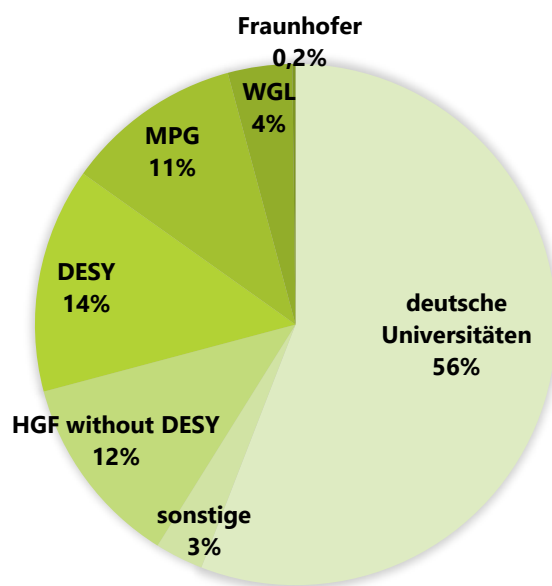
Abbildung 11: Anzahl deutscher Nutzer:innen mit Universitätszugehörigkeit in 2022



Quelle: Darstellung des DESY auf Basis eigener Analysen

Auch aus den Reihen der deutschen Allianz außeruniversitärer Wissenschaftsorganisationen (Max-Planck-Gesellschaft (MPG), Fraunhofer-Gesellschaft (FhG), Leibniz-Gemeinschaft (WGL) und Helmholtz Gemeinschaft (HGF) fand und findet eine regelmäßige Nutzung der PETRA III-Einrichtungen statt, auch wenn diese in den offiziellen Nutzerstatistiken nicht immer komplett erfasst sind, bzw. die Beteiligung von Allianzorganisationen an größeren Konsortien nicht immer vollständig erkennbar ist. Auf die MPG entfielen seit 2015 dabei immerhin 11% aller Strahlzeiten, auf die HGF (ohne das DESY selbst) 12% und auf Institute der WGL 4%. Auch Fraunhofer-Institute nahmen vereinzelt Messungen vor (Abbildung 12).

Abbildung 12: Prozentuale Verteilung der PETRA III-Strahlzeiten auf die deutsche Forschungseinrichtungen (seit 2015)



Quelle: Interne Analysen auf Basis von DOOR-Daten

4.7 Internationale Kooperationen

Wie in Tabelle 1 dargestellt, übernimmt das DESY eine wesentliche Rolle als Vermittlerin globaler Kooperation in der Wissenschaft. Lediglich ca. ein Fünftel aller Publikationen im PETRA III-Kontext werden ausschließlich von deutschen Autor:innen verfasst, ein weiteres Drittel von ausschließlich europäischen Autor:innen. 47% aller Publikationen hingegen resultieren aus globalen Kooperationen, davon allerdings fast alle unter Einbeziehung europäischer Partner. Bei weiteren 11% handelt es sich um Veröffentlichungen ausschließlich außereuropäischer Autor:innen.

Tabelle 1: Anteil PETRA III-basierte Publikationen nach Kooperationstypen

Publikationen mit...	
...ausschließlich deutschen Autor:innen	22%
...mit ausschließlich europäischen Autor:innen (EU27)	20%
...ausschließlich nichteuropäischen Autor:innen	1%
...europäischen (EU27) und nichteuropäischen Autor:innen	46%
...Autor:innen aus spezifischen anderen Ländern	11%

Quelle: Analyse des Fraunhofer ISI, basierend auf Daten von Elsevier SCOPUS und DESY

Die nationale Affiliation der Autor:innen (Zugehörigkeit zu Institutionen) belegt dabei, wie sehr Aktivitäten im Rahmen von PETRA III-basierten Experimenten deutsche Wissenschaftler:innen mit der Welt vernetzen. Mit ca. 41% ist ein wesentlicher Anteil aller Autor:innen auf den genannten Publikationen an deutschen Einrichtungen affiliert, gefolgt von den USA, Großbritannien, China, Schweden, Frankreich und Russland. Insgesamt finden sich auf Grundlage von PETRA III-basierten Experimenten entstandenen Publikationen Autor:innen mit Affiliationen in 80 Ländern (exkl. Deutschland), davon stellen 50 Länder je mehr als 10 Autor:innen, 28 Länder je mehr als 100 Autor:innen und 17 Länder je mehr als 250 Autor:innen.

Relevant für diese, auch internationale, Vernetzung ist darüber hinaus die externe Finanzierung von Strahlführungen. Rund ein Drittel der Strahlführungen wird durch externe Organisationen wie beispielsweise EMBL oder Hereon betrieben. Aber auch andere Bundesländer oder Staaten haben die Bedeutung von Synchrotronmessungen erkannt und den Bau von Beamlines finanziert. Beispielsweise engagiert sich Schweden in Errichtung und Betrieb von 1,5 und Indien von 1,3 Beamlines. Durch diese Finanzierung von Strahlführungen wird im Gegenzug der Zugang zu allen Beamlines gewährt. Neben den genannten staatlichen Akteuren geht auch der Freistaat Sachsen diesen Weg einer prioritären Nutzung über eine Investition in Beamlines. Mit Blick auf PETRA IV ist davon auszugehen, dass das EMBL sich in ähnlichem oder sogar erhöhtem Maß einbringen wird, während aus Schweden ein weiterhin konstantes Engagement erwartet wird.

Darüber hinaus wurde nach interner Dokumentation des DESY mit dem DESY Photon Science Users' Meeting *Research with Synchrotron Radiation and FELs*²⁴ und European XFEL User Meeting, welche jedes Jahr gemeinsam Ende Januar abgehalten werden, die weltweit größte Konferenz für die Community der Synchrotronforschung etabliert. Nach der Inbetriebnahme von PETRA III im Jahr 2012 wurde mit ca. 700 Teilnehmer:innen gestartet, mittlerweile kommen jährlich knapp 1.200 Nutzer zu dieser wissenschaftlichen Konferenz zusammen (in den Jahren 2021-2022 wurden sogar knapp 2.000 Teilnehmer:innen beim virtuellen Format der Konferenz gezählt). Im Schnitt kommen die Teilnehmer:innen aus über 25 Ländern und auch die zunehmende Zahl an sogenannten *Satellite Meetings*²⁵, parallel stattfindende Panels, die u.a. wissenschaftsflankierende Fokusthemen wie Datenverarbeitung oder die Zusammenarbeit mit Industrienutzern behandeln, ist ein Indiz für die gute Vernetzung des DESY (PETRA III) und weiteren Campuspartnern.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass 48% der Nutzer:innen keine deutsche Affiliation hatten und insgesamt seit dem Start von PETRA III 6.300 Nutzer:innen aus 60 Ländern zu Messungen nach Hamburg kamen.

4.8 Direkte Innovationswirkungen der Wissenschaft

Weitere Wirkungen der wissenschaftlichen Tätigkeit des DESY ergeben sich durch die Nutzung der publizierten Erkenntnisse in Patentschriften unterschiedlicher Organisationen und forschender Akteure. So wurden bspw. von den zwischen 2012 und 2022 mit einem *Digital Object Identifiers* (DOI) versehenen Publikationen, die auf Arbeiten an PETRA III (2015 einschließlich EMBL) zurückgehen, 280 Veröffentlichungen in insgesamt 533 Patentfamilien, also inhaltlich distinkten Patentanmeldungen, zitiert. Insgesamt sind Zitierungen in 646 Patentedokumenten recherchierbar, die allerdings teils inhaltlich identisch sind und sich lediglich durch ihre rechtliche Wirksamkeit in unterschiedlichen Jurisdiktionen unterscheiden (vgl. Tabelle 2).²⁶

²⁴ Weitere Informationen https://photon-science.desy.de/users_area/users%27_meeting/index_eng.html

²⁵ Im Jahr 2012 wurden zehn Satellite Meetings abgehalten, 2022 waren es mit 21 Veranstaltungen fast doppelt so viele (Quelle: DESY Photon Science User Office Konferenzorganisation).

²⁶ Patente mit demselben oder ähnlichem technischen Inhalt (d.h. ohne Doppelzählungen).

Insgesamt belegen diese Erkenntnisse, dass im DESY generierte Forschungsergebnisse regelmäßig auch im anwendungsnahen Bereich aufgenommen und weiterentwickelt werden. Hierbei sind sie aus wirtschaftlich-technologischer Sicht relevant genug, sodass die in diesem Zusammenhang entstehenden praktischen Lösungen mittels Patenten als geistiges Eigentum geschützt werden. Diese Einschätzung, dass sich die Investition in einen Patentschutz lohnt, unterstreicht, dass erwartet wird, dass mit am DESY generierten Ergebnissen verbundene Erfindungen zeitnah zur Entstehung marktfähiger Entwicklungen beitragen werden. Beispiele solcher Patente finden sich u.a. im Bereich der 3D-Röntgenbildgebungssysteme, Messungen in Pulshöhenspektren sowie von Verfahren zur Übertragung organischer Halbleiterschichten auf Substrate. Entsprechende Patentanmeldungen erfolgen dabei durch Hochschulen und Forschungseinrichtungen ebenso wie durch privatwirtschaftliche Unternehmen.

Tabelle 2: Zitierte wissenschaftliche Artikel unter DESY-Beteiligung in Patentanmeldungen 2012-2022

Jahr	Anzahl zitierter wissenschaftlicher Artikel	Anzahl Patentedokumente	Anzahl zugehöriger Patentfamilien	Anzahl Patentanmeldungen
2012	7	14	10	10
2013	18	51	37	18
2014	37	112	84	60
2015	39	82	70	45
2016	29	57	49	27
2017	32	97	79	65
2018	38	58	48	41
2019	33	95	84	60
2020	17	33	29	27
2021	25	41	37	28
2022	5	6	6	3

Quelle: Zählungen in lens.org (Stand: September 2023) basierend auf DESY-PUBDB, PETRA III

4.9 Installation und Nutzung extern finanzierter Anlagen

Neben Vernetzungseffekten durch wissenschaftliche Veröffentlichungen ist das DESY auch auf andere Weise mit der internationalen Wissenschaftsgemeinschaft verbunden. Dies lässt sich am Beispiel der am DESY auf Basis öffentlich finanzierter Anlagen Forschenden veranschaulichen, die das DESY im Auftrag anderer Beschleuniger-Betreiber sowie auf Beschleunigertechnologie spezialisierten Unternehmen durchführt.

Für die Installation und Nutzung solcher aus zusätzlichen Quellen finanzierten Anlagen werben verschiedene Forschungseinrichtungen und Universitäten regelmäßig finanzielle Ressourcen beim BMBF ein. Die so finanzierten Geräte und Aufbauten verbleiben rechtlich im Besitz der zahlenden Organisationen, sind physisch jedoch am DESY fest installiert und können dort auch von anderen Wissenschaftler:innen genutzt werden.

In dreijährigem Rhythmus vergibt das BMBF entsprechende Mittel im Rahmen einer spezifischen Ausschreibung.²⁷ Basierend auf dieser durch das BMBF geförderten Kooperation, die zu zusätzliche Geräten sowie Forschungspersonal am DESY führt, kann die wissenschaftliche Forschung an den Strahlungsquellen weiter ausgebaut und diversifiziert werden. In den vergangenen zehn Jahren konnten so rund 80 Kooperationen im Kontext von PETRA III zwischen DESY und weiteren Einrichtungen lanciert werden. Allein im Jahr 2022 profitierte das DESY und die wissenschaftliche Forschung auf dem Campus insgesamt von zusätzlichen Mitteln in Höhe von 30-40 Mio. Euro. In der jüngsten ErUM-Pro-Ausschreibung des BMBF waren 32 Anträge von Universitäten zu Anlagen und Untersuchungen an PETRA III erfolgreich (Gesamtsumme: 16,6 Mio. Euro), daneben 11 Anträge für den Freie-Elektronen-Laser FLASH (Gesamtsumme: 8,1 Mio. Euro) und zwei Anträge für FuE-Beschleuniger (Gesamtsumme: 1,3 Mio. Euro).

4.10 Zusammenfassung und Ausblick auf PETRA IV

Mit Blick auf die auf Grundlage von PETRA III-basierten Experimente erfolgten wissenschaftlichen Aktivitäten lässt sich folgendes feststellen:

- eine wissenschaftliche Wirkung wurde fast unmittelbar und in maßgeblichem Umfang erreicht,
- sie wuchs in direkter Abhängigkeit zum fortschreitenden Ausbau von PETRA III sowie der Installation zusätzlicher Beamlines graduell weiter an,
- der klare Schwerpunkt der wissenschaftlichen Aktivitäten im PETRA III-Kontext liegt im Bereich der Natur- und Ingenieurwissenschaften, allerdings nicht singular im Bereich Physik und Materialwissenschaften, sondern u.a. auch im Bereich Biologie,
- die Analyse liefert aus unterschiedlichen Perspektiven Belege für Kooperationen über disziplinäre Grenzen, diese bilden eher die Regel als die Ausnahme,
- die Qualität/Visibilität der Publikationen erreichte stets internationale Standards und übertrifft diese mittlerweile sogar.

Die Analyse belegt, dass PETRA III-Aktivitäten eine wichtige Funktion beim Anstoß globaler Kooperationen deutscher Wissenschaftler:innen erfüllten.

Sowohl mit Blick auf die im Rahmen von PETRA IV geplanten technologischen Neuerungen als auch die geplante Umstellung auf ein rollierendes Proposal-Verfahren kann davon ausgegangen werden, dass die pro durchgeführtem Experiment resultierende Publikationstätigkeit sowie der Gesamtumfang nationaler und internationaler Kooperationen mindestens gleichbleiben und damit aufgrund des insgesamt größeren Umfangs der geplanten Aktivitäten mit hoher Wahrscheinlichkeit in Summe ansteigen werden.

Unter anderem plant das DESY mit seinen Campuspartnern Hereon und EMBL im 4. Quartal 2023 ein gemeinsames Memorandum of Understanding (MoU) zu unterzeichnen, um die Kooperation mit der Fraunhofer-Gesellschaft weiter auszubauen. Dem MoU vorangegangen war ein Workshop im Oktober 2022 sowie die Gründung thematischer Arbeitsgruppen zum Ausloten gemeinsamer wissenschaftlicher Themenfelder und Herausforderungen im Bereich der anwendungsorientierten Wissenschaft. Bisher zeigten ca. 25 Institute der Fraunhofer-Gesellschaft grundsätzlich Interesse an der Nutzung von PETRA III und prospektiv PETRA IV; erste Pilotprojekte (siehe Bsp. zu TRUMPF/ILT/HEREON) werden bereits heute durchgeführt bzw. für die nahe Zukunft konzipiert. Dies gibt Anlass zu der Vermutung, dass sich die bislang recht geringe Zusammenarbeit zwischen dem DESY und Fraunhofer (vgl. Abbildung 12) in Zukunft maßgeblich intensivieren wird.

²⁷ Vgl. hierzu das Aktionsprogramm ErUM-Pro, Projektförderung zur Vernetzung von Hochschulen, Forschungsinfrastrukturen und Gesellschaft des BMBF, https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/7/31440_Aktionsplan_ErUM-Pro.pdf?__blob=publicationFile&v=10.

Zudem werden sich im Rahmen der für PETRA IV vorgesehenen fortschrittlichen Technologie inhaltlich neue Mess- und Analysepotenziale eröffnen, die andernorts nicht umsetzbar sind und für einen noch größeren Akteurskreis die Beantragung spezifischer Messzeit an PETRA IV erforderlich bzw. attraktiv machen. So könnten an PETRA IV Analysen bis zu 500 Mal schneller durchgeführt werden, was es ermöglicht, Prozesse mit höchster räumlicher und zeitlicher Auflösung zu filmen und mit chemischem, strukturellem, magnetischem und elektronischem Kontrast aufzunehmen. Zudem werden die Detektoren eine bis zu 25-fach höhere Empfindlichkeit erreichen, was den Nachweis von Spurenelementen und nanoskopischen Merkmalen ermöglicht, die mit heutiger Technik nicht nachweisbar sind. Schließlich werden Arbeiten mit einem bis zu 500-fach größeren Sichtfeld oder Probenvolumen möglich, sodass auch deutlich größere Objekte mit mikroskopischer Genauigkeit analysiert werden können. Auch die Durchführung zahlreicher Experimente kann in Zukunft binnen Tagen, statt wie heute oft erst nach mehreren Monaten erfolgen.

Dies wird sich positiv auf die Intensität und auch die Reichweite wissenschaftlicher Kooperationen auswirken und infolgedessen die Erschließung neuer Publikationspotenziale ermöglichen. Hinzu kommt, dass Messungen an PETRA IV im Vergleich zu PETRA III durch die Optimierung der Eigenschaften des Beschleunigers kürzere Strahlzeiten erfordern und dadurch insgesamt mehr Strahlführungen zur Verfügung stehen werden. In einem definierten Zeitraum werden somit deutlich mehr Forschende die Gelegenheit erhalten, Messexperimente durchzuführen, wodurch auch unmittelbar eine Steigerung des wissenschaftlichen Outputs pro Jahr zu erwarten ist. Schließlich kann davon ausgegangen werden, dass die technologischen Herausforderungen im Rahmen des Baus und Betriebs von PETRA IV eine Vielfalt an Optionen zur Schaffung neuen Wissens und für Innovationsaktivitäten eröffnet, die das DESY auch künftig als herausragenden Akteur und Kooperationspartner in der Beschleuniger- und Photon Science-Community qualifizieren wird.

5 Ökonomische Wirkungen: Nachfrage- und angebotsseitige Effekte

5.1 Nachfrageseitige Effekte: Beschäftigung und Beschaffung

5.1.1 Wirtschaftliche Effekte durch die Auszahlung von Gehältern

Dieser erste Teil der Analysen betrachtet die konsumseitigen Effekte, die sich auf Grundlage der Verausgabung von Gehältern bestimmen lassen. Ergänzende wirtschaftliche Effekte, die parallel aus Sach- und Investitionsausgaben resultieren, werden im folgenden Abschnitt behandelt.

Im Zusammenhang mit PETRA III relevanten Aktivitäten wurden am DESY zwischen 2006 und 2022 eine Lohn-, Gehalts- bzw. Bezüge-Summe von insgesamt 309,5 Mio. Euro verausgabt. Der Umfang dieser Ausgaben stieg dabei über die Jahre kontinuierlich von anfangs ca. 13,5 Mio. Euro jährlich auf aktuell nahezu 30 Mio. Euro jährlich an. Während ein gewisser Teil dieses Anstiegs auf Tarifierhöhungen zurückzuführen ist, hat sich vor allem seit 2020 auch die Zahl der Beschäftigten selbst von um 250 VZÄ 2017-2019 auf ca. 335 in 2022 noch einmal deutlich erhöht, mit entsprechenden Auswirkungen auf die Lohn- und Gehaltssumme. Schwerpunktmäßig wurden am DESY, mit Bezug zu PETRA III, Gehälter einerseits in den wissenschaftstypischen Gehaltsgruppen EG13 (Promovierende und Postdocs) und EG14 (Wissenschaftler:innen) gezahlt (insgesamt über 40% der Gehaltsausgaben) sowie in den Gehaltsgruppen EG10, EG11 und EG12, wie sie v.a. im technischen Bereich verbreitet sind (insgesamt ca. 30%). Hinzu kommen Ausgabenanteile in Gehaltsgruppen, die für den Assistenzbereich charakteristisch sind (ca. 20% in EG7-9) sowie für leitende Wissenschaftler:innen (EG15 und höher, ca. 6%).

Zur Schätzung der gesamtwirtschaftlichen Effekte dieser verausgabten Lohn-, Gehalts- bzw. Bezüge-Summe wird wie in vergleichbaren Studien (vgl. Glückler et al. 2019²⁸; 2022²⁹ für Universitäten; Vöpel und Steinhardt 2008³⁰; Hagemann et al. 2017³¹; ILS et al. 2021³² zu anderen Themen in Hamburg) – ein *Multiplikatormodell* zugrunde gelegt, welches auf vier grundlegenden Annahmen aufbaut (vgl. Abbildung 13):

Erstens führt die Verausgabung von Einkommen lokal und überregional zu Folgeeffekten, da auch der Empfänger der Ausgaben diese erneut, und häufig zeitnah, wieder verausgabt. Dieser als Multiplikatoreffekt beschriebene Effekt ist in der wirtschaftswissenschaftlichen Forschung seit vielen Jahrzehnten bekannt und vielfach empirisch belegt. Er führt dazu, dass der wirtschaftliche Effekt der Verausgabung von Einkommen die Einkommenssumme selbst in der Regel übersteigt.

²⁸ Glückler J.; Panitz, R.; Janzen K. (2019): Jährliche wirtschaftliche Effekte der Landesuniversitäten in Baden-Württemberg. Studie im Auftrag der Landesrektorenkonferenz Baden-Württemberg. Heidelberg: Universität Heidelberg. DOI: 10.11588/heidok.00027338.

²⁹ Glückler J.; Janzen K.; Zipf, M. (2022): Die regionalökonomische Bedeutung der Universitäten in Nordrhein-Westfalen. Studie im Auftrag der Landesrektorenkonferenz der Universitäten in Nordrhein-Westfalen. Heidelberg: Universität Heidelberg. DOI: 10.11588/heidok.0003131

³⁰ Vöpel, H.; Steinhardt, M. (2008): Wirtschaftsfaktor Fußball, Die regionalwirtschaftlichen Effekte und Potenziale des HSV. Studie im Auftrag der HSH Nordbank AG. HWWI

³¹ Hagemann, G.; Kerner, P.; Wolf, A. (2017): Die regionalwirtschaftliche Bedeutung von Hamburg Airport, HWWI Policy Paper, No. 106, Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut (HWWI), Hamburg.

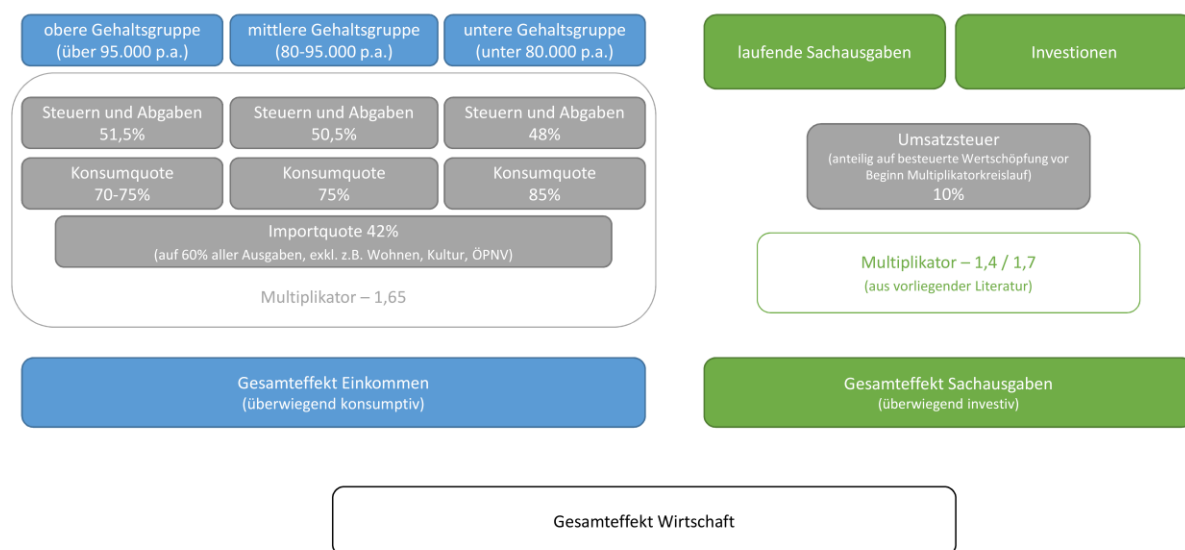
³² ILS; ETR; Fraunhofer CML; Ramböll (2021): Die volkswirtschaftlichen Bedeutung des Hamburger Hafens. https://www.hamburg-port-authority.de/fileadmin/user_upload/BeschaeftigungsstudieHafenHamburg2019_ManagementSummary_final.pdf

Zweitens verausgaben Beschäftigte des DESY in Abhängigkeit von der Höhe ihres Jahresgehalts nur einen Anteil ihres aus den Personalausgaben ersichtlichen Bruttoeinkommens, da hiervon zunächst Steuern und Abgaben abgehen und auch danach ein gewisser Teil gespart wird. Für Deutschland können Schätzungen dieses verausgabten Anteils (sog. Konsumquote) wirtschaftswissenschaftlichen Publikationen und Statistiken entnommen werden. Sie beträgt für Einkommen in Höhe der am DESY üblicherweise gezahlten Gehälter (s.o.) zwischen etwas über 70% und 85%³³. Die Differenz zwischen den seitens des DESY ausgewiesenen Personalausgaben zugrunde liegenden Arbeitgeberbruttobeträgen und den entsprechenden Nettogehältern liegt in diesen Gehaltsklassen bei um die 48%-51%.

Drittens erscheint es bei einer wissenschaftlichen Einrichtung mit der Bedeutung des DESY unangemessen, die Frage der wirtschaftlichen Wirkungen allein auf die Freie und Hansestadt Hamburg zu fokussieren. Dies erscheint einerseits schon aufgrund der besonderen geographischen Konfiguration des Stadtstaates nicht sachgerecht, in dem sich generell die meisten lokalen Wirtschaftsbeziehungen über die administrativen Grenzen der Stadt Hamburg hinweg erstrecken. Zweitens erscheint die Sinnhaftigkeit einer solchen Vorgehensweise bei einer Einrichtung von internationaler Bedeutung grundsätzlich fraglich. Anders als in Studien z.B. zu regionalwirtschaftlichen Effekten von Hochschulen werden in dieser Analyse die Ausgaben der Mitarbeitenden nicht zusätzlich mittels Lokalisierungsquoten diskontiert, d.h. es interessiert nicht, welcher Anteil der Ausgaben vor Ort getätigt wird, sondern wie hoch diese insgesamt ausfallen.

