

## Abstract der Dissertation

*Welche Organisationsformen produzieren Wissenschaft? Expansion, Vielfalt und Kooperation im deutschen Hochschul- und Wissenschaftssystem im globalen Kontext, 1900-2010*

### Überblick und Einleitung

Bereits der Titel meiner Dissertation „Welche Organisationsformen produzieren Wissenschaft? Expansion, Vielfalt und Kooperation im deutschen Hochschul- und Wissenschaftssystem im globalen Kontext, 1900-2010“ verspricht, dass sich dem Thema der Entwicklung wissenschaftlicher Produktivität in Deutschland aus verschiedenen Perspektiven (Analyseebenen, Dimensionen und Zeitrahmen) genähert werden soll. Eingebettet in das international vergleichende Forschungsprojekt *Science Productivity, Higher Education, Research and Development, and the Knowledge Society* (SPHERE) rückt meine Dissertation die Analyse des Einflusses der Hochschulentwicklung und der wissenschaftlichen Kapazitätsbildung auf die wissenschaftliche Wissensproduktion in den Vordergrund. Es interessiert mich, wie die im deutschen Hochschul- und Wissenschaftssystem vorherrschenden Strukturen und institutionellen Settings die langfristige Entwicklung wissenschaftlicher Produktivität beeinflusst und verändert haben. Besonders vor dem Hintergrund einer voranschreitenden Globalisierung und Internationalisierung der Wissenschaft, einer weltweiten Vernetzung von Wissenschaftlern und der Herausbildung einer Wissensgesellschaft.

Die Annäherung an den Forschungsgegenstand erfolgt auf der Makro- und Mesoebene: den institutionalisierten und organisationalen Settings, in denen Wissenschaft produziert wurde und wird. Da Informationen zu einzelnen Autoren nicht zur Verfügung standen, können keine Aussagen auf der Mikroebene getroffen werden, wenngleich Publikationen natürlich immer von Individuen verfasst werden und nicht von den hier untersuchten Ländern oder Organisationsformen und Einzelorganisationen. Anhand der Dimensionen Expansion, Vielfalt und Kooperation wird der Untersuchungsrahmen abgesteckt und eine Ordnung der Fragestellung vorgenommen, an denen die Struktur der Arbeit ausgerichtet ist. Der Zeitrahmen der Arbeit umfasst die Jahre 1900 bis 2010, also mehr als ein Jahrhundert (siehe Abschnitt 1.2).

Ziel dieser Arbeit ist es darzulegen, warum Wissenschaftler ihre Ergebnisse in Form von Zeitschriftenartikeln publizieren. Es geht unter anderem darum, die Wichtigkeit wissenschaftlicher Erkenntnisse hervorzuheben, da nicht publizierte Ergebnisse für die Wissenschaft nicht existieren und sich aus der Art und Weise, wie publiziert wird, die Organisation der Forschung innerhalb und übergreifend einer Disziplin oder eines Fachs ableiten lässt. In den in dieser Arbeit untersuchten Fächergruppen Mathematik, Ingenieur-, Natur- und Technikwissenschaften sowie Medizin (im Folgenden angelehnt an die englische Abkürzung *STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) plus Medicine* als *STEM+* bezeichnet) spielen Publikationen in *peer reviewed* Zeitschriften eine wichtige Rolle – neben Patenten in den angewandteren Fächergruppen sind sie heutzutage das wichtigste Publikationsformat. Sie dienen nicht nur der Dokumentation generierten Wissens, sondern sind auch ein Anzeiger für die Reputation eines Forschers und dienen der Messung wissenschaftlicher Produktivität. Zeitschriftenpublikationen in hochklassigen Zeitschriften, die einem *peer review* Verfahren unterliegen, können als *gold standard* zur Messung wissenschaftlicher Produktivität herangezogen werden.

In den letzten Jahrzehnten kam es zu einer zunehmenden Verwissenschaftlichung vieler gesellschaftlichen Teilbereiche und die Generierung wissenschaftlichen Wissens rückte immer weiter ins Zentrum des politischen und wirtschaftlichen Interesses, unabhängig davon, wo es produziert wurde. Aus diesem Grund werden die Orte und institutionellen Settings (Organisationen, Organisationsformen) wissenschaftlicher Produktivität (hauptsächlich Universitäten, außeruniversitäre Forschungsinstitute, Unternehmen, Behörden und Ressortforschungseinrichtungen und Krankenhäuser) identifiziert und voneinander abgegrenzt. Indem ihre Gemeinsamkeiten und Unterschiede anhand ihrer Aufgaben und Ziele sowie der Art der Forschung diskutiert werden.

