Lars Mewes* und Tom Broekel

Unrelated und Related Variety im Kontext öffentlicher F&E: empirische Evidenz aus deutschen Arbeitsmarktreionen

Unrelated and related variety within the context of public R&D: empirical evidence from German labor market regions

DOI: 10.1515/zfw-2015-0584

Eingereicht: 10. Dezember 2015; akzeptiert: 29. November 2016;
online veröffentlicht: 31. Januar 2017

Schlüsselwörter: Deutschland; F&E; Innovationen; Related variety; Unrelated variety.

Zusammenfassung: Eine Vielzahl von empirischen Studien beleuchtet die Vielfalt heterogener Branchen (*Unrelated Variety*) und technologisch verwandter Branchen (*Related Variety*) im Kontext regionaler Wissenserzeugung. Während Unrelated Variety vor allem als Motor für radikale Erneuerungen gilt, befördert Related Variety in erster Linie regional branching Prozesse und damit die Verzweigung bereits existierender, technologischer Pfade in einer Region. Die existierenden Studien betrachteten jedoch in erster Linie die Wirkung von Unrelated und Related Variety auf die regionale Ökonomie. Bisher ist allerdings wenig darüber bekannt, welche regionalen Faktoren mit ihnen einhergehen. Öffentliche F&E gilt dabei als wichtiger Akteur für die Generierung und Diffusion neuen Wissens, weshalb sie die regionale F&E-Landschaft maßgeblich prägt. Die vorliegende Studie betrachtet daher die Beziehung zwischen öffentlicher F&E und Unrelated bzw. Related Variety. Mithilfe von Patentdaten werden die regionale Unrelated sowie Related Variety bestimmt und ihre Beziehung zur öffentlichen F&E in 258 deutschen Arbeitsmarktreionen analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl Universitäten als auch Fachhochschulen in positiver Beziehung zur regionalen Related Variety stehen.

Abstract: An increasing number of scientific contributions analyzes the importance of unrelated and related variety for regional knowledge creation. While unrelated variety fosters radical innovations and the creation of regional paths, related variety supports incremental novelties and regional branching. However, so far only little is known about the spatial distribution of unrelated and related variety and the relation between regional characteristics. Public R&D is one important actor of knowledge creation and diffusion and crucially affects regional R&D landscapes. This study analyzes the relationship between public R&D and unrelated and related variety in 258 German labor market regions. We use patent data to estimate unrelated and related variety for each region and describe both varieties' spatial distribution. Our empirical results show that the regional organization of technologically unrelated and related R&D activities differs highly across space. The findings of our spatial regression indicate that regions with universities and polytechnics tend to be characterized by related variety.

Keywords: Germany; innovation; related variety; unrelated variety.

*Korrespondierender Autor: Lars Mewes, Institut für Wirtschafts- und Kulturgeographie, Leibniz Universität Hannover, Schneiderberg 50, 30167 Hannover, Germany, e-mail: mewes@wigeo.uni-hannover.de

Tom Broekel, Institut für Wirtschafts- und Kulturgeographie, Leibniz Universität Hannover, Schneiderberg 50, 30167 Hannover, Germany; Faculty of Geosciences, Utrecht University, Heidelberglaan 2, 3584 CS Utrecht, The Netherlands, e-mail: broekel@wigeo.uni-hannover.de

1 Einleitung

Technologischer Fortschritt gilt als Triebkraft ökonomischer Leistungsfähigkeit. Er führt zu Wirtschaftswachstum in Form von Produktivitätssteigerungen, Beschäftigtenwachstum und dem Entstehen neuer Wirtschaftszweige

(Breschi/Lissoni 2009; Boschma/Martin 2007). Der zunehmende internationale Wettbewerb übt zudem kontinuierlichen Innovationsdruck aus. Grundlagen sowie angewandte Forschung und Entwicklung (F&E) bilden, durch die Erzeugung und Verbreitung neuen Wissens, die Grundlage für Innovationsaktivitäten. Die Verteilung regionaler F&E-Aktivitäten, differenziert nach Wissensbereichen, beschreibt die Wissensbasis einer Region (Feldman & Audretsch 1999). Sie bestimmt in welchen Wissensbereichen neues Wissen entstehen wird und bildet den Grundstein für das zukünftige Innovationspotenzial einer Region. Die Wissensbasis entsteht dabei nicht zufällig in Regionen, sondern entwickelt sich entlang von regionalen, technologischen Pfaden über einen langfristigen Zeitraum (Dosi 1982; David 1985; Martin/Sunley 2006; Boschma/Frenken 2011).

Seit den Arbeiten von Marshall (1890) und Jacobs (1969) diskutiert die Wirtschaftsgeographie, welche regionale Industriestruktur förderlich für erfolgreiche F&E-Aktivitäten in Regionen ist. Aufbauend auf dieser Debatte und der Entwicklung der Evolutionären Wirtschaftsgeographie sind insbesondere die zwei Konzepte *Unrelated Variety (UV)* und *Related Variety (RV)* in letzter Zeit in den Mittelpunkt gerückt. Per Definition beschreibt UV die Ko-Lokation unverwandter und RV hingegen die Ko-Existenz technologisch verwandter Wissensbereiche in einer Region (Frenken et al. 2007). In dieser Studie verwenden wir den Begriff Wissen synonym zu Technologien. Technologien bilden eine Möglichkeit das lokal existierende Wissen für empirische Studien sichtbar zu machen.

Eine Vielzahl von Studien untersucht die Wirkung von UV und RV auf regionaler Ebene (Martin/Sunley 2006; Frenken et al. 2007; Castaldi et al. 2015; Bishop/Gripaios 2010; Brachert et al. 2013; Boschma/Iammarino 2009; Neffke et al. 2011; Rigby 2013; Boschma, Balland, et al. 2014). Diesen Studien folgend, besitzen UV und RV höchst unterschiedliche regionale Effekte. UV begünstigt die Entstehung radikaler Innovationen, welche häufig mit der Entstehung von technologischen Durchbrüchen (*breakthroughs*) einhergehen. Dadurch entstehen langfristig neue, regionale Diversifikationsmöglichkeiten. Eine vielfältige Technologiestruktur stärkt gleichzeitig die Resilienz beim Auftreten externer Schocks. RV dagegen erhöht die Wahrscheinlichkeit für Wissensspillover in einer Region und die Entstehung inkrementeller Innovationen. Dies führt zu einer zunehmenden Verzweigung existierender, regionaler Kompetenzen, wodurch bestehende Entwicklungspfade gestärkt werden.

Mit der Untersuchung regionaler Effekte von UV bzw. RV nehmen die Studien bislang ausschließlich eine Perspektive ein. Den Autoren ist keine Studie bekannt, in der

die Perspektive gewechselt und analysiert wird, welche Faktoren zur Herausbildung von UV und/oder RV beitragen.

Ein zentraler Akteur, der nicht nur die nationale, sondern vor allem auch die lokale Wissensstruktur maßgeblich beeinflusst, ist die öffentliche Forschung (Beise/Stahl 1999). Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen bilden in Deutschland eine gesellschaftlich bedeutende Quelle für die Entstehung und Verbreitung neuen Wissens. Durch ihre unterschiedlichen Ausbildungs- und Forschungsaufträge ist zu erwarten, dass Hochschulen und außeruniversitäre Forschung unterschiedlich auf die lokale Wissensstruktur wirken. Bisher ist allerdings unklar welche lokale Wissensstruktur mit dem Wirken öffentlicher F&E-Akteure einhergeht. In der vorliegenden Studie wird diese Wissenslücke aufgegriffen und der Zusammenhang zwischen Hochschulen sowie außeruniversitärer F&E und UV bzw. RV analysiert.

Auf Basis von Patentdaten analysieren wir die F&E-Aktivitäten in 258 deutschen Arbeitsmarktregionen hinsichtlich ihrer Technologiestruktur und bestimmen den Grad der regionalen UV und RV. Dies erlaubt zunächst die Verteilung beider Größen zwischen Regionen zu vergleichen und räumliche Muster zu identifizieren. Die regionale Existenz von UV/RV wird in einem zweiten Schritt mit der öffentlichen F&E in Beziehung gesetzt. Hierfür nutzen wir Daten zu Studierenden von Universitäten sowie Fachhochschulen und Informationen über die lokale Präsenz von außeruniversitären Forschungsinstituten. Unsere Ergebnisse zeigen, dass sowohl Universitäten als auch Fachhochschulen in positiver Beziehung zur regionalen RV stehen. Diese Beziehung beobachten wir ebenfalls für die Forschungsinstitute der Fraunhofer-, der Max-Planck- sowie der Leibniz-Gesellschaft. UV dagegen weist zu keinem Akteur der öffentlichen F&E eine statistische Beziehung auf.

Die Arbeit ist wie folgt gegliedert: Kapitel zwei umfasst den theoretisch-konzeptionellen Rahmen von UV und RV, existierende empirische Untersuchungen und die Forschungslücke mit der Formulierung von drei Hypothesen. Das dritte Kapitel beschreibt das methodische Vorgehen und Forschungsdesign der Untersuchung, deren empirische Ergebnisse im vierten Kapitel diskutiert werden. Das letzte Kapitel fünf resümiert die Arbeit.

2 Theoretischer Rahmen

2.1 Related und Unrelated Variety

Die Bedeutung kognitiver Nähe zwischen Technologien für den technologischen Fortschritt, die regionale Wettbewerbsfähigkeit, die regionale Diversifikation und Resilienz wurde in einer Reihe von Studien hervorgehoben (Frenken et al. 2007; Boschma/Iammarino 2009; Bishop/Gripaios 2010; Brachert et al. 2013; Castaldi et al. 2015). In diesen Studien wird der Begriff der kognitiven Nähe dabei synonym zu technologischer Nähe bzw. Verwandtschaft verwendet. Entsprechend werden zwei Technologien als miteinander verwandt angesehen, wenn sie sich aus einer gemeinsamen, zugrundeliegenden Wissensbasis heraus entwickelt haben, sich bestimmte technologische Inhalte teilen und auf gemeinsamen Kompetenzen sowie Fähigkeiten aufbauen (Boschma/Iammarino 2009).

