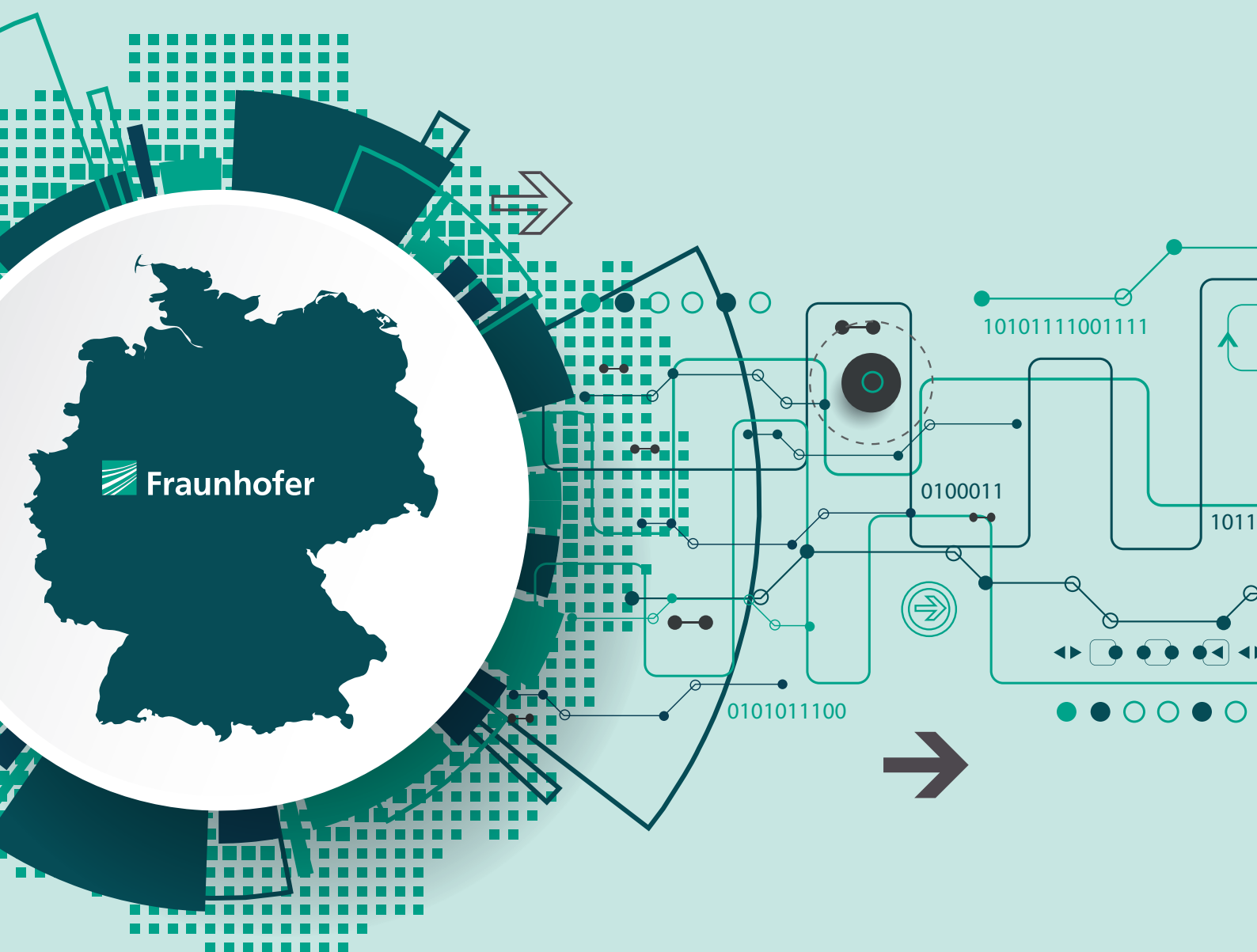


DER BEITRAG DER FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUM DEUTSCHEN INNOVATIONSSYSTEM



Der Beitrag der Fraunhofer-Gesellschaft zum deutschen Innovationssystem

Rainer Frietsch, Juliane Lutz, Peter Neuhäusler, Torben Schubert,
Christian Lerch, Nadine Bethke, Oliver Rothengatter

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe

November 2016

Cover-Bild:

[shutterstock.com/Omelchenko/Fraunhofer](https://www.shutterstock.com/Omelchenko/Fraunhofer) ISI [istock.com/Illustrious/](https://www.istock.com/Illustrious/)
Fraunhofer ISI

Inhalt

Zusammenfassung	1
1 Einleitung	4
1.1 Ziele der Impactmessung	4
1.2 Aufgaben und Beiträge von Fraunhofer	5
1.3 Grenzen der Impactmessung	9
2 Innovationsökonomischer Beitrag der Fraunhofer-Gesellschaft	11
2.1 Abgrenzung des Untersuchungsbereichs	13
2.2 Technologische Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in den identifizierten Technologielinien	15
2.3 Langfristige Technologielinien.....	20
2.3.1 Laser in der Produktion	22
2.3.2 Materialforschung.....	26
2.3.3 Erneuerbare Energien.....	31
2.4 Mittelfristige Technologielinien	35
2.5 Kurzfristige Technologielinien	36
3 Mikroökonomischer Beitrag der Fraunhofer-Gesellschaft	38
3.1 Deskriptive Analysen.....	40
3.2 Multivariate Analysen	47
3.3 Die Effekte der Kooperationen mit Fraunhofer auf den Unternehmenserfolg.....	53
3.4 Verbundforschung und Auftragsforschung.....	56
4 Makroökonomischer Beitrag der Fraunhofer-Gesellschaft	59
4.1 Deskriptive Analysen.....	60
4.2 Einfluss auf die Wirtschaftsleistung.....	61

4.3	Einfluss auf weitere Indikatoren	69
4.4	Anhang.....	74
5	Schlussfolgerungen	75
6	Annex.....	77
6.1	Methodik der Datenerhebung und -erfassung.....	77
6.2	Annex I – Technologiezyklen	78
6.3	Annex 2 – PI-Auswertungen	83
6.4	Literatur	88

Tabellen

Tabelle 1:	Zusammenfassende Statistiken und Datensatzübersicht	42
Tabelle 2:	Fraunhofer Kooperationen nach Betriebsgröße.....	42
Tabelle 3:	Forschung und Innovation in Kooperation mit der Fraunhofer-Gesellschaft.....	44
Tabelle 4:	Stellung in der Wertschöpfungskette und Produktkomplexität.....	45
Tabelle 5:	Kooperation, Forschungsimpulse, Verlagerung ins Ausland	47
Tabelle 6:	Logit-Regressionen - Einfluss der Fraunhofer-Kooperation auf die innovative Performanz der Unternehmen.....	50
Tabelle 7:	Ergebnisse der Matched-Pair Modelle	51
Tabelle 8:	Logit-Regressionen – Einflussfaktoren für eine Kooperation mit Fraunhofer.....	53
Tabelle 9:	OLS-Regressionen – Zusammenhang des Unternehmenserfolgs von KMU und einer Kooperation mit Fraunhofer.....	55
Tabelle 10:	Deskriptive Statistiken für die Fraunhofer Gesellschaft und die Hochschulen (Stand: 2014).....	60
Tabelle 11:	Effekte der Fraunhofer-Institute auf das BIP pro Kopf (Random Effects)	62
Tabelle 12:	Effekte der Fraunhofer-Institute auf das BIP pro Kopf (Fixed Effects)	63
Tabelle 13:	Berechnung der Steuermultiplikatoren (Stand: 2014)	65
Tabelle 14:	Auswirkungen des Wirtschaftsertrages auf Effekte der Fraunhofer-Institute (Random Effects).....	66
Tabelle 15:	Vergleich der BIP-Effekte und der Universitätseffekte auf das BIP pro Kopf (Random Effects)	67
Tabelle 16:	Vergleich der Fraunhofer- und der Universitätseffekte auf die Patentanmeldungen pro Kopf (Random Effects).....	71
Tabelle 17:	Vergleich der Fraunhofer- und der Universitätseffekte auf die Arbeitsproduktivität (Random Effects).....	72
Tabelle 18:	Vergleich der Fraunhofer- und der Universitätseffekte auf die Patentanmeldungen pro Kopf (Random Effects).....	73

Tabelle 19:	Deskriptive Statistiken.....	74
Tabelle A1:	Branchenverteilung der Unternehmen mit und ohne Fraunhofer-Kooperation (nur Verarbeitendes Gewerbe), 2012	83
Tabelle A2:	Logit-Regressionen - Einfluss der Fraunhofer-Kooperation auf die innovative Performanz der Unternehmen I (volle Modelle)	84
Tabelle A3:	Logit-Regressionen - Einfluss der Fraunhofer-Kooperation auf die innovative Performanz der Unternehmen II (volle Modelle)	85
Tabelle A4:	Matched-Pair-Ansatz – Diagnosestatistik	85
Tabelle A5:	OLS-Regressionen – Zusammenhang des Unternehmenserfolgs und einer Kooperation mit Fraunhofer (alle Unternehmen).....	86
Tabelle A6:	OLS-Regressionen – Zusammenhang des Unternehmenserfolgs und einer Kooperation mit Fraunhofer (Großunternehmen).....	87

Abbildungen

Abbildung 1:	Idealtypische Technologiezyklen	11
Abbildung 2:	Anteile deutscher Patente an allen transnationalen* Patentanmeldungen und den wissenschaftlichen Zeitschriftenveröffentlichungen	17
Abbildung 3:	Patent- und Publikationsspezialisierung Deutschlands innerhalb ausgewählter Felder, 2011-2013.....	18
Abbildung 4:	Welthandelsanteile, Exportspezialisierung und Wertschöpfung Deutschlands nach Wirtschaftszweigen (NACE Rev.2), 2012-2014	19
Abbildung 5:	Anteile von Fraunhofer und den deutschen Forschungseinrichtungen an den weltweiten transnationalen Patentanmeldungen	21
Abbildung 6:	Weltweite Entwicklung der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen bei Lasern in der Produktion	23
Abbildung 7:	Anteile von Fraunhofer an allen deutschen Patenten und den Publikationen im Bereich Laser in der Produktion	26

Abbildung 8:	Weltweite Entwicklung der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen in der Materialforschung	28
Abbildung 9:	Anteile von Fraunhofer an allen deutschen Patenten und den Publikationen im Bereich Materialwissenschaften	30
Abbildung 10:	Weltweite Entwicklung der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen in den Erneuerbaren Energien.....	32
Abbildung 11:	Anteile von Fraunhofer an allen deutschen Patenten und Publikationen im Bereich Erneuerbare Energien	34
Abbildung 12:	Anteile von Fraunhofer an den Patentanmeldungen deutscher Anmelder, 2006-2013.....	36
Abbildung 13:	Anteile von Fraunhofer an den wissenschaftlichen Publikationen Deutschlands, 2010-2014.....	37
Abbildung 14:	Erfassungslogik der Datenbasis "Modernisierung der Produktion" des Fraunhofer ISI	38
Abbildung 15:	Verbundprojekte mit Fraunhofer-Beteiligung	56
Abbildung 16:	Durchschnittliche Anzahl der Industrieertragsprojekte nach vorherigen Verbundprojekten (mit dem gleichen Unternehmen, 5-Jahresfenster)	58
Abbildung A1:	Weltweite Entwicklung der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen bei Optischen Technologien.....	78
Abbildung A2:	Weltweite Entwicklung der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen in der Nanotechnologie (inkl. Mikrosystemtechnik).....	79
Abbildung A3:	Weltweite Entwicklung der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen in der Mess-/Prüftechnik.....	80
Abbildung A4:	Weltweite Entwicklung der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen in der Produktionstechnik	81
Abbildung A5:	Weltweite Entwicklung der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen in der Elektrotechnik/Mikroelektronik	82

Zusammenfassung

Ziel der Studie ist es, die nicht immer sichtbaren und vor allem nicht immer messbaren Beiträge von Fraunhofer zum Erfolg des Wirtschafts- und Innovationsstandortes Deutschland auf systematische Weise nachweis- und quantifizierbar zu machen. Um der Vieldimensionalität der Beiträge von Fraunhofer sowie der in den meisten Fällen nur indirekten Messbarkeit Rechnung zu tragen, wird in der Untersuchung eine systemische Perspektive gewählt, die neben einem innovationsökonomischen Zugang auch einen mikro- und einen makroökonomischen Zugang verwendet.

Innovationsökonomische Betrachtungsebene

Die innovationsökonomische Betrachtungsebene weist exemplarisch die Rolle von Fraunhofer bei der Entwicklung von Technologielinien nach, deren Erkenntnisse aus qualitativen Interviews mit Technologieexperten empirisch abgeleitet wurden.

Es lassen sich Technologielinien identifizieren, bei denen Fraunhofer maßgeblich zur starken Position und zur internationalen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie und Deutschlands als Innovationsstandort beigetragen hat, z.B. in den Bereichen Erneuerbare Energien, Laser in der Produktion oder Materialwissenschaften.

Für mittel- und kurzfristig relevante Technologielinien, die sich noch in einer frühen Entwicklungsphase befinden, sind ebenfalls wesentliche Beiträge von Fraunhofer bereits nachweisbar, z.B. für die Nano-Elektronik, Navigationstechnik oder die nächste Generation der Batterietechnologien.

Mikroökonomische Betrachtungsebene

Die mikroökonomische Betrachtungsebene widmet sich den Strukturen und Effekten der Kooperation zwischen Unternehmen und Fraunhofer.

Für innovative Unternehmen, Unternehmen mit komplexem Produktportfolio und insbesondere für kleine und mittelgroße Unternehmen (KMU) sind solche Kooperationen mit Fraunhofer von besonderer Bedeutung.

Während sich bei Großunternehmen kein unmittelbarer Effekt der Kooperation mit Fraunhofer auf Finanzkennzahlen empirisch nachweisen lässt, zeigt sich für kleine und mittelgroße Unternehmen ein signifikant positiver Effekt auf das Betriebseinkommen und das EBIT (Ergebnis vor Steuern).

Partner in Verbundprojekten erteilen Fraunhofer in der Regel innerhalb der folgenden drei Jahre nach Projektabschluss einen direkten Forschungsauftrag.

Fraunhofer-Institute haben messbare wirtschaftliche Auswirkungen auf die jeweilige Metropolregion, in der sie angesiedelt sind. Diese Auswirkungen sind besonders groß, wenn die Wirtschaftsertragsquote hoch ist.

Makroökonomische Betrachtungsebene

Eine makroökonomische Betrachtungsebene untersucht, welchen volkswirtschaftlichen Beitrag Fraunhofer für die regionale Wirtschaft in Deutschland geleistet hat. Auf dieser Grundlage können Schätzungen zu den ökonomischen, fiskalischen und den Beschäftigungseffekten von Fraunhofer durchgeführt werden.

Im Jahr 2014 trug Fraunhofer (auf Basis von rund 1,1 Mrd. € nationalen Projekterträgen) mit rund 20,1 Mrd. € zum bundesdeutschen Bruttoinlandsprodukt bei (Relation etwa 1:18,3). Daraus folgen geschätzte Steuermehreinnahmen für Bund, Länder und Kommunen von ca. 4,1 Mrd. €, bei rund 1,1 Mrd. € öffentlicher Finanzierung.

Von jedem seitens der öffentlichen Hand für die Fraunhofer-Gesellschaft aufgewandten Euro erhielten Bund, Länder und Gemeinden somit drei bis vier Euro zurück. Die monetären Effekte für die gesamte Volkswirtschaft übersteigen die Projekterträge von Fraunhofer gar um mehr als das 18-fache.

Schlussfolgerungen

Fraunhofer leistet deutlich mehr als nur seine Kernaufgaben der anwendungsorientierten Forschung und des Technologietransfers. Weitere Aufgaben von Fraunhofer im deutschen Wissenschafts- und Innovationssystem sind die Unterstützung von KMU, Ausbildung und Lehre, Nutzung internationalen Wissens oder auch die Unterstützung der Industrie beim Erschließen internationaler Märkte.

Fraunhofer baut bereits in einem Frühstadium einer Technologielinie gezielt Kompetenzen und Ressourcen auf, um rechtzeitig gemeinsam mit der Wirtschaft reife Technologien in die Anwendung zu bringen.

Dies setzt Weitsicht bezüglich der Themen und Kontinuität der Forschung auch in schwierigen Zeiten voraus.

Die Rolle von Fraunhofer bei der Zusammenarbeit mit KMU gepaart mit den politischen Zielen einer stärkeren Innovationsorientierung, etwa über 3% FuE-Aufwendungen am BIP, werden die Bedeutung von Fraunhofer für das deutsche Wissenschafts- und Innovationssystem noch weiter erhöhen.

Das Fraunhofer-Modell – jeweils ein Drittel institutionelle Förderung, Industrieerträge und öffentliche Aufträge – hat sich auch für die Aufrechterhaltung der Vorlaufforschung als ideal erwiesen. Die sinkenden Anteile der institutionellen Förderung (Grundfinanzie-

zung) von Fraunhofer durch den Bund und die Länder in den Jahren 2006 bis 2015 machten eine vorausschauende und kontinuierliche Bereitstellung von anwendungsnahem Wissen immer schwieriger. Die Erfolgsfaktoren, nämlich Vorlaufforschung, Vorausschau und Stabilität von Forschungsthemen waren unter diesen Bedingungen deutlich schwerer aufrechtzuerhalten.

Dabei belegen die Ergebnisse, dass sowohl die institutionellen als auch die Projektmittel bei Fraunhofer gut angelegte Investitionen sind, die sich für die öffentliche Hand dreifach und für die Wirtschaft 18fach lohnen bzw. ausbezahlen.

1 Einleitung

1.1 Ziele der Impactmessung

Die Fraunhofer-Gesellschaft ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Forschen für die Praxis ist ihre zentrale Aufgabe. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand. Gleichzeitig nimmt Fraunhofer eine Vermittlerrolle zwischen grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung ein und ist einer der wichtigsten Akteure für den Wissens- und Technologietransfer in Deutschland. In Politik und Wissenschaft genießt Fraunhofer sowohl im In- als auch im Ausland ein hohes Ansehen. Zahlreiche Regierungen und Wissenschaftsorganisationen wollen die Funktionsweise von Fraunhofer nicht nur verstehen, sondern sogar teilweise adaptieren. Sie haben die Bedeutung von anwendungsorientierter Forschung erkannt und die Erfolge der Fraunhofer-Gesellschaft sprechen für sich selbst. Es gibt zahlreiche Untersuchungen und Studien, in erster Linie qualitativer Natur, welche die organisatorischen Mechanismen ebenso wie die Zielerreichung von Fraunhofer zum Gegenstand haben (Arnold 2007; Behlau 2012; BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] 2014; Fraunhofer-Gesellschaft 2011).

Dabei ist der jeweilige Beitrag der Fraunhofer-Gesellschaft nicht immer unmittelbar sichtbar. Insbesondere werden die Fraunhofer-Beiträge in den Endprodukten oftmals nicht explizit ausgewiesen. Fraunhofer ist häufig in frühen Phasen bzw. Entwicklungsstufen von Produkten oder Technologien involviert, die maßgeblich zur Entstehung von Endprodukten beitragen oder zu marktreifen Technologien führen. Würden beispielsweise bei einem Auto all die von Fraunhofer-Instituten mitentwickelten Bauteile mit einer Fraunhofer-Plakette versehen, würden sehr viele solcher Plaketten benötigt – von der Motorsteuerung über die Sprengkapsel des Airbags oder der Tür-Isolierung bis hin zum Radio oder den Sitzen. Nicht in allen Fällen kann Fraunhofer die jeweilige technologische Lösung für sich allein in Anspruch nehmen. In vielen Fällen wurden sie jedoch von Fraunhofer-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auf den Weg gebracht oder so weit vorangetrieben, dass die Industrie die finale Umsetzung erfolgreich allein bewältigen konnte.

Um der Vieldimensionalität der nicht immer sicht- und direkt messbaren Beiträge von Fraunhofer Rechnung zu tragen und diese nachweisbar und quantifizierbar zu machen, wird in dieser Untersuchung eine systemische Perspektive gewählt. Zur Bewertung des Beitrags von Fraunhofer zum deutschen Wissenschafts- und Innovationsystem werden folgende Betrachtungsebenen eingenommen:

- Eine innovationsökonomische Betrachtung weist exemplarisch die Rolle von Fraunhofer bei der Entwicklung von Technologielinien nach, die aus Interviews mit Experten empirisch abgeleitet wurden (Kapitel 2). Gegenstand dieses Kapitels ist außerdem die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie bzw. Deutschlands als Volkswirtschaft im internationalen Vergleich hinsichtlich dieser Technologielinien und der sie betreffenden Branchen und Produktgruppen.
- Eine mikroökonomische Betrachtung widmet sich den Strukturen und Effekten der Kooperation von Unternehmen mit Fraunhofer, also dem unmittelbaren Kundennutzen durch die Forschung von Fraunhofer (Kapitel 3). Untersucht wird insbesondere, welche Charakteristika Unternehmen aufweisen, die besonders häufig mit Fraunhofer kooperieren. Dabei geht es zum Beispiel um die Frage, ob die betrachteten Unternehmen eher Endkunden / Konsumentenmärkte bedienen oder als Zulieferer bzw. Vorleistungsersteller agieren. Daneben wird auch untersucht, welchen unmittelbaren Nutzen der jeweilige Kooperationspartner von Fraunhofer hat und ob Produkt- oder Marktneuheiten entstehen. Ebenso wird erforscht, ob Partner von Fraunhofer auch in ihrer finanziellen Leistungsfähigkeit von den Kooperationen profitieren.
- Eine makroökonomische Betrachtung untersucht den volkswirtschaftlichen Beitrag von Fraunhofer für die gesamte und die regionale Wirtschaft in Deutschland (Kapitel 4). Auf dieser Grundlage lassen sich Schätzungen zu den ökonomischen, fiskalischen und den Beschäftigungseffekten von Fraunhofer durchführen.

1.2 Aufgaben und Beiträge von Fraunhofer

Innerhalb des deutschen Wissenschafts- und Innovationssystems grenzt sich die Fraunhofer-Gesellschaft gegenüber den anderen Forschungsorganisationen durch ihre Anwendungsorientierung ab. Angewandte Forschung verbindet Erkenntnisse der anwendungsorientierten Grundlagenforschung strategisch mit den Bedürfnissen der Wirtschaft nach neuen Verfahren und Produkten.

Bisher fehlen jedoch wissenschaftliche Vorarbeiten zu den langfristigen Beiträgen und Aufgaben von Fraunhofer. Aus diesem Grund wurden zehn qualitative Interviews durchgeführt. Als Interviewpartner wurden Führungskräfte (Institutsleiter, Hauptabteilungs- und Abteilungsleiter) strategisch wichtiger Bereiche eingeladen, die mindestens 15 Jahre bei Fraunhofer beschäftigt sind. Die Interviews wurden im Zeitraum Oktober bis Dezember 2015 durchgeführt.¹

¹ Zu Aufbau und Ablauf der Interviews siehe Kapitel 6, Methodik der Datenerhebung und -erfassung.

Anhand der Interviews ließen sich zahlreiche von Fraunhofer geleistete Aufgaben für das deutsche Wissenschafts- und Innovationssystem identifizieren. Sie umfassen Auftragsforschung, Technologietransfer und die Unterstützung insbesondere auch kleiner und mittelgroßer Unternehmen (KMU). Darüber hinaus gehören auch Ausbildung und Lehre, die Umsetzung politischer Ziele bis hin zur Nutzung internationalen Wissens und der gezielten Unterstützung der deutschen Industrie bei der Erschließung internationaler Märkte zu den zentralen Aufgaben von Fraunhofer.

Auftragsforschung und Technologietransfer

Durch Vorlaufforschung (u.a. angewandte Grundlagenforschung) ist Fraunhofer in der Lage, Themen soweit für die Anwendung vorzubereiten, dass Politik und Wirtschaft diese aufgreifen können. Dies kann beispielsweise durch das Initiieren neuer Verbundvorhaben, Förderprogramme oder Forschungsallianzen geschehen. Dabei versetzen insbesondere Verbundvorhaben KMU in die Lage, sich in einem sehr frühen Stadium der technologischen Entwicklung einzubringen und systematisch voranzugehen. Verbundvorhaben nehmen folglich im Prozess der Technologieentwicklung und im Hinblick auf den frühzeitigen Austausch mit der Wirtschaft eine Schlüsselrolle ein. Ein Beispiel ist die Fraunhofer-Allianz DiaCer®, die als Fraunhofer-interner Verbund zunächst das Ziel verfolgte, echte Diamantschichten im Gegensatz zu diamantartigen Kohlenstoffen in Anwendung zu bringen. Die Forschungsarbeiten des Verbundes wurden später in BMBF-Vorlaufprojekten weitergeführt und dabei spezifische Anwendungen etwa an Gleitringdichtungen entwickelt, die heute z.B. die Freudenberg-Gruppe für ihre Pumpen nutzt.

Im Zuge ihrer Vorreiterrolle sind Fraunhofer-Institute daher gefordert, in ihren Themenfeldern bereits in einem frühen Stadium mit Partnern innerhalb der Organisation sowie mit in- und ausländischen Partnern gezielt neue Kompetenzen und Ressourcen aufzubauen. Es ist zugleich essentiell, an sich im Frühstadium befindlichen und als wichtig identifizierten Forschungsthemen, Technologien und Technologielinien² beharrlich festzuhalten und auf diese Weise Kontinuität sicherzustellen. Dies realisiert Fraunhofer beispielsweise durch Vorlaufforschung. Als Negativbeispiel wurde in den Interviews die Flachdisplayforschung angeführt, aus der europäische Material- und Komponentenhersteller sowie Maschinenbauer früh ausgestiegen sind, als bereits Lösungen vorhanden waren. Als Positivbeispiel gilt dagegen das Thema "Keramik als Werkstoff": Hier folgte auf einen ersten Hype zu Beginn der 90er Jahre eine Ernüchterungsphase von etwa 10

² Unter Technologielinien werden dabei in diesem Bericht solche Technologien subsumiert, die über eine Einzellösung hinausgehend über einen Zeitraum von mehreren Jahren durch verschiedene Fraunhofer-Institute vorangetrieben wurden.

Jahren, die erst ab Mitte der 2000er Jahre in einer Neuorientierung und den sich anschließenden Aufstieg von Funktionskeramiken mündete. Heute enthalten elektronische Anwendungen, optoelektronische und adaptive Systeme Funktionskeramiken in verschiedensten Formen. Aufgrund der Kontinuität in der Forschung ist Fraunhofer heute einer der zentralen Akteure in diesem Markt. Dies verdeutlicht, dass zwischen Entwicklung und Anwendung oftmals ein längerer Zeitraum liegt und nur in einigen Fällen wenige Jahre ausreichen, damit eine Forschungsaktivität in einer unmittelbaren Anschlussverwendung mündet.

Unterstützung insbesondere auch kleiner und mittelgroßer Unternehmen (KMU)

Die Zusammenarbeit mit KMU ist eine weitere Aufgabe und zugleich ein Alleinstellungsmerkmal der Fraunhofer-Gesellschaft. Es sind weniger die großen Neuentwicklungen (die vorwiegend in mittelgroßen und großen Unternehmen realisiert werden) als vielmehr die vielen kleinen Aktivitäten der KMU, über die Fraunhofer wichtige Beiträge leisten kann. Hier nimmt Fraunhofer im Hinblick auf verschiedenste Aspekte der Produkt- und Technologiequalifikation die Rolle einer "technologischen Stabsstelle" ein.

Fraunhofer ist in jenen Bereichen des Technologietransfers besonders stark aufgestellt, in denen Spillover-Effekte ausgenutzt werden können. Im Unterschied ist eine Universität in erster Linie auf die systematische Suche nach neuen Erkenntnissen ausgerichtet. Deren Ziel ist der maximale wissenschaftliche Einfluss in einem Themengebiet. Fraunhofer-Institute bieten hingegen ein diversifiziertes Forschungsportfolio. Sie reagieren damit flexibel auf die Anforderungen aus der Industrie, indem einmal aufgebautes Know-how in unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt und individualisiert wird. Ein in den Interviews angeführtes Beispiel ist hier ein Algorithmus zur Optimierung der Echolot-Aufnahmen eines Explorationsunternehmens, dessen Struktur und spezifische Teile sich jedoch auch für Portfolio-Berechnungen von Banken als interessant erwiesen.

Ausbildung und Lehre

Die bei oder in Kooperation mit Fraunhofer entstehenden Bachelor-, Master- und Doktorarbeiten zeichnen sich durch ein umfassendes industrielles und wirtschaftlich orientiertes Denkmuster aus. Verlassen Mitarbeiterinnen oder Mitarbeiter die Fraunhofer-Gesellschaft, nehmen sie dieses Know-how mit und stellen es dem künftigen Arbeitgeber zur Verfügung. Die Fraunhofer-Gesellschaft schließt somit die Lücke der rein akademischen Ausbildung und bildet unternehmerisch denkende "Wissenschaftler" mit der Fähigkeit zur praktischen Anwendung ihres Wissens aus. Dieser "Transfer durch Köpfe" stärkt die Leistungsfähigkeit der Unternehmen und gilt somit als wichtiger Faktor im

Innovationsprozess. Im Hinblick auf Spin-offs bzw. Ausgründungen schlägt sich der Wechsel darüber hinaus in der Schaffung von Arbeitsplätzen und von neuen Geschäftsmodellen nieder.

Umsetzung politischer und gesellschaftspolitischer Ziele

Fraunhofer unterstützt die Politik beim Agenda Setting und bei der Umsetzung politischer Ziele. Möglich ist dies durch die Nähe von Fraunhofer zur Industrie und durch eine langfristige Forschungsorientierung. Fraunhofer stellt als Bindeglied zwischen Industrie und Politik den Ausgleich kurz- und langfristiger Ziele sicher. Weiterhin hat Fraunhofer einen Strukturauftrag. Mit der Integration von Instituten aus den neuen Bundesländern ab 1991 oder der Fusion mit der GMD-Forschungszentrum Informationstechnik GmbH im Jahr 2000 hat Fraunhofer sowohl zur Komplementierung als auch Konsolidierung der Forschungslandschaft einen Beitrag geleistet. Dies gilt ebenso für die Überführung des Heinrich-Hertz-Instituts für Nachrichtentechnik Berlin GmbH (HHI) aus der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz e. V. (GWL) im Jahr 2002 und die Integration der Institute der Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften (FGAN) im Jahr 2009. Die Institute hatten mit Grundfinanzierungsanteilen im 90%-Bereich bei ihrer Integration in die Fraunhofer-Gesellschaft kaum Wirtschaftserträge vorzuweisen. Aufgrund der an wirtschaftlichen Maßstäben orientierten erfolgreichen Überführung in Fraunhofer-Institute entspricht ihr Grundfinanzierungsanteil heute dem aktuellen Fraunhofer-Standard von 28%.

Nach Meinung der Interviewpartner hat Fraunhofer außerdem dahingehend eine Verantwortung, dass die Gesellschaft bestimmte Produkt- oder Technologieentwicklungen nicht nur akzeptiert, sondern auch mitträgt. Beispielsweise konnten bei Lebensmitteltechnologien und alternativen Energietechnologien politische Impulse durch das frühzeitige Einbeziehen von Bürgerinnen und Bürger im Diskurs umgesetzt werden.

Nutzung internationalen Wissens und die gezielte Unterstützung der deutschen Industrie bei der Erschließung internationaler Märkte

Fraunhofer-Institute unterscheiden sich im Hinblick auf das Ausmaß ihrer regionalen Verankerung. Neben Instituten, die in ein dichtes regionales Netzwerk eingebunden sind, existieren auch solche, die nicht nur deutschland- sondern weltweit engagiert sind. Internationalisierung wird aus diesem Grund auch als Folge wissenschaftlicher Tätigkeit eingeordnet. Die Bedeutung des Wechselspiels zwischen deutschem und europäischem Forschungsraum, für das wiederum nationale Forschungsstrategien einzelner Länder eine wichtige Rolle spielen, wird in Zukunft weiter zunehmen. Der Beitrag der Auslandsaktivitäten der Fraunhofer-Gesellschaft zum deutschen Innovati-

onssystem und zur deutschen Wirtschaft manifestiert sich dabei vor allem in vier Aspekten: Dabei ist zunächst die Fraunhofer-spezifische Exzellenz zu erwähnen, die durch Kooperationen in bestimmten Themenfeldern weiter ausgebaut werden kann. Zweitens wird der Beitrag der Auslandsaktivitäten im Rahmen der Vermarktung von Fraunhofer-Forschungsergebnissen deutlich. Hier ermöglicht und vereinfacht die Fraunhofer-Gesellschaft deutschen Unternehmen und deren Zulieferern den Eintritt in und die weitere Bearbeitung von neuen Märkten, indem sie diese dabei unterstützt, auf der Entwicklungsseite marktgerechte Verfahren und Produkte sicherzustellen. Darüber hinaus spielen neue Märkte vor allem auch im Rahmen der internationalen Standardisierung bzw. Vermarktung über Lizenzen und Lizenzpools eine zentrale Rolle. Drittens trägt die Fraunhofer-Gesellschaft durch ihr Engagement im Ausland wesentlich zum Marketing des Standorts Deutschland bei. Viertens schließlich wird relevantes Wissen von ausländischen wissenschaftlichen Partnern für die Anwendung in Deutschland erschlossen.

1.3 Grenzen der Impactmessung

Die Impactbewertung von Fraunhofer hat nach Ansicht der Interviewpartner klare Grenzen. Beispielsweise haben technologisch erfolgreiche Kunden häufig kein Interesse daran, die Kooperation mit Fraunhofer offenzulegen. Dies einerseits, um Wettbewerbern keine Informationen über mögliche Forschungsziele zur Verfügung zu stellen und andererseits auch, da sich Fraunhofer als Auftragnehmer immer auch in einer Konkurrenzsituation mit den Unternehmensressourcen des Kunden befindet. Daneben ist es selbst bei einer Offenlegung schwierig, den Beitrag von Fraunhofer und den des Kunden auseinander zu dividieren. Dies trifft noch stärker zu, wenn die Kooperation die Prozessebene von Unternehmen betrifft, etwa wenn es um die Optimierung eines etablierten Produktionsprozesses geht. Auf Produktebene dagegen kann zwar beispielsweise eine spezifische LED in der Vielzahl ihrer Applikationen immerhin physisch nachgewiesen und somit auf den Entwickler zurückgeführt werden. Grundsätzlich lassen sich jedoch auch Produktumsätze nur schwer auf einen Fraunhofer-spezifischen Teil der Entwicklung zurückrechnen. Zudem kann ein kleines Bauteil, z.B. in der Sensortechnologie, auf einen sehr hohen Fraunhofer-Beitrag zurückgeführt werden. Dies liegt daran, dass ein Sensor eines Produktes in einigen Fällen dessen Kernbestandteil sein kann; in anderen Fällen macht er dagegen nur den Bruchteil des gesamten Produkts aus.