In einem ersten Schritt lege ich dar, warum ich diese Arbeit an der Schnittstelle zwischen Hochschul- und Wissenschaftsforschung und der Bibliometrie angelegt habe (siehe Kapitel 2 und 5). Publikationsanalysen werden zwar immer noch als Hauptaufgabe der Bibliometrie gesehen, aber ihre Ergebnisse werden auch von anderen Akteuren wie Hochschulmanagern, Politikern und Wissenschaftlern genutzt, um einerseits Aussagen über die Qualität der Wissenschaft zu treffen, aber auch um sich miteinander zu vergleichen oder steuernd in die Struktur und Organisation einzugreifen und Aussagen über den Output des Hochschul- und Wissenschaftssystems zu treffen. Direkte Aussagen über die Qualität der Forschung auf Basis der Anzahl an Zeitschriftenartikeln,

die ein Wissenschaftler publiziert, können nicht getroffen werden, es kann aber über die Qualität einer Zeitschrift (*Impactfactor*) ein Proxi gebildet werden, mit dessen Hilfe Vergleiche zwischen Disziplinen getroffen werden können. Um wissenschaftliche Produktivität zu messen, müssten ergänzende Parameter hinzugezogen werden. Aus diesem Grund werden in dieser Arbeit lediglich Aussagen über die Quantität wissenschaftlicher Produktivität getroffen, nicht aber über die Qualität der untersuchten Zeitschriftenartikel, die Forschungsleistung einzelner Wissenschaftler, Organisationen oder Organisationsformen und einzelner Länder. Nichtdestotrotz zeigen Indikatoren zur Messung wissenschaftlichen Outputs eine große Expansion wissenschaftlicher Produktivität, eine Stabilität der Universitäten im Zeitverlauf und die Wichtigkeit Deutschlands als Wissenschaftsproduzent sowie eine steigende Differenzierung und Diversifizierung der Organisationsformen. Zudem können die 1990er Jahre als Startpunkt steigender nationaler und internationaler Kooperationen gesehen werden.

In Kapitel 2 zum multidisziplinären Kontext der Arbeit zeige ich, in welcher Beziehung sich die Hochschul- und Wissenschaftsforschung in Deutschland zueinander befinden. Wissenschaftliches Wissen nimmt eine Sonderstellung im Vergleich zu anderen Wissensformen ein, da es unter bestimmten Bedingungen, die von der wissenschaftlichen Gemeinschaft selbst bestimmt werden, generiert und verbreitet wird. Um einen Überblick über die wichtigsten Studien innerhalb meines Feldes zu bekommen, und um meine Arbeit in den empirischen Kontext zu rücken, beschreibe ich in Kapitel 3 dieser Arbeit den aktuellen Forschungsstand.

## Forschungsfragen

Abschnitt 1.2 stellt einen detaillierten Überblick über die dieser Arbeit zugrunde liegenden Forschungsfragen bereit:

*Welche Organisationsformen produzieren Wissenschaft?*

1. *Wie hat sich die wissenschaftliche Produktivität weltweit und im europäischen Vergleich zwischen 1900 und 2010 entwickelt?*
2. *Wie war/ist das deutsche Hochschul- und Wissenschaftssystem in die globalen Entwicklungen der Hochschulbildung und Wissenschaft im Zeitverlauf eingebettet?*

3. *Wie hat sich die wissenschaftliche Produktivität in Deutschland zwischen 1900 und 2010 entwickelt?*
4. *Unter allen Wissenschaft produzierenden Organisationsformen, was tragen die „klassischen“ Formen zur wissenschaftlichen Produktivität bei?*
5. *Welche Organisationsformen stellen die besten Bedingungen für wissenschaftliche Produktivität bereit?*
6. *Welche Einzelorganisationen gehören zu den forschungsstärksten in Deutschland?*
7. *Welchen Einfluss hat die zunehmende Internationalisierung der Forschung auf nationale und internationale Kooperationen in Form von Publikationen in Zeitschriftenartikeln?*

## Theoretischer Rahmen

Theoretisch (siehe Kapitel 4) basiert meine Arbeit auf einem neu-institutionellen (NI) Ansatz zur Untersuchung und Erklärung der Expansion des Hochschulwesens und der Wissenschaft weltweit. Trotz des allgemeinen Wachstums wissenschaftlicher Produktivität bestehen beträchtliche Unterschiede zwischen den institutionellen Settings, Organisationsformen und einzelner Organisationen, die maßgeblich zur wissenschaftlichen Produktivität beitragen. Der soziologische NI konzentriert sich auf das Verständnis von Institutionen und Organisationen. Institutionen sind ein wichtiger Baustein, um soziales Handeln und Prozesse der Gesellschaftsentwicklung zu verstehen. Organisationen und Institutionen stehen in einer wechselseitigen Beziehung zueinander. Die zentralen Annahmen des NI wurden von Walter Powell, Paul DiMaggio und Richard Scott formuliert. Meilensteine: der Zusammenhang von Organisation und Gesellschaft und die Annahme, dass formale Organisationsstrukturen Mythen zum Ausdruck bringen, die in ihrer gesellschaftlichen Umwelt institutionalisiert sind. Indem Organisationen diese Mythen erfassen, kopieren und zeremoniell zur Geltung bringen, werden Strukturähnlichkeiten (Isomorphien) zwischen Organisationen und der Gesellschaft hergestellt. Das Konzept der „organisationalen Felder“ dient der Beschreibung der Beziehung zwischen verschiedenen Organisationen und beinhaltet alle relevanten Organisationen, die sich mit ihrer gesellschaftlichen Umwelt auseinander setzen. In Abschnitt 4.1.2 werden die Unterschiede zwischen den Begriffen Institutionen und Organisationen diskutiert, da diese besonders in der deutschsprachigen Soziologie nicht trennscharf genutzt werden.