Diese Art der technologischen Verwandtschaft beeinflusst Innovationsprozesse erheblich. Akteure (Individuen, Organisationen) mit technologisch verwandten Wissensbasen kommunizieren mit- und lernen voneinander effizienter als solche deren Wissensbasen keine Überschneidungen aufweisen (Nooteboom 2000). Gleichzeitig zeichnen sich verwandte Wissensbasen dadurch aus, dass sie sich kognitiv nicht zu ähnlich oder gar identisch sind. Dies garantiert, im Idealfall, ein hinreichendes Potential für Wissenskombinationen und somit für zukünftige Lern- und Innovationsprozesse. Nooteboom et al. (2007) sprechen in diesem Zusammenhang von einer optimalen kognitiven Distanz, die nach der Argumentation von Frenken et al. (2007) zwischen miteinander verwandten Wissensbasen häufiger gegeben ist, als bei unverwandten.

Auf der regionalen Ebene bildet diese Argumentation die Grundlage für das Konzept der RV (Frenken et al. 2007). RV beschreibt die Verteilung wirtschaftlicher Aktivitäten auf Sektoren, die eine gewisse technologische Nähe zueinander besitzen, aber dennoch technologisch hinreichend unterschiedlich sind. Eine Wirtschaftsstruktur im Sinne von RV bietet aus diesem Grund das Potenzial für erfolgreiche Wissensspillover, da aufgrund der häufigen optimalen kognitiven Distanz, Wissen zwischen Organisationen noch effizient ausgetauscht werden kann, es aber gleichzeitig noch hinreichendes Potential für innovative Rekombinationen bietet. Diese Wissensspillover regen Innovationsaktivitäten in der Region an (Frenken et al. 2007). Allerdings wird RV, durch die relative kognitive Nähe der regionalen Akteure, eher zu inkrementellen Innovationen und somit inkrementellem Fortschritt von Technologien beitragen. Entsprechend, kann argumen-

tiert werden, dass RV eher zur Verfestigung und Verästelung existierender, regionaler technologischer Pfade als zur Entstehung vollkommen neuer Pfade beiträgt. Auch kann eine hohe Spezialisierung in verwandten Branchen zu kognitiven Lock-ins führen (Castaldi et al. 2015).

Die verwandte Diversifizierung, von Boschma/Frenken (2011) auch als *regional branching* konzeptualisiert, wurde in zahlreichen Studien empirisch nachgewiesen. Hidalgo et al. (2007) waren die ersten, die das Konzept der technologischen Nähe dynamisch auf den Diversifikationsprozess von Nationen übertrugen. In ihrer Analyse zeigen sie, dass Nationen mit höherer Wahrscheinlichkeit in neue Produktsegmente diversifizieren, wenn diese verwandt zum bestehenden Produktportfolio sind. In Anlehnung an Hidalgo und Co-Autorenschaft, übertrugen Neffke et al. (2011) die Argumentation auf die subnationale Ebene und analysierten die industrielle Diversifikation schwedischer Regionen. Unter Verwendung von Informationen über den Herstellungsort von Produkten in Betriebsstätten, zeigen die Autoren, dass sich Regionen tendenziell in neue Produkte diversifizieren, wenn diese verwandt zum bestehenden Produktportfolio sind. Dieses Ergebnis beobachten auch Boschma et al. (2014) und Rigby (2013) für Technologien in U.S. Städtereionen. Diese Studien bestätigen empirisch die Bedeutung von technologischer Nähe und Pfadabhängigkeit für den Diversifikationsprozess auf regionaler Ebene und somit das theoretische Konzept des *regional branching* als Resultat der Wirkung von, vor allem, RV (Boschma/Frenken 2011).

UV charakterisiert dagegen die Existenz von unverwandtem Wissen in einer Region und beschreibt damit die Wissensvielfalt eines geographischen Raumes. Die kognitive Distanz zwischen unverwandten Technologien ist groß, da sie auf verschiedenen Wissensbasen aufbauen. Einerseits ist dadurch die Kommunikation zwischen Akteuren nicht mehr ohne weiteres möglich und die Wahrscheinlichkeit für einen Lernerfolg oder gar einer innovativen Rekombination während interaktiver Innovationsprozesse gering. Andererseits führt eine erfolgreiche Rekombination von unverwandten Wissen, im Gegensatz zur RV, mit höherer Wahrscheinlichkeit zu radikalen Erneuerungen (Castaldi et al. 2015). Als historisches Beispiel kann hier die Erfindung der Buchdruckpresse dienen. Der Goldschmied Gutenberg verband das relativ unverwandte Wissen über bewegliche Letter mit der Technologie der Weinpressen zu einer revolutionären Erfindung. UV, kann somit als eine essentielle Quelle für die Entstehung vollkommen neuer, technologischer Pfade angesehen werden, die einen wichtigen Beitrag zur regionalen Diversität von Wissen leisten kann (Martin 2012).

Im Gegensatz zum regional branching und der Herausbildung von RV sind die Mechanismen für die unverwandte Diversifizierung wenig beleuchtet und bewegen sich noch weitestgehend auf einem konzeptuellen Niveau. Unverwandte Diversifizierung kann nach Boschma et al. (2017) durch die zwei Mechanismen Transplantation und Saltation erfolgen. Transplantation beschreibt die Adoption einer, zur eigenen Wissensbasis unverwandten, Technologie aus einer anderen Region (Martin/Sunley 2006). Diese Art der unverwandten Diversifizierung ist riskant, da sie nicht auf lokal vorhandenen Wissen sowie Institutionen aufbaut und zusätzlich, mit den bereits existierenden Technologien, um begrenzte Ressourcen konkurriert. Transplantation kann demnach nur erfolgreich sein, wenn regionale Ressourcen wie z. B. Arbeitskräfte, natürliche Ressourcen und Infrastruktur aufgewendet und bereitgestellt werden können.

Saltation kennzeichnet dagegen die Diversifizierung in unverwandte Wissensbereiche aus einer, lokal entstandenen, radikalen Erneuerung bzw. eines technologischen Durchbruchs heraus (Boschma et al. 2017). Eine erfolgreiche, unverwandte Diversifizierung wird durch das Engagement von individuellen Akteuren vorangetrieben. Eine zentrale Rolle nehmen in diesem Kontext Universitäten ein, die, im Idealfall unabhängig von regionaler Spezialisierung und mit Ausstattung der notwendigen Kapazitäten, an vielfältigen Themen arbeiten. Als ein bedeutender Diffusionskanal kann das Wissen in die Region „überschwappen“. Ein Beispiel hierfür ist die Entdeckung der DNA in Cambridge und rDNA in San Francisco (Feldman et al. 2015).

Empirisch eindeutiger beleuchtet ist dagegen die Wirkung von UV und RV auf die regionale Ökonomie und Innovationsfähigkeit. Frenken et al. (2007) zeigten z. B., dass mit zunehmender RV das Beschäftigtenwachstum in einer Region steigt. Diesen beschäftigungsförderlichen Effekt von RV bestätigen sowohl Boschma/Iammarino (2009) als auch Brachert et al. (2013). Dabei sind die Stärke des Effekts und die Relevanz für das Beschäftigtenwachstum zu einem gewissen Grad branchenspezifisch (Bishop/Gripaios 2010). Eine regionale Ausprägung von UV leistet dagegen eher einen Beitrag zum Schutz vor externen Schocks und somit zur regionalen Resilienz (Frenken et al. 2007). Sie unterstützt damit eine stabile Beschäftigungsentwicklung. In Bezug auf die Innovationsfähigkeit von Regionen, untersuchten Castaldi et al. (2015) den Effekt von RV und UV in U.S. Bundesstaaten. In Übereinstimmung mit der zuvor präsentierten Argumentation zeigen ihre Ergebnisse, dass UV mit höherer Wahrscheinlichkeit zur Entstehung von radikalen Innovationen führt. Inkrementelle Er-

neuerungen sind erwartungsgemäß eher auf die Präsenz von RV zurückzuführen.

Aus den obigen Ausführungen wurde deutlich, dass sich die existierende Forschung zum Thema primär auf die Wirkung von UV und RV konzentriert hat. Bisher ist allerdings wenig darüber bekannt, wie sich Regionen hinsichtlich UV und RV unterscheiden und in welcher Beziehung sie zur öffentlichen F&E stehen. Durch die unterschiedliche regionale Wirkung von UV und RV kann eine Analyse der räumlichen Verteilung beider Wissensstrukturen zukünftige Innovationspotenziale von Regionen identifizieren. Während z. B. hohe RV-Werte in einer Region auf eine für Wissensspillover förderliche F&E-Landschaft hinweisen, können niedrige UV-Werte in der gleichen Region das Fehlen einer gewissen Diversität und die Anfälligkeit für externe Schocks anzeigen. Weiter können großräumige Muster, z. B. die räumliche Konzentration von niedrigen RV-Werten, auf Strukturprobleme hinweisen für die überregionale Lösungen besser geeignet wären als individuelles Handeln einzelner Regionen. Dabei sind UV und RV als Makroindikatoren zu verstehen, deren Ausprägung immer im jeweiligen regionalen Kontext analysiert und interpretiert werden sollte.

Neben der räumlichen Verteilung sind wir insbesondere daran interessiert, inwiefern öffentliche F&E, als ein wichtiger F&E-Akteur, Wissensdiffusionskanal und bedeutendes F&E-Planungsinstrument, mit UV/RV einhergehen. Dieser Perspektivenwechsel trägt nicht nur zum Verständnis der Entwicklung von UV und RV bei, sondern kann auch Aufschluss darüber geben, wie (Regional-)Politik die Herausbildung von UV bzw. RV eventuell beeinflussen kann.