Zudem stellt sich die Frage, inwiefern eine Innovationsleistung auf Fraunhofer zurückzuführen ist, wenn die ursprüngliche Anfrage für ein Forschungsprojekt erst über ein Kundenunternehmen an Fraunhofer herangetragen wird. Es liegt dann die Behauptung

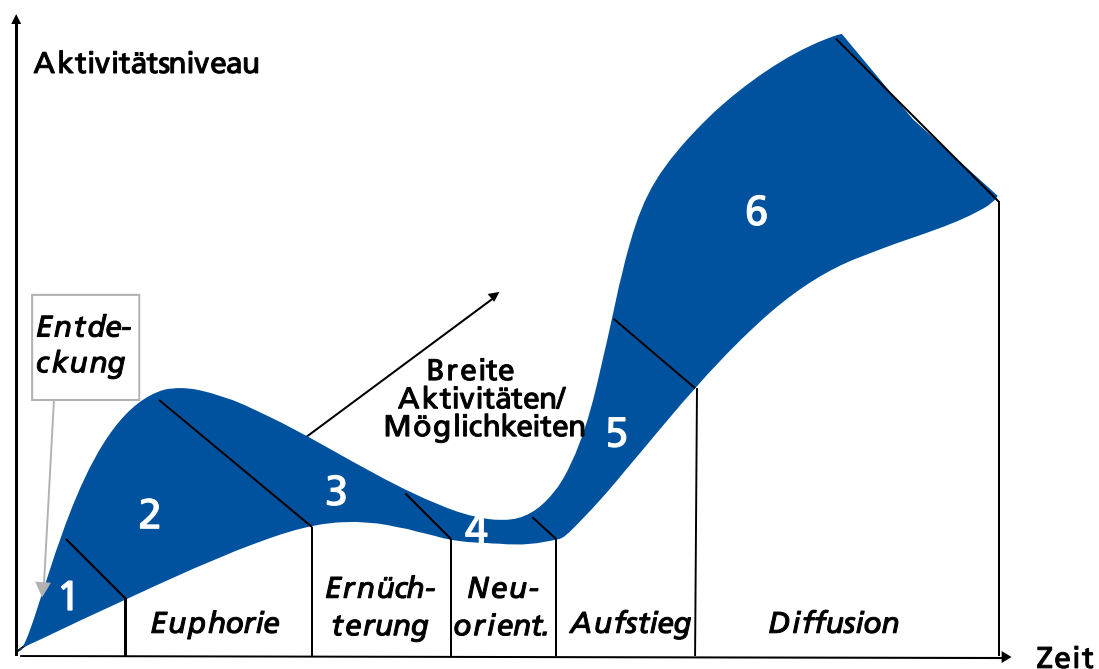
nahe, dass die Inventionsleistung im Unternehmen erbracht wurde. Das Unternehmen bzw. der Fraunhofer-Kunde hat hier erkannt, dass ein Problem existiert und dieses auch als solches definiert. Jedoch wird anschließend, vielfach in engem Austausch zwischen Fraunhofer-Institut und -Kunden, das Problem weiter spezifiziert und dessen Lösung entwickelt, etwa zur Arbeitsorganisation, zur Einführung eines neuen Messverfahrens etc.. Insgesamt verdeutlichen diese Aspekte die Schwierigkeit, quantifizierbare Einschätzungen aus der Industrie zum Beitrag von Fraunhofer bzw. zur "Befähigung durch Fraunhofer" zu erhalten.

Schließlich kann eine Impactbewertung immer nur so gut sein wie die Datenlage, auf der sie basiert. Vor diesem Hintergrund ist festzuhalten, dass viele Schlüsselprojekte auch für die Fraunhofer-Gesellschaft im Nachgang aufgrund ihrer Vertraulichkeit nicht identifizierbar und damit nicht dokumentiert sind. Aus diesen verschiedenen Gründen wird auch in Zukunft eine der größten Herausforderungen der Fraunhofer-Gesellschaft darin bestehen, einen Nachweis über den Grad und Umfang der Mitwirkung an bestimmten Produkten und Prozessen zu erbringen.

2 Innovationsökonomischer Beitrag der Fraunhofer-Gesellschaft

Die Entwicklung von Technologien verläuft nicht linear, sondern folgt häufig einem ähnlichen Muster. Die empirische Bestimmung und Verortung einer Technologie im Hinblick auf ihre Entwicklung – im Sinne einer Technologielinie und weniger einer einzelnen technischen Lösung – von der Idee bis zum Markt ist daher ein schwieriges Unterfangen. Es gibt verschiedene Modelle und Ansätze, die sich mit einer entsprechenden Verortung auseinandersetzen. Ein idealtypisches Modell mit dem Ziel einer allgemeinen Beschreibung und Klassifizierung von Technologiezyklen und ihrer Stadien haben Meyer-Krahmer und Dreher (2004) vorgeschlagen (Abbildung 1).

Abbildung 1: Idealtypische Technologiezyklen



Quelle: Dreher et al. (2005); Meyer-Krahmer und Dreher (2004); Frietsch et al. (2010)

Nach diesen empirisch gestützten, aber überwiegend theoriegeleiteten Überlegungen, lassen sich sechs Phasen bei der Entwicklung von Technologiezyklen identifizieren, die jeweils durch bestimmte Charakteristika geprägt sind. Das Aktivitätsniveau lässt sich hierbei durch absolute Patent- und Publikationszahlen operationalisieren.

In den frühen Phasen nach der Entdeckung einer Technologie werden Patente zu hohen Anteilen von wissenschaftlichen Einrichtungen (Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen) angemeldet. In den Interviews wurde wiederholt darauf

hingewiesen, dass die Fraunhofer-Gesellschaft bereits in dieser frühen Phase eine Rolle spielen sollte. Patente von Unternehmen fallen zu diesem Zeitpunkt in der Regel vergleichsweise kaum ins Gewicht (sind hinsichtlich absoluter Zahlen aber dennoch in der Mehrheit). Nach einer ersten Euphorie folgen die Ernüchterungsphase und die Phase der Neuorientierung, nämlich wenn sich einige der wissenschaftlichen/technologischen Lösungen aus der Frühphase als nicht oder nicht hinreichend tragfähig erweisen, während einige Technologiepfade weiter bestehen und weiterentwickelt werden. Diese Phase ist im Wesentlichen durch einen Übergang zur nächsten Generation von Technologien oder deren maßgeblichen Weiterentwicklung gekennzeichnet. Anschließend kommt es zu einer technologischen Neuorientierung, wo insbesondere die anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung eine zentrale Rolle spielt. Es bieten immer mehr Unternehmen Lösungen auf Basis oder im Umfeld dieser Technologie an. Außerdem bildet sich ein dominantes Design³ (Utterback/Abernathy 1975) oder wenigstens eine Verengung der Technologielinien auf wenige Ansätze heraus. Danach finden ein "Aufstieg" und anschließend eine breite Diffusion der Technologie statt, so dass von einem starken Anstieg der Patentanmeldungen aus der Industrie auszugehen ist. Gleichzeitig ist eine breitere Anwendung bis hin zur Diffusion der Technologien auf entsprechenden Produktmärkten festzustellen. Zusammenfassend lassen sich diese Entwicklungen auch als "Doppel-Boom-Kurve" bezeichnen (Linden/Fenn 2002; Schmoch 2007), die sich aus einem ersten überwiegend erkenntnisorientierten und einem zweiten eher anwendungsorientierten Zyklus ergibt.

Dieses idealtypische Modell wird nachfolgend auf reale Technologieentwicklungen übertragen. Die Auswahl der betrachteten Technologiefelder basiert auf den Auswertungen qualitativer Interviews, die im vorigen Kapitel beschrieben wurden. Hier kommt die Fraunhofer-Gesellschaft ihrem Auftrag der anwendungsnahen Forschung nach, indem sie eigene Forschung und Entwicklung betreibt, eng mit anderen Wissenschaftsorganisationen kooperiert und in Forschungs- oder Entwicklungsprojekten sowohl mit großen Unternehmen als auch mit KMU zusammenarbeitet. Fraunhofer systematisiert dabei Impulse aus der Wissenschaft, der Wirtschaft, der Politik und aus der Fraunhofer-Gesellschaft selbst. Die Fraunhofer-Gesellschaft kann daher als Vorreiter

³ Utterback/Abernathy postulieren, dass die Entstehung eines "dominanten Designs" ein wichtiger Meilenstein der Entwicklung einer Branche ist. Es verändert die Art und Weise, wie Unternehmen in einer Branche konkurrieren und damit auch die Organisationsarten, die erfolgreich sind und sich durchsetzen. Ein dominantes Design kann dabei eine neue Technologie, ein Produkt oder eine Reihe von Schlüsselmerkmalen sein, resultierend aus verschiedenen technologischen Innovationen, die unabhängig voneinander in früheren Produktvarianten eingeführt wurden (Utterback/Abernathy 1975).

und Taktgeber für Forschungs- und Entwicklungslinien auch in Unternehmen angesehen werden.

2.1 Abgrenzung des Untersuchungsbereichs

Als Ausgangspunkt für die Identifikation der Technologielinien, bei denen Fraunhofer über die vergangenen Jahre und Dekaden einen besonderen Beitrag leisten konnte, wurden neben Dokumentenanalysen u.a. von Geschäftsberichten und weiteren Veröffentlichungen der Fraunhofer-Gesellschaft (sowie durch Auswertung der Fraunhofer-internen Datenbank SIGMA) insbesondere Interviews mit ausgewählten Vertretern aus der Zentrale und ausgewählten Institutsleitern verwendet.

Im Ergebnis aller Interviews findet sich eine Vielzahl von Technologien und -linien aus unterschiedlichsten Bereichen. Diese sind nicht überschneidungsfrei. Vielmehr zeigt sich, dass die für Fraunhofer besonders erfolgreichen Technologielinien und Themen einen stark interdisziplinären Charakter aufweisen, sich über mehrere Fraunhofer-Forschungsfelder erstrecken und die Integration verschiedener Disziplinen und Branchen erfordern. So verbindet etwa die Terahertz-Technik Know-how aus der Messtechnik und der Lasertechnik. Ähnlich fließt in die Materialforschung Wissen aus der Informations- und Kommunikationstechnik sowie der Mikroelektronik ein und diese ist für Werkzeuge in der Produktionstechnik ebenso von Bedeutung wie für den Gesundheitsbereich.

Wiederholt genannte Beispiele für reife Technologielinien, in denen die Fraunhofer-Gesellschaft in den letzten Jahrzehnten besonders erfolgreich war und die nahezu alle von der Politik aufgegriffen wurden, sind:

- die Produktionstechnik – insbesondere die Lasertechnik in der Produktion,
- die Materialforschung, die Nanotechnologie sowie die Mess- und Prüftechnik,
- die Photonik,
- die erneuerbaren Energietechnologien – insbesondere die Solartechnik und ihr Teilbereich Photovoltaik – aber auch
- die Kommunikationstechnologien – insbesondere die Audio- und Videocodierung.

In den Gesprächen wurden die Themen weiter differenziert. So wurden zum Beispiel in der Produktionstechnik die Prozessautomatisierung, Robotik, die generative Fertigung (vormals Rapid Prototyping, 3D-Druck), die ressourceneffiziente Produktion, ausgewählte Werkzeugmaschinen gerade im Bereich der CNC-Maschinen und die Materialforschung für Werkzeuge hervorgehoben, insbesondere die Laser in der Produktion. So baute die Fraunhofer-Gesellschaft seit Beginn der 80er Jahre Know-how zur Wech-

selwirkung zwischen Laser und Materie auf. Die Fraunhofer-Institute sind heute diejenigen, die den Zugang der deutschen Industrie zu bestimmten Kernkomponenten überhaupt erst ermöglichen, indem Fraunhofer etwa bestimmte Spezialfasern herstellen kann.

Mit Blick auf Veränderungen in der Materialforschung wurde wiederholt die Fähigkeit der Fraunhofer-Gesellschaft hervorgehoben, Werkstoffe mit neuen Eigenschaften zu erzeugen, etwa einen optisch transparenten Werkstoff mechanisch einzusetzen und ihm mehrere Funktionen abzuverlangen. Im Hinblick auf den Leichtbau wurden die Faserverbundwerkstoffe und Metallschäume betont. In jüngerer Zeit spielt die Fraunhofer-Gesellschaft zudem beim Thema Nanotechnologie eine wichtige Rolle im Technologietransfer und in der Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse. Diese manifestiert sich insbesondere in der Herstellung spezieller Nanopartikel als Füll- und Effektstoffe, etwa in der Biomedizin, oder im Hinblick auf multifunktionelle Schichten, beispielsweise für die Optik. In diesem Kontext wurde zudem wiederholt auf die besondere Rolle der Fraunhofer-Gesellschaft im Bereich der Mess- und Prüftechnik eingegangen. Hier hat Fraunhofer seit Beginn des neuen Jahrtausends vor allem auch durch das zerstörungsfreie Prüfen mit Terahertz-Wellen Bekanntheit erlangt.

Die Photonik ist ein weiteres Thema, in dem Fraunhofer nicht nur Forschungspartner und Problemlöser, sondern auch Vordenker sein konnte. Von den Interviewpartnern wurden hier etwa Kurzlaser, weiße LED und extrem-ultraviolettes Licht (EUV) hervorgehoben. Es wurde ebenfalls deutlich, dass ohne die Fraunhofer-Institute die Fertigung von optischen High-End-Komponenten in Deutschland an verschiedenen Stellen nicht mehr möglich wäre, weil nur Fraunhofer in der Lage ist, die entsprechenden Messsysteme bereitzustellen.

Im Bereich der erneuerbaren Energietechnologien wurden insbesondere die Solartechnik und ihr Teilbereich Photovoltaik von den Interviewpartnern betont. Die Fraunhofer-Gesellschaft bedient hier alle Arten der Photovoltaik(-zelle), d.h. alle Arten der verschiedenen Halbleitermaterialien. Weitere Nennungen umfassten die Themen "Energiespeicher", "Wechselrichter" oder das "energieautarke Haus" (später Passivhaus).

Aktuell vielbeachtete Themen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik sind etwa das Internet of Things, IT-Sicherheit, Datensouveränität, Big Data, Embedded Systems oder Cloud Computing. Hierzu gehört auch weiterhin die Audio- und Bildverarbeitung, die von allen Interviewpartnern als Beispiel für eine reife Technologielinie in diesem Forschungsfeld genannt wurde, in der Fraunhofer überdurchschnittlich erfolgreich war. Aus den Interviews ging zudem hervor, dass auch Big Data und

Cloud Computing nicht etwa neue Themen für die Fraunhofer-Gesellschaft sind, sondern bereits zu Beginn des neuen Jahrtausends unter den Bezeichnungen Grid Computing oder skalierbare Architekturen ihren Anfang fanden.

In den Interviews wurden außerdem Beispiele aus den Lebenswissenschaften ("Life Sciences"), dem jüngsten Gebiet der Fraunhofer-Forschung, aufgeführt. Im Rahmen der Interviews wurde deutlich, dass Fraunhofer sich hier in den letzten 15 Jahren insbesondere mit der pflanzenbasierten Wirkstoffforschung (z.B. Tabakpflanzen) einen Namen gemacht hat. In Anbetracht des breiten Forschungsfeldes, den langen Zeiträumen zwischen Leistungserbringung und Erfolg sowie der vergleichsweise kurzen zeitlichen Forschungsaktivität von Fraunhofer auf diesem Gebiet, sind die Patentaktivitäten tatsächlich als sehr positiv zu bewerten. So belaufen sich die nationalen Patentanmeldungen im Zeitraum 1983-2013 in diesem Feld auf einen Patentanteil deutscher Anmelder von durchschnittlich 8% pro Jahr. Fraunhofer-Patentanmeldungen wiederum betragen – bezogen auf alle Anmeldungen aus Deutschland – im Durchschnitt nur 1%.

Nachdem diese Werte für eine Analyse und Modellierung absolut dennoch zu klein sind, wird in diesem Bericht auf die Wirkstoffforschung nicht weiter eingegangen.

Nach Ansicht der Interviewpartner konnte Fraunhofer in den genannten Technologien nicht nur zum Zeitpunkt der Anwendungsphase und der umsetzungsorientierten Technologieentwicklung beitragen, sondern hat die Themen bereits zu einem früheren Zeitpunkt aufgegriffen und dadurch bisweilen sogar entscheidend vorangetrieben.

2.2 Technologische Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands in den identifizierten Technologielinien

Der Beitrag der Fraunhofer-Gesellschaft zur Leistungsfähigkeit des deutschen Innovationssystems lässt sich unter anderem am Beitrag von Fraunhofer zur Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands messen. Um die Ergebnisse der Fraunhofer-Gesellschaft in diesen Kontext einordnen zu können, wird in den folgenden Abbildungen zunächst die technologische Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands näher beleuchtet. Denn gerade für die Fraunhofer-Gesellschaft sind Forschung, Entwicklung und Innovation kein Selbstzweck, sondern müssen sich an nachgelagerten wirtschaftlichen Erfolgen messen lassen.

Der Beitrag von Fraunhofer schlägt sich u.a. in wissenschaftlichen Publikationen⁴ und Patenten⁵ nieder, die im Fokus dieses Kapitels stehen. Die Generierung, Diffusion und Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse ist von entscheidender Bedeutung für weitere technologische Aktivitäten und Schlüsselemente der wissenschaftlichen Leistungsfähigkeit nationaler Innovationssysteme (Moed et al. 2004; van Raan 1988). Patente bzw. deren Anmeldung oder Erteilung dienen hingegen als zentraler Indikator zur Beurteilung der technologischen Leistungsfähigkeit von Unternehmen, Technologiefeldern und Innovationssystemen im Allgemeinen. Als Outputindikator für Forschungs- und Entwicklungsleistungen dienen sie der Messung des Innovationspotenzials und der Wettbewerbsfähigkeit (Freeman 1982; Grupp 1998).

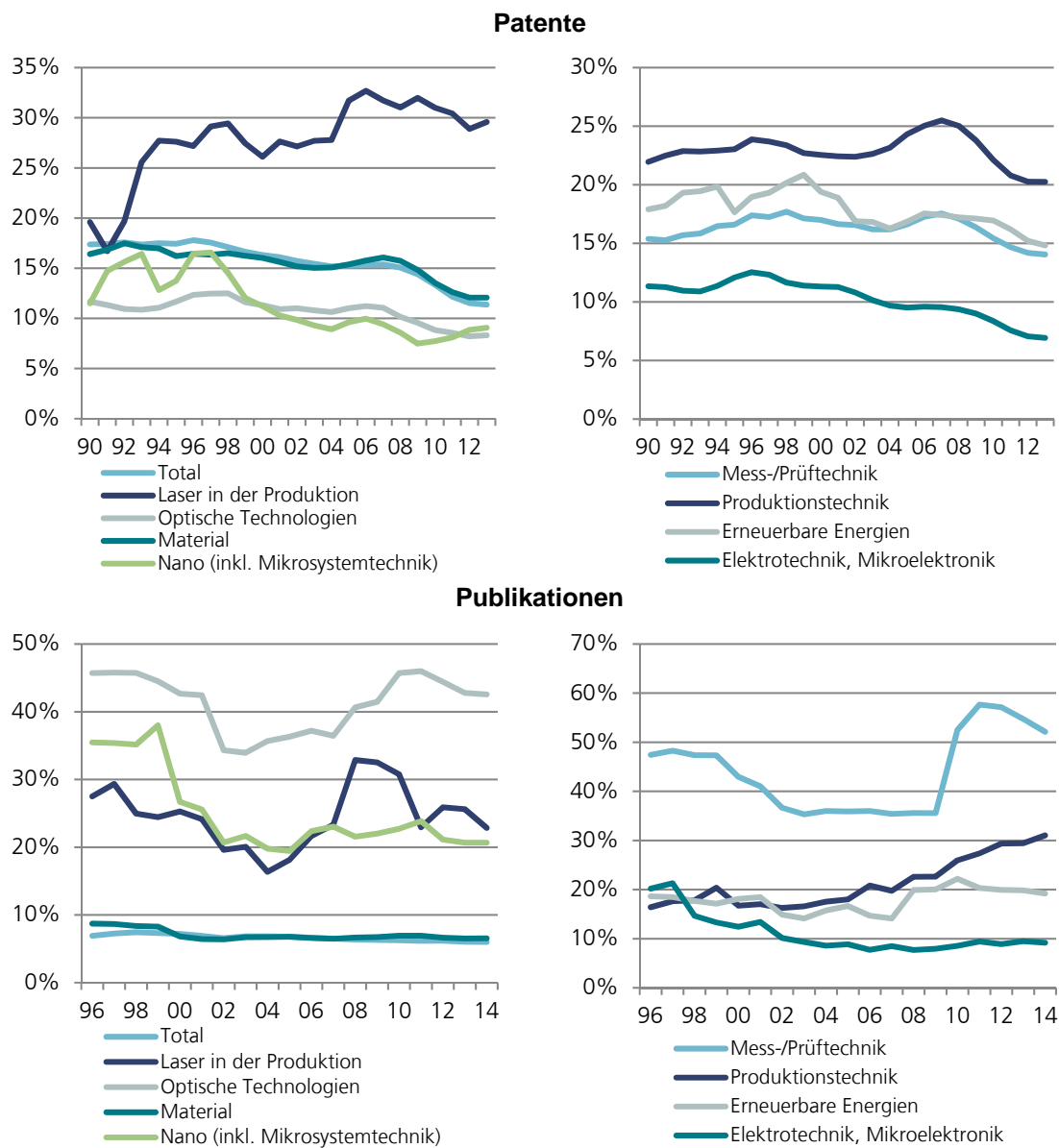
Abbildung 2 bildet die Anteile deutscher Patente an allen transnationalen Patentanmeldungen weltweit (insgesamt sowie in den identifizierten Technologielinien) ab. Die Differenzierung der Technologien orientiert sich an den in den Interviews identifizierten Stärken der Fraunhofer-Gesellschaft, um deren Beitrag in den jeweiligen Technologien zu verdeutlichen. In fünf der acht analysierten Technologiefelder können in Deutschland überdurchschnittlich hohe Patentanteile verzeichnet werden.⁶ Dies gilt besonders für die Laser-, aber auch für die Produktionstechnik, Erneuerbare Energien, Mess- und Prüftechnik sowie die Materialforschung.

4 Zur Analyse der wissenschaftlichen Publikationen wird auf die *Scopus* Datenbank des Anbieters Elsevier zurückgegriffen, die auch für die Analyse des wissenschaftlichen Outputs der einzelnen Fraunhofer-Institute verwendet wird. *Scopus* enthält Informationen zu wissenschaftlichen Publikationen seit 1996. Diese Datenbank bildet die Themen und Aktivitäten von Fraunhofer besser ab als beispielsweise die im Rahmen des Monitoring für den Pakt für Forschung und Innovation (PFI) vom BMBF verwendete Datenbank *Web of Science* von *Thomson Reuters*, da in *Scopus* gerade die Ingenieurwissenschaften breiter erfasst sind.

5 Die Datenbasis für die Patentanalyse ist die *EPO Worldwide Patent Statistical Database (PATSTAT)* des Europäischen Patentamts, die Patentdaten von mehr als 80 Patentämtern weltweit umfasst. Die Abgrenzung der analysierten Felder basiert auf Klassen der Internationalen Patentklassifikation (IPC). Relevante IPC-Klassen wurden über das Patentportfolio der Fraunhofer-Gesellschaft der letzten 30 Jahre identifiziert und zu den jeweiligen Technologien bzw. Technologiefeldern gruppiert.

6 Der deutsche Gesamtdurchschnitt ist in der Abbildung 2 als "Total" dargestellt. Da in der Grafik nur ausgewählte Technologien bzw. Technologiefelder dargestellt sind, addieren sich die Anteile nicht auf 100%.

Abbildung 2: Anteile deutscher Patente an allen transnationalen* Patentanmeldungen und den wissenschaftlichen Zeitschriftenveröffentlichungen



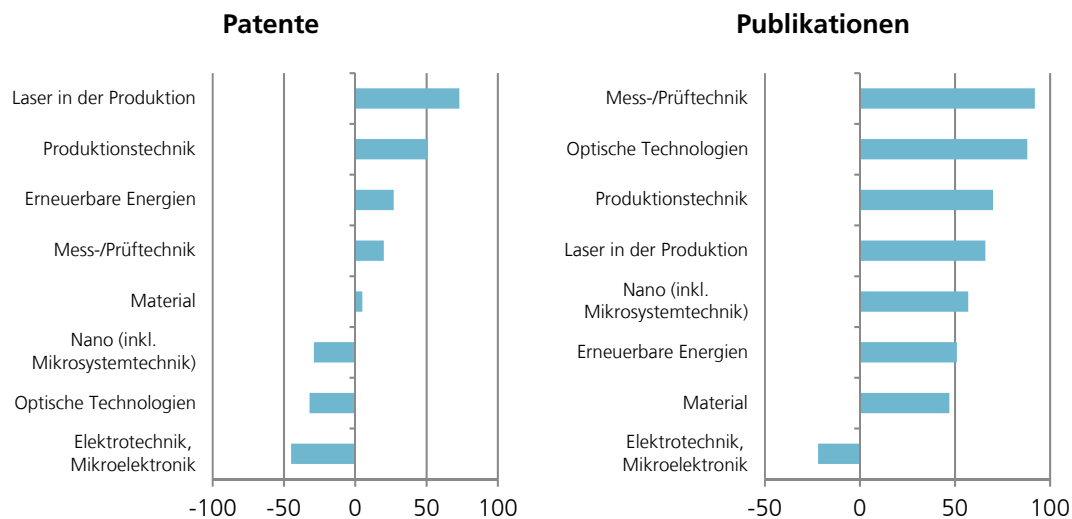
* Transnationale Patente sind Patentfamilien mit mindestens einer Anmeldung am Europäischen Patentamt oder über das PCT-Verfahren bei der World Intellectual Property Organization (Frietsch/Schmoch 2010).

Quelle: EPA – PATSTAT, SCOPUS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Setzt man die Anteile dieser Technologien in Deutschland ins Verhältnis zu den weltweiten Anteilen, dann lassen sich daran komparative Vorteile (und ggfs. Nachteile) ablesen, die auf Grund von Spezialisierungseffekten zu positiven Effekten auf entsprechenden Produktmärkten führen können (Abbildung 3). Der zugrunde liegende Indikator des Relativen Patentvorteils (RPA) zeigt an, in welchen Feldern bzw. Technologien

Deutschland im weltweiten Vergleich über- bzw. unterdurchschnittlich stark spezialisiert ist, d.h. auf welche Technologiefelder das deutsche Profil ausgerichtet ist. Werte über Null belegen eine überdurchschnittliche Spezialisierung. Sehr hohe Werte weist Deutschland besonders bei Lasern in der Produktion und bei der Produktionstechnik insgesamt auf. Auch bei den Erneuerbaren Energien, in der Mess-/Prüftechnik und der Materialforschung ist Deutschland positiv spezialisiert. Negative Werte finden sich in der Nanotechnologie, den Optischen Technologien und in der Elektrotechnik/Mikroelektronik, die jedoch vor allem durch Technologien für Konsumgütermärkte bestimmt werden. Hier weisen andere Länder wie beispielsweise die USA komparative Vorteile auf. Bei den wissenschaftlichen Publikationen ist Deutschland zumeist positiv spezialisiert. Die höchsten Spezialisierungswerte innerhalb der Wissenschaft sind bei der Mess-/Prüftechnik und in den Optischen Technologien zu finden. Jedoch zeigen sich auch in der Produktionstechnik, bei Lasern in der Produktion, der Nanotechnologie, den Erneuerbaren Energien und in der Materialforschung überdurchschnittliche Werte. Einzig in der Elektrotechnik/Mikroelektronik zeigt sich Deutschland unterdurchschnittlich spezialisiert.

Abbildung 3: Patent- und Publikationsspezialisierung Deutschlands innerhalb ausgewählter Felder, 2011-2013



Quelle: EPA – PATSTAT, SCOPUS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Letztlich macht aber erst die Diffusion einer Technologie am Markt aus einer Invention eine Innovation. Es bedarf folglich der Vermarktung einer guten Idee, um Wettbewerbsvorteile generieren zu können. Dies zeigt sich beispielsweise am starken Zusammenhang von (internationalen) Patentanmeldungen und Exporten der entsprechenden Technologien (Frietsch et al. 2014), aber auch am hohen Maß der Wertschöpfung Deutschlands in spezifischen Wirtschaftszweigen (Abbildung 4).

Abbildung 4: Welthandelsanteile, Exportspezialisierung und Wertschöpfung Deutschlands nach Wirtschaftszweigen (NACE Rev.2), 2012-2014



* Gesamt und Service-Sektoren [36-99] bei der Wertschöpfung zur besseren Übersichtlichkeit nicht abgebildet.

Quelle: UN-COMTRADE, OECD - STAN, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Bekanntermaßen liegen Deutschlands Stärken im Maschinenbau und im Fahrzeugbau, wo beispielsweise auch neue Materialien und Produktionstechnik, die bei Fraunhofer erforscht werden, eine große Rolle spielen. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Digitalisierung der Industrie gewinnen gerade die Produktionstechnik sowie die Elektro-

technik/Mikroelektronik für die Aufrechterhaltung der deutschen Stärken immer mehr an Bedeutung. Die überdurchschnittlich starke Position bei Metallerzeugnissen basiert zu einem nicht unerheblichen Teil auf Beschichtungen und Legierungen, die im Forschungsportfolio von Fraunhofer zu finden sind. Die Erneuerbaren Energien sind als einzelner Wirtschaftszweig nicht ausweisbar. Die Photovoltaik findet sich jedoch im Wesentlichen in den Elektrischen Ausrüstungen, während die Windenergie zusätzlich auch im Maschinen- und Anlagenbau zu verorten ist. Die Position Deutschlands bei Datenverarbeitungs-Geräten, die gemeinsam mit elektrischen und optischen Erzeugnissen eine Kategorie bildet, ist zunächst nicht überdurchschnittlich. Dies liegt an den großen Anteilen der auf Konsumentenmärkte ausgerichteten Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, bei denen Deutschland keinen Schwerpunkt hat. Würde man an dieser Stelle die elektrischen und insbesondere die optischen Erzeugnisse separat darstellen (können), dann wäre in der Tat ein positiver Ausschlag im deutschen Exportprofil zu erkennen, denn gerade hier finden sich einige Weltmarktführer aus Deutschland.

2.3 Langfristige Technologielinien

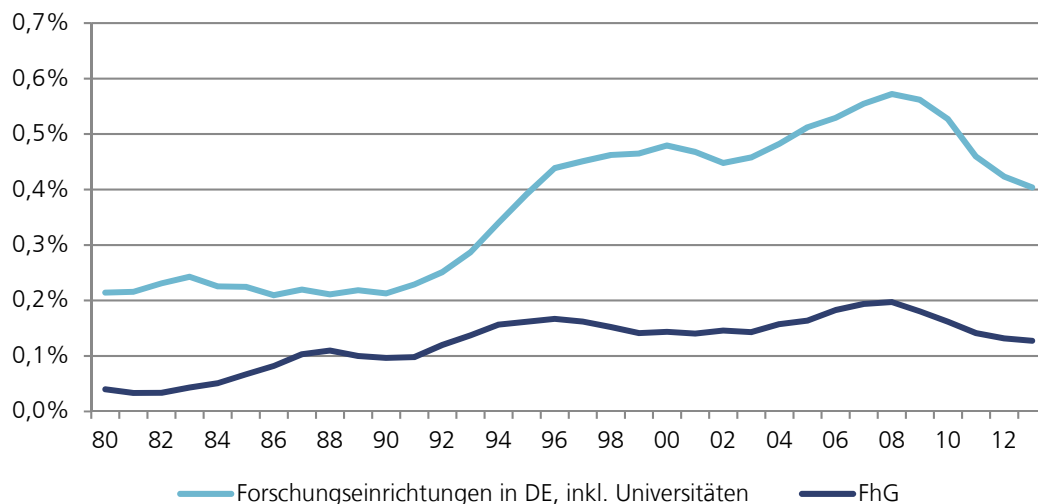
Nachdem im vorangegangenen Abschnitt die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands – insbesondere der deutschen Unternehmen – in einigen von Fraunhofer besonders intensiv beforschten Technologielinien dargestellt wurde, sollen in diesem Abschnitt die Entwicklung dieser Technologielinien und der Beitrag von Fraunhofer erörtert werden. Hierzu wird das bereits dargestellte idealtypische Modell von Meyer-Krahmer und Dreher (2004) verwendet. Dabei wird auf drei der untersuchten Technologien im Detail eingegangen, um die Ergebnisse der Analyse darzustellen und das Konzept zu verdeutlichen. Für die übrigen im vorigen Abschnitt dargestellten Technologien finden sich die empirischen Ergebnisse im Anhang, werden aber an dieser Stelle nicht weiter vertieft.

Insgesamt ist die Fraunhofer-Gesellschaft am aktuellen Rand für 1,1% aller transnationalen Patentanmeldungen Deutschlands verantwortlich. Dies ist ein beträchtlicher Anteil, da der Löwenanteil aller Patentanmeldungen von Unternehmen stammt. Die öffentlichen Forschungseinrichtungen sind insgesamt lediglich für etwa 2,1% aller Anmeldungen aus Deutschland verantwortlich (Dornbusch et al. 2013; Dornbusch/Neuhäusler 2015). Obwohl Fraunhofer lediglich etwa 22% des gesamten wissenschaftlichen Personals in öffentlichen Einrichtungen in Deutschland stellt (Dornbusch/Neuhäusler 2015), erreicht die Organisation einen Anteil an allen Patentanmeldungen der außeruniversitären Forschungseinrichtungen von ca. 52%.

