

Außeruniversitäre Forschung

Eine historisch-soziologische Analyse der Erneuerung zweier staatlicher Großforschungszentren

Thomas Heinze

1. Erneuerungsfähigkeit staatlicher Großforschung

Die in diesem Aufsatz diskutierte Forschungsfrage¹ lautet, wie es staatlichen Großforschungszentren gelingt, ihre langfristig angelegten und im Kontext großer technischer Infrastrukturen durchgeführten Forschungsprogramme inhaltlich und strategisch zu erneuern (zu Infrastrukturen vgl. Barlösius in diesem Band). Die Erneuerungsfähigkeit der staatlichen Großforschung (Makro-Ebene) beschäftigt die Forschungspolitik seit vielen Jahren. Denn obwohl staatliche Großforschungszentren ursprünglich als Projektorganisationen geschaffen wurden, ist es bislang die Ausnahme geblieben, dass sie wieder geschlossen wurden, und zwar unabhängig davon, ob sie ihre Forschungsmissionen verwirklicht haben oder nicht. In den Vereinigten Staaten und Deutschland wurde bisher kein einziges staatliches Großforschungszentrum nach seiner Gründung jemals wieder geschlossen (Hallonsten/

1 Ich danke meinen Interviewpartnern am DESY und SLAC: John Arthur*, Arthur Bienenstock*, Gerhard Caspar*, Josef Feldhaus*, Persis Drell*, Keith Hodgson*, Christof Kunz, Ingolf Lindau*, Piero Pianetta*, Erich Lohrmann*, Gerhard Materlik, Burton Richter*, Jochen Schneider, Herwig Schopper, Hermann Schunck, Bernd Sonntag, Joachim Stöhr*, Albrecht Wagner. Die mit * gekennzeichneten Interviews wurden zusammen mit Olof Hallonsten durchgeführt. Weiterhin danke ich den Verantwortlichen in den Archiven des DoE, der DFG, des DESY, des PT-DESY, des HASYLAB, des SLAC, des EMBL, der Max-Planck-Gesellschaft, der Stanford University, der Universität Hamburg und des Bundesarchives in Koblenz: Josefine Bäßler, Jean Marie Deken, Irmgard Flick, Daniel Hartwig, Christopher Johns, Malcom Joliffe, Olaf Kühnholz, Anne-Flore Laloe, Peter Nickel, Wiebke Laasch, Laura O'Hara, Christa Piatkowski, Walter Pietrusiak, Susanne Schuster, Maja Stolper, Simone Walther und Uwe Wolframm. Auch danke ich Frank Lehner (DESY), der das Forschungsprojekt jederzeit tatkräftig unterstützt hat. Ich danke zudem meinen studentischen und wissenschaftlichen Hilfskräften sowie wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen Imke Fehsel, Joel Fuchs, Steffi Heinecke und Lütfiye Kocyigit. Ein ganz besonders herzlicher Dank geht an Olof Hallonsten für viele hilfreiche Kommentare zu einer früheren Textfassung sowie Richard Münch und Arlette Jappe. Das Forschungsprojekt wurde vom BMBF finanziell unterstützt (01UZ1001).

Heinze 2012, S. 451–458, zu Projektorganisationen vgl. Besio/Norkus/Baur in diesem Band).

Zum anderen befindet sich die staatliche Großforschung spätestens seit den 1970er Jahren (USA) bzw. seit den 1980er Jahren (BRD) in einer Phase der Konsolidierung (Riordan/Hoddeson/Kolb 2015, S. 3–6; Hallonsten/Heinze 2012; Westfall 2008; Westfall 2012; Holl 1997, S. 377–429; Hohn/Schmank 1990, S. 39–62). Weder lassen sich die rasanten Budgetsteigerungen der 1950er und 1960er Jahre fortschreiben, noch erscheint es heute möglich, auf neue gesellschaftspolitische Herausforderungen immer wieder mit der Gründung neuer Großforschungszentren zu reagieren. Wenn aber die Erneuerung der staatlichen Großforschung nicht einfach durch die Ersetzung bestehender oder durch die Errichtung neuer Großforschungszentren bewerkstelligt werden kann, dann rücken organisationsinterne Wandlungsprozesse in den Fokus der Analyse (Meso-Ebene). Die Frage des institutionellen Wandels auf der Makro-Ebene muss daher zunächst auf der Meso-Ebene einzelner Großforschungszentren untersucht werden. Erst wenn Wandlungsprozesse auf dieser Ebene verstanden sind, lassen sich Schlussfolgerungen für die staatliche Großforschung insgesamt ziehen.

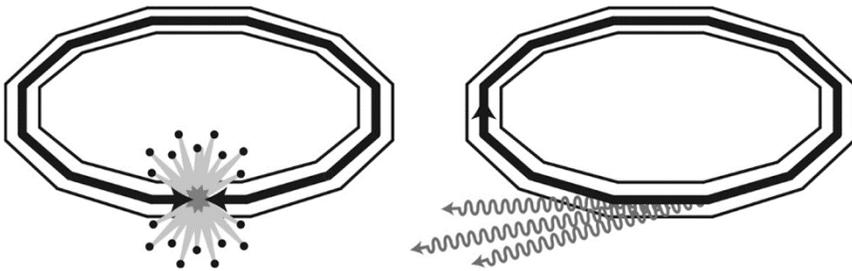
1.1 Hochenergiephysik und Photonen-Forschung

Gegenstand des vorliegenden Aufsatzes sind zwei in der Hochenergiephysik (HEP) tätige Großforschungszentren, die in einem mehrere Jahrzehnte dauernden Wandlungsprozesses ihre ursprünglich für dieses Forschungsgebiet gebauten Teilchenbeschleuniger entweder stillgelegt oder aber für neue Forschungsgebiete umgerüstet, teilweise neugebaut und vielfach erheblich erweitert haben: das 1959 gegründete „Deutsche Elektronensynchrotron“ in Hamburg (DESY) und das 1962 gegründete „Stanford Linear Accelerator Center“ (SLAC), das heute „SLAC National Accelerator Laboratory“ (SLAC) heißt. Beide Zentren betreiben heute keine Hochenergiephysik-Infrastrukturen mehr, jedoch mehrere Großgeräte für das multidisziplinäre Forschungsfeld der Photonen-Forschung.

Hochenergiephysik-Forschung beruht darauf, Elementarteilchen mit hohen Energien aufzuladen, was durch ihre Beschleunigung bis an die Lichtgeschwindigkeit heran erreicht wird. Sie werden anschließend mit einem Festkörper oder mit einem anderen Elementarteilchenstrahl kollidiert, um auf diese Weise Aufschluss über noch kleinere Bestandteile der Materie zu erhalten (z. B. Quarks, Bosonen). Die Beschleunigung kann entweder mit einem Linearbeschleuniger erreicht werden, in dem der Teilchenstrahl höhere Energie und Geschwindigkeit beim Durchlaufen von Klystronen erreicht, oder aber durch die kontinuierliche Beschleunigung eines Teilchenstrahls

durch einen ringförmigen Beschleuniger, in dem der Teilchenstrahl höhere Energie und Geschwindigkeit beim Durchlaufen jeder zusätzlichen Runde erhält. Der Vorteil der Ringbeschleuniger ist in der kontinuierlichen Aufladung bis zum gewünschten Energieniveau zu sehen, ihr Nachteil besteht aber darin, dass die Teilchen in den Biegestellungen des Rings Energie in Form intensiver elektromagnetischer Strahlung (Infrarot-, Ultraviolett- und Röntgenstrahlung) verlieren. Zwar wird der Teilchenstrahl durch starke Magnete auf der Bahn gehalten, dennoch entsteht mit der elektromagnetischen Strahlung ein für die Hochenergiephysik-Forschung im Grunde unerwünschtes Nebenprodukt, das aber andererseits eine wertvolle experimentelle Ressource darstellt, denn es eignet sich für alle möglichen Arten spektroskopischer und kristallographischer Analyse- und Bildgebungsverfahren auf der molekularen und atomaren Skala.

Abb. 1: Funktionsprinzipien der Teilchenkollision (Hochenergiephysik, links) und der Synchrotronstrahlung (Synchrotronstrahlungs- und Photonen-Forschung, rechts) in Ringbeschleunigern



Quelle: Olof Hallonsten

Der Unterschied zwischen Hochenergiephysik und Photonen-Forschung ist in Abb. 1 schematisch für einen Ringbeschleuniger dargestellt. Auf der linken Seite steht die Nutzung der Speicherringe in der Hochenergiephysik, auf der rechten Seite in der Photonen-Forschung. Während in der Hochenergiephysik die Teilchen kollidieren und kleinere Elementarteilchen freigeben, werden die Teilchen in Photonen-Forschung kontinuierlich zirkuliert und die emittierte Strahlung in Experimentalstationen ausgeleitet. Wenn der Speicherring für die Photonen-Forschung benutzt wird, können daher um den ganzen Ring herum Experimentalstationen aufgebaut werden und nicht nur an der im Schema gezeigten Stelle.

Ein wesentlicher technischer Unterschied besteht darin, dass sich Hochenergiephysik-Forschung darauf konzentriert, den Teilchenstrahl zu fokussieren, das ihn umgebende Vakuum zu erhalten und die präzise Aufzeichnung der über viele Jahre genau geplanten Experimentalanordnung zu

gewährleisten, damit die daran anschließende, wiederum auf mehrere Jahre angelegte, Datenanalyse durchgeführt werden kann. Demgegenüber erfordert die Photonen-Forschung einen Teilchenstrahl mit einer die Synchrotronstrahlung optimierenden Geometrie sowie technische Vorkehrungen zur sicheren Handhabung der ausgeleiteten Strahlung. Die Vielzahl disziplinärer Fragestellungen (Chemie, Festkörperphysik, Materialforschung, Molekularbiologie, Strukturbioogie), denen in den verschiedenen Experimentalstationen der Photonen-Forschung um den Ringbeschleuniger herum nachgegangen wird, erfordert eine flexible und den unterschiedlichen Nutzerbedürfnissen angepasste Laborplanung.

1.2 Die Verknüpfung von Meso- und Makroebene

DESY und SLAC gehören weltweit zu den ersten Großforschungszentren, die Photonen-Forschern Zutritt gewährten, allerdings unter der Bedingung, dass ihre Experimente nicht die Hochenergiephysik-Forschung beeinträchtigen. Die Tatsache, dass die Photonen-Forscher die elektromagnetische Strahlung für ihre Zwecke verwenden durften, wird innerhalb des Feldes als „parasitäre Nutzung“ bezeichnet (Hallonsten 2015; Heinze/Hallonsten/Heincke 2015a). Der parasitären Nutzung zeitlich nachgelagert ist die exklusive Nutzung der für die Hochenergiephysik nicht mehr benötigten Teilchenbeschleuniger durch die Photonen-Forscher. Diese nachgelagerte Nutzung ist deswegen möglich, weil die Suche der Hochenergiephysik-Forscher nach immer kleineren Elementarteilchen den Bau immer größerer und damit energieintensiverer Hochenergiephysik-Großgeräte erfordert. Dadurch werden die weniger energieintensiven Teilchenbeschleuniger für die Hochenergiephysik obsolet und können dann grundsätzlich für die Bedürfnisse der Photonen-Forschung umgebaut werden.

Der Bedarf für immer größere und damit energieintensivere Großgeräte hat auf der Ebene der Disziplin für die experimentelle Hochenergiephysik als Teildisziplin der Physik (Makro-Ebene) zu einer Konzentration auf wenige Beschleunigerzentren geführt, von denen heute das „European Center for Nuclear Research“ (CERN) mit dem „Large Hadron Collider“ (LHC) weltweit das größte ist (zu Disziplinen vgl. auch Reichmann/Knorr Cetina in diesem Band). Zugleich wurden seit Mitte der 1970er Jahre die ersten dedizierten Speicherringe zur wissenschaftlichen Ausbeutung der Synchrotronstrahlung gebaut. Seitdem ist die Entstehung eines globalen Organisationsfeldes von Photonen-Forschungslaboren zu beobachten (Makro-Ebene), durch das der Zustand der ausschließlich parasitären Benutzung von Teilchenbeschleunigern beendet wurde. Diese gegenwärtig etwa 40 weltweit aktiven Photonen-Forschungslaboratorien beherbergen jedes Jahr zehntau-

sende Forscher, die dort ihre Experimente durchführen (Hallonsten/Heinze 2015, zu Organisationsfeldern vgl. auch Krücken in diesem Band). Die Entwicklung von DESY und SLAC (Meso-Ebene) ist daher für drei Makro-Ebenen von Bedeutung: die staatliche Großforschung, die experimentelle Teilchenphysik und das globale Organisationsfeld von Photonen-Forschungslaboren.

Die Entstehung des globalen Organisationsfeldes der Photonen-Forschung hat dazu geführt, dass seit den 1980er Jahren für Wissenschaftler vor allem aus der Chemie, der Biologie und der Materialforschung die Möglichkeiten der Photonen-Forschung erheblich verbessert wurden. In diesem Zusammenhang sind zahlreiche herausragende Forschungsarbeiten entstanden, die auch bereits mit Nobelpreisen im Fach Chemie ausgezeichnet wurden: Paul D. Boyer und John E. Walker (1997) für die Aufklärung der enzymatischen Mechanismen bei der Synthese von Adenosintriphosphat; Roderick MacKinnon (2003) für die Erforschung von Strukturen und Mechanismen von Ionenkanälen; Roger D. Kornberg (2006) für die Erforschung der molekularen Grundlagen eukariotischer Transkription; Venkatarman Ramakrishnan, Thomas A. Steitz und Ada E. Yonath (2009) für ihre Studien zur Funktion des Ribosoms; sowie Robert J. Lefkowitz und Brian K. Kobilka (2012) für ihre Studien zu G-Protein verbundenen Rezeptoren (Nobelstiftung 2016).

1.3 Fallbeispiele DESY und SLAC

Um die diesem Aufsatz zugrundeliegende Forschungsfrage zu beantworten, wird der Wandel der Forschung am DESY und am SLAC historisch-soziologisch verglichen. Für den Vergleich dieser beiden Großforschungszentren sprechen aus methodologischer Sicht drei Gründe:

1. Beide Großforschungszentren wurden fast zeitgleich gegründet (DESY: 1959, SLAC: 1962). Sie gehören somit zu jenen Großforschungszentren, die in der Hochphase der Expansion der Hochenergiephysik und in Zeiten hoher Erwartungen in die staatliche Großforschung insgesamt errichtet wurden (Hoddeson/Kolb/Westfall 2008, S. 9–38; Westfall 2008; Stevens 2003; Westwick 2003, S. 160–193; Carson 2003; Greenberg 1999, S. 209–245; Holl 1997; Ritter 1992; Hohn/Schimank 1990, S. 233–259; Szöllösi-Janze/Trischler 1990, S. 13–20).
2. Beide Großforschungszentren haben ihren Schwerpunkt der experimentellen Hochenergiephysik sukzessive auf Photonen-Forschung verlagert, und zwar von der ursprünglich rein parasitären Benutzung von Hochenergiephysik-Großgeräten, über den Umbau freigestellter Hochenergie-

physik-Großgeräte bis hin zum Bau eigens für die Photonen-Forschung gebauter Großgeräte. DESY und SLAC sind die einzigen Großforschungszentren in Europa und Nordamerika, die die Transformation von der Hochenergiephysik zur Photonen-Forschung vollständig durchlaufen haben.

3. Das Ergebnis der Schwerpunktverlagerung ist in beiden Großforschungszentren sehr ähnlich: In beiden Großforschungszentren wurden eigens für die Photonen-Forschung Großgeräte gebaut, während zugleich ihr jeweils letztes Hochenergiephysik-Großgerät stillgelegt wurde und das Budget der Photonen-Forschung das der Hochenergiephysik überstieg.

Methodisch entspricht die Auswahl von DESY und SLAC dem, was für den sozialwissenschaftlichen Fallstudienvergleich in Anlehnung an Mill (1974) „method of agreement“ genannt wird (Ebbinghaus 2005, Mahoney 2003). DESY und SLAC weisen beide im Ergebnis die Schwerpunktverlagerung von der Hochenergiephysik zur Photonen-Forschung auf. Die mit dieser Fallauswahl verknüpfte erste Forschungsfrage lautet: *Durch welche Faktoren lässt sich die Schwerpunktverlagerung zur Photonen-Forschung erklären?*

Zugleich soll der Fallstudienvergleich auch dazu genutzt werden, Unterschiede in der Geschwindigkeit des organisationalen Wandels beider Großforschungszentren zu ermitteln. Methodisch entspricht das in Anlehnung an Mill (1974) der „method of difference“ (Ebbinghaus 2005, Mahoney 2003). Die zweite Forschungsfrage lautet daher: *Durch welche Faktoren lassen sich verschiedene Wandlungsgeschwindigkeiten der beiden Großforschungszentren erklären?*

Zur Beantwortung der beiden Forschungsfragen wird eine Abfolge von signifikanten Ereignissen und Perioden seit der Gründung beider Großforschungszentren ermittelt. Zugleich werden Arbeitshypothesen über vermutete Wirkungszusammenhänge formuliert. Danach wird auf der Basis bereits abgeschlossener und teilweise publizierter Fallgeschichten des DESY und des SLAC geprüft, welche Faktoren in welchen Perioden gewirkt haben.

Die Struktur des Aufsatzes ist daher wie folgt. Zunächst wird der theoretische Rahmen des historisch-soziologischen Vergleichs vorgestellt (Abschnitt 2). Danach werden die dem Vergleich zugrundeliegende methodischen Grundlagen und die verwendeten Datenquellen erläutert (Abschnitt 3). Auf dieser Basis wird der Wandlungsprozess am DESY und am SLAC rekonstruiert und neben den Gemeinsamkeiten auch die wesentlichen Unterschiede im Wandlungsprozess herausgestellt (Abschnitt 4). Dem schließt sich eine hypothesengestützte Erklärung an (Abschnitt 5). Anschließend werden die empirischen Befunde zusammengefasst und auf ihre Generalisierbarkeit überprüft (Abschnitt 6). Danach werden forschungspolitische Empfehlungen erörtert (Abschnitt 7).