2.2 Forschungshypothesen

Ein wichtiger Akteur, der Wissen erzeugt, akkumuliert und verbreitet, stellt die öffentliche Forschung und Entwicklung dar. Zur ihr zählen in Deutschland vor allem Hochschulen sowie außeruniversitäre F&E-Einrichtungen (Tödtling/Trippel 2005). Durch ihre eigenen F&E-Aktivitäten können sie ebenfalls zur Entwicklung der regionalen Wissensbasis beitragen. Darüber hinaus bilden sie Humankapital aus, das ihr angeeignetes Wissen in die Wirtschaft trägt und somit zur Wissensdiffusion beisteuert (Agrawal 2001; Audretsch et al. 2005). Neben der Ausbildung von Humankapital, stellen Kooperationen von öffentlicher und privater F&E einen weiteren, wichtigen Kanal der Wissensdiffusion dar (Broekel/Graf 2012). Durch gemeinsame F&E-Projekte kann Wissen aus der öffentlichen Forschung zielgerichteter und anwendungsorientierter in die (lokale)

Wirtschaft gelangen. Gleichzeitig bieten Kooperationen auch die Möglichkeit für Rückkopplungseffekte, indem Anwendungsprobleme neuen Input für öffentliche Forschung liefern. Dies wird in zahlreichen Studien bestätigt, die einen positiven Effekt von Kooperationen zwischen öffentlicher, vor allem universitärer Forschung, und privater F&E, nachweisen (Agrawal 2001; Cohen et al. 2002).

Die öffentlichen F&E-Akteure unterscheiden sich jedoch in ihrer F&E-Ausrichtung, wodurch ihr Einfluss auf die regionale Wissensbasis variieren kann. Grundlagenforschung dient in erster Linie dazu, neues, grundlegendes Wissen zu erzeugen. Die direkte praktische Anwendung und ökonomische Verwertung der Ergebnisse steht dabei nicht im Vordergrund (Beise/Stahl 1999; Bentley et al. 2015; Cohen et al. 2002). Im Gegensatz dazu, konzentriert sich die angewandte F&E auf spezifische, praxisbezogene und ökonomisch direkt verwertbare Problemlösungen (Bentley et al. 2015). Entsprechend kann erwartet werden, dass die breite Ausrichtung von Grundlagenforschung eher dazu beiträgt, dass vollkommen neues Wissen in der Region entsteht. Durch den fehlenden Anwendungsbezug ist dieses Wissen wahrscheinlich verschieden vom industriellen Kern der regionalen Wissensbasis und sollte daher die regionale Vielfalt von Wissen im Sinne von UV erhöhen.

Weiter bildet Grundlagenforschung die Voraussetzung für radikale Erneuerungen, was ebenfalls die UV einer Region erhöht. Anwendungsorientierte F&E hingegen trägt primär zur inkrementellen Veränderung existierender, technologischer Pfade bei (Castaldi et al. 2015). Sofern die anwendungsorientierte Forschung in engerer Verzahnung mit der regionalen Industriestruktur steht, fördert sie eine Entwicklung entlang existierender Pfade, was sich in einer erhöhten RV widerspiegelt.

Hochschulen, als ein wichtiger öffentlicher F&E-Akteur, setzen sich in Deutschland primär aus Universitäten und Fachhochschulen zusammen (Beise/Stahl 1999). Ihre wesentlichen Aufgaben bestehen darin, neues Wissen zu erzeugen und Humankapital auszubilden. Der Grad der Einbindung in und die Ausrichtung der Forschung auf die regionale Wirtschaft definiert dabei, wie Hochschulen die lokale Wissensbasis beeinflussen. Von technischen Universitäten abgesehen, betreiben Universitäten im Regelfall Grundlagenforschung. Ihre fachliche Ausrichtung und die damit verbundenen Forschungsschwerpunkte sind in weiten Teilen meist losgelöst vom regionalen Kontext und besitzen ein breites Spektrum (Beise/Stahl 1999; Bentley et al. 2015). Die Ergebnisse von Petruzzelli (2011) verdeutlichen zudem, dass universitäre Forschung tendenziell in globale Kooperationsnetze eingebunden ist. Universitäten sind demnach ein wichtiger Akteur, der Wissen von

außerhalb in eine Region transferiert, wodurch die lokale Wissensbasis potenziell erweitert wird.

Dennoch finden insbesondere Interaktionen zwischen universitärer Forschung und privaten Anwendern, z. B. in gemeinsamen Forschungsprojekten, unter dem sozial wünschenswerten Optimum statt. Deshalb versucht F&E-Politik durch die öffentliche Förderung von gemeinsamen Forschungsprojekten, die Zusammenarbeit und damit den Wissenstransfer von Grundlagenforschung und privaten Organisationen zu steigern (Beise/Stahl 1999).

Durch ihre grundlagenorientierte Forschung und tendenziell schwächeren Interaktionen mit der regionalen Wirtschaft tragen Universitäten eher zur regionalen Vielfalt der Wissensbasis als zur regionalen RV bei. Boschma et al. (2017) betonen die Bedeutung von Universitäten für die unverwandte Diversifizierung durch den Mechanismus Saltation (s. Kap. 2.1). Hypothese H1 fasst die erwartete Beziehung zwischen Universitäten und UV sowie RV wie folgt zusammen:

H1: Die Existenz von Universitäten in Regionen geht mit einer höheren regionalen Unrelated Variety einher. Die Existenz von Universitäten in Regionen hat keinen Einfluss auf die regionale Related Variety.

Fachhochschulen nehmen in diesem Kontext eine andere Rolle als Universitäten ein. Ursprünglich gingen Fachhochschulen aus Ingenieursschulen hervor, die hauptsächlich mit der Ausbildung von Fachkräften für die lokalen Unternehmen beauftragt waren (Beise/Stahl 1999). Dieser Ursprung ist bis heute präsent, wenn sich auch das Aufgabenspektrum von Fachhochschulen seit ihrer Gründung 1968 vervielfältigt hat. Neben dem Angebot zahlreicher Studiengänge betreiben Fachhochschulen auch selbst eigene Forschung. Dabei ist die Forschung meistens anwendungsorientiert und besitzt klaren Bezug zur (lokalen) Wirtschaft (Kulicke/Stahlecker 2004). In der deutschen Forschungslandschaft komplementieren sie daher die Existenz von Universitäten. Durch ihre stärkere regionale Verflechtung stehen Fachhochschulen tendenziell enger mit dem regional branching und der Entstehung von RV als UV in Beziehung, weshalb wir Hypothese H2 wie folgt formulieren:

H2: Die Existenz von Fachhochschulen in Regionen geht mit einer höheren regionalen Related Variety einher. Die Existenz von Fachhochschulen in Regionen hat keinen Einfluss auf die regionale Unrelated Variety.

Für den deutschen Untersuchungsraum stellen neben Hochschulen außeruniversitäre Forschungseinrichtungen einen weiteren wichtigen F&E-Akteur dar (Beise/

Stahl 1999; Tödtling/Trippl 2005). Die außeruniversitäre Forschung in Deutschland entfällt weitestgehend auf die vier großen Forschungseinrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft (FHG), der Helmholtz-Gemeinschaft (HELM), der Leibniz-Gemeinschaft (LEIB) und der Max-Planck-Gesellschaft (MPG). Diese vier Einrichtungen unterscheiden sich wiederum in ihrer Ausrichtung. Die Studie von Heinze/Kuhlmann (2008) verdeutlicht, dass sich die F&E-Aktivitäten der Einrichtungen in Bezug auf ihr Patentierungs- bzw. Publikationsverhalten essentiell unterscheiden. Die Institute der FHG z. B. veröffentlichen ihre Forschungsergebnisse vor allem in Form von Patenten, während ihre Publikationsaktivitäten im Vergleich deutlich geringer ausfallen. Dies belegt die anwendungsorientierte Ausrichtung der FHG. Im Gegensatz dazu, zeigt sich der Forschungoutput der MPG vor allem durch die Zahl der Publikationen in SSCI Journals, was ihre grundlagenorientierte Ausrichtung unterstreicht. Weiterhin sind insbesondere die anwendungsorientierten Institute stark auf die regionale Ökonomie ausgerichtet. Als Beispiel sei hier das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF) in Jena genannt. Jena gilt als deutsches Zentrum für die optische Industrie und Feinmechanik. Bedeutende Akteure wie Carl-Zeiss und Jenoptik haben hier ihren Hauptsitz.

Es kann somit erwartet werden, dass die Wirkung der MPG und der FHG in Bezug auf die regionale UV und RV unterschiedlich ausfällt. Die Präsenz von anwendungsorientierten FHG-Instituten wird eine stärkere positive Beziehung mit der regionalen RV aufweisen, während die grundlagenorientierten Institute in positiver Beziehung zur UV stehen. Unsere Hypothese H3 lautet darauf aufbauend wie folgt:

H3: Die regionale Existenz von anwendungsorientierten Forschungsinstituten (insbesondere FHG) steht im positiven Zusammenhang mit dem Grad der regionalen RV. Die regionale Existenz von grundlagenorientierten Forschungsinstituten (insbesondere MPG) steht im positiven Zusammenhang mit dem Grad der regionalen UV.