Dies wird noch einmal deutlicher, wenn man den Beitrag der Fraunhofer-Gesellschaft zu den weltweiten transnationalen Patentanmeldungen betrachtet (Abbildung 7). Hier

zeigt sich, dass die Fraunhofer Gesellschaft am aktuellen Rand für 0,13% aller Anmeldungen weltweit verantwortlich ist. Im Vergleich dazu entfällt insgesamt gesehen auf die verbliebenen deutschen Forschungseinrichtungen, d.h. die Helmholtz Gemeinschaft, die Max-Planck Gesellschaft, die Leibniz Gemeinschaft, die Universitäten, Fachhochschulen sowie sonstige deutsche Forschungseinrichtungen nur ein Anteil von 0,4%. Fraunhofer hat somit einen beträchtlichen Anteil an den deutschen Patenten, die aus der Forschung stammen. Im Zeitverlauf wird zudem deutlich, dass der Anteil der Patentanmeldungen über die Jahre ansteigt. Einzig am aktuellen Rand kommt es zu einem leichten Rückgang, wobei es sich hier um einen Effekt handelt, der für das Patentierungsverhalten der gesamten deutschen Wirtschaft auftritt.

Abbildung 5: Anteile von Fraunhofer und den deutschen Forschungseinrichtungen an den weltweiten transnationalen Patentanmeldungen



Quelle: EPA – PATSTAT, SCOPUS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Insgesamt ist der Großteil der Aktivitäten von Fraunhofer im Business-to-Business (B2B) Bereich angesiedelt. So gehört Fraunhofer etwa in der Produktionstechnik, bei optischen Technologien oder in der Energietechnik zu den Vordenkern, was sich in den überdurchschnittlich hohen Patentanteilen widerspiegelt. In den Erneuerbaren Energien, den Optischen Technologien und der Elektrotechnik und Mikroelektronik können Werte zwischen 3% und 5% an den bundesweiten Patentanmeldungen festgestellt werden. Auch in der Materialforschung und der Mess-/Prüftechnik liegen die Anteile mit 1,7% oberhalb des durchschnittlichen Anteils von 1,1%, den Fraunhofer derzeit an den deutschen Patentanmeldungen einnimmt.

Bei den Publikationen zeigen sich ähnliche Entwicklungen wie bei den Patenten, wobei die Anteile bei den Optischen Technologien nicht ganz so stark überdurchschnittlich

ausfallen. Hier sticht insbesondere die Elektrotechnik/Mikroelektronik hervor. In diesem Bereich ist der Anteil von Fraunhofer im Vergleich über alle Technologiefelder hinweg am aktuellen Rand am größten, d.h. hier ist Fraunhofer neben Technologietransfer und Anwendungsforschung gerade auch in der anwendungsorientierten Grundlagenforschung und der Ausbildung und Lehre stark engagiert.

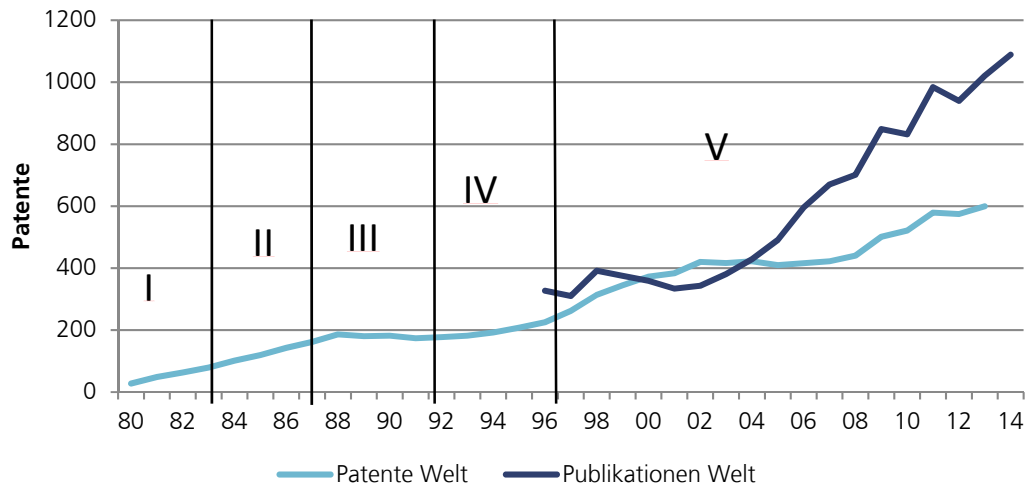
2.3.1 Laser in der Produktion

Die Entwicklung der weltweiten und der Fraunhofer-Patent- und Publikationsaktivitäten bei Lasern in der Produktion ist in Abbildung 6 dargestellt.⁷ Die idealtypische Doppel-Boom-Kurve lässt sich dabei sehr gut erkennen – mit einem ersten erkenntnisorientierten Zyklus, der etwa bis 1992 andauerte und einem zweiten anwendungsorientierten Zyklus ab 1993.

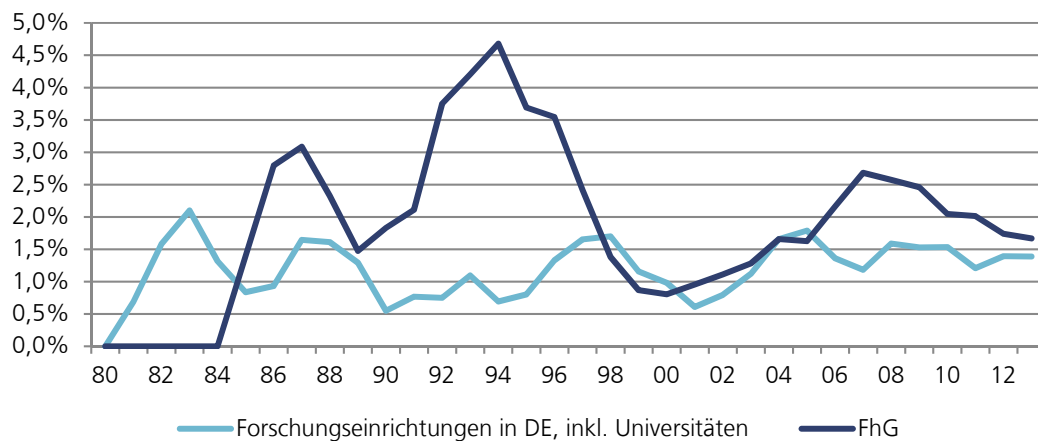
Auf die Entdeckung der Technologie folgte eine Phase der Euphorie bis in die späten 80er Jahre. Fraunhofer war bereits zu diesem frühen Zeitpunkt der Technologieentwicklung einer von zwei Akteuren in Deutschland, die versuchten, den Laser als Werkzeug zu verstehen, ihn auf- und auszubauen. Auf die erste Euphorie folgte eine Phase der Ernüchterung, in welcher sich einige der Lösungen aus der Frühphase als nicht oder nicht hinreichend tragfähig erwiesen. Der stabile Kurvenverlauf der Fraunhofer-Patentaktivitäten in dieser Phase zeigt, dass Fraunhofer dennoch an der Technologie festhielt, die Patentaktivitäten sogar nochmals erheblich intensivierte. Als mit einer Neuorientierung der Technologie in der Mitte der 90er Jahre der zweite anwendungsorientierte Zyklus einsetzte, war Fraunhofer in der Lage, das Thema zu gestalten. Anwendung im Kontext "Laser als Werkzeug" bedeutete dabei von Beginn an, das neue Werkzeug zu entwickeln, der Industrie nahezubringen, es industriereif zu machen. Die zugehörige Anlagentechnik musste entwickelt und der mögliche Nutzen des neuen Werkzeugs für die Industrie identifiziert und kommuniziert sowie gemeinsam mit Wirtschaft und Politik neue Entwicklungslinien angestoßen werden. Dieses hohe Aktivitätsniveau kommt auch in dem starken Anstieg der Patente der Unternehmen ab 1993 von durchschnittlich 9% pro Jahr zum Ausdruck.

⁷ Für die Analyse der Publikationen wurde die bibliometrische Datenbank SCOPUS verwendet. Aufgrund der nicht vollständigen Verfügbarkeit der Publikationsdaten vor 1996 sind Publikationsstatistiken in dieser und den folgenden Abbildungen erst ab 1996 abgetragen.

Abbildung 6: Weltweite Entwicklung der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen bei Lasern in der Produktion



Prozentuale Anteile an Patenten weltweit



Quelle: EPA – PATSTAT, SCOPUS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Der Anteil der Fraunhofer-Gesellschaft an den weltweiten transnationalen Patentanmeldungen im Vergleich zu den Anmeldungen der übrigen deutschen Forschungseinrichtungen macht insgesamt deutlich, dass Fraunhofer in nahezu allen Phasen der Technologieentwicklung höhere Anteile als die übrigen deutschen Forschungseinrichtungen vorweisen kann. Besonders in der Phase der Euphorie zwischen 1983 und 1987 zeigen sich außerordentlich hohe Anteile der Patentanmeldungen der Fraunhofer-Gesellschaft, ebenso wie in der Ernüchterungsphase und im stärker anwendungsorientierten Zyklus ab 1993. Entsprechend nimmt Fraunhofer bei den Lasern in der Produktion im grundlagen- sowie im anwendungsorientierten Bereich eine starke Rolle

ein und hat maßgeblich dazu beigetragen, die Technologie durch das so genannte "valley of death" zum Erfolg zu führen.

Der Übergang des erkenntnisorientierten in den anwendungsorientierten Zyklus wird zudem durch eine Stichwort-Analyse der Patente über den Zeitablauf der Technologielinie verdeutlicht (vgl. Methodenkasten S. 25). Im ersten eher erkenntnisorientierten Zyklus (1980 bis 1993) kommen die Worte "radiation", "laser" und "beam" in den untersuchten Abstracts am häufigsten vor, welche die Technologie grundsätzlich charakterisieren. Im zweiten eher anwendungsorientierten Zyklus dagegen, sind "welding", "workpiece", "machining", gefolgt von "radiation", "laser" und "beam" die am häufigsten verwendeten Worte. Dies kann als Indiz für die Anwendungsorientierung der zweiten Phase herangezogen werden.

Seit Ende des letzten Jahrtausends befindet sich die Technologie in der Phase des Aufstiegs. Die Aktivitäten haben sich in vielfältigen wissenschaftlichen Publikationen und zahlreichen Patenten niedergeschlagen. Während etwa der Anteil von Fraunhofer unter allen deutschen Veröffentlichungen in internationalen Fachzeitschriften weniger als 2% beträgt, sind es im Bereich Laser in der Produktion derzeit ca. 18%. Etwa jede sechste deutsche Veröffentlichung stammt somit von Fraunhofer. Bei den Lasern in der Produktion wurde zeitweise jedes vierte in Deutschland erfundene Patent von Fraunhofer angemeldet.

Vergleicht man den Verlauf der weltweiten Patentaktivitäten in der Aufstiegsphase mit denen von Fraunhofer, so impliziert dies, dass vor allem in den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts noch die USA und Japan sowie in Spezialbereichen Frankreich und Großbritannien Technologieführer waren. Diese Situation hat sich heute entscheidend gewandelt. Moderne Laserkonzepte wie Diodenlaser, Faserlaser und Scheibenlaser wurden in Deutschland im Rahmen von Programmen der Verbundforschung entwickelt und in Unternehmen wie Jenoptik, Rofin Sinar und Trumpf marktseitig umgesetzt. Dies gibt einerseits der ansteigende Kurvenverlauf der Fraunhofer-Patente seit 2000 wieder. Andererseits erreicht die Wirtschaft mit zunehmender Technologiedurchdringung höhere Anteile von 90% und mehr in den Patentaktivitäten.

Methode - Extraktion von Schlagworten und Analyse der Stichworte über die Zeit

Um die Frage zu beantworten, wann eine Technologie von einem eher erkenntnis- zu einem stärker anwendungsorientierten Zyklus übergeht, wurde eine Stichwortanalyse der Abstracts der Patentanmeldungen über die Zeit durchgeführt. Dabei wird analysiert, welche Worte in den jeweiligen Abstracts am häufigsten vorkommen und ob diese stärker die Technologie an sich oder deren Anwendung charakterisieren. Bevor diese Analyse jedoch durchgeführt werden kann, müssen die Abstracts zunächst bereinigt werden. In allen Texten gibt es Wörter, welche keinen inhaltlichen Beitrag zum Text erbringen, wie z.B. "he", "and", "do", "while". Diese sog. Stoppwörter werden in einem ersten Schritt aus den Textsammlungen herausgefiltert, um dann in einem zweiten Schritt nur noch inhaltlich potenziell relevante Wörter zu analysieren. Um die Relevanz dieser Wörter in einer Textsammlung zu berechnen, wird im Weiteren das *tf-idf*-Maß verwendet, das wie folgt definiert ist:

$$tf\text{-}idf_{t,d} = tf_{t,d} * idf_t$$

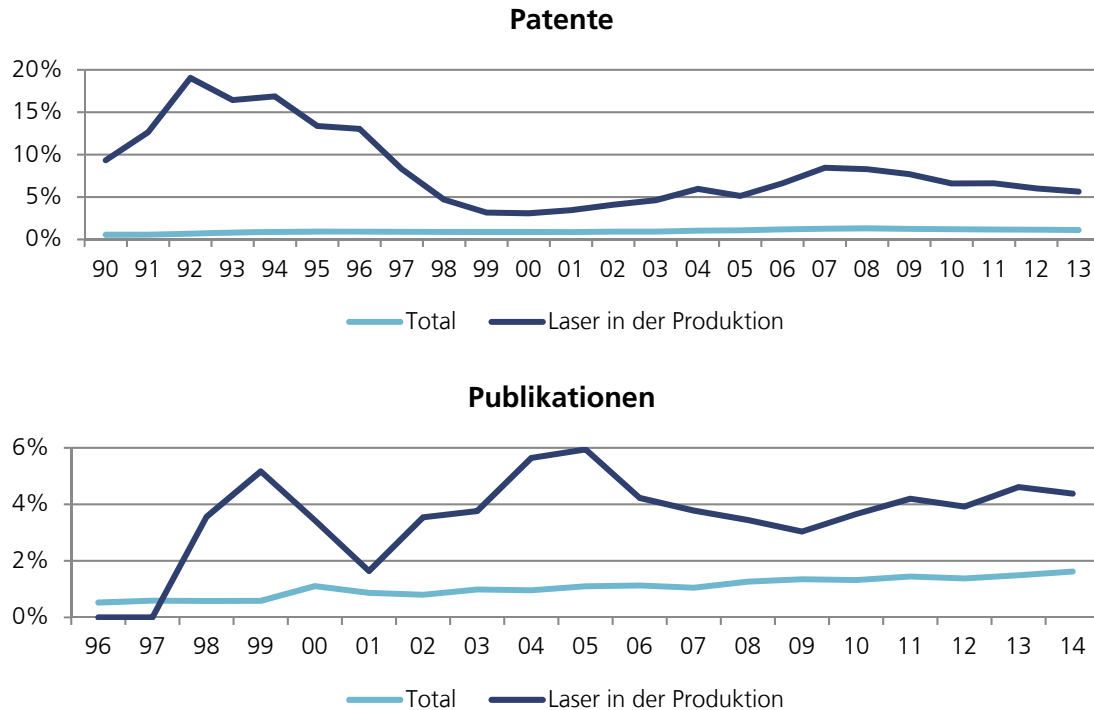
Das *tf-idf*- Maß bestimmt die Relevanz eines Terms *t* für ein Dokument *d*, wobei $tf_{t,d}$ die Termfrequenz darstellt, d.h. wie häufig ein Wort in dem Dokument vorkommt, und

$$idf_t = \log \frac{N}{n_i}, \quad N: \text{Anz. der Dokumente}, \quad n_i: \text{Anz. der Dokumente, die } t \text{ beinhalten}$$

die inverse Dokumentfrequenz darstellt, d.h. je weniger Dokumente das Wort enthalten, desto höher die inverse Dokumentfrequenz (Manning et al. 2008). Etwas einfacher formuliert: Es wird analysiert, wie häufig ein Wort in einem Text vorkommt, gewichtet mit der Anzahl der Texte (in diesem Fall Abstracts) in denen es überhaupt auftaucht.

Dieses Verfahren bietet zwei Vorteile. Erstens kann mit den extrahierten Worten bspw. eine Klassifikation der zu untersuchenden Felder erstellt werden. Zweitens kann die Analyse der Häufigkeit der Keywords über die Zeit genutzt werden, um die Phase, in der sich eine Technologie befindet, zu spezifizieren. Hierzu wird das Konzept des Dokuments auf die Textsammlung eines jeden Feldes in den einzelnen Phasen übertragen. Somit kann die Relevanz der Wörter innerhalb des Feldes in der betrachteten Phase sowie anhand der Verteilung des Wortes über alle Felder und Phasen bestimmt werden. Da die Textsammlungen der einzelnen Felder für die jeweiligen Phasen unterschiedlich groß sind, wurden zwei Normalisierungsmethoden angewendet. Zum einem wird die Termfrequenz über die Größe der Textsammlung standardisiert, zum anderen werden die berechneten *tf-idf*-Werte auf Werte zwischen 1 und 0 gemappt, indem sie durch den größten *tf-idf*-Wert der Textsammlung geteilt werden. Somit werden die Werte und damit das Ranking der Wörter zwischen den Phasen vergleichbar. Mittels eines zweiten Rankings, das auf den Differenzen zwischen den gemappten *tf-idf*-Werten der Wörter in den beiden Phasen basiert, lassen sich nun die Terme ablesen, welche für beide Phasen unterschiedliche Relevanz aufweisen. Dadurch werden inhaltliche Unterschiede sichtbar. In frühen Phasen, die durch wissenschaftliche Entwicklungen gekennzeichnet sind, sind eher breite, die Technologie beschreibende Keywords zu erwarten. In späteren Phasen sind dagegen Keywords zu erwarten, die bereits die Anwendung einer Technologie erkennen lassen.

Abbildung 7: Anteile von Fraunhofer an allen deutschen Patenten und den Publikationen im Bereich Laser in der Produktion



Quelle: EPA – PATSTAT, SCOPUS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Der Nutzen der Lasertechnik-Forschung von Fraunhofer geht dabei weit über denjenigen für die Laser- und Werkzeugmaschinenhersteller hinaus. Er erstreckt sich auch auf die Anwender der Technologien im verarbeitenden Gewerbe, die ihre Produktion hiermit modernisieren und dabei nicht nur Qualität, Zuverlässigkeit und Materialeffizienz erhöhen, sondern auch ganz neue Produkte und effizientere Prozesse hervorbringen. Als weitere Märkte für Laser sind dabei v.a. die Luft- und Raumfahrt, Informations- und Kommunikationstechnik aber auch die Gesundheitsbranche vielversprechend. Im Hinblick auf Laserscheinwerfer oder die LIDAR Systeme für autonome Fahrzeuge ist außerdem im Bereich der Mobilität ein weiterer Massenmarkt zu erwarten.

Insgesamt konnte Fraunhofer maßgeblich zur Wettbewerbsfähigkeit international führender Lasertechnikhersteller sowie des deutschen verarbeitenden Gewerbes beitragen und so den Produktionsstandort Deutschland wesentlich stärken.

2.3.2 Materialforschung

Unter neuen Materialien lässt sich eine Vielzahl von Teilbereichen fassen, die deutlich unterschiedliche Charakteristika aufweisen. Diese können einerseits von Nanomaterialien, über Polymere und Beschichtungen bis hin zu Legierungen reichen. Andererseits

richtet die Materialforschung ihren Blick auch immer stärker auf neue, insbesondere nachwachsende Rohstoffe, während beispielsweise erdölbasierte Rohstoffe ganz oder teilweise ersetzt werden. Allerdings ist es keineswegs so, dass häufig gänzlich neue Materialien hervorgebracht werden, sondern vielmehr sind es weiterentwickelte Eigenschaften, die einem Werkstoff abverlangt werden und die gezielt auf die Bedarfe ausgerichtet erforscht werden. Am Beispiel des Automobilbaus lassen sich die häufig auf den ersten Blick widersprüchlichen Anforderungen deutlich machen. Auf der einen Seite verlangen Anforderungen an Materialeinsparung und insbesondere Gewichtsreduzierung leichtere Materialien. Andererseits fordert ein hoher und steigender Sicherheitsbedarf den Werkstoffen klare Eigenschaften in Punkto Festigkeit und Energieabsorptionsfähigkeit ab. Gerade an diese mehrdimensionalen Anforderungen kann Fraunhofer mit dem Spezialwissen zu den zahlreichen Materialien, Technologien und Bedarfen der Kunden – insbesondere von KMU – ein Know-how vorweisen, das in vielen Unternehmen so nicht vorhanden ist bzw. auch gar nicht vorgehalten werden kann.

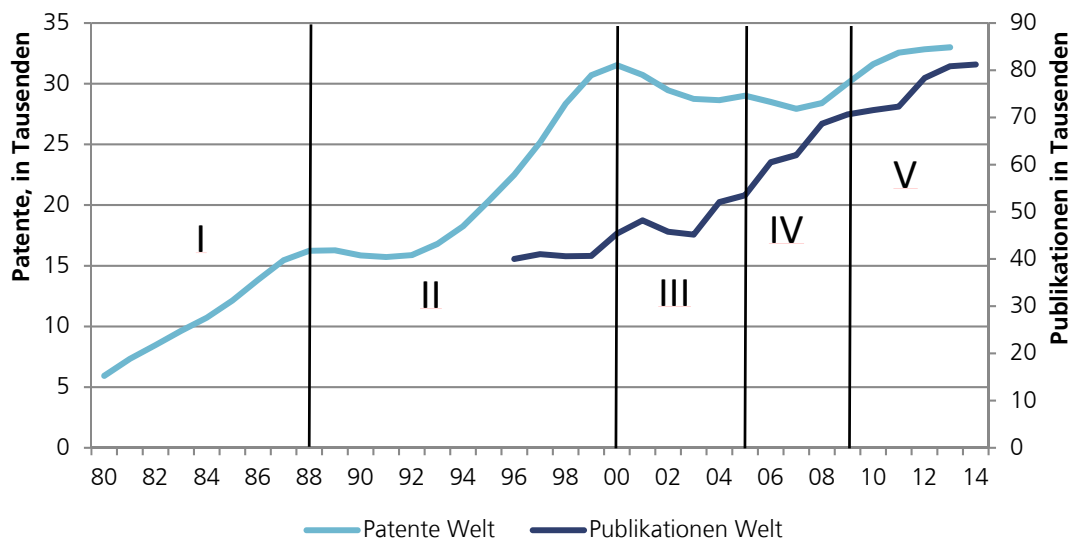
So konnte die Fraunhofer-Gesellschaft beispielsweise mit den von ihr mitentwickelten Metallschäumen Autos leichter und materialeffizienter machen. Darüber hinaus sind mit Metallschäumen auch neue Möglichkeiten in Design und Sicherheit verbunden, denn die hohen Anforderungen an Festigkeit, Steifigkeit und Energieabsorptionsfähigkeit, die bei der Entwicklung des neuen Werkstoffs von Anfang an im Blick waren, konnte mit den Fraunhofer-Technologien erfüllt werden. Dabei war es anfangs keinesfalls so, dass die Industrie den Werkstoff unmittelbar aufgenommen und aufgegriffen hätte. In den Interviews wurde deutlich, dass viel Beharrlichkeit und Überzeugungsarbeit notwendig war. Heute gehören Metallschäume zum Standardrepertoire in der deutschen Automobilindustrie.

Besondere Kompetenzen besitzt Fraunhofer dabei nicht nur in der Materialentwicklung und -anpassung, sondern vor allem in der Simulation der Eigenschaften und des Verhaltens der Materialien, so dass bereits in der Forschung und der frühen Entwicklung eine Differenzierung und Ausrichtung vorgenommen werden kann.

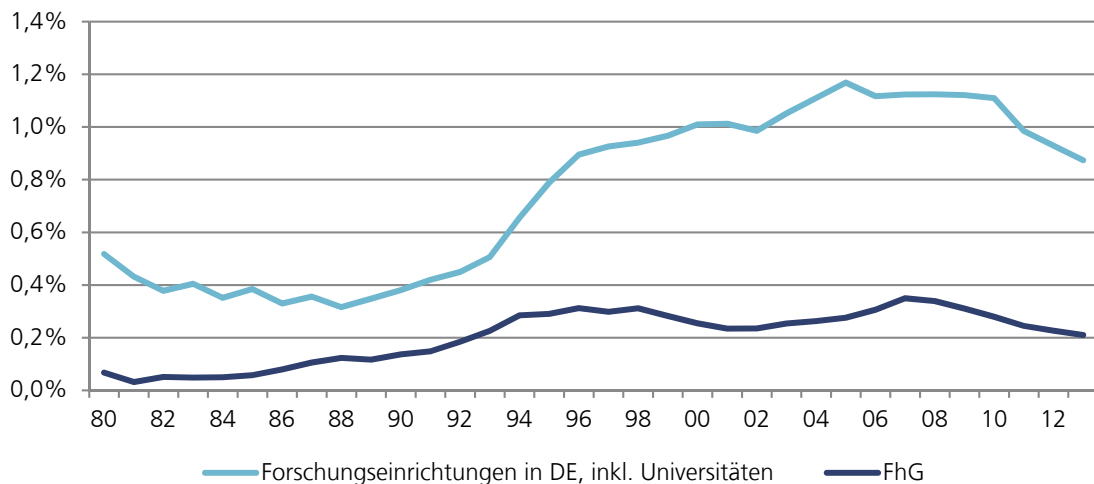
Auch im Bereich der funktionalen Keramiken hat Fraunhofer eine weltweite Spitzenposition und konnte diese auch in Zeiten behaupten, in denen weder die öffentliche Förderung noch die Industrie nach dem Abschwächen eines ersten Hypes intensiv in diese Forschung investiert haben. Hier wurde durch Beharrlichkeit bei Fraunhofer das Know-how erhalten und erweitert, so dass in den 2000er Jahren, als insbesondere die Elektronik- und Elektrotechnik-Branche die Keramiken aufgegriffen und umgesetzt haben, die Antworten auf die technologischen Herausforderungen bereitgestellt werden konnten.

Die additive Fertigung – dies beinhaltet unter anderem den 3D-Druck – ist erst durch die Material-Kompetenzen möglich. Zwar sind auch weitere technologische Komponenten betroffen, die von der Steuerung über die mechanischen Komponenten eines Druckers und dem Präzisionslaser bis hin zur Einbindung in den Produktionsprozess reichen. Das Material – sozusagen die Druckerpatrone –, das verwendet wird, spielt jedoch eine entscheidende Rolle.

Abbildung 8: Weltweite Entwicklung der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen in der Materialforschung



Prozentuale Anteile an Patenten weltweit



Quelle: EPA – PATSTAT, SCOPUS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

In Abbildung 8 ist die langfristige Entwicklung der weltweiten Patentanmeldungen und der wissenschaftlichen Zeitschriftenveröffentlichungen seit den 1980er Jahren in den Materialwissenschaften dargestellt. Es zeigt sich, dass bereits zu Beginn der Beobachtungsperiode eine hohe Anzahl an Patenten und Publikationen veröffentlicht wurden, dass die Anzahl aber mit gut 30.000 Patenten weltweit bis zum Jahr 2000 eine deutliche Steigerung und seitdem ein – verglichen mit vielen anderen Technologiefeldern – sehr hohes absolutes Niveau erreicht. Dies liegt auch daran, dass innerhalb des Feldes eine Vielzahl an unterschiedlichen Materialien beforscht werden – Metalle/Legierungen, Kunststoffe oder neuerdings auch Biomaterialien. Dabei ist es so, dass die Polymere, Legierungen und Beschichtungen – dies sind die drei großen Themenblöcke, die sich innerhalb der Materialwissenschaften mit den vorliegenden Daten unterscheiden lassen – weltweit durchaus ähnlichen Trends gefolgt sind, so dass eine integrierte Betrachtung an dieser Stelle gerechtfertigt ist.

Die Entwicklung zeigt einen ersten Aufwuchs bis zum Ende der 1980er Jahre und eine zweite Phase (Euphorie) die bis zum Ende der 1990er Jahre reicht. Die folgenden fünf Jahre sind durch einen Rückgang der Patentanmeldungen gekennzeichnet und werden daher als Ernüchterungsphase eingeordnet, woraufhin ein erneuter Aufstieg und der Beginn der breiten technologischen Diffusion einsetzt. In diesem speziellen Fall ist davon auszugehen, dass eine Vielzahl an technologischen Lösungen bereits in früheren Phasen in die breite Anwendung und insbesondere in die Marktdiffusion übergegangen war.

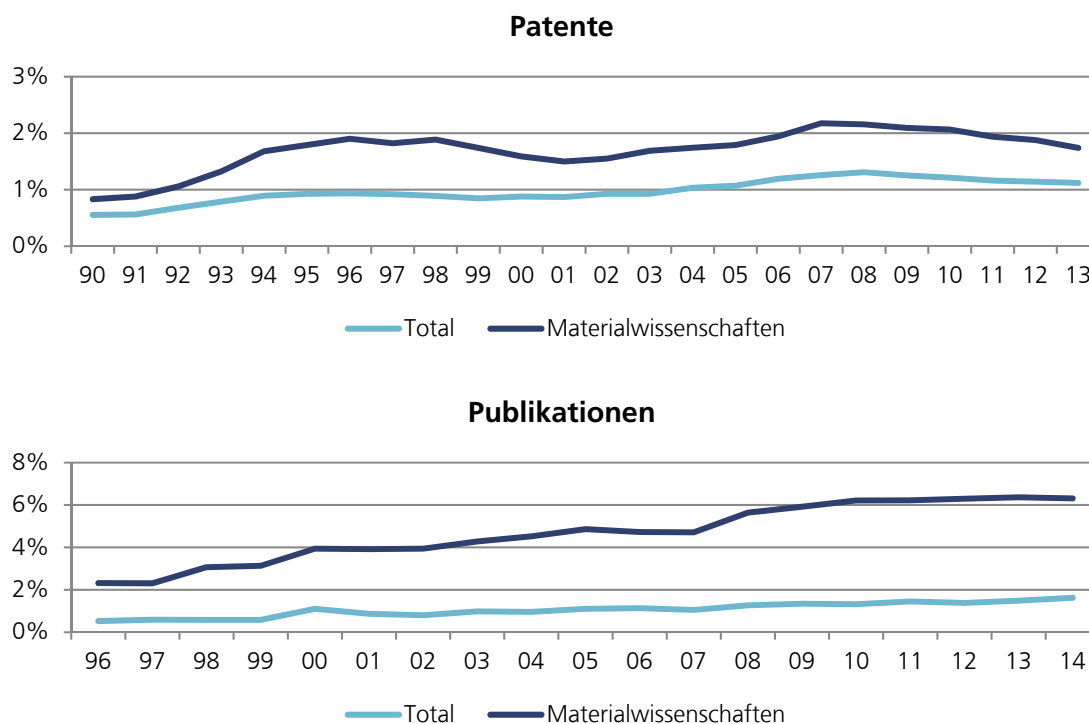
Im unteren Teil der Abbildung ist auch an dieser Stelle der Anteil der Fraunhofer Gesellschaft an den weltweiten transnationalen Patentanmeldungen im Vergleich zu den Anmeldungen der übrigen deutschen Forschungseinrichtungen dargestellt. Hier wird deutlich, dass Fraunhofer im Bereich der Materialforschung besonders in den 1990ern, also in der Euphoriephase, vergleichsweise hohe Anteile vorweisen kann. Auch später, also in der erneuten Aufstiegsphase und zu Beginn der Diffusion zeigen sich noch einmal hohe Anteile von Fraunhofer. In diesem Feld sind neben der Fraunhofer-Gesellschaft auch die anderen deutschen Forschungseinrichtungen stärker aktiv. Hier werden weltweite Patentanteile von bis zu 1,17% erreicht.

Differenziert man auch hier einen erkenntnisorientierten und einen anwendungsorientierten Zyklus jeweils am Schnittpunkt der Phasen III und IV, so zeigt die Stichwortanalyse in den Titeln und den Zusammenfassungen der Patentanmeldungen einen Übergang der Schwerpunkte. Im ersten Zyklus waren es einzelne Materialien, die beforscht und patentiert wurden. Dies ist zwar auch in der zweiten Phase gegeben; die Materialien haben sich aber etwas fokussiert auf "Karbon" (Kohlenstoff) und organische Materialien, die bei Polymeren und Metallen als Legierung bzw. Beschichtung ("Coating")

verwendet werden. Gerade Begriffe wie "Coating" und "Compound" (Mischung) sowie ein deutlich verstärktes Vorkommen von "Produktion" deuten auch in diesem Bereich auf eine deutlich höhere Anwendungsnähe in der zweiten Hälfte hin.

Abbildung 9 belegt, dass Fraunhofer in allen Phasen einen besonderen Fokus auf Materialwissenschaften gelegt hat. Die Anteile an den bundesweiten Outputs in diesem Bereich sind durchweg höher als im Durchschnitt aller Patente und Publikationen von Fraunhofer. Die sinkenden Anteile seit dem Jahr 2008 sind ein Beleg für den stärkeren Übergang zur Diffusion und Kommerzialisierung der Technologien, denn sinkende Anteile von Fraunhofer – bei steigenden absoluten Zahlen – bedeuten eine stärkere Ausweitung der Patentanmeldungen durch die Industrie.

Abbildung 9: Anteile von Fraunhofer an allen deutschen Patenten und den Publikationen im Bereich Materialwissenschaften



Quelle: EPA – PATSTAT, SCOPUS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Vergleicht man dabei die drei Teilbereiche Polymere, Legierungen und Beschichtungen, dann zeigen sich für Deutschland wie für Fraunhofer zwar steigende Zahlen. Die weltweiten Anteile sind allerdings rückläufig, da andere Länder ihr Engagement hier deutlich stärker ausgeweitet haben. Im Bereich der Polymere war dies schon länger seit etwa Anfang der 2000er Jahre der Fall, während in den beiden anderen Teilberei-

chen erst in der jüngeren Vergangenheit das internationale Wachstum stärker zu Buche schlägt.

