

*Band  
22*

Bianca Krol / Andreas Kladroba (Hrsg.)

*Netzwerk- und Outputmessung – Indikatorik  
für transformative Technologiefelder  
(NEO-Indikatorik)*

~  
Andreas Kladroba, Katharina Friz, Tobias Buchmann,  
Patrick Wolf

ifes Schriftenreihe

**FOM**  
Hochschule

**ifes**

**Institut für Empirie & Statistik**  
der FOM Hochschule  
für Oekonomie & Management

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2020 by



**Akademie  
Verlags- und Druck-  
Gesellschaft mbH**

MA Akademie Verlags- und Druck-Gesellschaft mbH  
Leimkugelstraße 6, 45141 Essen  
[info@mav-verlag.de](mailto:info@mav-verlag.de)

Das Werk einschließlich seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urhebergesetzes ist ohne Zustimmung der MA Akademie Verlags- und Druck-Gesellschaft mbH unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen. Oft handelt es sich um gesetzlich geschützte eingetragene Warenzeichen, auch wenn sie nicht als solche gekennzeichnet sind.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Andreas Kladroba, Katharina Friz, Tobias Buchmann, Patrick Wolf

Netzwerk- und Outputmessung – Indikatorik für transformative  
Technologiefelder (NEO-Indikatorik)

ifes Institut für Empirie & Statistik  
der FOM Hochschule für Oekonomie & Management

ifes Schriftenreihe  
Band 22, 2020

ISBN (Print) 978-3-89275-419-0  
ISBN (eBook) 978-3-89275-420-6

ISSN (Print) 2191-3366  
ISSN (eBook) 2569-5355

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VI
Tabellenverzeichnis.....	VII
1 Zum Projekt.....	9
1.1 Projektteilnehmende.....	9
1.2 Kurzbeschreibung des Projektes .....	9
1.3 Aufbau der Publikation.....	11
1.3.1 Messung von Forschung, Entwicklung und Innovation.....	11
1.3.2 Messung von Forschung und Entwicklung nach Technologien.....	12
1.3.3 Methoden zur dynamischen Erfassung von Unternehmensereignissen .....	12
1.3.4 Methoden zur Erstellung von Innovationsnetzwerken und Messung von Kooperationsdynamiken.....	13
1.3.5 Vernetzungsdynamik des Technologiefelds Elektromobilität .....	14
2 Die Messung von Forschung, Entwicklung und Innovation: Eine Übersicht.....	15
2.1 Aufgabenstellung .....	15
2.1.1 Die Akteure.....	16
2.1.2 Die Fragestellungen.....	17
2.1.3 Die Nutzer .....	18
2.2 Publikationen.....	19
2.2.1 Art der Publikation .....	20
2.2.2 Qualität der Publikation .....	21
2.2.3 Ko-Autorenschaft.....	21
2.2.4 Online-Publikationen .....	22
2.3 Zitat.....	23
2.4 Patente.....	24
2.5 Monetäre Indikatoren .....	25
2.6 Personelle Indikatoren .....	27
2.7 Drittmittel.....	28
2.8 Fazit.....	30
2.9 Literatur.....	31
3 Technologien statt Branchen: Eine andere Sicht auf die FuE-Erhebung.....	33
3.1 Aufgabenstellung .....	33
3.2 FuE-Erhebung 2015 .....	35
3.2.1 Fragestellung.....	35

3.2.2	Methodik .....	38
3.3	Die FuE-Erhebung 2017 .....	42
3.3.1	Der Ansatz des Stifterverbandes .....	43
3.3.2	Eine Alternative: Regressionsansatz .....	45
3.4	Fazit.....	46
3.5	Literatur.....	50
3.6	Anhang.....	52
4	Methoden zur dynamischen Erfassung von Unternehmensereignissen.....	64
4.1	Einleitung.....	64
4.2	Der konzeptionelle Rahmen.....	66
4.3	Unternehmensereignisse auf der Knotenebene .....	68
4.4	Die ereignisbasierte Erfassungssystematik.....	71
4.4.1	Vorgehensweise beim ereignisbasierten Erweitern des Datensatzes .....	73
4.4.2	Der Datensatz .....	75
4.4.3	Die Datenbankstruktur .....	85
4.5	Fazit.....	87
4.6	Literaturverzeichnis .....	88
5	Netzwerkaufbau und Indikatoriksystementwicklung .....	91
5.1	Einleitung.....	91
5.2	Netzwerkerstellung .....	93
5.2.1	Technologiefeldabgrenzung .....	93
5.2.2	Datenerhebung.....	93
5.2.3	Nationale Förderprojekte.....	94
5.2.4	Internationale Förderprojekte .....	96
5.2.5	Patentdaten.....	97
5.2.6	Bibliographische Daten .....	100
5.2.7	Messekataloge & Kompetenzatlanten.....	103
5.2.8	Netzwerkkonstruktion .....	103
5.2.8.1	Netzwerkgrundlagen .....	103
5.2.8.2	Datenaufbereitung und -vereinheitlichung.....	104
5.2.8.3	Datenstruktur Netzwerk.....	105
5.2.8.4	Erweiterung um Knotendynamik.....	107
5.3	Entwicklung des Indikatoriksystems .....	107
5.3.1	Grundlegendes .....	107
5.3.2	Bestimmung des theoretischen Bezugsrahmens .....	108
5.3.3	Indikatorensuche.....	109
5.3.4	Indikatorens Selektion .....	122
5.3.5	Theoretische Beschreibung der ausgewählten Indikatoren	125

5.4	Zusammenfassung .....	139
5.5	Literaturverzeichnis.....	140
6	Vernetzungsdynamik des Technologiefelds Elektromobilität.....	147
6.1	Einleitung.....	147
6.2	Netzwerkerstellung .....	147
6.2.1	Technologiefeldabgrenzung.....	147
6.2.2	Datenerhebung.....	149
6.2.2.1	Nationale Förderprojekte - Batterieforschung...	149
6.2.2.2	Nationale Förderprojekte – E- Fahrzeugforschung.....	152
6.2.3	Internationale Förderprojekte .....	155
6.2.4	Patentdaten .....	158
6.2.5	Bibliographische Daten .....	162
6.2.6	Netzwerkkonstruktion .....	164
6.2.6.1	Datenaufbereitung .....	164
6.2.6.2	Netzwerkdatenstruktur.....	164
6.2.6.3	Resultierendes Gesamtnetzwerk.....	167
6.2.6.4	Erweiterung um Knotendynamik .....	170
6.3	Anwendung des Indikatoriksystems .....	173
6.3.1	Grundlegendes .....	173
6.3.2	Globale Analyse .....	173
6.3.3	Akteursbezogene Analyse .....	178
6.4	Zusammenfassung .....	182
6.5	Literaturverzeichnis.....	182

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Formen von Drittmitteln (vor allem an Hochschulen) .....	30
Abb. 2: Ereignisschema.....	72
Abb. 3: Räumliche Verteilung der (statischen) Unternehmen im Technologiefeld E-Mobilität .....	76
Abb. 4: Beispiel Brückner Maschinenbau GmbH .....	78
Abb. 5: Aufbau der Datenbankstruktur.....	86
Abb. 6: Schematische Darstellung der Datenerhebung. ....	94
Abb. 7: Schematische Struktur der Patentklassifizierung in Sektionen, Klassen, Unterklassen sowie Haupt- und Untergruppen. ....	99
Abb. 8: Beispielhafte Darstellung der Suchoberfläche des Web of Science ..	102
Abb. 9: Beispielhafte, vereinfachte Darstellung eines Netzwerks .....	104
Abb. 10: Beispielhafte Aufteilung der erhobenen Daten in Nodelist-und Edgelist.....	106
Abb. 11: Schematische Aufgliederung des Indikatoriksystems in Indikatortyp und Skalierungsebene .....	110
Abb. 12: Fahrzeugabgrenzung nach der Nationalen Plattform Elektromobilität .....	148
Abb. 13: Netzwerk Batterieforschung .....	151
Abb. 14: Netzwerk Förderprojekte E-Fahrzeugtechnik .....	154
Abb. 15: Netzwerk Forschungsprojekte CORDIS .....	157
Abb. 16: Netzwerk Patentkooperation .....	161
Abb. 17: Netzwerk Bibliographie .....	163
Abb. 18: Auszugsweise Darstellung einer sinnvollen Datenstruktur der Knoten- und Kantenliste .....	166
Abb. 19: Darstellung der Akteursverteilung im Gesamtnetzwerk .....	168
Abb. 20: Darstellung der Vernetzung zwischen den Akteuren im Gesamtnetzwerk.....	169
Abb. 21: Auszugsweise Darstellung der finalen Paneldatenstruktur sowie der Akteursdarstellung in Knoten- und Kantenliste .....	172
Abb. 22: Ergebnisse der globalen Analyse .....	177
Abb. 23: Ergebnisse der akteursbezogenen Analyse für ausgewählte Akteure.....	179
Abb. 24: Auszug aus Übersicht über Knotengradentwicklung für die verschiedenen Akteure .....	181

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Interne FuE-Aufwendungen nach Technologien.....	48
Tab. 2:	Prozentuale Abweichungen der Ergebnisse aus Tab.1 .....	49
Tab. 3:	Zuordnung der Rechtsformänderungen .....	75
Tab. 4:	Beispiel Vossloh Kiepe GmbH .....	79
Tab. 5:	„long“ Format des Paneldatensatzes .....	83
Tab. 6:	Hauptkategorien der Leistungsplansystematik .....	96
Tab. 7:	Sektoren der gemeinsamen Patentklassifikation CPC.....	98
Tab. 8:	Maße zur Quantifizierung der Netzwerkähnlichkeit .....	115
Tab. 9:	Maße zur Quantifizierung der Erreichbarkeit & Reichweite in Netzwerken.....	118
Tab. 10:	Standardmaße der Netzwerkanalyse .....	120
Tab. 11:	Zentralitätsmaße der Netzwerkanalyse .....	122
Tab. 12:	Selektionskriterien für Indikatoren.....	124
Tab. 13:	Übersicht über die für das Indikatoriksystem herangezogenen Indikatoren.....	125
Tab. 14:	Auswahl potentiell relevanter Bereiche der Leistungsplansystematik .....	152
Tab. 15:	Abfrage CORDIS-Datenbank .....	156
Tab. 17:	Übersicht über relevante Patentklassen im Bereich Elektromobilität.....	160
Tab. 18:	Abfragecode Web of Science .....	162