Die Bestätigung der Hypothesen kann generell auf drei Begründungen fußen, die wichtig sind, um die Ergebnisse zu interpretieren. Zur Verdeutlichung dient hier das Beispiel eines positiven Zusammenhangs zwischen den Instituten der FHG und der regionalen RV. Erstens kann ein solches Ergebnis darauf zurückgeführt werden, dass die Institute der FHG die regionale RV erhöhen. Zweitens können Institute der FHG vornehmlich an solchen Standorten gegründet werden, an denen die jeweiligen Institute – i. S. v. RV – gut eingebunden sind (s. IOF). Drittens ist auch eine Ko-Evolution beider Effekte möglich. Die empirische Ana-

lyse (s. Kap. 3) in der vorliegenden Untersuchung ist nicht darauf ausgelegt, diese Kausalität zu identifizieren. Vielmehr besitzt sie explorativen Charakter und soll eine erste Beziehung zwischen den Größen herstellen.

3 Methodisches Vorgehen

3.1 Patente als F&E-Indikator

Die Messung regionaler F&E-Aktivitäten ist elementar, um darauf aufbauend RV und UV bestimmen zu können. Wir verwenden Patente als Proxy für regionale F&E-Aktivitäten und folgen damit einer Vielzahl von empirischen Studien (Acs/Audretsch 1989; Griliches 1990; Henderson et al. 1995; Rigby 2013; Boschma et al. 2014).

Wie in Griliches (1990) und Cohen et al. (2000) prominent beschrieben, besitzen Patente mehrere, kritisch zu reflektierende Nachteile. So unterscheidet sich das Patentierungsverhalten essentiell zwischen Sektoren, Technologien und Firmen, sodass Patente nicht für jeden Sektor, jede Firma und jede Technologie gleichermaßen eine geeignete Approximation der F&E-Tätigkeiten darstellt. Tendenziell werden F&E-Tätigkeiten der Industrie überrepräsentiert. Weiter kann nicht jede Erfindung patentiert werden, wodurch einzelne Technologien unter- bzw. überrepräsentiert werden. Ferner existieren gewisse Barrieren, die Firmen daran hindern ihre Erfindungen zu patentieren. Dazu zählen z. B. die, mit der Veröffentlichung von Patenten verbundene, Offenlegung des darin enthaltenen Wissens, den Nachweis des Neuheitsgrades einer Erfindung sowie die Leichtigkeit um Patente „herum“ zu erfinden. Generell bilden Patente Prozessinnovationen unterrepräsentativ ab. Des Weiteren existieren neben Patenten andere Möglichkeiten des Schutzes geistigen Eigentums, auf die Firmen zurückgreifen. Hierzu zählen z. B. Geheimhaltung und First-Mover Vorteile, die eine schützende Selbstregulierung ohne gesetzlichen Eingriff darstellen und sich somit nicht in den Daten widerspiegeln können. All diese Gründe führen zu einer Schwächung des Indikators Patente. Dennoch existiert derzeit kein anderer Indikator, der mit einer solchen Informationsfülle und in einer so großen Zahl F&E-Tätigkeiten approximiert, weshalb wir auch in der vorliegenden Studie auf Patente als Indikator zurückgreifen.

Patente bieten Informationen über die räumliche Verortung und über die Technologiezugehörigkeit der angemeldeten Erfindungen. Erstgenannte erfolgte mittels des sogenannten Erfinderprinzips, d. h. Patente werden entsprechend des Wohnortes ihrer Erfinder lokalisiert. Als

Regionen verwenden wir die 258 Arbeitsmarkregionen, die vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) verwendet und bereitgestellt werden. Ihre funktionale Abgrenzung berücksichtigt Pendlerstrukturen. Dadurch liegt der Wohnsitz einer Erfinderin in aller Regel auch innerhalb der Region ihres Arbeitsortes. Die Technologiezugehörigkeit wird über die *International Patent Classification (IPC)* angegeben. Die IPC ist hierarchisch organisiert und fasst Technologieklassen in einer Baumstruktur auf verschiedenen Detailstufen zusammen.

Die verwendeten Patentdaten stammen aus der OECD REGPAT Datenbank von Februar 2016. Patentzahlen und weitere sozio-ökonomische Faktoren unterliegen natürlichen Schwankungen. Deshalb wird die Analyse von einzelnen Jahren in cross-sectional Analysen häufig vermieden. In der nachfolgenden Analyse beschränken wir uns auf den Zeitraum von 2005 bis 2010. Dieser Zeitraum gewährleistet die Kombination aller notwendigen Daten in einer gemeinsamen Periode. Zudem nehmen die Patentzahlen in der REGPAT Datenbank ab, je näher sie dem Veröffentlichungsdatum der aktuellsten Version kommen. Dies liegt nicht daran, dass die Patentzahlen über die Jahre zurückgehen, sondern daran, dass in den neusten Versionen noch nicht alle angemeldeten Patente lokalisiert wurden. Deshalb stellt der gewählte Zeitraum weiter sicher, dass die Patente nicht unterschätzt werden.

3.2 Die empirische Definition von Unrelated und Related Variety

In der Literatur werden vier Verfahren beschrieben, die in zahlreichen empirischen Analysen zur Anwendung kommen, um die Verwandtschaft zwischen Technologien, Produkten oder Sektoren zu bestimmen. Hierzu zählen Methoden auf Basis von (i) entropiostatistischen Verfahren (Frenken 2007; Frenken et al. 2007; Castaldi et al. 2015), (ii) Input-Output Beziehungen (Farjoun 1994; Essletzbichler 2015), (iii) räumlicher Ko-Lokalisation (Hidalgo et al. 2007; Neffke et al. 2011) und (iv) technologischer Ko-Klassifikation (Engelsman/van Raan 1994; Breschi et al. 2003). In der vorliegenden Arbeit orientieren wir uns an den Arbeiten von Frenken et al. (2007) sowie Castaldi et al. (2015) und ermitteln die regionale UV und RV auf Basis eines entropiostatistischen Verfahrens. Dieses Verfahren weist den Nachteil auf, dass es auf strengen Klassifikationssystemen beruht und daher keine Verwandtschaft zwischen unterschiedlichen Klassen zulässt. Dennoch ist es geeignet, um im Speziellen die regionale UV und RV zu messen und fand Anwendung in zahlreichen Studien

(Frenken et al. 2007; Boschma/Iammarino 2009; Castaldi et al. 2015).

Eine kritische Entscheidung bei der Berechnung der RV mittels des entropiostatistischen Verfahrens betrifft die Wahl der sektoralen Aggregationsstufen auf deren Basis UV und RV berechnet werden. Hier liefert die Literatur widersprüchliche Erkenntnisse, da die empirischen Arbeiten meist auf unterschiedlichen Datensets fußen, welche sich wiederum verschiedenen Klassifikationssystemen bedienen. So definieren Boschma/Iammarino (2009) und Castaldi et al. (2015) z. B. den Grad der regionalen RV zwischen zwei- und dreistelligen sektoralen Aggregationsstufen. Frenken et al. (2007) bestimmen die RV dagegen zwischen der zwei- und fünfstelligen sektoralen Aggregationsstufe. UV wird meistens als Vielfalt auf der Zweistellerebene definiert.

Wir definieren UV als unverbundene Vielfalt auf der einstelligen IPC-Ebene, die wie folgt berechnet wird:

$$UV_i = - \sum_{g \in G} p_{gi} \log_2(p_{gi}) \quad (1)$$

p_{gi} bestimmt hierbei den Anteil einer Technologie g in einer Region i . Die Summe über alle Technologien, auf der Einstellerebene, bestimmt den regionalen UV-Wert UV_i .

Wir definieren weiter Related Variety als Differenz der Vielfalt, die sich zwischen der dritten und vierten Aggregationsstufe der IPC ergibt. Die regionale RV wird wie folgt mathematisch ermittelt:

$$RV_i = - \sum_{m \in M} p_{mi} \log_2(p_{mi}) - \sum_{k \in K} p_{ki} \log_2(p_{ki}) \quad (2)$$

wobei p_{mi} den Anteil einer Technologie m auf Ebene der Viersteller und p_{ki} den Anteil einer Technologie k auf Ebene der Dreisteller in einer Region i definiert. Die Differenz der Vielfalt auf Vier- und Dreistellerebene ergibt den regionalen RV-Wert RV_i und wird als Vielfalt zwischen beiden Aggregationsstufen angesehen¹.

3.4 Das empirische Modell

Um die vorangestellten Hypothesen überprüfen zu können, sollen die so ermittelten Maße für RV und UV mit den öffentlichen F&E-Aktivitäten in einer Region in Beziehung gesetzt werden. Hierfür eignet sich ein multivariates Regressionsverfahren. Geographische Daten neigen dazu nicht heterogen im Raum verteilt zu sein. Vielmehr be-

¹ Für eine ausführliche Beschreibung des Entropieverfahrens und des Dekompensationstheorems verweisen wir auf die Veröffentlichungen Frenken (2007) sowie Castaldi et al. (2015).

obachten wir oftmals eine Konzentration von ähnlichen Werten in benachbarten Raumeinheiten, wodurch räumliche Autokorrelation entsteht. Das Vorhandensein von räumlicher Autokorrelation verstößt bei der Anwendung von OLS-basierten Schätzverfahren gegen die Unabhängigkeitsannahme und mündet nicht selten in heteroskedastischen Residuen. Zudem sind UV und RV nicht normalverteilt, was weiter gegen eine lineare, OLS-basierte, Regression spricht. Deshalb berechnen wir ein nicht-parametrisches, räumliches Regressionsmodell auf Basis eines HAC Schätzers, der robust gegen heteroskedastische Residuen ist (Piras 2010).

Zudem wird die räumlich korrelierte, abhängige Variable als zusätzliche Variable in das Modell integriert. Dieses Vorgehen liegt der theoretischen Annahme zur Grunde, dass F&E-Strukturen nicht von Regionsgrenzen durchschnitten werden, sondern F&E-Aktivitäten benachbarter Regionen in einem interaktiven Verhältnis stehen. Sprich der RV-Wert einer Region i wird neben den erklärenden Variablen X_n auch von dem RV-Wert in einer benachbarten Region j beeinflusst. Das Gleiche gilt für UV. Mathematisch lässt sich dies wie folgt festhalten (Piras 2010):

$$y_n = \lambda W_n y_n + \beta X_n + e$$

Wobei y_n einen n -dimensionalen Spaltenvektor der abhängigen Variable und W_n die räumlich gewichtete Matrix darstellt. y_n und W_n zusammen werden auch als *spatial lag* bezeichnet. X_n steht für die Vektoren der erklärenden Variablen. Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass der räumliche Charakter der Daten berücksichtigt wird (Piras 2010).