2. Theoretische Überlegungen zum institutionellen Wandel von Großforschungszentren

In der historisch orientierten Soziologie und Politikwissenschaft wurden in den letzten Jahren neue theoretische Kategorien entwickelt, die zur Analyse von Prozessen institutionellen Wandels sehr gut geeignet sind. Insbesondere Kathleen Thelen, James Mahoney und Wolfgang Streeck haben im Rahmen des Historischen Institutionalismus die Vorstellung geprägt, dass der Wandel institutioneller Strukturen in aller Regel schrittweise und graduell abläuft, dass die kumulierten Resultate dieses Wandels aber die bestehenden Strukturen grundlegend verändern können. Der Historische Institutionalismus ist eine Denktradition, die den Wandel in hochentwickelten Gesellschaften mit einer historisch gewachsenen, dichten Struktur von wechselseitig miteinander verwobenen Institutionen untersucht. Diese Denktradition steht im Gegensatz zu Analyseformen, die lediglich auf statischen Modellannahmen über die Wirkungsweise von Institutionen beruhen und die die Komplexität realer Institutionen daher systematisch vernachlässigen. Zu den von den Autoren identifizierten Wandlungsprozessen gehören Aufschichtung (Layering), Umwandlung (Conversion) und Verdrängung (Displacement) (Fioretos/Falletti/Sheingate 2016; Mahoney/Thelen 2010; Streeck/Thelen 2005; Thelen 2003). Mit Aufschichtung ist die Überlagerung vorhandener Strukturen durch neue gemeint. Wenn dagegen beim Aufbau neuer Strukturen alte weichen müssen, ist von Verdrängung die Rede. Umwandlung beinhaltet dagegen die Umwidmung vorhandener Strukturen für neue Zwecke.

Die Kategorien des Historischen Institutionalismus lassen sich auf die Fragestellung der Erneuerung der Forschung übertragen (Heinze/Münch 2012) und wurden hinsichtlich der Rezeption von Forschungsdurchbrüchen in staatlichen Universitäten in den Vereinigten Staaten und Deutschland (Jappe/Heinze 2016) sowie hinsichtlich des Wandels des polnischen Forschungssystems (Heinecke 2016) bereits empirisch erprobt. Ebenso wurden diese Kategorien für die historische Rekonstruktion des Wandlungsprozesses am DESY und SLAC verwendet (Hallonsten/Heinze 2016; Hallonsten/Heinze 2015; Heinze/Hallonsten/Heinecke 2015a; Heinze/Hallonsten/Heinecke 2015b). Demzufolge lassen sich beim Wandel beider Großforschungszentren folgende Wandlungsprozesse identifizieren:

1. *Aufschichtung*: Aufbau neuer Forschungsgebiete (Photonen-Forschung) zusätzlich zu den bestehenden (Hochenergiephysik) auf der Ebene der Formalorganisation (neue Forschergruppen, Abteilungen und Labore der Photonen-Forschung) sowie auf der Ebene wissenschaftlicher Infrastruktur (neue Großgeräte der Photonen-Forschung),

2. *Umwandlung* vorhandener wissenschaftlicher Infrastruktur (Großgeräte der Hochenergiephysik) für den Aufbau neuer Forschungsfelder (Photonen-Forschung),
3. *Verdrängung* vorhandener Forschungsfelder und Disziplinen (Hochenergiephysik) durch neue (Photonen-Forschung).

In den genannten Analysen zum Vergleich von DESY und SLAC wurde aber die soziologische Erklärung der Schwerpunktverschiebung von der Hochenergiephysik zur Photon-Forschung sowie der Geschwindigkeit des organisationalen Wandels an beiden Großforschungszentren bislang ausgelassen.

Zur Beantwortung der beiden Forschungsfragen ist es erforderlich, die historische Entwicklung beider Großforschungszentren als Ganzes in den Blick zu nehmen. Zu diesem Zweck müssen vergleichbare Perioden und dazugehörige signifikante Ereignisse ermittelt werden. Die genaue Einteilung in signifikante Ereignisse und Perioden ist eine methodische Frage, die im nächsten Abschnitt erörtert wird. Auf der Basis einer solchen Ereignisgeschichte und Periodisierung kann erstens ermittelt werden, wie zügig die Perioden durchlaufen werden und wie viel Zeit zwischen den signifikanten Ereignissen liegt; und zweitens, wie umfassend die Schwerpunktverlagerung war, also ob alle für den Wandlungsprozess bedeutsamen Ereignisse stattgefunden haben. Welche theoretischen Überlegungen lassen sich nun für die beiden Forschungsfragen ins Feld führen?

2.1 Hypothese 1: Institutionelle Unternehmer

Wenn es darum geht, wie Neuerungen im Kontext von Organisationen aufgegriffen und etabliert werden können, wird in der soziologischen Literatur auf die große Bedeutung von institutionellen Unternehmern hingewiesen (Kremp 2010; Battilana/Leca/Boxenbaum 2009; Greenwood/Suddaby 2006; Hollingsworth 2004; DiMaggio 1991; Leblebici et al. 1991). Diese investieren nicht nur materielle Ressourcen und Zeit in technische und soziale Neuerungen, sondern sie statten diese aufgrund ihres in der Regel hohen sozialen Status auch mit Legitimität aus und können auf diese Weise Widerstände und Beharrungskräfte etablierter Akteure überwinden. Es ist daher anzunehmen, dass sich Photon-Forschung als wissenschaftlich-technische Neuerung im Kontext eines Hochenergiephysik-Großforschungszentrums erst dann entfalten kann, wenn sich institutionelle Unternehmer aktiv für die Photon-Forschung engagieren und ihre Verbreitung und Durchsetzung fördern (Hypothese 1, Tab. 1).

2.2 Hypothese 2: Interessenbündelung in formal unabhängigen Organisationen

Weiterhin ist der formale organisationale Rahmen für den Aufbau neuer Forschungskapazitäten von Bedeutung. In der organisationssoziologischen Literatur gibt es zahlreiche Belege dafür, dass zur Entfaltung des vollen Potenzials von wissenschaftlichen, technischen und sozialen Neuerungen die Unabhängigkeit derjenigen Akteure von großer Bedeutung ist, die diese entwickeln, aufgreifen und weitertragen (Kremp 2010; Hage/Mote 2008; Hollingsworth 2004; Hollingsworth 2006; Chesbrough 2003; Rogers 2003; Dowd et al. 2002; Hage 1999; DiMaggio/Stenberg 1985). Aus der politikwissenschaftlichen Literatur ist darüber hinaus bekannt, dass die Bildung von Koalitionen zur Interessenvertretung nach innen und außen von großer Bedeutung für die Durchsetzung politischer Veränderungen ist (Mintrom/Norman 2009; Mintrom/Vergari 1996; Sabatier 1998; Sabatier 1988; Hart/Victor 1993). Es ist daher anzunehmen, dass die Interessenbündelung der Photonen-Forschung in einer formal unabhängigen Organisation den Aufbau entsprechender Forschungskapazitäten am Hochenergiephysik-Großforschungszentrum befördert (Hypothese 2, Tab. 1).

2.3 Hypothesen 3 und 4: Drittmittel und Grundfinanzierung

Weiterhin legen wissenschaftshistorische Untersuchungen den Schluss nahe, dass zum Aufbau neuer Forschungsgebiete erhebliche finanzielle Investitionen erforderlich sind. Dies können sowohl Drittmittel als auch Grundfinanzierung sein (Wilson 2008; Kohler 1991; Servos 1990). Investitionen in neue Forschungsgebiete in Form von Drittmitteln schaffen besonders in einer frühen Phase eine günstige Situation für neue wissenschaftliche und technische Neuerungen, weil auf diese Weise das bestehende organisationsinterne Gerüst von Disziplinen und Forschungsfeldern ergänzt und Umverteilungskonflikte in größerem Umfang vermieden werden können (Hypothese 3, vgl. Tab. 1). Drittmittel sind ganz allgemein ein Kennzeichen projektorientierter Wissenschaft, wie sie in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen hat (Besio 2009, Besio/Norkus/Baur in diesem Band). In späteren Phasen der Durchsetzung und Verbreitung neuer Forschungsfelder ist dagegen anzunehmen, dass die Bedeutung einer stabilen Grundfinanzierung für die neuen Forschungsfelder ansteigt (Hypothese 4, Tab. 1).

2.4 Hypothesen 5 und 6: Einbettung in ein universitäres Umfeld

Schließlich hat die soziologische Netzwerk- und Wissenschaftsforschung zahlreiche Belege dafür erbracht, dass kooperatives Handeln über institutionelle Grenzen hinweg die Entstehung und die Verbreitung von Neuerungen unterstützt (Youtie et al. 2013; Heinze et al. 2009; Jones/Wuchty/Uzzi 2008; Fleming/Mingo/Chen 2007; Fleming 2002). Insbesondere die Einbettung in ein universitäres Umfeld wirkt förderlich auf die Verbreitung und Anwendung wissenschaftlich-technischer Neuerungen (Powell et al. 2005; Powell/Grodal 2005; Saxenian 2000; Saxenian 1994). Die Universität ist ein Umfeld, in dem potenzielle Partner für eine aktive wissenschaftliche Interessenkoalition vorhanden sein können. Es ist daher eine plausible Annahme, dass der Aufbau von Photonen-Forschung an einem Hochenergiephysik-Großforschungszentrum durch die Einbettung in ein räumlich benachbartes universitäres Umfeld begünstigt wird. Das bedeutet zum einen, dass eine aktive Beteiligung von Professoren von räumlich benachbarten Universitäten die Verbreitung und Anwendung wissenschaftlich-technischer Neuerungen unterstützt (Hypothese 5, vgl. Tab. 1). Im Fall von DESY handelt es sich hier insbesondere um die von Professoren der Universität Hamburg, im Fall von SLAC vor allem um die Professoren der Stanford University. Die Einbettung in ein universitäres Umfeld kann zum anderen aber auch eine weitergehende institutionelle Partnerschaft zwischen dem Großforschungszentren und der benachbarten Universität in neuen Forschungsfeldern und Teildisziplinen beinhalten (Hypothese 6, Tab. 1).

Tab. 1: Arbeitshypothesen

| | Der Aufbau von Photonen-Forschung am Hochenergiephysik-Großforschungszentrum wird befördert durch ... |
|----|--|
| H1 | ... aktive institutionelle Unternehmer, |
| H2 | ... die Interessenbündelung der Photonen-Forschung in einer formal unabhängigen Forschungseinrichtung, |
| H3 | ... die Mobilisierung von Drittmitteln für die Photonen-Forschung, |
| H4 | ... die Bereitstellung einer Grundfinanzierung für die Photonen-Forschung, |
| H5 | ... die aktive Beteiligung von Professoren der benachbarten Universität an Photonen-Forschung, |
| H6 | ... die institutionelle Partnerschaft zwischen Großforschungszentrum und benachbarter Universität in der Photonen-Forschung. |

3. Datenbasis und Methode

Der vorliegende Vergleich basiert erstens auf einer detaillierten historischen Rekonstruktion des organisationalen Wandels von DESY und SLAC. Die hierzu notwendigen (teilweise bereits publizierten) Vorarbeiten umfassen eine genau recherchierte Geschichte der beteiligten Personen, der technologischen Artefakte und der maßgeblichen Ereignisse beider Großforschungszentren (Hallonsten/Heinze 2017; Heinze/Hallonsten 2017; Hallonsten 2015; Heinze/Hallonsten/Heinecke 2015a; Heinze/Hallonsten/Heinecke 2015b). Diese Vorarbeiten beruhen auf einem umfassenden Datensatz: (1) Archivmaterial des DESY in Hamburg, zu dem die Briefwechsel zahlreicher Personen, die Protokolle der Sitzungen des Verwaltungsrats, des Direktoriums und des Wissenschaftlichen Rats sowie die Jahresberichte von DESY und HASYLAB einschließlich der jährlichen Wirtschaftspläne gehören; (2) DESY betreffendes Archivmaterial des European Molecular Biology Laboratory (EMBL), der Max-Planck-Gesellschaft (MPG), der Universität Hamburg, der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), des Projektträgers DESY (PT-DESY) und des Bundesarchivs in Koblenz; (3) Archivmaterial des SLAC in Menlo Park, zu dem Jahresberichte des SLAC und des SSRL, SLAC-interne Rundbriefe des SLAC-Direktors, Planungsberichte sowie zahlreiche Briefwechsel und Protokolle verschiedener Gremien gehören; (4) SLAC betreffendes Archivmaterial der Stanford University (SU) und des Department of Energy (DoE); (5) Interviews mit Zeitzeugen und Führungspersönlichkeiten der beiden Großforschungszentren, die in den Jahren 2012 und 2013 durchgeführt wurden; (6) Sekundärliteratur zum DESY und zum SLAC wie auch zu anderen Großforschungszentren in den Vereinigten Staaten und Deutschland.

Der vorliegende Vergleich beruht zweitens auf der erfolgreichen Erprobung und Anwendung der theoretischen Konzepte Aufschichtung, Umwandlung und Verdrängung auf die Geschichte des DESY und des SLAC (Hallonsten/Heinze 2016; 2015). Hierbei wurde der Aufbau von Forschungskapazitäten in der Photonen-Forschung auf den drei Ebenen der technischen Infrastruktur, der wissenschaftlichen Disziplin sowie der Formalorganisation untersucht. Durch diese Erprobung und Anwendung der theoretischen Konzepte wurden die Ereignisse und Veränderungsprozesse in beiden Fällen analog strukturiert und auf diese Weise für einen Vergleich vorbereitet, ohne dass die Analyse beider Großforschungszentren in diesem Arbeitsschritt bereits von einer Vergleichsperspektive abhängig wäre.

Die Leistung des vorliegenden Aufsatzes besteht nun darin, dass über diese historische Rekonstruktion des Wandels der beiden Großforschungszentren hinaus die Vergleichbarkeit des historischen Materials methodisch

herausgearbeitet und auf dieser Basis ein systematischer Fallvergleich hinsichtlich der beiden Forschungsfragen durchgeführt wird.

Wichtig ist auch der Hinweis, dass die Auswahl von DESY und SLAC methodisch dem entspricht, was für den sozialwissenschaftlichen Fallstudienvergleich in Anlehnung an Mill (1974) „method of agreement“ genannt wird (Ebbinghaus 2005, Mahoney 2003). Bei der „method of agreement“ wird ein Zusammenhang zwischen gemeinsamen Ausprägungen der unabhängigen Variablen und gemeinsamen Ausprägungen der abhängigen Variable gesucht. Daher lautet die erste Forschungsfrage: *Durch welche fallübergreifend gemeinsamen Ausprägungen der unabhängigen Variablen (vgl. Hypothesen) lässt sich die Schwerpunktverlagerung zur Photonen-Forschung (abhängige Variable) erklären?*

Wie der Fallstudienvergleich zeigen wird, gibt es aber auch erklärungsbedürftige Unterschiede in der Geschwindigkeit des organisationalen Wandels beider Großforschungszentren. Daher ist gemäß Mill (1974) auch die „method of difference“ anzuwenden (Ebbinghaus 2005, Mahoney 2003). Bei der „method of difference“ wird ein Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Ausprägungen der unabhängigen Variablen und unterschiedlichen Ausprägungen der abhängigen Variable gesucht. Die zweite Forschungsfrage lautet daher: *Durch welche fallbezogen unterschiedlichen Ausprägungen der unabhängigen Variablen (vgl. Hypothesen) lassen sich verschiedene Wandlungsgeschwindigkeiten der beiden Großforschungszentren erklären?*

4. Periodisierung

Auf der Basis der detaillierten Ereignisgeschichten in beiden Fällen unterscheide ich insgesamt 16 signifikante Ereignisse, die wiederum fünf abgrenzbare Perioden bilden. Unter einer „Periode“ verstehe ich einen für den Wandel von der Hochenergiephysik zur Photonen-Forschung maßgeblichen Entwicklungsschritt, der aus mehreren signifikanten Ereignissen besteht und der im Vergleich zur vorhergehenden Periode einen qualitativen Sprung beinhaltet. Die einzelnen Perioden werden somit nicht auf der Basis von fixierten Jahren oder Zeitfenstern definiert, sondern können in beiden Fällen zu unterschiedlichen Zeitpunkten beginnen und von variabler Dauer sein.

Völlig abstrakt lassen sich weder Perioden noch signifikante Ereignisse definieren, sondern sie müssen von der realen Fallgeschichte als vergleichbare und zugleich verallgemeinerungsfähige Kategorien ermittelt werden. Eine rein aus Fallgeschichten abgeleitete Periodisierung erscheint immer willkürlich, denn man könnte die signifikanten Ereignisse ja auch etwas anders ordnen und daraus ergäben sich dann möglicherweise andere Perioden. Die hier vorgenommene Periodisierung ist neben ihrer fallbezogenen Plau-

sibilität (Hallonsten/Heinze 2017; Heinze/Hallonsten 2017; Hallonsten 2015; Heinze/Hallonsten/Heinecke 2015a; Heinze/Hallonsten/Heinecke 2015b) jedoch auch theoretisch abgesichert, denn die signifikanten Ereignisse und die durch sie konstituierten Perioden lassen sich als Kategorien des Historischen Institutionalismus interpretieren. Daraus ergeben sich fünf *Perioden* mit ihren jeweiligen signifikanten Ereignissen (E):

1. *Gründung des Hochenergiephysik-Großforschungszentrums*. In der ersten Periode findet die Gründung der beiden Großforschungszentren statt, wobei der Baubeginn (E1) und die Inbetriebnahme (E2) des ersten Großgeräts die beiden signifikanten Ereignisse darstellen.
2. *Beginn der Photonen-Forschung am Hochenergiephysik-Großforschungszentrum*. In der zweiten Periode fasst das neue Forschungsfeld Photonen-Forschung erstmalig im Großforschungszentrum Fuß, und zwar in Form eines Forschungsprojekts (E3) und der erstmaligen parasitären Photonen-Forschung an einem Hochenergiephysik-Großgerät (E4). Die zweite Periode umfasst damit gemäß des Historischen Institutionalismus die Aufsichtung (*Layering*) eines neuen Forschungsgebietes (E3) und dazugehöriger Forschungsaktivitäten (E4).
3. *Formale Etablierung der Photonen-Forschung als Labor*. In der dritten Periode wird das neue Forschungsfeld als Labor etabliert, entweder innerhalb der formalen Organisationsstruktur des Hochenergiephysik-Großforschungszentrums (E5) oder als von diesem unabhängiges Labor (E6), zudem wird ein Beratungs- bzw. Koordinationsgremium etabliert (E7). Die dritte Periode umfasst damit die Hinzufügung (*Layering*) von Organisationseinheiten des neuen Forschungsgebietes (E5, E6, E7).
4. *Strukturelle Aufwertung der Photonen-Forschung*. In der vierten Periode wird die Photonen-Forschung strukturell aufgewertet, und zwar in Form der Zuweisung exklusiver Strahlzeit für das Photonen-Forschungslabor (E8), einer stabilen Grundfinanzierung des Photonen-Forschungslabors (E9), der Aufnahme der Photonen-Forschung in die Statuten des Hochenergiephysik-Großforschungszentren (E10), die erstmalige Einrichtung einer eigenen Abteilung für die Photonen-Forschung (E11) und schließlich die erstmalige Rekrutierung von Photonen-Forschern in die Leitung des Großforschungszentrums (E12). Die vierte Periode beinhaltet somit die Hinzufügung (*Layering*) von Ressourcen und Legitimität für das neue Forschungsgebiet (E8, E9, E10, E11, E12)
5. *Schwerpunktverlagerung des Großforschungszentrums hin zur Photonen-Forschung*. In der fünften Periode findet eine Schwerpunktverlagerung zur Photonen-Forschung statt, und zwar durch die Übergabe des ersten, ursprünglich für Hochenergiephysik gebauten Großgeräts zur ausschließlichen Nutzung für Photonen-Forschung (E13), die Stilllegung

des letzten Hochenergiephysik-Großgerätes (E14), das Überspringen des Budgets der Hochenergiephysik durch das der Photonen-Forschung (E15) und den Betriebsbeginn des ersten dedizierten Großgeräts für die Photonen-Forschung (E16). In der fünften Periode findet gemäß der theoretischen Kategorien des Historischen Institutionalismus die Umwandlung (*Conversion*) von technischer Infrastruktur (E13) und anschließend eine Verdrängung der Hochenergiephysik durch die Photonen-Forschung (*Displacement*) statt, und zwar sowohl auf der Ebene der technischen Infrastruktur (E14, E16), als auch auf der Organisationsebene (E15).