## 1 Zum Projekt

Netzwerk- und Outputmessung – Indikatorik für transformative Technologiefelder (NEO-Indikatorik)

### 1.1 Projektteilnehmende

Prof. Dr. Andreas Kladroba (FOM Hochschule für Oekonomie und Management und Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft, Projektkoordinator)

Dr. Tobias Buchmann, Patrick Wolf (Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg)

Katharina Friz, Marcel Lange (Universität Bremen)

### 1.2 Kurzbeschreibung des Projektes

Die möglichst umfassende und präzise Erfassung der FuE Aktivitäten deutscher Unternehmen bildet eine zentrale Voraussetzung für die Ableitung zielgerichteter und passgenauer innovationspolitischer Maßnahmen sowie für die Konzeption zukunftsweisender Förderlinien. Der Stifterverband nimmt diese Aufgabe bereits seit mehreren Jahrzehnten nachhaltig wahr. Für querschnittbasierte Auswertungen und die Berichterstattung auf aggregierten Berichtsebenen liefern die bestehenden Zahlenwerke eine exzellente und belastbare Datenbasis.

Gleichzeitig bleibt jedoch zu konstatieren, dass der Bedarf an dynamisch angelegten, auf Technologiefeldern basierenden Innovationsstudien stetig steigt. Den hohen Datenanforderungen solcher Längsschnittstudien werden bestehende FuE-Zahlenwerke nur bedingt gerecht. Das Projekt NEO-Indikatorik leistet einen Beitrag zur Verbesserung der derzeit gängigen FuE-Berichterstattung. Drei eng miteinander verwobene Stoßrichtungen werden dabei ins Zentrum des Interesses gerückt.

Erstens haben bisherige übliche FuE-Befragungen den Anspruch einer Vollerhebung. Ein typisches Problem, das bei der Konstruktion von Paneldatensätzen auf Basis solcher Befragungsdaten in Erscheinung tritt, stellt auf die intertemporale Vergleichbarkeit der Grundgesamtheiten und Kopplung der einzelnen Erhebungswellen ab. Bedingt durch Ein- und Austrittsdynamiken von Unternehmen sowie unstetes Teilnahmeverhalten der befragten Unternehmen können im Zeit-

verlauf bestenfalls unbalancierte und hohen Fluktuationen unterworfenen Paneldatensätze aufgebaut werden. Akzeptiert man diese wohlbekannte Limitation von langfristig angelegten Befragungsdatensätzen, so bleibt dennoch das Problem einer „sauberen“ Kopplung wiederholt in Erscheinung tretender Unternehmen über die Zeit hinweg zu lösen. Ereignisse wie bspw. Umfirmierungen, Zusammenschlüsse, Akquisitionen, unternehmensinterne Umstrukturierungen u.v.m. werden im Rahmen von Paneldatensatzkonstruktionen bis heute entweder gänzlich vernachlässigt oder bestenfalls unter Verwendung stark vereinfachter Annahmen berücksichtigt. Daher wird eine ereignisbasierte Erfassungssystematik entwickelt, die es erlaubt, Firmenhistorien auf Basis weniger, standardisierter Ereigniskategorien zu erfassen.

Zweitens belegen zahlreiche empirische Studien, dass Kooperationen und Vernetzung einen maßgeblichen Einfluss auf den Innovationserfolg von Unternehmen ausüben. Dies gilt auf der Ebene von Technologiefeldern ebenso wie in klassischen Industriezweigen. Möchte man jedoch belastbare und empirisch abgesicherte Aussagen über den Zusammenhang zwischen Vernetzung und Innovationsoutput treffen, so ist die Struktur, Dynamik und die strategische Positionierung von Unternehmen innerhalb der sich wandelnden Netzwerke adäquat zu erfassen. Umso erstaunlicher ist es, dass bis heute keine systematische und umfassende Erfassung der Vernetzungsstruktur des deutschen nationalen Innovationssystems (NIS) existiert (insb. nicht auf der Ebene von Technologiefeldern). Obwohl mehrere, in langen Reihen verfügbare Sekundärdatensätze existieren, wurden diese bisher noch nicht im oben skizzierten Sinne genutzt. Das Projekt erarbeitet daher einen Vorschlag, der illustriert, wie verschiedene Facetten der Kooperation und Vernetzung in die bestehende FuE-Erhebungsmethodik integriert werden können. Damit leistet das Vorhaben einen wichtigen Beitrag zur Vervollständigung bestehender FuE-Statistiken um kooperations- und vernetzungsbedingte Determinanten der Innovationsleistungsfähigkeit deutscher Unternehmen.

Drittens ist Outputmessung ein weiteres viel diskutiertes Themenfeld der FuE Statistik. Die verschiedenen bekannten Ansätze decken den Informationsbedarf der Nutzer jedoch oftmals nur unzureichend ab. Gerade vor dem Hintergrund eines sich schnell wandelnden Innovationssystems ist die Aussagekraft der oftmals eher statisch angelegten Outputindikatoren begrenzt. Im Rahmen dieses Projektes soll daher zunächst der bisher nur unzureichend ermittelte Informationsbedarf der Nutzer ermittelt und neue Outputindikatoren entwickelt werden, die diesen zusätzlichen Bedarf decken. Diese Indikatoren sind dann zu dynamisieren. In einem zweiten Schritt sollen die oben vorgeschlagenen Indikatoren für ausgewählte

Technologiefelder in aggregierter Form Anwendung finden. Grundvoraussetzung dafür ist die Überführung der WZ-basierten FuE-Berichterstattung in eine technologiefeldbasierte Abgrenzungslogik.

### 1.3 Aufbau der Publikation

Anknüpfend an die oben beschriebenen einzelnen Aspekte des Projektes ist diese Publikation wie folgt aufgebaut:

#### 1.3.1 Messung von Forschung, Entwicklung und Innovation

Die Messung von Forschung und Entwicklung (und damit eng verwandt die von Innovation) ist ein äußerst komplexes Vorhaben. Dies hat seinen Grund vor allem in der Heterogenität des Themenkomplexes, die sich unter anderem wie folgt zeigt:

1. Heterogenität der Forschungsakteure: Auch wenn Unternehmen im Fokus des Projektes stehen, dürfen andere Akteure wie Hochschulen und Forschungseinrichtungen an dieser Stelle nicht vernachlässigt werden, weil sie in den zu bildenden Netzwerken eine wichtige Rolle spielen. Aber nicht nur zwischen den Akteursgruppen besteht Heterogenität, auch innerhalb der Gruppen gibt es eine extreme Bandbreite. So ist die Forschung eines Softwareentwicklers kaum mit der Forschung eines Pharmakonzerns vergleichbar. Auch ist die Forschung an einer sozialwissenschaftlichen Fakultät völlig anders konzipiert als bei den Ingenieuren der gleichen Hochschule.
2. Heterogenität der Fragestellungen: Neben der klassischen quantitativen Frage („Wieviel Forschung wird betrieben?“) spielen in der Innovationsforschung strukturelle Fragen (z.B. Finanzierung der Forschung oder Personalausstattung) genauso eine Rolle wie qualitative Aspekte der Forschung. Ein Indikatorksystem muss letztlich den unterschiedlichen Fragen gerecht werden.
3. Heterogenität der Indikatoren: Anknüpfend an die ersten beiden Punkte erhält man eine Vielzahl an Indikatoren, die versuchen Teilaspekte der genannten Heterogenitäten und Fragestellungen abzubilden. Das bedeutet aber gleichzeitig, dass die einzelnen Indikatoren immer nur einen Ausschnitt der Realität widerspiegeln und kaum zu einem Gesamtbild zu verknüpfen sind.

Dieses Kapitel möchte aufbauend auf den genannten Aspekten ein Gesamtbild der zur Verfügung stehenden Indikatoren vermitteln.

### 1.3.2 Messung von Forschung und Entwicklung nach Technologien

Die zunehmende Nachfrage nach technologiebasierten Indikatoren hat erstmals im Jahr 2015 zu einer Ergänzung der vom Stifterverband durchgeführten offiziellen FuE-Erhebung geführt. Erstmals wurden Unternehmen gefragt, in welchen Technologieklassen sie aktiv sind. Aufgabe des Projektes NEO-Indikatorik war dabei die Herstellung einer Konkordanz zwischen Branchen und Unternehmen. Dafür wurde ein Algorithmus entwickelt, der eine zweidimensionale Abbildung der FuE-Zahlen ermöglichte.<sup>1</sup> Ergänzt wurde diese Darstellung durch einige induktive Aspekte.

Da sich die Befragung der Unternehmen nach Technologien zu diesem Zeitpunkt noch im Experimentierstadium befand (und es auch keine Vorgaben von Seiten des Frascati-Handbuchs gab), wurde die Befragung in der 2017er Welle modifiziert, wobei die Vergleichbarkeit zu 2015 verloren ging. Das Projekt NEO-Indikatorik konnte diese Vergleichbarkeit aber wiederherstellen. Gleichzeitig konnten die 2017er Daten zur Evaluierung des für 2015 entwickelten Algorithmus verwendet werden.

Das Kapitel gibt einen kurzen Überblick über die erfolgten Arbeiten und fasst wichtige Ergebnisse zusammen.