Grundsätzlich unterscheiden sich Ansätze institutioneller Theorie in ihrer Anwendungsebene, sie sind aber durch ihren Überbau miteinander verschränkt. Folglich ist der NI als theoretische Basis besonders gut geeignet, um eine Mehrebenenanalyse der wissenschaftlichen Produktivität zeit- und ortsübergreifend durchzuführen. Die historische Entwicklung des deutschen Hochschul- und Wissenschaftssystems kann nicht ohne eine Berücksichtigung der globalen Entwicklungen durchgeführt werden, da es einerseits einen enormen Einfluss auf die Entwicklung anderer Systeme weltweit hatte/hat und andererseits globale Entwicklungen die Institutionalisierung und Organisation der Wissenschaft in Deutschland beeinflussen. Intersektorale und internationale Kooperationen sind im Zeitverlauf angewachsen, werden immer wichtiger und führen zu ausgeprägten Netzwerken innerhalb und zwischen Hochschul- und Wissenschaftssystemen weltweit. Aufgrund einer zunehmenden Verzahnung einzelner Länder und den damit einhergehenden Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Analyseebenen (makro, meso, mikro) ist eine klassische, nationalstaatliche Analyse nicht mehr zielführend. Nichtsdestotrotz können Länder als vergleichbare Einheiten gesehen werden, da sie über klar definierte Grenzen und Strukturen verfügen. Die unterschiedlichen theoretischen Perspektiven und Analyseebenen werden in Abbildung 5 genauer beschrieben.

Der theoretische Ansatz der „Weltkultur“ bietet eine breitere Linse des soziologischen NI auf die globale Arena. Der Fokus liegt auf globalen und internationalen Strukturen und Prozessen, die sich über lange Zeit entwickelt haben. Mit Hilfe dieser Perspektive können globale Diffusion und formale Strukturen der Entkopplung von formalen Grundsätzen und praktischer Anwendung erklärt werden.

Zusammen nehmen der historische und soziologische Institutionalismus zeitliche Entwicklungen und Prozesse in den Blick, die erklären, wie Institutionen entstehen und sich verändern. Die Konzepte *critical junctures* und Pfadabhängigkeit sollen helfen diese Prozesse auf der Mesoebene zu verstehen.

Um die Transformation der Wissensproduktion im Zeitverlauf des 20. Jahrhunderts zu verstehen und um zu analysieren, welche Organisationsformen an der Produktion wissenschaftlichen Wissens beteiligt waren, werden zwei theoretische Konzepte herangezogen: Modus 1 versus Modus 2 Wissenschaft und das Triple-Helix Modell zur Beschreibung der Beziehung zwischen Wissenschaft, Industrie und Staat.

In *The New Production of Knowledge* beschreiben Michael Gibbons und seine Kollegen den Wandel der Wissenschaft von einer akademischen, disziplinären und autonomen, traditionellen, Organisation der Wissenschaft (Modus 1) mit einem Schwerpunkt auf Universitäten als wichtigste Organisationsform, hin zu einer anwendungsorientierteren, transdisziplinären, diversen und reflexiven Organisation der Wissenschaft (Modus 2), die eine diversere Organisation der Wissenschaft unterstützt und auf einem breiteren organisationalen Setting der Wissensproduktion beruht. Innerhalb der Literatur wird diskutiert, ob das neue Modell das alte ersetzen soll und welches der Modelle die gegenwärtige Organisation der Wissenschaft am besten beschreibt. Im Gegensatz hierzu bleibt beim Triple-Helix Modell die historische Rolle der Universitäten erhalten. Der Ansatz geht davon aus, dass zukünftige Innovationen aus einer Beziehung von Universitäten (Wissensproduktion), Industrie (Generierung von Wohlstand) und dem Staat (Kontrolle) resultieren.