3.5 Unabhängige Variablen

Um Hypothese 1 und 2 überprüfen zu können verwenden wir die Anzahl der Studierenden an Universitäten (UNI) und Fachhochschulen (FH) als Approximation für die Präsenz und die Größe der jeweiligen Institution in einer Region. Die Erfassung der eingeschriebenen Studierenden an Universitäten und Fachhochschulen erfolgt zum jeweiligen Wintersemester über die Hochschulstatistik des Bundes und der Länder und wurde vom Zeitraum 2005 bis 2010 ermittelt.

H3 erfordert es, die regionale Existenz von den vier Forschungseinrichtungen empirisch zu messen. Bei der Approximation der außeruniversitären Forschungsrichtungen greifen wir auf Dummy Variablen für die vier großen Forschungsgesellschaften FHG, HELM, LEIB und

MPG zurück. Bei der regionalen Existenz der Institute nehmen die Dummy Variable jeweils den Wert Eins und ansonsten den Wert Null an (Broekel/Brenner 2011).

Neben diesen, für den Untersuchungsschwerpunkt zentralen Variablen, existieren noch weitere regionale Charakteristiken und Determinanten, die vor allem indirekte Auswirkungen auf F&E-Aktivitäten und somit RV und UV ausüben können. Es ist wichtig zwischen großen Regionen und solchen mit vielen F&E-Aktivitäten zu unterscheiden, denn natürlich werden insbesondere urbane Regionen höhere F&E-Aktivitäten aufweisen als ländliche Regionen (Frenken et al. 2007; Cantner/Meder 2009). Um für diesen verzerrenden Faktor der Urbanisierung zu kontrollieren und die wirkliche Relevanz des Umfangs von F&E-Aktivitäten zu isolieren, wird die regionale Bevölkerungsdichte (BEV) in das Modell aus dem Zeitraum von 2005 bis 2010 aufgenommen. Die Datengrundlage bildet die amtliche Regionalstatistik des Bundes und der Länder.

Neben der Urbanität kontrollieren wir zudem für die privatwirtschaftliche F&E-Intensität einer Region. Als Indikator dienen die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten, die den Berufsgruppen der Ingenieure, Chemiker, Physiker und Mathematiker zugeordnet werden (Bundesagentur für Arbeit 2011). Die F&E-Beschäftigten fließen als relative Größe in Bezug zu der absoluten Anzahl an Beschäftigten in einer Region in das Modell ein (FuE). So wird für bevölkerungsärmere Regionen mit ausgeprägten F&E-Strukturen kontrolliert.

Aufgrund der innerdeutschen Vergangenheit existieren noch immer wirtschaftsstrukturelle Unterschiede zwischen den neuen und den alten Bundesländern. Deshalb wird bei regionalökonomischen Studien i. d. R. mithilfe eines Ost-West-Dummys (OW) für diese historisch geprägten bzw. pfadabhängig bedingten Disparitäten in Deutschland kontrolliert (Broekel/Brenner 2011). Um diese Strukturen abzubilden verwenden wir OW als Dummy, der den Wert Eins annimmt, sofern sich eine Region in den alten Bundesländern befindet und Null, wenn die Region in den neuen Bundesländern verortet ist. Tabelle 1 fasst die deskriptiven Statistiken für die verwendeten Variablen zusammen.

Tabelle 1: Deskriptive Statistik.

	Mittel	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
RV	1,378	0,361	0,358	2,159
UV	2,518	0,207	1,505	2,868
UNI	22,373	44,390	0,000	248,183
FH	10,947	16,121	0,000	101,317
FHG	0,140	0,347	0	1
MPG	0,128	0,335	0	1
HELM	0,062	0,242	0	1
LEIB	0,151	0,359	0	1
FuE	20,771	11,040	5,088	83,258
OW	0,791	0,408	0	1
BEV	293,625	425,596	38,082	3.973,399

Anzahl der Beobachtungen = 258. Abkürzungen: RV, Related Variety; UV, Unrelated Variety; UNI, Studierende Uni; FH, Studierende Fachhochschulen; FHG, Fraunhofer-Gesellschaft; MPG, Max-Planck-Gesellschaft; HELM, Hemholtz-Gemeinschaft; LEIB, Leibniz-Gemeinschaft; FuE, Beschäftigte in Forschung und Entwicklung; OW, Ost-West-Dummy; BEV, Bevölkerung.

4 Empirische Ergebnisse und Auswertung

4.1 Related und Unrelated Variety in deutschen Arbeitsmarktreionen

Über die regionale Verteilung von UV und RV lassen sich räumliche Muster der beiden Variablen identifizieren. Aus Abb. 1 geht hervor, dass beide Maße sich, wie erwartet, deutlich zwischen Regionen unterscheiden. Sie zeigt weiter, dass, bis auf wenige Ausnahmen, RV und UV selten gemeinsam auf einem ähnlichen Niveau auftreten. Der relativ geringe Korrelationskoeffizient von 0,2 (s. Appendix 1) verdeutlicht diese visuelle Interpretation. Trotz der theoretisch möglichen Komplementarität der beiden Größen, ist diese empirisch für den Untersuchungsraum, auf der visuellen Basis von Abb. 1, nicht zu bestätigen.

Eine hohe RV folgt vor allem traditionellen Industriestandorten im Süden, Südwesten und Westen der Republik. Es ist zu beachten, dass dieses Phänomen auch durch den verwendeten Indikator Patente verursacht wird, der naturgemäß tendenziell das verarbeitende Gewerbe überrepräsentiert. So spiegelt sich z.B. der historisch verwurzelte Fokus Rhein-Neckars auf den Maschinen- und Fahrzeugbau in einer hohen RV wieder. Hierzu zählen die Arbeitsmarktreionen Stuttgart, Reutlingen, Pforzheim, Heilbronn, Karlsruhe und Ulm. Diese Regionen sind durch viele innovative KMU sowie große Unternehmen

geprägt, die in verwandten Technologien Wissen erzeugen. In diesen Regionen existiert also, ausgedrückt durch die hohen RV-Werte, Potenzial für Wissensspillover zwischen verwandten Technologien. Gleichzeitig ist jedoch zu beachten, dass eine hohe RV nicht nur die Potenziale für inkrementelle Innovationen hervorhebt, sondern auch auf mögliche, kognitive Lock-ins hinweist. Um hier jedoch eindeutige Aussagen machen zu können, besteht weiterer Forschungsbedarf. Es bleibt unklar, ob RV, im Gegensatz zu Spezialisierung, genügend Vielfalt enthält, um regionale Lock-ins langfristig zu vermeiden oder ob hierfür eine Kombination aus UV und RV die nachhaltigste Wissensstruktur ist.

Die geographische Verteilung von UV scheint dagegen keinem offensichtlichen, räumlichen Muster zu folgen. Es fällt auf, dass eine hohe UV z. T. im Umland von urbanen Zentren wie München, Berlin und Köln zu beobachten ist. Hier wäre es interessant mehr darüber zu erfahren, ob sich das Umland anders diversifiziert als seine Zentren oder aber ob die Aktivitäten des Zentrums ins Umland strahlen und dort die Entstehung neuer Diversifikationsmöglichkeiten begünstigen. Die Beobachtung kann jedoch auch am verwendeten Entropiemaß liegen, dass nicht für die absolute Patentzahl kontrolliert.

Regionen mit geringem Patentvolumen können eine für UV günstige Verteilung der Erfindungen in Technologieklassen aufweisen. In Regionen mit intensiven F&E-Aktivitäten in dominierenden, verwandten Technologien wiegen kleinere Patentzahlen in unverbundenen Technologien dagegen, relativ betrachtet, weniger. Diese mögliche Verzerrung ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten und findet in der schließenden Analyse (s. Kap. 4.2) durch die Verwendung von Kontrollvariablen (BEV und FuE) Beachtung. Die deskriptiven Werte sollten eher dazu genutzt werden Regionen zu vergleichen, die über ähnliche F&E-Aktivitäten verfügen.

Beispielhaft seien hier die Regionen Erzgebirgskreis und Rostock genannt. Beide Regionen weisen ähnliche Patentzahlen auf, unterscheiden sich jedoch grundlegend in der Zusammensetzung ihrer F&E-Landschaft. Die Region Erzgebirgskreis hat mit 1,23 eine relativ niedrige und Rostock mit 1,71 eine relativ hohe RV. Der hohe RV-Wert Rostocks geht auf F&E-Tätigkeiten in Bereichen der Chemie sowie Medizin zurück und signalisiert Potenzial für Wissensspillover in der Region. Rostocks UV ist durch die Dominanz der beiden Wissensbereiche mit 2,13 relativ niedrig ausgeprägt, während die Region Erzgebirgskreis mit 2,83 eine relativ hohe UV besitzt. Die Verteilung der F&E-Aktivitäten in der Region Erzgebirgskreis weist demnach eine gewisse Vielfalt auf, die vor externen Schocks

Abb. 1: Related und Unrelated Variety in deutschen Arbeitsmarktregionen (2005–2010).

schützen kann und Potenzial für radikale Veränderungen bietet.