Viertens erscheint es dessen ungeachtet sinnvoll zu berücksichtigen, dass nur ein Teil des seitens der DESY-Beschäftigten tatsächlich verausgabten Einkommens auf Güter und Dienstleistungen aus Deutschland entfällt und damit auf die geographische Region, in der öffentliche Mittel für zukünftige Forschungsinvestitionen über Steuern erhoben werden. Ein anderer Teil der Ausgaben wird für Importgüter aufgewendet und kann damit die oben entsprechende Multiplikatorwirkung zumindest lokal nicht entfalten. Zwar wird auch hier ein Teil der getätigten Ausgaben andernorts erneut dem Wirtschaftskreislauf zugeführt, aber eben nicht in Hamburg oder Deutschland. Dieser Anteil lässt sich aufgrund der aus der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung bekannten Importquote abschätzen. Allerdings ist er nachweislich für unterschiedliche Gütergruppen sehr unterschiedlich hoch, sodass weitere Annahmen erforderlich sind.

³³ https://www.destatis.de/DE/Service/Statistik-Campus/Datenreport/Downloads/datenreport-2021-kap-6.pdf?__blob=publicationFile; konkret angenommen werden 85% für Gehälter von p.a. unter 80.000 Euro (nach Abgaben von 48%), 75% für jene zwischen 80-95.000 (nach Abgaben von 50,5%) und 72,5% für jene über 95.000 Euro (nach Abgaben von 51,5%).

Abbildung 13: Konzeptionelle Übersicht Multiplikatormodell

Quelle: Eigene Modellentwicklung und Spezifikation, in Anlehnung an Glückler et al. (2019)³⁴

Unter Berücksichtigung dieser Tatsachen lässt sich auf Grundlage der von 2006-2022 verausgabten Lohn-, Gehalts- bzw. Bezüge-Summe von insgesamt ca. 309,5 Mio. Euro, von der abschließend nach Abzug von Steuern und Abgaben und unter Berücksichtigung gängiger Konsumquoten ca. 138 Mio. Euro verausgabt werden, ein gesamtwirtschaftlicher Effekt von ca. 510 Mio. Euro³⁵ bestimmen, je nachdem, zu welchem Anteil und für welche der hier relevanten Gütergruppen die gesamtwirtschaftliche Importquote von ca. 42% als wirkungsmindernd berücksichtigt wird (vgl. Abbildung 14). Wird diese nach detaillierter Prüfung der Ausgabenbereiche nur teilweise berücksichtigt,³⁶ liegt der ermittelte Multiplikatoreffekt bei ca. 1,65 – und damit im Rahmen aus vorherigen Studien für wissenschaftliche Einrichtungen bzw. solche in Hamburg bekannter Werte (Glückler et al. 2019³⁷; 2022³⁸; Hagemann et al. 2017³⁹).

³⁴ Glückler, J.; Panitz, R.; Janzen, K. (2019) Jährliche wirtschaftliche Effekte der Landesuniversitäten in Baden-Württemberg. Studie im Auftrag der Landesrektorenkonferenz Baden-Württemberg. Heidelberg: Universität Heidelberg. DOI: 10.11588/heidok.00027338.

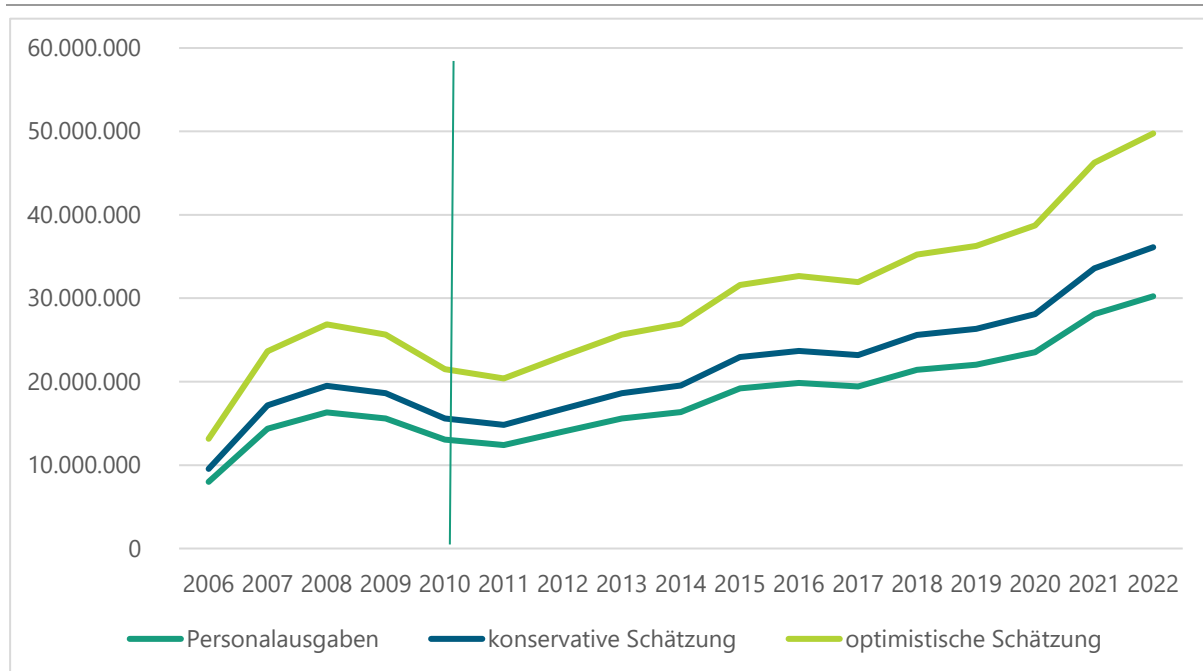
³⁵ Ohne Berücksichtigung der Importquote läge dieser Effekt theoretisch bei ca. 1,45 Mrd. Euro, bei vollständiger Berücksichtigung der Importquote bei ca. 370 Mio. Euro. Berechnet wird er mittels der Formel: $Y = \sum_{x,g} X_g \cdot 1 / (1 - c_g(1 - i_x))$. Y ist hierbei der wirtschaftliche Effekt, X die verausgabte Gehaltssumme, c die für die jeweilige Gehaltsgruppe relevante Konsumquote und i die für die Gütergruppe relevante Importquote.

³⁶ V.a. wird angenommen, dass Ausgaben für Wohnen, Freizeit und Kultur, aber auch Verkehr überwiegend zu Gunsten deutscher Anbieter erfolgen und daher insgesamt ca. 40% aller Ausgaben nicht mittels Importquoten abdiskontiert werden müssen.

³⁷ Glückler, J.; Panitz, R.; Janzen, K. (2019) Jährliche wirtschaftliche Effekte der Landesuniversitäten in Baden-Württemberg. Studie im Auftrag der Landesrektorenkonferenz Baden-Württemberg. Heidelberg: Universität Heidelberg. DOI: 10.11588/heidok.00027338

³⁸ Glückler, J.; Janzen, K.; Zipf, M. (2022) Die regionalökonomische Bedeutung der Universitäten in Nordrhein-Westfalen. Studie im Auftrag der Landesrektorenkonferenz der Universitäten in Nordrhein-Westfalen. Heidelberg: Universität Heidelberg. DOI: 10.11588/heidok.0003131

³⁹ Hagemann, G.; Kerner, P.; Wolf, A. (2017): Die regionalwirtschaftliche Bedeutung von Hamburg Airport, HWWI Policy Paper, No. 106, Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut (HWWI), Hamburg.

Abbildung 14: Personalausgaben im Bereich PETRA III im Zeitverlauf, geschätzte gesamtwirtschaftliche Effekte (reine Einkommenseffekte)

Notiz: Schätzung geht davon aus, dass 40% der Ausgaben ausschließlich in Deutschland getätigt werden

Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Finanz- und Personaldaten des DESY

5.1.2 Wirtschaftliche Effekte auf Grundlage von Sachausgaben

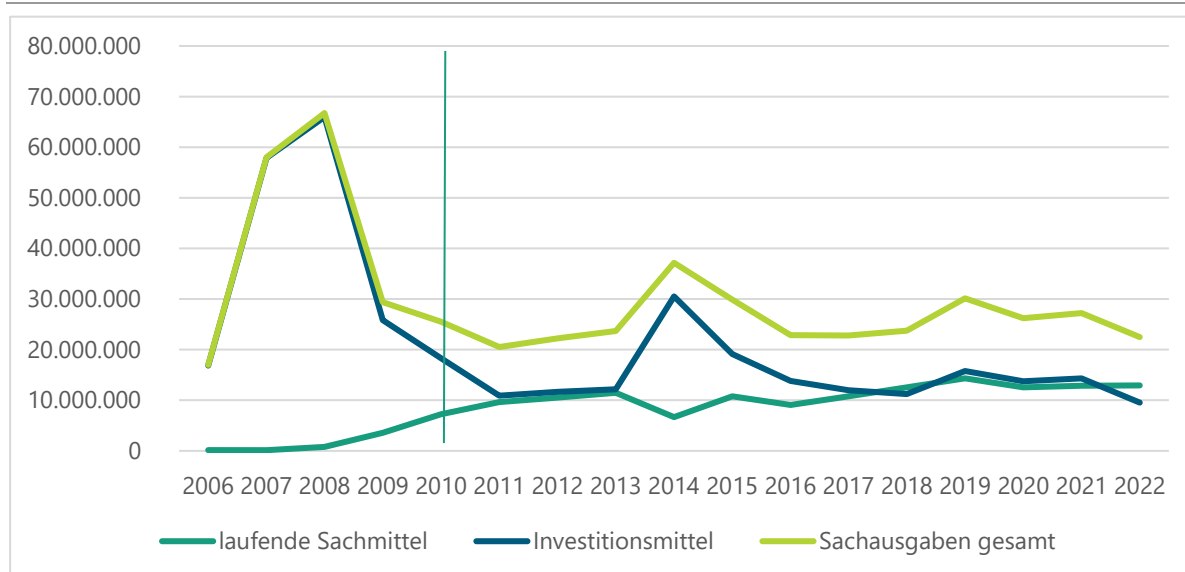
Zusätzlich zur Ausschüttung von Einkommen werden am DESY im Bereich PETRA III Sachausgaben verausgabt, die sich in Investitionsausgaben von insgesamt ca. 360 Mio. Euro und laufende Sachausgaben von insgesamt ca. 145 Mio. Euro unterteilen lassen (vgl. Abbildung 15). Auf die dem Vollbetrieb vorangehenden Jahre 2006-2011 (Bauphase) entfallen dabei für bauliche Maßnahmen und Instrumentierung ca. 50% der Investitionsausgaben. Der Anteil der in der Bauphase verausgabten laufenden Sachmittel bzw. Personalmittel ist dagegen mit 15% bzw. 25% naturgemäß maßgeblich geringer, sie verteilen sich gleichmäßiger über die Zeit.

Unter Heranziehung anderer Studien, die ähnlich wie diese keine enge regionale Eingrenzung beabsichtigten, lässt sich die Höhe eines hier ansetzbaren regionalen Einkommensmultiplikators auf eine Größenordnung zwischen 1,4-1,7 eingrenzen (Glückler et al. 2019, 2022; Hagemann et al. 2017).^{40,41} Diese beiden Werte werden bei den Schätzungen daher als obere bzw. untere Grenze angesetzt. Zudem wird ein Steuerabschlag von 10% auf die Gesamtausgaben angesetzt, da im Bereich der qualifizierten Beschaffung von einem hohen Wertschöpfungsanteil direkt bei den zuliefernden Unternehmen und damit auch in der Nettobetrachtung dort anfallender Umsatzsteuer auszugehen ist, die für Folgeausgaben nicht mehr zur Verfügung steht.

Bei Annahme eines Multiplikators von 1,4 lässt sich (nach Vorsteuerabschlag von 10%) für die Jahre 2006-2022 ein Gesamteffekt von ca. 635 Mio. Euro bestimmen, bei Verwendung eines Multiplikators von 1,7 (nach Steuerabschlag) ein Gesamteffekt von 860 Mio. Euro. Hiervon entfallen ca. 43% auf die Bauphase (2006-2011) und 57% auf die Betriebsphase (2012-2022).

⁴⁰ Ebd., siehe Zitate auf den vorangehenden Seiten.

⁴¹ Aufgrund von Fragen der Datenverfügbarkeit war es in dieser Analyse nicht möglich, einen lokalen Multiplikator differenziert zu ermitteln.

Abbildung 15: Investitions- und laufende Sachausgaben im Bereich PETRA III im Zeitverlauf

Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Finanzdaten des DESY

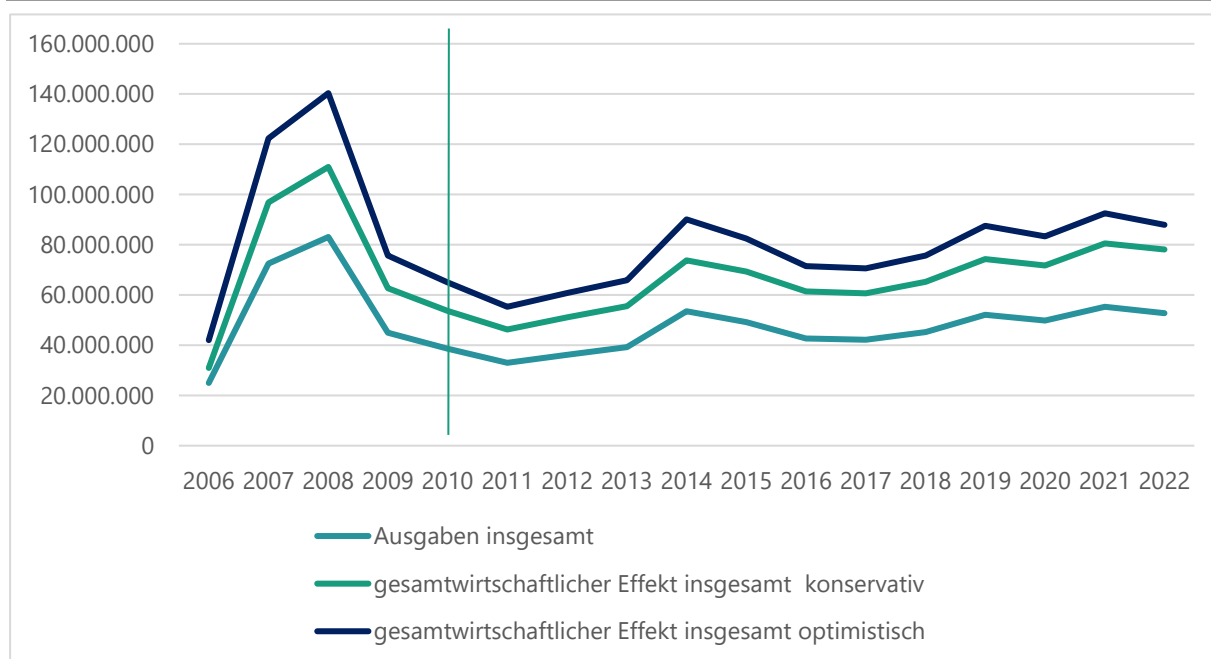
5.1.3 Nachfrageseitige Gesamteffekte

Insgesamt lässt sich für die Jahre 2006-2022 auf Basis der dokumentierten Gesamtausgaben in Höhe von 815 Mio. Euro auf Grundlage dieser Annahmen bei konservativer Schätzung ein gesamtwirtschaftlicher Ausgabeneffekt in Höhe von ca. 1,15 Mrd. Euro ableiten. Bei optimistischer Schätzung beträgt dieser sogar über 1,35 Mrd. Euro. Somit lässt sich bereits rein nachfrageseitig ein gesamtwirtschaftlicher Zusatznutzen von 330-550 Mio. Euro bestimmen. Hiervon entfallen etwas mehr als ein Drittel auf die Bauphase von 2006-2011 und die verbleibenden zwei Drittel auf die Betriebsphase seit 2012 (vgl. Abbildung 16).

Drückt man diesen Zusatznutzen, d.h. die gesamtwirtschaftlich zusätzlich entstehende Wertschöpfung in Arbeitsplatzäquivalenten aus und legt dabei die im verarbeitenden Gewerbe pro Arbeitsplatz und Jahr entstehende Wertschöpfung von 85.000 Euro zugrunde,⁴² entsprechen die Einkommens- und Beschaffungseffekte auf Grundlage von PETRA III gesamtwirtschaftlich dauerhaft 260-400 neuen Arbeitsplätzen. Neben diesen wirtschaftlichen Effekten profitierten staatliche Stellen seit 2006 von zusätzlichen Steuern und Abgaben in Höhe von ca. 205 Mio. Euro (unter Annahme der für Personal- als auch Sachausgaben weiter oben detailliert begründeten Abgabenquoten), von denen erneut über 30% bereits während der Bauphase anfielen.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass am DESY zusätzlich zu den direkt finanzierten Geräten und direkt beschäftigten Forschenden kontinuierlich auch eine Reihe von Personen tätig sind, deren Gehälter und experimentelle Ausrüstung aus externen Quellen finanziert werden. Im Rahmen der bisherigen Betriebsperiode war das DESY in Förderprojekte mit einem Gesamtvolumen von über 120 Mio. Euro eingebunden, die ganz oder teilweise vor Ort an PETRA III umgesetzt wurden. Die konkrete Intensität dieser Einbindung unterschied sich dabei stark und lässt sich nur schwer präzise bestimmen. Dessen ungeachtet führte bereits die ergänzende Berücksichtigung eines Drittels dieser Ausgaben zu gesamtwirtschaftlichen Effekten in Höhe von 50-60 Mio. Euro. Hierdurch erhöht sich der übergreifende Effekt auf über 1,2 Mrd. Euro bzw. über 1,4 Mrd. Euro.

⁴² <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/73642/umfrage/netto-wertschoepfung-der-pharmaindustrie-je-beschaeftigten/>

Abbildung 16: Gesamtwirtschaftliche Effekte von PETRA III im Zeitverlauf

Notiz: Die hier dem *verursachenden Jahr* zugewiesenen gesamtwirtschaftlichen Effekte treten in der Praxis meist nicht im gleichen Jahr auf wie die Lohn-, Gehalts-, Sach- oder Investitionsausgaben, sondern mit einem Zeitverzug von zwei bis drei Jahren
 Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Finanzdaten des DESY

5.2 Gesamteffekte inkl. Angebotsseite: Ausbildung und Innovation

Wie bereits angemerkt, berücksichtigen die bislang dargestellten Schätzungen ausschließlich die *nachfrageseitigen* Effekte, d.h. jene, die unmittelbar aus der Rolle des DESY als wirtschaftlicher Akteur im Bereich der Beschäftigung und Beschaffung folgen, das heißt, aus der Tatsache, dass über das DESY finanzielle Mittel in den Wirtschaftskreislauf eingespeist werden.

Erweitert man sie um die Berücksichtigung jener angebotsseitigen, wissensbasierten Effekte, die durch Ausbildungswirkungen sowie durch hochqualifizierte Beschaffung induziert werden, ergeben sich naturgemäß deutlich höhere Werte, da nur so der hauptsächliche Beitrag wissenschaftlicher Einrichtungen mit erfasst wird (Schubert und Kroll 2016⁴³).

Eine spezifisch auf den Kontext von PETRA III bezogene Berechnung würde, da die für die Schätzung relevanten Informationen nicht ohne weiteres verfügbar gemacht werden konnten, eine über den für diese Studie vorgesehenen zeitlichen Rahmen hinausgehende umfassende Erhebung von Primärdaten erfordern, z.B. im Rahmen umfassender Zuliefererbefragungen, wie sie anderenorts in einigen langfristiger angelegten Forschungsprojekten realisiert werden konnten. Allerdings ist dies vor dem Hintergrund eines diesbezüglich breit etablierten Forschungsstands zum Zweck dieser Analyse auch nicht zwingend erforderlich, da sich auf zwei belastbaren Grundlagen zentrale Annahmen treffen und bestätigen lassen.

⁴³ Schubert, T.; Kroll, H. (2016) Universities' effects on regional GDP and unemployment: The case of Germany. Papers in Regional Science, 95: 467–489. doi: 10.1111/pirs.12150.

Einerseits zeigen Reviews existierender Studien, dass diese recht kontextunabhängig und auch bei Verwendung unterschiedliche Methodiken im Aggregat immer wieder zu ähnlichen Ergebnissen kommen (z.B. Giffoni 2022). So finden sich etwa im Rahmen einer breit angelegten Cost Benefit-Analyse im Kontext des CERN Multiplikatorwerte in der Größenordnung von 1:3 (Florio et al. 2016; Castelnovo et al. 2018; Florio 2019⁴⁴).

Auch Analysen für weitere, technisch-inhaltlich sehr anders ausgerichteten Anlagen (Italian Space Agency) kamen zu ähnlichen Ergebnissen (Castelnovo et al. 2021, 2023⁴⁵). In Anbetracht der im Rahmen dieser Studie erarbeiteten Kenntnisse über die Interaktionsbeziehungen des DESY mit seinem lokalen und überregionalen Umfeld ist somit nicht davon auszugehen, dass sich im Fall von PETRA III grundsätzlich abweichende Erkenntnisse ergäben.

Zweitens wurden, dies bestätigend, spezifisch für diese Studie die ökonomischen Gesamteffekte (inkl. der angebotsseitigen) auf Basis des von Schubert und Kroll (2013; 2016)⁴⁶ für Hochschulen entwickelten Verfahrens näherungsweise bestimmt. Entsprechende Schätzungen wurden auf Grundlage der für das DESY verfügbaren Zahlen zu u.a. Publikationsoutput, Absolvent:innen und Beschäftigten durchgeführt. Auch sie bestätigen nach Anpassungen auf die spezifische Situation einer Helmholtz-Einrichtung, vergleichbare Multiplikatoren in einer Größenordnung von mind. 1:3.

Hiermit liegen die langfristigen Gesamteffekte (inkl. der angebotsseitigen) von PETRA III bei Investitionen in Höhe von ca. 815 Mio. im Zeitraum von 2006–2022 bei gesamtwirtschaftlich zusätzlich insgesamt ca. 2,25 Mrd. Euro. Dies entspricht bei gleicher Berechnungsgrundlage wie oben einem Beschäftigungsäquivalent von über 1.500 dauerhaften Arbeitsplätzen.⁴⁷

Vor dem Hintergrund dieser doppelten Absicherung des Ergebnisses über sowohl einen umfassenden Literaturreview wie auch eigene, spezifische Analysen erschien die Durchführung einer empirisch komplexeren und aufwändigeren Analyse in diesem Fall als nicht erforderlich, da sie nur wenige zusätzliche Erkenntnisse zu versprechen schien. Stattdessen konzentriert sich diese Studie im Folgenden auf eine vertiefte, differenzierte Darstellung der konkreten Wirkungsbeziehungen, über die die Aktivitäten im Rahmen von PETRA III und PETRA IV Wirkungen in Wirtschaft und Gesellschaft entfalten (werden).

5.3 Ausblick PETRA IV

Unter der Vorraussetzung, dass alle Grundannahmen des oben entwickelten Modells weiter zugrunde gelegt werden können, d.h. sich neben wirtschaftlichen und fiskalischen Rahmenbedingungen (v.a. Importquote und Steuern) auch die Struktur der Gehälter des am DESY beschäftigten Personals nicht grundsätzlich ändert, lassen sich auf Basis der Investitionsplanung für PETRA IV vorsichtige Abschätzungen für die Zukunft treffen.

⁴⁴ Zusammengefasst in: Giffoni, F. (2022): The Economic Multiplier of the FCC-EE Procurement: Preliminary Results, Presentation at FCC Week 2022 https://indico.cern.ch/event/1064327/contributions/4888553/attachments/2452215/4203618/FCCWeek2022_FGiffoni.pdf

Florio, M., Castelnovo, P., Sirtori, E., Rossi, L., Forte, S. (2016): The Economic Impact of CERN Procurement: Evidence from the Large Hadron Collider <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3202209>

Castelnovo, P., Florio, M., Forte, S., Rossi, L., Sirtori, E. (2018): The economic impact of technological procurement for large-scale research infrastructures: Evidence from the Large Hadron Collider at CERN, *Research Policy*, 47, 9, 1853–1867

Florio, M. (2019): *Investing in Science: Social Cost Benefit Analysis of Research Infrastructures*, MIT Press, Cambridge.

⁴⁵ Castelnovo, P.; Clò, S.; Florio, M. (2023): A quasi-experimental design to assess the innovative impact of public procurement: An application to the Italian space industry, *Technovation*, Elsevier, vol. 121(C); Castelnovo, P., Clò, S., Florio, M. 2021. Space policy drives innovation through technological procurement: evidence from Italy," Working Papers - Economics 2021/08, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Scienze per l'Economia e l'Impresa.

⁴⁶ Schubert, T.; Kroll, H. (2013): Hochschulen als regionaler Wirtschaftsfaktor. http://www.stifterverband.de/wirtschaftsfaktor-hochschule/region-ale_bedeutung_von_hochschulen.pdf

Schubert, T.; Kroll, H. (2016) Universities' effects on regional GDP and unemployment: The case of Germany. *Papers in Regional Science*, 95: 467–489. doi: 10.1111/pirs.12150

⁴⁷ Ausgehend, wie oben, von einer mittleren Wertschöpfung von 85.000 Euro pro Jahr und Arbeitsplatz.

Hierbei ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass sich über den für PETRA IV vorgesehenen, sehr langen Betriebszeitraum von über 30 Jahren kaum seriöse Aussagen treffen lassen. In dieser zeitlichen Perspektive sind keine belastbaren Annahmen über die Entwicklung von Betriebskosten oder allgemein wirtschaftliche Rahmenbedingungen zu treffen. Daher konzentrieren sich im Folgenden die auf die Abschätzung der bis zum geplanten Beginn des Betriebs von PETRA IV eintretenden Effekte sowie einen allgemeinen Ausblick auf deren weitere Entwicklung bis 2028. Berücksichtigt werden hierbei auch die bis Ende 2026 im Rahmen des Restbetriebs von PETRA III vorgesehenen Kosten. Zudem werden jährliche Preissteigerungen von 3% zugrunde gelegt.