## **Daten und Methoden**

In dieser Arbeit werden ausschließlich Publikationen in *peer reviewed* Zeitschriften als Kennzeichen wissenschaftlicher Produktivität herangezogen. Dieser Schwerpunkt ermöglicht mir eine tiefgreifende Analyse von Publikationen über einen Zeitraum von mehr als einem Jahrhundert. Zeitschriftenartikel in hochklassigen und möglichst internationalen Journals bilden den *gold standard* wissenschaftlichen Outputs in den hier untersuchten Mathematik, Ingenieur-, Natur- und Technikwissenschaften sowie der Medizin (*STEM+*). Meine Daten basieren auf einem stratifizierten, repräsentativen Sample (siehe ausführlich Kapitel 6) publizierter Zeitschriften, die als Rohdaten aus Thomson Reuters *Web of Science Science Citation Index Expanded (SCIE)* zur Analyse zur Verfügung stehen (eine vergleichbare Datenbank stellt Elseviers Scopus bereit). Methodologisch wird eine Kombination aus einer vergleichenden institutionelle Analyse ausgewählter Länder, eine historische Untersuchung des deutschen Hochschul- und Wissenschaftssystems und eine systematische, globale Auswertung bibliometrischer Publikationsdaten angestrebt.

Der SCIE umfasst mehr als 90 Millionen Einträge (gespeichert werden nahezu alle Typen wissenschaftlichen Outputs), hauptsächlich aus den oben genannten Fächergruppen. Diese Arbeit beschränkt sich auf originale Zeitschriftenartikel

(Originalmitteilungen), da lediglich dieser Publikationstyp zertifiziertes und neues Wissen enthält. Der SPHERE Datensatz umfasst publizierte Zeitschriftenartikel aus den Jahren 1900 bis 2010. Von 1900 bis 1970 wurden die Daten in 5-Jahres-Schritten mittels einer geschichteten Zufallsstichprobe ausgewählt. Ab 1975 stehen die Daten vollständig und ab 1980 in Jahresschritten zur Verfügung. Abhängig von der untersuchten Fragestellung werden die Daten in 5-Jahres- oder 10-Jahres-Schritten analysiert. Eine detaillierte Beschreibung des Samplings und der Gewichtung der Daten kann den Abschnitten 6.2.2 und 6.8 entnommen werden. Unter Berücksichtigung dieser Kriterien werden 17.568 unterschiedliche Zeitschriften (42.963 Zeitschriften, wenn dieselbe Zeitschrift in unterschiedlichen Jahren mehrfach berücksichtigt wird) und 5.089.233 Forschungsartikel untersucht. Um die Daten für die Analyse aufzubereiten muss eine intensive Vorarbeit geleistet werden. Sie werden umfassend (nach-)kodiert und bereinigt. Besonders häufig sind Fehler oder fehlende Informationen auf Ebene der Länder und/oder der Organisationen/Organisationsformen, in denen die Forschung betrieben wurde. Im Zeitraum von Juni 2013 bis Dezember 2015 habe ich die Originalzeitschriften und -artikel in Online-Zeitschriftendatenbanken oder Archiven verschiedener Universitätsbibliotheken eingesehen, begutachtet und mit Hilfe einer Excel-Tabelle katalogisiert und fehlende Informationen, wenn vorhanden, ergänzt.

In der Bibliometrie werden verschiedene Vorgehensweisen diskutiert, wie Publikationen gezählt werden können. Die Analysen dieser Arbeit basieren hauptsächlich auf der *whole count* Methode (siehe Tabelle 1). Die Entscheidung basiert auf der Annahme, dass jeder Autor, jede Organisation, oder jedes Land gleichermaßen zu einer Publikation beigetragen hat. Folglich kann es zu einer Verzerrung bzw. Überschätzung der Ergebnisse kommen, da Zeitschriftenartikel mehrfach gezählt werden, wenn sie in Form von Forschungskooperationen publiziert wurden. Um die absolute Anzahl an Publikationen (weltweit, Europa, Deutschland) zu ermitteln, wird die Gesamtzahl an Artikeln pro Jahr (ohne Duplikate) berechnet.

## **Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse**

Der empirische Teil meiner Arbeit ist in drei Teile untergliedert. Die folgenden Abschnitte fassen die jeweils wichtigsten Ergebnisse zusammen.