### 1.3.3 Methoden zur dynamischen Erfassung von Unternehmensereignissen

Veränderungen auf der Akteurs- bzw. Knotenebene über die Zeit hinweg führen zu Problemen bei der Kopplung von unverbundenen Querschnittsdaten. Die Berücksichtigung von Ein- und Austrittsdynamiken auf der Unternehmensebene ermöglicht sowohl aussagekräftige Längsschnittanalysen als auch die Umsetzung neuartiger Indikatorikkonzepte.

Eine zentrale Aufgabe innerhalb des Projektes NEO-Indikatorik bestand darin, einen methodischen „Prototypen“ zur empirischen Beobachtung der Struktur- und Dynamik von Unternehmen zu entwickeln. Auf Basis der Entwicklung und Anwendung eines Ereignisschemas wurden Veränderungen der Unternehmen und der

---

<sup>1</sup> Vgl. dazu auch Kladroba u.a., Technologien statt Branchen: Eine Neuauswertung der FuE-Erhebung 2015, in: Wirtschafts- und Sozialstatistisches Archiv 12 (2018), S. 87-104

Unternehmensstruktur im Zeitverlauf erfasst und in Form von eindeutigen Ereignis-Codes widergespiegelt. Zu den wichtigsten organisationalen Umstrukturierungsprozessen gehören unter anderem: Neugründungen, Umfirmierungen, Joint Ventures, Merger und Akquisition, Spin-Offs sowie Insolvenz und Gesamtliquidation. Auf diese Weise wird es möglich, die „Lebenshistorien“ von Unternehmen nachzuzeichnen. Die darauf aufbauende dynamische Datenbankstruktur ermöglicht eine systematische Erfassung der Populationsdynamik und schafft die Voraussetzung für die Ergänzung von innovationsökonomisch relevanten Informationen wie Umsatz, Beschäftigte, Branche, Patente, Standort etc., die aus verschiedenen Informationsquellen wie dem Handelsregister, ORBIS und PATSTAT hinzugefügt werden.

Im Mittelpunkt dieses Kapitels steht die Darstellung eines Informationsverarbeitungs- und Kodierungssystems als Methode zur Transformation statischer Mikro- in dynamische Nanodaten, welches eine empirische Beobachtung der Struktur- dynamik von Unternehmen ermöglicht.

#### **1.3.4 Methoden zur Erstellung von Innovationsnetzwerken und Messung von Kooperationsdynamiken**

Innovationsnetzwerke als komplexe Beziehungsgeflechte stellen insbesondere in wissensbasierten Technologiefeldern eine wesentliche Erfolgsdeterminante dar. Dennoch sind Informationen über eine solche Vernetzung von Akteuren sowie die dahinterliegenden Dynamiken derzeit noch kein Bestandteil der FuE-Statistik und wurden auch in der Wissenschaft bisher unzureichend thematisiert. Die Inhalte dieses Kapitels beziehen sich deshalb zum einen auf Erhebungsmöglichkeiten relevanter Informationen hinsichtlich der Vernetzung von Akteuren im Bereich Forschung und Entwicklung sowie darauf aufbauend Methoden zur Messung von Vernetzungsdynamik und Netzwerkänderung.

Die dargestellten Erhebungsmethoden basieren auf einem multi-dimensionalen Vernetzungsansatz, welcher verschiedene Sekundärdatenquellen verwendet, um ein möglichst vollständiges Bild der Vernetzung von Technologiefeldern innerhalb des deutschen Innovationssystems zu erlangen. Es werden hierbei verschiedene öffentliche Datenbanken und jeweilige Methoden zur Datenerhebung, -aufbereitung und -verknüpfung aufgezeigt und diskutiert. Zu den Datenbanken zählen unter anderem Cordis, Förderkatalog, OECD Regpat (Patente) und Web of Science. Ebenso wie auf der Populationsebene gilt es auch hier, den Wandel über die Zeit zu berücksichtigen. Netzwerke sind hochdynamische Systeme, da sowohl

Akteure ein- und austreten, als auch die Kooperationsbeziehungen zwischen den Akteuren im Zeitverlauf aufgelöst oder neu gebildet werden können.<sup>2</sup> Um diese Dynamiken genauer untersuchen zu können, werden verschiedene Methoden und Indikatoren zur Quantifizierung von Netzwerkdynamik bzw. Netzwerkveränderung erläutert und diskutiert.

### 1.3.5 Vernetzungsdynamik des Technologiefelds Elektromobilität

Im Anschluss an die vorherigen konzeptionell orientierten Kapitel wird im letzten Kapitel die Anwendung des Indikatoriksystems demonstriert. Nach einer Abgrenzung des Technologiefelds Elektromobilität werden die Netzwerke auf Basis unterschiedlicher Datenquellen konstruiert. Dabei werden sowohl Patentdaten, wie auch Informationen aus Förderprojekten (Förderkatalog, Cordis) und bibliografische Daten berücksichtigt. Bei der Analyse wird nicht nur die Kantendynamik, sondern auch die Unternehmensdynamik (Knotendynamik) auf Basis des Konzepts aus Kapitel 3 berücksichtigt. Schließlich werden die in Kapitel 5 vorgestellten und ausgewählten Netzwerkindikatoren berechnet und dargestellt. Damit lassen sich Trend- und Strukturbrüche im Netzwerk erkennen, die mit technologischen Paradigmenwechseln einhergehen.

---

<sup>2</sup> Kudic, Muhamed (2015), *Innovation Networks in the German Laser Industry*, Springer, Heidelberg u.a.

## 2 Die Messung von Forschung, Entwicklung und Innovation: Eine Übersicht<sup>3</sup>

Andreas Kladroba

### 2.1 Aufgabenstellung

Die Messung von Forschung und Entwicklung (FuE) und letztlich auch von Innovation ist eine hochkomplexe Aufgabe. Die Antwort auf die Frage, warum das so ist, ist dagegen trivial. Die Messung ist so komplex, weil der Sachverhalt „Forschung“ komplex ist. Dabei ist jetzt nicht gemeint, dass die Inhalte eines Forschungsprojektes oftmals so kompliziert sind, dass sie nur von wenigen Menschen verstanden werden. Vielmehr geht es um ein Zusammenspiel zwischen den Akteuren im Forschungsprozess, den Interessierten an der Messung und die unterschiedlichen Fragen, die man an eine Messung stellen kann. Hinzu kommt z.B. innerhalb der Akteure eine extreme Heterogenität. Dies zeigt bereits, dass es „die Messung von FuE“ nicht geben kann. Letztlich muss es einen Strauß an Indikatoren geben, die zusammen eine gewisse Gesamtübersicht über den Themenkomplex „Forschung, Entwicklung, Innovation“ geben.

Zunächst interessiert aber die Frage, was unter „Forschung und Entwicklung“ zu verstehen ist (das Thema Innovation soll an dieser Stelle kurz vernachlässigt werden). Auch wenn die Literatur wahrscheinlich hunderte Definitionen anbietet, scheint es naheliegend auf eine Definition zurückzugreifen, die zum einen die Messung des Sachverhaltes besonders im Fokus hat und die zum anderen international weit anerkannt ist. Wir wollen uns im Folgenden auf das sogenannte „Frascati-Handbuch“ beziehen, den durch die OECD veröffentlichten und zum Beispiel durch die EU anerkannten Leitfaden für die „offizielle“ Messung von Forschung und Entwicklung. Hier wird FuE wie folgt definiert:<sup>4</sup>

„Research and experimental development (R&D) comprise creative and systematic work undertaken in order to increase the stock of knowledge – including knowledge of humankind, culture and society – and to devise new applications of available knowledge.“

---

<sup>3</sup> Dieses Kapitel ist eine Kurzfassung von Kladroba u.a. (2021)

<sup>4</sup> OECD (2015), Ziffer 2.5ff

Kurz lässt sich FuE also als „Schaffung neuen Wissens“ definieren. Die Definition umfasst damit fünf Kriterien, an denen man FuE erkennen und schließlich von anderen Tätigkeiten wie Design, Entwurf oder Produktion unterscheiden kann:

- Neuartigkeit
- Kreativität
- Ungewissheit
- Systematik/Budgetierbarkeit
- Reproduzierbarkeit/Übertragbarkeit

Es ist somit einzig die genannte Definition bzw. diese fünf Kriterien, die eine Tätigkeit als FuE definieren. Dabei ist es unerheblich in welcher Art von Institution sie stattfindet oder wer sie durchführt.

### 2.1.1 Die Akteure

Das Frascati-Handbuch unterscheidet vier Sektoren, in denen FuE betrieben wird:

- Unternehmenssektor (BES = Business Enterprise Sector)
- Hochschulsektor (HES = Higher Education Sector)
- Staatssektor (GOV = Government)
- Private Organisationen ohne Erwerbszweck (PNP = Private non Profit)

Die Definition der Sektoren erfolgt dabei in der Regel nach Kriterien, die mit FuE erst einmal nichts zu tun haben. So zeichnet sich der Unternehmenssektor dadurch aus, dass er ein Produkt zu Marktpreisen verkauft. Das Produkt kann die FuE sein, ist es in der Regel aber nicht. Es darf sogar ein Produkt sein, das nicht als Ergebnis eines Forschungsprozesses zu verstehen ist. Der Hochschulsektor zeichnet sich durch das Angebot an tertiärer Bildung aus. Die Organisationsform spielt dabei keine Rolle. Eine Hochschule darf also gewinnorientiert arbeiten, sie kann eine Organisation ohne Erwerbszweck oder auch staatlich sein. In allen Fällen gehört sie aber dem Hochschulsektor an. Zum Teil gibt es auch Grenzfälle, die von Frascati nur unzureichend erfasst werden. Z.B. stellt sich bei sogenannten An-Instituten oftmals die Frage, ob sie noch Hochschulsektor oder schon PNP oder sogar Unternehmenssektor sind. Ähnlich die in der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ (AiF) organisierten Instituti-



onen für industrielle Gemeinschaftsforschung, die zwar alle Merkmale einer Organisation ohne Erwerbzzweck aufweisen, aber doch dem Unternehmenssektor zugeordnet sind.