Im Ergebnis legen die Berechnungen nahe, dass auf Grundlage der für PETRA IV bis 2028 geplanten Ausgaben von insgesamt ca. 1,2 Mrd. Euro (darunter ca. 1,0 Mrd. Sachkosten und ca. 200 Mio. Personalkosten) gesamtwirtschaftliche Effekte von mindestens 1,6 Mrd. Euro und damit ein gesamtwirtschaftlicher Zusatznutzen von mindestens 390 Mio. Euro entstehen. Durch Verwendungen optimistischerer, aber dennoch literaturgestützter Annahmen ist auch ein möglicher Zusatznutzen in der Größenordnung von über 660 Mio. Euro, d.h. ca. 165 Mio. Euro pro Jahr begründbar. Dies entspricht einem Beschäftigungsäquivalent von ca. 1.900 Arbeitsplätzen für die Dauer der Bauphase.

Im folgenden Jahrzehnt ist bis 2040 je nach Preissteigerung damit zu rechnen, dass durch den Endausbau und den Betrieb der Anlage weitere Ausgaben in Höhe von mindestens 1,4 Mrd. Euro (ca. 1,1 Mrd. Euro Betriebskosten + 300 Mio. Euro abschließender Vollausbau) anfallen, woraus sich weitere gesamtwirtschaftliche Effekte in Höhe von 1,9-2,2 Mrd. Euro ableiten lassen, d.h. ein ergänzender Zusatznutzen von mindestens 520 Mio. Euro, möglicherweise auch über 790 Mio. Euro. Somit ist anzunehmen, dass sich der durch die Bauphase ausgelöste gesamtwirtschaftliche Effekt im Laufe der folgenden zehn Betriebsjahre noch einmal in etwa der gleichen Höhe reproduziert. Aufgrund des doppelt so langen Zeitraums bei gleicher Gesamtinvestitionssumme ließe sich dies mit einem fortlaufenden Beschäftigungsäquivalent von ca. 510-780 dauerhaften Arbeitsplätzen verbinden.

Der durch Ausgaben und Investitionen im Rahmen von PETRA IV ausgelöste gesamtwirtschaftliche Zusatznutzen beträgt somit voraussichtlich bereits zum Ende der geplanten Bauphase in etwa das eineinhalbfache jenes durch alle im Rahmen von PETRA III jemals getätigten Ausgaben und Investitionen ausgelöst.

Die Gesamteffekte von PETRA IV (inkl. der angebotsseitigen) lägen bei Gesamtinvestitionen in Höhe von ca. 1,2 Mrd. Euro im Zeitraum bis 2028 gesamtwirtschaftlich sogar bei zusätzlich insgesamt ca. 3,6 Mrd. Euro. Nimmt man an, dass ein hoher Anteil dieser angebotsseitigen Effekte noch innerhalb der ersten vier Jahre der Bauphase⁴⁸ zum Tragen kommen, entspräche dies, auf Grundlage der Annahme von 85.000 Euro Wertschöpfung pro Arbeitsplatz, einem kontinuierlichen Beschäftigungsäquivalent von gesamtwirtschaftlich über 10.000 Arbeitsplätzen. Auch für die Folgeperiode kann grundsätzlich ein sich entsprechend fortsetzender bzw. sich durch das vollumfängliche Einsetzen auch der Ausbildungsaktivitäten eher noch verstärkender Effekt angenommen werden. Auf Basis des in der Langfristplanung vorgesehenen Umfangs von ca. 1,4 Mrd. Euro in 12 Jahren (d.h. ca. 93 Mio. Euro jährlichen Ausgaben + 300 Mio. Euro abschließender Vollausbau) entsprächen die langfristigen Gesamteffekte (inkl. der angebotsseitigen) 4,2 Mrd. Euro gesamt (ca. 350 Mio. Euro pro Jahr) und damit einem kontinuierlichen gesamtwirtschaftlichen Beschäftigungsäquivalent von über 4.100 Arbeitsplätzen.

⁴⁸ Bau-Vorbereitungsphase 2024-2026, Bau-Hauptphase 2027-2028; erste Experimente an PETRA IV voraussichtlich ab 2029 und parallel weiterer Ausbau bis 2031 prognostiziert.

**Tabelle 3: Geschätzte Ökonomische Wirkungen
von PETRA III und PETRA IV (Prognose)**

	PETRA III	PETRA IV Vorbereitungs- & Hauptbauphase	PETRA IV Betriebsphase
Gesamtausgaben und -investitionen	815 Mio. Euro (16 Jahre 2006-22)	ca. 1,2 Mrd. Euro (2025-28)	ca. 1,4 Mrd. Euro (folgende 12 Jahre bis 2040)
unmittelbarer Nachfrageeffekt	330 - 550 Mio. Euro	390-660 Mio. Euro	520-790 Mio. Euro.
unmittelbares Beschäftigungsäquivalent	260-400 AP (dauerhaft)	1,900 AP (temporär)	510-780 AP (dauerhaft)
Gesamteffekt (inkl. angebotsseitig)	ca. 2,25 Mrd. Euro	ca. 3,6 Mrd. Euro	ca. 4,2 Mrd. Euro
Beschäftigungsäquivalent insgesamt	über 1,500 AP (dauerhaft)	über 10,000 AP (temporär)	über 4,100 AP (dauerhaft)

Quelle: Schätzungen des Fraunhofer ISI auf Basis von Finanzdaten des DESY

6 Innovationsbezogene Wirkungen: Das DESY als Hebel für Wissens- und Technologietransfer

Neben den unmittelbaren Wirkungen im wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Bereich ist der Bau und Betrieb einer Großforschungsanlagen mit vielfältigen weiteren Effekten mit hoher Relevanz für die Entstehung und Diffusion von Wissen, Technologie und Innovation verbunden. Abbildung 17 stellt dies in stark schematischer Weise dar und gibt einen kleinen Einblick in potenziell positive innovationswirksame Effekte. So erfordert der Bau einer Strahlungsquelle vielfältige Lösungen, die erstmalig in dieser hoch spezifischen Konstellation entwickelt, pilotiert und eingesetzt werden, u.a. im Bereich der technischen, apparativen und materialbezogenen Ausstattung, aber auch im Hinblick auf das direkte Umfeld, in dem die Strahlungsquelle eingerichtet wird.

Dies deutet Abbildung 17 am Beispiel des Bodenbelags beim Upgrade auf PETRA III an: Da eine vibrations- und spannungsfreie Umgebung des Speicherrings unabdingbar für die Genauigkeit der Messungen ist, musste die bis dato längste durchgehende Betonplatte mit einer Dicke von 1m (Gesamtmaße: 280m x 24m x 1m)⁴⁹ in der PETRA III-Halle entworfen und umgesetzt werden. Der damalige Zulieferer konnte diese Innovation und die dadurch erlangten Erkenntnisse in Folge für weitere Aufträge nutzen und hat seine Wettbewerbsposition durch den Bau von PETRA III somit verbessern können. Die Nutzung einer Strahlungsquelle kann in vielfältiger Weise (innovative) Effekte in der Wirtschaft anstoßen, die sowohl aus Bau und Betrieb resultieren, aber natürlich auch durch die Nutzung der wissenschaftlichen Erkenntnisse für kommerziellen Erfolg, wie das Beispiel von BioNTech in Abschnitt 6.1.2 zeigt.

Exemplarisch werden einige dieser Effekte in Abbildung 17 aufgeführt, wobei die grau unterlegten Aspekte spezielle Berücksichtigung in dieser Studie finden. Während der zusätzliche Nutzen durch Infrastrukturen und Humanressourcen die sich aus ergänzender Förderung von Geräten durch das BMBF ergeben bereits im vorherigen Kapitel dargestellt wurden, widmen sich die nachfolgenden Kapitel 6 und 7 den innovationsbezogenen Themen Unternehmensneugründungen, Entwicklung von Standards, der Durchführung wissenschaftlicher Experimente unter Industriebeteiligung sowie den Wirkungen im Bereich der Humanressourcen.

Typischerweise werden Indikatoren wie Patente und Lizenzen als bedeutende Outputs mit signifikanter Bedeutung für Transferaktivitäten betrachtet. Am DESY nehmen insbesondere Lizenzen am DESY realisierter Neuentwicklungen einen hohen Stellenwert ein. Von herausragender Bedeutung sind dabei Know-how-Lizenzen; diese machen über 90% aller Lizenzen aus. Lizensiertes Know-how, das dokumentiert und auslizensiert wird (wie in Folge am Beispiel MicroTCA dargestellt), kann bspw. Produktionsunterlagen umfassen. Insgesamt hält das DESY 152 laufende Lizenzen, davon 91 mit der Wirtschaft und 61 mit wissenschaftlichen Akteuren (Stand: Q1 2023).

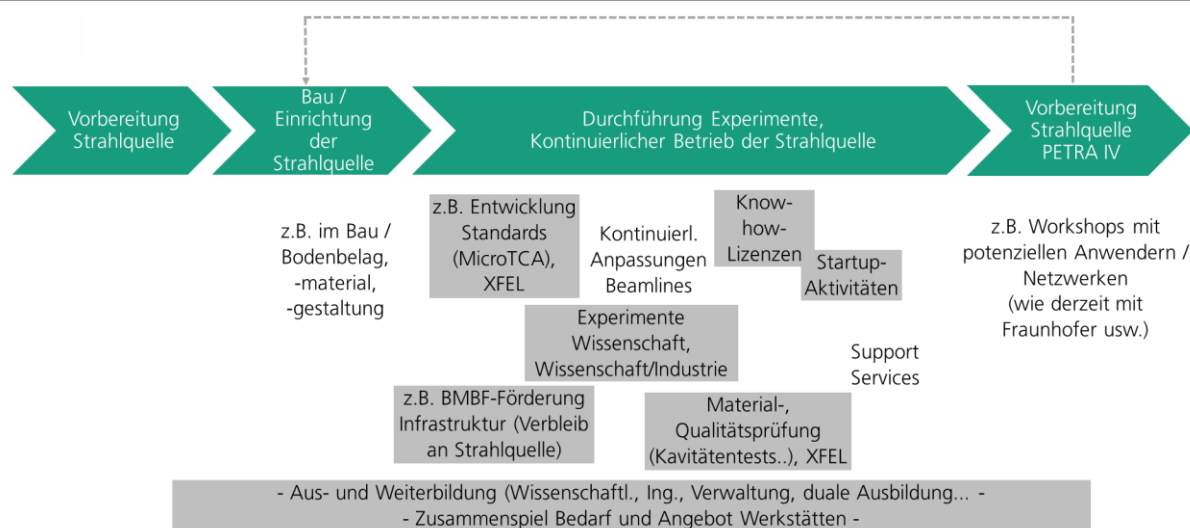
Typische Lizenznehmer sind Zulieferer aus den Bereichen Elektronik sowie die *Beschleuniger-Community*. Gegenstand derartiger Know-how-Lizenzen sind Entwicklungen des DESY, die dann in kollaborativer Weise weiterentwickelt werden. Hierfür wird das Wissen auf beiden Seiten dem jeweiligen Partner zur Verfügung gestellt und somit die Basis für einen kollaborativen und interaktiven Transferweg geschaffen; relevante Kontakte zu Kooperationspartnern bestanden häufig bereits im Vorfeld.

Die kurz dargestellten Effekte und die aus ihnen resultierenden Wirkungen entfalten sich im Zeitablauf abhängig von jeweils spezifischen, auch politökonomischen Konstellationen. Beispielsweise wurden die an den Strahlungsquellen benötigten Magneten bislang aus Russland bezogen; aufgrund der aktuellen Situation müssen nun kurzfristig alternative Anbieter gefunden werden. Daraus

⁴⁹ Vgl. <https://www.holcim.de/de/referenzprojekte/desy-petra-iiihamburg>

ergeben sich neue Zulieferer-Konstellationen mit potenziell relevanten Effekten auf Technologieentwicklung und Innovation. Auch hinsichtlich der Etablierung einer Kultur der Innovation und des Technologietransfers engagiert das DESY sich zunehmend, sowohl DESY-intern (bspw. der DESY Innovation Award für herausragende Arbeiten mit Innovationspotenzial) als auch bezüglich strategischer Kooperationen mit Partnern (z.B. Fraunhofer). Ausgewählte Fallbeispiele hierzu werden in den nachfolgenden Abschnitten dargestellt.

Abbildung 17: Wissens- und Technologietransfer am DESY und PETRA III (exemplarisch)



Quelle: Eigene Darstellung

6.1 Fokusthema Experimente unter Industriebeteiligung

Wie einleitend bereits erwähnt, ist das DESY in seinen Leistungen grundsätzlich der wissenschaftlichen Forschung verpflichtet, was sich eindeutig an der DESY-internen Statistik der eingereichten Proposals ablesen lässt: Grundsätzlich fallen entsprechend der in der internen Datenbank DOOR hinterlegten Klassifizierung für PETRA III 74,3% der Proposals eindeutig in den Bereich der Grundlagenforschung. Allerdings fallen damit auch 18,0% in den Bereich der angewandten Forschung und immerhin 7,7% sind – laut Selbstzuordnung der Beantragenden – direkt industrierelevant. Beiträge zu gesellschaftlichen Herausforderungen werden vor allem im Bereich Gesundheit (angegeben in 30% aller Proposals) und Energie (angegeben in 26% aller Proposals) erwartet.

In den vergangenen fünf Jahren konnte zudem durch eine zunehmende Professionalisierung der Services für Industriekunden (u.a. Unterstützung bei der Probenpräparierung und Durchführung der Experimente) sowohl deren Anteil an allen Nutzern bei PETRA III als auch die absolute Zahl der Industrienutzungen gesteigert werden. Diese Entwicklung geht einher mit der Erhöhung der Anzahl an Mitarbeitenden in der Stabstelle Innovation und Technologie Transfer und einer korrespondierenden Einwerbung von transferrelevanten Drittmittelprojekten.

Insgesamt nutzten seit 2010 ca. 140 Unternehmen PETRA III, wobei mit 28% rund ein Drittel dieser Nutzer aus Deutschland stammten. In dieser Zeit sind 251 Publikationen entstanden, die eine Ko-Autor bzw. eine Ko-Autorin mit Industrie-Zugehörigkeit aufweisen.

Die Biowissenschaften und die Pharma- und Biotechbranche bilden dabei mit ca. 36% die größte Gruppe, gefolgt von Firmen, die sich im Bereich Materialwissenschaft verorten lassen. Tabelle 4 unterstreicht, dass PETRA III zudem für viele weitere Industriebereiche Expertise bereitgestellt hat.

Ein weiterer Indikator für die Attraktivität der Messmöglichkeiten ist die Tatsache, dass zwischen 2018-2022 zusätzlich 110 Messzeit-Verträge mit Unternehmen abgeschlossen wurden, deren Inhalt durch Vertraulichkeitsvereinbarungen (non-disclosure agreements) geschützt sind.

Tabelle 4: Branchenzuordnung der Industrienutzer von PETRA III

Branche	Anzahl	Anteil
Biowissenschaften, Pharma- und Biotechnologie	50	36%
Materialwissenschaft	32	23%
Elektronik	13	9%
Chemie und Kunststoffe	11	8%
Sonstige	10	7%
Luft- und Raumfahrt	6	4%
Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie	6	4%
Energiesektor	6	4%
Automobilindustrie	4	3%
Optik und Photonik	1	1%
Bauindustrie	1	1%

Quelle: Eigene Darstellung auf Grundlage DESY-interner Daten und Zuordnungen

6.1.1 Nutzertypen und Forschungsbereiche am DESY

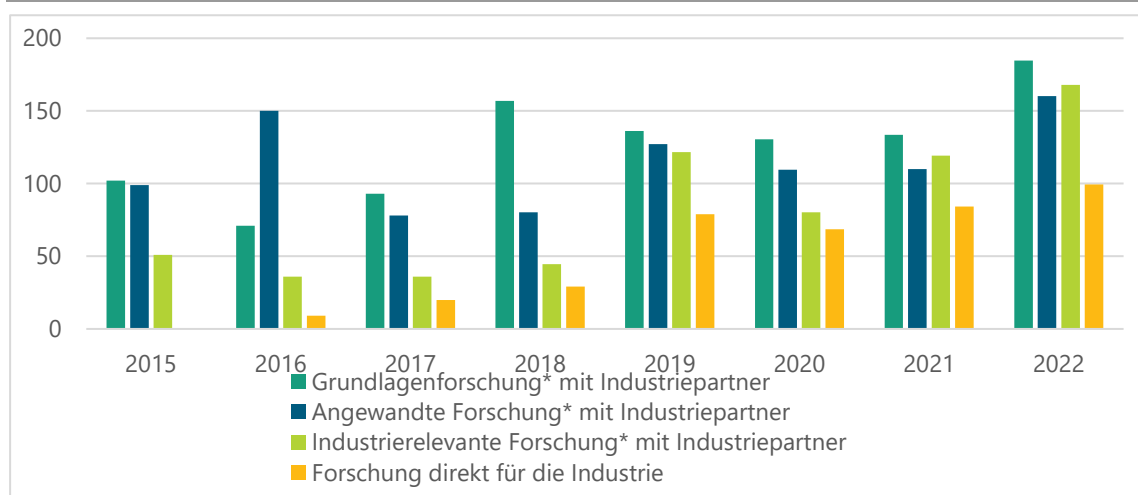
Einen Überblick über die im Zeitraum 2015 bis 2022 an Forschungsprojekte unter Beteiligung von Industriepartnern bzw. direkt für die Industrie durchgeführte Experimente vergebenen Strahlzeit bietet im Folgenden Abbildung 18.⁵⁰ Hierbei wird unterschieden zwischen wissenschaftlichen Proposals, die einen Industriepartner in ihrem Antrag auf Strahlzeit genannt haben und solchen, die entsprechende der Selbsteinschätzung der Antragstellenden nach Grundlagenforschung, Angewandter Forschung sowie Forschung mit Industrierelevanz unterschieden werden können. Zusätzlich werden die Verträge der Industrie, die direkt mit der Stabstelle Innovation und Technologietransfer (ITT) abgeschlossen werden, dargestellt (gelbe Säule).

Abbildung 18 zeigt, dass mit Ausnahme des Jahres 2016 der Grundlagenforschung mit Industriepartnern die höchste Relevanz in den einzelnen Jahren zukommt, dass aber die Angewandte Forschung mit Industriepartnern und die Forschung mit Industrierelevanz eine zunehmende Bedeutung in den eingereichten Proposals einnimmt. Während noch 2015 keine Verträge direkt mit der Industrie abgeschlossen wurden, buchte diese 2016 bereits 9,0 Schichten. Im Jahr 2022 hatte sich der Umfang der Industrieaktivitäten auf 99,5 Schichten verzehnfacht, was einen grundsätzlichen, strukturellen Wandel belegt.

⁵⁰ Hierbei ist zu beachten, dass die Angaben über die Zeit bedingt durch die Weiterentwicklung der Erfassungsmethodik an Genauigkeit und Detailgrad zugenommen haben.

An Messungen direkt beteiligte Unternehmen stammen beispielsweise aus der Halbleitertechnik, der Diagnostik, der Grundstoffchemie, Biotechnologie oder Metallforschung. Im Hinblick auf die Forschungsfelder der Proposals mit kommerziellen Partnern dominieren Energie und Basistechnologien einschließlich Methoden und Instrumentenbau (Enabling Technologies⁵¹) mit jeweils elf Proposals, gefolgt von Schlüsseltechnologien (Key Technologies⁵¹) mit neun, Verkehr und Raumfahrt mit sechs, Gesundheit mit fünf und Erde und Umwelt mit drei Proposals.

Abbildung 18: Entwicklung der Strahlzeit an PETRA III nach Nutzergruppen 2015-2022 (gemessen an Anzahl der Strahlzeit-Schichten)



Anmerkung: Eine Schicht entspricht acht Stunden Strahlzeit an PETRA III, *laut eigener Einschätzung im Proposal

Quelle: DESY, DOOR-Datenbank ohne EMBL-Nutzer, eigene Darstellung

Bei direkter Betrachtung des Anteils der Anträge auf Strahlzeit mit Industriebeteiligung an allen Anträgen ergibt sich für 2016 in der Kategorie *Angewandte Forschung mit Industriepartnern* ein verhältnismäßig moderater Anteil von ca. 2%. Jedoch handelt es sich hierbei ausschließlich um diejenigen Proposals, die einen industriellen Partner explizit in ihrem Antrag benannt oder – wie im Fall der direkten Verträge – mittels derer Industrieunternehmen direkt Strahlzeit beantragt haben. Darüber hinaus hat sich auch der Umfang der Anträge mit direkter Industriebeteiligung, wie oben dargestellt, bis 2022 vervielfacht. Außerdem dürfte der Anteil von PETRA III bezogenen Experimenten, die Antworten auf praxisrelevante Fragestellungen aus verschiedenen Forschungsbereichen liefern, über jenen der antragstellenden Forschungskonsortien mit Industriebeteiligung deutlich hinausgehen.⁵²

Unter anderem wurden im Rahmen des Betrachtungszeitraums nicht nur 7% (132) aller deutschen Proposals von der Max-Planck-Gesellschaft eingereicht, sondern auch 3% (57) seitens der Leibniz-Gemeinschaft und 1% (16) durch die Fraunhofer-Gesellschaft. In diesen letztgenannten Fällen des Beitrags zur angewandten, außeruniversitären Forschung erfolgt die Umsetzung der Forschungsergebnisse zwar oft nicht in zeitlich unmittelbar nachgelagerter Abfolge zum durchgeführten Experiment, sie weisen aber meist doch einen inhärent höheren Anwendungsbezug auf als solche aus dem Kontext der universitären Grundlagenforschung (Kroll et al. 2022).⁵³

⁵¹ Entsprechend DESY-interner Definition

⁵² Vgl. auch DESY (2019): PETRA III. Brillantes Röntgenlicht für Wissenschaft und Technologie. Hamburg und Zeuthen: DESY. Online verfügbar unter https://pr.desy.de/sites/sites_desygroups/sites_extern/site_pr/content/e104098/e105787/PETRA_III_Broschue_ges.pdf

⁵³ Dies zeigt sich ebenfalls in einer Nutzerbefragung, die das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung und das DESY im Rahmen des Horizon2020-Projekts *Charting Impact Pathways of Investment in Research Infrastructures* (Grant Agreement number 777563) im Jahr 2020 durchgeführt haben. Vgl. hierzu auch Kroll, H.; Hansmeier, H.; Hufnagel, M. (2022): Productive interactions in basic research - an enquiry into impact pathways at the DESY synchrotron. *Technological Forecasting and Social Change* 175, 125. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121408>

Im Rahmen seiner Technologietransferaktivitäten bereitet das DESY ausgewählte Fallbeispiele in Form von *case studies* auf und stellt der Öffentlichkeit die entsprechenden Informationen auf der DESY-Webseite und weiteren Plattformen zur Verfügung. Diese sind in die Branchen und Anwendungsfelder (1) Life Sciences, Pharma und Biotechnologie, (2) Bauwirtschaft und Bauindustrie, (3) Landwirtschaft und Lebensmittelindustrie, (4) Automobilindustrie, (5) Luft- und Raumfahrttechnik, (6) Energiewirtschaft, (7) Materialwissenschaften und (8) Chemie und Kunststoffe gegliedert.⁵⁴ Jedoch werden die Strahlungsquellen des DESY auch jenseits industrieller Anwendungen genutzt, so bspw. zur Untersuchung kultureller Artefakte⁵⁵, von Fossilien und vereinzelt auch Objekten aus dem forensischen Bereich.

6.1.2 Beispiel aus der medizinischen/pharmazeutischen Forschung: Unterstützung der Wirkstoffentwicklung durch Untersuchungen an PETRA III

Ein sehr prominentes Beispiel der jüngeren Vergangenheit stellen Experimente der Universität Mainz in einem Konsortium unter Beteiligung des Unternehmens BioNTech dar, das Untersuchungen im Bereich der Boten-RNA (messenger-RNA (mRNA)) im Kontext der Covid19-Pandemie und der Impfstoffentwicklung an PETRA III durchgeführt hat. Das Konsortium aus der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, dem Europäischen Laboratorium für Molekularbiologie EMBL, der Tel Aviv Universität, der Leiden Universität, dem Forschungszentrum Jülich sowie den Biotech- und Pharmaunternehmen BioNTech und Pfizer führten hierzu an der von EMBL betriebenen PETRA III Beamline P12 Messungen durch. Im Kern der Untersuchungen stand die Herausforderung, die mRNA in menschliche Zellen einzubringen, d.h. die Zellwand zu durchdringen, ohne dass diese direkt vom Körper abgebaut wird. Der Fokus lag auf Nanopartikeln, in die die mRNA eingebracht und auf diesem Weg in die Zellen transportiert werden konnte.⁵⁶

Die Zielsetzung des durch das BMBF geförderten Projekts⁵⁷ lag daher in der Untersuchung von Lipid-Nanopartikeln zum Einbringen von Molekülen – in diesem Fall RNA – in Zellen. Diese Erkenntnisse waren von signifikanter Bedeutung für die Entwicklung der neuartigen mRNA-Impfstoffe zur Eindämmung der Pandemie. Hierzu wurde die interne Organisation von Lipid-Nanopartikeln an der P12-Beamline mittels Röntgenkleinwinkelstreuung untersucht und auf dieser Basis die Wirksamkeit in menschlichen Organen verglichen. Mit dieser Methode konnten die Forschenden Änderungen in der Struktur von Modellmembranen aufdecken, die die ionisierbaren Lipid-Nanopartikel enthielten. Auf dieser Basis und mittels der hier erlangten Erkenntnisse sowie die unterschiedlichen pH-Werte von Zelltypen nutzend, können zelluläre Transportwege zur Übertragung bestimmter Zelltypen entwickelt werden. In einem weiteren Forschungsprojekt konnte die Übertragung durch die hybride Zusammensetzung von Nanopartikeln weiter gesteigert werden. Strukturanalysen, insbesondere die an P12 durchgeführten Experimente, zeigten auf, welche Charakteristika der Nanopartikel die höchste Übertragungseffizienz aufweisen.