### *The Global Picture – Hochschul- und Wissenschaftssysteme im Vergleich*

Im Mittelpunkt meiner Dissertation steht die Frage, welche Organisationsformen Wissenschaft produzieren. Um die Ergebnisse der detaillierten Fallstudie einordnen und bewerten zu können, erfolgt zunächst eine Einbettung in den globalen und europäischen Kontext. Die forschungsleitenden Fragen, wie hat sich die wissenschaftliche Produktivität weltweit und im europäischen Vergleich zwischen 1900 und 2010 entwickelt und wie war/ist das deutsche Hochschul- und Wissenschaftssystem in die globalen Entwicklungen der Hochschulbildung und Wissenschaft im zeitverlauf eingebettet, wird folgendermaßen beantwortet:

In einem ersten Schritt wird gezeigt, dass das weltweite wissenschaftliche Wachstum zwischen 1900 und 2010 exponentiell verlief und dieser Trend vermutlich bis heute anhält (siehe Abbildungen 3 und 10, S. 50, 147). Die massive Ausdehnung wissenschaftlichen Wissens hatte und hat auch heute noch einen großen Einfluss auf gesellschaftliche Entwicklungen, die nicht auf den wirtschaftlichen und technischen Fortschritt beschränkt sind. Ich werde darstellen, dass Hochschul- und Wissenschaftssysteme weltweite Gemeinsamkeiten aufweisen, die zu einer ähnlichen Entwicklung und Ausweitung wissenschaftlicher Produktivität geführt haben. Im Vergleich wichtiger europäischer Länder (Deutschland im Vergleich mit Großbritannien, Frankreich, Belgien und Luxemburg), kann gezeigt werden, dass zwischen der weltweiten Ausweitung der Wissenschaft, dem Anstieg an Publikationen und der Expansion von modernen Forschungsuniversitäten ein Zusammenhang besteht (siehe Abschnitt 7.2; Powell, Dusdal 2016, 2017a; 2017b im Druck). So wurde ein globales Feld der Wissenschaft aufgespannt, das als übergeordneter Rahmen fungiert. Drei geografische Zentren wissenschaftlicher Produktivität werden im Zeitverlauf identifiziert: Europa, Nordamerika und Asien. Sie haben zu unterschiedlichen Zeitpunkten an Bedeutung gewonnen oder verloren, doch zum heutigen Zeitpunkt tragen sie alle zur

wissenschaftlichen Produktivität in den untersuchten Fächergruppen bei. Allerdings sind besonders in Asien die Wachstumsraten massiv angestiegen (Powell et al 2017 im Druck).

Zweitens investieren alle Länder weltweit in Forschung und Entwicklung (FuE) (siehe Abbildung 9, S. 140). Diese Investitionen haben einen Einfluss auf ihre wissenschaftliche Produktivität. Zwischen einzelnen Ländern sind zum Teil große Unterschiede in der absoluten Publikationszahl und der relativen wissenschaftlichen Produktivität feststellbar. Nicht nur Investitionen in FuE tragen zur Expansion der Wissenschaft bei, sondern auch die Anmeldung von Patenten, höhere Studierendenzahlen, eine gestiegene Anzahl an Forschern, die Ausweitung von Forschungsaktivitäten in viele gesellschaftliche Teilbereiche, die Entwicklung von Forschungsprodukten und Neugründungen von Universitäten (Powell, Baker, Fernandez 2017 im Druck). Im Zuge der Hochschulexpansion und der Massifizierung der Hochschulbildung in den 1960er und 70er Jahren sind besonders die Studierendenzahlen und die Anzahl der Wissenschaftler extrem angestiegen. Es kam also zur Ausweitung des kompletten Hochschul- und Wissenschaftssystems und nicht nur zu einer Erhöhung der Anzahl an Publikationen. Im Umkehrschluss kann ein Teil des Anstiegs wissenschaftlicher Publikationen auf eine steigende Anzahl an Wissenschaftlern zurückgeführt werden.

Drittens kann die von Derek J. de Solla Price aufgestellte These, dass das exponentielle Wachstum wissenschaftlicher Literatur irgendwann abflachen müsse, widerlegt werden (siehe Abschnitt 2.4; Abbildungen 4 und 10, S. 53, 147). Obwohl einschneidende historische, politische, wirtschaftliche und technologische Ereignisse sowie Ereignisse bezogen auf die Hochschulen und Wissenschaft (siehe Abbildung 11, S. 150) kurzfristig zu einer Verringerung der Publikationszahlen geführt haben, wurde die Wachstumskurve nicht nachhaltig beeinflusst. Im Jahr 2010 wurden weltweit fast eine Million Zeitschriftenartikel in den Natur- und Technikwissenschaften sowie der Medizin publiziert.

In Abschnitt 7.2.2 zeige ich, dass die Anzahl der publizierten Zeitschriftenartikel im Verhältnis zu den Ausgaben für FuE, der Größe der Hochschul- und Wissenschaftssysteme und der Anzahl der Einwohner (siehe Abbildung 12, S. 159) und Wissenschaftler (siehe Tabelle 3, S. 162; Abbildung 13, S. 164) relativiert werden müssen.