Neben den regionalen Unterschieden fällt weiter auf (Abb. 1), dass ähnliche Niveaus von UV/RV dazu tendieren, sich im Raum zu konzentrieren. So scheinen benachbarte Regionen auf den ersten visuellen Eindruck ähnliche Ausprägungen von UV/RV zu haben. Um den Grad der räumlichen Abhängigkeit von benachbarten Untersuchungseinheiten zu prüfen, können wir den *Moran's I Test* anwenden. Dieser bestätigt für RV (0,40***) und UV (0,18***) durch seine signifikant positiven Ergebnisse das Vorhandensein von räumlicher Autokorrelation in beiden Fällen. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit auf eine klassische lineare Regression zu verzichten und ein räumliches Modell zu berechnen, wenn UV und RV statistisch modelliert werden sollen.

4.2 Die Beziehung zwischen öffentlicher F&E und UV/RV

Im Fokus der empirischen Untersuchung liegt in erster Linie die Beziehung zwischen öffentlicher F&E und dem Niveau von UV/RV. Tabelle 2 fasst die Ergebnisse für das Niveau von UV/RV zusammen. In den Modellen M1 und M2 ist die abhängige Variable die regionale RV, wohingegen in M3 und M4 UV als abhängige Variable fungiert. In allen Modellen beobachten wir signifikante Koeffizienten für die spatial lag Variablen (W_y) und einen insignifikanten Moran's I Test. Entsprechend erklären die spatial lag Variablen die räumliche Autokorrelation.

Tabelle 2: Ergebnisse der räumlichen Regression für das regionale Niveau von RV und UV.

	(M1) Y = RV	(M2)	(M3) Y = UV	(M4)
UNI	0,001* (0,000)	0,001* (0,000)	0,000 (0,000)	0,000 (0,000)
FH	0,003*** (0,001)	0,002* (0,001)	-0,001 (0,001)	-0,000 (0,001)
MPG	0,176** (0,057)	0,158** (0,054)	0,040 (0,046)	0,064 (0,047)
FHG	0,134** (0,044)	0,105* (0,044)	0,029 (0,040)	0,040 (0,040)
LEIB	0,140** (0,044)	0,160*** (0,046)	0,017 (0,043)	0,027 (0,043)
HELM	-0,013 (0,059)	-0,027 (0,060)	0,045 (0,043)	0,064 (0,043)
FuE		0,006*** (0,002)		-0,002* (0,001)
OW		0,089* (0,043)		-0,000 (0,025)
BEV		-0,000 (0,000)		-0,000* (0,000)
Wy	0,845*** (0,105)	0,768*** (0,080)	1,012*** (0,268)	1,225*** (0,182)
Moran's I	0,102	-0,122	-0,235	-0,272

Abkürzungen: UNI, Studierende Uni; FH, Studierende Fachhochschulen; MPG, Max-Planck-Gesellschaft; FHG, Fraunhofer-Gesellschaft; LEIB, Leibniz-Gemeinschaft; HELM, Hemholtz-Gemeinschaft; FuE, Beschäftigte in Forschung und Entwicklung; OW, Ost-West-Dummy; BEV, Bevölkerung; Wy, Spatial Lag Variable.

Für die Kontrollvariablen (M2 und M4) zeigen sich klare Ergebnisse. Die F&E-Intensität, gemessen an der Anzahl der Beschäftigten in F&E steht mit RV in einer signifikanten, positiven Beziehung. Dieses Ergebnis bestätigt den visuellen Eindruck aus Abb. 1, dass Regionen mit intensiven F&E-Aktivitäten eine höhere Wahrscheinlichkeit für eine hohe RV besitzen. Erstaunlich ist, dass diese Regionen gleichzeitig eine geringere UV besitzen, was das signifikant negative Ergebnis aus M4 ausdrückt. Auch hier bestätigt sich der optische Eindruck aus Abb. 1. Wie schon in Kap 4.1 erwähnt, kann das am verwendeten Entropiemaß liegen, welches nicht für die absolute Patentzahl korrigiert und anfällig für zufällige Verteilungen i. S. v. UV ist². Dennoch scheinen ausgeprägte F&E-Aktivitäten mit einem stärkeren Fokus auf verwandte Branchen (RV) einherzugehen und die Entwicklung einer diversifizierten Struktur (UV) zu erschweren. Unverwandte Diversifizierung läuft

den eingespielten regionalen Prozessen zuwider und fußt auf anderen Mechanismen wie z. B. Transplantation und Saltation (Martin/Sunley 2006; Boschma et al. 2017). Hierfür müssen institutionelle und kognitive Grenzen in einer Region durchbrochen werden. Die Existenz von dominierenden Technologien/Wissensbereichen erschwert möglicherweise ein solches Durchbrechen und damit die Entstehung von UV. Das Ergebnis kann daher in Bezug zu den Resultaten von Boschma et al. (2014) gebracht werden, dass verwandte Diversifizierung verstärkend in spezialisierten Regionen wirkt.

Historisch geprägte Unterschiede zwischen den neuen und den alten Bundesländern sind nur für die Herausbildung von RV und nicht für UV entscheidend. M2 zeigt, dass die alten Länder tendenziell eine höhere RV besitzen. Dieses Ergebnis erscheint plausibel, da in den alten Ländern eine weitestgehend freie, nicht durch politische Vorgaben regulierte, Entwicklung möglich war. Dadurch konnte sich eine „natürliche“ Diversifikation entfalten, die sich mit höherer Wahrscheinlichkeit entlang von verwandten, technologischen Pfaden bewegt (Neffke et al. 2011; Boschma et al. 2014; Rigby 2013; Essletzbichler 2015). In den neuen Ländern kann das zentrale Planungssystem eine solche, natürliche Entwicklung verhindert haben, weshalb wir heute noch immer Niveauunterschiede von RV, zwischen den ehemals getrennten Teilen Deutschlands, beobachten.

In H1 nahmen wir an, dass Universitäten durch ihren stärkeren Fokus auf grundlagenorientierter Forschung in positiver Beziehung zur regionalen UV und in keiner Beziehung zur regionalen RV stehen. Die Koeffizienten in M3 und M4 besitzen zwar ein positives Vorzeichen, doch ist das Ergebnis nicht statistisch signifikant. Entgegen der Annahme in H1, beobachten wir daher keine signifikante Beziehung zwischen UV und UNI. Dieses Ergebnis kann u. a. darauf zurückgeführt werden, dass sich die Auswirkungen von F&E-Tätigkeiten im Grundlagenbereich nicht in den regionalen Patentzahlen und somit auch nicht in der regionalen UV widerspiegeln. Hier wären wissenschaftliche Publikationen wahrscheinlich ein geeigneterer Indikator, um die Beziehung von Universitäten und UV zu untersuchen.

Wir finden ferner eine signifikant positive Beziehung zwischen Universitäten sowie RV in M1 und M2. Auch dieses Ergebnis widerspricht der Annahme in H1, weshalb wir H1 auf Basis beider Ergebnisse ablehnen müssen. Die Unterscheidung zwischen grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung ist nicht in allen Disziplinen dichotom, sondern vielmehr als kontinuierliche Beziehung zu verstehen. Denn Grundlagenforschung kann direkten Anwendungsbezug besitzen. Dies gilt vor allem für na-

² Wir haben die Modelle auch mit der Anzahl der angemeldeten Patente als unabhängige Variable gerechnet. Die Ergebnisse blieben jedoch unverändert.

turwissenschaftlich-technische Disziplinen. Cohen et al. (2002) zeigen z. B., dass der Anwendungsbezug grundlagenorientierter Forschung in verschiedenen Disziplinen unterschiedlich stark ist. Grundlagenforschung in den Materialwissenschaften, der Informatik und der Chemie besitzen einen relativ ausgeprägten Anwendungsbezug und können als direkter Input für die industrielle F&E dienen. Als Diffusionskanal spielen vor allem Patente eine bedeutende Rolle. In der Biologie, Mathematik und Physik ist diese Beziehung z. B. weniger stark ausgeprägt.

Durch den verwendeten Indikator Patente, dürften sich vor allem die universitären Aktivitäten von eben diesen naturwissenschaftlich-technischen Disziplinen widerspiegeln, die ihren wissenschaftlichen Fortschritt neben Publikationen vor allem in Form von Patenten veröffentlichen. Deshalb sehen wir das Ergebnis vor allem als Ausdruck für die Existenz von Universitäten mit naturwissenschaftlich-technischen Ausrichtung an. Hier ist der Unterschied zwischen Universitäten und Fachhochschulen weniger trennscharf, da die Forschung in Technischen Universitäten ebenfalls sehr praxisbezogen und industriell orientiert sein kann (Beise/Stahl 1999). Um detailliertere Ergebnisse zu erlangen, müsste der Universitätsproxy in Teildisziplinen untergliedert werden. So könnte der Beitrag unterschiedlicher Disziplinen auf die regionale RV/UV genauer untersucht werden. Eine weitere wichtige Information stellen, in Kombination mit der Unterscheidung von Disziplinen, Drittmittel aus der Privatwirtschaft dar, die Aufschluss darüber geben könnten, welchen Anwendungsrad eine jeweilige Disziplin an ihren Standort besitzt.

H2 fasst die Annahme zusammen, dass Fachhochschulen durch ihren Anwendungsbezug mit regionaler Verflechtung in Beziehung zu RV stehen. Für Fachhochschulen finden wir im Hinblick auf RV ein statistisch signifikantes und positives Ergebnis. In M1 ist diese Beziehung unter dem 0,001 Niveau signifikant und wird in M2 durch das Hinzufügen der Kontrollvariablen auf das 0,05 Niveau abgeschwächt. Ob und in welchem Maße sie jedoch zur regionalen RV beitragen kann auf Basis der verwendeten Methodik nicht festgestellt werden. Dennoch können wir festhalten, dass die Beziehung zwischen FH und RV im Einklang mit H2 steht. Fachhochschulen sind anwendungsorientiert ausgerichtet und mit der regionalen Wirtschaft, z. B. durch gemeinsame Kooperationen, verflochten, weshalb ein Beitrag von FH zur regionalen RV nicht unbegründet ist (Beise/Stahl 1999; Kulicke/Stahlecker 2004).