Durch die methodische Konstruktion des Fallvergleichs ist gewährleistet, dass kein Fall zum Maßstab für den anderen gewählt wird. Die signifikanten Ereignisse, Perioden und Variablen werden gleichberechtigt und ohne Bewertung der Entwicklung in beiden Fällen definiert. Es handelt sich somit ausdrücklich nicht um einen „Best-Practice“-Vergleich, bei dem zunächst ein als „erfolgreich“ erscheinender Fall ausgewählt und dann als Maßstab für den so definierten „Erfolg“ anderer Beispiele zugrunde gelegt wird. Stattdessen werden beide Fälle gleichermaßen zur Herausarbeitung eines Rasters der Transformationsschritte herangezogen.

4.1 Anwendung der Periodisierung auf das DESY

Im Folgenden werden die eingeführten Perioden und signifikanten Ereignisse auf die konkrete Entwicklungsgeschichte von DESY angewendet (vgl. Tab. 1). Empirische Grundlage dieses ersten Analyseschrittes sind die bereits erwähnten Abhandlungen (Heinze/Hallonsten 2017; Heinze/Hallonsten/Heinecke 2015a; Heinze/Hallonsten/Heinecke 2015b), in denen auch weitere Quellen enthalten sind (z. B. Lohrmann/Söding 2009).

In der Gründungsperiode (Periode 1) finden mit dem Baubeginn (E1, 1959) und der Inbetriebnahme des Synchrotrons (E2, 1964) zwei signifikante Ereignisse statt, wobei 1964 ein für die Ermittlung der Wandlungsgeschwindigkeit (zweite Forschungsfrage) zentrales Jahr ist.

Der Beginn der Photonen-Forschung (Periode 2) überlappt mit der Gründungsperiode, weil die Bewilligung eines DFG-Projekts für Peter Stähelin, den Forschungsdirektor des DESY, der zugleich Professor für Experimentalphysik an der Universität Hamburg ist, bereits ein Jahr vor Inbetriebnahme erfolgt (E3, 1963). Mithilfe der DFG-Mittel werden ein Strahlrohr und ein Beobachtungsbunker finanziert, so dass mit der Inbetriebnahme des Synchrotrons direkt auch Photonen-Forschung-Experimente durchgeführt werden können (E4, 1964). Weiterhin ist auch die Inbetriebnahme des ers-

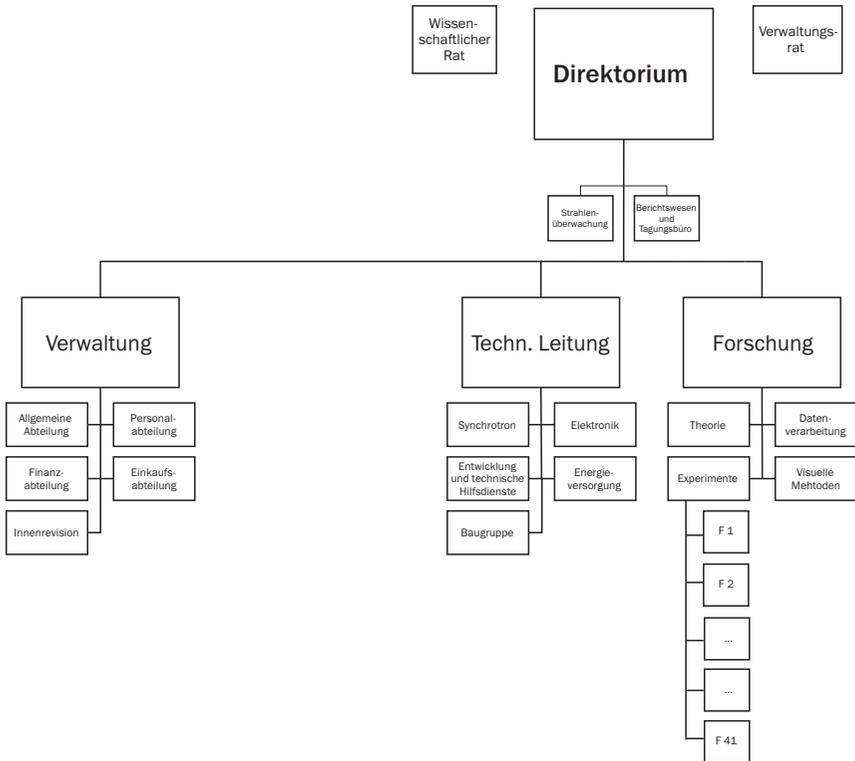
Tab. 2: Signifikante Ereignisse und Perioden in der Geschichte des DESY und des SLAC

| Perioden | Signifikante Ereignisse | DESY | SLAC |
|--|---|--|--|
| | | Zeitpunkt Ereignis | Zeitpunkt Ereignis |
| P1: Gründung des Großforschungszentrums | E1: Baubeginn des Großforschungszentrums | 1959: DESY | 1962: Linac |
| | E2: Betriebsbeginn des ersten Hochenergiephysik-Großgeräts | 1964: DESY | 1966: Linac |
| P2: Beginn der Photonen-Forschung am Großforschungszentrum | E3: Beginn der Finanzierung Photonen-Forschung am Großforschungszentrum | 1963–1971: DFG-Projekt | 1972: Anschubfinanzierung SU 1973–1982: NSF-Projekt |
| | E4: Betriebsbeginn der parasitären Photonen-Forschung am Großforschungszentrum | 1964: DESY (Synchrotron) 1974: DORIS (Speicherring) | 1974: SPEAR (Speicherring) |
| P3: Formale Etablierung der Photonen-Forschung als Labor | E5: Gründung eines Labors für Photonen-Forschung innerhalb des Hochenergiephysik-Großforschungszentrums | 1964: F41 1978: HASYLAB | |
| | E6: Gründung eines formal unabhängigen Labors für Photonen-Forschung | 1971: EMBL-Labor 1978: FhG-Labor 1985: MPG-Labor | 1977: SSRL |
| | E7: Gründung eines Beratungsgremiums für Photonen-Forschung | 1972: FKS (DESY) | 1972: SPB (SSRL) |
| P4: Strukturelle Aufwertung der Photonen-Forschung | E8: Zuweisung exklusiver Strahlzeit für Photonen-Forschungslabor | 1981: 33 % DORIS | 1979: 50 % SPEAR |
| | E9: Stabile Grundfinanzierung für Photonen-Forschungslabor | 1989: BMFT | 1982: DoE |
| | E10: Übernahme der Photonen-Forschung in die Statuten des Großforschungszentrums | 1991: neue Satzung | 1992: Fusion SSRL mit SLAC |
| | E11: Erste selbstständige Photonen-Forschungsabteilung am Großforschungszentrum | 2005: Forschungsabteilung für Photonen-Forschung | 1992: SSRL-Abteilung |
| | E12: Erster Photonen-Forscher in Leitung des Großforschungszentrums | 2000: J. Schneider | 1992: A. Bienenstock |
| P5: Schwerpunktverlagerung von HEP zu Photonen | E13: Übergabe des ersten Hochenergiephysik-Großgeräts an Photonen-Forschungslabor | 1993: DORIS | 1992: SPEAR |
| | E14: Stilllegung des letzten Hochenergiephysik-Großgeräts | 2007: HERA | 2008: PEP-II |
| | E15: Photonen-Forschungsbudget > Hochenergiephysik-Budget | 2008 | 2008 |
| | E16: Beginn des Nutzerbetriebs des ersten dedizierten Großgeräts der Photonen-Forschung | 2006: FLASH | 2009: LCLS |

ten Speicherrings DORIS (1974) ein für den Vergleich mit SLAC wichtiges Ereignis.

Die formale Etablierung der Photonen-Forschung als Labor (Periode 3) beginnt mit der Einrichtung einer DESY-eigenen Photonen-Forschergruppe (1964, Abb. 2), eines Beratungsgremiums für Photonen-Forschung (E7, 1972) und findet mit der Gründung des HASYLAB seinen Abschluss (E5, 1978). Insgesamt dauert die formale Etablierung der Photonen-Forschung – vom Beginn der Photonen-Forschung gerechnet – 14 Jahre (1964–1979). Darüber hinaus werden vom DESY drei formal unabhängige Photonen-Forschungslabore des EMBL (E6, 1971), der Fraunhofer-Gesellschaft (FhG, E6, 1978) und der Max-Planck-Gesellschaft (MPG, E6, 1985) in einem Zeitraum von 14 Jahren (1971–1985) etabliert.

Abb. 2: Organigramm, DESY 1964



Quelle: DESY-Archiv, eigene graphische Aufbereitung

Die strukturelle Aufwertung der Photonen-Forschung (Periode 4) beinhaltet die Zuweisung dedizierter Strahlzeit des DORIS-Großgeräts für den

Photonen-Forschungs-Bereich (E8, 1981), die Zurverfügungstellung einer stabilen Grundfinanzierung für HASYLAB (E9, 1989), die Aufnahme der Photonen-Forschung in die DESY-Satzung (E10, 1991), die Einrichtung einer der Hochenergiephysik formal gleichgestellten Photonen-Forschungsabteilung (E11, 2005, Abb. 3) und schließlich die Rekrutierung von Jochen Schneider als erstem leitenden Photonen-Forscher ins DESY-Direktorium (E12, 2000).

Die Schwerpunktverlagerung des Großforschungszentrums zur Photon-Forschung (Periode 5) beginnt mit der Übergabe des umgebauten Großgeräts DORIS an die Photon-Forschung (E13, 1992), wird fortgesetzt mit dem Beginn des Nutzerbetriebs des ersten dedizierten Großgeräts der Photon-Forschung (E16, 2006), der kurz darauf erfolgten Stilllegung des letzten Hochenergiephysik-Großgeräts HERA (E14, 2007) und wird durch das Überspringen des Budgets der Hochenergiephysik durch die Photon-Forschung abgeschlossen (E15, 2008) (Abb. 7).

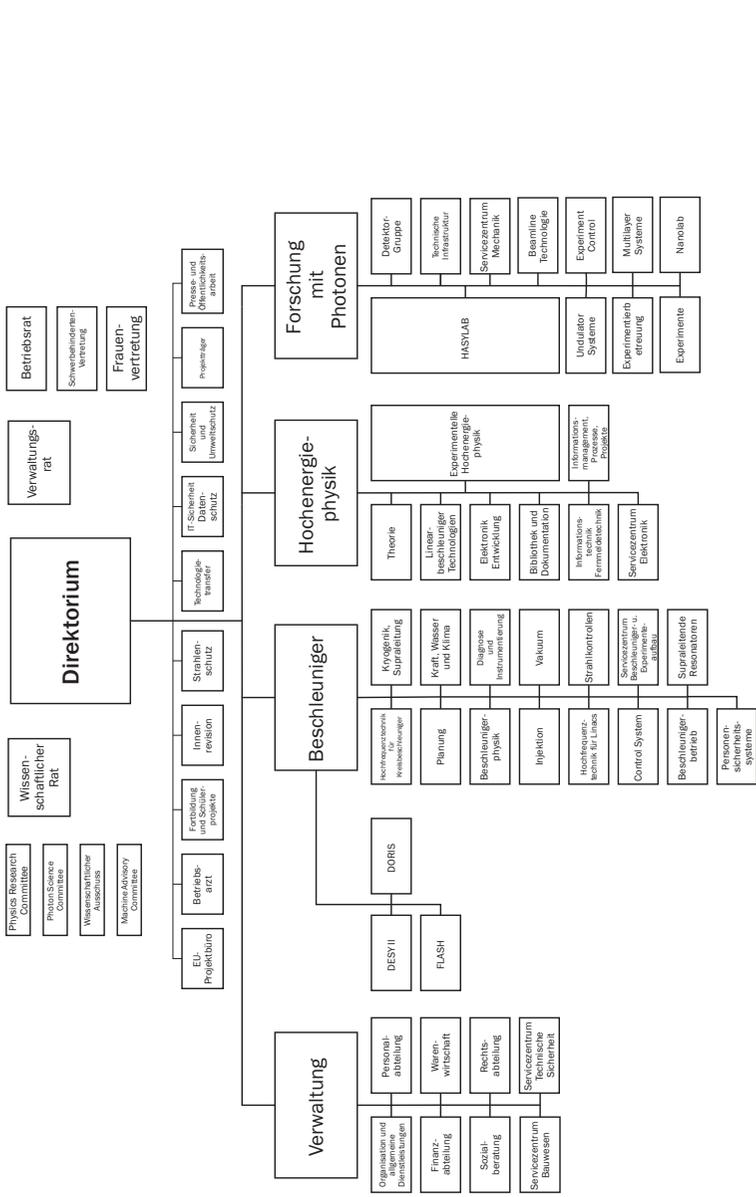
4.2 Anwendung der Periodisierung auf das SLAC

Betrachten wir nun das SLAC (Tab. 2). In der Gründungsperiode (Periode 1) finden mit dem Baubeginn (E1, 1962) und der Inbetriebnahme des Linearbeschleunigers (E2, 1966) zwei signifikante Ereignisse statt. Im Gegensatz zum DESY ist die Inbetriebnahme des ersten Hochenergiephysik-Großgeräts, des Linearbeschleunigers LINAC, für die Ermittlung der Wandlungsgeschwindigkeit des SLAC nicht bedeutsam, weil an ihm keine Synchrotronstrahlung anfällt.

Erst die in die zweite Periode fallende Inbetriebnahme des Speicherrings SPEAR (1974) ist das für die Ermittlung der Wandlungsgeschwindigkeit des SLAC zentrale Ereignis. Im selben Jahr beginnt die parasitäre Mitnutzung von SPEAR durch Photon-Forscher (E4, 1974). Finanziell werden die Experimente der Photon-Forscher zunächst von dem von der National Science Foundation (NSF) geförderten Center for Materials Research (CMR) an der Stanford University sowie von der dortigen School of Engineering (SoE) unterstützt (E3, 1972). Mithilfe der CMR/SoE-Mittel wird eine UHV-Kammer gekauft sowie ein Strahlrohr und eine provisorische Experimentalstation finanziert. Ein Jahr später wird das Stanford Synchrotron Radiation Project (SSRP) durch eine eigene Projektbewilligung von der NSF gefördert (E3, 1973).

Die formale Etablierung der Photon-Forschung als Labor (Periode 3) umfasst folgende Ereignisse. Bereits vor der Inbetriebnahme von SPEAR und der parasitären Mitnutzung durch die Photon-Forscher, und damit noch zur zweiten Periode überlappend, wird das Stanford Synchrotron Ra-

Abb. 3: Organigramm, DESY 2012



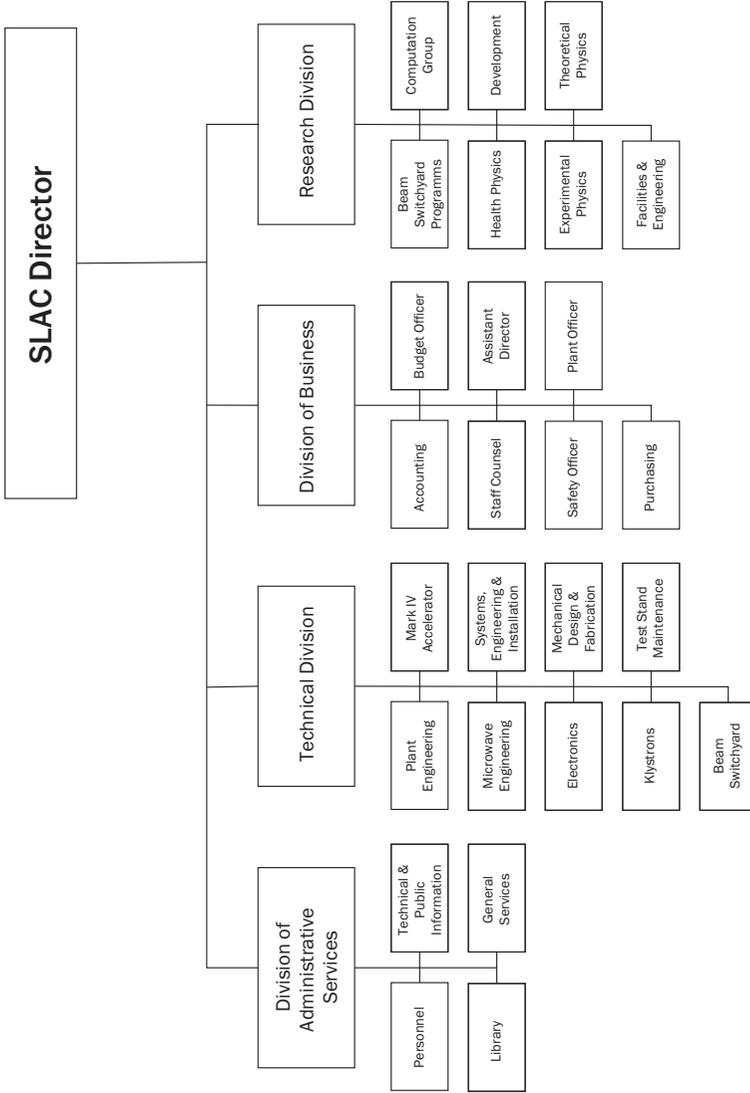
Quelle: DESY-Archiv, eigene graphische Aufbereitung

diation Project (SSRP) unter dem Dach des Hansen Experimental Physics Laboratory (HEPL), einem unabhängigen Forschungslabor der Stanford University etabliert (E6, 1972). Auch wird direkt mit Gründung des SSRP ein Beratungsgremium, das Science Policy Board (SPB), eingerichtet (E7, 1972). Nachdem die NSF ihre Unterstützung für die Photonen-Forschung an der Stanford University deutlich ausgeweitet hat, wird das SSRP dort zu einem eigenen unabhängigen Forschungslabor (SSRL) aufgewertet (E5, 1977). Insgesamt ist die formale Etablierung der Photonen-Forschung drei Jahre nach Inbetriebnahme von SPEAR abgeschlossen.