Insgesamt konnten mittels der Untersuchungen an der Beamline P12 sowohl die Struktur als auch Verhalten und Effizienz von Nanopartikeln aus Lipiden bzw. einer hybriden Zusammensetzung unter verschiedenen Bedingungen untersucht und hierüber die zellulären Übertragungswege deutlich verbessert werden. Insbesondere ermöglichte die Strukturanalyse an der P12 die Identifizierung der inneren Struktur der Partikel mit der effizientesten Übertragung.

⁵⁴ Vgl. https://innovation.desy.de/fuer_industrie/case_studies/index_ger.html

⁵⁵ Vgl. beispielsweise auch https://petra4.desy.de/forschung/kulturelles_erbe/index_ger.html

⁵⁶ Vgl. <https://www.embl.org/news/science/biontech-uni-mainz-embl-hamburg/>

⁵⁷ Pharma-SAXS: SAXS Instrumentierung zur Strukturspektrum Aufklärung von Lipid-basierten Nanopharmazeutika an DESY PETRA-P12, Förderkennzeichen 05K22UM3, Zuwendungsempfänger: Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Vgl. Förderkatalog des BMBF.

Insgesamt bietet die mRNA-Technologie auch jenseits der Covid-Impfstoffentwicklung große Potenziale zur zukünftigen, raschen Impfstoff- und Medikamentenentwicklung, z.B. gegen Krebs. Die Forschungsk Kooperation zwischen Wissenschaft und Industrie einschließlich EMBL und DESY sowie die Nutzung der PETRA III-Strahlungsquelle konnten damit einen bedeutenden Beitrag im medizinisch-pharmazeutischen Bereich leisten.⁵⁸

Insgesamt zeigt dieses Fallbeispiel die vielfältigen Anwendungsbereiche von Synchrotrons sehr eindrücklich auf: Ohne die hier erlangten Erkenntnisse wäre die rasche und effiziente Entwicklung des Covid19-Vakzins nicht möglich gewesen, denn zuvor konnten entsprechende Untersuchungen lediglich auf indirektem Wege, z.B. mittels Spektroskopie, erfolgen. Die Analysen trugen signifikant zum Verständnis des Virus sowie zur Erforschung der bestmöglichen Übertragungswege der mRNA in die menschlichen Zellen bei. Derartige Untersuchungen erfordern nicht nur spezifische Forschungsinfrastrukturen, sondern auch dezidierte Erfahrungen in der Methodik und Instrumentierung der entsprechenden Untersuchungsanordnung. Hinzu kam in diesem spezifischen Fall ein spezielles Antragsverfahren, das vom üblichen Begutachtungsprozess abwich und zeitnahe Untersuchungen ermöglichte. Zudem wurde der Synchrotron-Betrieb auch während des Corona-Lockdowns gewährleistet. Denn speziell den für die Covid19-Situation erlangten Erkenntnissen zur Transfektionseffizienz wird ein hohes Potenzial in der individualisierten Krebstherapie zugeschrieben, sodass auf diesem Wissen aufgebaut werden kann, um weitere neuartige Behandlungsmöglichkeiten zu entwickeln.⁵⁹

Neben dem erwähnten Fall waren und sind DESY-Forschende auch in weitere Untersuchungen im Corona-Kontext beteiligt, so bspw. im Bereich der Wirkstoff- und Medikamentenforschung einschließlich Medikamenten-Verabreichungsformen, zur Modellierung der Ausbreitung des Virus, zur Untersuchung von geschädigtem Gewebe sowie zu Corona-Schnelltests. Neben den Experimenten an den Strahlungsquellen stellte das DESY Rechenkapazitäten für Datenanalysen sowie Rechnersimulationen zur Verfügung. Diese Kombination aus unterschiedlichen beteiligten Partnern aus der Grundlagenforschung, der Synchrotronforschung sowie der Industrie und die verfügbaren Infrastrukturen und Kompetenzen zogen weitere positive Effekte nach sich – bspw. die App CoVis zur Corona-Risikobewertung, die zu einem Spin-off eines DESY-Teilchenphysikers führte.⁶⁰

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Untersuchungen an PETRA III in signifikanter Weise zur Impfstoffentwicklung durch die Industrie beigetragen haben und damit einen immensen gesellschaftlichen Nutzen in Deutschland und weltweit erzielen konnten. Die Gesellschaft profitiert durch die Grundlagenforschung einschließlich der langjährigen Technologieentwicklung⁶¹ vor Ausbruch der Pandemie, den Untersuchungen an PETRA III, deren Erkenntnisse dann durch BioNTech

⁵⁸ Vgl. DESY, Innovation & Technologie Transfer (o.J.): Insights into better ways to package and deliver RNA into human cells. Beamtime for Industry: Pharmaceuticals. Online verfügbar: https://innovation.desy.de/sites/sites_custom/site_itt/content/e12/e157085/e157091/e157130/e157136/DESY_CS15_EMBL_mRNAPackaging_ger.pdf. Die wissenschaftlichen Ergebnisse wurden ferner publiziert in: Siewert, C.; Haas, H.; Cornet, V.; Nogueira, S.S. (2020): Hybrid Biopolymer and Lipid Nanoparticles with Improved Transfection Efficacy for mRNA, Cells 9(9), 1-19, DOI 10.3390/cells909203410.3390/cells909203410.3390/cells9092034; Nogueira, S.S.; Schlegel, A.; Maxeiner, K.; Weber, B.; Barz, M.; Schroer, M.A.; Blanchet, C.E.; Svergun, D.I.; Ramishetti, S.; Peer, D.; Langguth, P.; Sahin, U.; Haas, H. (2020): Polysarcosine-Functionalized Lipid Nanoparticles for Therapeutic mRNA Delivery. ACS Applied Nano Materials; 3, 11, 10634-10645, DOI 10.1021/acsanm.0c0183410.1021/acsanm.0c0183410.1021/acsanm.0c01834; Uebbing, L.; Ziller, A.; Siewert, C.; Schroer, M.A.; Blanchet, C.E.; Svergun, D.I.; Ramishetti, S.; Peer, D.; Sahin, U.; Haas, H.; Langguth, P. (2020): Investigation of pH-Responsiveness inside Lipid Nanoparticles for Parenteral mRNA Application Using Small-Angle X-ray Scattering, Langmuir 36,44, 13331-13341, American Chemical Society, DOI 10.1021/acs.langmuir.0c02446.10.1021/acs.langmuir.0c0244610.1021/acs.langmuir.0c02446

⁵⁹ Vgl. <https://www.sni-portal.de/de/nachrichten/synchrotrons-beschleunigen-corona-forschung>, https://www.desy.de/aktuelles/news_suche/index_ger.html?openDirectAnchor=1977&two_columns=0

⁶⁰ Vgl. https://www.desy.de/aktuelles/corona_forschung/index_ger.html, https://www.desy.de/aktuelles/news_suche/index_ger.html?openDirectAnchor=2123&two_columns=0, <https://covishealth.com/>

⁶¹ So wurde die der Impfstoffentwicklung zugrundeliegende Forschung u.a. von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert (siehe Sonderforschungsbereich 1066), vgl. <https://sfb1066.de/news/dfg-wuerdigt-die-bedeutung-einer-langjaehrigen-forschungsfoerderung-und-der-mainzer-forschungsinfrastruktur-fuer-die-impfstoffentwicklung-von-biontech/>

und Pfizer direkt in der Impfstoffentwicklung angewandt wurden. Beteiligte Wissenschaftler:innen sehen hierin neben der unmittelbaren Wirkung in der Covid19-Pandemie einen signifikanten Schritt hin zu einem neuen mRNA-basierten Paradigma der Wirkstoff- und Medikamentenentwicklung, der nur durch die gezielte Zusammenarbeit möglich war.^{62 63}

6.1.3 Beispiel aus der materialwissenschaftlichen Forschung: Einblicke in Laserschweißprozesse durch PETRA III ermöglichen nachhaltigere Fertigung

Auch im Bereich Materialwissenschaften gibt es erfolgreich abgeschlossene Forschungsprojekte mit direkter Industriebeteiligung und großem Anwendungsbezug. Im Dezember 2022 konnte beispielsweise mithilfe der bildgebenden Experimentiermöglichkeiten an der PETRA III Beamline P07 eine wichtige technologische Herausforderung der Firma Trumpf zur Optimierung ihrer Laserschweißverfahren gelöst werden.

Die Firma TRUMPF aus Ditzingen in Baden-Württemberg, als weltweit führender Anbieter von Werkzeugmaschinen, Laser sowie Elektronik für industrielle Anwendungen, nutzt zunehmend intensiv das Laserschweißen im Rahmen der Metallbe- und -verarbeitung. Die Vorteile des Laserschweißens sind neben der grundsätzlichen Flexibilität des Werkzeugs v.a. die hohe Präzision, die Schnelligkeit und der Einsatz über verschiedene Werkstoffe hinweg (mit hoher Schmelztemperatur und Wärmeleitfähigkeit). Die Anwendungsbreite des Laserschweißens ist entsprechend groß. Laserschweißnähte und -schweißpunkte sind beispielsweise relevant bei ICE-Zügen, Getriebeteilen von PKW und LKW, Airbaghülsen oder Herzschrittmachern. Gegenwärtig kommen bei TRUMPF verstärkt Laserschweißprozesse im Anwendungsbereich der Elektromobilität (z.B. Batterien, Elektromotor) zum Einsatz.

Das Ziel des Forschungskonsortiums – bestehend aus dem Helmholtz-Zentrum Hereon, dem Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT in Aachen – in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Lasertechnik LLT der RWTH Aachen und dem an den Experimenten am PETRA III-Beschleuniger des DESY beteiligten Auftraggeber TRUMPF, war es, den Schweißprozess von Metall-Keramik-Substraten (MKS) zu untersuchen. Die Elektromobilität stellt die Lasertechnik vor große Herausforderungen. So ist Kupfer das wichtigste Material für die Fertigung von Kernkomponenten für die E-Mobilität. Dieses Buntmetall absorbiert nur etwa 5% der Laserstrahlung im nahen Infrarot-Bereich (NIR) und leitet die Wärme sehr gut ab. Beides führt zu erheblichen Problemen beim Schweißen. Die forschersische Herausforderung beschreibt der Auftraggeber TRUMPF wie folgt: "Diese MKS verbinden elektronische Bauteile in einer Hochvolt-Umgebung, wie etwa der Leistungselektronik eines E-Autos. Auf einer isolierenden Platte Keramik ist eine hauchdünne Schicht Kupfer aufgebracht. Die Autohersteller wollen zur Kontaktierung per grünem Laser ein weiteres Kupferbauteil auf das MKS schweißen. Es geht also um eine Verbindung Kupfer auf Kupfer. Die Frage ist nun: Wie kriegt man im Schweißprozess alles ins Optimum gerückt? Die Kupferplatten sollen so dünn wie möglich sein, der Prozess rasend schnell, die Naht soll hundertprozentig halten und die Keramik darf nicht vom Laser beeinflusst werden. Oder kurz: Wie findet man die perfekte Lasereinstellung für den produktivsten Prozess?"⁶⁴ Die verschiedenen (Forschungs-)Partner konnten hochspezialisiertes Wissen zu Röntgenstrahlung, Laserquellen und Schweißprozessen einbringen und Ergebnisse erzielen, die beim Einsatz

⁶² Vgl. auch <https://www.helmholtz.de/newsroom/artikel/wie-grundlagenforschung-als-sprungbrett-fuer-innovationen-dient/>.

⁶³ Vgl. hierzu auch die breite Information der Öffentlichkeit sowohl seitens der Öffentlichkeitsarbeit des DESY als auch der Presse, beispielsweise <https://www.abendblatt.de/hamburg/article236486973/biontech-forscht-am-desy-in-hamburg-fuer-neue-arzneien-bahrenfeld-science-city-corona.html>

⁶⁴ Case Study und Imagefilm zur Kooperation:
https://www.trumpf.com/de_DE/loesungen/erfolgsgeschichten/erfolgsgeschichte-kooperation-fraunhofer-ilt-und-trumpf/

eines Lasers mit grüner Wellenlänge ermöglicht wurden. Am Ende entsteht beim industriellen Einsatz weitaus weniger Ausschuss als bei anderen Laserschweißverfahren, womit speziell Automobilunternehmen bzw. -zulieferer Rohstoffe sparen und zu nachhaltigerer Fertigung beitragen.

Im Rahmen der Forschungsarbeit bzw. des Experiments wurden am DESY insgesamt drei Tage Strahlzeit für das Vorhaben in Anspruch genommen, die fachlich über zwei Jahre vorbereitet worden waren: Gemeinsam hatten die Hamburger Wissenschaftler:innen mit dem Fraunhofer ILT aus Aachen und TRUMPF als Industriepartner eine Prüfmethodik und die konkreten wissenschaftlichen Fragestellungen entwickelt, die in über einhundert experimentellen Durchgängen beantwortet werden konnten.⁶⁵ Neben der guten Vorbereitung und der kollaborativen Durchführung der Messungen ist vor allem die Auswertung und Interpretation der gewonnenen Daten durch die Nutzergemeinschaft Fraunhofer ILT und TRUMPF entscheidend gewesen: Die Informationen über Einschweißpräzision, Schweißgeschwindigkeiten etc. wurden im Rahmen von Videos, umfangreichen Sensordaten und Tabellen gesammelt, die im Anschluss wochenlang durch die Expert:innen auf ihre Anwendbarkeit hin ausgewertet wurden.

Die Röntgenlichtquelle PETRA III war für die Untersuchung der Schweißprozesse von erheblichem Nutzen, da herkömmliche Verfahren nur die elektromagnetischen Emissionen aus dem Plasma vorsehen, während mittels der Strahlung von PETRA III die Möglichkeit besteht, in die Schmelze hineinzuschauen sowie die schmelzflüssige Dynamik sichtbar zu machen.

Erstmals konnte, laut einem der Beteiligten des Fraunhofer ILT nachgewiesen werden, "dass sich beim Schweißen von Hochleistungselektronik durch den Einsatz von Lasern mit grüner Wellenlänge Rohstoffe einsparen lassen."⁶⁶ Denn durch den Einsatz des *grünen Lasers* entsteht weniger Ausschuss als bei anderen Laserschweißverfahren. Eine Erkenntnis, die TRUMPF bereits wenige Wochen nach den Experimenten bei PETRA III in ihrer Firmenpraxis als Dienstleister und Fertigungspartner der Automobilindustrie umzusetzen beabsichtigte. Denn schnellere und optimierte Laserschweißprozesse für Kupferverbindungen aller Art können helfen, Fertigungsprozesse in der Hochleistungselektronik ressourcenschonender und effizienter zu gestalten.

Das skizzierte Beispiel aus der materialwissenschaftlichen Forschung zeigt die grundsätzliche Fähigkeit des DESY bzw. PETRA III sowohl anwendungsorientierte Forscher:innen zu attrahieren, in die industrielle Forschung und Entwicklung zu integrieren als auch aktuelle gesellschaftliche Herausforderungen zu adressieren. Die technologischen Wirkungen und industriellen Anwendungspotenziale bei dem Beispielprojekt sind von erheblicher Bedeutung und spiegeln die Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten der Röntgenlichtquelle PETRA III wider. Die beiden Kooperationspartner TRUMPF und Fraunhofer ILT möchten daher "die Forschung auch auf andere Bereiche wie 3D-Druck, Laserschneiden und Laserstrahlbohren mit Ultrakurzpulslasern ausdehnen und perspektivisch weitere Industriepartner mit ins Boot holen."⁶⁷

Darüberhinausgehend ist bei besagtem Forschungsprojekt die Geschwindigkeit des Erkenntnis-transfers in die Wirtschaft bemerkenswert. Es ist gelungen, eine für den Einsatz des Laserschweißens in der Industrie zentrale technologische Herausforderung zu adressieren und somit einen Beitrag zu technologiebasierter Innovation mit großer Relevanz für die industrielle Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands zu leisten.

⁶⁵ Zur konkreten Umsetzung: https://www.trumpf.com/de_DE/loesungen/erfolgsgeschichten/erfolgsgeschichte-kooperation-fraunhofer-ilt-und-trumpf/

⁶⁶ Zitat Marc Hummel, Fraunhofer ILT: https://innovation.desy.de/news_events/e85/e_autos_teilchenbeschleuniger_belegt_nachhaltigere_fertigung_durch_gruenen_laser/index_ger.html

⁶⁷ Aussage der Pressemeldung zum erfolgreichen Projektabschluss entnommen: https://innovation.desy.de/news_events/e85/e_autos_teilchenbeschleuniger_belegt_nachhaltigere_fertigung_durch_gruenen_laser/index_ger.html

6.2 Fokusthema Spin-offs und Entrepreneurship

6.2.1 Einordnung

Wissenschaftliche Institutionen spielen eine wichtige Rolle im Hinblick auf das Hervorbringen von Technologien und Innovationen. Ein wesentlicher Transferkanal hierbei ist die Ausgründung von Unternehmen bzw. Start-ups, von denen man sich nicht nur Impulse für die Erneuerung der Wirtschaftsstruktur erwartet, sondern auch Beiträge zur Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen, wie bspw. die Adressierung des Klimawandels, der Energiewende oder zu Themen wie Mobilität und Gesundheit. Ausgründungen aus der Wissenschaft können in den unterschiedlichsten Technologie- und Innovationsfeldern entstehen sowie in Form verschiedener Geschäftsmodelle.

Für wissenschaftliche Institutionen, die wie das DESY einen starken Technologiebezug haben, sind entsprechend technologieorientierte Start-ups oder DeepTech-Start-ups von besonderem Interesse, da mit diesem Gründungstyp besondere Erfolgs- und Wachstumserwartungen sowie Lösungspotenziale für anstehende Herausforderungen verbunden sind. Auch im materiellen Sinne besteht typischerweise die Option, durch Aus-Lizenzierungen oder den Verkauf von Technologien am Erfolg der Start-ups zu partizipieren.

Für das DESY sind Ausgründungen ein wichtiger, wenn auch aktuell nicht der zentrale Transferkanal von wissenschaftlichen Ergebnissen in die Anwendung. Die Ausgangsbedingungen für ein Mehr an Start-ups sind zunächst ambivalent zu bewerten: Entsprechend der Mission des DESY, als Institut der Helmholtz-Gemeinschaft naturwissenschaftliche Grundlagenforschung durchzuführen, ist zunächst eine Ausrichtung an wissenschaftlichen Zielen vorgesehen und weniger die konsequente Umsetzung wissenschaftlicher Ergebnisse in die Praxis. Daher hat Auftragsforschung für die Industrie, wie sie bspw. an Fraunhofer-Instituten üblich wäre, dort keine große Bedeutung. Dessen ungeachtet entstanden am DESY in den letzten Jahren eine ganze Reihe erfolgreicher Start-ups (bzw. siedelten sich dort an), die in Technologiefeldern wie Life Sciences/Biotechnologie, Materialwissenschaften, Lasertechnologien Sensorik etc. tätig sind.

Bedingt durch das enorme wissenschaftliche und technologische Potenzial des DESY wurden weiterhin interne strukturelle Maßnahmen ergriffen, die das Ziel verfolgen, das DESY Innovations-Ökosystem insgesamt zu stärken, den Brückenschlag zwischen Forschung und Industrie zu organisieren und den Transferkanal Ausgründungen zu optimieren.

Aufgrund der verstärkten Anstrengungen des DESY, das Innovations-Ökosystem zu strukturieren und Maßnahmen zu ergreifen und dabei gleichzeitig auch das regionale Innovationssystem im Großraum Hamburg zu stärken, werden mit Blick auf Ausgründungen nicht nur solche adressiert, die das DESY selbst aus den internen Technologien hervorbringt, sondern auch weitere Typen. Somit werden folgende Ausgründungsformen unterschieden, die entsprechend unterschiedliche Maßnahmen und Strukturen der Unterstützung erfordern:

- *DESY Spin-offs*: hierunter werden solche Gründungen verstanden, deren Geschäftsmodelle auf DESY-Technologien oder -Know-how basieren. Es handelt sich in der Regel um Technologieunternehmen, die Produkte (Technologien) oder technologie-nahe Dienstleistungen anbieten. Charakteristisch für diesen Gründungstyp ist es, dass eine formale Vereinbarung zum IP-Transfer existiert, was in der Regel mit einem Vertrag über Beteiligung, Lizenz- oder/und Infrastrukturnutzung einhergeht. Ob ein:e DESY-Mitarbeiter:in beteiligt ist oder nicht, spielt dabei keine Rolle, d.h. es sind auch solche Konstellationen denkbar, bei denen DESY-Technologien mit externen Gründer:innen zusammenkommen.

- Beim zweiten Typ handelt es sich um solche Ausgründungen, die in das *DESY Start-up Programm* aufgenommen wurden (siehe hierzu unten). Dies wird praktiziert, wenn die Geschäftsidee zu einem der Forschungsschwerpunkte des DESY passt und/oder die Forschungsinfrastruktur ein wesentlicher Bestandteil des Geschäftsmodells ist. Insofern beruhen die Technologien bzw. das eingebrachte Know-how nicht unbedingt auf einer am DESY entwickelten Technologie, es kann sich auch um Start-ups anderer Forschungseinrichtungen, die auf dem DESY Campus ansässig sind (z.B. EMBL, Max-Planck usw.), handeln.
- Schließlich stellt das DESY auch Infrastrukturen oder Forschungsanlagen solchen innovativen Start-ups zur Verfügung, die ihren Ursprung außerhalb des DESY haben, aber besagte Infrastrukturen nutzen und zu den Forschungsschwerpunkten des DESY passen. Die Ansiedlung findet auf dem Campus statt, aber in der Regel findet keine Betreuung durch das DESY Start-up Office statt.

Vor diesem Hintergrund besteht das *grundsätzliche Ziel des DESY* darin, ein innovatives und dynamisches Unternehmertum, speziell im DeepTech-Bereich, mit nationaler und internationaler Sichtbarkeit zu fördern. Weiterhin soll die Rolle des DESY bzw. des Innovationssystems Hamburg als Standort und Magnet für Talente und Gründungen weiter ausgebaut und das Forschungs- und Innovationsprofil entsprechend gestärkt werden.

6.2.2 Strukturen und Maßnahmen

Um diese Ziele zu erreichen, hat das DESY in den letzten Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen, um auf Ausgründungen und Innovationen ausgerichtete Strukturen und Prozesse zu schaffen. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über das Infrastrukturangebot entlang der verschiedenen Phasen des unternehmerischen Gründungsprozesses beginnend mit der Grundlagenforschung und endend mit der Reifephase. Bei diesem linearen Modell handelt es sich um einen idealtypischen Ablauf, der in der Realität allerdings nicht immer anzutreffen ist, insofern wird dem Infrastrukturangebot ein vereinfachter Prozess zugrunde gelegt.

Abbildung 19: Infrastrukturangebot des DESY für Ausgründungen und Gründungsprojekte

Labortypen/Infrastrukturen	Grundlagenforschung		Ideenentwicklung		Validierungsphase		Gründungsphase		Aufbauphase		Wachstumsphase		Reifephase	
	Bio./Ch. Lab.	Phy. Lab.	Bio./Ch. Lab.	Phy. Lab.	Bio./Ch. Lab.	Phy. Lab.	Bio./Ch. Lab.	Phy. Lab.	Bio./Ch. Lab.	Phy. Lab.	Bio./Ch. Lab.	Phy. Lab.	Bio./Ch. Lab.	Phy. Lab.
DESY u. Campuspartner	x	x												
DESY Innovation Factory I			x	x	x	x	x	x	x					
Start-up Labs								x		x		x		
techHHub									x		x		x	
DESY Innovation Factory II										x		x		x

Hinweis: Die DESY Innovation Factory (Gebäude I auf dem Campus und Gebäude II im Innovationspark Altona) sowie der TechHub befinden sich noch in Planung, siehe auch <https://www.sciencecity.hamburg/techhub-geplant>

Quelle: DESY ITT Stand Dezember 2022 – Präsentation: Ökosystem für Innovationen

Die DESY Infrastrukturprojekte setzen sich aus folgenden Elementen zusammen (s. Abbildung 19):

- der eigentlichen *Forschungsinfrastruktur DESY*, u.a. PETRA III, die es ermöglicht, wissenschaftliche Grundlagenforschung durchzuführen und dabei auch externe Partner, schwerpunktmäßig, aber nicht ausschließlich aus der Wissenschaft, einzubinden;

- der geplanten *DESY Innovation Factory* als Zentrum für Start-ups sowie die Umsetzung neuer Ideen in den Bereichen Life Science und New Materials; das Gebäude der Innovation Factory auf dem Campus richtet sich an Vorgründer:innen, Start-ups, Scale-ups, Angewandte Forschungsprojekte und Industriekooperationen; mit Blick auf Start-ups stehen die Phasen Ideenentwicklung, Validierung und die Gründungsphase im Mittelpunkt;
- den *Start-up Labs Bahrenfeld*, als gemeinsamem Innovationszentrum des DESY, der Universität Hamburg und der Stadt Hamburg; bei dem Start-up Lab handelt es sich um einen Inkubator für DeepTech-Start-ups aus der Forschung mit einem Fokus auf physikalische oder biophysikalische Themen; das Angebot umfasst Büroflächen, Labor- und Werkstattflächen und zielt auf die Gründungs-, Aufbau- und Wachstumsphase; die aktuelle Auslastung liegt bedingt durch eine große Nachfrage bei 98%;
- der Einrichtung eines 'Makerspace' als schon jetzt existierende Einrichtung der *DESY Innovation Factory*, in dem Vorgründungs- und Gründungsteams, aber auch junge Start-ups einen Ort finden, an dem sie an der Fertigung ihrer Prototypen arbeiten können. Dieser Makerspace wurde im November 2022 eröffnet⁶⁸ und befindet sich derzeit im Beta-Testing; in der Zukunft wird er Teil der DESY Innovation Factory werden;
- als weiterer Baustein der Gründungsförderung soll das durch die Freie und Hansestadt Hamburg finanzierte *TechHub* voraussichtlich 2025 in Betrieb gehen; hierbei handelt es sich ebenfalls um ein Zentrum für Start-ups und junge Technologieunternehmen, die Büro- und Laborflächen nutzen können; perspektivisch kommen unter anderem einige der Start-ups im Bereich Life Science des Start-up Labs Bahrenfeld als Mieter in Betracht; entsprechend ist der Fokus auf die Phasen Aufbau, Wachstum und Reife ausgelegt;
- Schließlich steht das Gebäude der *Innovation Factory* im Innovationspark Altona ab voraussichtlich 2026 als integriertes Technologie- und Gründerzentrum zur Verfügung; der Fokus liegt auf wachsenden bzw. etablierten DeepTech-Unternehmen der Bereiche Werkstofftechnik, Photonik und Elektronik; entsprechend werden ausbaubare physikalische Labor- und Werkstattflächen angeboten.