Die FuE-Akteure unterscheiden sich aber nicht nur in ihrer sektoralen Zugehörigkeit. Auch innerhalb des Sektors findet sich eine große Spannweite an Aktivitäten. Am deutlichsten dürfte das bei den Hochschulen sein. So forscht ein Maschinenbauer sicher anders als ein Pädagoge. Auch ist die Ausstattung völlig verschieden. Bei den Unternehmen bestehen sicher gravierende Unterschiede zwischen einem Pharmakonzern und einem Logistikunternehmen. Im Staatssektor, in dem die Forschungsinstitute oftmals in Gesellschaften zusammengefasst sind, ist die Heterogenität auch innerhalb der Gesellschaft zu erkennen. So dürfte die Forschungstätigkeit des Max-Planck-Instituts für Astrophysik in Garching nur sehr wenige Schnittstellen mit dem nicht einmal 20km entfernten Max-Planck-Institut für Sozialrecht und Sozialpolitik haben.

Für die Messung von FuE bedeutet das, dass die Frage, ob ein Indikator z.B. auf einen bestimmten Sektor anwendbar ist, viel zu kurz gegriffen ist. Vielmehr ist zu fragen, inwiefern er innerhalb des Sektors aussagekräftig ist. So ist die Publikationsstätigkeit zwar eher an Hochschulen als in Unternehmen anzutreffen, aber auch innerhalb der Hochschule spielt die Anzahl der Publikationen im Fachbereich Informatik sicher eine andere Rolle als in den Geisteswissenschaften.

### 2.1.2 Die Fragestellungen

Was messen wir eigentlich genau, wenn wir vorgeben, FuE zu messen? Die Frage erscheint fast ein wenig trivial, allerdings zeigt sich ihre Komplexität bereits, wenn man einmal drei Begriffspaare bildet:

- Qualität vs. Quantität
- Input vs. Output
- Niedrige vs. hohe Aggregation

Die offizielle FuE-Statistik nimmt eine Messung der Quantität des FuE-Inputs auf variablen Aggregationsebenen vor. Dies gilt im Prinzip für alle Sektoren. Es ist aber leicht einsehbar, dass es sich dabei nur um eine Fragestellung von vielen handeln kann. Schon die Unterscheidung von Qualität und Quantität führt uns zu zwei völlig unterschiedlichen Sichtweisen. Davon abgesehen, dass beide Be-

griffe zunächst definiert werden müssten, sollte man aber auch nach den Implikationen der Sichtweisen fragen. Bedeutet „immer mehr“ gleichzeitig auch „immer besser“? Ist eine Steigerung der Qualität wirklich immer anzustreben oder könnten zu hohe Ansprüche nicht letztlich auch hinderlich (weil z.B. unrealistisch) sein?

Wo setze ich mit der Messung an? Auf der Inputseite wie die „offizielle“ Statistik oder doch eher beim Output? Gibt es überhaupt einen Zusammenhang zwischen den beiden Ansätzen? Inwiefern misst man mit einem quantitativen Ansatz auf der Input-Seite das gleiche wie mit einem quantitativen Ansatz auf der Outputseite? Wir werden darauf an späterer Stelle noch einmal zurückkommen.

Die offizielle FuE-Statistik ermöglicht durch die Wahl der Kernindikatoren „Aufwendungen“ und „Personal“ vordergründig eine beliebige Aggregation. Sowohl Geld als auch Personen kann man problemlos addieren. In der FuE-Statistik wird das so weit getrieben, dass eine Gesamtzahl für ein ganzes Land oder sogar für die EU oder die OECD dargestellt wird. Es stellt sich aber die Frage, wie weit das wirklich sinnvoll ist. Inwiefern sind die unterschiedlichen Fachbereiche einer Universität vergleichbar, so dass eine Gesamtzahl für eine Hochschule sinnvoll interpretierbar ist? Ist es wirklich unproblematisch die FuE-Aufwendungen der Sektoren zu einer „Landeszahl“ zu addieren? Was sagt es uns, wenn wir die FuE-Aufwendungen von Deutschland und Malta addieren?

### 2.1.3 Die Nutzer

Bei einer Statistik sollte stets das Interesse der Nutzer im Fokus stehen. Eine Statistik ist nichts wert, wenn sie den Nutzer außen vorlässt. Nutzer der FuE-Statistik sind in erster Linie Politik, Wissenschaft und Wirtschaft. Damit scheinen die Nutzer vordergründig identisch mit dem „Untersuchungsgegenstand“ zu sein, aber dieser Eindruck täuscht weitgehend. Die übliche sektorale Einteilung auch auf der Nutzerseite ist eher irreführend. Der Staat als Nutzer formuliert Vorgaben bezüglich Menge und Richtung von Forschung. Dies kann regional, national, aber auch international (z.B. auf EU-Ebene) geschehen. Dann wird der Staat versuchen, durch geeignete Fördermaßnahmen diese Ziele zu erreichen. Die „eigene“ Forschung (staatliche Forschungsinstitute) interessiert dabei nur als Teil der gesamten Forschung und steht nicht unbedingt in einem besonderen Fokus. Die staatlichen Forschungsinstitute interessieren sich zwar auch für die Ergebnisse der FuE-Statistik, allerdings in der Regel im Rahmen der Innovationsforschung. Forschung und

Innovation wird hier selbst zum Gegenstand der Forschung, wobei die FuE-Statistik eine wichtige empirische Grundlage bildet. Das heißt aber im Umkehrschluss, dass z.B. das oben genannte MPI für Astrophysik wahrscheinlich kein Interesse an der Messung von FuE hat. Ähnlich ist es bei den Hochschulen. Lehrstühle, die sich in irgendeiner Form mit Innovationsforschung beschäftigen, sind sicher an der FuE-Erhebung interessiert. Ein Lehrstuhl für anorganische Chemie dürfte es dagegen kaum sein. Das Interesse von Unternehmen an der Messung mag vor allem egozentrisch sein. Zur innerbetrieblichen Steuerung werden sicher auch Zahlen zu FuE herangezogen. Die aggregierten Daten der FuE-Erhebung dürften vor allem als Benchmark verwendet werden. Auch hier zeigt sich die Diskrepanz zwischen Untersuchungsgegenstand und Nutzer. Nicht die Forschungsabteilungen sind an einer Messung von FuE interessiert, sondern vielleicht das Controlling oder die strategische Unternehmensplanung.

Diese Überlegungen mögen einen kurzen Einblick in die Komplexität der Messung von FuE geben (von Innovation haben wir dabei noch gar nicht gesprochen). Im Folgenden sollen jetzt einige Messkonzepte vorgestellt werden. Es soll darauf eingegangen werden, bei welchen Fragestellungen diese sinnvoll sein könnten und wo weniger. Auch soll gezeigt werden, welche Differenzierungen und Gewichtungen eventuell vorgenommen werden sollten. Eine ausführliche Darstellung vor allem einzelner Indikatoren findet man bei Kladroba u.a. (2021).

## 2.2 Publikationen

Die klassische Kommunikationsform der Wissenschaft ist die Publikation. Schon die Wissenschaftler der Antike wie Aristoteles haben ein umfangreiches Schriftenwerk hinterlassen, das zum Teil auch einem interessierten Publikum zugänglich gemacht wurde (sogenannte „exoterische Schriften“). Die Tradition der Verschriftlichung und Veröffentlichung wissenschaftlicher Erkenntnisse hat sich bis in die heutige Zeit erhalten. Daher erscheint es zunächst naheliegend, die Zahl der Publikationen als Indikator für die Quantität von Forschung und Entwicklung zu verwenden. Vordergründig hat die Zahl der Publikationen vor allem zwei Vorteile:

1. Der Indikator ist leicht zu erfassen.
2. Der Indikator ist aggregierbar.

Allerdings zeigt sich auch sofort ein Nachteil: Publikationen sind in den unterschiedlichen Sektoren nicht von gleicher Bedeutung. Während für Mitarbeiter

(gerade im Nachwuchsbereich) von Hochschulen und Forschungseinrichtungen immer mehr das Motto „publish or perish“ gilt, spielen wissenschaftliche Publikationen in den meisten Unternehmen keine Rolle. Allerdings sind auch die Hochschulen und Forschungsinstitute in dieser Hinsicht nicht so homogen, wie man annehmen könnte. Während in den Geistes-, Gesellschafts- und den meisten Naturwissenschaften die Publikation immer noch den herausragenden Arbeitsnachweis darstellt, ist sie z.B. in der Informatik von untergeordneter Bedeutung.

Darüber hinaus gilt es hier eine ganze Reihe von Feinheiten zu beachten. So ist eine Publikation nicht gleich einer Publikation. Wir wollen im Folgenden drei Aspekte näher betrachten: Die Art der Publikation, die Qualität der Publikation und das Problem der Ko-Autorenschaft.

### 2.2.1 Art der Publikation

Traditionell erfolgt die Publikation in gedruckter Form, das heißt als Aufsatz (vorzugsweise in einer wissenschaftlichen Zeitschrift) oder als Buch, wobei das Buch in Form einer Monographie in den letzten Jahren stark an Bedeutung verloren hat. Es ist klar, dass Aufsätze und Bücher zunächst nicht vergleichbar sind. Dabei muss deutlich sein, dass das Buch nicht die „bessere“ oder „höherwertige“ Publikation ist, weil sie länger ist und in der Regel mehr Arbeit und Zeit benötigt. Die Monographie hat eine andere Intention als der Aufsatz. Während der Aufsatz meist stark auf einen Sachverhalt fokussiert ist und ein hohes Maß an Vorkenntnissen voraussetzt, gibt die Monographie oftmals einen Gesamtüberblick über ein bestimmtes Thema, was natürlich nicht ausschließt, dass auch in einer Monographie wichtige neue Erkenntnisse erstmals publiziert werden. Das heißt, dass ein allgemeingültiger Vergleich zwischen Aufsatz und Buch sicher nicht möglich ist. Erst recht verbietet sich ein rein quantitativer Vergleich z.B. auf der Basis von Seitenzahlen. So ist ein kurzer Aufsatz in einem A-Journal<sup>5</sup> sicher in vielen Fällen „wertvoller“ als eine lange Monographie. Wahrscheinlich bietet sich hier nur eine Einzelfallbewertung an.