Bei den wissenschaftlichen Publikationen im Bereich der Materialwissenschaften liegen die Beiträge von Fraunhofer über den gesamten Zeitraum deutlich oberhalb des gesamten Fraunhofer-Anteils an den Zeitschriftenveröffentlichungen in Deutschland. Dabei ist es sogar im Zeitverlauf möglich, den Anteil noch weiter zu steigern. Besonders hohe Anteile erreicht Fraunhofer bei den Beschichtungen, aber auch bei Keramiken. Bei Biomaterialien hat Fraunhofer gerade in jüngerer Vergangenheit bzw. seit ca. 2008 deutlich ansteigende Anteile an den deutschen Zeitschriftenveröffentlichungen, bei Metallen und Legierungen sinken sie hingegen seit 2012 ab.

Insgesamt belegen die Ergebnisse, dass die starke Wettbewerbsposition der deutschen Industrie durch Fraunhofer maßgeblich unterstützt wurde und weiterhin wird. Dabei sind an dieser Stelle die technologischen Fortschritte und die dadurch möglichen Produktinnovationen erfasst, während die dadurch ermöglichten Prozessinnovationen oder Materialeinsparungen beispielsweise in der Automobilindustrie nicht erfasst sind.

2.3.3 Erneuerbare Energien

Die Erneuerbaren Energietechnologien wurden in den Interviews mit den Fraunhofer-Experten häufig betont – allen voran die Photovoltaik, von der Photozelle bis zum Gleichrichter. Auch das energieautarke Haus, das bereits in den 1990er Jahren konzipiert und umgesetzt wurde, wurde in diesem Zusammenhang genannt. Solarstrom ist denn auch ein Beispiel dafür, wie Fraunhofer mit seiner Forschung und Entwicklung dabei helfen konnte, einen politisch induzierten gesellschaftlichen Bedarf zu realisieren. Die hohen Anteile von erneuerbaren Energien in der Stromversorgung in Deutschland wären ohne die technologischen Voraussetzungen, die bereits in den 1980er und 1990er Jahren gelegt wurden, nicht möglich gewesen. Neben der Photovoltaik ist die Windenergie ein weiteres wesentliches technologisches Standbein der Erneuerbaren Energien, in dem Fraunhofer mit verschiedenen Instituten wesentlich zur Technologiegenese und zur Umsetzung beiträgt.

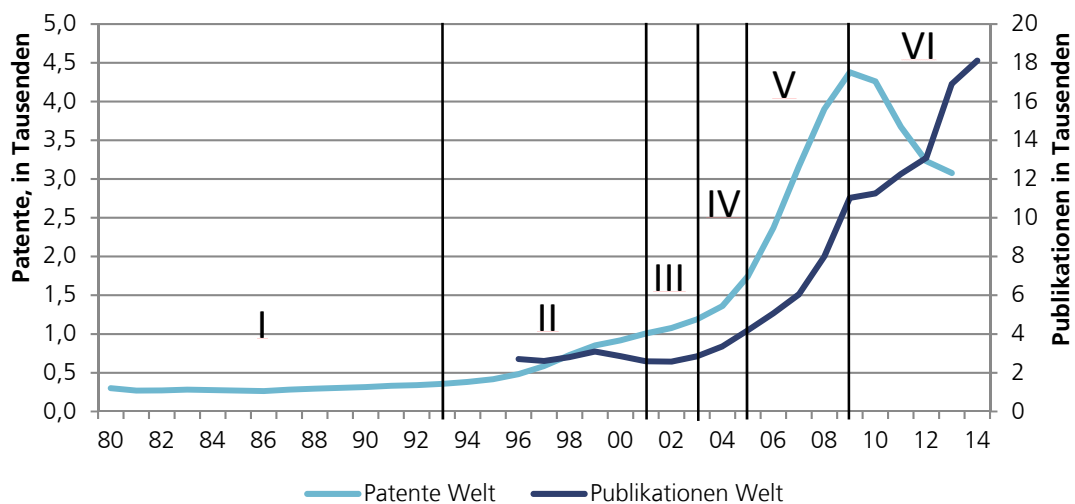
Abbildung 10 zeigt die weltweite Patententwicklung und die Entwicklung der wissenschaftlichen Publikationen für die Erneuerbaren Energien, also sowohl für Photovoltaik als auch für Windenergie⁸. Dabei folgen die beiden Teilkurven einem ähnlichen Verlauf

⁸ Auch weitere Erneuerbare Energietechnologien wie Biomasse oder Wasserkraft stehen bei Fraunhofer auf der Agenda. Da diese anderen Technologien in absoluten Zahlen der Patentanmeldungen allerdings deutlich kleiner sind und somit bei der Analyse nicht ins Gewicht fallen würden, wurden sie an dieser Stelle außen vor gelassen.

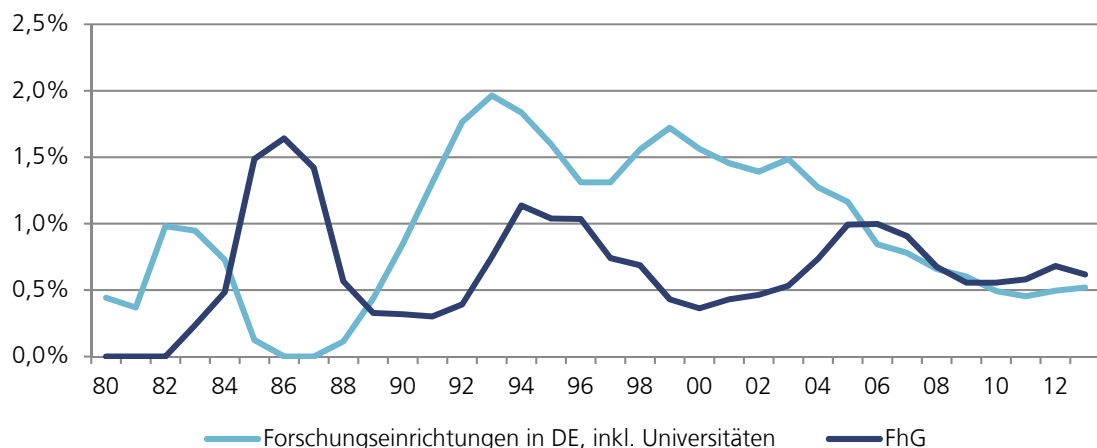
und sind daher in gemeinsamer Perspektive abgebildet. Zwar sind die weltweiten Aktivitäten im Bereich Photovoltaik in den 1980er und 1990er Jahren etwas höher als bei Windenergie, dafür verläuft der enorme Patentaufwuchs der Windenergie in der Mitte der 2000er Jahre etwas steiler.

Die Erneuerbaren Energien nehmen hinsichtlich des Kurvenverlaufs über die Zeit sicherlich eine Sonderrolle ein. Die schnell ansteigende Nachfrage hat zu einem "technology-pull"-Effekt geführt und eine rapide Entwicklung der Technologien erfordert, um die entstandene Nachfrage zu befriedigen (Frietsch 2014, Schubert et al. 2013).

Abbildung 10: Weltweite Entwicklung der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen in den Erneuerbaren Energien



Prozentuale Anteile an Patenten weltweit



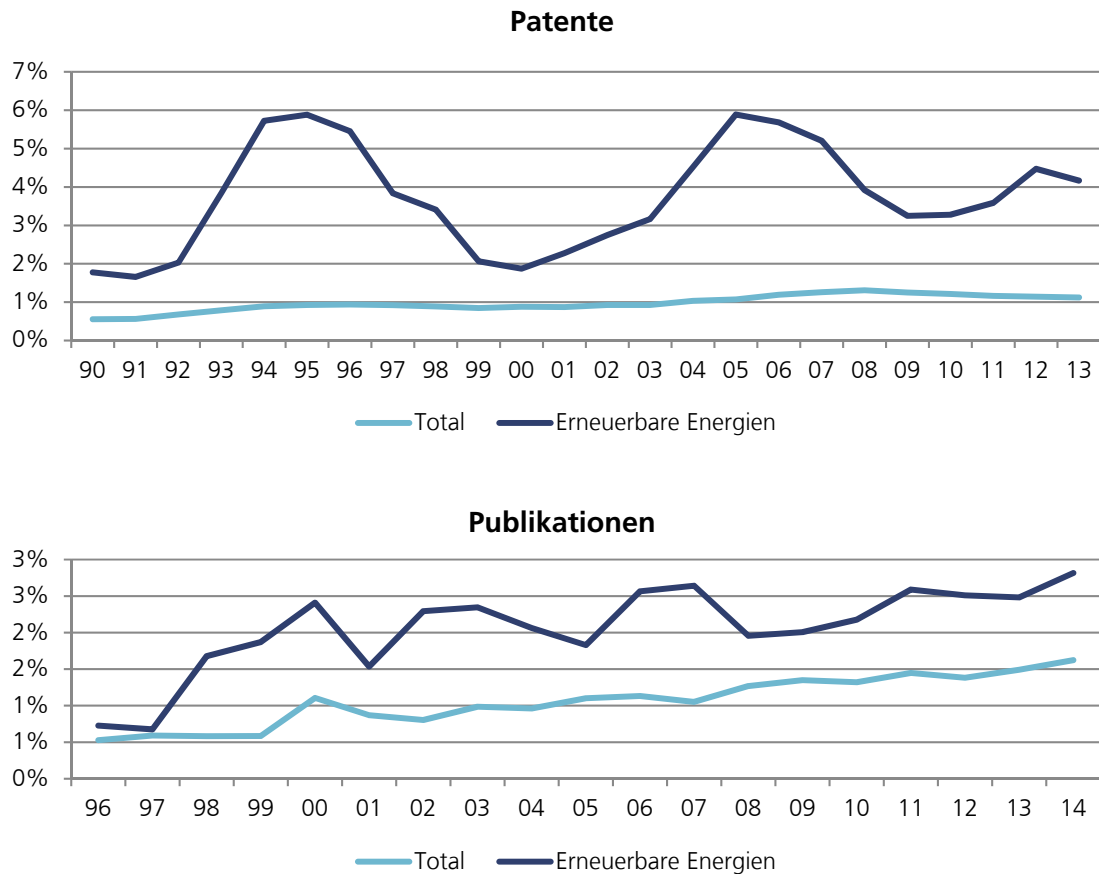
Quelle: EPA – PATSTAT, SCOPUS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Insgesamt zeigt sich, dass bis etwa Mitte der 1990er Jahre eine lange Phase des Nischendaseins gefristet wurde und dann ein erster Aufwuchs bis etwa zu den Jahren 2001/2002 stattgefunden hat – wesentlich angetrieben durch Patentanmeldungen und wissenschaftliche Publikationen aus Deutschland. Hier nahm die Fraunhofer Gesellschaft mit vergleichsweise hohen weltweiten Patentanteilen bereits Mitte der 1980er Jahre eine hervorgehobene Stellung ein (siehe unterer Teil der Abbildung). Nach einer sehr kurzen Phase der Ernüchterung fand ein sehr schneller Aufwuchs sowohl der Patente als auch der Publikationen statt, der bezüglich der Patente etwa bis zum Jahr 2009 andauerte – einerseits dem Jahr der weltweiten Finanzkrise, aber auch einem Jahr, in dem gerade die Photovoltaik-Branche durch den Kapazitätsaufbau in China bereits deutlich beeinflusst wurde. Durch eine hohe technologische Reife sowie durch Skalenerträge fand ein schneller Preisverfall der Module statt und der Markt entwickelte sich von einem überwiegend technologie-/innovationsgetriebenen zu einem stärker durch Preiswettbewerb bestimmten Markt. Zu diesem Zeitpunkt kam etwa ein Drittel der weltweiten Nachfrage nach Photovoltaik-Modulen alleine aus Deutschland (Frietsch 2014). Die durch die Einspeisetarife erzeugte hohe Nachfrage konnte durch das Angebot aus Deutschland allein gar nicht gedeckt werden. Dies ist ein Effekt, der auch für die Windenergie in den frühen 2000er Jahren diskutiert wurde.

Auch bei Windenergie haben die schnellen technologischen Entwicklungen zum Eintritt in die breite Diffusionsphase geführt. Zwar werden auch weiterhin kapazitativ ansteigende Anlagen entwickelt und installiert, was weiterer – jedoch im Wesentlichen inkrementeller – Entwicklungen bedarf. Die technologischen Herausforderungen bei den Erneuerbaren Energien haben sich denn auch von der Stromerzeugung stärker hin zur Speicherung, Verteilung und Steuerung verschoben.

Die Analyse der Stichworte in den ersten drei Entwicklungsphasen im Vergleich zu den Phasen vier bis fünf/sechs zeigt auch hier eine Veränderung der Schwerpunkte. Waren es in der ersten Hälfte noch Stichworte wie "electrically", "thermal", "heat" oder "temperature", die eher grundlegende Fragen der Konstruktion von Photovoltaik- und Solaranlagen betrafen, so sind es im zweiten Zyklus Begriffe wie "photovoltaic", "solar", "module", "emitter" oder "doping", die eher ganze Anlagen und deren Effizienzsteigerung betreffen. Hinzu kommt beispielsweise auch der Begriff "silicon", der eine Veränderung auch bei den Materialien andeutet.

Abbildung 11: Anteile von Fraunhofer an allen deutschen Patenten und Publikationen im Bereich Erneuerbare Energien



Quelle: EPA – PATSTAT, SCOPUS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Der Beitrag der Fraunhofer-Gesellschaft zu den Patenten und Publikationen in Deutschland ist in Abbildung 11 abgetragen. Während die Patentanteile in den frühen Jahren bereits deutlich oberhalb des durchschnittlichen Fraunhofer-Beitrags zu den deutschen Patenten liegen – dieser liegt bei ca. 0,5-1%, neuerdings bei 1,3% – führt der erste deutliche Aufschwung der Anmeldezahlen zunächst zu einem Rückgang der Fraunhofer-Anteile an den deutschen Patenten, obwohl in diesem Zeitraum auch Fraunhofer seine Anmeldungen steigert. Hier waren aber erste Unternehmen deutlich aktiver und haben den Solarstrom-Markt bereits technologisch erschlossen. Zu diesem Zeitpunkt kam fast ein Fünftel der weltweiten Patentanmeldungen in den Erneuerbaren Energien aus Deutschland. In der Ernüchterungsphase konnte Fraunhofer seine Patentanteile wieder deutlich steigern bis etwa zum Ende der vierten Phase ehe dann die breite technologische Diffusion und ein erneut gesteigertes Engagement der Unternehmen einsetzten. Über den gesamten Zeitraum hatte Fraunhofer überdurchschnittliche Anteile und auch bei den wissenschaftlichen Publikationen, die bei dem stark

durch den Markt und die erzeugte Nachfrage getriebenen Technologiefeld in ihrem Kurvenverlauf den Patentkurven tendenziell nach- und nicht etwa vorauslaufen, hat Fraunhofer hohe und steigende Anteile, die oberhalb des Gesamtbeitrags (ca. 1-1,5%) liegen. Die Differenz der Anteile bei Patenten und Publikationen unterstreicht die Anwendungsorientierung der Fraunhofer-Gesellschaft in diesen Technologien.

2.4 Mittelfristige Technologielinien

Die in den vorigen Abschnitten dargestellten Technologielinien haben die Zyklen des Modells nach Meyer-Krahmer und Dreher (2004) im Wesentlichen durchlaufen. Sie befinden sich in den Phasen fünf oder sechs der Technologieentwicklung. Fraunhofer hat aber auch weitere Themen und Technologielinien im Forschungsportfolio, die derzeit noch nicht alle Stadien durchlaufen haben, die aber in absehbarer Zeit eine entsprechende breite Diffusion und ein schnelles Anwachsen der Patentanmeldungen aus Unternehmen erwarten lassen.

Beispiele für solche Technologielinien, bei denen ein Impact von Fraunhofer erwartet werden kann, sind in Abbildung 12 dargestellt. Die gestrichelte senkrechte Linie stellt den Anteil von Fraunhofer an den gesamten deutschen Patentanmeldungen von ca. 1.1% dar. Es zeigt sich, dass Fraunhofer in allen Technologiefeldern überdurchschnittliche Anteile erreicht, wobei in der jüngeren Vergangenheit – an dieser Stelle ist keine Zeitreihe, sondern auf Grund der Fallzahlen und der noch nicht abgeschlossenen Entwicklung der Technologielinien nur ein längerer Zeitraum dargestellt – die Anteile in manchen Technologiefeldern rückläufig sind. Somit steigen die Anteile der Wirtschaft, was auf den Beginn der Diffusion hindeutet, also ein Ende der Phase vier und einen Übergang zur Phase fünf des Aufstiegs andeutet.

In der Nano-Elektronik erreicht Fraunhofer derzeit besonders hohe Anteile von etwa 3,6%. Hier wird die Entwicklung also maßgeblich mitbestimmt. Die zukünftigen Materialien sind eine Fortführung der bestehenden starken Kompetenzen von Fraunhofer im Bereich der Materialforschung und beschäftigen sich aktuell insbesondere mit nachwachsenden Rohstoffen und mit besonderen Eigenschaften solcher neuen Werkstoffe.

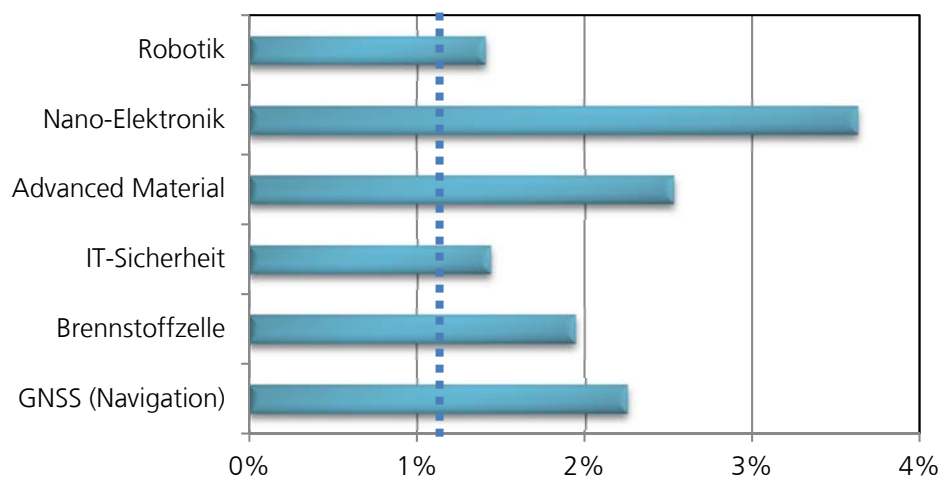
Die Brennstoffzelle ist in der mobilen (bspw. im Auto) wie in der stationären Anwendung kurz vor der Serienreife. Auf Grund der zeitlichen Verzögerung der Patentstatistiken ist die Lücke tatsächlich auch bereits deutlich kleiner und es könnten bereits in den kommenden 1-2 Jahren die Serienfahrzeuge ebenso wie Anlagen für die stationäre, dezentrale Stromerzeugung in die Serie gehen. Die Reaktionszeiten der Brennstoffzellen sowie die verwendeten Materialien waren dabei einige der technischen Herausforderungen, die in der jüngeren Vergangenheit beforscht wurden.

GNSS (Global Navigation and Satellite Systems) ist in Form des Navigationsgeräts in den Autos und mittlerweile sogar in den Mobiltelefonen im Alltag präsent. Dennoch bestehen weiterhin Herausforderungen beispielsweise bezüglich Präzision, Verfügbarkeit und Verarbeitung der Informationen, die in einzelnen neuen Anwendungen deutlich größer sind als für die Straßenverkehrsnavigation, wie wir sie heute kennen. Neben den Anforderungen mit Blick auf das autonome Fahren ist auch die Navigation in Gebäuden ein weiterhin zu beforschendes Feld.

Robotik und IT-Sicherheit sind einerseits Technologielinien, die bereits diffundieren und bezüglich derer andererseits auch für neue Anwendungen noch offenen Fragen beantwortet werden müssen.

In all diesen Feldern ist Fraunhofer gut vorbereitet. Fraunhofer hat sich in den letzten Jahren nicht nur die Grundlagen erarbeitet, sondern wartet bereits mit anwendungsnahen Lösungen auf. Zu den von Fraunhofer wahrgenommenen Aufgaben in diesen Technologiefeldern gehören dabei die wissenschaftliche Ausbildung in der Anwendung als auch der Aufbau technologischer Kompetenzen in Deutschland.

Abbildung 12: Anteile von Fraunhofer an den Patentanmeldungen deutscher Anmelder, 2006-2013



Quelle: EPA – PATSTAT, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

2.5 Kurzfristige Technologielinien

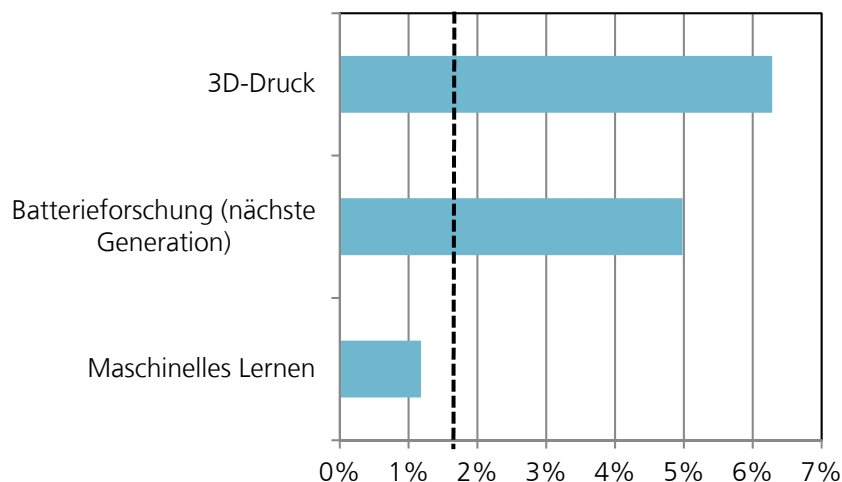
Es sind weitere Technologielinien bzw. Themen auf der Agenda von Fraunhofer, die jedoch noch etwas weiter von der breiten Diffusion entfernt sind und die sich tendenziell eher noch im ersten, nämlich dem erkenntnisorientierten Zyklus befinden. Hierzu gehören beispielsweise der 3D-Druck, Maschinelles Lernen oder auch die nächste

Generation der Batterien, die statt auf Lithium-Ionen- auf Lithium-Sulfur oder Lithium-Luft basieren werden.

Auf Grund der derzeit noch wenig fortgeschrittenen technologischen Entwicklungen in diesen Bereichen lassen sich die Patentdaten noch nicht hinreichend stabil bewerten, weshalb an dieser Stelle ausschließlich die Publikationszahlen berichtet werden. In Abbildung 13 sind die Anteile von Fraunhofer an den wissenschaftlichen Publikationen von Deutschland insgesamt für den Zeitraum 2010-2014 angegeben. Wie sich zeigt sind im Bereich 3D-Druck und Batterieforschung deutlich überdurchschnittliche Anteile von Fraunhofer zu verzeichnen – Fraunhofer hat einen Gesamtanteil an den deutschen Zeitschriftenveröffentlichungen von ca. 2%.

Bei Fraunhofer werden derzeit somit die Grundlagen für die Anwendungen der Zukunft in diesen Bereichen beforscht. Der 3D-Druck ist ein zentraler Bestandteil der additiven Fertigung und verspricht in einzelnen Branchen die Individualisierung und Nutzerorientierung (Customization) zu erhöhen. Für die zukünftigen Batterien sind die Anforderungen an Gewicht und Leistungsfähigkeit sowie an Materialeffizienz zu erfüllen. Beim Machine Learning kann Fraunhofer derzeit keine überdurchschnittlichen Anteile an den Veröffentlichungen vorweisen, u.a. weil es für Fraunhofer hier bereits sehr konkret um die Umsetzung dieser Fragen im Kontext von Big Data Lösungen geht und weniger um das breite Thema Machine Learning insgesamt, das von Hochschulen und grundlagenorientierten Forschungseinrichtungen weltweit sehr intensiv beforscht wird. Bei Fraunhofer werden daneben die Anforderungen an die Datenverarbeitung der Zukunft beispielsweise im Kontext der Produktionsprozessesteuerungen bearbeitet.

Abbildung 13: Anteile von Fraunhofer an den wissenschaftlichen Publikationen Deutschlands, 2010-2014



Quelle: Elsevier – SCOPUS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

3 Mikroökonomischer Beitrag der Fraunhofer-Gesellschaft

Innerhalb dieses Kapitels wird analysiert, ob Unternehmen, die mit Fraunhofer-Instituten in Forschungsprojekten kooperieren, im Hinblick auf ihre Innovationsfähigkeit besser aufgestellt sind als vergleichbare Unternehmen, die derzeit oder in der Vergangenheit nicht mit Fraunhofer kooperiert haben. Dies dient dazu, den betriebswirtschaftlichen Impact der Fraunhofer-Gesellschaft abzuschätzen bzw. die Frage zu beantworten, ob und wie Unternehmen von einer Zusammenarbeit mit einem Fraunhofer-Institut profitieren.

Basis für diese Analysen ist die deutsche Erhebung des European Manufacturing Survey, die im deutschen Raum unter dem Titel "*Modernisierung der Produktion (kurz: PI-Umfrage)*" vom Fraunhofer ISI durchgeführt wird. Dabei handelt es sich um eine repräsentative Erhebung im deutschen Verarbeitenden Gewerbe, die seit 1993 im dreijährigen Rhythmus durchgeführt wird. Die Anzahl der analysierbaren Unternehmen liegt bei >1.500 Unternehmen.

Abbildung 14: Erfassungslogik der Datenbasis "Modernisierung der Produktion" des Fraunhofer ISI



Quelle: Darstellung des Fraunhofer ISI.

Die PI-Umfrage erfasst das Innovationsverhalten sowie die Innovations- und Leistungsfähigkeit von Betrieben des Verarbeitenden Gewerbes in Deutschland. Sie "durchleuchtet" die Betriebe und erfasst deren Innovationsverhalten entlang der Innovationsfelder "Produktinnovation", "technische Prozessinnovationen", "organisatorische Innovationen" und "Dienstleistungsinnovationen" nicht nur mittels Input und Output der Innovationsaktivitäten, sondern ist in der Lage, das Innovationsverhalten im Detail zu

analysieren. So können beispielsweise dezidierte Aussagen über den Modernisierungsgrad der Produktion (z.B. Einsatz innovativer Fertigungstechnologien wie Roboter, Einsatz von Ressourceneffizienztechnologien, innovative Formen der Produktionsorganisation), über die Organisation der Produktion (z.B. Lean-Management) oder die Ausgestaltung des Geschäftsmodells (z.B. das Angebot von Dienstleistungen) getätigt werden.

Der PI-Datensatz erlaubt es zu untersuchen, ob Unternehmen, die mit Fraunhofer kooperieren, geneigter sind, Produktions- und Entwicklungskapazitäten am Standort Deutschland zu erhalten bzw. auszubauen, oder ob sie die entsprechenden Ressourcen ins Ausland verlagern. Das gesamte Leistungsspektrum der Fraunhofer-Gesellschaft kann abgebildet werden, da viele Fraunhofer-Institute, vor allem die des Produktionsverbundes, die kooperierenden Unternehmen nicht nur im Hinblick auf Produktinnovationen, sondern auch im Hinblick auf die Entwicklung und Umsetzung technischer und organisatorischer Prozessinnovationen unterstützen.

Fragen zur Kooperation mit Fraunhofer sowie weitere Fraunhofer-interne Kennzahlen sind in der PI-Umfrage nicht enthalten. Daher wurden Fraunhofer-interne Informationen (SIGMA-Daten) mit Hilfe eines String-Matching Algorithmus mit den Daten der PI-Umfrage zusammengeführt. Zusätzlich wurden Informationen über Verbundprojekte einzelner Fraunhofer-Institute aus dem Förderkatalog des Bundes mit Hilfe des gleichen Verfahrens zugespielt. Es lassen sich somit in der PI-Datenbasis Unternehmen identifizieren, die in einem bestimmten Zeitraum – hier wurde ein Zeitfenster von 3 Jahren angenommen – mit Fraunhofer kooperiert und solche, die nicht mit einem Fraunhofer-Institut entweder in einem Auftragsforschungs- oder einem öffentlich geförderten Verbundprojekt zusammengearbeitet haben. Zusätzlich sind so auch Unternehmen identifizierbar, die mit anderen Forschungseinrichtungen oder anderen Unternehmen, nicht jedoch mit Fraunhofer eine Kooperationsbeziehung eingegangen sind. Die Kooperationsvariable mit den Informationen "Kooperation mit Fraunhofer (Auftragsforschung, Verbundprojekt)", "Kooperation mit Dritten" und "keine Kooperation") dient als zentrale Unterscheidungsvariable für die folgenden Analysen. Mittels deskriptiver Statistiken und multivariater Regressionsmodelle wird überprüft, ob eine Kooperation mit Fraunhofer bestimmte Effekte mit sich bringt.

Zur Absicherung der Ergebnisse wird im zweiten Schritt ein "Matched Pair" Ansatz herangezogen, d.h. für jedes mit Fraunhofer kooperierende Unternehmen wird in dem PI-Datensatz ein statistischer Zwilling identifiziert, der nicht mit Fraunhofer kooperiert, aber hinsichtlich bestimmter Strukturmerkmale (z.B. Branche, Größe, Produkt, Produktkomplexität usw.) dem mit Fraunhofer kooperierenden Unternehmen sehr ähnelt.

So kann der Einfluss der Kooperation mit Fraunhofer auf das Innovationsverhalten belastbar und nach verschiedenen Effekten detailliert geschätzt werden.

Die Effekte einer Kooperation wirken sich erfahrungsgemäß zunächst eher auf operative Leistungsindikatoren, z.B. die Hervorbringung von Produktneuheiten oder Marktneuheiten, oder den Einsatz von innovativen Techniken und Organisationsformen aus als auf hochaggregierte und nachlaufende Indikatoren, wie Umsatzrendite oder Innovationsquoten. Insofern sind es diese Prozesskennziffern, die im Zentrum der Untersuchung stehen. Hier kann ein positiver Einfluss von Fraunhofer erwartet werden.

3.1 Deskriptive Analysen

Bevor die Ergebnisse der Analysen dargestellt und interpretiert werden, ist zunächst ein Überblick über die analysierten Datensätze notwendig, um die Ergebnisse besser einordnen zu können. Dies ist in Tabelle 1 dargestellt.

Im oberen Teil der Tabelle sind zunächst die Wellen⁹ der Befragung mit der Anzahl der befragten Unternehmen abgetragen, zu denen die relevanten Informationen zur Kooperation mit Fraunhofer-Instituten verfügbar sind.¹⁰ Mit Ausnahme des Jahres 2015 können für alle Befragungswellen ca. 1.500 Unternehmen analysiert werden. Es zeigt sich jedoch, dass der Anteil der Unternehmen, die mit Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft kooperieren, über die Zeit leicht rückläufig ist. Der Anteil der erfassten Kooperationspartner geht von 24,1% auf 15,5% zurück.¹¹ Gleichzeitig belegen die internen Controlling-Daten, dass die Zahl der Anzahl der Projekte steigt, d.h. es werden zwar insgesamt weniger Partner, mit diesen wird aber intensiver zusammen gearbeitet. Dies stimmt mit Ergebnissen aus der empirischen Literatur überein, wonach die Innovatorenquote in Deutschland rückläufig ist und sich sowohl die FuE-Ausgaben als auch

⁹ Die befragten Unternehmen sind über die Wellen hinweg unterschiedlich. Es handelt sich also nicht um einen Paneldatensatz sondern um einzelne Querschnittsdatsätze, was die Vergleichbarkeit über die Wellen hinweg erschwert und Zeitreihenanalysen ausschließt. Generelle Trends sind jedoch auch über die Zeit hinweg ablesbar.

¹⁰ Die Fallzahl ist etwas geringer als die Anzahl der analysierbaren Unternehmen in der PI-Umfrage, da die Ergebnisse auf einem Matching der PI-Daten mit externen Datenquellen beruhen. Beim Matching wurde darauf geachtet nur "sichere" Treffer auszuwählen. Bei unsicheren Informationen wurde die Fraunhofer-Kooperationsvariable als "nicht verfügbar" kategorisiert und damit nicht in die Analyse aufgenommen.

¹¹ Dabei muss bedacht werden, dass die Ergebnisse auf zusammengeführten Daten aus mehreren Quellen basieren. Diese Zusammenführung ist notwendigerweise mit Fehlzuordnungen oder "nicht gefundenen Treffern" verbunden. Hierbei entsteht ein Optimierungsproblem, das dazu führt, dass ein automatisiertes Matching zweier oder mehrerer Datensätze nie eine Abdeckung von 100% erreichen kann.

die Innovationsaktivitäten stärker konzentrieren, insbesondere auf Großunternehmen (Schubert/Rammer 2016). Damit wird der Kreis der FuE-treibenden Unternehmen und auch der potenziellen Kooperationspartner in FuE-Projekten für Fraunhofer immer kleiner. Im Gegenzug betreiben aber jene Unternehmen, die auch weiterhin unmittelbar innovations-aktiv sind, ihre Aktivitäten intensiver. Insgesamt wird also nicht weniger Forschung und Entwicklung betrieben. Vielmehr wird Forschung und Entwicklung von weniger Akteuren umso intensiver betrieben. Ein weiterer Grund für den Rückgang der Kooperationsanteile ist die Beschränkung der PI-Umfrage auf Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes. Neben dem bereits angesprochenen Intensivierungseffekt kann auch die Erschließung neuer Märkte bzw. Kunden im Bereich von High-Tech Dienstleistungen abnehmende Kooperationsanteile mit dem Verarbeitenden Gewerbe begründen. Diese Effekte sind mit den vorliegenden Daten jedoch nicht untersuchbar.