Die Infrastrukturen stellen nicht die einzigen Maßnahmen des DESY zur Förderung des Unternehmertums und von Start-ups dar. Laut der DESY-Transferstrategie ordnet sich das Infrastrukturangebot in den folgenden Maßnahmenkatalog ein:

- Einrichtung des DESY Start-up Office zur individuellen Unterstützung von Gründer:innen und Gründungsprojekten;
- Etablierung des DESY Start-up-Programms mit den Elementen Geschäftsmodellvalidierung und Beratung;
- Networking, Trainings sowie die Integration der Gründungsunterstützung mehrerer Hamburger Wissenschaftsorganisationen (Hamburger Verbundprojekt *Startup Port Hamburg* mit dem DESY als Partner (vormals: *beyourpilot*);
- Austauschformate, Weiterbildungen, Veranstaltungen (z.B. PIER Helmholtz Graduate School);
- Initiative *Future Innovators* - Helmholtz Transfer Academy zur Motivation von Wissenschaftler:innen bzw. zur Verankerung unternehmerischen Denkens und Handelns;
- Innovatorennetzwerk, um den Zugang zu Kapital zu erleichtern (DESY Investitionsfonds);
- DESY Start-up School zur Vermittlung praktischen Wissens für angehende Gründerpersonen; ein besonderer Fokus der DESY Start-up School ist auf die Gründungspotenziale von PETRA IV gerichtet, da hierdurch eine neue Generation von Wissenschaftler:innen angesprochen wird und vielfältige Gründungspotenziale erwartet werden.

⁶⁸ https://innovation.desy.de/news_events/e85/makerspace_der_desy_innovation_factory_eroeffnet/index_ger.html

6.2.3 Impact

Das DESY konnte in den vergangenen Jahren zahlreiche Gründungsprojekte begleiten und damit einen wichtigen Transferkanal für wissenschaftliche Erkenntnisse etablieren. Auf dem DESY Campus selbst entstanden somit seit 2014 13 Gründungen in unterschiedlichen Technologiefeldern. Davon entsprechen sechs dem Gründungstyp 1 (originäre DESY-Ausgründung), die restlichen sieben sind solche Spin-offs, die dem Typ 2 entsprechen, d.h. die in das Start-up Programm aufgenommen wurden (vgl. Tabelle 5). Eine wichtige Wirkung ist demnach auch, dass sich (zwei) Start-ups bewusst für die Ansiedlung auf dem Campus entschieden haben, um von der spezifischen Infrastruktur profitieren zu können.

Die folgende Tabelle 5 zeigt weiterhin die vom Start-up Office durchgeführten Beratungen, die sich am aktuellen Rand 2022 auf 165 belaufen (Erst- und Folgeberatungen) - von 29 im Jahr 2018.

Tabelle 5: Anzahl Beratungen und Gründungen auf dem DESY Campus

Jahr	Anzahl Erstberatungen	Anzahl Beratungen insgesamt (Erst- und Folgeberatungen)	Gründungen
2014-2017			4
2018	9	29	2
2019	14	48	2
2020	10	98	1
2021	12	102	1
2022	20	165	2

Quelle: DESY Start-up Office (Foliensatz)

Neben den Beratungen führt das Start-up Office verschiedene Veranstaltungen zum Thema Entrepreneurship durch. Diese haben in den vergangenen vier Jahren zahlenmäßig deutlich zugenommen, was zu einer entsprechend größeren Mobilisierung interessierter Wissenschaftler:innen geführt hat. Im vergangenen Jahr haben somit knapp 590 Personen an den Veranstaltungen teilgenommen (vgl. Tabelle 6)

In den Start-up Labs Bahrenfeld sind derzeit 17 Start-ups ansässig, die sich allerdings nicht nur aus dem DESY ausgegründet haben (siehe Ausgründungstyp 2). Der Umsatz der 15 Mieter belief sich im Jahr 2021 auf ca. 9,7 Mio. Euro. Die Start-up Labs sind damit gegenwärtig voll ausgelastet und die Nachfrage nach weiteren Büro- und Laborflächen, der man aktuell nicht entsprechen kann, ist weiterhin sehr hoch.

Tabelle 6: Anzahl Veranstaltungen des DESY Start-up Office

Jahr	Anzahl Veranstaltungen	Anzahl Teilnehmende	Erläuterungen
2019	14		
2020	29	344	Neue Workshop-Reihe <i>beyourpilot</i> Gründungstoolbox, nur gezählt, wenn STO als Referent der Co-Referent
2021	24	462	
2022	47	586	bzw. 62 TN und 49 Veranstaltungen, wenn Tag der offenen Tür im InnoVillage/SLB mitgezählt wird; Ausbau beyourpilot Gründungstoolbox, Angebote Start-up School Bzw. 862 TN und 49 Veranstaltungen, wenn Tag der offenen Tür im InnoVillage/SLB mitgezählt wird; Ausbau beyourpilot Gründungstoolbox, Angebote Start-up School

Quelle: DESY Start-up Office (Foliensatz)

Die folgende Tabelle 7 gibt einen Überblick der DESY-Gründungen seit 2014 nach Branche, Technologieschwerpunkt und Typ (siehe Kapitel 6.1.1).

Tabelle 7: Anzahl und Typen der DESY-Gründungen seit 2014

Unternehmen	Branche	Erläuterung	Label/ Klassifizierung	Gründungs-da- tum
X-Spectrum GmbH	Detektor-entwicklung	Entwicklung, Herstellung, Vertrieb und Service von elektronischen Messinstrumenten, insbesondere bildgebenden Systemen sowie der dazugehörigen Software	Start-up by DESY (Spin-off)	20.07.2014
Suna-Precision GmbH	Laborequipment	Entwicklung und Herstellung von hochpräzisen Komponenten, insbesondere für Experimente mit Röntgenstrahlung	Start-up by DESY (Spin-off)	20.07.2014
Class5Photonics GmbH	Lasersysteme	Entwicklung von Lasersystemen (ultrafast, high-power laser systems and EUV technology at outstanding performance)	Start-up by DESY (Spin-off)	18.12.2014
Cycle GmbH	Lasersysteme	Design und Produktion von Laser-Synchronisations-systemen	Start-up by DESY (Spin-off)	20.03.2015
awk/jk	Wissenschaftskommunikation	Agentur für Wissenschaftskommunikation	supported by DESY	2016
WiredSense GmbH	Detektor-entwicklung	Entwicklung pyroelektrischer Strahlungsdetektoren für vielfältige Anwendungen	supported by DESY	2018
Königssysteme UG	Auftragsentwicklung für Forschung und Wissenschaft	Entwicklung von Vakuum-, Kryo- und opto-elektronischen Systemen für Experimente	supported by DESY	23.07.2018

Unternehmen	Branche	Erläuterung	Label/ Klassifizierung	Gründungs-da- tum
PiNa-Tec	Bio-Nanotechnologie	Nachweisverfahren auf Basis von Bio-Nanopartikeln	supported by DESY	2019
axiom insights	Medical Imaging	Bio-Imaging mit Gold-Nanoclustern unter Zuhilfenahme von Röntgenstrahlung bei PETRA III	supported by DESY	01.11.2019
CoVis	Digital Health	App zur Risikobewertung für Ansteckungsgefahr in Pandemien	Start-up by DESY (Spin-off)	15.06.2020
tx products UG	Geräte- und Komponentenbau	Herstellung, Vertrieb und Entwicklung von Röntgenoptiken und Röntgenpulsmanipulatoren sowie von Geräten zur thermoakustischen Verformung von Festkörpern und Nanostrukturen	supported by DESY	17.06.2021
SaSaS Science as a Service GmbH	Dienstleistung: Beratung und Beteiligung	Beratung und Beteiligung an Unternehmen, die wissenschaftliche Dienstleistungen erbringen. Nebenerwerbsgründung	supported by DESY	06.07.2022
ximul.it GmbH	Simulationen für Semiconductor Industrie	ximul.it entwickelt eine energieeffiziente Hardware-Beschleunigung von Simulation analoger Schaltungen in der Cloud. Zielmarkt ist die Halbleiterindustrie	Start-up by DESY	16.12.2022

Quelle: DESY Start-up Office

6.2.4 Ausblick auf PETRA IV

Im Hinblick auf die Gründungsdynamik im Zusammenhang mit PETRA IV ist davon auszugehen, dass die strukturelle Einbettung der Gründungsunterstützung und -infrastruktur am DESY in den nächsten Jahren eine erhebliche Wirkung entfalten kann. Dies betrifft die verschiedenen Elemente der Infrastruktur als auch die Maßnahmen, die sich auch an Gründungsvorhaben von außerhalb richten. In den vergangenen Jahren konnten im Zusammenhang mit PETRA III bereits zahlreiche, sich dynamisch entwickelnde Spin-offs generiert bzw. unterstützt werden, die nicht nur das DESY-Innovations-Ökosystem insgesamt weiterentwickelt haben, sondern auch das Thema Spin-offs und Entrepreneurship als neuen Transfer- und Impactkanal komplementär zu den weiteren Verwertungswegen etabliert haben.

Unter technologischen Aspekten werden ausgehend von PETRA IV absehbar zahlreiche Innovationen zu erwarten sein, die sich aus den optimierten Strahlführungen und Parametern dieser Strahlungsquelle der vierten Generation ergeben und damit neue Analysemöglichkeiten für Prozesse und Materialien bieten. Erkenntnisse, die als Grundlage für (neue) Geschäftsmodelle dienen könnten, wären bspw. für Anwendungen in Branchen wie Energiewirtschaft, Luftfahrt, Fahrzeugbau oder die Gesundheitsindustrie denkbar. Damit sind Beiträge zur Lösung der großen gesellschaftlichen Herausforderungen zu erwarten, die über den bisherigen Möglichkeitsraum von PETRA III deutlich hinausgehen.

6.3 Fokusthema Standards und Lizenzen

Der Themenbereich der Standardentwicklung verdeutlicht Transfer und Interaktionen mit dem DESY nicht zugehörigen Akteuren sowohl aus der Wissenschaft als auch aus dem privatwirtschaftlichen Sektor. Dieser Transferkanal zeigt sowohl die Verzahnung des DESY mit anderen wissenschaftlichen sowie privaten Einrichtungen als auch die Interdependenz des Transfers. Dieser verläuft nicht ausschließlich in eine Richtung (d.h. des DESY in andere Einrichtungen), sondern auch das DESY profitiert gleichfalls von Rückkopplungen für die eigenen Weiterentwicklungen.⁶⁹ Hinzu kommt der positive Effekt durch den DESY Campus, der Lerneffekte und neuartige Entwicklungen im Zusammenspiel der gesamten Infrastruktur auf dem Campus ermöglicht. Charakteristisch ist, dass die Entwicklung eines Standards aus Einrichtung und laufendem Betrieb von Beschleunigern auf dem Campus hervorgingen, d.h. weniger primär auf Experimenten an den Beschleunigeranlagen an sich beruhen, sondern vielmehr auf innovativen Entwicklungen, die aus der Installation und dem Betrieb der Maschinen resultieren.

6.3.1 Standards: Das Beispiel MicroTCA

Der hoch performante Elektronikstandard MicroTCA (Micro Telecommunications Computing Architecture) gilt als eines der erfolgreichsten Beispiele des Transferpfads Standards am DESY.⁷⁰ MicroTCA ist ein offener und modularer Elektronikstandard, der aus der Informations- und Telekommunikationstechnik stammt und daher nicht nur für Großforschungsanlagen, sondern auch für industrielle Anwendungen interessant ist. MicroTCA hat seinen Ursprung im Kontext des Linearbeschleunigers European XFEL und wurde im Anschluss zu MicroTCA.4 weiterentwickelt. In diesem Prozess spielte das MicroTCA.4 Technology Lab, an dem neben dem DESY auch Industriepartner beteiligt waren, eine wichtige Rolle. Dieses Lab konnte mithilfe einer Finanzierung der Helmholtz-Gemeinschaft im Programm Innovation Labs realisiert werden.

Ausgangspunkt war der konkrete Bedarf nach einer elektronischen Steuerung zur Koordinierung der Vielzahl an benötigten technischen Einzelkomponenten im Röntgenlaser European XFEL. Dieser Prozess startete bereits in der XFEL-Planungsphase, d.h. die Auswahl der zu implementierenden Lösung musste zukunftsgerichtete Entwicklungen so weit wie möglich antizipieren und zugleich den hohen Anforderungen eines Teilchenbeschleunigers entsprechen. Auf Erfahrungen der Anwendung im speziellen Bereich konnte zu diesem Zeitpunkt noch nicht zurückgegriffen werden, denn MicroTCA war bis dahin noch nicht in einem Teilchenbeschleuniger eingesetzt worden.

Der zu diesem Zeitpunkt existierende MicroTCA konnte zwar in breitem Umfang die bestehenden Anforderungen erfüllen, jedoch fehlte eine zentrale Funktionalität, die das DESY in Kooperation mit weiteren Partnern entwickelte. Diese sind sowohl in anderen europäischen Großforschungseinrichtungen bzw. Beschleunigerzentren als auch in der Industrie verortet. Aus dieser Kooperation ging der Standard MicroTCA.4⁷¹ hervor, der wiederum am DESY die Basis für die XFEL-Steuerungselektronik darstellte. Durch sein spezifisches Alleinstellungsmerkmal – die Verarbeitung analoger und digitaler Signale in einem System bei klarer Trennung von Signalen und jeweiligen Stromversorgungen – kann MicroTCA.4 nicht nur in Großanlagen wie Teilchenbeschleunigern, sondern auch in

⁶⁹ Ähnliches gilt auch für den Bereich der Qualitätsprüfungen, siehe Abschnitt 6.4.

⁷⁰ Vgl. https://innovation.desy.de/technologien/microtca/index_ger.html

⁷¹ Veröffentlichung des Standards durch PICMG (PCI Industrial Computer Manufacturers Group), einem Non-Profit-Konsortium aus Unternehmen und Organisationen, die gemeinschaftlich offene Standards für hochperformante Datenverarbeitungsanwendungen entwickeln, vgl. <https://www.picmg.org/>

deutlich kleineren Geräten zur Anwendung kommen. Somit kann von einer hohen Relevanz kooperativer transferrelevanter Strukturen zwischen (Groß-)Forschung⁷² und Industrie⁷³ sowohl in der Entwicklung als auch in der Anwendung gesprochen werden. Lag der Fokus der Entwicklungen am DESY zunächst auf der Hardwareentwicklung, so kam im Verlauf der weiteren Entwicklungsphasen der Servicegedanke zunehmend hinzu. Auch wurde der Standard beständig weiterentwickelt und auf dieser Basis neue Anwendungen identifiziert.

6.3.2 Wirkungen und Transfer

Der Transfer des Standards in die Industrie wird durch die Erweiterung der Kompetenzprofile der DESY-Forschenden um Beratung, Service, Wissenstransfer und Trainingsmaßnahmen, Vernetzungsaktivitäten und Marktentwicklung, durch zusätzliche transferfördernde Aktivitäten wie Messebesuche, durch die maßgeschneiderte Unterstützung der Stabsstelle ITT (Innovation & Technologietransfer) am DESY, finanzielle Förderung aus dem Helmholtz-Validierungsfonds⁷⁴ sowie durch die spezifische Infrastruktur des MicroTCA Technology Lab (eines der 16 Helmholtz Innovation Labs⁷⁵) zur Erprobung neuartiger Kooperationsformen mit Interessenten aus der Industrie gefördert.⁷⁶ Gegenwärtige Schwerpunkte des Labs liegen in der Vermarktung von MicroTCA-Know-how sowie Entwicklungen des DESY.

Hinzu kommen Neuentwicklungen in unterschiedlichen Bereichen, die als Produktneuerungen sowie als Open Source angeboten werden. Das Produktangebot umfasst dabei sowohl neue Lösungen für MicroTCA Management als auch hoch performante Bildverarbeitung, Hardware-Komponenten oder Gesamtsysteme.⁷⁷ Insgesamt gewährleistet MicroTCA.4 den Betrieb von Beschleunigeranlagen wie beispielsweise des European XFEL auf dem DESY Campus, an dessen Bau und Betrieb das DESY (Hauptgesellschafter) und weitere internationale Partner beteiligt sind,⁷⁸ kommt aber auch in anderen Forschungsinfrastrukturen wie den Teleskopen des European Southern Observatory ESO, Fusionsreaktoren wie Wendelstein 7-X oder auch beim Aufbau von Architekturen für Quantencomputer zum Einsatz.⁷⁹

Im industriellen Bereich sind neben den bereits bestehenden Anwendungsfeldern potenziell weitere denkbar, beispielsweise in Präzisionsmesstechnik und Automatisierung oder der visuellen Inspektion.⁸⁰ Zunehmend wird ein Transfer der Technologie in weitere Entwicklungen vorangetrieben und mittlerweile bspw. um ein Angebot in Support und Auftragsentwicklung erweitert. Auch der

⁷² Vgl. z.B. Piso, D.; Scalão Martins, J.P.; Farina, S.; Lee, J.H. (2017): MicroTCA.4 Integration at ESS: From the Front-End Electronics to the EPICS OPI. 16th International Conference on Accelerator and Large Experimental Control Systems (ICALPCS 2017), Barcelona, Spain. JACoW Publishing, doi: 10.18429/JACoW - ICALPCS2017 - THPHA133, October 2017.

⁷³ Beispielsweise gehört der Druckmaschinenhersteller Koenig & Bauer zu den Kunden des MicroTCA Technology Lab, <https://www.koenig-bauer.com/de/index/>. Vgl. auch <https://www.hamburg-startups.net/3-startups-die-bei-desy-wissenschaft-und-unternehmertum-verbinden/>.

⁷⁴ Seit 2011 fördert die Helmholtz-Gemeinschaft hierüber jährlich zwischen drei und sechs Vorhaben, die die Weiterentwicklung von Forschungsergebnissen zur Marktreife zum Gegenstand haben. Vgl. <https://www.helmholtz.de/transfer/innovations-und-foerderprogramme/helmholtz-validierungsfonds/>. Über dieses Programm konnte 50% der insgesamt benötigten Summe in Höhe von 4 Mio. Euro finanziert werden.

⁷⁵ Vgl. <https://www.helmholtz.de/transfer/innovations-und-foerderprogramme/innovation-labs/>. Die Helmholtz-Gemeinschaft gewährt Innovation Labs eine finanzielle Förderung für einen Zeitraum von fünf Jahren; im Fall des MicroTCA Technology Labs ist diese im März 2022 ausgelaufen. Das MicroTCA.4 Technology Lab wurde in der ersten dreijährigen Phase mit 2,5 Mio. Euro von der Helmholtz-Gemeinschaft und einer Kofinanzierung in ähnlicher Höhe seitens des DESY und der Wirtschaft gefördert. Ziele waren die Erschließung weiterer Anwendungsfelder sowie die kontinuierliche Weiterentwicklung der vorhandenen Komponenten in neuen Test- und Prüflabors sowie die direkte Interaktion mit Kunden. Vgl. https://www.desy.de/aktuelles/news_suche/index_ges.html?openDirectAnchor=1038&two_columns=1, <https://idw-online.de/de/news651039>

⁷⁶ Vgl. auch <https://www.elektroniknet.de/karriere/uni-job/microtca-technology-lab-bei-desy-eroeffnet.153169.html>

⁷⁷ Vgl. https://innovation.desy.de/technologien/microtca/index_ges.html, <https://www.helmholtz.de/newsroom/artikel/marktreifes-produkt-aus-dem-teilchenbeschleuniger/>, https://innovation.desy.de/technologien/microtca/index_ges.html, https://innovation.desy.de/technologien/microtca/index_ges.html/produkte/index_ges.html, https://innovation.desy.de/technologien/microtca/mmc/index_ges.html, https://innovation.desy.de/technologien/microtca/hardware/index_ges.html

⁷⁸ https://www.xfel.eu/anlage/ueberblick/desy/index_ges.html

⁷⁹ Vgl., <https://www.eso.org/public/>, <https://www.ipp.mpg.de/wendelstein7x>

⁸⁰ Vgl. https://innovation.desy.de/technologien/microtca/index_ges.html

Kundenfokus erfuhr im Lauf der weiteren Entwicklung eine Verschiebung: Standen zunächst industrielle Kunden im Fokus der hoch performanten, jedoch auch hochpreisigen Technologie, so hat sich das Spektrum auf den wissenschaftlichen Bereich ausgeweitet, wie die Beispiele des ESO, Teleskopanlagen, andere Beschleuniger oder auch dem Fusionsreaktor zeigen. Potenzielle Kunden bzw. Branchen, für die MicroTCA von Interesse sein könnte, haben zumeist hochkomplexe technologische Anforderungen, bspw. in der Quantentechnologie. Für diese kann der Standard die vollständige Verwaltung bei modularer Skalierbarkeit und zuverlässiger Rechenleistung bieten.⁸¹

Um den Wissenstransfer mit der Industrie weiter zu fördern und damit Synergien gewinnbringend für beide Seiten nutzen zu können, arbeitet das MicroTCA Technology Lab mit industriellen Partnern zusammen. Diese vertreiben die im DESY entwickelten Produkte im Rahmen einer Produktionslizenz. Hier zeigt sich die übergeordnete Transferstrategie des DESY, die ihren Schwerpunkt in Know-how-Lizenzen und weniger in Patentanmeldungen hat. So beinhaltet der Standard MicroTCA.4 lediglich eine Patentanmeldung, während der Großteil des am DESY erarbeiteten Know-hows auf der Basis von Lizenzen vermarktet wird. Zu diesem auslizenzierten Know-how gehört das im Standard inkorporierte Wissen, aber auch Produktionsunterlagen und die jeweiligen Dokumentierungen (siehe auch oben). Dieser strategische Ansatzpunkt wurde mit MicroTCA entwickelt, wobei die Wertbestimmung der Lizenz (Anteil vom Nettoverkaufspreis) im Rahmen eines Validierungsprojekts 2012-2014 erfolgen konnte. Bei gemeinsamen Entwicklungen zwischen dem DESY und Privatunternehmen lizenziert das DESY das entsprechende Wissen typischerweise aus und ermöglicht den Unternehmen dadurch, dieses Wissen kommerziell zu nutzen. Dieser Weg der Wissensübertragung gestaltet sich in der Regel recht einfach; zumeist geht es um nicht-exklusive Lizenzen, die dem DESY die weitere Verwertung zusätzlich zur Verwertung durch den Industriepartner ermöglicht.⁸²

6.3.3 Zusammenfassende Betrachtung

Zusammenfassend war die Notwendigkeit einer spezifischen Lösung für XFEL der konkrete Ausgangspunkt für die dargestellt transferrelevante Entwicklung des Standards (vgl. Abbildung 17). Hier wurde Entwicklungsarbeit in der Konzeptionsphase für XFEL geleistet und damit Kompetenzen in den Bereichen Hardware, Software und Funktionalitäten aufgebaut. Das Know-how wurde lizenziert, für die Anwendungen weiterentwickelt und vermarktet. Somit besteht das Objekt des Transfers im Know-how, das über Lizenzen transferiert wird. Patente spielen demgegenüber lediglich eine untergeordnete Rolle. Der Transferaspekt hat sich durch die Entwicklungsarbeiten ergeben, war somit nicht explizit von Beginn an intendiert, sondern ist durch DESY-Forschende in enger Abstimmung und Zusammenarbeit mit dem DESY-ITT-Team identifiziert und kontinuierlich weiterentwickelt worden. Dabei ergaben sich unterschiedliche Facetten des Transfers: Während in der frühen Phase der *klassische* Transferweg über die Weitergabe von Wissen und Technologie vorherrschte, haben sich mittlerweile bestimmte Anwendungsfelder herauskristallisiert, sodass der Schwerpunkt nun auf der Entwicklung neuer Produkte für bestimmte Nischenbereiche liegt. Dies erfolgt in Kooperation mit Partnern oder in Form von Auftragsforschung.