---

<sup>5</sup> Gerade die internationalen Top-Magazine gestehen ihren Autoren oftmals nur eine sehr begrenzte Seitenzahl zu.

### 2.2.2 Qualität der Publikation

Es ist ja bereits angeklungen, dass gerade wissenschaftliche Zeitschriften von sehr unterschiedlicher Qualität sein können, wobei es sich hier um einen Kreislauf handelt. Je mehr eine Zeitschrift „aussieht“, desto größer ist das Bestreben der Autoren mit qualitativ hochwertigen Artikeln einen Platz in dieser Zeitschrift zu bekommen. Die Konkurrenz der Autoren untereinander ermöglicht es dann der Zeitschrift nur die hochwertigsten Artikel zu akzeptieren. So ist eine Veröffentlichung in einem A- oder B-Journal nicht nur ein quantitativer Arbeitsnachweis, sondern gibt auch Auskunft über die Qualität der Veröffentlichung.

Wer bestimmt aber über die Qualität einer Zeitschrift? Letztlich macht das die wissenschaftliche Community selbst, wobei zwei Strömungen zu unterscheiden sind. Zum einen kann eine Befragung der Community bezüglich der von ihnen geschätzten Zeitschriften erfolgen.<sup>6</sup> Hierbei ist meist weniger zu erkennen, welche Maßstäbe die Befragten ansetzen. Auch spielt der persönliche Hintergrund sicher eine große Rolle. Auf der anderen Seite kann man die Wirkung einer Zeitschrift messen. Dabei spielen sowohl qualitative als auch quantitative Faktoren eine Rolle. Eine verbreitete qualitative Maßzahl ist die „Publication Power“, die einerseits die Publikationsintensität als auch die Publikationsbreite<sup>7</sup> misst. Ebenfalls verbreitet ist der Author Affiliation Index, der misst, wie hoch der Anteil der Autoren aus einer vorher definierten Gruppe von Spitzenuniversitäten ist, die in einer bestimmten Zeitschrift publizieren.<sup>8</sup> Eine eher quantitative Maßzahl ist im Gegensatz dazu der Journal Impact Factor, der die mittlere Zitierungszahl in bestimmten Zeitschriften in den nächsten zwei Jahren nach der Publikation angibt.<sup>9</sup>

### 2.2.3 Ko-Autorenschaft

Der Fall, dass eine Publikation von nur einem Autor erstellt worden ist, ist heute sicher eher die Ausnahme. Die meisten Publikationen sind das Ergebnis von Kooperationen zwischen zwei oder mehr Autoren. Wie schlägt sich das in der Erfassung der Publikationen nieder? Hier lassen sich verschiedene Ansätze erkennen,

---

<sup>6</sup> Z.B. im „Jourqual“ <https://www.vhbonline.org/vhb4you/vhb-jourqual> (Abruf: 23.09.2020) oder bei Bräuniger/Haucap/Muck (2011)

<sup>7</sup> Holsapple (2008), Woll (2011), S. 74

<sup>8</sup> Cronin/Meho (2008), S. 1861, Woll (2011), S. 75

<sup>9</sup> Woll (2011), S. 43

die auch immer damit zusammenhängen, welcher Motivation die Zusammenarbeit entspringt. Es lassen sich (mindestens) drei Gruppen bilden:<sup>10</sup>

1. Kooperation zur Nutzung der Diversität der Autoren: In diesem Fall dient Kooperation der Zusammenfügung unterschiedlicher Kenntnisse und Fähigkeiten. Ohne diese Kooperation wäre die Arbeit nie entstanden. Die Arbeit wird daher als vollständige Publikation für jeden der Autoren bewertet („Normal Count“).
2. Kooperation zwecks Arbeitsteilung: In diesem Fall hätte jeder Autor die Publikation alleine schreiben können. Die Kooperation führt zu einer geringeren Belastung für die Beteiligten. Daher wird der Text auch nur anteilmäßig auf die Autoren aufgeteilt („Fractional Count“). Dabei gibt es Ansätze, dass die Summe der Teile größer als eins sein darf, da es trotz der Arbeitsteilung durchaus auch zu Überschneidungen kommt.<sup>11</sup>
3. Ein dritter Fall von Ko-Autorenschaft ist weniger von Kooperation geprägt, sondern ist eher als „Publikationspiraterie“ zu bezeichnen. Hier wird meist unter Ausnutzung von Hierarchien die Ko-Autorenschaft erzwungen, obwohl keine oder kaum eine eigenständige Leistung des „Ko-Autors“ vorliegt. Entsprechende Fälle werden in Wissenschaftskreisen immer wieder diskutiert und finden manchmal auch den Weg in die Öffentlichkeit.<sup>12</sup> Eine Möglichkeit das zu vermeiden, könnte darin bestehen, dass die Arbeit nur dem Erstautor zugewiesen wird („Straight Count“). Allerdings findet diese Vorgehensweise in der Praxis nur sehr selten Anwendung.<sup>13</sup>

#### 2.2.4 Online-Publikationen

Eine besondere Form von Publikationen sind Online-Veröffentlichungen. Hier muss man aber Unterscheidungen treffen, weil der Begriff ziemlich unscharf verwendet wird. Nicht gemeint sind damit die Publikationen, bei denen das Internet nur der Vertriebsweg ist. Viele Verlage gewähren sowohl auf Zeitschriftenartikel

---

<sup>10</sup> Grözinger/Leusing (2006), S. 4

<sup>11</sup> Kladroba (2005), S. 79

<sup>12</sup> Vgl. Spiegel Online vom 07.02.2016 („Doktorvater unser“), <https://www.spiegel.de/lebenundlernen/uni/promotion-wenn-es-zum-streit-mit-dem-doktorvater-kommt-a-1063819.html> (Abruf am 21.07.2020)

<sup>13</sup> Grözinger/Leusing (2006), S. 4

als auch auf Bücher inzwischen einen Online-Zugriff. Trotzdem bleibt die Publikation ein Zeitschriftenartikel oder ein Buch und sollte auch so behandelt werden. Die sogenannte „graue Literatur“, also Arbeits- und Diskussionspapiere, die an allen Hochschulen und Forschungseinrichtungen im Eigenverlag veröffentlicht werden, ist oftmals nur über das Internet zu beziehen. Trotzdem handelt es sich dabei nicht um eine Online-Publikation. Im Vor-Internet-Zeitalter gab es diese Form von Publikationen auch schon. Man konnte sie in Bibliotheken einsehen oder einfach postalisch bestellen.

Mit Online-Publikationen sind vielmehr Texte gemeint, die es ohne das Internet wahrscheinlich nicht gäbe oder die dann auf einem anderen Weg publiziert würden. Das heißt, es handelt sich um Texte, die z.B. ausschließlich auf einer Lehrstuhlhomepage oder in einem einschlägigen Forum wie [www.researchgate.com](http://www.researchgate.com) erscheinen. Leider gibt es keine Informationen darüber, wie relevant diese Form von Publikationen überhaupt ist. Auch dürfte deren Erfassung problematisch sein, da es kein zentrales Verzeichnis gibt. Ebenfalls gibt es keine Einschätzung bezüglich der qualitativen Einschätzung. Diese erfolgt ausschließlich über die Nutzer selbst. Woll (2011), S. 57 schlägt in dem Zusammenhang vor, die Nutzungsbreite, Nutzungsintensität und Nutzungsrate als Qualitätsmaßstab zu verwenden.

### 2.3 Zitate

Die quasi logische Folgefrage des vorangegangenen Kapitels dürfte sein, wie die wissenschaftliche Community mit einer Publikation umgeht. Zum einen wäre interessant, inwiefern eine Publikation überhaupt zur Kenntnis genommen wird. Dies lässt sich über Downloadzahlen, Verkaufszahlen oder Bibliotheksausleihen leider nur unvollständig erfassen. Aussagekräftiger dürfte daher auch die Feststellung sein, inwiefern eine Publikation in die weitere Arbeit von anderen Forschern eingegangen ist, was sich mit Hilfe von Zitaten belegen lässt. Allerdings sind auch hier Detailfragen zu beachten:

1. Art der Publikation: Die Unterschiedlichkeit von Publikationen drückt sich auch in ihrem Zitierverhalten aus. So haben umfangreiche Werke wie z.B. Dissertationen oftmals den Anspruch eine möglichst vollständige Übersicht über die relevante Literatur zu geben. Dagegen ist der zur Verfügung stehende Platz gerade in den Top-Zeitschriften in der Regel stark begrenzt, so dass hier meist nur die bedeutendsten Arbeiten zitiert werden. Ein Zitat ist in einem solchen Fall sicher „wertvoller“ als in einer Dissertation.

2. Ansehen des Zitierenden: Gerade für Nachwuchswissenschaftler ist es sicher von Bedeutung, wer ihre Arbeit zur Kenntnis nimmt. Handelt es sich dabei um eine Koryphäe des entsprechenden Faches oder „nur“ um einen anderen Doktoranden?
3. Eigenzitate: Eigenzitate sind unproblematisch, so lange sie in Texten verwendet werden, die tatsächlich auf einer anderen Arbeit des gleichen Autors aufbauen. Dienen Eigenzitate offensichtlich nur dazu, den eigenen Impact-Faktor zu vergrößern, sind sie abzulehnen.
4. Zitationskartelle: Ähnliches gilt auch für Zitationskartelle, die sich z.B. innerhalb von Arbeitsgruppen bilden können. Auch hier ist nach der Motivation des Zitats zu fragen, um letztlich entscheiden zu können, wie „wertvoll“ ein Zitat ist.