Im unteren Teil der Tabelle sind zentrale bibliographische Merkmale der Unternehmen des Jahres 2012 dargestellt. Hier wird deutlich, dass – gemessen am Umsatz sowie an der Mitarbeiterzahl – größere Unternehmen stärker mit der Fraunhofer-Gesellschaft kooperieren als kleinere Unternehmen. Zusätzliche Auswertungen (Tabelle 2) zeigen, dass dies besonders auf die Unterscheidung zwischen Groß- (>250 Beschäftigte) und Kleinunternehmen (<50 Beschäftigte) zutrifft. Bei den mittelgroßen Unternehmen (50-249 Beschäftigte) unterscheiden sich die Anteile der Unternehmen die mit Fraunhofer kooperiert haben nur sehr geringfügig von den Anteilen der Unternehmen, die nicht mit Fraunhofer kooperiert haben. Trotz allem zeigt sich, dass 21,1% aller Kooperation mit Fraunhofer auf Kleinunternehmen (<50 Beschäftigte) und 45,8% auf mittelgroße Unternehmen (50-249 Beschäftigte) entfallen. Dies wiederum deutet auf die Stärke der Fraunhofer-Gesellschaft im Kooperationsverhalten mit deutschen KMU hin.

Das Unternehmensalter spielt im Bezug auf das Kooperationsverhalten jedoch so gut wie keine Rolle (Tabelle 1). In der Tabelle wird außerdem deutlich, dass mit Fraunhofer kooperierende Unternehmen einen höheren Umsatz, eine höhere Arbeitsproduktivität und insbesondere höhere Produktinnovatorenanteile erreichen als die Vergleichsunternehmen, die nicht mit Fraunhofer zusammenarbeiten. Dies ist in großen Teilen über die Unternehmensgröße vermittelt, da im analysierten Datensatz größere Unternehmen deutlich häufiger mit Fraunhofer kooperieren als kleine Unternehmen.

Die Verteilung der mit Fraunhofer kooperierenden Unternehmen über die Branchen des Verarbeitenden Gewerbes (Tabelle A1) zeigt, dass besonders Unternehmen aus der Chemie, der Elektrotechnik und dem Maschinen- und Fahrzeugbau mit Fraunhofer-Instituten kooperieren. Die Anteile mit Fraunhofer kooperierender Unternehmen in anderen Branchen des Verarbeitenden Gewerbes sind deutlich geringer.

In Bezug auf die Beschäftigung zeigt sich, dass Unternehmen, die mit Fraunhofer kooperieren, prozentual mehr Hochschulabsolventen beschäftigen und einen höheren Anteil an FuE-Personal aufweisen. Auch ein leicht höherer Anteil von Personal in Konstruktion, Gestaltung, Design kann festgestellt werden, während sich die Anteile von Meistern/Technikern kaum zwischen Unternehmen unterscheiden, die mit der Fraunhofer-Gesellschaft kooperieren bzw. dies nicht tun.

Tabelle 1: Zusammenfassende Statistiken und Datensatzübersicht

Kooperation mit Fraunhofer	2006		2009		2012		2015	
	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
nein	1.262	75,9	1.154	77,8	1.258	78,9	930	84,5
ja	401	24,1	330	22,2	336	21,1	171	15,5
Gesamt	1.663	100	1.484	100	1.594	100,0	1101	100

	2012		
	N	nein	ja
Umsatz 2011 [Mio. Euro]	1.470	30,5	94,8
Umsatz 2009 [Mio. Euro]	1.432	31,7	79,2
Beschäftigte 2011	1.594	166,0	439,4
Beschäftigte 2009	1.477	207,4	446,2
Arbeitsproduktivität (Umsatz-Vorleistung je MA) [Tsd. Euro]	1.148	90,6	100,9
Entwicklung der Beschäftigten zw. 2009 und 2011 [% pro Jahr]	1.477	3,3	4,4
Entwicklung des Umsatzes zwischen 2009 und 2011 [% pro Jahr]	1.426	12,5	15,9
Fertigungstiefe [(Umsatz-Vorleistung)/Umsatz]	1.148	0,6	0,6

Quelle: ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion*, BMBF Förderkatalog, SIGMA, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Tabelle 2: Fraunhofer Kooperationen nach Betriebsgröße

% innerhalb von Kooperation mit FhG	Betriebsgröße kategorisiert		
	bis 49 Beschäftigte	50 bis 249 Beschäftigte	250 oder mehr Beschäftigte
nein	46,4%	43,9%	9,7%
ja	21,1%	45,8%	33,0%
Gesamt	41,1%	44,3%	14,6%

Quelle: ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion*, BMBF Förderkatalog, SIGMA, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Der Grund hierfür ist an vier Zusammenhängen festzumachen, die im Zuge der Analyse sichtbar wurden.

1. Vor allem innovative Unternehmen und Unternehmen mit vergleichsweise hohen FuE-Ausgaben kooperieren mit Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft.
2. Unternehmen, die mit Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft kooperieren, stehen im Durchschnitt häufiger am Anfang oder in der Mitte der Wertschöpfungskette, d.h. sie operieren stärker auf Business-to-Business (B2B) Basis, als Unternehmen die nicht mit Fraunhofer kooperieren. Umgekehrt kooperieren Unternehmen, die für Endkunden produzieren weniger häufig mit Fraunhofer-Instituten.
3. Unternehmen, die mit Fraunhofer kooperieren, setzen stärker Hochtechnologie (Robotik, digitalisierte Produktion) in ihrer Produktion ein.
4. Mit Fraunhofer-Instituten kooperierende Unternehmen sind generell kooperationsfreudiger, als Unternehmen, die nicht mit Fraunhofer kooperieren.

Forschung und Innovation

Diese Zusammenhänge lassen sich belegen. Tabelle 3 zeigt, dass Unternehmen, die mit Fraunhofer kooperieren, signifikant¹² häufiger Forschung und Entwicklung betreiben als Unternehmen, die nicht mit einem Fraunhofer-Institut kooperieren. Dieser Zusammenhang ist für alle abgefragten Jahre und in allen Wellen der Befragung (außer 2006) nachweisbar. Zudem bringen Unternehmen, die mit Fraunhofer zusammenarbeiten, signifikant häufiger Produktneuheiten, Marktneuheiten sowie neue produktbegleitende Dienstleistungen hervor und haben seltener Produkte im Portfolio, die sie schon seit über zehn Jahren anbieten. Auch ein Fokus auf die Entwicklung neuer Produkte lässt sich erkennen. Besonders jene Unternehmen, die neue Produkte hervorbringen, arbeiten häufiger mit Fraunhofer zusammen, während dieser Unterschied in anderen Innovationsfeldern (Prozess-, Organisations-, Marketinginnovationen) nicht ganz so stark ausfällt.

Dies spiegelt sich auch in den Wettbewerbsfaktoren der Unternehmen wider. Unternehmen, die mit der Fraunhofer-Gesellschaft kooperieren, sehen häufiger innovative Produkte sowie hohe Produktqualität als wesentliche Wettbewerbsfaktoren an, um sich von der Konkurrenz abzugrenzen. Umgekehrt spielen der Preis der Produkte, Termintreue, kurze Lieferzeiten, sowie spezielle Dienstleistungen und Services häufiger bei Unternehmen eine zentrale Rolle im Wettbewerb, die nicht mit Fraunhofer kooperieren. Diese stellen für Unternehmen, die mit Fraunhofer kooperieren, weniger relevante Wettbewerbsfaktoren dar.

¹² Alle deskriptiven Auswertungen wurden auf ein 5%-Signifikanzniveau getestet.

Tabelle 3: Forschung und Innovation in Kooperation mit der Fraunhofer-Gesellschaft

% innerhalb von Kooperation mit Fraunhofer	<u>Forschung und Entwicklung 2011 (intern/extern)</u>		<u>Hervorbringung von Produktneuheiten (neu für das Unternehmen)</u>		<u>Hervorbringung von Marktneuheiten (neu für den Markt)</u>		<u>Neue produktbegleitende Dienstleistungen</u>	
	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja
nein	61,8%	38,2%	47,0%	53,0%	53,2%	46,8%	84,1%	15,9%
ja	27,3%	72,7%	23,5%	76,5%	34,9%	65,1%	75,1%	24,9%
Gesamt	54,5%	45,5%	42,0%	58,0%	48,1%	51,9%	82,1%	17,9%
% innerhalb von Kooperation mit Fraunhofer	<u>Wichtigstes Innovationsfeld</u>							
		neue DL-Angebote		neue Organisationskonzepte		neue technische Produktionsprozesse		neue Produkte
nein		6,9%		9,5%		30,2%		53,4%
ja		3,9%		5,5%		21,4%		69,2%
Gesamt		6,3%		8,7%		28,3%		56,8%

Quelle: ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion*, BMBF Förderkatalog, SIGMA, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Wertschöpfungskette und Produktkomplexität

In Tabelle 4 wird deutlich, dass Unternehmen, die mit Fraunhofer-Instituten kooperieren, stärker im B2B Bereich tätig sind als Unternehmen, die nicht mit einem Fraunhofer-Institut kooperieren. Sie stehen somit häufiger am Anfang oder in der Mitte der Wertschöpfungskette als nicht-kooperierende Unternehmen. Dies wird vor allem bei den Systemzulieferern deutlich. 19,9% der mit Fraunhofer kooperierenden Unternehmen sind Systemzulieferer, während dieser Anteil in der Vergleichsgruppe nur bei 11,8% liegt. Ähnliche Zusammenhänge zeigen sich bei den Endproduzenten für Kunden sowie bei den Lohnfertigern. In beiden Fällen ist der Anteil der mit der Fraunhofer-Gesellschaft kooperierenden Unternehmen nur etwa halb so hoch wie der Anteil der Unternehmen die nicht mit Fraunhofer kooperieren. Diese Zusammenhänge sind über alle Wellen der Befragung erkennbar (außer 2006, dort war die Frage nicht verfügbar). Bei Teil- und Komponentenzulieferern ergibt sich kein signifikanter Unterschied, was auch für die Endproduzenten für Betriebe gilt.

Ein zusätzlicher Hinweis auf die Stellung in der Wertschöpfungskette ergibt sich bei der Komplexität der Produkte, die die Unternehmen herstellen (unterer Teil von Tabelle 4). Unter den kooperierenden Unternehmen finden sich fast doppelt so häufig Hersteller komplexer Produkte, während Produzenten einfacher Erzeugnisse und – in abgeschwächter Form – Produzenten von Erzeugnissen mittlerer Komplexität deutlich seltener mit Fraunhofer-Instituten kooperieren.

Tabelle 4: Stellung in der Wertschöpfungskette und Produktkomplexität

<u>Kooperation mit Fraunhofer</u>				
		nein	ja	Gesamt
Zulieferer	nein	51,4%	46,4%	50,3%
	ja	48,6%	53,6%	49,7%
Systemzulieferer	nein	88,2%	80,1%	86,5%
	ja	11,8%	19,9%	13,5%
Teile-/Komponentenzulieferer	nein	69,2%	68,2%	69,0%
	ja	30,8%	31,8%	31,0%
Endproduzent	nein	39,8%	46,7%	41,2%
	ja	60,2%	53,3%	58,8%
Endproduzent für Betriebe	nein	58,8%	57,1%	58,4%
	ja	41,2%	42,9%	41,6%
Endproduzent für Kunden	nein	75,4%	87,5%	77,9%
	ja	24,6%	12,5%	22,1%
Lohnfertiger	nein	88,9%	94,9%	90,2%
	ja	11,1%	5,1%	9,8%
% innerhalb von Kooperation mit Fraunhofer		<u>Produktkomplexität</u>		
		Einfache Erzeugnisse	Erzeugnisse mittlerer Komplexität	komplexe Produkte
nein		22,9%	52,3%	24,8%
ja		10,0%	41,8%	48,2%
Gesamt		20,2%	50,0%	29,8%

Quelle: ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion*, BMBF Förderkatalog, SIGMA, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Technologieeinsatz, Produktions- und Arbeitsorganisation

Deutliche Unterschiede bei kooperierenden und nicht-kooperierenden Unternehmen ergeben sich auch beim Technologieeinsatz sowie der Produktions- und Arbeitsorganisation der befragten Unternehmen. Die mit Fraunhofer kooperierenden Unternehmen setzen signifikant stärker auf den Einsatz von Industrierobotern in ihrer Fertigung und Montage als Unternehmen, die nicht mit Fraunhofer kooperieren. Jenseits der Fertigung finden sich häufiger automatisierte Lagerverwaltungssysteme zur Steuerung der internen Logistik und Kommissionierung, Technologien für die sichere Mensch-Maschine-Kooperation und/oder intuitive, multimodale Programmiermethoden (z.B. Spracheingabe, Gestenerkennung). Ähnliches gilt für den Einsatz moderner IT-Technologien – Schlagwort Digitalisierung. Unternehmen, die mit Fraunhofer kooperieren, setzen im Durchschnitt stärker auf Supply Chain Management-Systeme zum digitalen Austausch von Dispositionsdaten mit Zulieferern oder Kunden, Virtual Reality und/oder Simulation zur Produktionsauslegung und -entwicklung und Product Lifecycle- und Ideenmanagement-Systeme als nicht kooperierende Unternehmen. Auch das Thema Materialeinsparung von Rohstoffen, Zwischenprodukten oder Betriebsstoffen

durch Verbesserung bisher genutzter Produktionstechnologien oder der Einsatz neuer Produktionstechnologien ist bei Unternehmen, die mit Fraunhofer kooperieren wichtiger. Beim Einsatz von Technologien zur effizienteren Nutzung von Energie- und Ressourcen zeigt sich allerdings kein signifikanter Unterschied zwischen kooperierenden und nicht-kooperierenden Unternehmen.

Im Falle moderner Organisationskonzepte der Unternehmen zeigen sich ebenfalls Unterschiede zwischen Unternehmen, die mit Fraunhofer kooperieren und denen, die dies nicht tun. Kooperierende Unternehmen setzen häufiger auf Methoden des Total Quality Managements (TQM), Methoden der Wertstromanalyse/-design, Produktionssteuerung nach dem Zugprinzip (KANBAN, Null-Puffer o.ä.), Methoden der Rüstzeitoptimierung (z.B. SMED) oder Methoden des Total Productive Maintenance (TPM) zur vorbeugenden Instandhaltung. Auch bei Methoden der Arbeitsorganisation existieren deutliche Unterschiede. Mit Fraunhofer kooperierende Unternehmen setzen häufiger auf arbeitsorganisatorische Konzepte wie Verfahren zur kontinuierlichen Verbesserung (KVP, KAIZEN, Qualitätszirkel), Gruppenarbeit in der Produktion, Standardisierung bei Arbeitsanweisungen und Aufgabenintegration, bei der planende, steuernde oder kontrollierende Funktionen verstärkt beim Werksangehörigen liegen.

Kooperation

Unternehmen, die mit Fraunhofer-Instituten kooperieren, arbeiten auch häufiger mit Forschungseinrichtungen generell zusammen. Aus Tabelle 5 wird ersichtlich, dass Unternehmen, die mit Fraunhofer kooperieren, generell eine höhere Kooperationsintensität aufweisen. Dies gilt für Kooperationen mit Zulieferern oder Kunden sowie für Kooperationen mit anderen Unternehmen. In beiden Fällen finden sich sehr starke signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen, die sich über alle Wellen der Befragung replizieren lassen. Gliedert man die Kooperationsvariable noch feiner, wird deutlich, dass dieser signifikante Zusammenhang bei allen Kooperationsarten, seien es Beschaffungsoperationen, Produktionskooperationen, Vertriebs- und Distributionskooperationen sowie Servicekooperationen auftritt.

Zudem wird aus der Tabelle deutlich, dass Unternehmen, die mit Fraunhofer kooperieren, aus der Zusammenarbeit mit Forschungsorganisationen wesentliche Impulse und Ideen für neue Produkte, neue technische Produktionsprozesse, neue Dienstleistungen und neue Organisationskonzepte ziehen, wobei der Einfluss auf neue Dienstleistungen hier am geringsten ausfällt.

Auch bei der Verlagerung von FuE und Produktion ins Ausland zeigen sich signifikante Unterschiede. Unternehmen, die mit Fraunhofer-Instituten kooperieren, produzieren häufiger im Ausland und/oder haben zwischen 1999 und 2009 ihre Produktion ins Aus-

land verlagert. Auch FuE-Prozesse werden von Unternehmen, die mit Fraunhofer kooperieren häufiger ins Ausland verlagert. Dies kann jedoch auch über die Unternehmensgröße vermittelt sein, was jedoch nur mit Hilfe der folgenden multivariaten Analysen überprüft werden kann.

Tabelle 5: Kooperation, Forschungsimpulse, Verlagerung ins Ausland

FuE-Kooperation								
% innerhalb von Kooperation mit Fraunhofer	FuE-Kooperation mit Forschungseinrichtungen		FuE-Kooperation mit Zulieferer oder Kunden		FuE-Kooperation mit anderen Unternehmen			
	nein	ja	nein	ja	nein	ja		
nein	60,4%	39,6%	58,8%	41,2%	80,0%	20,0%		
ja	18,0%	82,0%	29,8%	70,2%	59,0%	41,0%		
Gesamt	51,4%	48,6%	52,8%	47,2%	75,6%	24,4%		
Impulse durch Forschungseinrichtungen								
% innerhalb von Kooperation mit Fraunhofer	für neue Produkte		für Prod. Prozesse		für neue DL		für neue Orga. Prozesse	
	nein	ja	nein	ja	nein	ja	nein	ja
nein	92,0%	8,0%	92,9%	7,1%	98,6%	1,4%	91,5%	8,5%
ja	84,0%	16,0%	82,4%	17,6%	96,3%	3,7%	84,9%	15,1%
Gesamt	90,2%	9,8%	90,6%	9,4%	98,1%	1,9%	90,1%	9,9%
Verlagerung ins Ausland								
% innerhalb von Kooperation mit Fraunhofer	Produktion im Ausland		Verlagerung Produktion (1999-2009)		FuE im Ausland			
	nein	ja	nein	ja	nein	ja		
nein	86,7%	13,3%	85,0%	15,0%	95,3%	4,7%		
ja	72,3%	27,7%	74,0%	26,0%	84,8%	15,2%		
Gesamt	83,7%	16,3%	82,6%	17,4%	93,0%	7,0%		

Quelle: ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion*, BMBF Förderkatalog, SIGMA, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

3.2 Multivariate Analysen

Basierend auf den deskriptiven Analysen wurden mehrere multivariate Modelle mit den Daten der *Modernisierung der Produktion* des Jahres 2012¹³ geschätzt, um zu testen, ob sich die deskriptiven Zusammenhänge auch unter Kontrolle weiterer Variablen, wie beispielsweise der Firmengröße, deren Wirtschaftszweig oder der Forschungs- und Entwicklungsausgaben der Unternehmen zeigen. Hierzu wurden zwei aufeinander aufbauende Verfahren angewendet. Zum einen handelt es sich hierbei um Logit-Regressionen zur Schätzung des Zusammenhangs einer Kooperation mit Fraunhofer und verschiedenen abhängigen Variablen zur Messung der Innovationsperformanz der

¹³ Die Modelle wurden auch für die anderen Wellen der Befragung geschätzt, wobei sich die grundlegenden Effekte nur geringfügig voneinander unterscheiden. Die Ergebnisse der anderen Wellen sind nicht dargestellt, aber auf Anfrage verfügbar.

Unternehmen und ihrer Kooperationsintensität. Zweitens wurden die Modelle erneut auf Basis eines Matched-Pair-Ansatzes geschätzt, bei dem die Unternehmen, die mit der Fraunhofer-Gesellschaft kooperieren direkt mit "Zwillingsunternehmen" verglichen werden.

Methode - Logit-Regressionen und Matched-Pair-Ansatz

Um die Effekte von Kooperationen mit Fraunhofer-Instituten auf verschiedene Dimensionen der Firmenperformanz zu bestimmen, stehen mehrere schätztechnische Alternativen zur Verfügung. Die hier verwendete Variante bezieht den Kooperationsdummy als zusätzliche erklärende Variable in die Regression mit dem Outputmaß als erklärte Variable ein. Ein positiv signifikanter Koeffizient des Kooperationsdummy indiziert dann einen positiven Einfluss dieser Variable auf den entsprechenden Firmenoutput.

Da es sich bei den abhängigen Variablen ausschließlich um dichotome Variablen mit den Ausprägungen "ja" (kodiert als "1") und "nein" (kodiert als "0") handelt, werden logistische Regressionsmodelle zur Schätzung der Effekte angewendet.¹⁴ Im so genannten "Logit Modell", werden die Log-Odds der abhängigen Variablen als lineare Kombination der Prädiktorvariablen modelliert, um den Effekt einer Variable dahingehend zu beurteilen, ob sie die Chance erhöht oder verringert, dass die abhängige Variable den Wert "1" annimmt (Long 1997).

Dem Basismodell liegt somit (in vereinfachter Form) folgende Regressionsgleichung zugrunde:

$$\text{Logit}(Y_{1/0} | X_i = x_i) = \beta_0 + \beta_1 \text{FhGKoop} + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

wobei Y als Platzhalter für die jeweilige abhängige Variable dient, FraunhoferKoop die dichotome erklärende Variable "Unternehmen kooperiert mit Fraunhofer" bezeichnet und $\beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$ für die Kontrollvariablen des Modells steht. Bei den Kontrollvariablen handelt es sich um die Frage, ob ein Unternehmen 2011 Forschung und Entwicklung betrieben hat, zwei Dummyvariablen, die indizieren, ob ein Betrieb einfache Erzeugnisse oder Erzeugnisse mittlerer Komplexität (im Vergleich zur Referenzkategorie "komplexe Produkte") herstellt, eine Dummyvariable zur Unterscheidung der Unternehmensgröße (0=Großunternehmen, 1= KMU<249 Beschäftigte) und drei Dummyvariablen, zur Kontrolle des Wirtschaftszweigs ("Nahrung, Textilien, Holz, Sonstige", "Chemie, Kunststoff, Gummi", "Maschinenbau, Fahrzeugbau, Metall", "Elektrotechnik, IT" (Referenzkategorie)). Zusätzlich wurde die Information, ob ein Betrieb mit Forschungseinrichtungen kooperiert als Kontrollvariable aufgenommen, um abschätzen zu können, ob eine Kooperation mit der Fraunhofer-Gesellschaft

¹⁴ Da eine Normalverteilung der Residuen und Homoskedastizität, das heißt gleiche Streuung innerhalb der Datenmessung, bei einer dichotomen abhängigen Variablen nicht gegeben sind, kann ein lineares Regressionsmodell unter Umständen zu verzerrten Schätzern führen ((Long 1997)).

über die Kooperation mit Forschungseinrichtungen hinaus einen positiven Einfluss auf die Innovationskraft der Unternehmen hat.

Bei den abhängigen Variablen handelt es sich zunächst um die Frage, ob ein Unternehmen seit 2009 Produktneuheiten eingeführt hat, die für den Betrieb neu waren oder wesentliche technische Verbesserungen enthielten. In weiteren Modellen wurden zusätzlich die Frage nach Marktneuheiten sowie neuen produktbegleitenden Dienstleistungen, Prozessinnovationen und organisatorischen Innovationen als abhängige Variablen aufgenommen. Diese Modelle dienen dazu zu testen, ob eine Kooperation mit Fraunhofer-Instituten, unter Kontrolle anderer Einflussfaktoren, einen positiven Einfluss auf die Innovationskraft der Unternehmen ausübt und bei welchen Formen der Innovation dies mehr oder weniger stark ausgeprägt ist. Um zusätzlich den Einfluss einer Kooperation mit Fraunhofer auf die Kooperationsintensität eines Unternehmens generell, d.h. mit anderen Forschungseinrichtungen, Unternehmen, Kunden etc., zu testen, wurde in einem zusätzlichen Modell die Kooperationsintensität (0=niedrig, 1=hoch) eines Unternehmens als abhängige Variable definiert.

Um die Interpretation der Effekte zu vereinfachen, werden die marginalen Effekte der jeweiligen erklärenden Variablen berechnet und ausgewiesen. Marginale Effekte bezeichnen den Effekt einer Erhöhung der erklärenden Variable um eine Einheit auf die Wahrscheinlichkeit, dass die abhängige Variable den Wert 1 annimmt, unter Konstanthaltung aller anderen Faktoren (Long/Freese 2003).

Der Nachteil der Herangehensweise über logistische Regressionen besteht jedoch in ihren starken parametrischen Annahmen (insbesondere die Linearitätsannahme bezüglich des bedingten Erwartungswertes), die zur konsistenten Schätzung notwendig sind. So genannte Matched-Pair- bzw. Matching-Ansätze erfordern vielfach weniger Annahmen als normale Regressionen und können daher robustere Ergebnisse erzielen. Diese Verfahren sind insbesondere dann relevant, wenn man sich für den Effekt einer Dummy-Variable auf eine Outcomevariable interessiert, was hier der Fall ist. Die Kernidee von Matching-Ansätzen besteht dabei darin, den Mittelwert in der Outputvariable (beispielsweise Produktinnovator ja/nein) der kooperierenden Unternehmen mit denen einer geeigneten Kontrollgruppe von nicht-kooperierenden Unternehmen zu vergleichen. Die Kontrollgruppe wird dadurch erzeugt, dass jedem kooperierenden Unternehmen ein statistischer Zwilling zugewiesen wird, der sich dadurch auszeichnet, dass er bezüglich beobachtbarer Kontrollvariablen (z.B. Anzahl Mitarbeiter, Sektorzugehörigkeit) dem kooperierenden Unternehmen möglichst ähnlich ist. Diese Ähnlichkeit kann u.a. durch multivariate Distanzmatrizen bestimmt werden. Besonders populär ist die Mahalanobis-Distanzmatrix, welche auch hier verwendet wurde. Es kann gezeigt werden, dass sich nach dem Matching in der Outcomevariable fortbestehende Unterschiede zwischen Treatment- und Kontrollgruppe als Kausaleffekt des Treatments (in diesem Fall der Fraunhofer-Kooperation) interpretieren lassen. Dieses als Nearest-Neighbour-Matching bekannte Verfahren macht dabei keine parametrischen Annahmen an die funktionale Form und kann daher als deutlich robuster als regressionsanalytische Ansätze betrachtet werden.

Zusammenfassend, wurde der Nearest-Neighbour-Matching-Ansatz auf Basis von Mahalanobis-Distanzen mit Verzerrungskorrektur, wie von Abadie et al. (2003; 2002) vorgeschlagen, verwendet. Ferner berücksichtigt der gewählte Ansatz den Einfluss des Matchings auf die asymptotischen Standardfehler der Treatment Effekte (Abadie/Imbens 2006). Dabei wurde sowohl der sogenannte Average Treatment Effect (ATE) als auch der Average Treatment Effect of the Treated (ATET) berechnet.

In Tabelle 6 sind mehrere Modelle zum Einfluss einer Fraunhofer-Kooperation auf die Firmenperformanz zusammengefasst dargestellt. Der Wert dy/dx gibt den marginalen Effekt der Fraunhofer-Kooperationsvariablen auf die abhängige Variable innerhalb des jeweiligen Modells an.¹⁵ Hier wird der signifikante Zusammenhang einer Kooperation mit der Fraunhofer-Gesellschaft und der Generierung von Produktneuheiten in Unternehmen deutlich. Unternehmen, die mit Fraunhofer kooperieren, haben eine um 10,2 Prozentpunkte erhöhte Wahrscheinlichkeit, Produktneuheiten hervorzubringen. In Bezug auf Marktneuheiten ist dieser Effekt sogar noch etwas stärker ausgeprägt und liegt bei einer um 13,2 Prozentpunkte erhöhten Wahrscheinlichkeit. Dies gilt jedoch weitestgehend für Produktinnovationen. Bei produktbegleitenden Dienstleistungen, Prozessinnovationen und organisatorischen Innovationen finden sich nur sehr kleine, nicht signifikante Unterschiede. Der positive Effekt auf Innovation ("Innovatoren jegl. Art") ist also weitestgehend auf die erhöhte Wahrscheinlichkeit von Produktneuheiten zurückzuführen.

Tabelle 6: Logit-Regressionen - Einfluss der Fraunhofer-Kooperation auf die innovative Performanz der Unternehmen

Abhängige Variable	Fraunhofer-Kooperation (ja/nein)				
	dy/dx		Std. F.	N	R ² (Gesamtmodell)
Produktneuheiten	0,102	**	0,039	1.387	0,1511
Marktneuheiten	0,132	***	0,044	798	0,0581
neue produktbegleitende DL	0,028		0,028	1.258	0,0306
Prozessinnovationen	0,001		0,025	1.397	0,0322
Organisatorische Innovationen	0,026		0,035	1.397	0,0346
Innovator (jegl. Art)	0,061	*	0,032	1.397	0,1363
Kooperationsintensität (hoch/niedrig)	-0,013		0,019	1.275	0,1828
Technologieeinsatz: Robotik	-0,026		0,037	1.341	0,0591
Technologieeinsatz: Digitalisierung	-0,021		0,040	1.307	0,0893

Quelle: ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion*, BMBF Förderkatalog, SIGMA, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Signifikanzlevel: ***<0.01, **<0.05, *<0.1.

¹⁵ Die gesamten Ergebnisse der Modelle sind im Annex dargestellt.

Auch bei der Kooperationsintensität und beim Technologieeinsatz zeigen sich in den Logit-Regressionen keine signifikanten Zusammenhänge zu einer Kooperation mit einem Fraunhofer-Institut. In Bezug auf die Kooperationsintensität kann im Gesamtmodell (Tabelle A3) ein starker signifikanter Zusammenhang mit FuE-Kooperationen mit der Forschung generell gefunden werden. Darüber hinaus scheint eine Kooperation mit der Fraunhofer-Gesellschaft jedoch keinen zusätzlichen Effekt zu haben.

Ähnliche Ergebnisse wie in den Logit-Modellen können auch mit Hilfe des Matched-Pair Ansatzes nachgewiesen werden. Hierbei unterscheidet man zwischen der Schätzung des Average Treatment Effect (ATE) und des Average Treatment Effect of the Treated (ATET). Der ATE misst die mittleren Effekte bezogen auf die gesamte Stichprobe. Es wird also die gesamte Population der Unternehmen betrachtet, egal ob sie mit Fraunhofer kooperiert haben oder nicht. Der ATET wiederum bezieht sich nur auf die Unternehmen, die mit Fraunhofer kooperiert haben und gibt deren Einfluss auf die jeweilige abhängige Variable wieder. Es wird hier also nur auf die Subpopulation der Unternehmen abgestellt, die mit Fraunhofer kooperiert haben.

Tabelle 7: Ergebnisse der Matched-Pair Modelle

	Average Treatment Effect of the Treated (ATET)			Average Treatment Effect (ATE)			N
	Coef.		Std. Err.	Coef.		Std. Err.	
Produktneuheiten	0,077	**	0,031	0,113	*	0,058	1.387
Marktneuheiten	0,086	*	0,048	0,176	***	0,053	798
neue produktbegleitende DL	0,009		0,037	0,012		0,034	1.258
Prozessinnovationen	-0,016		0,035	-0,011		0,031	1.397
Org. Innovationen	0,031		0,040	0,123	**	0,061	1.397
Innovator (jegl. Art)	0,026		0,023	0,158	***	0,027	1.397
Kooperationsintensität (hoch/niedrig)	-0,020		0,042	-0,040		0,034	1.275
Technologieeinsatz: Robotik	-0,022		0,038	0,032		0,066	1.341
Technologieeinsatz: Digitalisierung	-0,018		0,038	0,099	*	0,060	1.307

Quelle: ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion*, BMBF Förderkatalog, SIGMA, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Referenzkategorien: Produktkomplexität: Komplexe Produkte, WZ2008: "Elektrotechnik, IT".

Signifikanzlevel: ***<0.01, **<0.05, *<0.1.

Die Ergebnisse des Average Treatment Effect of the Treated (ATET) ähneln stark den Ergebnissen der Logit-Modelle. Es kann ein signifikanter Zusammenhang einer Kooperation mit der Fraunhofer-Gesellschaft und der Generierung von Produkt- und Marktneuheiten in Unternehmen nachgewiesen werden. Bei allen anderen Variablen zeigen sich unter Kontrolle der Unternehmensgröße, des Wirtschaftszweigs etc. keine signifi-

kanten Zusammenhänge. Beim Average Treatment Effect (ATE) ändert sich das Bild ein wenig. Auch hier ist der Zusammenhang einer Kooperation mit Fraunhofer und der Generierung von Produkt- und Marktneuheiten ersichtlich. Dieser Effekt zeigt sich somit über alle Modelle hinweg. Außerdem ist, wie auch im Logit-Modell, der Zusammenhang zwischen einer Fraunhofer-Kooperation und der Generierung von Innovationen generell ("Innovatoren jegl. Art") signifikant. Zudem zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang mit organisatorischen Innovationen sowie mit dem Einsatz von IuK-Technologien, wobei dieser nur schwach signifikant ausfällt und auch in den anderen Modellen nicht nachgewiesen werden konnte.

Die letzte hier betrachtete Gruppe von Modellen beschäftigt sich mit den Einflussfaktoren für eine Kooperation mit Fraunhofer. Die Kooperationsvariable fungiert hier also als abhängige Variable des Modells (Tabelle 8). Aus den Modellen wird deutlich, die sich jeweils nur in der Zusammenstellung der erklärenden Variablen unterscheiden, dass Unternehmen, die generell mit der Forschung kooperieren auch häufiger mit Fraunhofer kooperieren. Wie bereits erwähnt, ist dies ein erwarteter Effekt, der innerhalb des Modells allerdings kontrolliert werden sollte, um den Einfluss der anderen Variablen unabhängig von der generellen Neigung zur Kooperation mit der Forschung analysieren zu können. Die Modelle belegen außerdem, dass eher große und FuE-treibende Unternehmen mit Fraunhofer kooperieren. Dieser Zusammenhang wurde auch schon in den deskriptiven Auswertungen gefunden und sollte bei der Interpretation aller gefundenen Ergebnisse in Betracht gezogen werden.

Zudem bestätigen sich hier die Zusammenhänge, die in den vorigen Modellen bereits gezeigt werden konnten. Eine Fraunhofer-Kooperation ist für Unternehmen mit komplexen Produkten wahrscheinlicher als für Unternehmen, die einfache Erzeugnisse sowie Erzeugnisse mittlerer Komplexität herstellen. Außerdem arbeiten Innovatoren, besonders von Produktneuheiten, häufiger mit Fraunhofer zusammen als nicht innovierende Unternehmen. Unternehmen die Prozessinnovationen, organisatorische Innovation tätigen oder neue produktbegleitende Dienstleistungen anbieten unterscheiden sich jedoch nicht in ihrer Kooperationsintensität mit Fraunhofer. Die Unterscheidung nach Wirtschaftszweigen macht außerdem noch einmal deutlich, dass die Fraunhofer-Gesellschaft am häufigsten mit Unternehmen aus der Elektrotechnik, IuK-Branche, gefolgt vom Maschinenbau, Fahrzeugbau, Metall und der Chemie-, Kunststoff-, Gummi-Branche zusammenarbeiten. Mit Unternehmen aus den Branchen Nahrung, Textilien, Holz, Sonstige wird hingegen am seltensten zusammengearbeitet.