Hohe Bedeutung für erfolgreiche Transferaktivitäten haben verschiedene Faktoren. Neben den technologischen Komponenten und ihrer Nutzbarkeit über die ursprüngliche Entwicklung hinaus ist die Identifizierung der Transferoptionen ein wichtiger Faktor. Hinzu kommt die intrinsische Mo-

⁸¹ Vgl. https://innovation.desy.de/technologien/microtca/index_ger.html

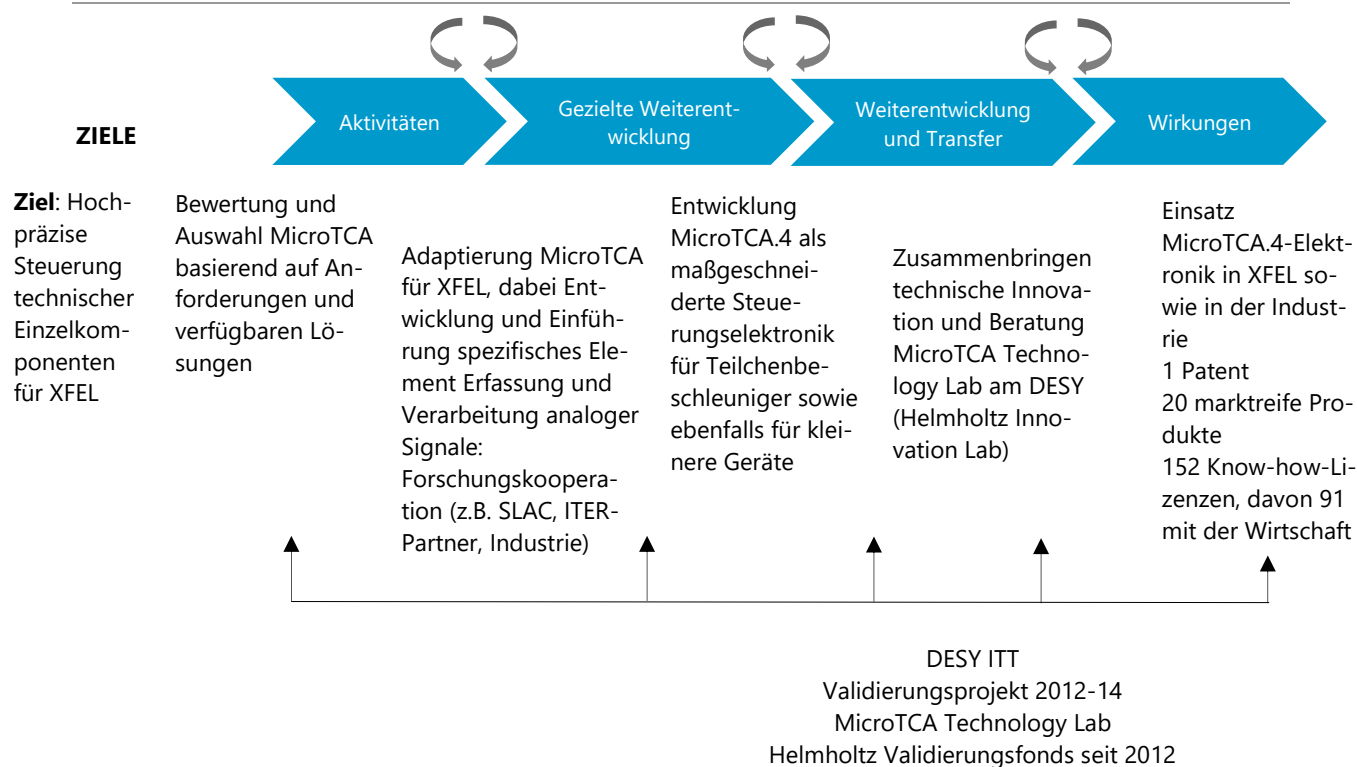
⁸² Jedoch bestehen auch Fälle exklusiver Lizenzen mit Einschränkungen, die in Fällen zum Tragen kommen, bei denen industrielle Partner in beträchtlichem Umfang an der Entwicklung beteiligt waren. Auch besteht die Möglichkeit einer Lizenzierung an andere Institute, über die die nicht-kommerzielle Nutzung in der Forschung gewährleistet wird.

tivation der beteiligten Wissenschaftler:innen zur beständigen Weiterentwicklung sowie ihre *Transferaffinität*, die mit einem Blick über die Wissenschaft hinaus auf Kunden und Märkte verbunden ist. Da im vorliegenden Fall keine *fertige* Lösung auf dem Markt verfügbar war, musste der bis dahin verfügbare Standard im Hinblick auf den konkreten Bedarf weiterentwickelt werden. Weitere unabdingbare Voraussetzungen für die positive Entwicklung des MicroTCA.4-Standards lagen in der Unterstützung durch das DESY-Management sowie die Förderung der Helmholtz-Gemeinschaft.

Von hoher Relevanz erweist sich die institutionelle Fortführung des Technology Lab am DESY und somit die Gewährleistung der beständigen Weiterentwicklung des Standards. Organisatorisch erfolgte dies nach Auslaufen der Helmholtz-Förderung über die Eingliederung als Business Unit des Business Development Office bei ITT mit dem Ziel, vorhandene Kompetenzen aus den technischen und den Transfer- und Managementkompetenzen zu *poolen* und hierüber Synergien zu nutzen. Gegenwärtige Schwerpunkte liegen im Transfer der technischen Entwicklungen in Anwendungen außerhalb des DESY, einschließlich der Industrie, die Fortführung der Aktivitäten im Lizenzbereich, gezielte Auftragsentwicklungsarbeiten sowie Dienstleistungen in Beratung und Service. Mittelfristig werden eine Fortführung und Verstetigung der somit geschaffenen Strukturen oder eine Start-up-Gründung anvisiert, aber noch nicht konkretisiert.⁸³ Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann eine der insgesamt zwei Personen (Vollzeitäquivalent) über die Lizenzeinnahmen finanziert werden.

Am DESY wird die künftige Ausrichtung und Nutzerstruktur in zwei parallelen strategischen Strängen verfolgt. Neben der Weiterentwicklung innerhalb der Forschungsgruppe, insbesondere beim Betrieb der Beschleunigeranlage, wird die Einbeziehung der industriellen Nutzung als überaus wichtig erachtet. Über diesen Ansatz ergeben sich zusätzliche Nutzungs- und Verwertungsmöglichkeiten, die – ausgehend des DESY und XFEL als *Nukleus* der Entwicklung – parallel weiterverfolgt werden. So können unterschiedliche Marktsignale bedient werden, die sowohl spezielle wissenschaftliche Nischen wie Teleskope oder andere Großforschungsanlagen umfassen als auch stärker generische Nutzungen der Signalverarbeitungsboards in der Industrie.

⁸³ Quelle: DESY ITT.

Abbildung 20: Schematische Darstellung des Wirkungspfads für den Standard MicroTCA.4

Quelle: Eigene Darstellung, nach <https://www.helmholtz.de/newsroom/artikel/marktreifes-produkt-aus-dem-teilchenbeschleuniger/> und weiteren im Text benannten Quellen

Zusammenfassend lassen sich folgende zentrale Wirkungspfade benennen:

- 1) **Wissens- und Technologietransfer und Lizenzierung:** Das im Rahmen der Standardentwicklung generierte Wissen und Know-how wird über Know-how-Lizenzen transferiert und in kollaborativer Weise am DESY und z.T. mit externen Partnern weiterentwickelt. Dies erfolgt damit in interaktiver Weise und weniger als linearer Prozess zwischen Wissensschaffung und -anwendung. Zudem wurde die Basis für eine spätere Spin-off-Aktivität gelegt.
- 2) **Kompetenzaufbau, Lernen und Qualifizierung** sowohl im wissenschaftlich-technologischen Bereich als auch im Hinblick auf die Organisation und Gestaltung des Transfer- und Verwertungsprozesses sowie die Verbindung von wissenschaftlicher Expertise und eine Sensibilisierung für Nutzerbedürfnisse (Marktkennntnis). Daneben konnten über die gemeinsame Entwicklung des Standards Kooperationen und Netzwerke aufgebaut werden; es entstanden somit Produkt-, Prozess- und organisatorische Innovationen.
- 3) **Effizienzsteigerung im wissenschaftlichen Bereich** durch die Entwicklung des hoch performanten Standards, der zu einer Optimierung der Messergebnisse und der benötigten Strahlzeit für bestimmte Experimente erlaubt. Von der Entwicklung des Standards profitiert auch PETRA IV.
- 4) Durch die **kooperative (Weiter-)Entwicklung des Standards entstanden wissenschaftliche Communities** sowohl innerhalb des DESY (beispielsweise zwischen der Gruppe MSK/Maschine Strahlkontrollen und dem MicroTCA-TechLab) als auch zwischen dem DESY und externen Wissenschaftler:innen und Ingenieur:innen.

6.3.4 Ausblick auf PETRA IV

Im Hinblick auf PETRA IV nimmt MicroTCA.4 eine wichtige Funktion ein, da diese, für XFEL bewährte Technologie auch hier zur Anwendung kommen soll. Insgesamt kann PETRA IV damit von erheblichen, bereits vorliegenden Entwicklungen und Lerneffekten profitieren. Auch der Prozess der Standardentwicklung von MicroTCA zu MicroTCA.4 sowie die pilotierten und erprobten Schritte hin zu Weiterentwicklung und Vermarktung können für die neue Anwendung in PETRA IV genutzt werden. Von zentraler Bedeutung ist die fortwährende Weiterentwicklung des Standards auch während der Betriebsphase der Strahlungsquelle, um den beständigen technischen Fortschritt in die Beamlines integrieren zu können. So wird derzeit an der Version 5 des Standards gearbeitet. Dies wird nicht nur der wissenschaftlichen Großforschung, sondern auch der industriellen Anwendung zugutekommen. Rückblickend zeigt sich, dass die vor 12 Jahren initiierte Entwicklung von MicroTCA.4 mittlerweile in der Industrie bekannt ist und nachgefragt wird. Zentraler Baustein für die Ausrichtung des Standards auf einen Transfer in die Wirtschaft stellte der Helmholtz-Validierungsfonds dar, ohne den die skizzierte Entwicklung nicht möglich gewesen wäre. Neben der technologischen Entwicklung konnten massive Kompetenzen aufgebaut und ein Musterprozess für den Wissenstransfer aufgesetzt werden, von dem nun auch andere Technologiefelder am DESY profitieren können.

6.4 Fokusthema Qualitätsprüfungen als Serviceleistung

6.4.1 Einordnung der Qualitätsprüfung als Service

Ein weiteres Vehikel für Wissenstransfer und Kooperationen mit der globalen Synchrotron-Community stellt die **Qualitätsprüfung** dar. Zusätzlich zur Qualitätsprüfung der eigenen Geräte und Apparaturen der Beschleunigertechnologie hat das DESY sich zunehmend im Segment der Prüfung und Qualitätssicherung der Oberflächenbeschaffenheit von Materialien, insbesondere Niob-Materialplatten zur Produktion von Hohlraumresonatoren (Kavitäten), Kavitätentests sowie weiteren Prüfungen bspw. im Kontext der Magnettechnik an den Strahlführungen spezialisiert. Diese Prüfungen werden im DESY sowohl für die Maschinen am DESY durchgeführt als auch als Service für andere Beschleuniger bzw. deren Zulieferer angeboten.⁸⁴ Hierunter fällt insbesondere die Prüfung der Oberflächenbeschaffenheit, mechanischer oder elektrischer Eigenschaften von Materialien wie Niob, die für Hohlraumresonatoren (Kavitäten) benötigt und in Form von Blechen am DESY geprüft werden, bevor sie von den Kavitätenherstellern verbaut werden. Diese Prüfungen wurden vor gut 20 Jahren in Kooperation mit der Bundesanstalt für Materialforschung (BAM) und industriellen Firmen entwickelt und werden seither im Auftrag von Betreibern von Teilchenbeschleunigern weltweit durchgeführt. Sie gewährleisten einheitliche und effiziente Prüfverfahren mit entsprechenden Ergebnissen, die zur Leistungsfähigkeit der Beschleuniger beitragen. Der Transfer der Leistungen erfolgt somit für andere Teilchenbeschleuniger sowie an Firmen, die mit Zulieferungen für Beschleuniger beauftragt sind,⁸⁵ und damit einer hoch spezialisierten Community, die von den Services, der langjährigen Erfahrung und Expertise des DESY profitieren. Für das DESY stellen diese Services nicht nur eine Einnahmequelle zur Reinvestition auf dem Campus dar, sondern auch die Basis für Kooperation und Interaktion mit anderen Beschleuniger-Betreibern.

⁸⁴ In Europa sind lediglich zwei Firmen (RI Research Instruments in Bergisch Gladbach sowie Zanon Research & Innovation Srl in Schio, Italien) angesiedelt, die Hohlraumresonatoren (Kavitäten) für Teilchenbeschleuniger herstellen und daher in den Bau von Beschleunigeranlagen eingebunden sind. Da lediglich wenige Hersteller mit Niob arbeiten, ist dieser Markt extrem spezialisiert und auf Kleinserien bzw. Einzelgeräte ausgerichtet, daher begrenzt und sieht sich hohen Anforderungen gegenüber.

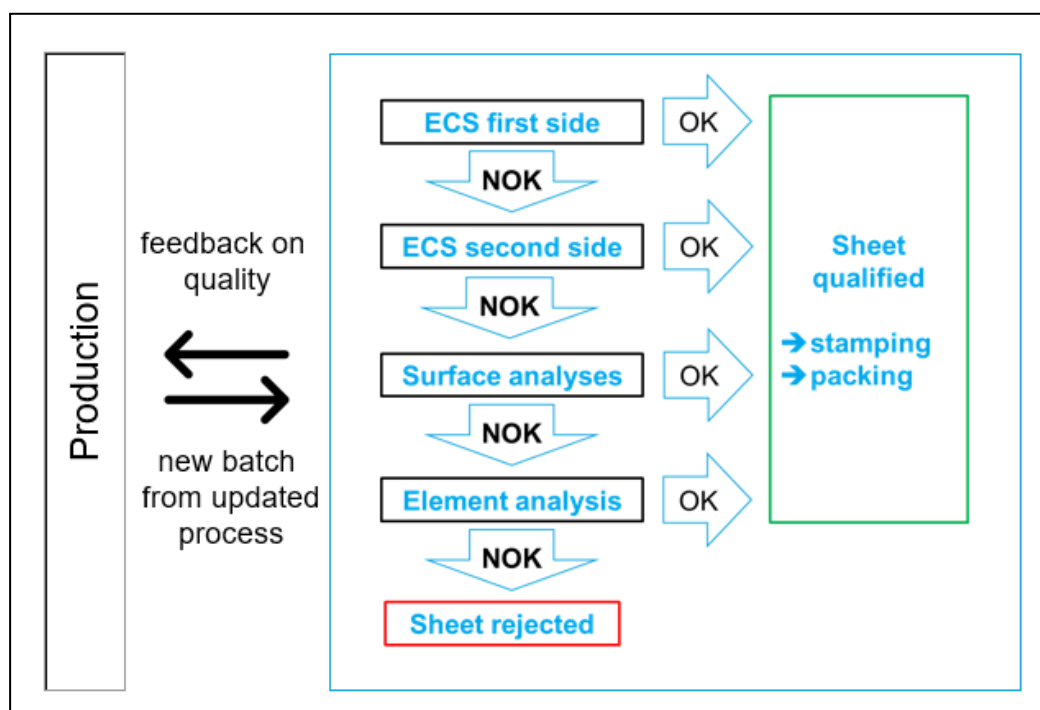
⁸⁵ Weltweit sind nur wenige Firmen in den hoch spezialisierten Bereichen wie bspw. Röntgengeräte für Synchrotrons, Detektoren o.ä. Exemplarisch sei an dieser Stelle X-SPECTRUM erwähnt – eine DESY-Ausgründung, die mittels einer speziellen Röntgenkamera die Synchrotron-Forschung unterstützt, vgl. https://innovation.desy.de/gruendung/x_spectrum/index_ger.html. Ein weiteres Beispiel ist Dectris, ein Anbieter von Detektoren mit Hauptsitz in Baden-Daettwil/Schweiz, vgl. <https://www.dectris.com/>

6.4.2 Kooperationen und Wissenstransfer über das Angebot der Qualitätsprüfung als Service

Die Entwicklung der kalten Technologie sowie der Qualitätsprüfungen erfolgte mit dem Bau der internationalen Röntgenlasereinrichtung European XFEL, die in Teilen auch auf dem DESY Campus angesiedelt ist und eng mit diesem zusammenarbeitet. Durch die gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse konnten die Qualitätsprüfungen und Herstellungsverfahren standardisiert und externen Akteuren – Beschleunigeranlagen und Privatunternehmen – als Service angeboten werden. Insgesamt tragen die Qualitätsprüfungen dazu bei, die Technologie für andere Beschleuniger weltweit zur Verfügung zu stellen und damit über das Know-how des DESY – zusätzlich zu den wirtschaftlichen Effekten durch die Prüfungsleistungen – zum Technologietransfer weltweit beizutragen. DESY-intern haben sich Expertisen und Erfahrungen in den Werkstätten ergeben, durch die das DESY sich international als Anbieter erstklassiger Qualitäts- und Prüfleistungen in der Beschleuniger-Community einschließlich der entsprechenden Zulieferer etablieren konnte.

Zentraler Baustein war die Standardisierung der Qualitätsprüfungsverfahren und auf dieser Basis kann der Service anderen Nachfragern angeboten werden. Das DESY hat hierzu einen spezifischen Prozess (challenge-specific QA Workflow) entwickelt, anhand dessen die Qualitätsprüfungen durchgeführt werden. Zentrale Instrumente hierbei sind Wirbelstromprüfungen (eddy current scanning) zur Untersuchung von Oberflächen, 3D-Mikroskopie und Elementanalysen sowie jeweils Rückkopplungsschleifen zwischen den einzelnen Analyseschritten. Wie Abbildung 21 zeigt, erfolgt der gesamte Prüfprozess in Kollaboration zwischen dem DESY und seinen Kunden (sowie ggfs. deren Kunden und Zulieferern). Im Jahr 2022 wurden rund 3.000 Proben im DESY analysiert und einer Qualitätsprüfung unterzogen und es wurden innerhalb von 10 Jahren insgesamt über 30.000 Materialplatten untersucht.

Abbildung 21: Standardisierter Prozessablauf zur Qualitätsprüfung (Materialeigenschaften, Bleche)



Quelle: DESY, Innovation and Technology Transfer ITT, Vortrag *Industrial User Experience at DESY & Current Challenges*, Dr. Djamshid Safi und Dr. Eva Crosas Ubada sowie Iversen et al. 2019⁸⁶

Das so entwickelte Verfahren untergliedert sich in mehrere Phasen, die die Qualifizierung möglicher Lieferanten, die Lieferantenqualifizierung gemäß der Europäischen Druckgeräterichtlinie, die Überprüfung des Qualitätsmanagementsystems einschließlich Dokumentation und Rückverfolgbarkeit der Materialien auf Seiten der Unternehmen sowie die Prüfungen (zerstörungsfrei und zerstörend) von Zufallsproben im DESY-Prüflabor umfassen. Durch dieses Verfahren, insbesondere die Rückmeldungen an die Materialhersteller, konnten signifikante Qualitätssteigerungen beim zugelieferten Material erzielt werden, und das DESY betrachtet den engen Kontakt mit Niob-Lieferanten als "... an indispensable tool of the quality management and one of the key requirements for a successful fabrication of high quality products" (Iversen et al. 2019⁸⁶).

6.4.3 Zusammenfassung, Wirkungen und Ausblick

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass die Qualitätsprüfungs- und -sicherungs-Aktivitäten des DESY im Kontext des Europäischen XFEL als Initiator und Hebel für die Methodenentwicklung einschließlich entsprechender Infrastrukturausstattung im DESY-Prüflabor fungierten, auf dessen Basis das DESY die Qualitätssicherung als hoch spezialisierte Dienstleistung im Auftrag anderer Auftraggeber anbietet. Dies erfolgt im Wesentlichen seitens weiterer Strahlungsquellen (vgl. Abbildung 17) sowie ebenfalls im Unterauftrag von Unternehmen, die die benötigten Bauteile herstellen – die Qualitätsprüfung ist hier Bestandteil der zugelieferten Hohlraumresonatoren. Damit trägt das DESY zur Produktion von Kavitäten auf hohem Niveau und in standardisierter Weise bei. Die kontinuierlich aktualisierte Laborausstattung ermöglicht die Ausweitung der Prüfungen auch auf andere Materialien, die Laborkapazitäten auch für weitere Anwendungen jenseits von supraleitenden Hochfrequenzanwendungen (SRF) genutzt (vgl. Iversen et al. 2019⁸⁷).

Abbildung 17: Kooperation des DESY über angebotene Material-Qualitätsprüfungen mit anderen Beschleuniger-Betreibern



Quelle: DESY, Innovation and Technology Transfer ITT, Vortrag *Kernmission Beschleuniger - DESY Services in aller Welt*, Dr. Djamschid Safi

⁸⁶ Iversen, J.; Brinkmann, A.; Ermakov, A.; Muhs, A.; Ziegler, J. (DESY) (2019): Insight into the DESY Test Laboratory for Niobium Raw Material and Semi-finished Products. 19th International Conference on RF Superconductivity, JACoW Publishing, doi: 10.18429/JACoW-SRF2019-THP100. Online available: <https://accelconf.web.cern.ch/srf2019/papers/thp100.pdf>

⁸⁷ Ebenda, siehe vorangehende Seite.

Die internationale Kooperation mit der Beschleuniger-Community (einschließlich ihrer spezialisierten Kunden und Zulieferer) konnte durch das zusätzliche Angebot von hoch spezialisierten Services (z.B. Qualitätsprüfungen unterschiedlicher Materialien) noch intensiviert werden. Schwerpunkt der Transferaktivitäten sind dabei einerseits die internationalen Kontakte über die durchgeführten Prüfungen sowie zusätzlich das im DESY aufgebaute Wissen und die Expertise auf der Basis der kollaborativ entwickelten Prüfverfahren.

6.4.4 Strategische Implikationen und Ausblick auf PETRA IV

In seiner strategischen Ausrichtung im Transferbereich hat das DESY sich bewusst für eine missionorientierte Transferorientierung entschieden, die – basierend auf der Entschlüsselung der Materie als Kernkompetenz – eine Ausrichtung auf bestimmte Fokusthemen mit hoher gesellschaftlicher Bedeutung setzt. Diese Schwerpunktsetzung ermöglicht eine Fokussierung auf prioritäre Forschungsarbeiten sowie Partnerschaften mit der Wissenschaft, der Angewandten Forschung und der Industrie. Hierzu definiert das DESY in seiner Innovations- und Transferstrategie die Handlungsfelder *Der Gesunde Mensch, Materialien von Morgen, Energiewende* sowie *Künstliche Intelligenz als Beschleuniger*. Wenngleich dies keine Ausschließlichkeit von Untersuchungen in diesen Feldern impliziert, so wird der Nutzen einer strategischen Fokussierung auf prioritäre Felder aus dem oben dargestellten Fallbeispiel *BioNTech* deutlich.

Angesichts der hochkomplexen gegenwärtigen Herausforderungen und Fragestellungen bedarf es der gezielten Kombination von Partnern, Kompetenzen, Expertisen, Methoden, Infrastrukturen und Marktkennntnisse, um neue Technologien zu befördern und Innovationen in komplexen Themenstellungen hervorzubringen. Die hohe Flexibilität des DESY und die Möglichkeit der zeitnahen Durchführung der Experimente trug zusätzlich zur raschen Impfstoffentwicklung bei. Insgesamt kann das DESY bei derartigen komplexen gesellschaftlichen Fragestellungen somit die Synchrotron-Infrastruktur und entsprechende Entwicklungskompetenz einbringen und sieht sich zusätzlich als Vermittler zwischen bislang noch nicht kooperierenden Partnern.⁸⁸

Wie Abbildung 18 impliziert (siehe gelbe Säule), erfahren interessierte Unternehmen aus der Industrie eine spezielle Betreuung seitens des Bereichs ITT in Kooperation mit den ausgewiesenen Wissenschaftler:innen u.a. an den Beamlines, um deren Bedarfe bestmöglich adressieren zu können. Dies weicht vom Prozess der Antragstellung wissenschaftlicher Einrichtungen ab. Diese reichen ihre Forschungsbedarfe in Form von Proposals beim DESY ein,⁸⁹ die in der Regel durch ein externes Expertengremium begutachtet werden, um auf dieser Basis eine Auswahl zu treffen.⁹⁰ Die (universitäre) Grundlagenforschung kann die DESY-Maschinen unentgeltlich nutzen. Hingegen werden Industrienutzern die Kosten der Strahlzeit in Rechnung gestellt, wobei erste Machbarkeitsuntersuchungen von max. vier Stunden Strahlzeit kostenfrei angeboten werden. In jedem Fall werden industrielle Kunden – vergleichbar erstmaligen wissenschaftlichen Nutzer:innen – bei der Einrichtung der Beamline und beim Aufbau der Experimente unterstützt und bei Bedarf die Messungen ebenfalls seitens der Beamline-Wissenschaftlicher:innen durchgeführt.

Die Logik hinter den Experimenten unterscheidet sich ebenfalls von wissenschaftlichen Nutzungen der Anlagen: Zumeist bringen industrielle Anwender:innen begrenztes Hintergrundwissen über die physikalischen und instrumentellen Grundlagen ein und streben keine Expert:innenrolle in der Messtechnologie als solche an – sie wenden sich mit einem konkreten Problem oder einer Fragestellung an das DESY und möchten diese mittels der Beschleunigertechnologie lösen.

⁸⁸ Vgl. DESY, Innovation & Technology Transfer (2021): Innovations- und Transferstrategie DESY, Hamburg.

⁸⁹ Zu den unterschiedlichen Proposal-Typen vgl. https://photon-science.desy.de/users_area/user_guide/select_the_proposal_type/index_eng.html

⁹⁰ Ausnahmen sind bspw. Strahlzeiten, die über das EU-Projekt NFFA (nanoscience foundries & fine analysis) vergeben werden. Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen nutzen die Beamlines kostenpflichtig und unterliegen keinem Begutachtungsprozess.