## 2.4 Patente

Ein sichtbares Zeichen für erfolgreiche Forschung ist die Anmeldung und Erteilung eines Patents. Das Patent sichert dem Forscher die ausschließliche Nutzung zu und macht ihn im Falle einer Patentverletzung schadenersatzberechtigt. Außerdem kann er den Rückruf und die Vernichtung von Produkten verlangen, die sein Patent verletzen.

Patente sind ein FuE-Indikator, der vor allem im Wirtschaftssektor Anwendung findet. Dies hat vor allem zwei Gründe:

1. Wissenschaftliche Theorien und mathematische Methoden sind von einer Patentierung ausgeschlossen. Daher ist es für weite Teile vor allem der Geistes- und Gesellschaftswissenschaften nicht möglich, ein Patent zu beantragen.
2. Es muss eine wirtschaftliche Verwertbarkeit gegeben sein. Gerade Hochschulen bewegen sich aber größtenteils in der Grundlagenforschung, bei der die Verwertbarkeit oftmals noch nicht erkennbar ist.

Auch wenn es bekannte Patente auch für Forschungsinstitute und Hochschulen gibt,<sup>14</sup> ist die Patentanmeldung hier sicher eher die Ausnahme und die Zahl der Patente als Indikator für Forschung und Entwicklung von geringerer Bedeutung. Allerdings sind auch im Wirtschaftssektor Patente ein problematischer Indikator.

---

<sup>14</sup> Eines der bekanntesten Patente dürfte dabei das MP3-Format zur Komprimierung von Audiodateien sein, für das die Fraunhofergesellschaft ein Patent bekam.



Dies liegt vor allem an der Freiwilligkeit der Patentbeantragung. Ein Patent kann angemeldet werden, muss aber natürlich nicht. Dass Unternehmen darauf verzichten, kann z.B. an den damit verbundenen Kosten liegen. Neben der Bindung eigener Ressourcen für die Antragstellung sind spürbare Gebühren zu entrichten. Außerdem wird die neue Erfindung mit der Patenterteilung automatisch veröffentlicht, ist also für alle einsehbar. Manche Unternehmen fürchten diese Veröffentlichung und halten ihre Erfindung lieber geheim. Auf der anderen Seite werden Patente von Unternehmen angemeldet, auch wenn es überhaupt keinen Willen zur Verwertung der Erfindung gibt. Der Grund dafür besteht vor allem darin, dass man Wettbewerbern den Zugriff auf die Technik verwehren will. Letztendlich betreiben Unternehmen also eine individuelle Patentpolitik, so dass das Patent sicherlich kein homogener Indikator für die Quantität von FuE ist.

Darüber hinaus gibt es aus statistischer Sicht auch hier Feinheiten, die zu beachten sind. Z.B. kann ein Patent auf den Erfinder persönlich angemeldet werden oder auf das Unternehmen, bei dem er beschäftigt ist. Für regionale Betrachtungen ist es wichtig zu wissen, dass gerade große Konzerne oftmals eine zentrale Patentanmeldung betreiben. Dann kann der Forschungsstandort zwar Bremen sein, das Patent wird aber von der Unternehmenszentrale in München angemeldet.

Patente als FuE-Indikatoren sind zwar in der Innovationsforschung beliebt, was aber am ehesten daran liegen dürfte, dass die Informationen öffentlich zugänglich sind. Daten aus der FuE- und der Innovationsstatistik sind dagegen erst seit einigen Jahren durch die entsprechenden Forschungsdatenzentren für die Wissenschaft verwertbar, wobei die Nutzung nach wie vor gewissen Restriktionen unterliegt.

## 2.5 Monetäre Indikatoren

Im Rahmen der offiziellen FuE- und Innovationsstatistik stehen vor allem die monetären Indikatoren im Vordergrund. Zentraler Indikator sind dabei die „internen FuE-Aufwendungen“. Unter „interner FuE“ versteht das Frascati-Handbuch: „Intramural R&D expenditures are all current expenditures plus gross fixed capital expenditures for R&D performed within a statistical unit during a specific reference period, whatever the source of funds.“<sup>15</sup> Die Verwendung monetärer Indikatoren hat einige Vorteile:

---

<sup>15</sup> OECD (2015), Ziffer 4.10

1. Der Indikator ist auf alle Sektoren und innerhalb der Sektoren auf alle Untereinheiten (Branchen, Fachbereiche, Unternehmen, Hochschulen, Institute) anwendbar, denn Kosten fallen in allen Bereichen an.
2. Die Erfassung erfolgt eindeutig und überschneidungsfrei („Einen Euro kann man nur einmal ausgeben!“)
3. Der Indikator ist (zumindest rechnerisch) beliebig aggregierbar.
4. Es lassen sich auch Strukturen erfassen.

Mit dem letzten Punkt ist gemeint, dass in der FuE-Erhebung z.B. Finanzierungsflüsse erfasst werden und die Art der Aufwendungen (Personal- und Sachaufwendungen) oder die Art der Forschung (Grundlagenforschung, angewandte Forschung, experimentelle Entwicklung) ausgewiesen werden. Neben der sektoralen Gliederung ist auch eine regionale Gliederung möglich.

Diese Vorteile sind vor allem statistischer bzw. rechnerischer Natur. Problematischer ist dagegen die Interpretation der gewonnenen Zahlen, denn durch die Verwendung rein monetärer Größen werden bestimmte Besonderheiten in den Sektoren ausgeklammert.

So gibt es – vereinfacht gesagt – z.B. „teure“ und „preiswerte“ Forschung, was in der Regel vom Fachgebiet oder von der konkreten Fragestellung abhängt. So erfordert Forschung mit Großgeräten, wie sie z.B. in den Natur- oder Ingenieurwissenschaften häufig vorkommt, natürlich ungleich mehr Kapital als z.B. Forschung in den Geisteswissenschaften. In der Logik der FuE-Erhebung heißt das aber, dass im ersten Fall „mehr“ FuE betrieben wird als im zweiten Fall, denn die FuE-Erhebung ist eine rein quantitative Erhebung. Der betroffene Geisteswissenschaftler würde sich gegen diese Schlussfolgerung sicher zu Recht wehren. Problematisch z.B. im internationalen Vergleich sind auch unterschiedliche Preisniveaus, denn die Erfassung erfolgt immer in nominalen Größen. Ein „teures“ Land würde unter diesen Umständen „mehr“ FuE ausweisen als ein Land mit niedrigerem Preisniveau, auch wenn in beiden Ländern exakt das gleiche gemacht wird. Aus diesem Grund weisen sowohl EUROSTAT als auch die OECD die FuE-Aufwendungen auch in Kaufkraftparitäten aus, was aber zumindest in der politischen Diskussion kaum Anwendung findet. Ein zweiter Ansatz den angesprochenen Unterschieden Herr zu werden, besteht darin, die FuE-Aufwendungen ins Verhältnis zum Bruttoinlandsprodukt zu setzen. Dies gleicht nicht nur Größenunterschiede aus und ermöglicht einen direkten Vergleich zwischen den USA und Luxemburg, sondern fängt zumindest teilweise auch Preisniveauunterschiede auf. „Teilweise“

weil der FuE-Deflator im Zähler eigentlich ein anderer ist als der BIP-Deflator im Nenner.

Das genannte Problem der Preisunterschiede besteht aber nicht nur zwischen Ländern, sondern auch zwischen den Sektoren und sogar innerhalb der Sektoren. Gemeint sind vor allem Lohnunterschiede. Ein promovierter Forscher mag in der Pharma- oder der Automobilindustrie mehr verdienen als ein wissenschaftlicher Assistent in einer Hochschule. Neben diesen sektoralen kommen zusätzlich auch noch regionale Unterschiede (z.B. im Ost-/Westvergleich in Deutschland).

## 2.6 Personelle Indikatoren

Der zweite Kernindikator der offiziellen FuE-Statistik ist der des FuE-Personals. FuE-Personal wird im Frascati-Handbuch definiert als: „all persons engaged directly in R&D, whether employed by the statistical unit or external contributors fully integrated into the statistical unit’s R&D activities“.<sup>16</sup> Das heißt, dass neben den Forschern im engeren Sinne auch Personen zum FuE-Personal gerechnet werden, die Zuarbeiten erledigen (wie z.B. das technische Personal) oder die administrative Aufgaben, die in direkter Verbindung zu FuE stehen, haben.

Die Vorteile des Indikators Personal gegenüber den FuE-Aufwendungen bestehen darin, dass

1. es keine Inflation gibt. Eine konstante Arbeitsproduktivität vorausgesetzt betreiben „mehr“ Forscher auch wirklich „mehr“ FuE,
2. die Vergleichbarkeit höher ist als bei den FuE-Aufwendungen. Nimmt man an, dass ein FuE-Mitarbeiter seine Stelle zu 100% ausfüllen kann, dann ist sein Output - unabhängig vom Fachgebiet - vergleichbar mit dem anderer Mitarbeiter. Auch wenn der Output über die verschiedenen Disziplinen hinweg extrem unterschiedlich aussieht, lässt sich in jedem Fall ein „typischer“ Output definieren. Das heißt, dass z.B. ein Pharmazeut, der einen „typischen“ Output in der Pharmaforschung generiert, mit einem Soziologen, der einen in seinem Fach „typischen“ Output generiert, vergleichbar ist. Damit ist auch internationale Vergleichbarkeit gegeben, weil Personen gleicher Stellung und gleicher Aufgaben unabhängig von den Gehaltsstrukturen immer als „gleich“ definiert werden können.