Tabelle 8: Logit-Regressionen – Einflussfaktoren für eine Kooperation mit Fraunhofer

Logit Modelle	aV: Kooperation mit Fraunhofer (ja/nein)					
	dy/dx	Std. F.	dy/dx	Std. F.	dy/dx	Std. F.
FuE-Koop. mit Forschung	0,165 ***	0,024	0,162 ***	0,024	0,172 ***	0,025
FUE 2011 (ja/nein)	0,072 ***	0,023	0,071 ***	0,022	0,056 **	0,025
KMU (0=Großunternehmen/1=KMU)	-0,152 ***	0,034	-0,149 ***	0,034	-0,157 ***	0,037
Produktkomplexität						
<i>Einfache Erz.</i>	-0,071 ***	0,024				
<i>Erz. mittlerer Komplexität</i>	-0,075 ***	0,021				
Innovator (ja/nein)			0,057 **	0,023		
Prozessinnovation (ja/nein)					0,011	0,026
Org. Innovationen (ja/nein)					0,026	0,022
Produktneuheiten					0,061 ***	0,023
neue produktbegleitende DL					0,011	0,026
Wirtschaftszweig (WZ2008)						
<i>Nahrung, Textilien, Holz, Sonst.</i>	-0,153 ***	0,022	-0,159 ***	0,021	-0,168 ***	0,023
<i>Chemie, Kunststoff, Gummi</i>	-0,072 ***	0,024	-0,085 ***	0,022	-0,093 ***	0,024
<i>M-Bau, Fahrzeugbau, Metall</i>	-0,063 **	0,025	-0,064 **	0,025	-0,076 ***	0,028
N		1.397		1.428		1.277
LR chi2		294,39		287,07		267,71
Prob > chi2		0,000		0,000		0,000
Pseudo R2		0,204		0,196		0,190

Quelle: ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion*, BMBF Förderkatalog, SIGMA, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Referenzkategorien: Produktkomplexität: Komplexe Produkte, WZ2008: "Elektrotechnik, IT".

Signifikanzlevel: ***<0.01, **<0.05, *<0.1.

3.3 Die Effekte der Kooperationen mit Fraunhofer auf den Unternehmenserfolg

Neben der Frage des Impacts von Fraunhofer auf die Innovationsfähigkeit von Unternehmen ist auch von Interesse, ob ein direkter Zusammenhang einer Kooperation mit Fraunhofer auf den Unternehmenserfolg – gemessen über Finanzkennzahlen – nachgewiesen werden kann. Hierzu wurden die Daten des European Manufacturing Survey mit Daten aus Bureau van Dyk's ORBIS Datenbank zusammengespielt. Innerhalb der ORBIS Datenbank liegen Informationen zu weltweit ca. 170 Millionen Unternehmen vor. Die Zusammenführung der Daten basiert auf dem bereits beschriebenen Matching-Algorithmus auf Basis des Unternehmensnamens. Der zusammengeführte Datensatz enthält somit die Daten des European Manufacturing Survey des Jahres 2012,

die Information, ob ein Unternehmen mit Fraunhofer kooperiert hat, sowie drei Finanzkennzahlen aus ORBIS¹⁶ aus dem letzten verfügbaren Jahr¹⁷:

1. Umsatz aus der Hauptgeschäftstätigkeit: Beim Umsatz sind noch keine Kosten abgezogen, d.h. dass dieses Maß in Teilen von Größen- und auch von Handelseffekten beeinflusst ist.
2. Earnings before Interest and Taxes (EBIT): Der Gewinn vor Zinsen und Steuern ist ein Maß für die Profitabilität des Geschäfts, mit dem die operativen Ergebnisse von Unternehmen ohne Einfluss durch schwankende Steuersätze oder unterschiedliche Zinssätze für Schulden verglichen werden können.
3. Return on Equity (ROE): Die Eigenkapitalrentabilität ist der Quotient aus dem Gewinn und dem Eigenkapital eines Unternehmens. Die Eigenkapitalrentabilität setzt somit den Jahresüberschuss (Gewinn) ins Verhältnis zum eingesetzten Eigenkapital.

Diese drei Variablen dienen als Ergebnisvariablen für drei Regressionsmodelle, in denen die Kooperation mit Fraunhofer als unabhängige Dummyvariable dient. Als Kontrollvariablen wurden die gleichen Variablen wie bereits bei der Schätzung des Einflusses einer Fraunhofer-Kooperation auf die Innovationsfähigkeit eines Unternehmens verwendet. Somit kann unter Kontrolle der Unternehmensgröße, des Wirtschaftszweigs etc. der Zusammenhang einer Fraunhofer-Kooperation mit dem Unternehmenserfolg geschätzt werden.

Kontrolliert man im Modell für die Unternehmensgröße, kann kein signifikanter Zusammenhang zwischen einer Kooperation mit einem Fraunhofer-Institut und dem Unternehmenserfolg nachgewiesen werden. Dies gilt für alle drei überprüften Ergebnisvariablen. Dies legt nahe, dass der Effekt einer Unternehmenskooperation sozusagen von einem Größeneffekt überstrahlt wird. Trennt man das Modell nach Großunternehmen und KMU auf, wird dies deutlich sichtbar. Die Ergebnisse für KMU sind in Tabelle 9 dargestellt¹⁸. In der Tabelle werden ein deutlicher Zusammenhang zwischen einer Kooperation mit Fraunhofer und dem Umsatz sowie dem EBIT eines Unternehmens sichtbar. KMU, die mit Fraunhofer kooperieren, haben somit in den Folgejahren einen signifikant höheren Umsatz und erwirtschaften signifikant höhere Gewinne, als Unter-

¹⁶ Die Fallzahl ist im Vergleich zu den Analysen aus den beiden vorigen Abschnitten geringer, da nicht jedes Unternehmen des European Manufacturing Survey einem Eintrag aus ORBIS zugewiesen werden konnte.

¹⁷ Hier gilt das letzte verfügbare Jahr des ORBIS-Datensatzes, somit zumeist 2013 oder 2014. Fehlende Werte wurden mit Werten des Jahres 2012 aufgefüllt.

¹⁸ Die Ergebnisse des Gesamtmodells sowie die Ergebnisse für Großunternehmen finden sich im Annex.

nehmen, die nicht mit Fraunhofer kooperiert haben. Ein Spezialfall ist die Eigenkapitalrendite (ROE). Hier zeigt sich ein zwar nicht signifikanter, jedoch negativer Zusammenhang einer Kooperation mit Fraunhofer für KMU. Dies lässt sich jedoch durch die Konstruktion des Indikators erklären, da durch eine Zusammenarbeit mit Fraunhofer Kosten für Forschung und Entwicklung entstehen. Diese gehen als Kosten mit in die Erlösrechnung ein und erhöhen das eingesetzte Eigenkapital, weshalb sich eine Kooperation mit Fraunhofer zunächst negativ auf den ROE auswirkt. In ökonomischen Untersuchungen auf Basis der deutschen Innovationserhebung (Schubert/Rammer 2016) hat sich gezeigt, dass KMU in erster Linie ihre Forschungs- und Entwicklungsausgaben aus dem Eigenkapital finanzieren. Ein FuE-Projekt – und das ist, was gemeinhin gemeinsam mit Fraunhofer durchgeführt wird – belastet also zunächst das Eigenkapital.

Tabelle 9: OLS-Regressionen – Zusammenhang des Unternehmenserfolgs von KMU und einer Kooperation mit Fraunhofer

OLS-Regression	Umsatz		EBIT		ROE	
	dy/dx	Std. F.	dy/dx	Std. F.	dy/dx	Std. F.
Fraunhofer-Koop.	198607.20 ***	75992.64	18614.42 *	10240.31	-12.42	18.80
FuE-Koop. mit Forschung	81594.76	61097.34	13080.81	9450.49	-3.75	17.35
FuE 2011 (ja/nein)	-138823.90 **	62706.54	-18991.55 **	9291.66	-11.30	17.06
Produktkomplexität						
<i>Einfache Erz.</i>	-96917.35	75279.74	-14738.06	12717.58	28.61	23.35
<i>Erz. mittlerer Komplexität</i>	-79452.26	59624.76	-11741.06	9429.28	23.77	17.31
Wirtschaftszweig (WZ2008)						
<i>Nahrung, Textilien, Holz, Sonst.</i>	66563.00	95814.97	7010.56	15093.41	-36.52	27.71
<i>Chemie, Kunststoff, Gummi</i>	156606.60 *	92952.79	23405.32	14782.87	1.86	27.14
<i>Maschinenbau, FZ-Bau, Metall</i>	26601.46	86729.16	-841.52	13171.88	2.51	24.19
Konstante	22863.92	93275.86	5985.79	14311.15	264.06 ***	26.28
N	555		413		413	
F	2.24		1.75		0.87	
Prob > F	0.023		0.085		0.543	
R2	0.032		0.033		0.017	

Quelle: ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion*, SIGMA, BvD – ORBIS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Referenzkategorien: Produktkomplexität: Komplexe Produkte, WZ2008: "Elektrotechnik, IT".
Signifikanzlevel: ***<0.01, **<0.05, *<0.1.

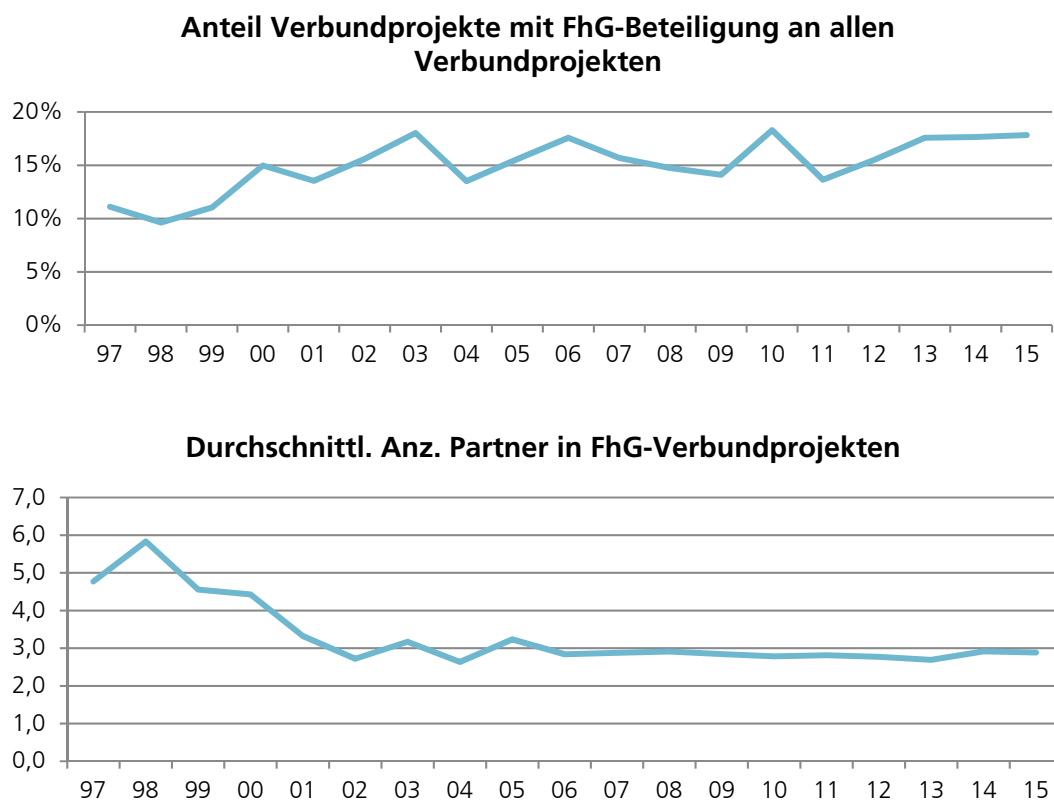
Die Effekte, die für KMU nachgewiesen werden können, zeigen sich jedoch nicht für Großunternehmen. Hier kann kein signifikanter Zusammenhang zwischen einer Kooperation mit Fraunhofer und dem Unternehmenserfolg nachgewiesen werden. Der Grund dafür ist, dass Großunternehmen viel höhere Umsätze und in der Regel auch Gewinne erwirtschaften als KMU. Im Verhältnis zu diesen Summen, fällt eine Kooperation mit

Fraunhofer deutlich weniger ins Gewicht, weshalb sich hier kein direkter Zusammenhang einer Kooperation mit Fraunhofer und dem Unternehmenserfolg nachweisen lässt. Daneben betreiben Großunternehmen eine ganze Reihe an FuE- und Innovationsprojekten, so dass der unmittelbare Effekt der Kooperation mit Fraunhofer auch hier im Allgemeinen nicht sichtbar wird.

3.4 Verbundforschung und Auftragsforschung

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt anwendungsorientierte Forschung für Unternehmen und öffentliche Auftraggeber. Um diesem Auftrag nachzukommen, nimmt sie eine Vermittlerrolle zwischen grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung ein. Fraunhofer-Institute arbeiten daher neben der Auftragsforschung für die Industrie auch häufig in Verbundforschungsprojekten mit Unternehmen in Konsortien zusammen. Die Rolle der Verbundforschung für die angewandte Forschung wird in diesem Abschnitt auf Basis der zusammengeführten Daten des Förderkatalogs des Bundes und der Fraunhofer-internen Auftragsforschungsdaten analysiert.

Abbildung 15: Verbundprojekte mit Fraunhofer-Beteiligung



Quelle: BMBF Förderkatalog, SIGMA, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

In Abbildung 15 ist der Anteil aller Verbundprojekte mit Fraunhofer-Beteiligung an allen Verbundprojekten seit 1997 dargestellt. Am aktuellen Rand ist Fraunhofer an etwa 18% aller vom Bund geförderten Verbundprojekte beteiligt. Das bedeutet, dass fast jedes fünfte Projekt mit einem Fraunhofer-Institut als Partner durchgeführt wird. Dieser Anteil hat sich über die Jahre hinweg fast verdoppelt. Im Jahr 1997 war Fraunhofer nur an ca. 10% aller Verbundprojekte beteiligt. Im unteren Teil der Grafik ist die durchschnittliche Anzahl der Partner innerhalb von Verbundprojekten mit Fraunhofer-Beteiligung abgetragen. Nach einem Absinken der Zahl Ende der 90er Jahre hat sich die durchschnittliche Zahl der Partner sehr konstant entwickelt. In den letzten zehn Jahren waren somit im Durchschnitt drei Partner in Fraunhofer-Verbundprojekten beteiligt (inklusive des jeweiligen Fraunhofer-Instituts).

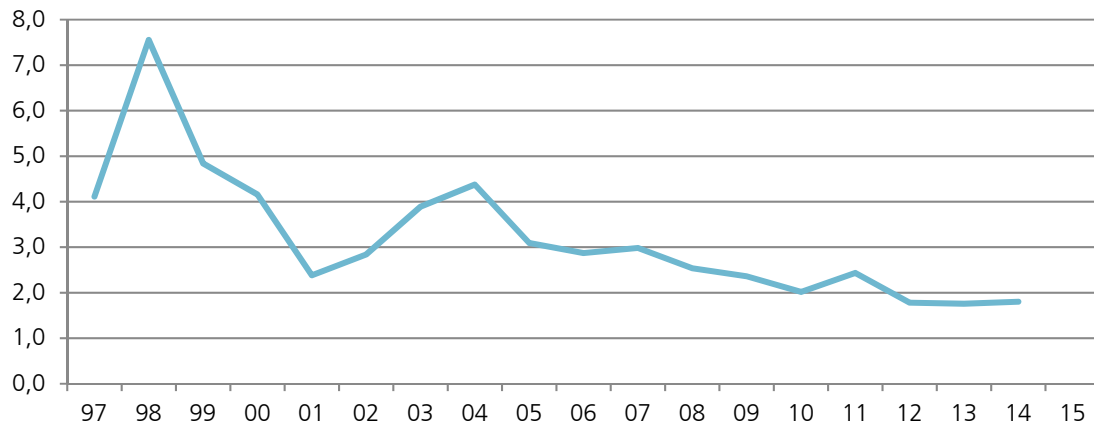
Auf Basis der vorliegenden Daten kann auch festgestellt werden, wie viele der Unternehmen mit denen Fraunhofer in Verbundprojekten kooperiert hat, innerhalb eines 5-Jahresfensters als Auftraggeber fungieren. In Abbildung 16 sind die entsprechenden Zahlen für den Zeitraum 2000-2014 abgetragen. Über den analysierten Zeitraum hinweg sind es im Durchschnitt drei Aufträge, die innerhalb von fünf Jahren nach einem Verbundprojekt vom gleichen Unternehmen an ein Institut der Fraunhofer-Gesellschaft gehen.

Mit Hilfe des zusammengeführten SIGMA/Förderkatalog-Datensatzes lässt sich auch der Zusammenhang zwischen Verbund- und Auftragsforschung beleuchten. Grundsätzlich können dabei verschiedene Faktoren und Motivationen seitens der Industrie für eine Zusammenarbeit mit der Fraunhofer-Gesellschaft ausschlaggebend sein. Auf Basis der vorliegenden Daten kann jedoch festgestellt werden, wie viele Unternehmen, mit denen Fraunhofer in Verbundprojekten kooperiert hat, innerhalb von fünf Jahren nach Projektende¹⁹ Fraunhofer einen Auftrag erteilen. In Abbildung 16 sind die entsprechenden Zahlen für den Zeitraum 2000-2014 abgetragen. Über den analysierten Zeitraum hinweg sind es im Durchschnitt drei Aufträge, die innerhalb von fünf Jahren nach einem Verbundprojekt vom gleichen Unternehmen an ein Institut der Fraunhofer-Gesellschaft gehen. Der Anteil ist über die Zeit rückläufig, wobei dies am Anfang des analysierten Zeitraums auch durch die vergleichsweise hohe Zahl des Jahres 1998 vermittelt ist. Anfang der 2000er steigt sie wieder leicht an, fällt jedoch seit 2004 und über die Wirtschaftskrise hinweg leicht ab. Am aktuellen Rand sind es durchschnittlich zwei Aufträge, die innerhalb von fünf Jahren auf ein Verbundprojekt mit dem gleichen Unternehmen folgen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass am aktuellen Rand aufgrund

¹⁹ Hierzu wurde ein gleitendes 5-Jahresfenster verwendet. Ein Industrieertragsprojekt eines Verbundmitglieds von Fraunhofer wurde nur dann als solches gezählt, wenn es innerhalb von fünf Jahren nach Projektende des Verbundprojekts in Auftrag gegeben wurde.

des 5-Jahresfensters nicht der volle Zeitraum erfasst werden kann. Es ist daher auf eine positive Entwicklung seit 2009 zu schließen.

Abbildung 16: Durchschnittliche Anzahl der Industrieertragsprojekte nach vorherigen Verbundprojekten (mit dem gleichen Unternehmen, 5-Jahresfenster)



Quelle: BMBF Förderkatalog, SIGMA, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Auf Basis dieser Zahlen lässt sich jedoch nicht belegen, dass der Forschungsauftrag aus der Industrie eine direkte Folge des Verbundprojekts war. Es soll an dieser Stelle nur der Zusammenhang aufgezeigt werden. Auch wenn die Aufträge aus den Unternehmen kamen, die im Verbund mit einem Fraunhofer-Institut zusammengearbeitet haben, wird an dieser Zahl nicht ersichtlich, ob der gleiche Unternehmensteil bzw. auch das gleiche Fraunhofer-Institut der nachfolgende Auftraggeber bzw. -nehmer war.

4 Makroökonomischer Beitrag der Fraunhofer-Gesellschaft

Frühere wissenschaftliche Analysen konnten demonstrieren, dass die Universitäten und Fachhochschulen insgesamt einen starken positiven Effekt auf die wirtschaftliche und technologische Leistungsfähigkeit ihrer Heimatregionen haben. Die meisten Studien haben sich dabei vor allen Dingen auf die Messung nachfrageorientierter, tangibler Effekte konzentriert, abgebildet durch monetäre Ausgabenströme (z.B. Konsumausgaben der Studenten, Investitionsausgaben der Hochschulen) im Rahmen von Multiplikatoranalysen (vgl. z.B. Bürgel et al. 1996; Glückler et al. 2013; Kowalski et al. 2012). Diese Herangehensweise ignoriert aber Effekte, die mit üblicherweise intangiblem Wissensoutput verbunden sind. Gemeinhin wird angenommen, dass diese den erheblicheren Teil der ökonomischen Effekte von Wissenschaftseinrichtungen darstellen (Florax 1992) und inhärente Aufgabe von Forschungsorganisationen darstellen. In einer großangelegten statistischen Untersuchung haben daher Schubert und Kroll (2013) sowie Schubert und Kroll (2014) versucht, die regionalen Hochschuleffekte einschließlich der wissensbasierten- bzw. angebotsorientierten Effekte über statistische Verfahren aus der Paneldatenökonometrie zu ermitteln. Schubert et al. (2013) haben dabei insbesondere die Auswirkungen auf das regionale BIP pro Kopf als erheblich eingestuft, wobei ein gesamtdeutscher, jährlicher Effekt von ca. 190 Mrd. € ermittelt wurde. Wissenschaftliche Untersuchungen, die vergleichbare Methoden gewählt haben, sind u.a. Goldstein und Renault (2004) für die USA sowie Schlump und Brenner (2010) für Deutschland.

In Egelin et al. (2016) wurde ein erster Versuch unternommen, die Ergebnisse von Schubert und Kroll (2014; 2013) für die vier großen außeruniversitären Forschungsverbände sowie die Innovationsallianz Baden-Württemberg zu verallgemeinern. Dabei konnte gezeigt werden, dass Komplementaritäten zwischen universitärer und außeruniversitärer Forschung bestehen. Allerdings war es auf Grund der uneinheitlichen Datenlage der einzelnen außeruniversitären Verbände nicht möglich, die Analysen für die Hochschulen (Universitäten und Fachhochschulen) vollständig zu replizieren.

Im Rahmen des hier präsentierten Berichts liegen erstmals einheitliche Längsschnittdaten für die Fraunhofer-Gesellschaft auf Institutsebene vor. Mit diesen Daten war es möglich, die ökonomischen Effekte der Fraunhofer-Institute mit einer zu den Hochschulstudien vergleichbaren Methodik zu berechnen. Dabei wurden die Kernindikatoren der einzelnen Fraunhofer-Institute aus der Fraunhofer-internen SIGMA-Datenbank auf regionaler Ebene (NUTS 3) aggregiert und mit regionalen Wirtschaftsdaten zusammengeführt, die vom Statistischen Bundesamt (DESTATIS) bereitgestellt werden. Anschließend konnten über Verfahren der Paneldatenökonometrie, die systematischen

Zusammenhänge zwischen der regionalen Fraunhofer-Aktivität und regional-ökonomischen Kernvariablen identifiziert werden. Diese Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt, wobei wir uns zunächst auf deskriptive Analysen und im ersten multivariaten Schritt auf die Effekte auf das BIP pro Kopf konzentrieren (Abschnitt 4.2). Im darauffolgenden Abschnitt 4.3 werden wir dann die feststellbaren Effekte auf weitere ökonomische Kernindikatoren, insbesondere die Technologieentwicklung (Patente pro Kopf), die Arbeitsproduktivität sowie die Arbeitslosenquote darstellen.

4.1 Deskriptive Analysen

Deskriptive Ergebnisse für die Kernvariablen auf regionaler Ebene sind in Tabelle 10 zu finden. Obwohl für einige Variablen Werte für die Periode zwischen 1993 und 2012 vorhanden waren, musste die Stichprobe für die Regressionen auf die Periode ab 2003 eingeschränkt werden, da erst ab hier Daten für die Drittmittel und Investitionen der Fraunhofer-Institute verfügbar waren. Für die Mitarbeiter waren Werte erst ab 2010 vorhanden, so dass sich die entsprechenden Regressionen auf einen relativ kurzen Zeitraum beziehen. Eine Tabelle der deskriptiven Ergebnisse findet sich im Anhang.

Einen Überblick der Fraunhofer-Gesellschaft im Vergleich zu den Hochschulen liefert die folgende Tabelle für die Kernvariablen in den Regressionsanalysen, wobei die Daten offiziellen Statistiken entnommen sind.

Tabelle 10: Deskriptive Statistiken für die Fraunhofer Gesellschaft und die Hochschulen (Stand: 2014)

	Drittmiteleinahmen pro Kopf	Investitionsausgaben pro Kopf	Wissenschaftler pro Kopf
Fraunhofer Gesellschaft	15.67	4.82	0.11
Hochschulen	82.14	49.19	4.69

Quellen: Geschäftsbericht der Fraunhofer Gesellschaft, Personal der Hochschulen, Fachserie 11 R 4.4., Finanzen der Hochschulen Fachserie 11 R 4.5 Tab. 3, eigene Berechnungen

Insgesamt zeigen sich dabei einige interessante Ergebnisse. Wie erwartet weisen die Hochschulen die deutlich höheren Werte pro Kopf der Bevölkerung auf, da die Hochschulen in Summe deutlich größer sind. Besonders stark ist der Unterschied für die Wissenschaftler, bei denen die Hochschulen einen um den Faktor 40 höheren Wert erreichen. Deutlich weniger ausgeprägt sind die Unterschiede bei den Investitionsausgaben (Faktor 10) und den Drittmitteln (Faktor 5). Erklären lassen sich die Unterschiede in der relativen Gewichtung auch in den unterschiedlichen Missionen. Während die Hochschulen neben der Forschung auch einen erheblichen Fokus auf die Lehre legen, ist die Forschung bei der Fraunhofer-Gesellschaft der entscheidende Teil der Aktivitäten. Ferner ist die Forschung in der Fraunhofer-Gesellschaft in deutlich stärkerem Maße drittmittelfinanziert als in den Hochschulen.

Die im Durchschnitt geringere Größe der Fraunhofer-Institute, insbesondere gemessen an den Wissenschaftlern pro Kopf der Bevölkerung, deutet auch auf ein mögliches Problem für die nachfolgenden Analysen hin. Die zum Teil erheblichen Effekte der Hochschulen auf ihr regionales Umfeld können auch damit begründet werden, dass die Hochschulen in ihrer jeweiligen Region ein wirtschaftlicher Akteur mit großem Gewicht sind. Es kann daher plausibel davon ausgegangen werden, dass die Hochschulen strukturbildend für ihr regionales Umfeld sind. Für die Fraunhofer-Institute gilt dies nicht unbedingt im gleichen Maße. Erstens sind sie wie bereits erläutert im Durchschnitt deutlich kleiner. Zweitens operieren Fraunhofer-Institute wegen ihrer hohen thematischen Spezialisierung in deutlich stärkerem Maße überregional. Die implizite Modellannahme, dass die ökonomischen Effekte im Wesentlichen lokalisiert zum Tragen kommen, wird also daher tendenziell zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Effekte der Fraunhofer-Institute relativ zu den Hochschulen führen.

Trotz dieser Methodik-immanenten Schwierigkeiten sollen im Folgenden die Effekte von Fraunhofer auf regionale Kernindikatoren dargestellt werden. Wir konzentrieren uns dabei zunächst auf das BIP pro Kopf. Dabei wird sich zeigen, dass die Effekte der Fraunhofer-Institute positiv und statistisch signifikant sind. Außerdem bewegen sie sich normalisiert auf die Größe auf einem Niveau, das ungefähr so hoch ist wie das der Hochschulen und z.T. sogar leicht darüber liegt.

4.2 Einfluss auf die Wirtschaftsleistung

In Tabelle 11 sowie Tabelle 12 sind die Effekte der drei Kernvariablen, Drittmittel, Investitionen sowie Beschäftigte jeweils pro Kopf in der Region auf das regionale BIP pro Kopf dargestellt. Empirische Untersuchungen haben dabei gezeigt, dass wirtschaftliche Effekte insbesondere von den Drittmitteln ausgehen (Schubert und Kroll 2014), was die Wahl der Drittmittel eher als die Gesamteinnahmen bzw. –ausgaben rechtfertigt. Theoretisch lässt sich diese Wahl dadurch begründen, dass Drittmittel (Wirtschaftsdrittmittel) einen hohen Anwendungsbezug haben und daher auch in der kürzeren Frist schneller ökonomische Effekte zeitigen. Finanzierung für die Grundlagenforschung ist in der langen Frist ebenso bedeutend. Allerdings kann der Zeitverzug enorm sein, sodass eine ökonometrische Identifizierung der Effekte nur eingeschränkt möglich ist. Dabei unterscheiden sich beide Tabellen lediglich in der verwendeten Regressionsmethodik. In Tabelle 11 wurde das Modell über ein Random Effects (RE) Ansatz geschätzt, während in Tabelle 12 ein Fixed Effects (FE) Ansatz verwendet wurde. Der Unterschied zwischen beiden liegt darin, dass der FE Ansatz gegenüber unbeobachtbarer, zeitkonstanter Heterogenität (z.B. dauerhafte Unterschiede in der Industriestruktur oder in der Wirtschaftskultur) robust ist, während dies nicht für den RE-Ansatz gilt. Allerdings ist

das RE Modell in aller Regel deutlich effizienter, weil es die gesamte Varianz der Stichprobe verwendet, was die Schätzungen bei gegebener Beobachtungszahl präziser macht. Dies macht diese Schätzmethode daher auch weniger anfällig gegenüber Ausreißern (Angrist/Pischke 2009).

Tabelle 11: Effekte der Fraunhofer-Institute auf das BIP pro Kopf (Random Effects)

	(1)	(2)	(3)
	BIP pro Kopf	BIP pro Kopf	BIP pro Kopf
Wanderungssaldo pro Kopf	207560.4536** *	191562.7521***	146428.4767***
	(4.48)	(4.12)	(2.64)
Erwerbsbevölkerung	28.5011***	28.2729***	20.5379***
	(9.53)	(9.48)	(5.47)
Anteil HT-Beschäftigte	23.5332	32.9442	43.5937
	(0.51)	(0.72)	(1.10)
Anteil Beschäftigte Landwirtschaft	-288.2642***	-297.9832***	-1456.6618***
	(-3.47)	(-3.59)	(-7.90)
FhG-Drittmittel pro Kopf	23.8139**		
	(2.23)		
FhG-Investitionen pro Kopf		19.3936***	
		(3.74)	
FhG-Wissenschaftler pro Kopf			2206069.3290***
			(4.29)
Konstante	JA	JA	JA
Jahresdummies	JA	JA	JA
Beobachtungen	4027	4030	1216

t-Statistiken in Klammern

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Ein Blick auf die Ergebnisse zeigt dabei aber keine allzu großen Unterschiede. Insbesondere sind die drei Variablen, die die Fraunhofer-Aktivitäten beschreiben, in beiden Modellen positiv und signifikant von Null verschieden. Ferner haben die geschätzten Effekte ungefähr die gleiche Größe, auch wenn die FuE-Koeffizienten etwas geringer ausfallen. Dies ist plausibel, da sich Fraunhofer-Institute zumeist in wirtschaftlich starken Metropolregionen konzentrieren. Daher könnte sich der positive Zusammenhang zwischen der Wirtschaftskraft und den positiven Werten für die Fraunhofer-Aktivitäten auch durch Selektionseffekte erklären lassen. Da das FE-Modell aber genau hierfür kontrolliert und sich die Koeffizienten aber nur geringfügig nach unten verändern, legt

dies nahe, dass Selektionseffekte zwar vorhanden sind, aber nur eine untergeordnete Rolle spielen.²⁰

Tabelle 12: Effekte der Fraunhofer-Institute auf das BIP pro Kopf (Fixed Effects)²¹

	(1)	(2)	(3)
	BIP pro Kopf	BIP pro Kopf	BIP pro Kopf
Wanderungssaldo pro Kopf	165841.5538***	153657.6729***	91927.5500*
	(3.64)	(3.36)	(1.69)
Erwerbsbevölkerung	42.4203***	41.9945***	68.5971***
	(6.37)	(6.31)	(3.94)
Anteil HT-Beschäftigte	8.9139	16.4537	35.8295
	(0.20)	(0.36)	(0.93)
Anteil Beschäftigte Landwirtschaft	122.3714	113.3253	-282.0650
	(1.35)	(1.25)	(-0.99)
FhG-Drittmittel pro Kopf	18.3193*		
	(1.73)		
FhG-Investitionen pro Kopf		14.6410***	
		(2.82)	
FhG-Wissenschaftler pro Kopf			1972732.8155***
			(3.02)
Konstante	JA	JA	JA
Jahresdummies	JA	JA	JA
Beobachtungen	4027	4030	1216

t-Statistiken in Klammern

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

In Tabelle 11 sowie Tabelle 12 wurden die allgemeinen Effekte der Fraunhofer-Institute abgebildet. Diese können sich jedoch in Abhängigkeit bestimmter Charakteristika der einzelnen Institute unterscheiden. Eine große Bedeutung kommt dabei der tatsächlichen Verzahnung mit der Wirtschaft zu. Daher fokussiert das Fraunhofer-interne Ressourcenverteilungsmodell auf den Anteil der Wirtschaftserträge in dem jeweiligen Institut. Wäre dieser Ansatz neben der strategischen Ausrichtung der Fraunhofer-

²⁰ Simultaneitätsprobleme z.B. durch die Kollokation von Auftraggebern und Fraunhofer Instituten können dennoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

²¹ Es ist sehr wahrscheinlich, dass die ökonomischen Effekte mit Zeitverzug eintreten. Diesen Zeitverzug zu berechnen, ist allerdings mit den vorhandenen Daten schwierig, da die Panellänge zu kurz ist, um stabile Ergebnisse zu erlangen.