Jedoch gibt es gleichfalls hochspezialisierte Nutzer, die bestimmte (standardisierte) Umgebungen und Softwaresysteme nutzen. Neben diesen Nutzertypen sind die sogenannten Dienstleistungsanbieter zu nennen. Diese haben sich in der Durchführung von Messungen für ihre Kunden spezialisiert und werden durch diese beauftragt. Schließlich nutzen auch DESY-Forschende die Strahlungsquellen und die an diesen erlangte Expertise, um eigene Geschäftsmodelle als Basis für eine Unternehmensgründung aus dem DESY heraus zu entwickeln (vgl. Abschnitt 6.1).⁹¹

Die Entwicklung von PETRA III zu PETRA IV ermöglicht dabei die Generierung neuen Wissens in Grundlagenforschung und Technologieentwicklung, denn es können nun noch kleinere Einheiten, bis zur molekularen Ebene, in zerstörungsfreier Weise abgebildet werden. So können noch mehr Prozesse als zuvor in Echtzeit beobachtet und geplant werden. Dies kann entscheidend zu Fortschritten bei der Entwicklung neuer Medikamente, in der Materialforschung, in den Bereichen Energie und Quantentechnologien beitragen. So kann der Weg von der Erlangung experimenteller Ergebnisse hin zur praktischen Anwendung wesentlich schneller erfolgen und insgesamt ein Beitrag zu Nachhaltigkeit, neuen Energiegewinnungskonzepten, Technologiesouveränität und Unabhängigkeit von vormals zentralen Zulieferern und Lieferketten geleistet werden. Das DESY plant zudem, die Kooperation mit der Industrie über ein spezielles Zugangskonzept im Gesamtkontext eines *Change Management* auszubauen und hierzu etwa die Vergabe von Strahlzeiten und Messplätzen neu aufzustellen und durch den Ausbau des *User Office* mehr Unterstützungsleistungen für Nutzer aus der Industrie sowie der anwendungsorientierten Forschung zu bieten. Ebenso soll durch den Ausbau standardisierter Messungen die Attraktivität erhöht und der Zugang zu Messzeit und Beamlines beschleunigt werden. Überdies soll bspw. durch ein geplantes rollendes Proposal-Verfahren sowohl die Einreichung als auch Evaluierung von Proposals für alle Nutzer:innen ganzjährig ermöglicht werden und somit eine Abkehr von der aktuellen Struktur, die zwei Bewerbungsphasen pro Jahr für akademische Nutzer:innen vorsieht, erfolgen.

⁹¹ Vgl. DESY, Innovation and Technology Transfer ITT, *Industrial User Experience at DESY & Current Challenges*, Dr. Safi und Dr. Crosas Ubeda.

7 Humankapitalbezogene Wirkungen: Qualifizierung in unterschiedlichen Bereichen

7.1 Einordnung

Wissenschaftliche Institutionen spielen eine wichtige Rolle im Hinblick auf die Bildung von Wissen und Kompetenzen. Damit kommt dem Impactbereich Humanressourcen und Qualifizierung eine zentrale Bedeutung zu. Am DESY – wie auch bei ähnlichen Forschungseinrichtungen – besteht der Kern der Beschäftigten aus wissenschaftlichem und technischem Personal; weiterhin stellen Verwaltungstätigkeiten sowie das sonstige Personal wichtige Gruppen dar, zu dem bspw. auch Auszubildende oder studentische Hilfskräfte zählen.

Entsprechend sind am DESY vielfältige Qualifikationsstufen vertreten. Neben den formalen Qualifikationen als Einstellungskriterien zeichnen sich wissenschaftliche Institutionen ab einer gewissen Größe auch dadurch aus, dass diese als (Aus-)Bildungseinrichtungen agieren. Am signifikantesten ist sicherlich die akademische Qualifizierung des wissenschaftlichen Personals und hier speziell die Ausbildung von Doktorand:innen, aber auch die sich daran anschließende Phase als Postdoc.

Im technischen und gewerblichen Bereich ist darüber hinaus an die duale Berufsausbildung oder im Rahmen eines dualen Studiums zu denken. Studierende, studentische Hilfskräfte oder Praktikant:innen qualifizieren sich im Rahmen ihrer Tätigkeiten ebenfalls – in praktischer Hinsicht oder in Form von Seminararbeiten, BA- oder Masterarbeiten. Mit den vielfältigen berufsbildenden Tätigkeiten, erworbenen Kompetenzen, formalen Abschlüssen sowie den analogen Qualifizierungsmaßnahmen stehen dem Arbeitsmarkt entsprechend hochqualifizierte bzw. gut ausgebildete Arbeitskräfte zur Verfügung, die sowohl im wissenschaftlichen als auch im nichtwissenschaftlichen Bereich anschlussfähig sind. Somit ist dem Impactbereich Humanressourcen bzw. Qualifizierung eine herausragende Rolle beizumessen.

7.2 Karriereprogramme und weitere Qualifizierungsmaßnahmen

Qualifizierungsmaßnahmen im Rahmen der Nachwuchsförderung und der beruflichen Ausbildung werden am DESY über verschiedene Formate und Karrierepfade adressiert. Dabei verfolgt das DESY nicht nur die Strategie den eigenen Nachwuchs auszubilden und zu binden, sondern hat als öffentlich geförderte Einrichtung den Auftrag, über den eigenen Bedarf auszubilden und dem Arbeitsmarkt qualifizierte Arbeitskräfte zur Verfügung zu stellen.

Die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses adressiert im Rahmen eines zukunftsorientierten Gesamtkonzepts unterschiedliche Stufen der Qualifizierung, angefangen bei der Frühförderung von Schüler:innen, über die Master-, Promotions- und Postdoc-Phase bis zu Tenure-Track-Nachwuchsgruppen. Hierdurch erfolgt eine Bündelung wichtiger Maßnahmen und Aktivitäten zur Förderung, Bildung und Entwicklung von Fachkräften und Talenten.

Mit Blick auf den wissenschaftlichen Bereich betreibt das DESY eine Berufungspolitik, die auf die Attrahierung der weltweit besten Köpfe und Talente abzielt. So werden beispielsweise im Rahmen der DESY-Berufungsstrategie leitende Wissenschaftler:innen in der Regel zusammen mit einer Universität zu Professor:innen berufen. Derartige gemeinsame oder kooperative Berufungen unterstreichen die enge Bindung zwischen dem DESY und Universitäten. In Hamburg sind es v.a. die Universität Hamburg sowie die TU Hamburg-Harburg, mit denen das DESY kooperative Berufungen durchführt.

Organisatorisch ist das Rekrutierungs- und Berufungsmanagement am DESY im Direktoriumsbüro verankert, um die strategischen Ziele des DESY zu unterstützen. Das Dual Career Office als Teil der

Personalentwicklung bietet zahlreiche Service- und Unterstützungsleistungen an, um das DESY auch für Doppelkarrierepaare attraktiv zu machen.

Die Karriereprogramme und Qualifizierungsmaßnahmen des DESY beziehen sich auf den gesamten Personalbestand, der wissenschaftliches, technisches und sonstiges Personal sowie Auszubildende umfasst. Unabhängig von der Personalart, ist der Personalbestand seit 2014 um 506 Beschäftigte angewachsen, wovon 371 Beschäftigte dem wissenschaftlichen Personal und 135 dem technischen und sonstigen Personal (inkl. Auszubildende) zugeordnet werden (Geschäftsbericht DESY 2021).

Die folgende Tabelle 8 gibt einen detaillierteren Einblick in die Beschäftigtenstruktur. Die nach Tätigkeitsbereichen stärksten Gruppen sind die Doktorand:innen und Postdocs, die sich im Jahr 2022 auf 643 belaufen und eine stetige Zunahme seit 2012 erfahren haben (im Jahr 2012 belief sich die Anzahl auf 416). Beim sonstigen Personal sind die Gruppen der Azubis (siehe hierzu weiter unten) und die Praktikant:innen im Jahr 2022 mit 169 bzw. 41 vertreten.

Tabelle 8: Anzahl Beschäftigte nach Tätigkeitsbereichen, 2012-2022

	sonstiges Personal				wissenschaftliches Personal		
Jahr	Azubis	Praktikant:innen	Summer Students	Studentische Hilfskräfte	Promovierende	Postdocs	Summe
2012	122	32	104	96	177	239	770
2013	127	46	110	98	183	276	840
2014	161	66	116	106	225	280	954
2015	158	56	113	102	229	276	934
2016	166	78	104	87	241	294	970
2017	163	83	102	105	240	298	991
2018	158	79	117	101	283	313	1.051
2019	167	85	104	108	318	315	1.097
2020	172	41		110	317	334	974
2021	169	41	78	122	334	330	1.004
2022	174	51	65	124	325	318	1.057

Quelle: DESY 2023

Im Folgenden werden Instrumente der Personalentwicklung und der jeweilige Adressatenkreis beschrieben.

Maßnahmen in der Frühphase und Angebote für Schüler:innen

Der Fokus dieses Maßnahmenpakets liegt auf der Frühförderung von Schüler:innen, speziell mit Blick auf Maßnahmen zur Sensibilisierung und Motivierung für MINT-Fächer. So betreibt das DESY bspw. das Netzwerk *DESY - kleine Forscher Hamburg*, das Fortbildungen für pädagogische Fach- und Lehrkräfte im Bereich MINT und Bildung für nachhaltige Entwicklung anbietet, sowohl für die frühkindliche Bildung in Kitas als auch Grundschulen.

Weiterhin werden Schülerfortbildungen für die 5.-12. Klasse angeboten – sowohl am Standort in Hamburg – als auch in Zeuthen. In Hamburg nahmen im Jahr 2022 mehr als 1.500 Schüler:innen

verschiedene Angebote in Anspruch⁹², in Zeuthen waren 400 Schüler:innen vor Ort plus zahlreiche in Online-Veranstaltungen (Mobilisierung von 150 Jugendlichen in Online-Formaten wie Masterclasses und ca. 60 Lehrkräfte in 1-2stündigen Fortbildungen). Die ELB-Akademie - Erleben, Lernen, Begreifen - richtet sich an die 10./11. Klasse und beinhaltet ein außerschulisches Veranstaltungsprogramm, das schwerpunktmäßig verschiedene Kurse vorsieht, durch das die Schüler:innen Einblicke in die DESY-Forschung erhalten und so ein Gemeinschaftsgefühl entwickeln. Weitere angebotene Formate sind beispielsweise ein MINT-Tag/Zukunftstag für Mädchen der 8.-13. Klasse (Mischung aus Veranstaltungen, Gesprächen, Laborarbeit), Besuche von Schulen für Führungen von Oberstufenklassen (bis zu 7.000 Schüler:innen pro Jahr erhalten Einblick in das Forschungszentrum und seine Aktivitäten), das Science Café DESY (Vorträge aus der DESY-Wissenschaft und anschließende Diskussionen), Beamline for Schools (Jugendliche aus der ganzen Welt denken sich Experimente aus, die man mit einem Teststrahl durchführen kann) oder mehrwöchige Schulpraktika für die Klassen 9.-11. in den Bereichen Forschung, IT, Mechanik, Elektrotechnik, Elektronik und Verwaltung. Grundsätzlich handelt es sich bei den genannten Maßnahmen um eine Mischung aus Qualifizierung, Fortbildungen für Schüler:innen, aber auch um Motivierung und Sensibilisierung von Schüler:innen für MINT-Fächer insgesamt und DESY-Forschungsergebnisse im Speziellen.

Berufliche Ausbildung

Die Berufliche Ausbildung am DESY bildet einen weiteren Teil der Aktivitäten, die auf die Impact-Dimension Qualifizierung einzahlen. Für das DESY bilden die verschiedenen internen Werkstätten ebenso wie die Verwaltung, Bibliothek und Informationstechnologie die Grundlage für den eigentlichen Forschungsbetrieb. Somit bietet das DESY Ausbildungsplätze in gewerblich-technischen und in kaufmännischen Berufen an. Angeboten werden Ausbildungsplätze in Hamburg und Zeuthen. Die folgende Tabelle 9 gibt einen Überblick über die jeweils neuen Ausbildungsplätze pro Jahr. Am aktuellen Rand, also im Jahr 2021, wurden 132 neue Ausbildungsplätze angeboten, davon mehr als ein Drittel für weibliche Auszubildende. Seit 2011 hat sich die Anzahl der neuen Ausbildungsplätze von 115 moderat auf 132 erhöht.

Tabelle 9: Anzahl der Ausbildungsplätze am DESY, 2011-2021*

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
männliche Azubis	89	90	96	91	96	95	92	95	97	95	96
weibliche Azubis	26	30	26	26	34	35	30	32	38	37	36
Gesamt	115	120	122	117	130	130	122	127	135	132	132

*) jeweils neue Ausbildungsplätze pro Jahr

Quelle: Fortschrittsbericht des DESY für das Jahr 2021

Bezogen auf die verschiedenen Berufe gibt die folgende Tabelle 10 einen Überblick. Das Gros ist die klassische Berufsausbildung. Darüber hinaus werden auch duale Studiengänge der Elektrotechnik, Allgemeine Informatik und Maschinenbau angeboten (Abschluss B.Sc.).

Weiterhin kann der studienintegrierende Ausbildungsberuf Industriekaufrau/-mann sowie der Bachelor in BWL am DESY erworben werden, Abschluss: Bachelor of Arts (Zusammenarbeit mit der in

⁹² Zum Beispiel bietet das Schülerlabor im Rahmen von Experimentiertagen Klassenveranstaltungen an, in denen die Schüler:innen themenbezogen auf dem Niveau ihrer Klassenstufen in Physik-Themen eingeführt werden.

2020 neu gegründeten Beruflichen Hochschule Hamburg). Die Hochschule für Angewandte Wissenschaft Hamburg (HAW)⁹³ sowie die Fachhochschule Wedel sind die Partner des DESY für die Studiengänge Elektrotechnik, Allgemeine Informatik und Maschinenbau. Hierbei erfolgt die theoretische Ausbildung an der HAW oder FH Wedel, die Praxisphasen in der vorlesungsfreien Zeit werden am DESY in den jeweiligen Abteilungen, aber auch fachgruppenübergreifend durchgeführt.

Tabelle 10: Anzahl der Auszubildenden nach Ausbildungsberufen (Stand: 31.12.2021)

Standort	Art der Ausbildung	Ausbildungsberuf	Gesamt	davon Frauen
Hamburg	Duales Studium	Allgemeine Informatik Duales Studium	6	2
	Duales Studium	Elektrotechnik Duales Studium	6	1
	Duales Studium	Maschinenbau Duales Studium	12	5
	Berufsausbildung	Büromanagementkauffrau /-mann	6	5
	Berufsausbildung	Elektroniker:in für Betriebstechnik	8	-
	Berufsausbildung	Elektroniker:in für Geräte und Systeme	12	1
	Berufsausbildung	FA Medien & Infodienste	3	2
	Berufsausbildung	Fachinformatiker:in Anwendungsentwicklung	8	1
	Berufsausbildung	Fachinformatiker:in Systemintegration	6	1
	Berufsausbildung	Fachkraft für Lagerlogistik	1	4
	Berufsausbildung	Fachkraft für Lagerlogistik	6	3
	Berufsausbildung	Industriekaufrau /-mann	14	-
	Berufsausbildung	Industriemechaniker:in / Feingerätebau	6	1
	Berufsausbildung	Konstruktionsmechaniker:in / Metall	9	4
	Berufsausbildung	Mechatroniker:in	8	1
	Berufsausbildung	Technische Produktdesigner:in	2	1
	Berufsausbildung	Tischler:in		
Zeuthen	Duales Studium	Maschinenbau Duales Studium	1	1
	Berufsausbildung	Elektroniker:in für Geräte und Systeme	7	-
	Berufsausbildung	Fachinformatiker:in Systemintegration	1	-
	Berufsausbildung	Industriemechaniker:in / Feingerätebau	11	4
Gesamt			132	36

Quelle: Fortschrittsbericht des DESY für das Jahr 2021

Die Anzahl dual Studierender beläuft sich im Jahr 2022 auf 24, davon 12 im Maschinenbau und jeweils sechs in der Elektrotechnik und Informatik (vgl. Tabelle 11).

⁹³ In Ergänzung zu den gemeinsamen dualen Studiengängen haben das DESY und die HAW im September 2021 eine neue strategische Kooperation für Anwendung und Innovation vereinbart. Im Zentrum der Zusammenarbeit stehen zusätzlich zum dualen Studium und Lehre, Forschung und Entwicklung sowie Innovation, Technologie- und Wissenstransfer. Die erweiterte Kooperation soll die gemeinsame Ausbildung dringend benötigter hochqualifizierter Ingenieur:innen und Wissenschaftler:innen stärken (Quelle: Geschäftsbericht 2021).

Tabelle 11: Anzahl und Struktur dual Studierender am DESY, 2022

	E-Technik	Maschinenbau	IT	Gesamt
insgesamt	19	25	15	59
davon fertig übernommen	9	11	6	26
Weggang	3	9	3	15
	6	1	3	10
Studierende	6	12	6	24

Quelle: DESY - Übersicht Dual Studierende (Stand: 12.01.2023)

Qualifizierung Studierender

Die Einbindung von Studierenden in die wissenschaftliche und technische Arbeit am DESY in Hamburg und Zeuthen erfolgt bereits in der frühen Phase des Studiums. Es gibt eine Vielzahl von Formaten, um Studierende ab den frühen Semestern in die Arbeit des DESY einzubinden und zu fördern. Die gängigsten Möglichkeiten sind die Einstellung von studentischen Hilfskräften sowie das Anbieten von Praktikumsplätzen. Neben der Qualifizierung im Zusammenhang mit laufenden Themen am DESY beinhaltet die Strategie die frühzeitige Bindung von Talenten im Hinblick auf eine spätere wissenschaftliche Karriere. Mit der Universität Hamburg werden z.B. Experimente für Anfänger:innen im Praktikum und Praktika für Fortgeschrittene, die die naturwissenschaftlich orientierten Studierenden im Laufe ihrer Ausbildung durchlaufen, angeboten. Ein zentrales Qualifizierungselement ist das international ausgerichtete DESY Summer Student Program, das sich an Studierende der Physik oder verwandter naturwissenschaftlicher Disziplinen richtet und die Möglichkeit bietet, sich an Forschungsaktivitäten des Labors zu beteiligen. Im (virtuellen) Programm 2021 nahmen 78 Studierende aus 24 Nationen teil. Die Projektarbeit wurde von einem Programm mit Vorlesungen über die Grundlagen der Forschungsgebiete begleitet.

Nachwuchsförderung in der Graduierten- und Postgraduiertenphase

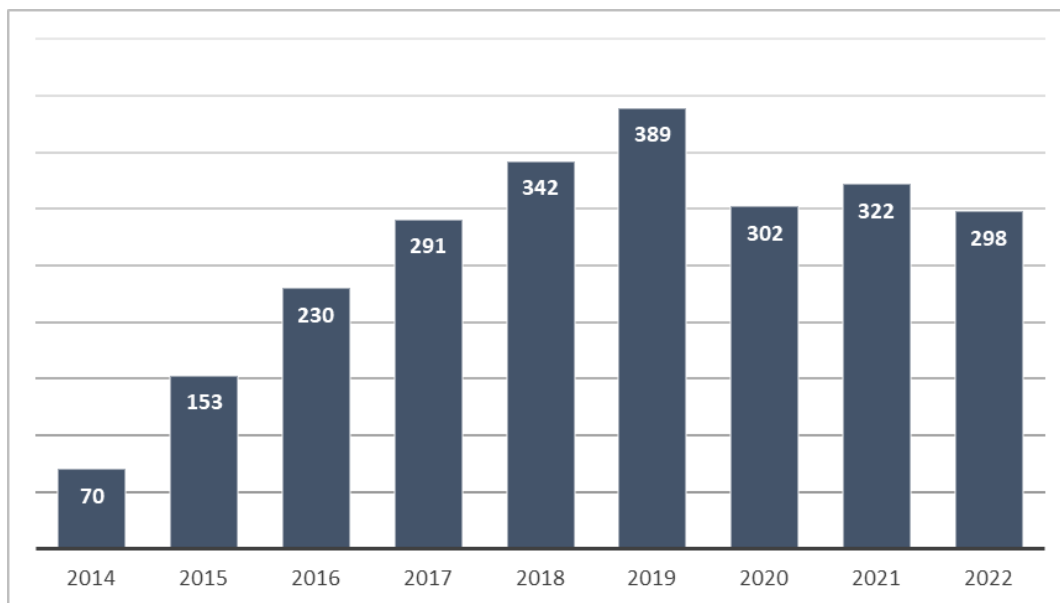
In Hamburg und Zeuthen bietet das DESY *Abschluss- und Doktorarbeiten* in einzelnen Forschungsbereichen wie Teilchenphysik, Forschung mit Photonen und Beschleunigerphysik und -technologie an. Dabei vergibt das DESY in Hamburg die Abschlüsse nicht direkt, sondern arbeitet mit verschiedenen Universitäten, besonders eng mit der Universität Hamburg, zusammen.

Das seit 1995 existierende *DESY Fellowship-Programm* zielt auf junge Nachwuchswissenschaftler:innen in der Postdoc-Phase, die sich in verschiedenen Bereichen an der Forschung beteiligen können und im Rahmen eines Bewerbungsverfahrens ausgewählt werden. Über die *Helmholtz-Förderprogramme* besteht weiterhin ein Qualifizierungsangebot, das sich im Bereich Nachwuchsförderung auf Promovierende, Postdocs und Nachwuchsführungskräfte konzentriert.

Ein wesentliches Strukturmerkmal des DESY im Hinblick auf die begleitende Ausbildung von Doktorand:innen sind die *verschiedenen Graduiertenschulen*, die des DESY (mit-)finanziert werden. So wird die *PIER Helmholtz Graduate School* (PHGS) seit 2020 aus Eigenmitteln des DESY gefördert. Die PHGS ist ein Kooperationsprojekt mit der Universität Hamburg und ist Bestandteil von PIER, der strategischen Partnerschaft des DESY mit der Universität Hamburg. Die PIER Helmholtz Graduate School stellt sicher, dass Promovierende eine international anerkannte und optimal betreute Ausbildung in ihrem jeweiligen Fachgebiet erhalten. Die Graduiertenschule fördert Forschung und Vernetzung im interdisziplinären Rahmen. Verschiedene interdisziplinäre Veranstaltungen in den PIER-Forschungsfeldern bieten den Teilnehmenden die Grundlage für einen regen wissenschaftlichen Diskurs. Karriereplanung und der Erwerb von maßgeschneiderten Transferable Skills durch Trainings und Workshops der PHGS vervollständigen das Ausbildungsprofil für Doktorand:innen am DESY.

Die PIER Graduate School hat gegenwärtig bzw. 2022 298 Mitglieder (darunter 96 Frauen) (siehe folgende Abbildung zur Entwicklung seit 2014); seit 02/2021 konnten 71 neue Mitglieder aufgenommen werden. Alle Doktorand:innen mit einem DESY-Arbeitsvertrag sind automatisch Mitglieder in der PHGS (vgl. Abbildung 22).

Abbildung 22: Mitglieder der PIER Helmholtz Graduate School, 2014-2022



Quelle: PIER PhD Reception 2022 (Prof. Robin Santra)

Neben PIER existieren mit DASHH (Data Science in Hamburg - Helmholtz Graduate School for the Structure of the Matter) sowie HELIOS (Helmholtz-Lund International Graduate School - Intelligent instrumentation for exploring matter at different time and length scales) zwei weitere Graduiertenschulen am Standort Hamburg

DASHH ist ein Kooperationsprojekt zwischen dem DESY, der Universität Hamburg, der TU Hamburg, der Helmut-Schmidt-Universität, zwei Helmholtz-Zentren, einem Max-Planck-Institut, dem European XFEL und der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg. Im Jahr 2021 waren 25 Doktorand:innen bei *DASHH* eingeschrieben, die an verschiedenen, meist interdisziplinären Projekten arbeiten. Insgesamt sind 76 Wissenschaftler:innen als Principal Investigator (PI) und 35 Wissenschaftler:innen als interessierte Forschende an *DASHH* beteiligt.

Die Graduiertenschule *HELIOS* wird von der Helmholtz-Gemeinschaft und der Hansestadt Hamburg sowie aus Eigenmitteln des DESY, der Universität Hamburg und der Universität Lund finanziert. Das Angebot besteht in einem strukturierten Programm, dessen Ziel es ist, Nachwuchswissenschaftler:innen fachübergreifend zu unterstützen. Im Jahr 2021 sind insgesamt 19 Doktoranden:innen *HELIOS* beigetreten (davon 12 in Hamburg und sieben in Lund).

Schließlich ist als vierte Graduiertenschule die *International Helmholtz-Weizmann Research School on Multimessenger Astronomy (MM School)* zu nennen, die 2019 gegründet wurde und von der Helmholtz-Gemeinschaft sowie aus Eigenmitteln des DESY, der Humboldt-Universität zu Berlin, der Universität Potsdam und dem Weizmann Institute of Science in Rehovot, Israel finanziert wird. Ziel der *MM School* ist es, Nachwuchswissenschaftler:innen im Bereich der Multimessenger-Astronomie auszubilden. Ende 2021 befanden sich insgesamt 36 Doktorand:innen an den deutschen und dem israelischen Standort in Ausbildung und wurden von 29 Principal Investigators betreut.

Im Hinblick auf die Karriereplanung von Postdocs ist abschließend auf das im Jahr 2021 etablierte – und von Helmholtz geförderte – *Career Center für Postdocs - COAST* zu verweisen, dessen Ziel es

ist, Postdocs bei der eigenen Karriereplanung zu beraten und zu unterstützen. Neben der professionellen, individuellen Beratung werden spezifische Trainings- und Netzwerkveranstaltungen zur Karriereorientierung angeboten und finden in Teilen auch als Kooperationsprojekte mit anderen Helmholtz-Zentren statt. PIs sind über das sog. PI-Connector-Team als Bindeglied zur Wissenschaft eingebunden und erhalten als Zielgruppe auch Angebote zu Karriereförderung.