---

<sup>16</sup> OECD (2015), Ziffer 5.6

Eine Differenz, die zwischen den Fachgebieten sicherlich zu erkennen ist, ist deren Personalintensität. Z.B. gibt es in den Naturwissenschaften Stellen als „Techniker“ oder Laborhelfer, die in anderen Disziplinen nicht und nur in Ausnahmefällen existieren. Das heißt, die gesamte Zahl des FuE-Personals in seinen durch das Frascati Handbuch definierten Ausprägungen „Forscher“, „Techniker“ und „Sons-tige“ ist noch nicht der geeignete Indikator. Stattdessen ist nur die Zahl der For-scher zu nennen, also diejenigen, die über die notwendige Ausbildung und Stel-lung verfügen um eigenständige Forschungsarbeit zu leisten. Dabei kann voraus-gesetzt werden, dass die Aufgabe dieser Forscher explizit darin besteht, For-schungsoutput zu generieren. Dies gilt für den Forschungsleiter eines großen Konzerns in ähnlicher Form wie für den Doktoranden. Natürlich gibt es Unter-schiede zwischen den Personen, die sich in Eigenschaften wie „Talent“ oder „Pro-duktivität“ niederschlagen, aber man kann davon ausgehen, dass diese sich bei der Aggregation aufheben. Bei der Variable „Forscher“ kann man tatsächlich da-von ausgehen, dass „mehr Forscher“ als „mehr FuE“ definiert werden kann. Ohne einen allzu großen Fehler zu machen, lässt sich die Relation sogar verhält-nisskaliert interpretieren, also dass z.B. doppelt so viele Forscher doppelt so viel FuE machen, weil sie doppelt so viel des „typischen Outputs“ generieren. Damit hat dieser Indikator einen großen Vorteil gegenüber den FuE-Aufwendungen, bei dem – wie beschrieben – nicht einmal die Formel „mehr Aufwendungen = mehr Forschung“ gesichert ist.

## 2.7 Drittmittel

Neben der Frage, wie viele monetäre Mittel für Forschung und Entwicklung ein-gesetzt werden, steht auch die Herkunft der Mittel im Fokus der Analyse. Auch die offizielle FuE-Statistik beschäftigt sich neben der Durchführung von Forschung und Entwicklung („Wer macht es?“) intensiv mit der Finanzierung („Wer bezahlt es?“). Daher ist das Einwerben von Drittmitteln gerade für Hochschulen und For-schungseinrichtungen ein häufig verwendeter Qualitätsindikator. Eine hohe Dritt-mittelsumme vermittelt den Eindruck von hoher Qualität des entsprechenden For-schers bzw. sogar eines Fachbereichs oder einer ganzen Hochschule, weil Externe entsprechende Kompetenzen vermuten, Forschung auf hohem Niveau durchzu-führen. Allerdings ist darauf zu achten, dass die eingeworbenen Drittmittel und fremdfinanzierte FuE nicht identisch sind. Drittmittel können auch für Lehre oder z.B. Nachwuchsförderung eingeworben werden. Fremdfinanzierte FuE-Aufwen-dungen sind also Teil der Drittmittel. Drittmittel gehen aber noch darüber hinaus.

Auf der anderen Seite des Drittmittelempfängers steht natürlich der Drittmittelgeber. In der FuE-Statistik spricht man von „externen FuE-Aufwendungen“. Diese müssen unterteilt werden in Forschungsaufträge einerseits und Forschungszuwendungen auf der anderen Seite. Die Unterscheidung besteht vor allem in der Rechteverwertung der Forschungsergebnisse. Bei Forschungsaufträgen gehen die Rechte an den Auftraggeber über. Bei Zuwendungen (z.B. durch den Staat, Stiftungen, aber auch private Stipendien) verbleiben die Rechte beim Forschenden.

Zusammengefasst heißt das (vgl. Abbildung 1): Unter Drittmitteln versteht man die fremdfinanzierten Aktivitäten von Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Teile dieser Drittmittel kommen der Forschung zugute.<sup>17</sup> Bei den fremdfinanzierten Forschungsmitteln ist zu unterscheiden, wer letztlich die Rechte an den Forschungsergebnissen hat. Dann spricht man entweder von Aufträgen oder von Zuwendungen. Aufträge werden in der Regel von Unternehmen, dem Staat oder auch von Institutionen ohne Erwerbszweck (PNP) vergeben.<sup>18</sup> Zuwendungen vergibt ebenfalls der Staat oder auch gemeinnützige Einrichtungen wie Stiftungen.<sup>19</sup>

---

<sup>17</sup> Im Prinzip gilt das auch für Unternehmen. Auch hier gibt es z.B. staatliche Zuschüsse oder Auftragsforschung für andere Unternehmen. Allerdings spricht man in diesem Zusammenhang in der Regel nicht von „Drittmitteln“.

<sup>18</sup> Hochschulen treten als Mittelgeber nur sehr selten auf.

<sup>19</sup> In Einzelfällen mag es noch andere Zuwendungsgeber geben. Unternehmen vergeben Zuwendungen gerne über die hauseigene Stiftung.

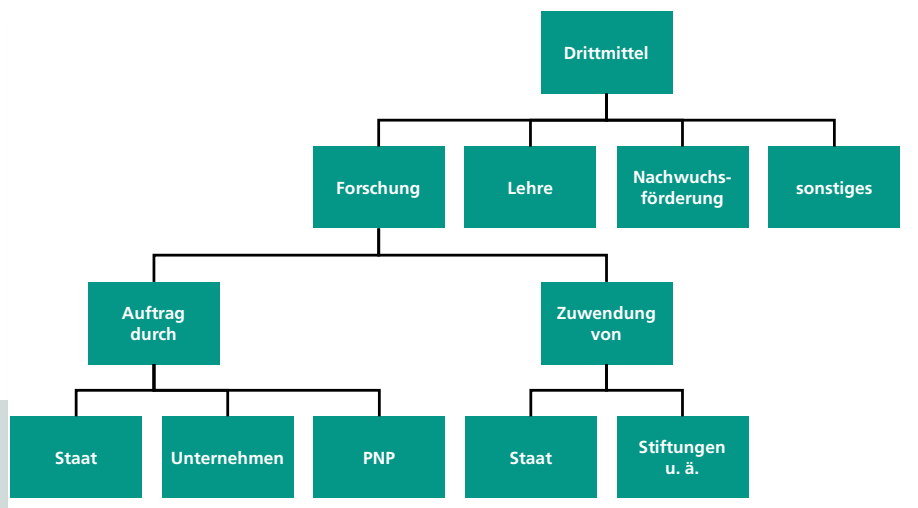


Abb. 1: Formen von Drittmitteln (vor allem an Hochschulen)

Interessant ist in diesem Zusammenhang auch der semantische Kontext. Bei Drittmitteln spricht man im Allgemeinen davon, dass diese „eingeworben“ werden. Das heißt der Mittelempfänger ist eigentlich der aktive Part. Er tritt mit seiner Idee an den potentiellen Mittelgeber heran und überzeugt ihn von der Förderungswürdigkeit seines Projektes. Aber auch Mittelgeber sehen sich gerne in der aktiven Rolle (wie der Ausdruck „Mittelgeber“ ja schon suggeriert). Der Staat oder Stiftungen schreiben in diesem Zusammenhang gerne eine Förderlinie oder einen Wettbewerb aus. Sie bestimmen damit zunächst einmal die Spielregeln, unter denen die Gelder vergeben werden. Potenzielle Empfänger bewerben sich dann mit passenden Ideen auf diese Ausschreibung.<sup>20</sup> Wer letztlich wirklich eine Förderung bekommt, bestimmt dann aber wieder allein der Mittelgeber. Nichts desto weniger wird das Geld beim Empfänger sicher auch unter „eingeworbene Drittmittel“ verbucht.

## 2.8 Fazit

Dieser kurze Überblick über verschiedene Ansatzpunkte zur Messung von Forschung und Entwicklung (und letztlich auch Innovation) zeigt folgendes:

<sup>20</sup> Auch das Projekt NEO-Indikatorik ist auf diesem Weg zustande gekommen und kann sich als einer der Sieger einer BMBF-Ausschreibung fühlen.

1. Die Quantität von Forschung und Entwicklung ist statistisch gesehen eine latente Variable, also eine Variable, die nicht direkt messbar ist (wie z.B. die Körpergröße) sondern nur über Indikatoren erfassbar ist (wie z.B. auch die Intelligenz). Dabei sollte ein direkter Zusammenhang zwischen der latenten Variablen „Menge von FuE“ und dem Indikator bestehen. Ob dies immer der Fall ist, ist zumindest diskussionsfähig. Bedeuten weniger (um es einmal negativ auszudrücken) Patente tatsächlich weniger FuE? Was ist mit „erfolgloser“ FuE, die nicht zum Patent geführt hat, aber dennoch durchgeführt wurde? Was ist mit „Patentverweigerern“, die zwar forschen, aber auch im Erfolgsfall kein Patent anmelden?
2. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, ist der Komplex FuE in sich sehr heterogen. Man kann daher kaum erwarten, dass es einen Indikator gibt, der diese Heterogenität adäquat abbildet. Genau das wird aber z.B. mit den internen FuE-Aufwendungen gemacht.
3. Nicht alles, was rechnerisch oder statistisch-mathematisch möglich ist, ist auch inhaltlich sinnvoll. So kann man natürlich die FuE-Aufwendungen oder das FuE-Personal eines Pharma-Riesen und eines Lehrstuhls für Moralthologie aufaddieren, aber was sagt das aus?

Letztlich zeigt sich, dass gar nicht die Forderung nach immer mehr Indikatoren im Raum stehen sollte, sondern eher die Frage nach der konkreten inhaltlichen Aussagefähigkeit eines Indikators. In dem Sinne sollte man auf Vergleiche oder Aggregationen verzichten, wenn sie zwar vielleicht rechnerisch möglich, aber inhaltlich nicht angebracht sind.