In M3 und M4 finden wir keine statistisch signifikante Beziehung zwischen Fachhochschulen und UV. Dieses Ergebnis entspricht ebenfalls der Annahme in H2. Wie ihre

Beziehung zur regionalen RV zeigt, sind Fachhochschulen nicht losgelöst von regionalen Kontexten. Vielmehr ist anzunehmen, dass sie durch die Erforschung anwendungsorientierter Probleme und die Ausbildung von Fachkräften die (lokale) Wirtschaft beeinflussen. Die Vervielfältigung der regionalen F&E, losgelöst von den existierenden regionalen Strukturen, ist dabei nicht Teil ihres Aufgabenspektrums (Beise/Stahl 1999; Kulicke/Stahlecker 2004; Boschma et al. 2016). Unter Berücksichtigung der Ergebnisse für die Variable FH, können wir H2 daher annehmen.

H3 fasst die Beziehung zwischen den außeruniversitären Forschungseinrichtungen FHG, HELM, LEIB sowie MPG und UV/RV zusammen. Dabei nahmen wir eine positive Beziehung zwischen anwendungsorientierten Instituten (vor allem FHG) und RV sowie einer positiven Beziehung von grundlagenorientierten Instituten (vor allem MPG) und UV an. Die Ergebnisse für RV (M1 und M2) zeigen ein ambivalentes Bild. Während die signifikant positive Beziehung zwischen FHG und RV H3 entspricht, gilt dies nicht für die signifikant positive Beziehung zwischen MPG und RV. Wir können H3 in Bezug auf RV deshalb nur teilweise bestätigen. Ebenfalls signifikant und positiv ist die Beziehung zwischen LEIB und der regionalen RV. Die Institute der Leibniz-Gesellschaft lassen sich jedoch weniger trennscharf in anwendungs- oder grundlagenorientiert einteilen, weshalb diese Variable losgelöst von H3 ist. Die verwendete Methodik erlaubt keine Identifikation der kausalen Beziehungen. Wir können daher keine Aussagen darüber treffen, ob FHG Institute die regionale RV erhöhen, sie vornehmlich dort gegründet werden, wo ihre Ausrichtung der regionalen Struktur entspricht oder die Beziehung aus einer Ko-Evolution beider Wirkungskräfte resultiert.

In Bezug auf UV müssen wir H3 falsifizieren. Insbesondere die Beziehung von MPG und UV stand, aufgrund der grundlagenorientierten Ausrichtung von MPG, in M3 und M4 im Fokus. Der Koeffizient von MPG besitzt zwar ein positives Vorzeichen, ist jedoch statistisch nicht signifikant. Die Existenz von MPG geht demnach nicht mit einer erhöhten UV einher. Für die weiteren drei Forschungsinstitute finden wir ebenfalls keine statistisch, signifikanten Beziehungen. Somit entspricht nur das Gesamtergebnis für FHG der Annahme in H3, wohingegen die Ergebnisse für MPG die Hypothese nicht bestätigen. Auf dieser Basis können wir H3 nicht annehmen.

5 Fazit

Das Ziel der Arbeit war es, die F&E-Aktivitäten deutscher Arbeitsmarktreionen hinsichtlich der zwei Konzepte von Unrelated sowie Related Variety zu untersuchen und insbesondere ihre Beziehung zur öffentlichen F&E zu analysieren. Unrelated und Related Variety wurden auf Basis von Patentdaten im Zeitraum von 2005 bis 2010 für 258 deutsche Arbeitsmarktreionen mithilfe eines Entropieverfahrens berechnet. Auf dieser Basis konnte die Studie zeigen, dass sowohl UV als auch RV sehr ungleich zwischen deutschen Regionen verteilt sind. Insbesondere die Verteilung sehr hoher RV-Werte legte nahe, dass diese tendenziell mit großer regionaler Innovationskraft einhergehen. So sind es vor allem traditionelle Industrieräume wie z. B. Rhein-Neckar und Rhein-Main, die hohe RV-Werte aufweisen. Hohe UV-Werte beobachteten wir vorwiegend in Regionen im Umland urbaner Räume und weniger in Regionen mit hohen RV-Werten. UV entsteht auf Basis von Mechanismen, die das Durchbrechen existierender Strukturen erfordern. Solch ein Durchbrechen fällt zunehmend schwer, wenn die F&E-Landschaft von verwandten Technologien dominiert wird. Weiterhin ist zu betonen, dass empirische Studien fast ausschließlich die verwandte Diversifizierung analysieren. Das Durchbrechen dominierender Strukturen durch unverwandte Diversifizierung sollte daher in zukünftigen Studien eine zentralere Rolle einnehmen.

Die Ergebnisse zeigen, dass Universitäten und Fachhochschulen in positiver Beziehung zur regionalen RV stehen. Für diese beiden Institutionen finden wir dagegen keine Beziehungen zur Präsenz von UV. Ebenso spielt die Ausstattung und fachliche Orientierung der Universitäten eine bedeutende Rolle, die in der vorliegenden Arbeit nicht analysiert wurden. So ist denkbar, dass Universitäten, die Teil der Exzellenzinitiative sind, eine stärkere Wirkung auf ihre Region ausüben, als Universitäten, die diesem Förderprogramm nicht angehören. In diesem Kontext stellt auch die regionale Existenz von *star scientists* eine spannende Variable dar. Die Beziehungen können in nachfolgenden Untersuchungen deshalb noch detaillierter analysiert werden. So spielt die fachliche Ausrichtung in Kombination mit der Struktur der regionalen F&E-Landschaft eine bedeutendere Rolle als ihre individuelle Betrachtung. Um diese Kombination jedoch empirisch herzustellen, wäre es erforderlich einen „*regional fit*“ von Universitäten, ähnlich dem des *Density* Maßes von Hidalgo et al. (2007), zu entwickeln.

Zur öffentlichen F&E zählen in Deutschland neben den Hochschulen auch außeruniversitäre Forschungseinrichtungen. Die anwendungsorientierte Forschung der

FHG in Kombination mit ihrer regionalen Einbettung ist theoretisch ideal, um regionale, technologische Pfade zu verfestigen bzw. zu verzweigen. Dies findet sich auch in unseren Ergebnissen wieder. So stehen die Institute der Fraunhofer-Gesellschaft in positiver Beziehung zur regionalen RV.

Generell ist hervorzuheben, dass in dieser Studie jedoch keine kausalen Wirkungskräfte identifiziert wurden. Die empirische Studie basiert auf Querschnittsdaten, weshalb keine kausalen oder dynamischen Wirkungszusammenhänge identifiziert werden können. Die Studie kann daher nicht beantworten, ob die beobachteten Beziehungen zwischen öffentlicher F&E und UV/RV wirklich ursächlich für die Herausbildung von den beobachteten Wissensstrukturen sind oder, ob sie nicht durch eben diese Strukturen (langfristig) hervorgebracht werden. Da anzunehmen ist, dass die erwarteten Wirkungsrichtungen von sehr langfristiger Dauer sind, bleibt es fraglich, ob kausale Zusammenhänge auf Basis der verwendeten Daten untersucht werden können. Diese Datengrundlage stand in dieser Studie jedoch nicht zur Verfügung. Eine Querschnittsanalyse kann jedoch die langfristigen Zusammenhänge approximieren. Vor diesem Hintergrund und entsprechend des explorativen Charakters dieser Studie, hatte sie zum primären Ziel, die Beziehungen zwischen öffentlicher F&E, UV und RV zu identifizieren. Um die langfristigen kausalen Muster empirisch zu untersuchen, müssten nachfolgende Studien den Beobachtungszeitraum erweitern.

Um kurzfristige Dynamiken zu untersuchen, haben wir unsere Analysen auch unter der Verwendung von Wachstumsgrößen durchgeführt. Unsere Modelle waren jedoch nicht in der Lage das Wachstum der beiden Größen hinreichend in Beziehung mit den unabhängigen Variablen zu setzen. Das Wachstum von UV/RV weist keinerlei geographische Muster auf, weshalb hier Prozesse zu wirken scheinen, die in der Literatur noch nicht hinreichend konzeptualisiert wurden. Des Weiteren sollte auch hier das Wachstum über einen längeren Zeitraum verfolgt werden, was in der vorliegenden Studie aufgrund der Datenverfügbarkeit nicht möglich war.

Weiterhin ist das angewandte entropiostatistische Verfahren nur eine Möglichkeit die technologische Verwandtschaft von Industrien zu ermitteln. Ein Vergleich mit Ergebnissen, die unter Verwendung von alternativen Methoden gewonnen wurden ist somit sicherlich ebenfalls erstrebenswert. Die Erweiterung der Berechnung mittels alternativer Indikatoren wie z. B. Publikations- und Beschäftigtendaten sollte ebenfalls angestrebt werden, um tiefergehend zu verstehen wie Grundlagenforschung auf regionale Strukturen wirkt.

Es ist des Weiteren anzunehmen, dass die fachliche Ausrichtung von Hochschulen von Bedeutung ist. Aufgrund der Datenverfügbarkeit, konnten wir diesen Punkt nicht untersuchen. Zukünftige Studien könnten deshalb die Analyse erweitern und die Fächerstrukturen von Hochschulen berücksichtigen.

Die Analyse regionaler Wissensstrukturen auf Basis von technologischer Nähe stellt jedoch einen wirkungsvollen, politischen Implikationsansatz dar, der erlaubt regional verwurzelte Stärken und Schwächen zu identifizieren.

Appendix 1: Korrelationsmatrix.