Die strukturelle Aufwertung der Photonen-Forschung (Periode 4) beginnt fünf Jahre nach Inbetriebnahme von SPEAR durch die Zuweisung exklusiver Strahlzeit für das SSRL (E8, 1979), wird durch die stabile Grundfinanzierung des Department of Energy (DoE), das die NSF ablöst, fortgesetzt (E9, 1982) und findet mit der Zusammenführung von SSRL und SLAC und der damit verknüpften Einrichtung einer SSRL-Abteilung am SLAC (E11, 1992) und der gleichzeitigen Bereitstellung einer stellvertretenden SLAC-Direktorenstelle für den Leiter der SSRL-Abteilung (E12, 1992) seinen vorläufigen Abschluss. In den Folgejahren findet die Gründung des Photon Science Departments (E11, 2004) mit gleichzeitiger Schaffung einer weiteren SLAC-Leitungsstelle (E12, 2004) statt, ebenso wie die Gründung einer Abteilung zum Bau und zum Betrieb der „Linac Coherent Light Source“ (LCLS, E11, 2006), des ersten für die Photonen-Forschung gebauten Großgeräts, die ebenfalls mit der Schaffung einer weiteren SLAC-Leitungsstelle (E12, 2006) verbunden ist.

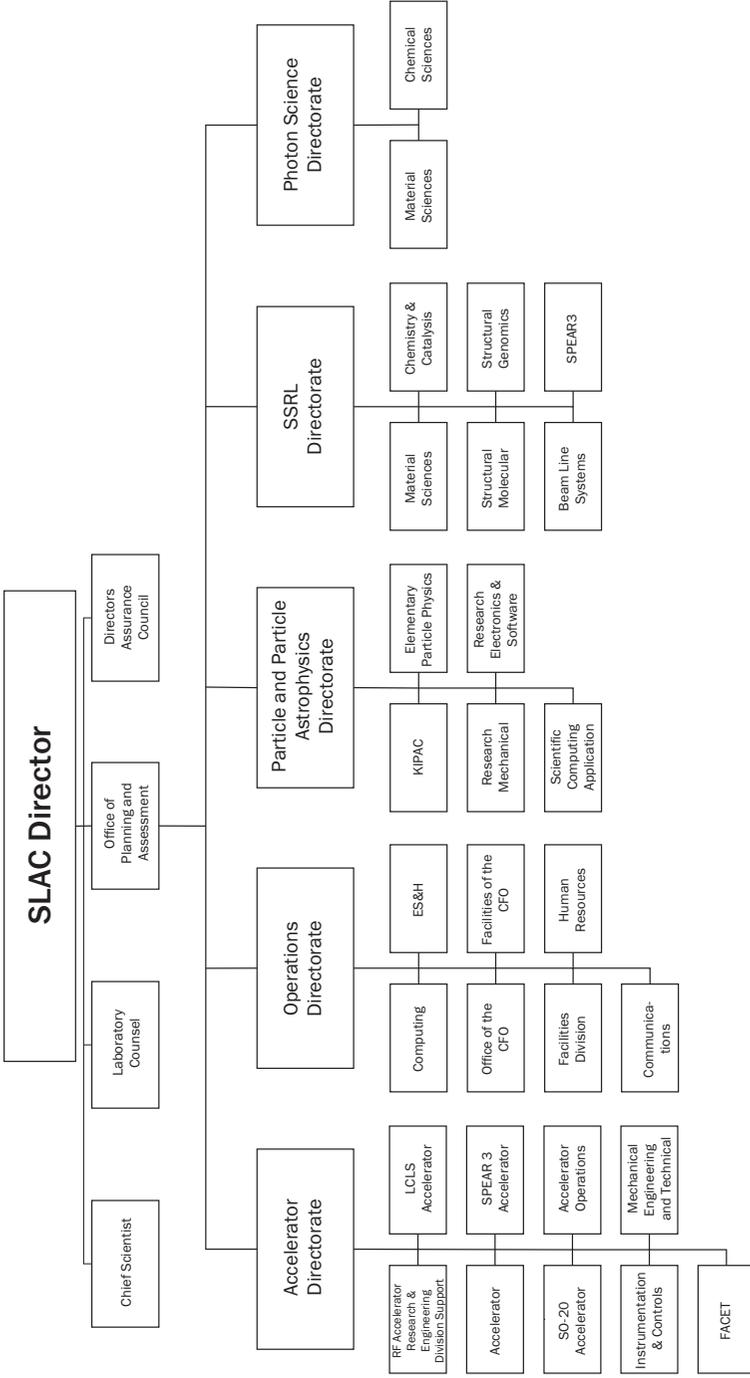
Die Schwerpunktverlagerung zur Photonen-Forschung (Periode 5) beginnt mit der Übergabe des umgebauten Großgeräts SPEAR an die Photonen-Forscher (E13, 1993) und wird mit der Abschaltung des Positron Elektron Proton Ringbeschleunigers (PEP-II) als letztes Großgerät der Hochenergiephysik (E14, 2008) fortgesetzt. Schließlich überspringt das Budget der Photonen-Forschung das der Hochenergiephysik (E15, 2008), während mit dem LCLS ein erstes ausschließlich für die Photonen-Forschung gebautes Großgerät seinen Betrieb aufnimmt (E16, 2009). Nach der Stilllegung von PEP-II wenden sich zahlreiche SLAC-Physiker den Hochenergiephysik-Experimenten am CERN zu. Zudem wird den Hochenergiephysikern mit dem „Kavli Institute for Astroparticle and Cosmology“ (KIPAC), einer gemeinsam von SLAC und Stanford gegründeten Forschungseinrichtung, die Möglichkeit eröffnet, in die Astroteilchenphysik (APP) und damit ein wissenschaftlich benachbartes Feld zu wechseln. In diesem Zusammenhang wird die frühere Forschungsabteilung umstrukturiert (Abb. 5).

Abb. 4: Organigramm, SLAC 1974



Quelle: SLAC-Archiv, eigene graphische Aufbereitung

Abb. 5: Organigramm, SLAC 2012



Quelle: SLAC-Archiv, eigene graphische Aufbereitung

5. Fallvergleich DESY – SLAC

5.1 Gemeinsame Schwerpunktverlagerung

Stellt man DESY und SLAC gegenüber, so fällt auf, dass DESY einen technischen und zugleich zeitlichen Startvorteil gegenüber SLAC hatte: sein Großgerät DESY ist ein Ringbeschleuniger, an dem Synchrotronstrahlung anfällt und zur Untersuchung von Materie zur Verfügung steht. DESY steigt daher zehn Jahre früher (E4, 1964) in die Photonen-Forschung ein als SLAC (E4, 1974).

Beide Großforschungszentren unterscheiden sich aber nicht hinsichtlich der Geschwindigkeit, mit der in der zweiten Periode die Photonen-Forschung beginnt: die Finanzierung der parasitären Photonen-Forschung erfolgt jeweils ein bis zwei Jahre vor Betriebsbeginn der Hochenergiephysik-Großgeräte, und mit deren Inbetriebnahme beginnt auch die Durchführung von Experimenten der Photonen-Forschung (Tab. 2).

Beide Großforschungszentren ähneln sich auch hinsichtlich der Schwerpunktverlagerung innerhalb der fünften Periode: nach der Übergabe des ersten Hochenergiephysik-Großgeräts an die Photonen-Forschung wird in beiden Großforschungszentren in einem Zeitraum von etwa 15 Jahren das letzte Hochenergiephysik-Großgerät stillgelegt, das erste dedizierte Großgerät der Photonen-Forschung in Betrieb genommen, und zugleich überspringt in diesem Zeitraum das Budget der Photonen-Forschung das der Hochenergiephysik (Abb. 6 und 7).

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Für die erste Forschungsfrage (gemeinsame Schwerpunktverlagerung) ist erstens erklärungsbedürftig, warum sowohl DESY als auch SLAC in der zweiten Periode so zügig in die Photonen-Forschung einsteigen, und zweitens, warum die beiden Großforschungszentren in der fünften Periode eine so hohe Ähnlichkeit bei der Schwerpunktverlagerung zur Photonen-Forschung aufweisen. Es geht bei der ersten Forschungsfrage somit um die Erklärung zweier auffälliger Gemeinsamkeiten von DESY und SLAC.

5.2 Wandlungsgeschwindigkeit

Bei der Gegenüberstellung der beiden Großforschungszentren in der dritten und vierten Periode treten deutliche Unterschiede zutage. Am DESY dauert es 14 Jahre (1964–1978), bis die Photonen-Forscher ein eigenes Labor erhalten (HASYLAB). Zugleich dauert es 14 Jahre, bis die drei unabhängigen außeruniversitären Photonen-Forschungslabore auf dem DESY-Gelände ihren Platz finden: Das EMBL-Labor wird noch während des Betriebs der DESY-

Maschine aufgebaut (E6, 1971); die EMBL schließt ein Jahr nach Inbetriebnahme von DORIS einen Vertrag mit DESY (1975); die beiden anderen Photonen-Forschungslabore gehen vier (E6, FhG) bzw. elf Jahre (E6, MPG) nach Inbetriebnahme von DORIS an den Start. Im Gegensatz dazu erfolgt die Laborgründung im Fall des SLAC schneller: Zunächst wird mit dem SSRP eine Stanford-Forscherguppe (1972) und drei Jahre nach Inbetriebnahme von SPEAR mit dem SSRL ein von SLAC unabhängiges Forschungslabor an der Stanford University etabliert (E6, 1977).

Auch in der vierten Periode gibt es deutliche Unterschiede zwischen DESY und SLAC. Am DESY wird eine stabile Grundfinanzierung für die Photonen-Forschung (E9, 1989) deutlich später als am SSRL zur Verfügung gestellt – und zwar unabhängig davon, ob man 1964 (DESY) oder 1974 (DORIS) als Bezugsjahr wählt. Bezogen auf die DESY-Maschine dauert es 25 Jahre; bezogen auf DORIS sind es immerhin noch 15 Jahre, bis das Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT, später Bildungsministerium für Bildung und Forschung, BMBF) ein auskömmliches Budget für HASYLAB bereitstellt, das nicht aus dem Hochenergiephysik-Budget des DESY mitfinanziert werden muss. Demgegenüber verfügt das SSRL bereits fünf Jahre nach seiner Gründung (E9, 1982) über eine stabile Grundfinanzierung aus dem Haushalt des DoE, die zusätzlich zur Finanzierung des Hochenergiephysik-Bereichs des SLAC gewährt wird.

Zugleich dauert es nach der Übernahme der Photonen-Forschung in die DESY-Satzung (E10, 1991) neun Jahre, bis der erste leitende Photonen-Forscher eine Führungsposition im DESY-Direktorium erhält (E12, 2000) und 14 Jahre, bis das HASYLAB der Hochenergiephysik am DESY formal gleichgestellt wird (E11, 2005). Demgegenüber wird im selben Jahr, in dem das SSRL mit dem SLAC fusioniert wird (E10, 1992), eine der Hochenergiephysik gleichwertige SSRL-Abteilung eingerichtet (E11, 1992), deren Leiter zugleich stellvertretender SLAC-Direktor ist (E12, 1992). Die Photonen-Forschung wird am SLAC auch vom Umfang her gesehen stärker strukturell verankert als am DESY: Neben einem Photon Science Department (E11, 2004) wird auch noch eine eigene Abteilung für das neue Großgerät der Photonen-Forschung LCLS eingerichtet (E11, 2006), deren Leiter jeweils stellvertretende SLAC-Direktoren sind (E12: 2004, 2006).

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Für die zweite Forschungsfrage (unterschiedliche Wandlungsgeschwindigkeit) ist erstens erklärungsbedürftig, warum es in der dritten Periode am DESY länger dauert, bis die Photonen-Forschung formal als Labor etabliert ist. Auch ist zu klären, warum am DESY drei unabhängige Photonen-Forschungslabore entstehen, während im Fall von SLAC mit dem SSRL nur ein unabhängiges Labor eingerichtet wird. Für die vierte Periode ist zweitens zu klären, warum die Photonen-Forschung am DESY später als am SSRL eine stabile Grundfinan-

zierung erhält und drittens, warum die strukturelle Aufwertung in Form neuer Organisationseinheiten und Leitungsstellen am SSRL/SLAC schneller geschieht als am DESY.

5.3 Hypothesenprüfung zur Schwerpunktverlagerung und Wandlungsgeschwindigkeit

Im Folgenden werden die in Abschnitt 2 eingeführten Arbeitshypothesen systematisch geprüft mit dem Ziel, durch die erklärenden Variablen (Tab. 1) die zwei in der Einleitung aufgeworfenen Forschungsfragen und die in Abschnitt 4 erläuterten Teilfragen zu beantworten. Die Beantwortung der Forschungsfragen erfolgt dabei chronologisch, um die Entwicklungsgeschichte erfassen zu können, die Ergebnisse der Hypothesenprüfung sind tabellarisch in Tab. 3 zusammengefasst.

Tab. 3: Hypothesenprüfung: Ausprägungen der unabhängigen Variablen, DESY und SLAC, für jede Periode

| Hypothesenprüfung: unabhängige Variablen | Method of Agreement | | Method of Difference | |
|--|---------------------|--------------|----------------------|--------------|
| | Periode 2 | Periode 5 | Periode 3 | Periode 4 |
| Aktive institutionelle Unternehmer für Photonen-Forschung. | DESY SLAC | DESY SLAC | SLAC | DESY SLAC |
| Interessenbündelung der Photonen-Forschung in einer formal unabhängigen Organisation. | | | SLAC | |
| Mobilisierung von Drittmitteln für die Photonen-Forschung. | DESY SLAC | | DESY SLAC | DESY SLAC |
| Bereitstellung von Grundfinanzierung für die Photonen-Forschung. | | DESY SLAC | | SLAC |
| Aktive Beteiligung der Professoren von der benachbarten Universität an Photonen-Forschung. | SLAC | SLAC | SLAC | SLAC |
| Institutionelle Partnerschaft zwischen Forschungszentrum und benachbarter Universität in Photonen-Forschung. | | DESY SLAC | | SLAC |

Anmerkung: die grau hinterlegten Felder markieren die für die Erklärung maßgeblichen unabhängigen Variablen in den jeweiligen Perioden. Die Nennung von DESY und SLAC in den jeweiligen Zellen bedeutet, dass die hypothetisch postulierten Variablenausprägungen vorhanden sind. Werden DESY und SLAC nicht genannt, dann bedeutet das, dass die Variablenausprägung nicht vorhanden ist.

5.3.1 Zweite Periode: Zügige Etablierung der Photonen-Forschung

DESY

Der bereits erwähnte technische Startvorteil des DESY wird von seinem Forschungsdirektor, Prof. Peter Stähelin, schnell erkannt. Stähelin, der 1960 von der University of Illinois in Urbana-Champaign auf die zweite Professur an das im Zuge der DESY-Gründung neugeschaffene II. Institut für Experimentalphysik der Universität Hamburg berufen worden war, stellt 1962 als Fakultätsmitglied einen DFG-Antrag auf Einrichtung eines Strahlbeobachtungsbunkers zur Erforschung der Synchrotronstrahlung. Stähelin hatte vor seiner Berufung nach Hamburg wie der DESY-Gründer Willibald Jentschke am „Cyclotron Laboratory“ der University of Illinois gearbeitet und brachte Know-How für die damals in Deutschland nur wenig entwickelte Disziplin der Hochenergiephysik mit. Ihm ist das Potenzial des Synchrotrons gerade im ultravioletten Lichtspektrum bewusst und er kann die DFG-Gutachter von diesem in Deutschland einzigartigen wissenschaftlichen Potenzial überzeugen. Stähelin ist daher als wissenschaftlicher Pionier zu bezeichnen, der den Aufbau von Photonen-Forschung am DESY initiierte.

Stähelins Engagement ist gerade deswegen bemerkenswert, weil er selbst nicht in der Photonen-Forschung aktiv ist. Sein persönliches Interesse gilt der Hochenergiephysik, jedoch will er die Chance einer wissenschaftlichen Nutzung des Synchrotrons für spektroskopische Forschung nicht verstreichen lassen. Da er die Photonen-Forschung nicht aus dem regulären DESY-Budget finanzieren kann, weil die DESY-Satzung nur Hochenergiephysik als Organisationsziel vorsieht, wirbt er bei der DFG zwischen 1963 und 1971 insgesamt 0,859 Mio. DM ein. Zwar entspricht diese Summe nur etwa 0,6 Prozent der laufenden Betriebsausgaben des DESY zwischen 1963 und 1971. Dennoch handelt es sich für die Photonen-Forschung um einen substanziellen Betrag, der den zügigen Aufbau der Photonen-Forschung (Gruppe F41, vgl. Abb. 2) ermöglicht. Stähelin ist somit nicht nur ein wissenschaftlicher Pionier, sondern durch die Einwerbung von DFG-Geldern und in seiner Funktion als Direktoriumsmitglied des DESY auch ein institutioneller Unternehmer. Die erste Hypothese (institutionelles Unternehmertum) wird daher für DESY bestätigt. Zugleich ist auch die dritte Hypothese (Mobilisierung von Drittmitteln) bestätigt, weil erst der Ressourcenaufwuchs durch das DFG-Projekt den Aufbau von Photonen-Forschung möglich macht.