Die anfängliche extreme Expansion der wissenschaftlichen Publikationen in den Mathematik, Ingenieur-, Natur- und Technikwissenschaften sowie der Medizin basiert auf einem allgemeinen Wachstum der Hochschul- und Wissenschaftssysteme (siehe oben). Unterschiedliche institutionelle Settings und Organisationsformen, in denen Wissenschaft produziert wird, haben einen Einfluss auf die wissenschaftliche Produktivität. Anhand der ausgewählten Fallbeispiele (Deutschland, Großbritannien, Frankreich, Belgien und Luxemburg) werde ich darlegen, dass Hochschul- und Wissenschaftssysteme, die über forschungsstarke Universitäten verfügen, höchst produktiv sind. Es kommt also nicht nur darauf an, wie viele Wissenschaftler innerhalb eines Systems beschäftigt werden, sondern auch darauf, in welchen institutionellen Settings sie arbeiten.

Fünftens, im internationalen Vergleich trägt Deutschland immer noch erheblich zur wissenschaftlichen Produktivität in den untersuchten Fächern bei. Mit einer Wachstumsrate von 3,35% Prozent folgt Deutschland den USA und Japan. Im Jahr 2014 wurden in Deutschland 84,5 Mrd./€ für FuE von der Regierung bereitgestellt. Dies entspricht einem Anteil von 2,9 Prozent des BIP. Somit wurde der EU-Richtwert von 2020 von 3 Prozent lediglich knapp verfehlt. Im Jahr 2010 wurden in Deutschland insgesamt 55.009 Zeitschriftenartikel in den *STEM+-Fächern* publiziert (siehe Tabelle A5 im Anhang). Im Vergleich der absoluten Zahlen mit Großbritannien, Frankreich, Belgien und Luxemburg nimmt das Land die Spitzensposition ein. Die Größe des Hochschul- und Wissenschaftssystems hat somit einen Einfluss auf die Publikationsleistung. Werden die Zahlen in einem nächsten Schritt mit anderen Schlüsselindikatoren in Beziehung gesetzt, verändert sich die Leistung der miteinander verglichenen Systeme zum Teil erheblich. Gemessen an der Einwohnerzahl werden in Deutschland weniger Zeitschriftenartikel publiziert als in Belgien oder Großbritannien. Die Anzahl der beschäftigten Wissenschaftler betrug in Deutschland im selben Jahr 1000:4. Nur in Luxemburg und Großbritannien ist das Verhältnis von Wissenschaftlern zur Einwohnerzahl größer.

## *Das Zusammenspiel der Organisationsformen der Wissenschaft in Deutschland von 1900 bis 2010*

Auf Basis der Analysen zum globalen und europäischen Kontext der Entwicklung wissenschaftlicher Produktivität im Zeitverlauf (siehe Kapitel 7) folgt eine tiefgreifende, institutionelle Analyse des deutschen Hochschul- und Wissenschaftssystems (siehe Kapitel 8). Sie dient als Ein- und Überleitung zur detaillierten empirischen Auswertung der Daten zum deutschen Hochschul- und Wissenschaftssystem. Hier werden die wichtigsten Institutionen und Organisationen sowie das organisationale Feld der Wissenschaft (Universitäten, Fachhochschulen, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen) vorgestellt. Zudem diskutiere ich die Unterschiede zwischen Ost- und Westdeutschland zur Zeit des geteilten Deutschlands (1945-1990).

Eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse zeigt, dass die Entwicklung der Publikationszahlen in Deutschland dem weltweiten und europäischen Trend (im kleineren Umfang) folgt (siehe Abbildung 16, S. 208). Es kam sowohl zu einer Expansion des wissenschaftlichen Wissens in Form eines exponentiellen Anstiegs an Publikationen, als auch zu einer Erhöhung der Vielfalt wissenschaftlicher Produktivität im Zeitverlauf (siehe Abschnitte 9.1 und 9.3). Die folgenden vier Forschungsfragen werden beantwortet: Wie hat sich die wissenschaftliche Produktivität in Deutschland zwischen 1900 und 2010 entwickelt? Unter allen Wissenschaft produzierenden Organisationsformen, was tragen die „klassischen“ Formen zur wissenschaftlichen Produktivität bei? Welche Organisationsformen stellen die besten Bedingungen für wissenschaftliche Produktivität bereit? Welche Einzelorganisationen gehören zu den forschungsstärksten in Deutschland?

Wie oben beschrieben, verläuft das Wachstum wissenschaftlicher Produktivität in Deutschland zwischen den Jahren 1900 und 2010 exponentiell. Die Kurve ist vergleichbar mit der weltweiten und europäischen Entwicklung, wenn auch in kleinerem Umfang. Zwar hatten auch hier verschiedene Ereignisse, wie der Zweite Weltkrieg, die Weltwirtschaftskrise oder die Wiedervereinigung, einen kurzfristigen Einfluss, allerdings kam es zu keiner Verlangsamung oder Abflachung des Wachstums (siehe Abbildung 11, S. 150). Bis ins Jahr 2010 wuchs die Anzahl der publizierten Zeitschriftenartikel in Deutschland auf 55.009 an.