Gesellschaft insgesamt auch makroökonomisch gerechtfertigt, müssten die positiven Effekte der Fraunhofer-Institute auf ihr regionales Umfeld mit der Wirtschaftsertragsquote der Fraunhofer-Institute steigen. Diese Hypothese lässt sich leicht über einen Interaktionseffekt zwischen dem jeweiligen Kernindikator und der regionalen Wirtschaftsertragsquote testen. In der Tat zeigt Tabelle 14 einen positiven Koeffizienten für alle drei Variablen. Allerdings ist dieser nur für die Investitionsausgaben und die Mitarbeiter (pro Kopf) signifikant. Dennoch deuten diese Ergebnisse an, dass die positiven Effekte der Fraunhofer-Institute auf ihr Umfeld dort besonders stark sind, wo die Fraunhofer-Institute eine höhere Wirtschaftsertragsquote haben.

Methode - Makroökonomische Effekte

Die Regressionseffekte aus Tabelle 11 und Tabelle 12 können auch als Basis für die Abschätzung makroökonomischer Effekte verwendet werden. Legt man die verlässlicheren Fixed Effects Koeffizienten zu Grunde, so lässt sich festhalten, dass das BIP pro Kopf um 18€ steigt, wenn sich die Fraunhofer-Drittmittel pro Kopf um 1€ erhöhen. Da beide Variablen als pro-Kopf-Größe gemessen sind, ist dies äquivalent zur Aussage, dass das BIP absolut um 18,3€ steigt, wenn die Fraunhofer-Drittmittel absolut um 1€ steigen. Hieraus lässt sich der Gesamteffekt der Fraunhofer-Gesellschaft auf das BIP in Deutschland bestimmen. Im Jahr 2014 betragen die Projekterträge der Fraunhofer-Gesellschaft rund 1,27 Mrd. € (Fraunhofer-Gesellschaft, 2014). Von diesen 1,27 Mrd. € entfielen 0,17 Mrd. € auf Projekterträge aus dem Ausland.²² Vereinfachend gehen wir hier davon aus, dass diese Erträge nicht die deutsche Wirtschaft unterstützen und rechnen sie daher heraus. Legt man die korrigierten Projekterträge von 1,10 Mrd. € zu Grunde, ergibt sich hieraus ein BIP-Effekt absolut von rund 20,1 Mrd. € (1,10 Mrd. mal 18,3). Die Fraunhofer-Gesellschaft trug also im Jahr 2014 mit rund 20,1 Mrd. € zum bundesdeutschen Bruttoinlandsprodukt bei.

Da das Verhältnis von Steuereinnahmen zum BIP über die Jahre nahezu konstant ist (Egeln et al. 2016), lassen sich aus diesem Wert auch Rückschlüsse auf die Auswirkungen auf die Einnahmen der öffentlichen Hand (Bund, Länder, Gemeinden) aus den Steuereinnahmen ziehen. Das gesamte Steueraufkommen des Bundes ohne Einfuhrzölle betrug im Jahr 2014 588 Mrd. €. Bezogen auf das BIP von 2,915 Mrd. € ergibt sich also eine Quote dieser drei Steuern von ca. 20,1%. Einhergehend mit einer durch die Fraunhofer-Institute induzierten BIP-Zunahme von 20,1 Mrd. € ergaben sich also hochgerechnete Steuermehreinnahmen für Bund, Länder und Kommunen von ca. 4,1 Mrd. € im Jahr 2014. Vergleicht man dies mit dem gesamten Finanzbedarf der Fraunhofer-Gesellschaft von 2,06 Mrd. € betrug der Multiplikator in etwa 2,0. D.h. für jeden für die Fraunhofer-Gesellschaft verausgabten Euro ergaben sich Steuermehreinnahmen von 2,0€

²² Bei den internationalen Projekterträgen wurden die EU-Erträge von etwa 0,11 Mrd. € nicht herausgerechnet, weil in den EU-Konsortien häufig auch deutsche Partner vertreten sind.

Bezieht man den Steuereffekt nur auf die öffentliche Finanzierung der Fraunhofer-Gesellschaft (öffentliche Projekte und Grundfinanzierung) von rund 1,1 Mrd. € ergibt sich sogar ein Multiplikator von fast 3,7. Anders ausgedrückt: Von jedem von der öffentlichen Hand für die Fraunhofer-Gesellschaft verausgabten Euro erhielten Bund, Länder und Gemeinden beinahe 3,7 € zurück. Berechnet man diese Ergebnisse auf Basis der Random Effects-Schätzung aus Tabelle 11, würden die Effekte auf BIP, Steuereinnahmen und Multiplikatoren noch darüber liegen.

Nutzt man die Ergebnisse der Regressionen der Mitarbeiter als Robustheitsanalyse, kommt man in etwa auf ähnliche Werte. Alle Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengefasst. Wichtig ist bei der Interpretation ist, dass die Werte für die Drittmittel und die Wissenschaftler als alternative Berechnungen für den Gesamteffekt betrachtet werden sollten. Die Werte sollten daher nicht addiert werden.

Tabelle 13: Berechnung der Steuermultiplikatoren (Stand: 2014)

	Drittmittel	Wissenschaftler
Multiplikator laut Regressionstabelle	18,30	1.972.732,00
Indikatorwert in Deutschland in Mio €	1.100,00	9.125,00
BIP-Effekt in Mio. €	20.130,00	18.001,18
Gesamtsteuereinnahmen	588,50	588,50
BIP in Mrd. €	2.915,00	2.915,00
Steuerquote in %	20,19	20,19
Erwarteter Steuereffekt in Mio €	4.063,98	3.634,20
Finanzvolumen FhG in Mio. €	2.060,00	2.060,00
Öffentliche Finanzierung der FhG ohne Auslandserträge in Mio €	1.100,00	1.100,00
Steuermultiplikator Finanzvolumen	1,97	1,76
Steuermultiplikator Öffentliche Finanzierung	3,69	3,30

Quellen: Destatis, Kassenmäßige Steuereinnahmen der Gebietskörperschaften 2014; Bundesfinanzministerium, Geschäftsbericht der Fraunhofer Gesellschaft 2014, interne Datenbestände der Fraunhofer Gesellschaft, eigene Berechnungen

Tabelle 14: Auswirkungen des Wirtschaftsertrages auf Effekte der Fraunhofer-Institute (Random Effects)

	(1)	(2)	(3)
	BIP pro Kopf	BIP pro Kopf	BIP pro Kopf
Wanderungssaldo pro Kopf	205635.4437***	192534.6209***	147320.4578***
	(4.43)	(4.14)	(2.65)
Erwerbsbevölkerung	28.6829***	28.6994***	21.4296***
	(9.56)	(9.60)	(5.68)
Anteil HT-Beschäftigte	24.4664	34.5658	49.8064
	(0.53)	(0.75)	(1.25)
Anteil Beschäftigte Landwirtschaft	-293.6536***	-308.1974***	-1466.7657***
	(-3.53)	(-3.71)	(-7.97)
FhG-Drittmittel pro Kopf	13.5918		
	(0.53)		
Rho-Wi	-14.2036	-35.5444**	-52.5713**
	(-0.90)	(-2.25)	(-1.97)
FhG-Drittmittel pro Kopf * Rho-Wi	0.3215		
	(0.45)		
FhG-Investitionen pro Kopf		5.5906	
		(0.62)	
FhG-Investitionen pro Kopf * Rho-Wi		0.5163**	
		(2.00)	
FhG-Wissenschaftler pro Kopf			1355947.1206**
			(2.04)
FhG-Wissenschaftler pro Kopf * Rho-Wi			33686.3101**
			(2.02)
Konstante	JA	JA	JA
Jahresdummies	JA	JA	JA
Beobachtungen	4026	4029	1216

t-Statistiken in Klammern

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.0$

Tabelle 15: Vergleich der BIP-Effekte und der Universitätseffekte auf das BIP pro Kopf (Random Effects)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Log BIP pro Kopf	Log BIP pro Kopf	Log BIP pro Kopf	Log BIP pro Kopf	Log BIP pro Kopf	Log BIP pro Kopf
Wanderungssaldo pro Kopf	1.2496 (1.06)	1.1800 (1.00)	0.4543 (0.34)	1.2191 (1.03)	1.3218 (1.12)	1.0566 (0.81)
Erwerbsbevölkerung	0.0006*** (6.88)	0.0006*** (6.67)	0.0005*** (5.14)	0.0006*** (6.64)	0.0006*** (7.18)	0.0003*** (3.27)
Anteil HT-Beschäftigte	0.0028** (2.43)	0.0029** (2.45)	0.0006 (0.66)	0.0028** (2.45)	0.0030*** (2.59)	0.0009 (0.95)
Anteil Beschäftigte Landwirtschaft	-0.0216*** (-9.96)	-0.0215*** (-9.91)	-0.0405*** (-8.48)	-0.0218*** (-10.13)	-0.0219*** (-10.19)	-0.0288*** (-5.85)
Log FhG-Drittmittel pro Kopf	0.0061** (2.04)					
Log FhG-Investitionen pro Kopf		0.0085*** (2.58)				
Log FhG-Wissenschaftler pro Kopf			0.0400** (2.27)			
Log Hochschul-Drittmittel pro Kopf				0.0067*** (5.51)		
Log Hochschul-Investitionen pro Kopf					0.0029*** (3.56)	
Log Hochschulwissenschaftler pro Kopf						0.0600*** (8.05)
Konstante	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Jahresdummies	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Beobachtungen	4027	4025	1216	4060	4059	1218

t-Statistiken in Klammern: * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Die existierenden Untersuchungen zu den Effekten der Hochschulen auf ihr regionales Umfeld sowie die hier bereits erzielten Ergebnisse zu den Fraunhofer-Instituten werfen die Frage auf, ob sich die Effekte der Hochschulen und der Fraunhofer-Institute größentechnisch auf dem gleichen Niveau bewegen. Um dies zu überprüfen, wurden die Ergebnisse aus Tabelle 11 den Ergebnissen für die Hochschulen gegenüber gestellt. Dabei wurde eine log-log-Transformation für eine leichtere Interpretation eingeführt, weil dadurch die resultierenden Koeffizienten als Elastizitäten interpretiert werden können und direkt vergleichbar sind. Wenn also in Tabelle 15 der Koeffizient für die Fraunhofer-Investitionen (zweite Spalte) 0,0085 beträgt, so indiziert dies, dass eine 10-prozentige Erhöhung der regionalen Investitionen pro Kopf das BIP pro Kopf um 0,085% erhöht. Der vergleichbare Wert für die Hochschulen (fünfte Spalte) ist zwar ebenfalls signifikant liegt aber nur bei 0,029% und somit bei nur einem knappen Drittel. Für die Drittmittel liegt der Wert bei 0,061% für Fraunhofer und leicht höher bei 0,067% für die Universitäten. Bei den Mitarbeitern liegen die Werte absolut gesehen deutlich höher, wobei die Universitäten leicht höhere Werte erzielen (0,4% für Fraunhofer und 0,6% für Universitäten).

Die Hebelwirkung der Fraunhofer-Gesellschaft im Vergleich

Insgesamt zeigen diese Werte deutlich, dass die Fraunhofer-Gesellschaft Effekte erzielt, die sich in etwa auf dem Niveau der Hochschulen befinden, wobei insbesondere bezüglich der Investitionsmittel sogar deutliche Vorteile der Fraunhofer-Gesellschaft bestehen. Es lässt sich folglich festhalten, dass die Hebelwirkung der Effekte der Fraunhofer-Finanzierung auf das regionale Umfeld zumindest nicht niedriger ist als die der Hochschulen. Dies deutet in Anbetracht der zumeist deutlich geringeren Größe der Fraunhofer-Institute im Vergleich zu den Universitäten auf eine besondere Bedeutung der Fraunhofer-Gesellschaft nicht nur im überregionalen sondern auch im regionalen Umfeld hin.

Ein weiterer interessanter Vergleich der Hebelwirkung der Fraunhofer-Gesellschaft ergibt sich aus der Gegenüberstellung mit den BIP-Effekten sonstiger staatlicher Ausgaben. Dabei zeigen einschlägige ökonomische Analysen aus der Literatur, dass z.B. allgemeine Infrastrukturausgaben des Staates häufig nur eine kleine Wirkung auf das BIP haben. So zeigen z.B. Afonso und St. Aubyn (2008), dass zwar private Investitionen in die Infrastruktur einen kleinen positiven Einfluss auf den BIP pro Kopf in Deutschland haben. Staatsausgaben-Multiplikatoren werden ferner häufig mit Hilfe neo-keynesianischer Modelle bestimmt und zeigen einen Wert von 1,2-1,6 (Christiano et al. 2011). Der IWF findet Werte für die Ergebnisse zwischen 0,9 und 1,7 seit 2009 (Internationaler Währungsfond, 2012). Diese Werte sind zwar substantiell aber deutlich niedriger als die Langzeitmultiplikatoren, die in dieser Studie ermittelt wurden. Ein Hauptgrund für die deutlich höheren Werte dürfte darin liegen, dass Investitionen in die Forschung langfristig enorme wissensbezogene Effekte verursachen, die Investitionen in den öffentlichen physischen Kapitalstock nicht mit sich bringen.

4.3 Einfluss auf weitere Indikatoren

Bis jetzt haben wir uns ausschließlich auf die Effekte der Fraunhofer-Gesellschaft auf das regionale BIP pro Kopf als Maß für die regionale Wirtschaftskraft sowie die Beschäftigung konzentriert. Daneben existieren noch eine Reihe weiterer relevanter, makroökonomischer Kernindikatoren, auf die die Aktivitäten der Fraunhofer-Gesellschaft möglicherweise Einfluss haben. In Schubert und Kroll (2013) wurden z.B. die Effekte der Hochschulen auf Arbeitslosenquote und regionale Technologieentwicklung (gemessen durch DPMA-Patente pro Kopf) untersucht. Die Effekte waren dabei heterogen. Während eindeutig positive Effekte auf das Patentaufkommen festgestellt werden konnten, hing der Effekt auf die Arbeitslosenquote von den entsprechenden time-lags ab. Kurzfristig zeigte sich dabei eher ein Anstieg der Arbeitslosenquote während langfristig eher ein arbeitslosigkeitsreduzierender Effekt konstatierbar war. Dies kann unter anderem daran liegen, dass die auf den Arbeitsmarkt strömenden Absolventen zunächst die Friktionsarbeitslosigkeit (Sucharbeitslosigkeit) erhöhen, während eine durch das zusätzlich vorhandene Humankapital verbesserte Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen erst mittelfristig zu einer höheren Beschäftigungsquote führt. Die Effekte auf diese Kenngrößen sollen hier erneut untersucht werden. Ferner werden zusätzlich die Effekte auf die Arbeitsproduktivität analysiert.

Wie bereits in Tabelle 15 soll ein direkter Vergleich der Effekte mit den Universitäten angestrebt werden, um zu analysieren, ob bzw. wie sich die entsprechenden Effekte zwischen den Fraunhofer-Instituten und den Universitäten unterscheiden. Die Resultate, die sich analog zu denen der Tabelle 15 interpretieren lassen, finden sich in Tabelle 16 bis Tabelle 18.

Mit Blick auf das Patentaufkommen zeigen sich dabei deutlich positive Effekte sowohl der Fraunhofer-Institute als auch der Universitäten. Die Elastizitäten der einzelnen Kernvariablen (Drittmittel, Investition, Mitarbeiter) liegen dabei zwischen 1,4% und 17,3%. Dennoch zeigt sich, dass die Fraunhofer-Effekte deutlich stärker sind. So beträgt die Elastizität des Patenaufkommens bezüglich der Drittmittel pro Kopf 0,20% für Fraunhofer aber nur 0,14% für die Universitäten (bezogen auf eine 10%ige Erhöhung der Fraunhofer- bzw. Hochschuldrittmittel). Ferner sind die Effekte der Investitionen (0,23%) und der Mitarbeiter (1,73%) nur bei Fraunhofer signifikant. Bei den Universitäten sind die entsprechenden Koeffizienten zwar positiv aber deutlich kleiner und nicht statistisch signifikant. Dies bestätigt im Wesentlichen die Ergebnisse aus Tabelle 15, wo ebenfalls die Effekte von Fraunhofer zumeist gleich groß, z.T. aber größer als die der Hochschulen waren. Hier fallen diese Differenzen sogar noch stärker aus, wobei dies sicherlich auch dadurch plausibilisiert werden kann, dass die Technologieentwicklung eine Kernaufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft ist, während sie für Hochschulen

zwar an Bedeutung gewinnt, aber sicherlich im Vergleich zur Lehre und Grundlagenforschung nicht im Vordergrund steht. Dennoch sollte festgehalten werden, dass die Mitarbeiterelastizität des Patenaufkommens von 1,73% erheblich ist. Fraunhofer trägt hier also in nicht zu vernachlässigendem Maße zur regionalen Technologieentwicklung bei.

Tabelle 16: Vergleich der Fraunhofer- und der Universitätseffekte auf die Patentanmeldungen pro Kopf (Random Effects)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Log DPMA-Anm. pro Kopf	Log DPMA- Anm.pro Kopf	Log DPMA- Anm.pro Kopf	Log DPMA- Anm.pro Kopf	Log DPMA- Anm.pro Kopf	Log DPMA- Anm.pro Kopf
Wanderungssaldo pro Kopf	23.7626*** (2.75)	23.6557*** (2.74)	49.6312*** (3.35)	23.8809*** (2.78)	23.6509*** (2.75)	51.9302*** (3.48)
Erwerbsbevölkerung	0.0017*** (5.14)	0.0017*** (5.02)	0.0015*** (3.86)	0.0016*** (5.02)	0.0018*** (5.44)	0.0015*** (3.78)
Anteil HT-Beschäftigte	0.0224*** (2.64)	0.0224*** (2.65)	0.0276** (2.53)	0.0240*** (2.88)	0.0238*** (2.85)	0.0290*** (2.66)
Anteil Beschäftigte Landwirtschaft	-0.1163*** (-9.10)	-0.1157*** (-9.04)	-0.1387*** (-6.32)	-0.1115*** (-8.56)	-0.1155*** (-8.94)	-0.1308*** (-5.45)
Log FhG-Drittmittel pro Kopf	0.0199 (1.50)					
Log FhG-Investitionen pro Kopf		0.0230* (1.80)				
Log FhG-Wissensch. pro Kopf			0.1725** (2.33)			
Log Hochschul-Drittm. pro Kopf				0.0133** (2.19)		
Log Hochschul-Invest. pro Kopf					0.0051 (1.04)	
Log Hochschulwiss. pro Kopf						0.0404 (1.43)
Konstante	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Jahresdummies	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Beobachtungen	4027	4025	1216	4060	4059	1218

t-Statistiken in Klammern

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Tabelle 17: Vergleich der Fraunhofer- und der Universitätseffekte auf die Arbeitsproduktivität (Random Effects)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Log Arbeitsprod.	Log Arbeitsprod.	Log Arbeitsprod.	Log Arbeitsprod.	Log Arbeitsprod.	Log Arbeitsprod.
Wanderungssaldo pro Kopf	1.7257 (1.53)	1.7031 (1.51)	1.9317* (1.75)	1.6979 (1.51)	1.6883 (1.50)	1.7632 (1.60)
Erwerbsbevölkerung	0.0005*** (6.82)	0.0005*** (6.88)	0.0004*** (4.82)	0.0006*** (7.27)	0.0005*** (7.16)	0.0005*** (5.46)
Anteil HT-Beschäftigte	0.0012 (1.06)	0.0012 (1.06)	0.0008 (0.99)	0.0013 (1.18)	0.0013 (1.16)	0.0007 (0.91)
Anteil Beschäftigte Landwirtschaft	-0.0036* (-1.91)	-0.0037* (-1.94)	-0.0140*** (-4.11)	-0.0042** (-2.20)	-0.0039** (-2.09)	-0.0170*** (-4.74)
Log FhG-Drittmittel pro Kopf	0.0011 (0.54)					
Log FhG-Investitionen pro Kopf		0.0003 (0.12)				
Log FhG-Wissensch. pro Kopf			-0.0026 (-0.23)			
Log Hochschul-Drittm. pro Kopf				-0.0012 (-1.28)		
Log Hochschul-Invest.pro Kopf					-0.0004 (-0.60)	
Log Hochschulwiss. pro Kopf						-0.0125*** (-2.58)
Konstante	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Jahresdummies	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Beobachtungen	3837	3835	1159	3870	3869	1161

t statistics in parentheses

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Tabelle 18: Vergleich der Fraunhofer- und der Universitätseffekte auf die Patentanmeldungen pro Kopf (Random Effects)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Wanderungssaldo pro Kopf	Log AL-quote -12.5676*** (-5.42)	Log AL-quote -12.4868*** (-5.40)	Log AL-quote -17.5507*** (-4.70)	Log AL-quote -11.5836*** (-5.09)	Log AL-quote -11.8086*** (-5.15)	Log AL-quote -14.9396*** (-4.35)
Erwerbsbevölkerung	0.0007*** (3.54)	0.0005*** (2.64)	0.0003 (1.05)	0.0003 (1.27)	0.0006*** (3.14)	-0.0001 (-0.45)
Anteil HT-Beschäftigte	-0.0190*** (-8.36)	-0.0190*** (-8.40)	-0.0092*** (-3.53)	-0.0188*** (-8.39)	-0.0188*** (-8.34)	-0.0085*** (-3.46)
Anteil Beschäftigte Landwirtschaft	0.0551*** (13.64)	0.0565*** (13.95)	-0.0145 (-1.53)	0.0608*** (14.99)	0.0567*** (14.03)	0.0045 (0.47)
L.FhG-Drittittel pro Kopf	0.0007 (1.07)					
L2.FhG-Drittittel pro Kopf	-0.0009 (-1.55)					
L.Log FhG-Investitionen pro Kopf		0.0080 (0.75)				
L2.Log FhG-Invest. pro Kopf		0.0095 (0.88)				
L.Log FhG-Wissensch. pro Kopf			2.3994** (2.57)			
L2.Log FhG-Wissensch. pro Kopf			-2.4000** (-2.52)			
L.Log Hochschul-Drittmit. pro Kopf				0.0065 (0.82)		
L2.Log Hochschul-Drittmit. pro Kopf				0.0156* (1.89)		
L.Log Hochschul-Invest. pro Kopf					0.0052*** (2.93)	
L2.Log Hochschul-Invest. pro Kopf					0.0004 (0.22)	
L.Log Hochschulwiss. pro Kopf						0.0196 (0.68)
L2.Log Hochschulwiss. pro Kopf						0.0551** (2.01)
Konstante	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Jahresdummies	JA	JA	JA	JA	JA	JA
Beobachtungen	3950	3947	1151	4040	4038	1212

t statistics in parentheses

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Mit Blick auf die Arbeitsproduktivität lassen sich dagegen so gut wie keine Effekte feststellen (Tabelle 17). Für die Fraunhofer-Gesellschaft sind alle Koeffizienten insignifikant. Für die Universitäten ergeben sich keine Effekte für die Drittmittel und die Investitionen, während sich für die Mitarbeiter sogar leicht negative Effekte ergeben. Wegen der fehlenden Systematik sehen wir davon ab, diesem Einzeleffekt großes Gewicht beizumessen. Signifikante Differenzen zwischen Hochschulen und Fraunhofer-Instituten lassen sich also auch hier nicht feststellen.

Bezüglich der Arbeitslosenquote zeigt sich ebenfalls ein eher uneinheitliches Bild (Tabelle 18). Für die Universitäten sind die Effekte eher arbeitslosigkeitserhöhend, auch wenn man unterschiedliche Lags einbezieht. Für die Fraunhofer-Gesellschaft sind die Effekte eher beschäftigungsneutral. Für Drittmittel und die Investitionen lassen sich weder kurzfristig noch mittelfristig Signifikanzen feststellen. Für die Mitarbeiter sind die kurzfristigen Effekte arbeitslosigkeitserhöhend während die mittelfristigen arbeitslosigkeitsverringern sind. Beide Effekte gleichen sich aber aus, wie man an der nahezu identischen Größe der Koeffizienten erkennen kann.

4.4 Anhang

Der Vollständigkeit halber sind hier die deskriptiven Kernstatistiken für den in den Regressionsanalysen dieses Kapitels verwendeten Datensatz angefügt. Von einer größenmäßigen Interpretation insbesondere der Mittelwerte in Tabelle 19 sollte abgesehen werden, da diese Werte jeweils ungewichtete, regionale Durchschnitte abbilden, die die unterschiedliche Größe der Regionen nicht berücksichtigen.

Tabelle 19: Deskriptive Statistiken

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Min	Max
FhG-Drittmittel pro Kopf	1226	1.0553	7.0610	0.0000	123.6780
FhG-Investitionen pro Kopf	1226	3.3111	21.1964	-1.4270	329.4990
FhG-Wissenschaftler pro Kopf	1231	0.0001	0.0006	0.0000	0.0087
Drittmittel pro Kopf	1233	48.4988	133.3930	0.0000	1329.4500
Investitionsausgaben Hochschulen pro Kopf	1233	31.4314	86.2829	0.0000	1152.0700
Angestellte Hochschulen pro Kopf	1233	0.0058	0.0149	0.0000	0.1273
Durchschnittlicher Rho-Wi	1285	1.9779	11.1729	-240.2990	58.4373
BIP pro Kopf	1233	29495.3000	11867.1000	14021.7000	108350.0000
DPMA-Anmeldungen pro Kopf	1233	0.0004	0.0010	0.0000	0.0119
Arbeitsproduktivität (@Std.)	1161	42.1240	7.5578	18.3126	78.8881
Wanderungssaldo pro Kopf	1233	0.0000	0.0014	-0.0066	0.0076
Erwerbsbevölkerung (in 1.000)	1218	99.3469	131.2970	19.1000	1667.9000
Anteil HT-Beschäftigte (%)	1287	4.6480	1.4725	1.5000	8.4000
Anteil Beschäftigte Landwirtschaft (%)	1218	2.4527	2.1638	0.0000	13.1455

5 Schlussfolgerungen

Fraunhofer erfüllt seine vielfältigen Aufgaben, die deutlich über die Kernaufgabe der anwendungsorientierten Forschung für und mit der Wirtschaft hinausgehen, bereits seit mehreren Jahrzehnten sehr erfolgreich. Damit leistet Fraunhofer nicht nur direkte Beiträge zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft und des deutschen Innovationssystems, sondern ist auch in der Lage, bei der Internationalisierung des Wissens, der Ausbildung von jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern oder der Umsetzung politischer Ziele wie der Energiewende oder der rohstoffeffizienten Gesellschaft maßgeblich zu unterstützen. Es wäre somit deutlich zu kurz gegriffen, Fraunhofer auf die anwendungsorientierte Forschung oder gar den Technologietransfer zu reduzieren.

Neben diesen teils indirekten und nur schwer quantifizierbaren Beiträgen sind die Fraunhofer-Institute in den jeweiligen Regionen bzw. die Fraunhofer-Gesellschaft als Ganzes in ganz Deutschland auch ein nennenswerter Wirtschaftsfaktor. Die öffentlichen Investitionen in Fraunhofer fließen dreifach an die öffentlichen Kassen zurück und die monetären Effekte für die gesamte Volkswirtschaft übersteigen die Projekterträge von Fraunhofer gar um das 18-fache.

Die Erkenntnis aus der Mikrodaten-Analyse, dass die Kooperation mit Fraunhofer für innovative Unternehmen, Unternehmen mit komplexem Produktportfolio und insbesondere für kleine und mittelgroße Unternehmen von besonderer Bedeutung ist – sowohl in finanzieller als auch in wissenschaftlich-technologischer Hinsicht – unterstreicht die gesamtwirtschaftliche Bedeutung auch aus Sicht der Unternehmen.

Nimmt man diese Erkenntnisse zusammen und setzt sie in das von vorausschauender Wissenschafts- und Innovationspolitik gezeichnete Bild ein, dann wird der Einfluss von Fraunhofer auf das Innovationsgeschehen in Deutschland in den kommenden Jahren sogar noch steigen. Eine Verstetigung der 3%-Marke bei den FuE-Aufwendungen am BIP (Bruttoinlandsprodukt) oder gar eine Ausweitung auf einen Anteil von 3,5%, wie er von einzelnen Beobachtern gefordert, bisweilen sogar erwartet wird (Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) 2015; Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) 2016), würde auch die Anforderungen an Fraunhofer erhöhen. Die Verstetigung oder Ausweitung müsste in erster Linie durch kleine und mittelgroße Unternehmen getragen werden, die sich neu in Forschung und Entwicklung engagieren oder ihr bisheriges Engagement erhöhen und vor allem kontinuierlicher gestalten. Bei dieser Unternehmensgruppe hat Fraunhofer einen besonderen Status als Partner auf Augenhöhe, der deren Bedarfe adressiert, indem er die Erkenntnisse aus der Wissenschaft

und die Erfahrungen in der Umsetzung mit anderen KMU und auch mit Großunternehmen einbringt.

Um diese Aufgaben allerdings erfüllen zu können, speziell die der vorausschauenden und kontinuierlichen Bereitstellung von anwendungsnahem Wissen, sind Vorlaufforschung, Vorausschau und Stabilität von Forschungsthemen entscheidende Größen. Hierfür sind institutionelle Mittel der wichtigste Input.

Die Erkenntnis, dass es bei vielen Technologien einen langen Atem und auch ein Durchhaltevermögen entgegen kurzfristiger Präferenzverschiebungen in Politik und Wirtschaft bedarf, unterstreicht die Notwendigkeit und die Bedeutung von institutioneller Förderung gerade auch in der anwendungsnahe Forschung.

Die Hebelwirkung der institutionellen Förderung (Grundfinanzierung) ist bei Fraunhofer ausgesprochen günstig. Dies zeigen die empirischen Ergebnisse in dieser Untersuchung. Allerdings beruhen die Ergebnisse auf Daten aus Investitionszeiträumen, zu denen das Fraunhofer-Modell – 1/3 institutionelle Förderung, 1/3 Industrieerträge, 1/3 öffentliche Aufträge – Bestand hatte. Vorlaufforschung und interne Technologieentwicklungsprogramme waren hier auf Basis der institutionellen Mittel finanzierbar. In den Jahren 2006 bis 2015 war die institutionelle Förderung in Relation zum gesamten Mittelbedarf zurückgegangen (ca. 28% im Jahr 2014), so dass es auf dieser Grundlage immer schwieriger war, die notwendige Vorlaufforschung und Entwicklung von Technologielinien auf diesem hohen Niveau aufrecht zu erhalten und an die neuen Anforderungen aus einer verstärkten Technologie- und Innovationsorientierung der Wirtschaft zu erfüllen.

6 Annex

6.1 Methodik der Datenerhebung und -erfassung

Interviews

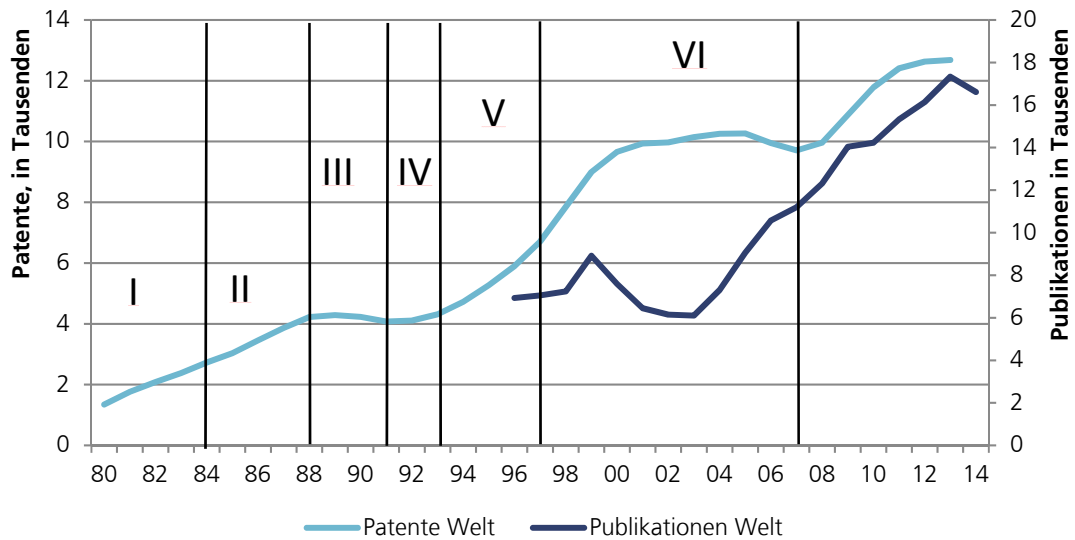
Die Interviews fanden anhand eines standardisierten Gesprächsleitfadens statt, der aufgrund der offenen Fragestellung hinreichend Raum und Flexibilität für spezifische Themen und Schwerpunkte des jeweiligen Interviewpartners erlaubte. In den Interviews wurden eingangs zunächst der Hintergrund der Studie und die Zielsetzung der Interviews und der Gesamtanalyse skizziert. Anschließend waren die Interviews in zwei Themenkomplexe unterteilt.

Der erste Themenkomplex behandelte die Entwicklung von Technologiefeldern und den jeweiligen Beitrag von Fraunhofer. So lautete die Eingangsfrage, welche in den letzten Jahrzehnten die bedeutendsten Technologielinien mit Beteiligung von Fraunhofer gewesen seien. Die Abfrage orientierte sich entlang der Fraunhofer-Forschungsfelder: Produktion und Dienstleistung, Gesundheit und Umwelt, Transport und Mobilität, Schutz und Sicherheit, Energie und Rohstoffe, Kommunikation und Wissen. Weitere Fragen bezogen sich auf die Rolle von Fraunhofer in den Technologielinien und das Agenda-Setting, der Umsetzung am Markt, der Einschätzung nach der Verbesserung der Rolle von Fraunhofer bei der Entwicklung von Technologielinien sowie die Einschätzung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft und des Beitrags von Fraunhofer hierzu.