Fortbildungen für Bereiche außerhalb der Wissenschaft und Qualifizierungsangebote für die Wirtschaft

Neben der beruflichen Bildung sowie der wissenschaftlichen Qualifizierung werden spezifische Fortbildungen für das Personal außerhalb der Wissenschaft angeboten. Hierzu zählen beispielsweise Career Fairs mit Unternehmen und Webinar-Reihen. Fachvorträge oder gemeinsame Veranstaltungen mit der Industrie. Mittels dieser Formate kann der Übergang von der Wissenschaft in die Industrieprofessionalisierung unterstützt werden. Gleichzeitig entstehen Alumni-Netzwerke, von denen das DESY bzw. die Wissenschaft wiederum profitieren kann. Hierzu zählen auch die bereits praktizierten Prüfungsvorbereitungen von Auszubildenden aus kleinen Unternehmen in den gewerblichen Ausbildungsstätten am DESY.

7.3 Zusammenfassung und Ausblick auf PETRA IV

Als wissenschaftliche Einrichtung kommt am DESY der Impact-Dimension Bildung von Humankapital bzw. Qualifizierung eine zentrale Bedeutung zu. Neben den im Rahmen von PETRA III hervorgerufenen und bis 2021 stetig ansteigenden Publikationszahlen, ist im wissenschaftlichen Bereich v.a. auf den wachsenden wissenschaftlichen Personalbestand zu verweisen, der im Rahmen der Erarbeitung von Dissertationen, Habilitationen und generell Publikationen den Kern der Dimension Humankapital darstellt. So erreichte die Gruppe der Doktorand:innen und Postdocs im Jahr 2022 eine Größe von 643 Personen; das gesamte am DESY beschäftigte wissenschaftliche Personal belief sich Ende 2021 auf rd. 1.290 Personen (Köpfe) (befristet und unbefristet). Hinzu kommt ein in den vergangenen zehn Jahren ebenfalls stetig wachsender Kreis von Auszubildenden, Praktikant:innen und Studierenden. Vor diesem Hintergrund sowie den zahlreichen vor Ort angebotenen Karriereprogrammen und Qualifizierungsmaßnahmen für die unterschiedlichen (Aus-)Bildungsstufen hat das DESY erhebliche Wirkungen im Bereich der Humankapitalbildung entfaltet, die sich perspektivisch im Rahmen von PETRA IV weiter erhöhen dürften. Das DESY wird somit weiterhin in der Lage sein, dem Arbeitsmarkt kontinuierlich hochqualifizierte – auch wissenschaftliche Fachkräfte zur Verfügung zu stellen und damit eine wesentliche Bildungsfunktion ausüben. Auch diesbezüglich ist bei der Umsetzung von PETRA IV von einem weiter ansteigenden positiven Effekt auszugehen. Parallel werden die geplanten Großbauten die technische Qualifikationsfunktion mindestens temporär deutlich verstärken.

8 Gesellschaftliche Wirkungen

Gesellschaftliche Wirkungen einer Strahlungsquelle treten in vielfältiger Weise auf und lassen sich in unterschiedlichen Bereichen darstellen und erfassen. So kann davon ausgegangen werden, dass die Gesellschaft sowohl in wirtschaftlicher Hinsicht (vgl. Abschnitt 5), über die Generierung wissenschaftlicher Erkenntnisse (vgl. Abschnitt 4) als auch über Ausbildung und Qualifizierung (vgl. Abschnitt 7) von den Aktivitäten des DESY profitiert.

Mit konkretem Bezug auf drängende gesellschaftliche Herausforderungen ist insbesondere die Relevanz der bereitgestellten Infrastruktur und ihre Analysemöglichkeiten sowie DESY-eigene Forschung für die Adressierung spezifischer Fragestellungen mit unmittelbarer gesellschaftlicher Relevanz zu nennen. Der in Abschnitt 6.1.2 skizzierte Fall zur Impfstoffentwicklung kann als Anschauungsfall für die Notwendigkeit einer unmittelbaren Lösung in kurzfristiger zeitlicher Perspektive dienen. Dabei erfolgte der Übertragungsweg in die gesellschaftliche Anwendung über die Vakzinforschung und das zeitnah realisierte Ausrollen der Impfstoffe, von der die Bevölkerung in Deutschland und darüber hinaus unmittelbar profitiert hat.

Auch die unter 6.1.3 erläuterte materialwissenschaftliche Forschungskooperation bietet Erkenntnisse, die eine unmittelbare Verbesserung für Industrie und Gesellschaft bedeuten: Durch die Einsicht, dass stabilere Schweißprozesse mit grünem Laser weniger Ausschuss und damit mehr Nachhaltigkeit in der Fertigung von Elektroautos zur Folge haben, können Produktionsprozesse von Automobilherstellern zeitnah effizienter und umweltfreundlicher gestaltet werden.

Nicht zu unterschätzen sind ferner Kommunikationsaktivitäten und Informationskampagnen, über die eine Diffusion der Forschungsarbeiten am DESY in die Gesellschaft erfolgt. Neben den DESY-eigenen Kommunikationskanälen als auch die der jeweiligen Forschungspartner über Pressemitteilungen, Sozialmedien, öffentliche Veranstaltungen usw. kann die (Fach-)Presse zusätzlich einen wichtigen Beitrag hierzu leisten.⁹⁴

Insgesamt führte das DESY im Jahr 2022 374 Veranstaltungen durch, die für die Öffentlichkeit zugänglich waren, wie die Beteiligung bei *Wissen vom Fass*, öffentliche Vorlesungen und Diskussionsforen, die als *Ankerpunkt* für *Outreach* betrachtet werden und die Verbindung zwischen Wissenschaft und Gesellschaft verbessern können. Darüber hinaus nahmen seit April 2022 über 70 Politiker:innen an vom oder am DESY organisierten parlamentarischen Veranstaltungen teil, darunter die Bundesministerin für Bildung und Forschung Bettina Stark-Watzinger und der Bundesminister für Gesundheit Prof. Karl Lauterbach.

Mit PETRA IV plant das DESY, sich zunehmend strategisch im Hinblick auf die Erforschung unmittelbarer relevanter Fragestellungen mit gesellschaftlicher Relevanz zu fokussieren. Vorrangige Schwerpunkte werden in den Bereichen *Zukünftige Materialien* und *Gesundheit* gesehen, wobei dies weitere Forschungsbereiche wie Transport, Energie, Erde und Umwelt usw. nicht ausschließt. Eine zunehmende Bedeutung erhalten daten- und informationstechnische Forschungsbereiche (Software, Künstliche Intelligenz, Big Data usw.), die neue Potenziale zur Generierung von Ergebnissen auf der Basis komplexer Systemansätze schaffen.

⁹⁴ Vgl. beispielsweise der Beitrag *Biontech forscht in Hamburg für neue Arzneien* im Hamburger Abendblatt vom 22.09.2022 sowie zu PETRA IV am 13.09.2022, <https://www.abendblatt.de/hamburg/altona/article236420563/desy-supermikroskop-petra-iv-wird-zum-milliardenprojekt-science-city-hamburg-bahrenfeld.html>

Zusätzlich hat das DESY den Bereich der Quantentechnologien als neuen strategischen Innovationsbereich definiert.⁹⁵ Durch die Fokussierung auf spezifische Anwendungsfelder und damit dezierte gesellschaftliche Problemlagen erfolgt insgesamt ein Umdenken in Forschungsarbeiten von der Wissensgenerierung zur Problemlösung. So legt das DESY seine Schwerpunkte gezielt in Bereiche wie Bekämpfung des Klimawandels und von Umweltschäden, digitale Transformation, Kreislaufwirtschaft, Bekämpfung von Krankheiten usw. Dies kann jedoch nur eingebettet in Ergebnisse der Grundlagenforschung und unter Nutzung des bislang aufgebauten Wissens- und Erfahrungsschatzes an den Strahlungsquellen erfolgen. Es soll einhergehen mit einer Verbreiterung der Anwenderbasis von einer reinen Nutzung durch Expert:innen hin zur Einbindung bislang weniger erfahrener Nutzer:innen. Durch diese Öffnung des Akteurskreises soll eine Neuaufstellung hin zur "open photon science towards reaching out to a broad spectrum of potential users" erreicht werden. Dies kann Anreize für bislang eher nutzungsferne Akteure bieten, die Strahlungsquelle für eigene Forschungsarbeiten heranzuziehen. Neben neuen Unterstützungsverfahren für industrielle Nutzer (Change Management, vgl. Kapitel 6) sowie Kooperationen mit spezialisierten Forschungsdienstleistern zur Durchführung der Experimente (vgl. Abschnitt 6.4.4) können an dieser Stelle zielgruppenspezifische Unterstützungsangebote des DESY sowie des DESY-ITT benannt werden. So sieht das DESY sich zunehmend als intermediärer Akteur und als Lösungsermittler für bestimmte Problemstellungen. Diese Funktion erfüllt das DESY sowohl im direkten Austausch mit Endnutzern als auch über weitere Akteure wie beispielsweise der Fraunhofer-Gesellschaft. Fraunhofer-Institute, deren Projekte und Auftraggeber können von Messungen am DESY profitieren. Um dies zu fördern, wird derzeit ein Kooperationsvertrag mit dem DESY erarbeitet.

Für die (lokale) Bevölkerung sind diese potenziellen Wirkungen zunächst jedoch nur begrenzt sichtbar. Um hier Überzeugungsarbeit leisten zu können und Akzeptanz im Hinblick auf den Bau von PETRA IV zu erzielen, scheinen insbesondere zwei Aspekte von großer Bedeutung zu sein: (1) Die "Öffnung der Türen" der Anlagen, um die Bevölkerung einzuladen, einen Blick in die DESY-Forschung zu werfen sowie (2) Beispielsprojekte "zum Anfassen", die der Bevölkerung die Potenziale und Optionen der Beschleunigertechnologie aufzeigen. Zu Punkt (1) zählen neben Informations- und Kommunikationsaktivitäten über Pressearbeit, Aktivitäten in den Sozialmedien, Videos usw. insbesondere *Mitmachaktivitäten* wie bspw. Schüler:innen-Labore, Fortbildungen für Lehrer:innen/"Kleine Forscher", Praktikumsangebote für Schüler:innen, MINT für Mädchen, aber auch öffentliche Vorträge zu ausgewählten Themen und weitere Veranstaltungen wie u.a. Wissen vom Fass.⁹⁶ Punkt (2) umfasst Vorhaben, die die DESY-Aktivitäten der Lebenswirklichkeit der Bevölkerung nahebringen sowie die Bandbreite an Potenzialen aufzeigen, die sich durch die Forschungsarbeiten im DESY ergeben. Neben der bereits erwähnten Impfstoffentwicklung fallen hierunter auch Analysen, die nicht unmittelbar mit der Beschleunigertechnologie in Verbindung gebracht werden. Als Beispiele können Untersuchungen zu Energieeffizienz beim Brotbackprozess, zu Papierverpackungen, zu umweltfreundlichem Zement sowie zur Untersuchung antiker Funde genannt werden.⁹⁷ Auch Aktivitäten im Kontext Wissenschaft – Kunst – Kultur können spannende Einblicke für die Gesellschaft bieten und das Interesse der Bevölkerung an der Forschung am DESY wecken. Beispielshaft zu nennen sind hier u.a. Veranstaltungen wie *Meet the Artist*, das Science and Music Festival, Superstrings usw.⁹⁸

⁹⁵ Vgl. beispielsweise die Task-Force "Quantum Technologies" im Kontext der DESY 2030-Strategie oder auch das neue Center for Quantum Technology Applications an beiden DESY-Standorten.

⁹⁶ Vgl. <https://www.desy.de/schule>

⁹⁷ Vgl. <https://maxess.se/case/more-energy-efficient-bread-baking-with-synchrotron-microtomography/>, <https://maxess.se/case/neutron-imag-ing-increases-paperboard-durability/>, <https://maxess.se/case/converting-non-reactive-biomass-ash-into-environmentally-friendly-cement/>, https://innovation.desy.de/news_events/e85/untersuchungen_von_antiken_funden_der_varusschlacht_an_petra_iii/index_ger.html

⁹⁸ Vgl. <https://www.uni-hamburg.de/veranstaltungen.html?event=88123>, https://humboldt-professur.desy.de/e103324/e168188/index_eng.html, https://humboldt-professur.desy.de/e103324/e110948/index_eng.html

9 Entwurf einer Indikatoren-Matrix

Um die oben dargestellten Aktivitäten, Ergebnisse und Wirkungen auch in den kommenden Jahren zielgerichtet erfassen zu können, wird in diesem Unterkapitel eine Indikatoren-Matrix entwickelt, mit dem Ziel eine strukturierte Grundlage für das zukünftige Monitoring der Campus-Aktivitäten zu schaffen. Diese soll die zuständigen Stellen am DESY in die Lage versetzen, zukünftige Entwicklungen und Fortschritte selbst zu erfassen.

Die Struktur der Matrix folgt dabei drei wesentlichen Grundsätzen:

- der Unterscheidung zwischen der Erfassung von Aktivitäten (d.h. den notwendigen Bedingungen, damit Wirkungen überhaupt entstehen können), Resultaten (die sich noch mehr oder minder direkt einzelnen Aktivitäten zuordnen lassen) und Wirkungen (die sich nurmehr übergreifend auf Basis ökonomischer Modelle schätzen lassen);
- einer Fokussierung auf jene Aspekte, die sich im Rahmen der qualitativen Analysen als für die Entstehung von Wirkungen besonders bedeutsam erwiesen haben, bzw. schon vorher grundsätzlich bekannt waren. Insbesondere sollen alle fünf wesentlichen Impact-Bereiche (Wissenschaft, Wirtschaft, Innovation, Humankapital, Gesellschaft) in angemessener Weise Berücksichtigung finden;
- einer Reduzierung auf die Erfassung von Indikatoren, die mit überschaubarem Aufwand aus bestehenden Datenbeständen des DESY erhebbar sind, bzw. deren Schätzung durch eine niederschwellige Beauftragung externer Expert:innen möglich ist. Bezug genommen wurde hierbei v.a. auf den dauerhaft bzw. wiederholt anfallenden Aufwand.⁹⁹

Zielsetzung bei der Zusammenstellung der Matrix war es, eine geeignete Zahl von Messgrößen zu identifizieren, die sich im Rahmen zukünftiger Monitorings mit vertretbarem Ressourcenaufwand in regelmäßigen Abständen intern erheben bzw. extern bereitstellen lässt. Gleichzeitig wurde eine Verengung auf zu wenige *Key Performance Indicators* vermieden, die die komplexen Aktivitäten an einer Einrichtung wie dem DESY bzw. PETRA III/IV nur unzureichend abbilden könnte und damit zu einer verzerrten Darstellung der Wirkungszusammenhänge führen würde.

Grundsätzlich ist die Indikatoren-Matrix somit nicht als feste Vorlage, sondern als Handreichung zu verstehen. Ihrer Erstellung ging eine intensive Befassung mit in der akademischen Literatur bereits vorliegenden Rastern – bzw. deren Zusammenfassung in Projekten wie SCIAMPI, ACCELERATE, RI-PATHS – voraus. Auf Indikatoren, die nicht genannt werden, wurde in Anschauung der spezifischen Situation am DESY bewusst verzichtet, aufgeführte Indikatoren sind enthalten, weil sich ihre Bedeutung aus den vorangehenden Kapiteln direkt ableiten lässt.

Wenngleich also in Zukunft gewisse Abweichungen pragmatisch sinnvoll erscheinen mögen, sollte dabei stets berücksichtigt werden, dass die Indikatoren-Matrix in ihrer vorliegenden Form mit einem Schwerpunkt auf Ausgewogenheit und der Zielsetzung der angemessenen Berücksichtigung aller relevanten Wirkungsbereiche entwickelt wurde. Bei etwaigen Kürzungen wäre also besonders darauf zu achten, dass keine grundsätzlichen Ungleichgewichte in der Abbildung wichtiger Prozesse entstehen, die das Gesamtbild verfälschen könnten.

⁹⁹ Dass im Rahmen der erstmaligen Durchführung von Erhebungen Lernkurven durchlaufen werden müssen, wird hierbei nicht in Abrede gestellt. Die Autor:innen dieses Berichts halten allerdings zentrale Aspekte dieser Lernkurven für im Rahmen der Erstellung dieses Berichts für durchlaufen und sind überzeugt, dass bei der Wiederholung entsprechender Auswertungen erhebliche Effizienzgewinne anfielen.

Tabelle 12: Indikatoren-Matrix

Aktivitäten	Ergebnisse	Impact
Bereich Wissenschaft		
Zahl wissenschaftlicher Aktivitäten (Konferenzen; Projekte)	Zahl Publikationen	Zitationen von Publikationen Mittlerer Impact Factor der Journals
Anzahl wissenschaftlicher Kooperationen (Projektebene)	Anzahl in Kooperation erarbeiteter Forschungsergebnisse (Ko-Publikationen)	Dauerhafte Kooperationsbeziehungen mit int. Partnern
- mit europäischen Partnern	- mit europäischen Partnern	- mit europäischen Partnern
- weltweit	- weltweit	- weltweit
Kooperation mit anderen Forschungseinrichtungen bei Testung und Instrumentierung	Problemlösungen für andere Forschungseinrichtungen	Prägung wissenschaftlicher Standards bzw. Handreichungen zum Vorgehen
Kooperation mit anderen Forschungseinrichtungen bei Qualifizierung	Gemeinsame Betreuung von Studierenden, Promovierenden usw.	Qualifizierung, wissenschaftliche Netzwerke, Wissensgenerie- rung; ggfs. Kooperationsmodelle
Bereich Wirtschaft		
Umfang verausgabte Löhne, Gehälter und Bezüge (nach Gehaltsgruppen)		konsumtiv begründeter gesamtwirtschaftlicher Effekt
Umfang initiale Bauinvestitionen		investiv begründeter gesamtwirtschaftlicher Effekt (Bauphase)
Umfang regelmäßige Betriebsausgaben (Beschaffung nach Wirtschaftszweig)		investiv begründeter gesamtwirtschaftlicher Effekt (Betriebsphase)
Beitrag zur Lösung wirtschaftlich unmittelbar wirksamer Problemstellungen (Beispiel BioNTech)	Erfolgreiche technische Problemlösungen	Erhöhter Umsatz / Geschäftlicher Erfolg einzelner Unternehmen
Bereich Innovation & Transfer		
Anzahl direkter experimenteller Kooperationen mit der Wirtschaft	Erfolgreiche technische Problemlösungen	
Anzahl Experimente mit Beteiligung der Wirtschaft in Projektkonsortien		
Anzahl Experimente, die als industriell relevant bezeichnet werden		
Umfang nicht standardisierter Beschaffung von spezi- alisierten, innovativen Anbietern	Anzahl spezifisch für das DESY/PETRA entwickelter Produkte und Lösungen	
Unterstützung Gründungsprojekte	Anzahl erfolgreich initiiert Spin-offs	Anzahl dauerhaft ökonomisch erfolgreicher Spin-offs

Aktivitäten		Ergebnisse	Impact
Aktivitäten zum Transfer von Standards in die Wirtschaft		Anzahl Standards, die erfolgreich beworben werden	Anzahl Standards, die sich in der Breite durchsetzen
Auslizenzierte Technologien		Höhe der Lizenzeinnahmen	Anzahl erfolgreicher Spin-offs/Unternehmen
		Partnerschaftliche Weiterentwicklungen (MicroTCA)	Anzahl Know-how-Lizenzen, Wissensgenerierung, neue Anwendungsoptionen/Märkte
Verkauf von Patenten		Höhe der Einnahmen durch Verkauf	Anzahl erfolgreicher Spin-offs/Unternehmen
Bereich Humankapital			
Anzahl vor Ort arbeitender Master-Studierender		Anzahl Master-Studierender mit erfolgreichem Projektabschluss am DESY	Anzahl Master-Studierender mit erfolgreichem Berufseinstieg in Wissenschaft oder Wirtschaft in Folge der DESY-Aktivitäten
Anzahl vor Ort arbeitender PhD Studierender		Anzahl PhD Studierender mit erfolgreichem Projektabschluss am DESY	Anzahl PhD Studierender mit erfolgreichem Berufseinstieg in Wissenschaft oder Wirtschaft in Folge DESY-Aktivitäten
Anzahl vor Ort arbeitender Postdocs		Anzahl Postdocs mit erfolgreichem Projektabschluss am DESY	Anzahl Postdocs mit erfolgreichem nächsten Karriereschritt in der Wissenschaft in Folge der DESY-Aktivitäten
Anzahl vor Ort arbeitender etablierter Wissenschaftler:innen von anderen Standorten		Anzahl etablierter Wissenschaftler:innen mit erfolgreichem Projektabschluss am DESY	Anzahl etablierter Wissenschaftler:innen mit erfolgreichem nächsten Karriereschritt/weiterem Reputationsgewinn in der Wissenschaft in Folge der DESY-Aktivitäten
Ausbildungsplätze		Anzahl Ausbildungsplätze	übernommene Auszubildende vs. nicht-übernommene
Bereich Gesellschaft			
Anzahl Besuche von Schüler:innengruppen, Anzahl der hieran Teilnehmenden Anzahl Besuche von Studierendengruppen, Anzahl der hieran Teilnehmenden Anzahl Besuche anderer Reise-/Personengruppen, Anzahl der hieran Teilnehmenden Umfang der Outreach-Aktivitäten des DESY an anderen Einrichtungen transferierte Technologien mit Relevanz für die Gesellschaft (s.o. für grand challenges)		Medienpräsenz des DESY über Veranstaltungen und Kommunikationsaktivitäten Bekanntheitsgrad des DESY bei jungen Menschen oder anderen relevanten Zielgruppen	Größere gesellschaftliches Verständnis und Unterstützung für den Beitrag der Grundlagenforschung Gezielterer Beitrag des DESY zu relevanten gesellschaftlichen Problemstellungen, resultierend aus größerer Beteiligung nicht-technologischer Nutzergruppen

Quelle: eigene Zusammenstellung, auf Basis der vorherigen Kapitel sowie von Vorarbeiten wie z.B. RI-PATHS (<https://www.ri-paths-tool.eu/en>)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Aufteilung Proposals nach Oberthemen 2022 (inkl. EMBL)	10
Abbildung 2:	Methodische Ansätze nach Analysebereich.....	13
Abbildung 3:	Relevante Impact Pathways am DESY/PETRA III.....	16
Abbildung 4:	DESY-spezifisches Wirkungsmodell	19
Abbildung 5:	Anzahl aller PETRA III-Publikationen in SCOPUS nach Jahren.....	21
Abbildung 6:	Anzahl aller PETRA III-Publikationen in SCOPUS nach Themenbereichen.....	22
Abbildung 7:	PETRA III-Publikationen mit thematischen Beiträgen zu den UN-Zielen für eine nachhaltige Entwicklung	23
Abbildung 8:	Durchschnittlicher Journal Impact Factor aller PETRA III-Publikationen.....	24
Abbildung 9:	Exzellenzrate und Crown Indicator aller PETRA III-Publikationen in SCOPUS	24
Abbildung 10:	Anzahl Publikationen, gefördert durch DFG oder ERC	25
Abbildung 11:	Anzahl deutscher Nutzer:innen mit Universitätszugehörigkeit in 2022	26
Abbildung 12:	Prozentuale Verteilung der PETRA III-Strahlzeiten auf die deutsche Forschungseinrichtungen (seit 2015).....	27
Abbildung 13:	Konzeptionelle Übersicht Multiplikatormodell	34
Abbildung 14:	Personalausgaben im Bereich PETRA III im Zeitverlauf, geschätzte gesamtwirtschaftliche Effekte (reine Einkommenseffekte).....	35
Abbildung 15:	Investitions- und laufende Sachausgaben im Bereich PETRA III im Zeitverlauf	36
Abbildung 16:	Gesamtwirtschaftliche Effekte von PETRA III im Zeitverlauf.....	37
Abbildung 17:	Wissens- und Technologietransfer am DESY und PETRA III (exemplarisch).....	42
Abbildung 18:	Entwicklung der Strahlzeit an PETRA III nach Nutzergruppen 2015-2022 (gemessen an Anzahl der Strahlzeit-Schichten)	44
Abbildung 19:	Infrastrukturangebot des DESY für Ausgründungen und Gründungsprojekte	50
Abbildung 20:	Schematische Darstellung des Wirkungspfads für den Standard MicroTCA.4	59
Abbildung 21:	Standardisierter Prozessablauf zur Qualitätsprüfung (Materialeigenschaften, Bleche).....	61
Abbildung 22:	Mitglieder der PIER Helmholtz Graduate School, 2014-2022	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anteil PETRA III-basierte Publikationen nach Kooperationstypen	27
Tabelle 2:	Zitierte wissenschaftliche Artikel unter DESY-Beteiligung in Patentanmeldungen 2012-2022	29
Tabelle 3:	Geschätzte Ökonomische Wirkungen von PETRA III und PETRA IV (Prognose)	40
Tabelle 4:	Branchenzuordnung der Industrienutzer von PETRA III	43
Tabelle 5:	Anzahl Beratungen und Gründungen auf dem DESY Campus	52
Tabelle 6:	Anzahl Veranstaltungen des DESY Start-up Office	53
Tabelle 7:	Anzahl und Typen der DESY-Gründungen seit 2014	53
Tabelle 8:	Anzahl Beschäftigte nach Tätigkeitsbereichen 2012-2022	66
Tabelle 9:	Anzahl der Ausbildungsplätze am DESY, 2011-2021*	67
Tabelle 10:	Anzahl der Auszubildenden nach Ausbildungsberufen (Stand: 31.12.2021)	68
Tabelle 11:	Anzahl und Struktur dual Studierender am DESY, 2022	69
Tabelle 12:	Indikatorenmatrix	75