Zweitens, zeigt eine detaillierte Betrachtung der wissenschaftlichen Produktivität Westdeutschlands im Vergleich zu Ostdeutschland, dass der Anstieg der gesamtdeutschen Publikationszahlen auf einem Anstieg der Zahlen in Westdeutschland basiert (siehe Abbildung 17, S. 211). Zwischen 1950 und 1990 verlief die Kurve der wissenschaftlichen Produktivität in der DDR flach und auf einem niedrigen Niveau. Hieraus kann geschlossen werden, dass das Hochschul- und Wissenschaftssystem der DDR, aufbauend auf seinem Akademiemodell, keine guten Bedingungen für wissenschaftliche Forschung bereitgestellt hat.

Drittens, zeigt die detaillierte Analyse der „klassischen“ Organisationsformen der Wissenschaft, Universitäten und außeruniversitäre Forschungsinstitute, dass Universitäten im Zeitraum von 1975 bis 2010 in den STEM+-Fächern die Hauptproduzenten wissenschaftlicher Zeitschriftenartikel waren und sind (siehe Abbildung 18, S. 217). Im Untersuchungszeitraum beträgt der prozentuale Anteil der universitätsbasierten Forschung im Mittel 60 Prozent. Somit verteidigen sie ihren Status als wichtigste Organisationsform gegenüber anderen. Die Modus 2 Hypothese, dass es im Zeitverlauf zu einem Absinken des prozentualen Anteils der Universitäten kommen muss, wird verworfen. Der Anteil der Nicht-Universitäten liegt hingegen im Durchschnitt bei 40 Prozent. Obwohl die Richtigkeit der folgenden Aussage nicht empirisch überprüft werden kann, wird davon ausgegangen, dass es sich tatsächlich sogar um einen Anstieg wissenschaftlicher Produktivität der Universitäten im Zeitverlauf handelt. Unter Berücksichtigung einer Verschiebung der zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel für FuE zugunsten der außeruniversitären Forschungsinstitute haben die Universitäten im Zeitverlauf mit weniger Forschungsgeldern immer mehr wissenschaftliche Zeitschriftenartikel publiziert.

Viertens, obwohl nicht nur Wissenschaftler innerhalb von Universitäten und Forschungsinstituten Zeitschriftenartikel veröffentlichten, haben diese beiden Organisationsformen zusammen mehr als drei Viertel aller Publikationen seit den 1980er Jahren verfasst. Aber auch schon in den Jahren zuvor ist ihr gemeinsamer Anteil sehr hoch. Zu den wichtigsten Wissenschaftsproduzenten gehören neben ihnen die (Industrie-)Unternehmen, Behörden und Ressortforschungseinrichtungen und Krankenhäuser (für eine ausführliche Beschreibung der Matrix der Organisationsformen siehe Tabelle 4, S. 222f und Abbildungen 19 und 20, S. 220, 246). Dennoch sind die

Universitäten die treibende Kraft wissenschaftlicher Produktivität seit mehr als einem Jahrhundert. Mit ihrer speziellen Ausrichtung auf Grundlagenforschung stellen sie die besten Bedingungen für wissenschaftliche Forschung bereit und gehören zu den ältesten Institutionen mit einem hohen Institutionalisierungsgrad. Universitäten sind widerstandsfähig gegenüber Veränderungen und *critical junctures* haben keinen negativen Einfluss auf ihre wissenschaftliche Produktivität. Alle anderen im Datensatz gefundenen oder aus der Theorie abgeleiteten Organisationsformen (Akademien, Vereine/Gesellschaften, wissenschaftliche Infrastrukturen, Laboratorien, Militär, Museen und nichtuniversitäre Bildungseinrichtungen) spielen nur eine untergeordnete Rolle und wurden in der Gruppe „sonstige“ Organisationsformen zusammengefasst.

Fünftens, eine Auswertung der zehn forschungsstärksten Einzelorganisationen Deutschlands im Jahr 2010 bestätigt die oben beschriebenen Ergebnisse, da lediglich Universitäten und außeruniversitäre Forschungsinstitute dieser Spitzengruppe zugehören. Eine Zusammenfassung der Publikationen der Institute unter ihrer Dachorganisation zeigt, dass die Institute der Max-Planck-Gesellschaft und der Helmholtz-Gemeinschaft maßgeblich zur Produktion wissenschaftlichen Wissens in Deutschland beitragen. Sie übertreffen zusammengezählt die Publikationstätigkeit einzelner Universitäten bei weitem (siehe Tabelle 5, S. 259f). Eine Einzelauswertung der Institute zeigt aber auch, dass sie allgemein genommen, aufgrund ihrer Größe und der Anzahl der Wissenschaftler, nicht mit den Universitäten konkurrieren können. Zudem gehört die hybride Organisation, die Charité – Universitätsmedizin Berlin zu den führenden zehn Wissenschaftsproduzenten im deutschen Hochschul- und Wissenschaftssystem.