Stähelins Engagement ist besonders vor dem Hintergrund des fehlenden Interesses seitens der Hamburger Professorenschaft an der neuen Spektroskopie hervorzuheben. Beispielsweise arbeitete Heinz Raether, der den Lehrstuhl für angewandte Physik innehatte, an der Struktur und am Wachstum von Kristallen, Elektronenplasma und der elektrischen Funkenentladung in

Gasen. Raether hätte daher „die denkbar günstigsten Voraussetzungen gehabt, in das Gebiet der Synchrotronstrahlung einzusteigen“ (Kunz 2012, S. 10). Auch von Professoren anderer Fachgebiete, beispielsweise der Chemie, gibt es kein Interesse an der neuen Spektroskopie. Stähelin ist somit ein wissenschaftlicher Pionier, dem jedoch eine Unterstützung durch die Hamburger Professoren versagt bleibt. Die fünfte Hypothese (aktive Beteiligung von Professoren der benachbarten Universität) wird für DESY daher nicht bestätigt.

SLAC

Eine Stähelin vergleichbare Persönlichkeit ist Prof. William Spicer, der Festkörperphysik an der Stanford University lehrt. Als er von der Planung des Speicherrings SPEAR Ende der 1960er Jahre erfährt, teilt er zusammen mit seinem Kollegen aus der angewandten Physik, Prof. Sebastian Doniach, sogleich dem SLAC-Direktor Prof. Wolfgang Panofsky und dem für den Speicherring SPEAR zuständigen Kollegen, Prof. Burton Richter, sein Interesse an der wissenschaftlichen Nutzung des geplanten Speicherrings mit. Spicer und Doniach organisieren anschließend finanzielle und organisationale Unterstützung bei der Stanford University und können daher mit dem Pilotprojekt SSRP bereits vor der Bewilligung durch die NSF beginnen. Das NSF-Pilotprojekt wird zunächst für fünf Monate finanziert und ab Mitte 1973 erfolgt dann die erste auf zehn Monate angelegte reguläre Projektfinanzierung. Diese wird bis Oktober 1976 mehrfach verlängert und läuft im Rahmen einer letzten Bewilligungsrunde bis Ende Oktober 1977. Anschließend wird das SSRL als Forschungslabor von der NSF finanziert. Spicer und Doniach sind daher, wie auch Stähelin, als institutionelle Unternehmer zu bezeichnen. Die erste Hypothese (institutionelles Unternehmertum) ist für SLAC damit bestätigt. Wie im Fall des DESY ist zugleich auch die dritte Hypothese (Mobilisierung von Drittmitteln) bestätigt, denn erst das NSF-Projekt ermöglicht den Aufbau von Photonen-Forschung.

Im Gegensatz zur Situation in Hamburg können Spicer und Doniach jedoch neben den NSF-Drittmitteln auch noch eine Anschubfinanzierung durch die „School of Engineering“ der Stanford University einwerben und zugleich mobilisieren sie die Unterstützung mehrerer Stanford-Professoren aus den Fächern Chemie, Elektrotechnik, angewandte Physik und Materialwissenschaften. Sie bilden zusammen eine Koalition zur Durchsetzung ihrer wissenschaftlichen Interessen am SPEAR. Es ist diese Gruppe von Professoren, einschließlich ihrer Postdoktoranden und Doktoranden, die 1974 die ersten Experimente am SPEAR durchführt und mit der SLAC-Leitung die Bedingungen der parasitären Mitnutzung aushandelt. Im Fall SLAC wird daher zusätzlich zur ersten und dritten Hypothese auch noch die fünfte

Hypothese (aktive Beteiligung von Professoren der benachbarten Universität) bestätigt.

Zusammenfassung zur zweiten Periode

Zusammenfassend kann die Frage, warum sowohl DESY als auch SLAC in der zweiten Periode so zügig in die Photonen-Forschung eingestiegen sind, mit den beiden Variablen aktives institutionelles Unternehmertum (H1) und Mobilisierung von Drittmittelfinanzierung (H3) beantwortet werden. Diese Variablen sind in beiden Fällen gleich ausgeprägt und erklären damit im Sinne der „method of agreement“ (Mills 1974) die zügige Etablierung der Photonen-Forschung. Dass im Fall von SLAC eine breite Beteiligung der Professoren (H5) vorliegt, im Fall des DESY aber nicht, deutet darauf hin, dass diese beiden Variablen keine notwendigen Bedingungen für die zügige Etablierung der Photonen-Forschung in der frühen Phase des institutionellen Wandels sind (Tab. 3).

5.3.2 Dritte Periode: Formale Etablierung der Photonen-Forschung als Labor

Nun zur Beantwortung der Frage, warum es in der dritten Periode am DESY länger dauert, bis die Photonen-Forschung formal als Labor etabliert ist und warum am DESY drei unabhängige Photonen-Forschungslabore entstehen, während im Fall von SLAC mit dem SSRL nur ein unabhängiges Labor eingerichtet wird.

DESY

Stähelin kann für die Forschergruppe F41 seit Beginn des DFG-Projekts (1964) bis Anfang der 1970er Jahre keinen Photonen-Forscher im Rang eines Professors in Hamburg gewinnen, der seine Initiative aufgreift und weiterträgt. Mit seinem Rückzug aus der Leitung des DESY (1971) und dem Auslaufen des DFG-Projekts im gleichen Jahr endet sein aktives Engagement für den weiteren Ausbau der Photonen-Forschung. Nach Stähelins Ausscheiden übernimmt Ruprecht Haensel die Leitung der Gruppe. Als erster Doktorand der Gruppe F41 war er vor Ort ausgebildet worden. Nach Haensels Berufung an die Universität Kiel (1974) folgen zwei weitere ehemalige Doktoranden der Gruppe F41, Bernd Sonntag und Christoph Kunz als Forschungsgruppenleiter. Nach ihrer Berufung auf Professuren am II. Institut für Experimentalphysik der Universität Hamburg Ende der 1970er Jahre werden sie mit Leitungsaufgaben am neu gegründeten HASYLAB (1978) betraut. Gemäß der ersten Hypothese (institutionelles Unternehmertum)

tum) fehlt in diesem Zeitraum ein institutioneller Unternehmer, der den Stab von Stähelin direkt hätte übernehmen können.

Weiterhin ist die Gruppe F41 seit ihrer Gründung kein eigenständiges Labor, sondern eine der Hochenergiephysik zugeordnete und damit abhängige Forschergruppe. Ihr geringer organisationaler Status und das Fehlen einer vom DESY unabhängigen Gruppenleitung erschwert verbindliche Absprachen zwischen den Photonen-Forschern und koalitionswilligen externen Akteuren, wie sie im Vergleich dazu am SSRL problemlos möglich sind. Ein Beispiel hierfür ist die Tatsache, dass der F41-Gruppenleiter Anfang der 1970er Jahre nicht an der Vertragsverhandlung mit EMBL beteiligt ist. Diese findet ausschließlich zwischen der EMBL-Leitung und der DESY-Leitung statt. Im Zuge der HASYLAB-Gründung wird zwar Mitte der 1970er Jahre intensiv darüber diskutiert, ob HASYLAB ein von DESY unabhängiges Photonen-Forschungslabor werden soll, diese Überlegung wird aber wieder verworfen. Zudem entwickelt sich auch in der dritten Periode keine Koalition von kooperationsbereiten Hamburger Professoren, die sich an der Photonen-Forschung beteiligen wollten. Es fehlen damit sowohl im Sinne der fünften Hypothese (aktive Beteiligung von Professoren der benachbarten Universität) eine aktive Beteiligung der Professoren der benachbarten Universität Hamburg als auch im Sinne der zweiten Hypothese (Interessenbündelung der Photonen-Forschung in einem unabhängigen Labor) eine formal unabhängige Interessenbündelung der Photonen-Forscher.

SLAC

Im Gegensatz zu F41 ist SSRP keine abhängige Einheit innerhalb des SLAC, sondern ein eigenständiges Projekt unter dem Dach des „Hansen Experimental Physics Laboratory“ (HEPL), eines unabhängigen Forschungsinstituts an der Stanford University. Eigenständig ist das HEPL dahingehend, dass es sein Forschungsprogramm selbst strukturieren kann und von Beginn an über ein mit externen Wissenschaftlern besetztes Gremium verfügt, das die Leitung des SSRP in allen strategischen Fragen berät. Zugleich behandelt es die NSF ausdrücklich als ihr Anliegen, eine für die Photonen-Forschung adäquate Organisationsform zu finden. Sie gibt daher eine Studie in Auftrag, die zu dem Schluss kommt, dass die Eingliederung von SSRP ins SLAC nicht empfehlenswert sei. Vielmehr solle SSRP in ein unabhängiges Stanford-Forschungslabor umgewandelt werden. Diese Empfehlung wird von der Stanford University und der NSF fünf Jahre nach Etablierung des SSRP dann auch umgesetzt (1977): SSRP wird nach Auslaufen der NSF-Projektförderung zu einem unabhängigen Stanford-Forschungslabor mit eigener NSF-Finanzierung aufgewertet.

In Verbindung mit der seit der zweiten Periode existierenden Koalition von Stanford-Professoren aus den Bereichen Chemie, Elektrotechnik, ange-

wandte Physik und Materialwissenschaften, die sich aktiv am SSRP und am SSRL beteiligen, und William Spicer sowie weiteren institutionellen Unternehmern wie Sebastian Doniach, Arthur Bienenstock und Herman Winick, existieren daher gemäß der ersten, zweiten und fünften Hypothesen (institutionelles Unternehmertum, Interessenbündelung der Photonen-Forschung in einem unabhängigen Labor sowie aktive Beteiligung von Professoren der benachbarten Universität) günstige Bedingungen für die zügige formale Etablierung der Photonen-Forschung in der dritten Periode am SLAC.

Zusammenfassung zur dritten Periode

Zusammenfassend kann für die dritte Periode festgestellt werden, dass es an der Universität Hamburg keine Professoren gibt, die sich für die Photonen-Forschung engagieren und auch keine institutionellen Unternehmer im Rang eines Professors, die den Stab von Stähelin direkt hätten übernehmen können. Zudem befindet sich die Photonen-Forschung im Zustand der formalen Abhängigkeit zum DESY, was die Bündelung der Interessen externer Wissenschaftler und Forschungseinrichtungen zur langfristigen Beteiligung an einem multidisziplinären Photonen-Forschungslabor am DESY erschwert. Daher können die beiden Fragen, warum es am DESY länger dauert, bis die Photonen-Forschung als Labor etabliert ist und warum drei externe Photonen-Forschungslabore errichtet werden, mit folgenden drei Variablenausprägungen erklärt werden: fehlende Beteiligung von Professoren aus der benachbarten Universität Hamburg (H5), fehlendes institutionelles Unternehmertum (H1) und formale Abhängigkeit der Photonen-Forschung vom Hochenergiephysik-Großforschungszentrum (H2).

Demgegenüber finden sich im Fall von SLAC folgende Variablenausprägungen: Die bereits seit der zweiten Periode vorhandene aktive Kooperation aus dem universitären Umfeld (H5) in Verbindung mit mehreren aktiven institutionellen Unternehmern aus der Photonen-Forschung (H1) mündet in der dritten Periode in die Etablierung eines formal unabhängigen Photonen-Forschungslabors an der Stanford University (H2). Diese drei Variablenausprägungen führen zu einem zügigen Aufbau von Photonen-Forschungskapazität am SLAC, auch wenn das Organisationsziel des SLAC, Hochenergiephysik-Forschung durchzuführen, davon unberührt bleibt. Erwähnenswert ist auch, dass sowohl bei DESY als auch bei SLAC nach wie vor Drittmittel in die Photonen-Forschung fließen, durch die externe Forschergruppen Experimente im parasitären Modus an DORIS und SPEAR durchführen können. Die Drittmittel-Variable (H3) erklärt aber nicht den Unterschied in der Geschwindigkeit des Wandels beider Großforschungszentren (Tab. 3).

5.3.3 Vierte Periode: Strukturelle Verankerung der Photonen-Forschung

Nun zur Beantwortung der Frage, warum die Photonen-Forschung am DESY später als am SSRL eine stabile Grundfinanzierung erhält und warum die strukturelle Aufwertung der Photonen-Forschung am SSRL/SLAC schneller geschieht als am DESY.

Verzögerte Grundfinanzierung beim DESY

Bei der Beantwortung der ersten Frage ist zu berücksichtigen, dass das SSRL seit 1982 durch das DoE finanziert wird und damit die NSF als Förderer der Photonen-Forschung am SLAC ablöst. Damit hat das DoE zwei Verträge mit der Stanford University: einen Vertrag hinsichtlich der Trägerschaft des SLAC (seit 1962) und einen weiteren Vertrag hinsichtlich der Finanzierung des SSRL (seit 1982). Dass beide Verträge rechtlich und organisatorisch gesehen zwei getrennte Angelegenheiten sind, lässt sich daran ablesen, dass das SLAC aus dem Hochenergiephysik-Budget des DoE finanziert wird, während das SSRL seine Förderung ausschließlich aus dem Budget der „Basic Energy Sciences“ (BES) erhält. Dieses Arrangement verhindert Streitigkeiten zwischen SLAC und SSRL hinsichtlich der zugewiesenen Finanzmittel. Auch nach der Integration des SSRL in das SLAC im Jahr 1992 wird das SSRL durchgängig aus dem BES-Budget finanziert, der SLAC-Betrieb dagegen aus dem Hochenergiephysik-Budget des DoE. Das SSRL verfügt nach Auslaufen der NSF-Förderung seit 1982 somit über eine Grundfinanzierung, die nicht in Konkurrenz zur Grundfinanzierung des Hochenergiephysik-Programms am SLAC steht.

Eine solche Konkurrenz zwischen Budgetlinien für Hochenergiephysik und Photonen-Forschung gibt es jedoch in der vierten Periode am DESY. Vor der Gründung des HASYLAB findet eine langwierige Diskussion zwischen dem BMFT und dem DESY-Direktorium über die Finanzierung des neuen Photonen-Forschungslabors HASYLAB statt. Das erhebliche finanzielle Engagement des BMFT beim Bau von BESSY in West-Berlin, dem ersten dedizierten Speicherring für Photonen-Forschung in der Bundesrepublik Deutschland (Inbetriebnahme 1981), schränkt dessen Handlungsspielräume bei der Finanzierung von HASYLAB deutlich ein. Daher werden die dem HASYLAB Anfang der 1980er Jahre in Aussicht gestellten mehr als 50 Stellen in viel geringerem Umfang und zunächst nur zeitlich befristet zugewiesen. Um den Betrieb am HASYLAB überhaupt aufrecht erhalten zu können, stellt das DESY-Direktorium (bei gleichzeitigem Protest gegenüber dem BMFT) aus dem Hochenergiephysik-Budget über mehrere Jahre verteilt etwa 30 Stellen für wissenschaftliche und nicht-wissenschaftliche Angestellte sowie weitere Sachmittel dem HASYLAB zur Verfügung. Erst Ende der 1980er

Jahre und damit mehr als zehn Jahre nach der Gründung des HASYLAB wird vom BMFT die bereits 1978 in Aussicht gestellte Grundfinanzierung für den Photonen-Forschungsbereich auch tatsächlich bereitgestellt (H4).

Die lange finanzielle Durststrecke in der Anfangszeit von HASYLAB kann durch Drittmittel des BMFT im Rahmen seines nationalen Photonen-Forschungsprogramms nur teilweise überbrückt werden. Mithilfe dieses Programms werden Drittmittel zur Verfügung gestellt, die es externen Universitätsgruppen ermöglichen, wissenschaftliches Personal an das HASYLAB abzuordnen, um dort Experimentalstationen aufzubauen und Forschungsprojekte durchzuführen. Zwischen 1980 und 1989 werden für Photonen-Forschung externer Gruppen am HASYLAB etwa 64 Mio. DM zur Verfügung gestellt. Nachdem das HASYLAB seit 1989 eine ausreichende Grundfinanzierung erhält, wächst das Photonen-Forschungsprogramm im Zeitraum 1990 bis 1999 auf 88 Mio. DM an.

Schnellere strukturelle Aufwertung am SSRL/SLAC

Bei der Beantwortung der Frage, warum die strukturelle Aufwertung der Photonen-Forschung am SSRL/SLAC schneller vonstattengeht als am DESY, ist zum einen die enge institutionelle Verzahnung der Stanford University und des SLAC als staatliches Großforschungszentrum seit den 1960er Jahren zu berücksichtigen, die auf die Photonen-Forschung übertragen wird. Hierzu muss man wissen, dass Stanford seit 1962 Trägereinrichtung des SLAC ist. In ihrer Organisationsstruktur fungiert SLAC als „School“ und ist formal der „School of Business“, der „School of Law“, der „School of Medicine“, der „School of Earth Sciences“, der „School of Humanities and Sciences“, der „School of Engineering“ und der „School of Education“ gleichgestellt. Der SLAC-Direktor nimmt als Dean an jeder Sitzung des „University Cabinet“, zusammen mit dem Stanford-Präsidenten, dem Provost für Lehre, dem Provost für Forschung sowie allen anderen Deans, teil. Diese enge institutionelle Kooperation wird von der Hochenergiephysik-Forschung auch auf die Photonen-Forschung übertragen, insbesondere durch Doppelberufungen (joint appointments) von Professoren, die sowohl an einem Stanford-Department als auch am SSRL tätig sind (H6).