	RV	UV	UNI	FH	FHG	MPG	HELM	LEIB	FuE	OW
UV	0,20									
UNI	0,38	0,12								
FH	0,26	0	0,29							
FHG	0,34	0,11	0,36	0,18						
MPG	0,38	0,08	0,52	0,18	0,45					
HELM	0,25	0,09	0,23	0,21	0,38	0,40				
LEIB	0,33	0,06	0,37	0,21	0,39	0,65	0,36			
FuE	0,54	-0,02	0,32	0,25	0,32	0,29	0,25	0,22		
OW	0,37	0,06	0,02	0,07	-0,07	-0,06	-0,04	-0,13	0,11	
BEV	0,31	0,06	0,19	0,11	0,19	0,29	0,24	0,30	0,31	0,08

Literatur

- Acs, Z.J./Audretsch, D.B. (1989). Patents as a Measure of Innovative Activity. *Kyklos*, 42(2), pp.171–180. Available at: [http://online-library.wiley.com/journal/10.1111/\(ISSN\)1467-6435/issues\](http://online-library.wiley.com/journal/10.1111/(ISSN)1467-6435/issues\) <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eo> [h&AN=0223372&site=ehost-live](http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eo&AN=0223372&site=ehost-live).
- Agrawal, A. (2001). University-to-industry knowledge transfer: literature review and unanswered questions. *International Journal of Management Reviews*, 3(4), pp.285–302. Available at: <http://www.isi.net/journals/000173719500003>.
- Audretsch, D.B./Lehmann, E.E./Warning, S. (2005). University spillovers and new firm location. *Research Policy*, 34(7), pp.1113–1122.
- Beise, M./Stahl, H. (1999). Public research and industrial innovations in Germany. *Research Policy*, 28(4), pp.397–422. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733398001267>.
- Bentley, P.J./Gulbrandsen, M./Kyvik, S. (2015). The relationship between basic and applied research in universities. *Higher Education*, 70, pp.689–709. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s10734-015-9861-2>.
- Bishop, P./Gripaios, P. (2010). Spatial Externalities, Relatedness and Sector Employment Growth in Great Britain. *Regional Studies*, 44(4), pp.443–454.
- Boschma, R./Coenen, L./Frenken, K./Truffer, B. (2017): *Towards a theory of regional diversification: combining insights from Evolutionary Economic Geography and Transition Studies*. *Regional Studies*, advance online publication, doi: 10.1080/00343404.2016.1258460
- Boschma, R./Balland, P.-A./Kogler, D.F. (2014). Relatedness and technological change in cities: the rise and fall of technological knowledge in US metropolitan areas from 1981 to 2010. *Industrial and Corporate Change*, 24(1), pp.223–250.
- Boschma, R./Frenken, K. (2011). Technological relatedness and regional branching. In: Bathel, H./M. P. Feldman, M.P./Kogler, D.F., eds. *Beyond Territory: Dynamic Geographies of Knowledge Creation, Diffusion and Innovation*, (April), pp.64–81. Available at: http://dimetic.dime-eu.org/dimetic_files/artbookBathel-FeldmanKogler.pdf.
- Boschma, R./Iammarino, S. (2009). Related Variety, Trade Linkages, and Regional Growth in Italy. *Economic Geography*, 85(3), pp.289–311.
- Boschma, R./Martin, R. (2007). Constructing an evolutionary economic geography. *Journal of Economic Geography*, 7(5), pp.537–548.
- Brachert, M., Kubis, A./Titze, M. (2013). *Related Variety, Unrelated Variety and Regional Functions: A spatial panel approach*, Available at: <http://ideas.repec.org/p/egu/wpaper/1301.html>.
- Breschi, S./Lissoni, F. (2009). Mobility of skilled workers and co-invention networks: An anatomy of localized knowledge flows. *Journal of Economic Geography*, 9(4), pp.439–468.
- Breschi, S./Lissoni, F./Malerba, F. (2003). Knowledge-relatedness in firm technological diversification. *Research Policy*, 32(1), pp.69–87.
- Broekel, T./Brenner, T. (2011). Regional factors and innovativeness: An empirical analysis of four German industries. *Annals of Regional Science*, 47(1), pp.169–194.
- Broekel, T./Graf, H. (2012). Public research intensity and the structure of German R&D networks: a comparison of 10 technologies. *Economics of Innovation and New Technology*, 21(4), pp.345–372.
- Bundesagentur für Arbeit (2011). *Klassifikation der Berufe 2010*, Nürnberg: Bundesagentur für Arbeit.

- Cantner, U./Meder, A. (2009). *Regional Effects on Cooperative Innovation Activities and the Related Variety of Regional Knowledge Bases*, Available at: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Approaching+the+Agora+?+Determinants+of+Scientists?+Intentions+to+Pursue+Academic+Entrepreneurship#0>.
- Castaldi, C./Frenken, K./Los, B. (2015). Related Variety, Unrelated Variety and Technological Breakthroughs: An analysis of US State-Level Patenting. *Regional Studies*, 49(5), pp.767–781. Available at: <http://www.tandfonline.com/loi/cres20>.
- Cohen, W.M./Nelson, R./Walsh, J.P. (2000). Protecting Their Intellectual Assets: Appropriability Conditions and Why U.S. Manufacturing Firms Patent (or Not). *NBER Working Paper*, (7552). Available at: www.nber.org/papers/w7552.
- Cohen, W.M., Nelson/R.R./Walsh, J.P. (2002). Links and Impacts: The Influence of Public Research on Industrial R&D. *Management Science*, 48(1), pp.1–23.
- David, P.A. (1985). Clio and the Economy of QWERTY. *The American Economic Review*, 75(2), pp.332–337. Available at: <http://links.jstor.org/sici?sici=0002-8282%28198505%2975%3A2%3C332%3ACATEOQ%3E2.0.CO%3B2-I>.
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, 11(3), pp.147–162.
- Engelsman, E.C./van Raan, A.F.J. (1994). A patent-based cartography of technology. *Research Policy*, 23(1), pp.1–26.
- Essletzbichler, J. (2015). Relatedness, Industrial Branching and Technological Cohesion in US Metropolitan Areas. *Regional Studies*, 49(5), pp.752–766. Available at: <http://www.tandfonline.com/loi/cres20>.
- Farjoun, M. (1994). Beyond Industry Boundaries: Human Expertise, Diversification and Resource-Related Industry Groups. *Organization Science*, 5(2), pp.185–199.
- Feldman, M.P./Audretsch, D.B. (1999). Innovation in cities: Science-based diversity, specialization and localized competition. *European Economic Review*, 43(2), pp.409–429.
- Feldman, M.P./Kogler, D.F./Rigby, D.L. (2015). rKnowledge: The Spatial Diffusion and Adoption of rDNA Methods. *Regional Studies*, 49(5), pp.798–817. Available at: <http://dx.doi.org/10.1080/00343404.2014.980799>.
- Frenken, K. (2007). Entropy Statistics and information theory. In H. P. A. Hanush, ed. *Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics*. Northampton: Edward Elgar, pp. 544–555.
- Frenken, K./Van Oort, F./Verburb, T. (2007). Related Variety, Unrelated Variety and Regional Economic Growth. *Regional Studies*, 41(5), pp.685–697.
- Griliches, Z. (1990). Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey. *Journal of Economic Literature*, 28(4), pp.1661–1707. Available at: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=19291971&site=ehost-live>.
- Heinze, T./Kuhlmann, S. (2008). Across institutional boundaries? Research collaboration in German public sector nanoscience. *Research Policy*, 37(5), pp.888–899.
- Henderson, R./Jaffe, Adam, B./Trajtenberg, M. (1995). *Universities as a source of commercial technology: A detailed analysis of university patenting 1965–1988*.
- Hidalgo, C.A. et al. (2007). The Product Space Conditions the Development of Nations. *Science*, 317, pp.482–487.
- Jacobs, J. (1969). *The Economies of Cities*, New York: Random House.
- Kulicke, M./Stahlecker, T. (2004). *Forschungslandkarte Fachhochschulen* B. für B. und F. (BMBF), ed., Bonn, Berlin.
- Marshall, A. (1890). *Principles of Economics* MacMillan, ed., London.
- Martin, R. (2012). Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks. *Journal of Economic Geography*, 12(1), pp.1–32.
- Martin, R./Sunley, P. (2006). Path dependence and regional economic evolution. *Journal of Economic Geography*.
- Neffke, F./Henning, M./Boschma, R. (2011). How do regions diversify over time? Industry relatedness and the development of new growth paths in regions. *Economic Geography*, 87(3), pp.237–266.
- Nooteboom, B. (2000). *Learning and Innovation in Organizations and Economies*, Oxford, New York: Oxford University Press.
- Nooteboom, B. et al. (2007). Optimal cognitive distance and absorptive capacity. *Research Policy*, 36(7), pp.1016–1034.
- Otto, A./Weyh, A. (2014). Industry space and skill-relatedness of economic activities: Comparative case studies of three eastern German automotive regions. *IAB Forschungsbericht*, 8, pp.1–50.
- Petrucelli, A.M. (2011). The impact of technological relatedness, prior ties, and geographical distance on university-industry collaborations: A joint-patent analysis. *Technovation*, 31(7), pp.309–319. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.technovation.2011.01.008>.
- Piras, G. (2010). sphet: Spatial Models with Heteroskedastic Innovations in R. *Journal of Statistical Software*, 35(1), pp.1–21. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204611000508> http://pdn.sciencedirect.com/science?_ob=MiamImageURL&_cid=271853&_user=10&pii=S0169204611000508&_check=y&_origin=article&zone=toolbar&_coverDate=30-Apr-2011&view=c&originContentFamily.
- Rigby, D.L. (2013). Technological Relatedness and Knowledge Space: Entry and Exit of US Cities from Patent Classes. *Regional Studies*, pp.1–16. Available at: <http://www.tandfonline.com/loi/cres20>.
- Tödtling, F./Tripl, M. (2005). One size fits all?: Towards a differentiated regional innovation policy approach. *Research Policy*, 34(8), pp.1203–1219.