### *Nationale und internationale Kooperationen wissenschaftlicher Forschung*

Im letzten empirischen Kapitel der Arbeit wird auf der Makroebene die Frage beantwortet, welchen Einfluss die zunehmende Internationalisierung der Forschung auf nationale und internationale Kooperationen in Form von Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften hat. Durch die voranschreitende Globalisierung und Internationalisierung haben nationale und internationale Kooperationen stark zugenommen. Zu den wichtigsten Gründen für (internationale) Kooperationen in den Mathematik, Ingenieur-, Natur- und Technikwissenschaften sowie der Medizin zählen unter anderen die Reputation der Forschungsorganisation und der Mitautoren, eine

höhere Sichtbarkeit innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft, mehr Möglichkeiten für interdisziplinäre Forschung oder auch eine bessere Ausstattung der Labore. Heute sind bereits ein Drittel aller Forschungsartikel weltweit das Ergebnis wissenschaftlicher Kooperationen und lediglich ein Viertel wird von einem Autoren verfasst. Übertragen auf die Organisation der Forschung bedeutet der von Humboldt geprägte Leitsatz „in Einsamkeit und Freiheit“, dass wissenschaftliche Forschung nicht mehr in alleiniger Verantwortung eines Wissenschaftlers durchgeführt wird, sondern das Ergebnis von Kooperationen ist. Netzwerke werden immer wichtiger, um gemeinsame Interessen zu teilen, an einer Fragestellung zu arbeiten sowie die aus der Forschung gewonnenen Erkenntnisse gemeinsam zu publizieren.

Wissenschaftler, Organisationen und Länder unterscheiden sich dahingehend, wie sie ihre Forschung organisieren und folglich auch darin, wie sie ihre wissenschaftliche Zusammenarbeit gestalten. Diese Wege sind abhängig von der geografischen Lage und Größe des Hochschul- und Wissenschaftssystems, dem organisationalen Feld und den Einzelorganisationen. In dieser Arbeit werden unterschiedliche Muster wissenschaftlicher Zusammenarbeit präsentiert. Die Ergebnisse zeigen einen massiven Anstieg wissenschaftlicher Kooperationen in Form von gemeinsamen Publikationen im Zeitverlauf. Bis in die 1990er Jahre hinein publizierten die Wissenschaftler in den hier untersuchten Länder (Frankreich, Deutschland, Großbritannien, USA, Japan, China, Belgien und Luxemburg) hauptsächlich in Alleinautorenschaft. Erst danach kam es zu einem Anstieg an Kooperationen: Im Jahr 2000 wurden lediglich 37 Prozent aller Artikel von einem Autor verfasst. Im Jahr 2010 erreichte der Anteil einen Tiefststand von lediglich einem Fünftel Alleinautorenschaften (siehe Tabelle 6, S. 279f). Allerdings unterschieden sich die Länder hinsichtlich ihres Anteils an Ko-Autorenschaften zum Teil deutlich voneinander.

## Literatur

- Powell, J. J. W. & Dusdal, J. (2016). Europe's Center of Science: Science Productivity in Belgium, France, Germany, and Luxembourg. *EuropeNow*, 1(1). <http://www.europenowjournal.org/2016/11/30/europe-s-center-of-science-science-productivity-in-belgium-france-germany-and-luxembourg/>. Zugriff: 13.12.2016.
- Powell, J. J. W. & Dusdal, J. (2017a): Measuring Research Organizations' Contributions to Science Productivity in Science, Technology, Engineering and Math in Germany, France, Belgium, and Luxembourg. *Minerva*, (). Online first. DOI: 10.1007/s11024-017-9327-z.
- Powell, J. J. W. & Dusdal, J. (2017b im Druck). The European Center of Science Productivity: Research Universities and Institutes in France, Germany, and the United Kingdom. IN Powell, J. J. W., Baker, D. P. & Fernandez, F. (Hg.) *The Century of Science: The Worldwide Triumph of the Research University*, International Perspectives on Education and Society Series. Bingley, UK, Emerald Publishing.
- Powell, J. J. W., Baker, D. P. & Fernandez, F. (2017, im Druck). *The Century of Science: The Worldwide Triumph of the Research University*, International Perspectives on Education and Society Series. Bingley, UK, Emerald Publishing.
- Powell, J. J. W., Fernandez, F., Crist, J. T., Dusdal, J., Zhang, L. & Baker, D. P. (2017, im Druck). The Worldwide Triumph of the Research University and Globalizing Science. IN Powell, J. W., Baker, D. P. & Fernandez, F. (Hg.) *The Century of Science: The Worldwide Triumph of the Research University*, International Perspectives on Education and Society Series. Bingley, UK, Emerald Publishing.