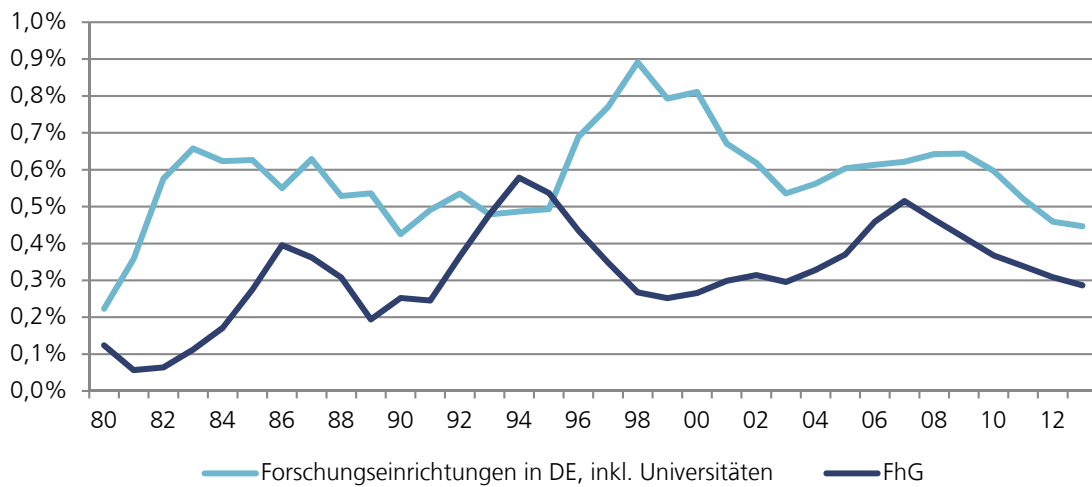
Der zweite Themenkomplex befasste sich mit der Umsetzung der Mission von Fraunhofer, insbesondere über die generell bekannten und viel diskutierten Aufgaben des Technologie- und Wissenstransfers hinaus, beispielsweise bezogen auf die Internationalisierung, die Ausbildung oder auch die Unterstützung bei der Durchsetzung von politischen Zielen. Die Interviewpartner wurden gebeten ihre Einschätzung hinsichtlich der Relevanz dieser zusätzlichen Ziele und der Möglichkeiten ihrer Bewertung zu nennen.

6.2 Annex I – Technologiezyklen

Abbildung A1: Weltweite Entwicklung der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen bei Optischen Technologien

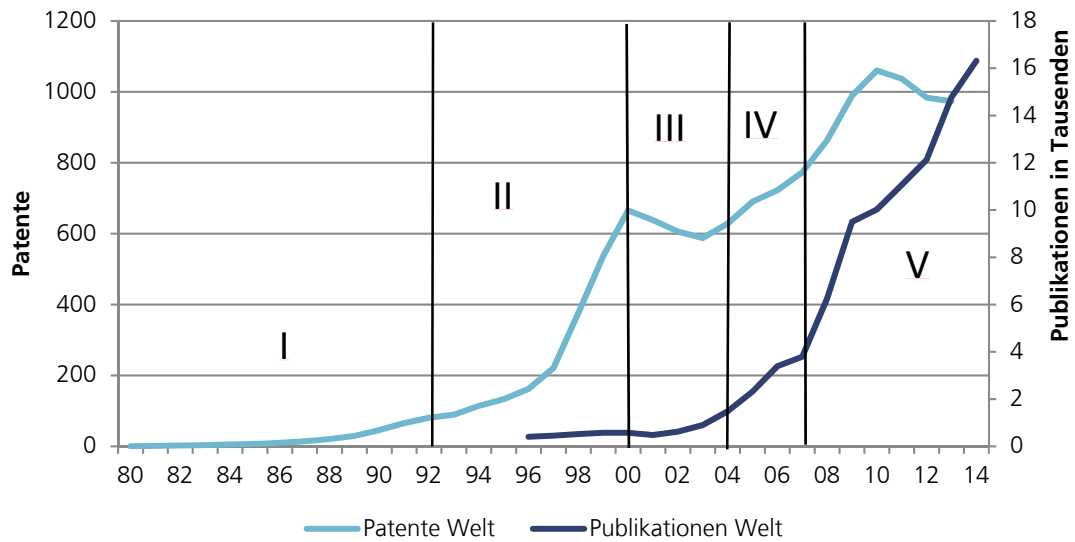


Prozentuale Anteile an Patenten weltweit

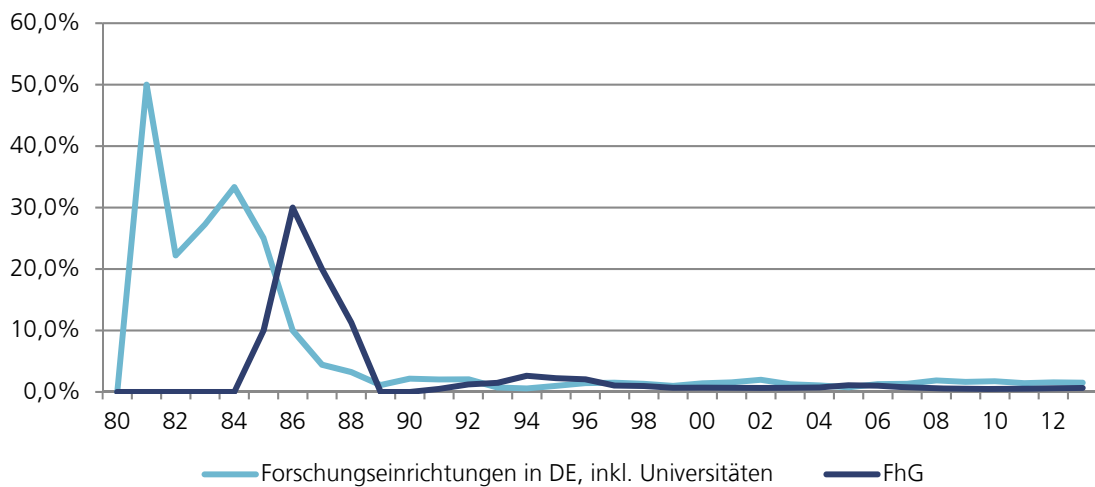


Quelle: EPA – PATSTAT, SCOPUS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Abbildung A2: Weltweite Entwicklung der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen in der Nanotechnologie (inkl. Mikrosystemtechnik)

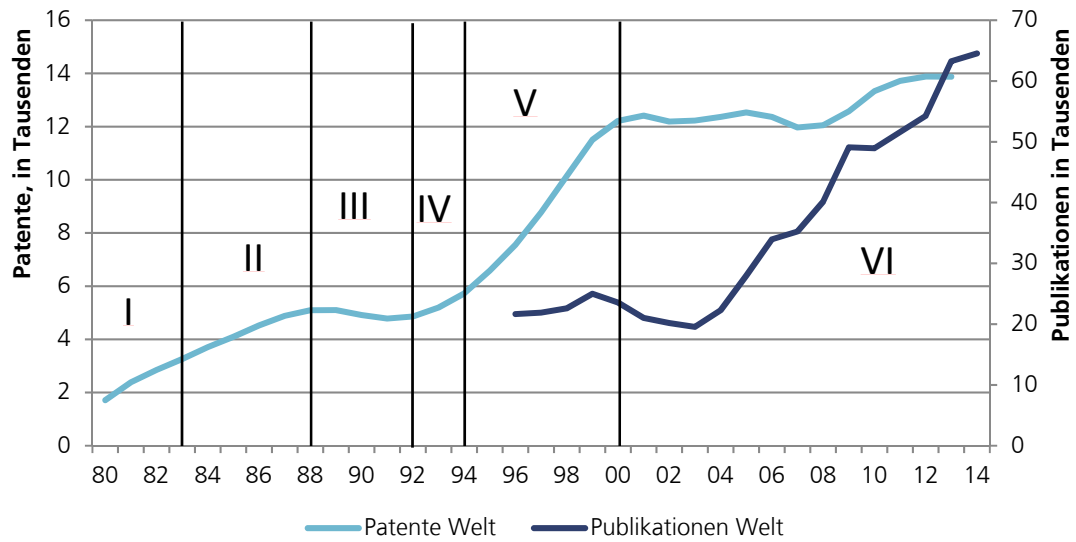


Prozentuale Anteile an Patenten weltweit

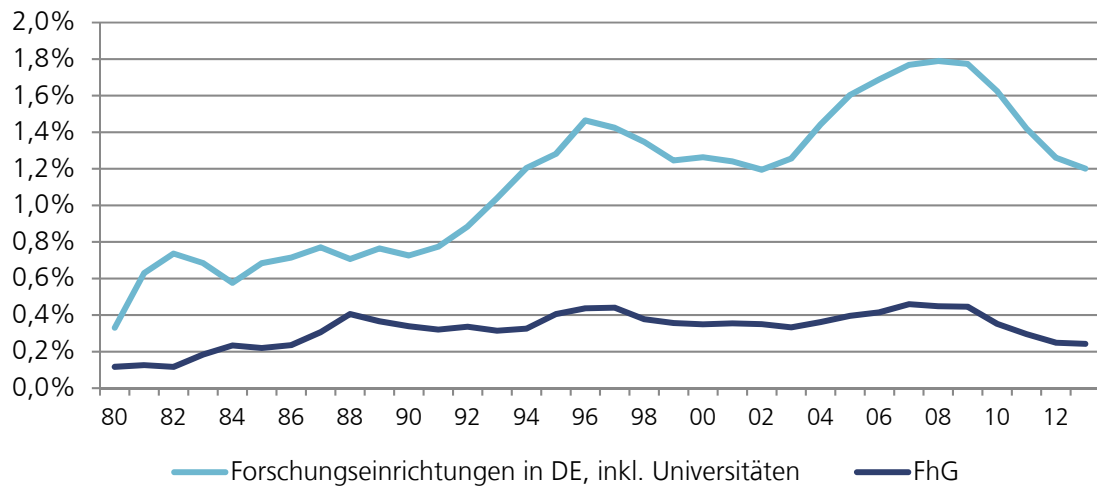


Quelle: EPA – PATSTAT, SCOPUS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Abbildung A3: Weltweite Entwicklung der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen in der Mess-/Prüftechnik

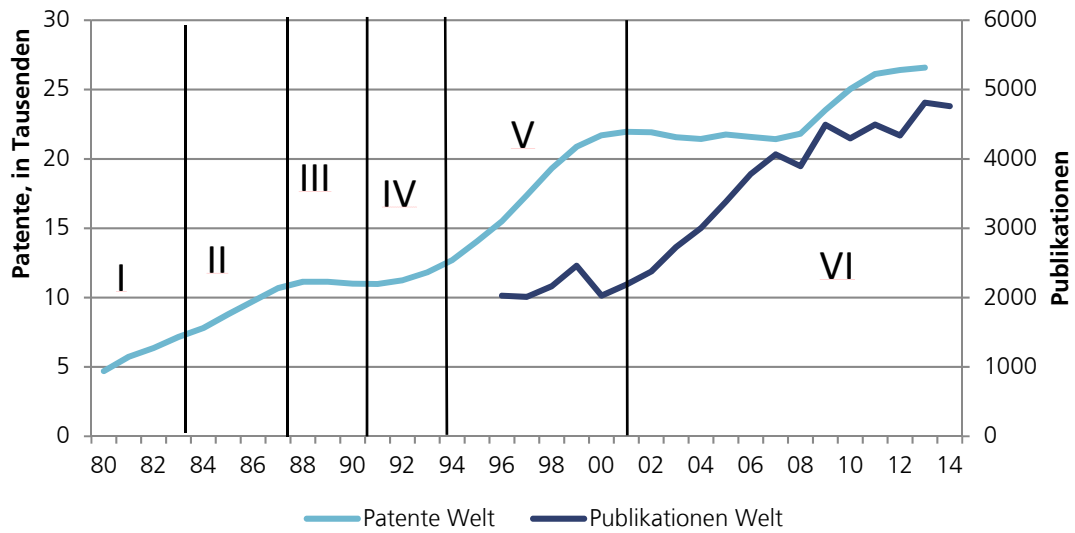


Prozentuale Anteile an Patenten weltweit

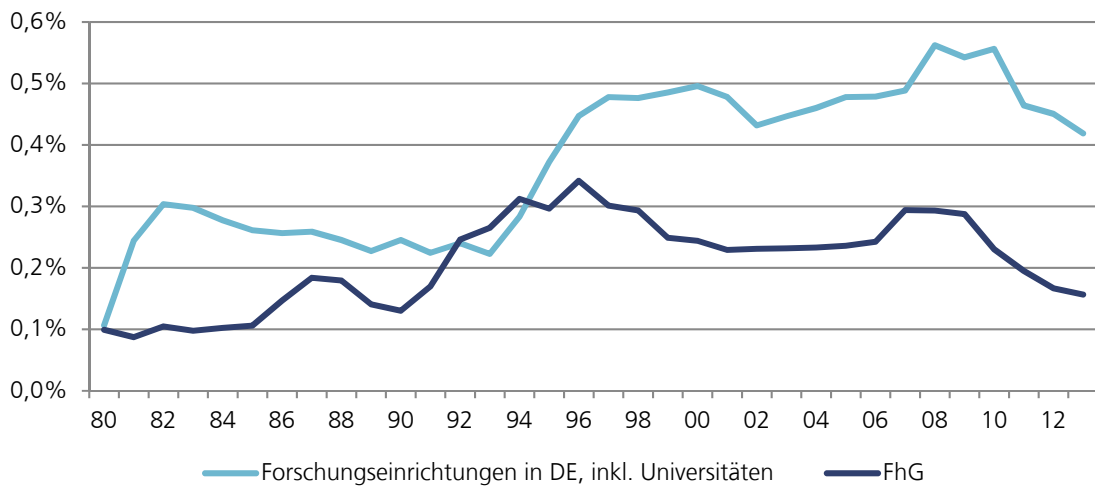


Quelle: EPA – PATSTAT, SCOPUS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Abbildung A4: Weltweite Entwicklung der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen in der Produktionstechnik

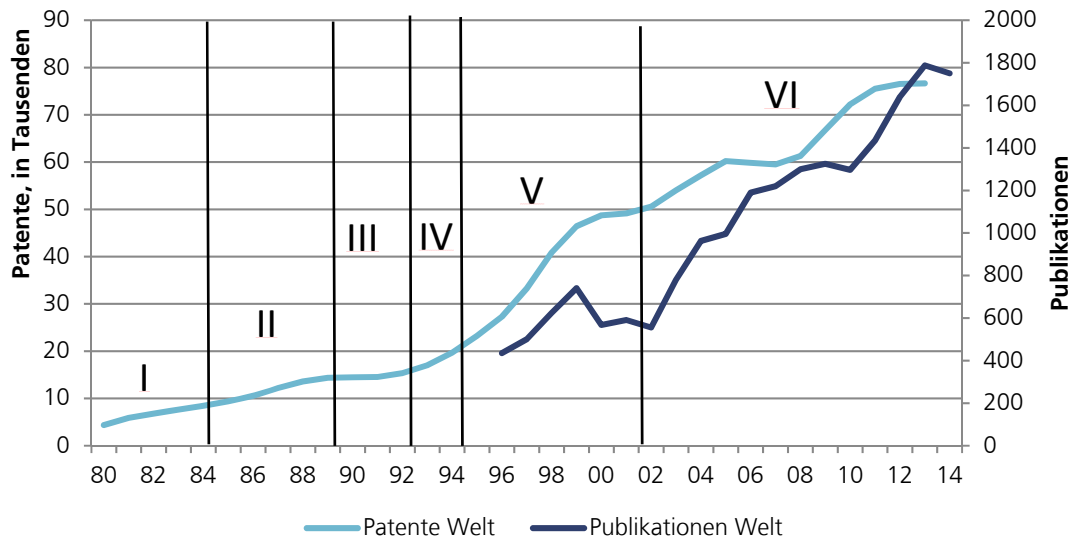


Prozentuale Anteile an Patenten weltweit



Quelle: EPA – PATSTAT, SCOPUS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Abbildung A5: Weltweite Entwicklung der Patentanmeldungen und wissenschaftlichen Publikationen in der Elektrotechnik/Mikroelektronik



Prozentuale Anteile an Patenten weltweit



Quelle: EPA – PATSTAT, SCOPUS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

6.3 Annex 2 – PI-Auswertungen

Tabelle A1: Branchenverteilung der Unternehmen mit und ohne Fraunhofer-Kooperation (nur Verarbeitendes Gewerbe), 2012

% innerhalb von Branche NACE Rev. 2 (11 Gruppen)	Kooperation mit Fraunhofer	
	nein	ja
Hrst. von Nahrungs- und Genussmitteln, Getränken und Tabakerz. (10-12)	95,0%	5,0%
Hrst. von Textilien, Bekleidung, Leder, Lederwaren und Schuhen (13-15)	92,2%	7,8%
Hrst. von Holzwaren, Papier, Pappe und Waren daraus, Hrst. von Druckerz. (16-18)	93,4%	6,6%
Hrst. von chemischen Erzeugnissen (20, 21)	67,1%	32,9%
Hrst. von Gummi- und Kunststoffwaren, Glaswaren, Keramik, etc. (22, 23)	85,2%	14,8%
Metallerzeugung und -bearbeitung, Hrst. von Metallerzeugnissen (24, 25)	85,6%	14,4%
Hrst. von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und opt. Erzeugnissen (26)	52,3%	47,7%
Hrst. von elektrischen Ausrüstungen (27)	71,0%	29,0%
Maschinenbau (28)	63,2%	36,8%
Fahrzeugbau (29, 30)	59,6%	40,4%
Sonstige Hrst. von Waren, Rep./Inst. v. Maschinen/Ausrüstungen (19, 31-33)	86,9%	13,1%
Gesamt	78,9%	21,1%

Quelle: ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion*, BMBF Förderkatalog, SIGMA, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Tabelle A2: Logit-Regressionen - Einfluss der Fraunhofer-Kooperation auf die innovative Performanz der Unternehmen I (volle Modelle)

Logit Modelle	Produktneuheiten		Marktneuheiten		Neue, produkt begleitende DL		Prozessinnovationen		Organisatorische Innovationen		Innovator (jeql. Art)						
	dy/dx	Std. F.	dy/dx	Std. F.	dy/dx	Std. F.	dy/dx	Std. F.	dy/dx	Std. F.	dy/dx	Std. F.					
Fraunhofer-Koop.	0,102	**	0,039	0,132	***	0,044	0,028	0,028	0,001	0,025	0,026	0,035	0,061	*	0,032		
FuE-Koop. mit Forschung	0,114	***	0,033	0,120	***	0,043	0,032	0,026	0,034	0,025	0,071	**	0,032	0,105	***	0,026	
FUE 2011 (ja/nein)	0,322	***	0,029	0,140	***	0,042	0,020	0,025	0,076	***	0,024	0,031	0,031	0,183	***	0,026	
KMU (0=Großunternehmen/1=KMU)	-0,085	*	0,045	-0,032		0,049	-0,009	0,030	-0,082	**	0,032	-0,166	***	0,040	-0,092	***	0,033
Produktkomplexität																	
<i>Einfache Erz.</i>	-0,106	**	0,045	-0,057		0,058	-0,112	***	0,024	0,001	0,031	-0,058	0,039	-0,140	***	0,041	
<i>Erz. mittlerer Komplexität</i>	-0,067	*	0,035	-0,035		0,042	-0,043	*	0,023	0,011	0,023	-0,006	0,031	-0,061	**	0,028	
Wirtschaftszweig (WZ2008)																	
<i>Nahrung, Textilien, Holz, Sonstige</i>	0,023		0,056	0,099		0,065	-0,039	0,034	-0,002	0,037	-0,040	0,048	0,004		0,043		
<i>Chemie, Kunststoff, Gummi</i>	-0,031		0,058	-0,081		0,065	-0,033	0,033	0,009	0,037	0,053	0,050	0,005		0,044		
<i>Maschinenbau, Fahrzeugbau, Metall</i>	-0,090	*	0,052	-0,062		0,058	-0,041	0,031	0,013	0,033	-0,002	0,043	-0,019		0,041		
N	1.387		798		1.258		1.397		1.397		1.397						
LR chi2	284,85		64,25		36,2		41,76		64,25		215,25						
Prob > chi2	0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000						
Pseudo R2	0,151		0,058		0,031		0,032		0,035		0,136						

Quelle: ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion*, BMBF Förderkatalog, SIGMA, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Referenzkategorien: Produktkomplexität: Komplexe Produkte, WZ2008: "Elektrotechnik, IT".

Signifikanzlevel: *** < 0.01, ** < 0.05, * < 0.1.

Tabelle A3: Logit-Regressionen - Einfluss der Fraunhofer-Kooperation auf die innovative Performanz der Unternehmen II (volle Modelle)

Logit Modelle	Kooperationsintensität (hoch/niedrig)		Technologieeinsatz: Robotik		Technologieeinsatz: Digitalisierung	
	dy/dx	Std. F.	dy/dx	Std. F.	dy/dx	Std. F.
Fraunhofer-Koop.	-0,013	0,019	-0,026	0,037	-0,021	0,040
FuE-Koop. mit Forschung	0,227 ***	0,026	0,094 ***	0,033	0,113 ***	0,034
FUE 2011 (ja/nein)	0,064 ***	0,021	0,038	0,033	0,106 ***	0,034
KMU (0=Groß/1=KMU)	-0,022	0,024	-0,320 ***	0,040	-0,278 ***	0,041
Produktkomplexität						
<i>Einfache Erz.</i>	-0,033	0,025	0,035	0,043	-0,144 ***	0,043
<i>Erz. mittlerer Komplexität</i>	-0,030	0,019	-0,006	0,033	-0,030	0,035
Wirtschaftszweig (WZ2008)						
<i>Nahrung, Textilien, Holz, Sonstige</i>	-0,085 ***	0,024	0,107 *	0,056	-0,096 *	0,054
<i>Chemie, Kunststoff, Gummi</i>	-0,040 *	0,024	0,158 ***	0,056	-0,021	0,054
<i>Maschinenbau, Fahrzeugbau, Metall</i>	-0,062 **	0,024	0,113 **	0,049	0,021	0,049
N		1.275		1.341		1.307
LR chi2		222,81		106,08		161,58
Prob > chi2		0,000		0,000		0,000
Pseudo R2		0,183		0,059		0,089

Quelle: ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion*, BMBF Förderkatalog, SIGMA, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Referenzkategorien: Produktkomplexität: Komplexe Produkte, WZ2008: "Elektrotechnik, IT".

Signifikanzlevel: ***<0.01, **<0.05, *<0.1.

Tabelle A4: Matched-Pair-Ansatz – Diagnosestatistik

Covariate balance summary				
	Raw		Matched	
	Number of obs	1.307		2.614
Treated obs	281		1.307	
Control obs	1.026		1.307	
	Standardized Differences		Variance Ratio	
	Raw	Matched	Raw	Matched
FuE-Koop. mit Forschung	0,959	0,021	0,623	1,001
FUE 2011 (ja/nein)	0,748	0,055	0,829	1,006
KMU (0=Großunternehmen/1=KMU)	-0,603	-0,002	2,593	1,004
Produktkomplexität				
<i>Einfache Erz.</i>	-0,332	0,000	0,549	1,000
<i>Erz. mittlerer Komplexität</i>	-0,222	0,028	0,971	1,000
Wirtschaftszweig (WZ2008)				
<i>Nahrung, Textilien, Holz, Sonstige</i>	-0,559	0,000	0,375	1,000
<i>Chemie, Kunststoff, Gummi</i>	-0,073	0,000	0,898	1,000
<i>Maschinenbau, Fahrzeugbau, Metall</i>	0,249	0,000	1,042	1,000

Quelle: ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion*, BMBF Förderkatalog, SIGMA, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Tabelle A5: OLS-Regressionen – Zusammenhang des Unternehmenserfolgs und einer Kooperation mit Fraunhofer (alle Unternehmen)

alle Unternehmen						
Logit Modelle	Umsatz		EBIT		ROE	
	dy/dx	Std. F.	dy/dx	Std. F.	dy/dx	Std. F.
Fraunhofer-Koop.	496203.7	324798.7	48776.7	30228.8	-6.7	16.2
FuE-Koop. mit Forschung	49815.0	291134.7	12599.6	29680.0	-7.2	15.9
FUE 2011 (ja/nein)	-99570.5	291416.0	-9194.4	28735.4	-0.2	15.4
KMU (0=Großunternehmen/1=KMU)	-772267.9 **	344435.9	-60683.4 *	33641.9	4.0	18.0
Produktkomplexität						
<i>Einfache Erz.</i>	116196.9	354582.4	3656.1	39353.9	18.7	21.1
<i>Erz. mittlerer Komplexität</i>	246812.5	272739.2	23453.1	28487.4	24.2	15.2
Wirtschaftszweig (WZ2008)						
<i>Nahrung, Textilien, Holz, Sonstige</i>	-814082.3 *	445690.5	-72655.6	45960.0	-16.0	24.6
<i>Chemie, Kunststoff, Gummi</i>	-792156.8 *	430429.3	-62813.8	44973.7	19.7	24.1
<i>Maschinenbau, FZ-Bau, Metall</i>	-952511.1 **	387914.6	-83716.9 **	38527.7	9.9	20.6
Konstante	1379258.0 **	556318.3	107815.2 **	53431.6	244.8 ***	28.6
N	670		507		507	
F	2.19		1.71		0.74	
Prob > F	0.021		0.085		0.671	
R2	0.029		0.030		0.013	

Quelle: ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion*, SIGMA, BvD – ORBIS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Referenzkategorien: Produktkomplexität: Komplexe Produkte, WZ2008: "Elektrotechnik, IT".

Signifikanzlevel: ***<0.01, **<0.05, *<0.1.

Tabelle A6: OLS-Regressionen – Zusammenhang des Unternehmenserfolgs und einer Kooperation mit Fraunhofer (Großunternehmen)

nur Großunternehmen						
Logit Modelle	Umsatz		EBIT		ROE	
	dy/dx	Std. F.	dy/dx	Std. F.	dy/dx	Std. F.
Fraunhofer-Koop.	876128.90	1433940.00	74161.83	146430.20	23.55	32.19
FuE-Koop. mit Forschung	-174536.80	1995192.00	-30912.62	185209.20	0.17	40.71
FUE 2011 (ja/nein)	1689138.00	1840316.00	148085.50	167740.00	64.41	* 36.87
Produktkomplexität						
<i>Einfache Erz.</i>	476747.30	2326451.00	69812.12	221645.70	-54.40	48.72
<i>Erz. mittlerer Komplexität</i>	1633735.00	1480143.00	165040.10	146996.20	37.52	32.31
Wirtschaftszweig (WZ2008)						
<i>Nahrung, Textilien, Holz, Sonstige</i>	-4186769.00	2872126.00	-305289.10	267557.70	105.26	* 58.81
<i>Chemie, Kunststoff, Gummi</i>	-4869648.00	* 2610413.00	-374583.80	253234.80	111.83	** 55.67
<i>Maschinenbau, Fahrzeugbau, Metall</i>	-4429748.00	** 1960351.00	-319913.50	* 180178.60	34.76	39.61
Konstante	2263681.00	2859661.00	133667.40	260962.60	133.52	** 57.36
N	115		94		94	
F	1.03		0.79		1.47	
Prob > F	0.420		0.612		0.182	
R2	0.072		0.069		0.121	

Quelle: ISI-Erhebung *Modernisierung der Produktion*, SIGMA, BvD – ORBIS, Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Referenzkategorien: Produktkomplexität: Komplexe Produkte, WZ2008: "Elektrotechnik, IT".

Signifikanzlevel: *** < 0.01, ** < 0.05, * < 0.1.

6.4 Literatur

- Abadie, A./Drukker, D./Herr, H./Imbens, G. (2003): Implementing Matching Estimators for Average Treatment Effects in STATA, *The Stata Journal*, 4, 290-311.
- Abadie, A./Imbens, G. (2002): Simple and Bias-Corrected Matching Estimators for Average Treatment Effects, Technical Working Paper T0283, NBER.
- Abadie, A./Imbens, G. (2006): Large Sample Properties of Matching Estimators for Average Treatment Effects, *Econometrica*, 74, 235-267.
- Afonso, A., St Aubyn, M. (2008). Macroeconomic rates of return of public and private investment: crowding-in and crowding-out effects.
https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1090278
- Angrist, J.D./Pischke, J.-S. (2009): *Mostly Harmless Econometrics: an Empiricist's Companion*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Arnold, N. (2007): *Die Bedeutung der Wissenschaftsfreiheit für die Fraunhofer-Gesellschaft*. Baden-Baden: Nomos.
- Behlau, L. (2012): *Strategic Management of a Contract Research Organization - The Fraunhofer Model*, Munich: Fraunhofer.
- BMBF [Bundesministerium für Bildung und Forschung] (2014): *Bundesbericht Forschung und Innovation 2014*. Bonn, Berlin.
- Bürgel, H.D./Binder, M./Schultheiß, R. (1996): *Die Universität Stuttgart als Wirtschaftsfaktor für die Region Stuttgart*. Stuttgart.
- Christiano, L, Eichenbaum, M., Rebelo, S. (2011): When is Government Spending Multiplier Large? *Journal of Political Economy*, 119, 78-121.
- Dornbusch, F.; Neuhäusler, P. (2015): *Academic Patents in Germany, Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 6-2015*, Berlin: Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI).
- Dornbusch, F./Schmoch, U./Schulze, N./Bethke, N. (2013): Identification of university-based patents: A new large-scale approach, *Research Evaluation*, 22, 52-63.
- Dreher, C./Frietsch, R./Hemer, J./Schmoch, U. (2005): Die Beschleunigung von Innovationszyklen und die Rolle der Fraunhofer-Gesellschaft. In: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): *Fokus Innovation*. München: Hanser, 275-306.
- Egeln, J./Köhler, C./Niefert, M./Schliessler, P./Schubert, T./Kroll, H. (2016): *Wirkungen der öffentlichen Finanzierung von Wissenschaft und Forschung in Baden-Württemberg auf die wirtschaftliche Entwicklung des Landes*. Stuttgart: Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst des Landes Baden-Württemberg (Hrsg.).

- Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (Hrsg.) (2015): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit 2015. Berlin: EFI.
- Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (2016): Jahresgutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2016, Berlin: EFI.
- Fraunhofer-Gesellschaft (Hrsg.) (2011): Strategic Management of a Contract Research Organization - The Fraunhofer Model . München: Fraunhofer.
- Freeman, C. (1982): The Economics of Industrial Innovation. London: Pinter Publishers.
- Frietsch, R./Neuhäusler, P./Jung, T./van Looy, B. (2014): Patent indicators for macroeconomic growth - The value of patents estimated by export volume, *Technovation*, 34, 546-558.
- Frietsch, R. (2014): Green Technologies - Germany's and China's Activities in Renewable Energies. In: Mu, R./Meckl, R. (Hrsg.): Innovation for Green Growth. Beijing: Science Press.
- Frietsch, R./Schmoch, U. (2010): Transnational Patents and International Markets, *Scientometrics*, 82, 185-200.
- Frietsch, R./Schmoch, U./van Looy, B./Walsh, J.P./Devroede, R./Du Plessis, M./Jung, T./Meng, Y./Neuhäusler, P./Peeters, B./Schubert, T. (2010): The Value and Indicator Function of Patents. Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 15-2010, Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) (Hrsg.). Berlin.
- Glückler, J./Panitz, R./Wuttke, C. (2013): Die wirtschaftliche Bedeutung der Landesuniversitäten für das Land Baden-Württemberg. Heidelberg: Universität Heidelberg. Online: <http://www.lrk-bw.de/images/PDF/2013-LRK-Endbericht.pdf> (abgerufen am: 29.07.2016).
- Goldstein, H.A./Renault, C.S. (2004): Contributions of Universities to regional economic development: A quasi-experimental approach, *Regional Studies*, 38, 733-746.
- Grupp, H. (1998): Foundations of the Economics of Innovation - Theory, Measurement and Practice. Cheltenham: Edward Elgar.
- Internationaler Währungsfond (2012): World Economic Outlook, Coping with High Debt and sluggish Growth, Washington.
- Kowalski, J./Meyborg, M./Dziembowska-Kowalska, J./Häußling, R./Schaffer, A. (Hrsg.) (2012): Karlsruher Institut für Technologie – Impulsgeber für Karlsruhe und die Region. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing.
- Kroll, H./Schubert, T. (2014): On universities' long-term effects on regional value creation and unemployment. The case of Germany, Working Papers Firms and Region Nr. R2/2014, Karlsruhe: Fraunhofer ISI.

- Linden, A.; Fenn, J. (2002): Emerging Technologies Hype Cycle: Trigger to Peak, Stamford: Gartner Group.
- Long, J.S. (1997): Regression Models for Categorical and Limited Dependent Variables. Advanced Quantitative Techniques in the Social Sciences Series 7, Thousand Oaks, London, New Delhi: SAGE Publications.
- Long, J.S./Freese, J. (2003): Regression Models for Categorical Dependent Variables using Stata, Revised Edition. College Station, Texas: Stata Press.
- Manning, S./Massina, S./Lewin, A.Y. (2008): A Dynamic Perspective on Next-Generation Offshoring: The Global Sourcing of Science and Engineering Talent, *ACAD Manage Perspect*, 22, 35-54.
- Meyer-Krahmer, F./Dreher, C. (2004): Neuere Betrachtungen zur Technikzyklen und Implikationen für die Fraunhofer-Gesellschaft. In: Spath, D. (Hrsg.): Forschungs- und Technologiemanagement. Potenziale nutzen - Zukunft gestalten. München: Hanser.
- Moed, H.F./Glänzel, W./Schmoch, U. (Hrsg.) (2004): Handbook of Quantitative Science and Technology Research. The Use of Publications and Patent Statistics in Studies of S&T Systems. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.
- Schlump, C./Brenner, T. (2010): University education, public research and employment growth in regions: An empirical study of Germany, *Berichte zur deutschen Landeskunde*, 84, 115-136.
- Schmoch, U. (2007): Double-boom cycles and the Comeback of Science-push and Market-pull, *Research Policy*, 36, 1000-1015.
- Schubert, T./Kroll, H. (2013): Endbericht zum Projekt "Hochschulen als regionaler Wirtschaftsfaktor". Karlsruhe. Online: http://www.stifterverband.de/wirtschaftsfaktor-hochschule/regionale_bedeutung_von_hochschulen.pdf (abgerufen am: 30.11.2013).
- Schubert, T./Rammer, C. (2016): Concentration on the Few? R&D and Innovation in German Firms 2001 to 2013, Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis, Karlsruhe: Fraunhofer ISI.
- Schubert, T./Rammer, C./Frietsch, R./Neuhäusler, P. (2013): Innovationsindikator 2013, Deutsche Telekom Stiftung; BDI (Hrsg.). Bonn: Deutsche Telekom Stiftung.
- Utterback, J.M./Abernathy, W.J. (1975): A dynamic model of process and product innovation, *Omega*, 3, 639-655.
- van Raan, A. (Hrsg.) (1988): Handbook of quantitative studies of science and technology. Amsterdam: North-Holland.