Auch beim DESY ist bei der Gründung eine institutionelle Verzahnung mit der Universität Hamburg vorhanden, denn zeitgleich zur DESY-Gründung wird im Fachbereich Physik der Hamburger Universität das „II. Institut für Experimentalphysik“ errichtet. Innerhalb der Universität Hamburg fungiert DESY somit als Institut. Dieses Arrangement ähnelt der Situation am SLAC in Stanford, allerdings mit dem Unterschied, dass die Universität Hamburg keine Trägereinrichtung des DESY ist. Bedeutsamer als die Frage der Trägerschaft ist jedoch, dass die institutionelle Verzahnung zwischen der Universität Hamburg und dem DESY im Hochenergiephysik-Bereich in

den Folgejahren nicht auf die Photonen-Forschung übertragen wird. Außerhalb des „II. Instituts für Experimentalphysik“ gibt es an der Universität Hamburg keine Professoren, die in der Photonen-Forschung aktiv eingebunden sind. Auch bei der Etablierung der Photonen-Forschungslabore von EMBL, FhG und MPG werden an der Universität Hamburg keine Brückenprofessuren in der Chemie, Biologie und den Materialwissenschaften geschaffen oder vorhandene Professuren umgewidmet. Damit fehlt seit den 1970er Jahren die Basis für eine institutionelle Partnerschaft zwischen der Hamburger Universität und der Photonen-Forschung am DESY (H6).

Hinsichtlich der Frage, warum die strukturelle Aufwertung der Photonen-Forschung am SSRL/SLAC schneller vonstattengeht als am DESY, ist zum anderen zu berücksichtigen, dass das SSRL durch seine formale Unabhängigkeit während der Vorbereitung der Fusion mit dem SLAC eine günstige Verhandlungsposition innehat. Die vom DoE bereits seit Mitte der 1980er Jahre gewünschte Fusion zwischen SSRL und SLAC kommt – neben Vorbehalten zahlreicher Hochenergiephysiker des SLAC – viele Jahre auch deswegen nicht zustande, weil das SSRL nur ungern seine wissenschaftliche und administrative Unabhängigkeit aufgeben will. Erst als dem SSRL erhebliche Mitspracherechte innerhalb des fusionierten SLAC eingeräumt werden, stimmt der Leiter des SSRL, Arthur Bienenstock, der Fusion zu (1992).

Im Kontrast hierzu wird am DESY die langjährige Abhängigkeit der HASYLAB-Forscher auch nach der Satzungsänderung (1991) fortgeschrieben, auch wenn zu diesem Zeitpunkt das BMFT eine auskömmliche Finanzierung der Photonen-Forschung bereitstellt. Die Entscheidung, die Photonen-Forschung über eine Leitungsposition im DESY-Direktorium abzubilden, wird erst im Kontext eines prestigeträchtigen Rufes an Jochen Schneider, den Leiter des HASYLAB, auf die Direktorenstelle des European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) in Grenoble getroffen. Der Ruf an Schneider führt dazu, dass die Einrichtung einer stellvertretenden Direktorenstelle unter Beteiligung des BMBF vorangetrieben wird, um ihn am HASYLAB zu halten, was auch gelingt. Allerdings wird in diesem Zusammenhang das HASYLAB strukturell nicht zu einer dem Hochenergiephysik-Bereich vergleichbaren Forschungsabteilung des DESY aufgewertet. Diese Aufwertung erfolgt erst fünf Jahre später, und zwar im Nachgang einer für das DESY wegweisenden Finanzierungsentscheidung des BMBF, die vormalige Hochenergiephysik-Maschine PETRA für den Photonen-Forschungsbereich umbauen zu lassen und die Hälfte der Kosten des europäischen Röntgenlaser XFEL zu übernehmen.

Zusammenfassung zur vierten Periode

Zusammenfassend kann für die vierte Periode festgestellt werden, dass die strukturelle Verankerung der Photonen-Forschung am DESY aus drei Grün-

den länger dauert als im Fall von SLAC. Erstens verfügt das HASYLAB in den Anfangsjahren über keine stabile Grundfinanzierung durch das BMFT (H4). Der HASYLAB-Betrieb ist daher von der Bereitschaft der DESY-Leitung abhängig, Ressourcen aus der Hochenergiephysik in den Photonen-Forschungsbereich umzuschichten. Die bestehende formale Abhängigkeit wird auf diese Weise in budgetärer Hinsicht weiter vertieft. Die fehlende Grundfinanzierung kann auch nicht durch Drittmittel aufgefangen werden. Demgegenüber verfügt das SSRL von Beginn an über eine stabile Grundfinanzierung durch das DoE (H4), die nicht in Konkurrenz zur Hochenergiephysik steht.

Zweitens wird die für die Hochenergiephysik etablierte institutionelle Kooperation zwischen der Universität Hamburg und dem DESY nicht auf die Photonen-Forschung übertragen. Dies hängt neben dem anfänglich geringen Interesse seitens der Hamburger Professorenschaft auch damit zusammen, dass in den für die Photonen-Forschung relevanten Disziplinen keine Professuren an der Universität Hamburg existieren und dort auch keine zusätzlichen Professuren geschaffen werden. Damit fehlt die personelle Basis für eine institutionelle Partnerschaft zwischen der Hamburger Universität und der Photonen-Forschung am DESY (H6). Im Gegensatz hierzu wird das Kooperationsmodell zwischen Stanford und SLAC aus der Hochenergiephysik auf das SSRL übertragen und durch die Doppelberufung zahlreicher Professuren an Stanford-Departments und das SSRL abgesichert. Dadurch entsteht eine enge Verzahnung zwischen Stanford und der Photonen-Forschung am SLAC (H6), die mit der Fusion zwischen SLAC und SSRL institutionell konsolidiert wird

Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang auch, dass es in der vierten Periode durchaus Ähnlichkeiten zwischen DESY und SLAC gibt: So gibt es am DESY mit Gerhard Materlik und Jochen Schneider und am SLAC mit Arthur Bienenstock sehr aktive institutionelle Unternehmer in der Photonen-Forschung (H1), und es fließen nach wie vor erhebliche Drittmittel in die Photonen-Forschung beider Großforschungszentren (H3). Im institutionellen Gesamtgefüge spielen diese beiden Variablenausprägungen aber nur eine untergeordnete Rolle, denn sie können nicht die Unterschiede in der Geschwindigkeit der strukturellen Aufwertung der Photonen-Forschung in den beiden Großforschungszentren erklären (Tab. 3).

5.3.4 Fünfte Periode: Schwerpunktverlagerung zur Photonen-Forschung

Schließlich ist für die fünfte Periode zu klären, warum die beiden Großforschungszentren eine hohe Ähnlichkeit bei der Schwerpunktverlagerung zur

Photonen-Forschung aufweisen: Nach der Übergabe des ersten Hochenergiephysik-Großgeräts an die Photonen-Forschung wird in beiden Großforschungszentren in einem Zeitraum von etwa 15 Jahren das letzte Hochenergiephysik-Großgerät stillgelegt, der Nutzerbetrieb für das erste dedizierte Großgerät der Photonen-Forschung aufgenommen, und zugleich überspringt in diesem Zeitraum das Budget der Photonen-Forschung das der Hochenergiephysik.

DESY

Zunächst zum DESY: Dem Direktorium wird seit Mitte der 1990er Jahre vom BMFT signalisiert, dass ein neues Hochenergiephysik-Großgerät nur in Verbindung mit einem gleichzeitigen Ausbau der Photonen-Forschungsinfrastruktur realisiert werden könne. Zu dieser Zeit sind sowohl die mit den Beschleunigeranlagen am DESY befassten Wissenschaftler und Ingenieure als auch die Hochenergiephysiker noch mit dem Großprojekt HERA beschäftigt. In dieser Situation schmiedet das DESY-Direktorium unter Leitung von Björn Wiik mit führenden Wissenschaftlern der Photonen-Forschung, darunter Jochen Schneider und Gerhard Materlik, sowie mit führenden Wissenschaftlern des DESY-Beschleunigerbereichs eine Koalition zur Realisierung des TeV-Energy Superconducting Linear Accelerator (TESLA), der neben einem supraleitenden Linearbeschleuniger auch einen Röntgenlaser für die Photonen-Forschung umfassen soll. Mit der TESLA-Koalition verfolgt das DESY-Direktorium zwei Ziele. Erstens soll ein neuartiger Linearbeschleuniger mit supraleitender Technologie gebaut werden, um die beschleunigerbasierte Hochenergiephysik-Forschung am DESY weiterzuführen. Zweitens soll der neuartige Linearbeschleuniger auch für den Bau eines Freie-Elektronen-Laser (FEL) und damit für die Photonen-Forschung genutzt werden.

Gegen den Bau eines FEL gibt es in der Photonen-Forschergemeinde Widerstände: Dessen Funktionstüchtigkeit wird von einigen prominenten Photonen-Forschern offen angezweifelt. In diesem Zusammenhang erkennen Schneider, Materlik und andere Photonen-Forscher, dass sich der FEL am DESY nur mit Hilfe der Beschleunigerforscher realisieren lässt. Deren Wissen und Erfahrung, insbesondere was die technische und wissenschaftliche Realisierung eines solchen Großprojekts angeht, sind für den weiteren Ausbau der Photonen-Forschung am DESY notwendig. Schneider und Materlik leisten daher ab Mitte der 1990er Jahre Überzeugungsarbeit innerhalb der multidisziplinären Photonen-Forschergemeinde und sie schmieden gleichzeitig eine Koalition mit den Beschleunigerforschern und den Hochenergiephysikern am DESY. Das Ergebnis dieser Bemühungen ist der Aufbau der TESLA Test Facility (TTF) und die Inbetriebnahme des Freie-Elektronen-Laser im violett-ultravioletten Lichtspektrum (VUV-FEL), der einige

Jahre später auch für den externen Nutzerbetrieb geöffnet wird und seinen heute noch üblichen Namen FLASH (Freie-Elektronen-Laser Hamburg) erhält (2006).

Die TESLA-Koalition wirft allerdings vor allem für die Photonen-Forscher Früchte ab, denn das BMBF entscheidet sich schließlich gegen die Finanzierung des supraleitenden Linearbeschleunigers (2003), der für die Fortführung der beschleunigerbasierten Hochenergiephysik-Forschung am DESY geplant worden war und zugleich für den Umbau von PETRA zu einer Röntgenstrahlungsquelle sowie die Übernahme der Hälfte der Kosten für den europäischen Röntgenlaser (XFEL). Im Kontext dieser für das DESY wegweisenden Finanzierungsentscheidung bildet sich eine neue Koalition der Photonen-Forscher des DESY, der MPG und der Universität Hamburg heraus, die in erheblichem Umfang von der Helmholtz-Gemeinschaft (HGF) und der MPG finanziell unterstützt wird und die die Gründung des „Center for Free Electron Laser Science“ (CFEL) als Kooperation zwischen DESY, der Universität Hamburg und der MPG vorbereitet (2007).

SLAC

Auch am SLAC entwickelt sich in den 1990er Jahren eine Koalition zwischen den Beschleunigerforschern und den Photonen-Forschern. Die von Claudio Pellegrini und Herman Winick organisierten Workshops „Future Light Sources“ wecken das Interesse zahlreicher Hochenergiephysiker, die für die Entwicklung der Beschleunigeranlagen des SLAC (PEP, SLC, LINAC, SPEAR) zuständig sind. Sie sind es auch, die auf die am SSRL tätigen Photonen-Forscher zugehen und ihnen die technische Realisierung eines FEL im harten Röntgenbereich vorschlagen. Das anfänglich geringe Interesse der meisten SSRL-Forscher an einem neuen Großgerät lässt sich damit erklären, dass diese mit der im selben Jahr (1992) erfolgten Umwidmung von SPEAR in ein dediziertes Großgerät der Photonen-Forscher sehr zufrieden sind und zunächst keine weiteren Expansionspläne haben.

Die Koalition zwischen Beschleunigerforschern und Photonen-Forschern am SLAC hätte beinahe auch zum Aufbau eines LCLS-Prototypen geführt. Da allerdings der VUV-FEL in Hamburg erfolgreich arbeitet und damit kein Bedarf für einen großangelegten Test für ein solche Anlage mehr besteht, ist das DoE auch nicht bereit, Gelder für einen solchen LCLS-Prototypen und dann später für den Bau des eigentlichen Großgeräts nochmals erhebliche Mittel aufzubringen. Der auch am SLAC geplante Aufbau einer Test Facility wird auf Vorschlag des DoE zugunsten eines regulären Investitionsprojekts, des Großgeräts LCLS, nicht weiterverfolgt. Dessen Bau beginnt in 2004 und die Inbetriebnahme erfolgt 2009.

Der Ausstieg der beschleunigerzentrierten Hochenergiephysik am SLAC in den 2000er Jahren ist jedoch nicht allein mit dem Aufbau des LCLS ver-

bunden. Vielmehr wird mithilfe privater Spenden bereits mehrere Jahre vor Abschaltung von PEP-II (2008), das Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology (KIPAC) gegründet (2003). Das KIPAC wird aus privaten Spenden finanziert, die Stanford zwischen 2001 bis 2003 zufließen und fortan als stabile Grundfinanzierung dienen. Damit eröffnet das SLAC seinen Hochenergiephysikern die Möglichkeit, in das thematisch verwandte Gebiet der Astroteilchenphysik zu wechseln. In diesem Zusammenhang richtet die Stanford University mehrere Professuren ein und unterstützt auf diese Weise die Schwerpunktverlagerung am SLAC. Nach Abschluss dieser Übergangsphase wird der Schwerpunkt der bisherigen Hochenergiephysik-Forschungsabteilung am SLAC auf Astroteilchenphysik verlegt (2005).

Erwähnenswert ist auch, dass das SLAC in der fünften Periode zwei Krisen durchläuft. Die erste Krise wird im Oktober 2004 ausgelöst, als ein technischer Mitarbeiter eines für das SLAC tätigen Subunternehmens bei einem Stromunfall lebensgefährlich verletzt wird. Die nachfolgende Untersuchung deckt auf, dass es am SLAC seit vielen Jahren regelmäßig erhebliche Verstöße gegen die vom DoE vorgeschriebenen Sicherheitsrichtlinien gab. Dadurch entsteht eine mehrjährige Vertrauenskrise sowohl zwischen dem DoE und SLAC als auch zwischen dem DoE und der Stanford University als Trägereinrichtung des SLAC. Die zweite Krise folgt im Dezember 2007, als das DoE infolge kurzfristiger Budgetkürzungen des amerikanischen Bundeshaushalts den Beschluss fasst, PEP-II sechs Monate früher als geplant stillzulegen. Dies wiederum führt zur Entlassung von mehr als 100 (von ca. 1 600) Mitarbeitern in der Hochenergiephysik und zu einer Identitätskrise der Hochenergiephysiker am SLAC. Beide Krisen führen zu einer Beschleunigung der Schwerpunktverlagerung, weil sie Anlass für organisationale Umstrukturierungen und die Neubesetzung zahlreicher Führungspositionen sind, aus der die Photonen-Forschung gestärkt hervorgeht, wie man an der Organisationsstruktur des SLAC erkennen kann (Abb. 5).

Zusammenfassung zur fünften Periode

Zusammenfassend kann für die fünfte Periode festgestellt werden, dass die gemeinsame Schwerpunktverlagerung zur Photonen-Forschung am DESY und am SLAC durch drei Variablenausprägungen erklärt werden kann. Erstens ist der Aufbau des ersten dedizierten Großgeräts der Photonen-Forschung FLASH am DESY Ergebnis einer Koalition zwischen den Photonen-Forschern, Hochenergiephysikern und den bislang für die Hochenergiephysik tätigen Beschleunigerforschern. Eine solche Koalition ist auch am SLAC dafür verantwortlich, dass mit dem LCLS ein weltweit führender Röntgenlaser im Bereich der harten Röntgenstrahlung in Betrieb genommen wird. Damit ist für beide Fälle ein Beleg für den Einfluss von institutionellem Unternehmertum erbracht (H1).

Zweitens ist der Ausstieg aus der beschleunigerzentrierten Hochenergiephysik sowohl am DESY als auch am SLAC mit wegweisenden Finanzierungsentscheidungen verbunden, durch die die Photonen-Forschung auf ein langfristig stabiles Fundament gestellt wird. Am DESY ist dafür die Entscheidung des BMBF maßgeblich, den Linearbeschleuniger mit Supraleitung nicht zu finanzieren und stattdessen den Ausbau der Infrastruktur für die Photonen-Forschung zu fördern. Am SLAC ist hierbei die Entscheidung des DoE, den LCLS am SLAC aufzubauen, entscheidend gewesen. Am SLAC wird zudem mithilfe privater Spenden bereits mehrere Jahre vor Abschaltung von PEP-II, des letzten großen Hochenergiephysik-Beschleunigers (2008), das KIPAC gegründet (2003). Damit eröffnet das SLAC seinen Hochenergiephysikern die Möglichkeit, in das thematisch verwandte Gebiet der Astroteilchenphysik zu wechseln. Damit ist für beide Fälle ein Beleg für den Einfluss einer stabilen Grundfinanzierung für die Photonen-Forschung erbracht (H4).

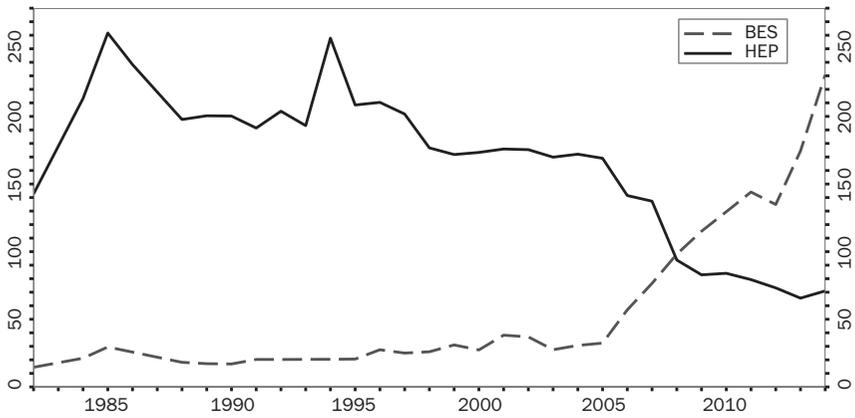
Drittens entwickelt sich in der fünften Periode zum ersten Mal in Gestalt des CFEL eine institutionelle Partnerschaft zwischen dem DESY und der Universität Hamburg in der Photonen-Forschung, in die auch die MPG eingebunden ist. Zwischen SLAC und Stanford besteht eine solche institutionelle Partnerschaft bereits seit der vierten Periode und insbesondere seit der Fusion von SSRL mit dem SLAC (1992). Damit liegt für beide Fälle ein Beleg für den Einfluss der institutionellen Partnerschaft vor (H6).

Insgesamt wird die Schwerpunktverschiebung in beiden Großforschungszentren anhand der Budgetdaten eindrucksvoll vor Augen geführt. Am SLAC erfolgt seit Mitte der 1990er Jahre der Ausstieg aus der experimentellen Hochenergiephysik-Forschung. Dieser Ausstieg aus der Hochenergiephysik-Forschung und der gleichzeitige Einstieg in die Photonen-Forschung gewinnt Mitte der 2000er Jahre an Dynamik. Das Budget der Photonen-Forschung überspringt in 2008 zum ersten Mal in der Geschichte des SLAC das der Hochenergiephysik und wächst im Laufe der nächsten Jahre so stark, dass es in 2014 mehr als das Dreifache des Hochenergiephysik-Budgets ausmacht (Abb. 6). Auch am DESY wächst das Budget der Photonen-Forschung kontinuierlich an und überspringt nach Abschaltung von HERA (2007) das der Hochenergiephysik (2008) (Abb. 7).

6. Zusammenfassung und Diskussion

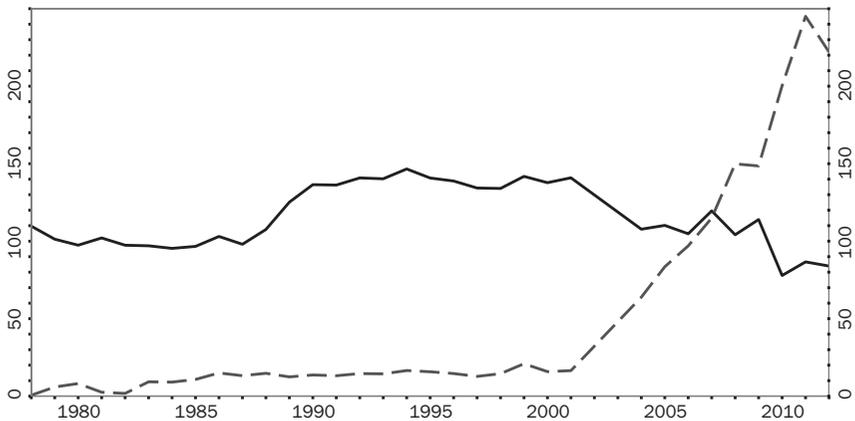
Aus der vergleichenden Analyse von DESY und SLAC können mehrere Ergebnisse zusammengefasst werden. Das erste Ergebnis besteht darin, dass DESY und SLAC einen bemerkenswert ähnlichen Transformationsprozess durchlaufen haben, in dessen Zuge eine Schwerpunktverlagerung von der

Abb. 6: Budgets der Hochenergiephysik und des Photonen-Forschung am SLAC, 1982–2014



Quelle: Department of Energy (1978–2016): Congressional Budget Requests; in Mio. US-\$, inflationsbereinigt, Basis 2005.

Abb. 7: Budgets der Hochenergiephysik und der Photonen-Forschung am DESY, 1978–2013



Quellen: DESY Wirtschaftspläne (1980–2015); EMBL; MPG; in Mio. Euro, inflationsbereinigt, Basis 2005.

Hochenergiephysik zur Photonen-Forschung stattgefunden hat. Auf der Basis von fünf Perioden und 16 signifikanten Ereignissen stellt sich die Geschichte beider Großforschungszentren weitgehend parallel dar.

Das zweite Ergebnis besteht darin, dass sich diese gemeinsame Schwerpunktverlagerung am DESY und am SLAC (erste Forschungsfrage) durch drei Variablenausprägungen erklären lassen:

1. Aktive institutionelle Unternehmer mobilisieren Unterstützung für das neue Forschungsfeld (zweite und fünfte Periode).
2. Ressourcen spielen eine wichtige Rolle: Zunächst sind es vor allem Drittmittel, die von den jeweils wichtigsten nationalen Forschungsförderern, im Fall des DESY von der DFG und im Fall des SLAC von der NSF, zur Verfügung gestellt werden (zweite Periode). Später spielt eine stabile Grundfinanzierung beim Ausbau der Photonen-Forschung eine wichtige Rolle, die von den jeweils zuständigen Bundesministerien (BMBF, DoE) zur Verfügung gestellt wird (fünfte Periode).
3. Die erfolgreiche Schwerpunktverlagerung erscheint nur möglich, wenn es eine Partnerschaft zwischen den beiden Großforschungszentren und der jeweils benachbarten Universität gibt (fünfte Periode).

Trotz der erwähnten Parallelität des Wandels am DESY und am SLAC lautet das dritte Ergebnis, dass das DESY sowohl für die formale Etablierung der Photonen-Forschung als Labor (dritte Periode) als auch für dessen strukturelle Verankerung (vierte Periode) jeweils länger benötigt als das SLAC. Obwohl DESY bereits Mitte der 1960er Jahre in die Photonen-Forschung einsteigt und damit zunächst zum SLAC einen zeitlichen Vorsprung bei der Etablierung des neuen Forschungsfeldes aufweist, dauern die dritte und vierte Periode am DESY jeweils deutlich länger als am SLAC (Tab. 2).

Als viertes Ergebnis lässt sich festhalten, dass zur Erklärung der im Vergleich zu SLAC späteren Etablierung der Photonen-Forschung am DESY (zweite Forschungsfrage, dritte Periode) drei Faktoren maßgeblich sind:

1. Es fehlt ein institutioneller Unternehmer im Rang eines Professors.
2. Es fehlt die aktive Beteiligung der Professoren der Universität Hamburg an der Photonen-Forschung.
3. Die Photonen-Forschung befindet sich im Zustand der formalen Abhängigkeit zum DESY, was die Bündelung der Interessen externer Wissenschaftler und Forschungseinrichtungen zur langfristigen Beteiligung an einem multidisziplinären Photonen-Forschungslabor am DESY erschwert.

Beim SLAC lässt sich die vergleichsweise zügige formale Etablierung der Photonen-Forschung (zweite Forschungsfrage, dritte Periode) mit denselben Variablen erklären, die jedoch umgekehrte Ausprägungen aufweisen:

1. Es gibt mehrere institutionelle Unternehmer im Rang eines Professors.
2. Es beteiligten sich zahlreiche Professoren aus unterschiedlichen Departments der Stanford University am Ausbau der Photonen-Forschung.
3. Die Photonen-Forschung wird im SSRP und später im SSRL gebündelt und ist zugleich formal unabhängig von der Hochenergiephysik am SLAC.

Als fünftes Ergebnis lässt sich festhalten, dass zur Erklärung der im Vergleich zu SLAC späteren strukturellen Verankerung der Photonen-Forschung am DESY (zweite Forschungsfrage, vierte Periode) drei Variablenausprägungen maßgeblich sind:

1. Dem HASYLAB fehlt nach seiner Gründung eine stabile Grundfinanzierung. Es ist daher von der Bereitschaft der DESY-Leitung abhängig, Ressourcen aus der Hochenergiephysik in die Photonen-Forschung umzuschichten.
2. Die für die Hochenergiephysik etablierte institutionelle Verzahnung von Universität Hamburg und DESY wird nicht auf die Photonen-Forschung übertragen.
3. In den für die Photonen-Forschung relevanten Disziplinen existieren keine Professuren an der Universität Hamburg und es werden dort auch keine zusätzlichen Professuren geschaffen.

Beim SLAC lässt sich die vergleichsweise zügige strukturelle Verankerung der Photonen-Forschung (zweite Forschungsfrage, vierte Periode) mit denselben Variablen erklären, die jedoch umgekehrte Ausprägungen aufweisen:

1. Das SSRL verfügt nach Auslaufen der NSF-Förderung über eine stabile Grundfinanzierung des DoE, die nicht in Konkurrenz zur Hochenergiephysik am SLAC steht.
2. Das Kooperationsmodell zwischen Stanford und SLAC aus der Hochenergiephysik wird auf das SSRL übertragen. Dadurch entsteht eine enge Verzahnung zwischen Stanford und der Photonen-Forschung, die mit der Fusion zwischen SLAC und SSRL institutionell konsolidiert wird.
3. In Stanford wird durch die Doppelberufung von Professoren an Stanford-Departments und das SSRL die Photonen-Forschung institutionell abgesichert.

Angesichts dieser Ergebnisse stellt sich die Frage, ob sie sich auf der Makro-Ebene verallgemeinern lassen. Findet in anderen Großforschungszentren auch ein in Perioden gliederbarer Wandlungsprozess statt? Und erklären die genannten Faktoren Wandlungsprozesse in Großforschungszentren ganz allgemein? Auch beim dritten, vierten und fünften Ergebnis ist die Frage gerechtfertigt, ob es sich um verallgemeinerbare Befunde handelt. Sind die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen DESY und SLAC typisch für die beiden nationalen Systeme der staatlichen Großforschung (Makro-Ebene)? Und erklären die identifizierten Faktoren unterschiedliche Geschwindigkeiten bei Wandlungsprozessen in Großforschungszentren ganz allgemein?

Eine unmittelbare Verallgemeinerung der Befunde zu DESY und SLAC (Meso-Ebene) auf die jeweiligen nationalen Systeme der staatlichen Großforschung (Makro-Ebene) ist nicht ohne weiteres möglich. Allerdings wird mit der hier vorgelegten Analyse zum einen gezeigt, wie der Wandel von Großforschungszentren historisch-soziologisch rekonstruiert werden kann. In diesem Sinne eröffnet der vorliegende Aufsatz ein empirisches Analysefeld, das zu weiteren Vergleichen einlädt. Zum anderen erlauben es die aus dem Vergleich zwischen DESY und SLAC gezogenen Befunde durchaus, grundsätzlich einige allgemeine Fragen der Erneuerungsfähigkeit der staatlichen Großforschung zu diskutieren.

Aus theoretischer Perspektive sind die für die unterschiedlichen Geschwindigkeiten des Wandels am DESY und SLAC empirisch identifizierten Faktoren insoweit aussagekräftig, als sie die im Historischen Institutionalismus postulierten Wandlungsprozesse näher spezifizieren können. So lässt sich beispielsweise die zweite Hypothese (Tab. 1) wie folgt präzisieren: *Die Neugründung formal unabhängiger Forschungslabore befördert die zügige Erneuerung der Forschung.* Das heißt, die Gründung neuer Labore allein stellt nicht sicher, dass sich ein neues Forschungsgebiet rasch etablieren kann. Es kommt vielmehr darauf an, dass die neuen Labore auch formal unabhängig von etablierten Disziplinen und Forschungseinrichtungen sind. Diese Formulierung ist präziser und damit im Sinne von Popper (2002) falsifizierbarer als die zweite Hypothese, weil die formale Unabhängigkeit als Variablenausprägung mit einem konkreten Wandlungsprozess verknüpft wird.

Als zweites Beispiel einer theoretischen Präzisierung kann die in der vierten Hypothese (Tab. 1) postulierte Bereitstellung einer Grundfinanzierung für die Photonen-Forschung herangezogen werden. Mithilfe des Vergleichs von DESY und SLAC lässt sich die vierte Hypothese wie folgt präzisieren: *Die Erneuerung der Forschung findet bei der Bereitstellung zusätzlicher Grundfinanzierungsmittel für ein neues Forschungsfeld (Aufsichtung) zügiger statt als wenn hierfür bestehenden Forschungsgebieten Ressourcen*

entzogen werden müssen (Verdrängung). Das bedeutet, dass es für die Geschwindigkeit des Wandels nicht allein darauf ankommt, ob ein neues Forschungsfeld eine Grundfinanzierung erhält oder nicht, sondern ob es sich um tatsächlich zusätzliche Mittel handelt (Aufschichtung) oder ob diese Mittel wie bei einem Nullsummenspiel anderen Forschungsgebieten in einem konfliktbehafteten und damit langwierigen Prozess erst entzogen werden müssen (Verdrängung).

Für die unterschiedlichen Geschwindigkeiten des Wandels am DESY und SLAC lässt sich im Sinne einer empirischen Verallgemeinerung die Struktur des wissenschaftlichen Personals gemäß der fünften Hypothese (Tab. 1) ins Feld führen. Bei Professuren handelt es sich um Leitungsstellen mit einer langfristigen und autonomen Forschungsperspektive. Inhaber von Professuren können im Gegensatz zum abhängig beschäftigten wissenschaftlichen Personal frei entscheiden und planen, in welche Forschungsgebiete sie ihre Energie und Zeit investieren und aus welchen Forschungsgebieten sie wieder aussteigen wollen. Wichtig ist auch ihr hoher sozialer Status, durch den wissenschaftliche Neuerungen aufgewertet werden können.

Wie zahlreiche Studien belegen, sind Professoren in den Universitäten der Vereinigten Staaten die zentrale Personalkategorie, während in Deutschland die wissenschaftlichen Mitarbeiter die mit Abstand größte Gruppe innerhalb des wissenschaftlichen Personals sind (Lundgreen 2009; Kreckel 2008; Janson/Schomburg/Teichler 2007; Enders 1996). Es ist diesbezüglich bedeutsam, dass der Anteil der Professoren in staatlichen deutschen Universitäten von 18 % (1993) des wissenschaftlichen Personals auf 12 % (2013) geschrumpft ist. In den Vereinigten Staaten liegen die Vergleichswerte bei 57 % (1993) und 50 % (2013). Zugleich ist die Anzahl der deutschen Universitätsprofessoren im Zeitraum 1993 bis 2013 nur um 7 % gewachsen, während das Wachstum der abhängig beschäftigten wissenschaftlichen Mitarbeiter 63 % betrug. Die Vergleichswerte in den Vereinigten Staaten betragen 13 % Wachstum bei den Professoren und 49 % bei den wissenschaftlichen Mitarbeitern.²

Angesichts dieser Struktur- und Wachstumsunterschiede werden in den Vereinigten Staaten relativ betrachtet viel häufiger Professuren frei, die mit Nachwuchswissenschaftlern besetzt werden können als an deutschen Uni-

2 Datenquellen: IPEDS (ab 1980), DESTATIS (ab 1992). Zur besseren Vergleichbarkeit wurde in den Vereinigten Staaten die Anzahl der Doktoranden auf der Basis der PhD-Abschlüsse geschätzt und zur Kategorie des scientific non-professorial staff (= wissenschaftliche Mitarbeiter) hinzugerechnet. Weitere Hinweise zu diesen Daten sind beim Autor auf Nachfrage erhältlich.

versitäten. Vor diesem Hintergrund sind die Gelegenheiten für die Etablierung neuer Forschungsgebiete durch die Rekrutierung von Nachwuchswissenschaftlern in den amerikanischen Universitäten strukturell betrachtet bedeutend günstiger als an deutschen Universitäten. Es lässt sich somit verallgemeinern: *Je häufiger Stellen mit einer langfristigen und autonomen Forschungsorientierung (Professuren) wiederbesetzt werden, umso zügiger kann eine Erneuerung der Forschung stattfinden.*

7. Forschungspolitische Schlussfolgerungen

Neben der Möglichkeit der theoretischen und empirischen Verallgemeinerung wirft die Analyse des Wandels der beiden Großforschungszentren die Frage auf, ob es möglich ist, aus diesen historischen Beispielen forschungspolitische Schlussfolgerungen zu ziehen. Da DESY und SLAC die beiden einzigen Fälle von Großforschungszentren in den Vereinigten Staaten und Europa sind, die den vollständigen Wandel von der Hochenergiephysik zur Photonen-Forschung im Sinne der fünf Perioden vollzogen haben, stellt sich zunächst die Frage, auf welche andere Kategorie von Fallbeispielen forschungspolitische Schlussfolgerungen übertragbar sein könnten. Eine mögliche Antwort auf diese Frage ist die Verallgemeinerung auf das Verhältnis von Großforschungszentren zu Universitäten als denjenigen Organisationen, die strukturell besonders dafür geeignet erscheinen, neue Forschungsthemen zügig zu erkennen und aufzugreifen.

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, wurden in der Expansionsphase des globalen Wissenschaftssystems nach dem Zweiten Weltkrieg sowohl in den Vereinigten Staaten als auch in Deutschland zahlreiche Großforschungszentren gegründet. Gegenwärtig befinden wir uns in einer Phase der institutionellen Konsolidierung, in der die Gründung neuer Großforschungszentren ein seltenes Ereignis geworden ist. Dagegen ist der organisationale Wandel bestehender Großforschungszentren hin zu neuen Forschungsfeldern ein Thema, mit dem nationale Forschungsministerien und Forschungsförderer regelmäßig konfrontiert sind und in Zukunft auch immer wieder konfrontiert sein werden. Der organisationale Wandel bestehender Großforschungszentren in Zusammenarbeit mit den räumlich benachbarten Universitäten ist somit als mögliches Anwendungsfeld von Schlussfolgerungen aus dem historisch-soziologischen Vergleich von DESY und SLAC vorgezeichnet.

Der Vergleich von DESY und SLAC hat gezeigt, dass die Bedingungen für den Aufbau von Forschungskapazität in einem neuen Forschungsgebiet am SLAC in manchen Perioden günstiger waren als am DESY, was zu einem schnelleren organisationalen Wandel führte. Es soll an dieser Stelle be-

tont werden, dass der Fall SLAC ausdrücklich nicht zum Maßstab für das DESY stilisiert werden soll. Der vorliegende historisch-soziologische Vergleich bringt keine „Gewinner“ oder „Verlierer“ hervor, sondern schafft eine empirische Basis, die zur Grundlage für eine rationale forschungspolitische Diskussionen werden kann. Verallgemeinernd lassen sich folgende Bedingungen als günstig für den Aufbau neuer Forschungsgebiete und den Wandel bestehender Großforschungszentren formulieren.

Erstens sollten neu entstehende Forschungsgebiete mit formaler Unabhängigkeit ausgestattet werden: Ihr Budget und ihre wissenschaftlich-administrative Leitung sollten weitgehend unabhängig von dem bestehenden Großforschungszentren sein. Die Unabhängigkeit der Organisation erscheint generell als ein günstiger Faktor für einen strategischen Aufbau neuer Forschungskapazitäten. Dagegen kann eine organisationale Unterordnung Konflikten um Organisationsziele und Ressourcen der bestehenden Großforschungszentren Vorschub leisten und die Entwicklung eines noch wenig etablierten Forschungsgebietes bremsen.

Die Forderung nach organisationaler Unabhängigkeit führt zweitens dazu, dass die Kooperation zwischen Universität und Großforschungszentren in den Vordergrund tritt. Großforschungszentren oder allgemeiner außeruniversitäre Forschungsinstitute mit einer einheitlichen und inhaltlich klar umrissenen Forschungsmission sind nicht der ideale Brutkasten für den organisationalen Aufbau von Forschungskapazitäten in einem völlig anderen Forschungsgebiet, insbesondere dann nicht, wenn das neue Forschungsgebiet aufgrund von Ressourcenengpässen mit Mitteln der bestehenden Forschungseinrichtung aufgebaut werden soll. Im Vergleich dazu erscheint die Universität, die Forschungsgruppen aus den verschiedensten Feldern als unabhängige Arbeitseinheiten unter einem Dach versammeln kann, geradezu wie geschaffen, neue Forschungsgebiete aufzugreifen, deren zukünftiges Wachstum noch nicht genau absehbar ist. *Die zweite forschungspolitische Schlussfolgerung lautet daher, dass Universitäten aus Gründen, die in ihrer organisationalen Struktur liegen, der geeignete institutionelle Ort für den Aufbau neuer Forschungsfelder sind und in Kooperationen mit bestehenden Großforschungszentren eingebunden werden sollten.*

Damit Universitäten allerdings zu einem Brutkasten für neue Forschungsfelder werden können, benötigen sie eine hierfür geeignete Personalstruktur. Die Personalstruktur an deutschen Universitäten, und hier insbesondere der geringe Anteil an Professuren innerhalb des wissenschaftlichen Personals, ist ein zentraler Hemmschuh, wenn es um das zügige Aufgreifen neuer Forschungsfelder geht. Ein an anderer Stelle durchgeführter Vergleich der Reaktionsfähigkeit auf Forschungsdurchbrüche belegt, dass staatliche Universitäten in Deutschland im Vergleich zu staatlichen Universitäten in den Vereinigten Staaten langsamer auf neue wissenschaftliche Entwicklungen

reagieren, weil sie eine ausgesprochen ungünstige Personalstruktur aufweisen (Jappe/Heinze 2016).

Die Universität Hamburg erscheint daher zum Zeitpunkt der Entstehung der Photonen-Forschung als ein Beispiel für ein allgemeineres, strukturelles Problem deutscher Universitäten. Zu dem Zeitpunkt, als sich die Gelegenheit zum Aufbau eines bahnbrechenden neuen Forschungsgebietes eröffnete, gab es an der Universität Hamburg keine Professuren in angrenzenden Fachgebieten, die sich des neuen Gebietes hätten annehmen können. Diese Kooperationslücke ist Ergebnis einer strukturellen Minderausstattung mit Professuren, wie sie analog in der genannten Vergleichsstudie in mehreren anderen deutschen Universitäten aufgezeigt werden konnte (Jappe/Heinze 2016). *Die dritte forschungspolitische Schlussfolgerung lautet daher, dass Universitäten einen hohen Anteil an Professuren benötigen, um agile und reaktionsfähige Partner in einem Forschungssystem mit außeruniversitärer Forschung sein zu können.*

Literatur

- Besio, C. (2009): Forschungsprojekte. Zum Organisationswandel in der Wissenschaft. Bielefeld: Transcript.
- Battilana, J./Leca, B./Boxenbaum, E. (2009): How Actors Change Institutions: Towards a Theory of Institutional Entrepreneurship. In: *The Academy of Management Annals* 3, S. 65–107.
- Carson, C. (2002): Nuclear energy development in postwar West Germany: Struggles over cooperation in the Federal Republic's first reactor Station. In: *History and Technology* 18, S. 233–270.
- Chesbrough, H. (2003): *Open Innovation. The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Boston: ed. Harvard Business School Press.
- DiMaggio, P. (1991): Constructing an organizational field as a professional project: US art museums, 1920–1940. In: Powell, W. W./DiMaggio, P. (Hrsg.): *The new institutionalism in organizational analysis*. Chicago: The University of Chicago Press, S. 267–292.
- DiMaggio, P./Stenberg, K. (1985). Why do some Theatres innovate more than others? An empirical Analysis. In: *Poetics* 14, S. 107–122.
- Dowd, T. J./Liddle, K./Lupo, K./Borden, A. (2002): Organizing the Musical Canon: The Repertoires of Major U,S. Symphony Orchestras, 1842 to 1969. In: *Poetics* 30, S. 35–61.
- Ebbinghaus, B. (2005): When Less is More: Selection Problems in Large-N and Small-N Cross-national Comparisons. In: *International Sociology* 20: S. 133–152
- Enders, J. (1996): *Die wissenschaftlichen Mitarbeiter: Ausbildung, Beschäftigung und Karriere der Nachwuchswissenschaftler und Mittelbauangehörigen an den Universitäten*. Frankfurt und New York: Campus Verlag.
- Fioretos, O./Falleti, T. G./Sheingate, A. (2016): Historical Institutionalism in Political Science. In: Fioretos, O./Falleti, T. G./Sheingate, A. (Hrsg.): *The Oxford Handbook of Historical Institutionalism*. Oxford and New York: Oxford University Press, S. 3–28.
- Fleming, L. (2002): Finding the organizational sources of technological breakthroughs: the story of Hewlett-Packard's thermal ink-jet. In: *Industrial and Corporate Change* 11, S. 1059–1084.

- Fleming, L./Mingo, S./Chen, D. (2007): Collaborative Brokerage, Generative Creativity, and Creative Success. In: *Administrative Science Quarterly* 52, S. 443–475.
- Greenberg, D.S. (1999): *The Politics of Pure Science*, 2nd Edition. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Greenwood, R./Suddaby, R. (2006): Institutional entrepreneurship in mature fields: The Big Five accounting firms. In: *Academy of Management Journal* 49, S. 27–48.
- Hage, J. (1999): Organizational innovation and organizational change. In: *Annual Review of Sociology* 25, S. 597–622.
- Hage, J./Mote, J. (2008): Transformational organizations and institutional change: the case of the Institut Pasteur and French science. In: *Socio-Economic Review* 6, 313–336.
- Hallonsten, O. (2015): The Parasites: Synchrotron Radiation at SLAC, 1972–1992. In: *Historical Studies in the Natural Sciences* 45, S. 217–272.
- Hallonsten, O./Heinze, T. (2012): Institutional persistence though gradual organizational adaptation: Analysis of national laboratories in the USA and Germany. In: *Science and Public Policy* 39, S. 450–463.
- Hallonsten, O./Heinze, T. (2015): Formation and Expansion of a New Organizational Field in Experimental Science. In: *Science and Public Policy* 42, S. 841–854.
- Hallonsten, O./Heinze, T. (2016): „Preservation of the Laboratory is not a Mission.“ Gradual Organizational Renewal in National Laboratories in Germany and the United States, In: Heinze, T./Münch, R. (Hrsg.): *Innovation in Science and Organizational Renewal. Sociological and Historical Perspectives*. New York: Palgrave Macmillan.
- Hallonsten, O./Heinze, T. (2017): A twenty-year rebirth: The transition of SLAC, 1992–2012, Manuskript.
- Hart, D.M./Victor, D.G. (1993): Scientific elites and the making United States policy for climate-change research. In: *Social Studies of Science* 23, S. 643–680.
- Heinecke, S. (2016): The Gradual Transformation of the Polish Public Science System. *PLoS ONE* 11(4): e0153260. doi:10.1371/journal.pone.0153260.
- Heinze, T./Hallonsten, O./Heinecke, S. (2015a): From Periphery to Center. Synchrotron Radiation at DESY, Part I: 1962–1977. In: *Historical Studies in the Natural Sciences* 45, S. 447–492.
- Heinze, T./Hallonsten, O./Heinecke, S. (2015b): From Periphery to Center: Synchrotron Radiation at DESY, Part II: 1977–1993. In: *Historical Studies in the Natural Sciences* 45, S. 513–548.
- Heinze, T./Hallonsten, O. (2017): Turning the ship. The transformation of DESY, 1993–2012, Manuskript.
- Heinze, T./Münch, R. (2012): Institutionelle Erneuerung der Forschung. Eine Analyse wissenschaftshistorischer Beispiele zur Transformation von Disziplinen und Forschungsorganisationen. In: Müller, H., Eßer, F. (Hrsg.): *Wissenskulturen. Bedingungen wissenschaftlicher Innovation*. Kassel: KUP, S. 19–41.
- Heinze, T./Shapira, P./Rogers, J./Senker, J. (2009): Organizational and Institutional Influences on Creativity in Scientific Research. In: *Research Policy* 38, S. 610–623.
- Hoddeson, L./Kolb, A.L./Westfall, C. (2008): *Fermilab: Physics, the Frontier & Megascience*, Chicago: ed. University of Chicago Press.
- Hohn, H.-W./Schimank, U. (1990): *Konflikte und Gleichgewichte im Forschungssystem: Akteurkonstellationen und Entwicklungspfade in der staatlich finanzierten außeruniversitären Forschung*. Frankfurt am Main: Campus.
- Holl, J.M. (1997): *Argonne National Laboratory 1946–96*. Illinois: University of Illinois Press.
- Hollingsworth, J.R. (2004): Institutionalizing Excellence in Biomedical Research: The Case of The Rockefeller University. In: Stapleton, D.H. (Hrsg.): *Creating a Tradition of Biomedical*

- Research. Contributions to the History of the Rockefeller University. New York: Rockefeller University Press, S. 17–63.
- Hollingsworth, J.R. (2006): A Path-Dependent Perspective on Institutional and Organizational Factors Shaping Major Scientific Discoveries. In: Hage, J.T./Meeus, M. (Hrsg.): *Innovation, Science, and Institutional Change*. Oxford: Oxford University Press, S. 423–442.
- Janson, K./Schomburg, H./Teichler, U. (2007): *Wege zur Professur. Qualifizierung und Beschäftigung an Hochschulen in Deutschland und den USA*. Münster: Waxmann.
- Jappe, A./Heinze, T. (2016): Institutional Context and Growth of New Research Fields. Comparison between State Universities in Germany and the United States. In: Heinze, T./Münch, R. (Hrsg.): *Innovation in Science and Organizational Renewal. Sociological and Historical Perspectives*. New York: Palgrave Macmillan.
- Jones, B.F./Wuchty, S./Uzzi, B. (2008): Multi-University Research Teams: Shifting Impact, Geography, and Stratification in Science. In: *Science* 322, S. 1259–1262.
- Kohler, R.E. (1991): *Partners in Science: Foundations and Natural Scientists 1900–1945*. Chicago/London: University of Chicago Press.
- Kreckel, R. (2008): *Zwischen Promotion und Professur. Das wissenschaftliche Personal in Deutschland im Vergleich mit Frankreich, Großbritannien, USA, Schweden, den Niederlanden, Österreich und der Schweiz*. Leipzig: Akademische Verlagsanstalt.
- Kremp, P.-A. (2010): Innovation and Selection. Symphony Orchestras and the Construction of the Musical Canon in the United States (1879–1959). In: *Social Forces* 88, S. 1051–1082.
- Kunz, C., (2012): *Synchrotronstrahlung bei DESY: Anfänge*. Privatdruck. Erhältlich auf Anfrage beim DESY Hamburg.
- Leblebici, H.S./Gerald R./Copay, A./King, T. (1991): Institutional change and the transformation of interorganizational history of the U.S. radio broadcasting industry. In: *Administrative Science Quarterly* 36, S. 333–363.
- Lohrmann, E./Söding, P. (2009): *Von schnellen Teilchen und hellem Licht: 50 Jahre Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Lundgreen, P. (2009): *Das Personal an den Hochschulen in der Bundesrepublik Deutschland 1953–2005*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Mahoney, J. (2003): Strategies of Causal Inference in Small-N Analysis. In: *Sociological Methods & Research* 28, S. 387–424.
- Mahoney, J./Thelen, K. (2010): A Theory of Gradual Institutional Change. In: Mahoney, J./Thelen, K. (Hrsg.): *Explaining Institutional Change: Ambiguity, Agency, and Power*. Cambridge: Cambridge University Press, S. 1–37.
- Mill, J.S. (1974): *A System of Logic*. Toronto: University of Toronto Press
- Mintrom, M./Norman, P. (2009): Policy entrepreneurship and policy change. In: *Policy Studies Journal* 37, S. 649–667.
- Mintrom, M./Vergari, S. (1996): Advocacy coalitions, policy entrepreneurs, and policy change. In: *Policy Studies Journal* 24, S. 420–434.
- Nobelprize (2016): nobelprize.org. The Official Website of the Nobel Prize. www.nobelprize.org (Abruf 1.3.2016).
- Popper, K.R. (2002): *The Logic of Scientific Discovery*. 2nd Edition. Oxford: Routledge.
- Powell, W.W./Grodal, S. (2005): Networks of Innovators. In: Fagerberg, J./Mowery, D.C./Nelson, R. (Hrsg.): *The Oxford Handbook of Innovation*. New York: Oxford University Press, 56–85.
- Powell, W.W./White, D.R./Koput, K.W./Owen-Smith, J. (2005): Network Dynamics and Field Evolution: The Growth of Interorganizational Collaboration in the Life Sciences. In: *American Journal of Sociology* 110, S. 1132–1205.

- Riordan, M./Hoddeson, L./Kolb., A.W. (2015): *Tunnel Visions: The Rise and Fall of the Superconducting Super Collider*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Ritter, G. (1992): *Großforschung und Staat in Deutschland. Ein historischer Überblick*. München: Beck.
- Rogers, E.M. (2003): *Diffusion of Innovations*. New York: Free Press.
- Sabatier, P. A. (1988): An advocacy coalition framework of policy change and the role of policy-oriented learning therein. In: *Policy Sciences* 21, S. 129–168.
- Sabatier, P. A. (1998): The advocacy coalition framework: revisions and relevance for Europe. In: *Journal of European Public Policy* 5, S. 98–130.
- Saxenian, A. L. (2000): *The Origins and Dynamics of Production Networks in Silicon Valley*. In: Swedberg, R. (Hrsg.): *Entrepreneurship: The Social Science View*. Oxford: Oxford University Press, S. 308–331.
- Saxenian, A. (1994): *Regional Advantage. Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*. London: Harvard University Press.
- Servos, J. W. (1990): *Physical Chemistry from Ostwald to Pauling. The Making of a Science in America*. Princeton NJ: Princeton University Press.
- Stevens, M. (2003): Fundamental physics and its justifications, 1945–1993. In: *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 34, 151–197.
- Streeck, W./Thelen, K. (2005): Introduction: Institutional Change in Advanced Political Economies. In: Streeck, W./Thelen, K. (Hrsg.): *Beyond Continuity. Institutional Change in Advanced Political Economies*. Oxford/New York: Oxford University Press, S. 1–39.
- Szöllösi-Janze, M./Trischler, H. (Hrsg.) (1990): *Großforschung in Deutschland*. Frankfurt am Main: Campus.
- Thelen, K. (2003): How Institutions Evolve. Insights from Comparative Historical Analysis. In: Mahoney, J./Rueschemeyer, D. (Hrsg.): *Comparative Historical Analysis in the Social Sciences*. New York: Cambridge University Press, S. 208–240.
- Westfall, C. (2008): Surviving the Squeeze: National Laboratories in the 1970s and 1980s. In: *Historical Studies in the Natural Sciences* 38, S. 475–478.
- Westfall, C. (2012): Institutional persistence and the materials transformation of the US national labs. In: *Science and Public Policy* 39, S. 439–449.
- Westwick, P. (2003): *The National Laboratories: Science in an American System 1947–1974*. Cambridge: ed. Harvard University Press.
- Wilson, D. (2008): *Reconfiguring Biological Sciences in the Late Twentieth Century. A Study of the University of Manchester*. Faculty of Life Sciences, University of Manchester Press, Manchester.
- Youtie, J./Rogers, J.D./Heinze, T./Shapira, P./Tang, L. (2013): Career-based influences on scientific recognition in the United States and Europe: Longitudinal evidence from curriculum vitae data. In: *Research Policy* 42, S. 1341–1355.

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---------|---|
| APP | Astroparticle Physics |
| BMBF | Bundesministerium für Bildung und Forschung |
| BMFT | Bundesministerium für Forschung und Technologie |
| CERN | European Center for Nuclear Research |
| CFEL | Center for Free Electron Laser |
| CMR | Center for Materials Research |
| DESY | Deutsches Elektronensynchrotron Hamburg |
| DFG | Deutsche Forschungsgemeinschaft |
| DoE | Department of Energy |
| DORIS | Doppelringspeicher |
| EMBL | European Molecular Biology Laboratory |
| FEL | Free Electron Laser |
| FhG | Fraunhofer-Gesellschaft |
| FLASH | Free Electron Laser in Hamburg |
| HASYLAB | Hamburger Synchrotronstrahlungslabor |
| HEP | Hochenergiephysik |
| HEPL | Hansen Experimental Physics Laboratory |
| HGF | Helmholtz-Gemeinschaft |
| KIPAC | Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology |
| LCLS | Linear Coherent Light Source |
| LHC | Large Hadron Collider |
| MPG | Max-Planck-Gesellschaft |
| NSF | National Science Foundation |
| PEP | Positron Elektron Proton Ringbeschleuniger |
| PETRA | Positron Elektron Tandem Ringanlage |
| SoE | School of Engineering, Stanford University |
| SLAC | Stanford Linear Accelerator Center/SLAC National Laboratory Center |
| SLC | Stanford Linear Collider |
| SPB | Science Policy Board |
| SPEAR | Stanford Positron Electron Accelerating Ring |
| SSRL | Stanford Synchrotron Radiation Laboratory |
| SSRP | Stanford Synchrotron Radiation Project |
| SU | Stanford University |
| TESLA | TeV-Energy Superconducting Linear Accelerator |
| TTF | TESLA Test Facility |
| VUV-FEL | Vacuum Ultraviolet Free Electron Laser |
| XFEL | X-Ray Free Electron Laser |