## 2.9 Literatur

- Bräuniger, M./J. Haucap/J. Muck (2011), Was schätzen und lesen deutschsprachige Ökonomen heute?, in: Perspektiven der Wirtschaftspolitik 12, S. 339 – 371
- Cronin, B./L. I. Meho (2008): Applying the author affiliation index to library and information science journals. In: Journal of the American Society for Information Science and Technology, 59(11), S. 1861-1865.
- Grözinger, G./B. Leusing (2006), Wissenschaftsindikatoren an Hochschulen, Universität Flensburg, Internationales Institut für Management, Discussion Paper Nr. 12

- Holsapple, C. W. (2008), A publication power approach for identifying premier information systems journals, in: Journal of the American Society for Information Science and Technology, 59(2), S. 166-185.
- Kladroba, A. (2005) Statistische Methoden zur Erstellung und Interpretation von Rankings und Ratings, Berlin
- Kladroba, A/T. Buchmann/K. Friz/M. Lange/P. Wolf (2021), Indikatoren für die Messung von Forschung, Entwicklung und Innovation, <https://www.springerprofessional.de/indikatoren-fuer-die-messung-von-forschung-entwicklung-und-innov/18956352> (Open Access)
- OECD (2015), Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development, Paris
- Woll, Ch. (2011), Wie lassen sich Forschungsleistungen messen? – Entwicklung eines Indikatorensets zur Anwendung auf dem Gebiet der Berufsbildungsforschung, Schriftenreihe des Bundesinstituts für Berufsbildung Nr. 131, Bonn



### 3 Technologien statt Branchen: Eine andere Sicht auf die FuE-Erhebung

Andreas Kladroba

#### 3.1 Aufgabenstellung

Die Bundesregierung hat im Jahr 2019 im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms 1,148 Mrd. Euro vor allem für die Erforschung erneuerbarer Energien ausgegeben.<sup>21</sup> Davon sind 46%, also ungefähr 528 Mio. Euro an Unternehmen geflossen. Diese Zahl überrascht insofern, weil die offizielle FuE-Statistik für die Branchen „Energie- und Wasserversorgung; Abwasser- und Abfallentsorgung“ nur FuE-Aufwendungen in Höhe von 136 Mio. Euro ausweist.<sup>22</sup> Dieser vermeintliche Widerspruch lässt sich leicht dahingehend auflösen, dass Energieforschung nicht nur in der Branche der Energieversorger betrieben wird, sondern auch in einer ganzen Reihe anderer Branchen, allen voran die Elektrotechnik und der Maschinenbau. Aber auch z.B. Chemie und Fahrzeugbau sind in der Energieforschung tätig.

Verallgemeinert lässt sich sagen, dass es sich lohnt, sich im Rahmen der FuE-Erhebung von der Branchenbetrachtung zu lösen und zusätzlich eine Auswertung auf Technologieebene anzustreben.

Einen ersten diesbezüglichen Versuch gab es in einem gemeinsamen, vom BMBF geförderten, Projektes des Fraunhofer ISI Instituts und des Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft auf Basis der FuE-Erhebung 2013.<sup>23</sup> Dies geschah mit Hilfe von angemeldeten Patenten der forschenden Unternehmen. Nach einer Konkordanzliste von Schmoch (2008) konnten Patente bestimmten Technologien zugeordnet werden. Da die Patentanmelder gleichzeitig forschende Unternehmen in der Unternehmensdatenbank des Stifterverbandes sind und somit jedem Unternehmen ein Wirtschaftszweig zugeordnet ist, konnte auf diesem Weg ein Zusammenhang zwischen Branche und Technologie hergestellt werden.

---

<sup>21</sup> BMWi (2020), S. 9

<sup>22</sup> Planzahlen 2019, vgl. Stifterverband Wissenschaftsstatistik (2020)

<sup>23</sup> Vgl. Frietsch u.a. (2014), Neuhäusler u.a. (2017), Neuhäusler u.a. (2018)

Ein wichtiger Unsicherheitsfaktor bei diesem Vorgehen dürfte vor allem die Frage gewesen sein, inwiefern überhaupt ein Zusammenhang zwischen den FuE-Aufwendungen der Unternehmen und dem Patentaufkommen besteht. War diese Frage in der Vergangenheit letztlich meist bejaht worden, gibt die neuere Literatur allerdings Anlass, hier Zweifel aufkommen zu lassen.<sup>24</sup> Frietsch u.a. (2014) testen verschiedene Ansätze (sowohl methodisch als auch mit unterschiedlichem Zeitbezug) für den Zusammenhang zwischen internen FuE-Aufwendungen und Patentanmeldungen und können letztlich aber nur relativ schwache Zusammenhänge nachweisen.

Einige wichtige Ergebnisse des Projektes waren:

- Wenig überraschend ist das Technologiefeld „Transport“ das mit großem Abstand Forschungsstärkste des Wirtschaftssektors. Über 36% der internen FuE-Aufwendungen werden hier verausgabt. Mit großem Abstand folgen Pharmazie (11%) und Messtechnik (6,6%).
- Erstaunlich war dabei, dass die WZ 29 (KfZ-Bau) nur etwas mehr als die Hälfte ihrer FuE-Aufwendungen diesem Technologiefeld zuordnet. Allerdings gibt es auch kein zweites Schwerpunktfeld. Die übrigen FuE-Aufwendungen werden über eine breite Anzahl weiterer Technologiefelder gestreut.
- Umgekehrt speist sich das Technologiefeld „Transport“ zu 64% aus der WZ 29. Es folgen mit großem Abstand der sonstige Fahrzeugbau (12%) und der Maschinenbau (5,5%).
- Die Autoren der Studie sehen als wichtigstes Ergebnis „eine Spreizung der Technologien über die Sektoren und eine Spreizung der Sektoren über die Technologien“.<sup>25</sup>

Darüber hinaus gibt es wenig Zahlenmaterial, das sich explizit auf Technologien bezieht. Einige der Technologien haben Einzug in die Wirtschaftszweigsystematik gehalten. Vor allem die Biotechnologie ist mit der WZ 72.11 (Forschung und Entwicklung im Bereich Biotechnologie) prominent vertreten. Ebenso gibt es einen expliziten Bezug zur Informationstechnologie (WZ 62). Über diese Branchen gibt es natürlich Informationen in den verschiedenen Unternehmensstatistiken. Auch

---

<sup>24</sup> Vgl. Thorwardt u.a. (2008) und die dort zitierte Literatur

<sup>25</sup> Frietsch u.a. (2014), S. 1

die Berichterstattung der OECD bezieht sich weitgehend auf die Biotechnologie.<sup>26</sup> Darüber hinaus gibt es eine eigene Berichterstattung zur Nanotechnologie<sup>27</sup> und bis 2005 auch zu Gesundheitstechnologien. Für viele in bestimmten Technologien tätige Unternehmen gibt es entsprechende Verbände,<sup>28</sup> die aber wenig Datenmaterial bereithalten.

Insgesamt lässt sich sagen, dass bisher kein in sich geschlossenes Zahlenwerk existiert, das eine Darstellung auf Technologiebasis ermöglicht.

Daher werden seit der FuE-Erhebung 2015 die Unternehmen nach ihren Aktivitäten in verschiedenen Technologiefeldern gefragt. Da es eine Weiterentwicklung zwischen den Erhebungen 2015 und 2017 gegeben hat, werden die beiden Erhebungen im Folgenden getrennt betrachtet.

## 3.2 FuE-Erhebung 2015

### 3.2.1 Fragestellung

Erstmalig (zumindest in Deutschland) ist in die FuE-Statistik das Thema „Technologien“ in der Erhebung 2015 eingeflossen. Hier wurden die Befragten in Fragenblock D, Frage 1 erstmalig aufgefordert, anzugeben, in welchen Forschungsfeldern ihre FuE-Aktivitäten stattfinden. Als Basis wurde dabei die Leistungsplansystematik des Bundes (LPS) zur Verfügung gestellt.<sup>29</sup> Zur Auswahl standen folgende Alternativen, wobei eine Mehrfachnennung möglich war:

- Gesundheitsforschung und Gesundheitswirtschaft
- Bioökonomie (einschl. Biotechnologie)
- Zivile Sicherheitsforschung
- Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
- Energieforschung und Energietechnologien
- Klima, Umwelt, Nachhaltigkeit

---

<sup>26</sup> <http://www.oecd.org/sti/inno/keybiotechnologyindicators.htm> (Abruf: 23.09.2020)

<sup>27</sup> <http://www.oecd.org/sti/emerging-tech/nanotechnology-indicators.htm> (Abruf: 23.09.2020)

<sup>28</sup> Z.B. Deutscher Verband Nanotechnologie, Vereinigung Deutscher Biotechnologie-Unternehmen

<sup>29</sup> Die LPS spricht von Forschungsfeldern und nicht von Technologien. Im Folgenden werden die beiden Begriffe synonym verwendet.

- Informations- und Kommunikationstechnologien
- Fahrzeug- und Verkehrstechnologien einschl. maritimer Technologien
- Luft- und Raumfahrt
- Innovative Dienstleistungen
- Nanotechnologien und Werkstofftechnologien
- Optische Technologien

Im Vergleich zur Schmoch-Liste hat die LPS den Vorteil, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der FuE-Statistik und der Forschungs- bzw. Forschungsförderpolitik des Bundes hergestellt werden kann. Allerdings muss festgestellt werden, dass sinnvolle formale Anforderungen an eine Klassifikation zum Teil nicht erfüllt werden. Diese Anforderungen sind vor allem Überschneidungsfreiheit und Vollständigkeit.

So ist es z.B. aus statistischer Sicht nicht nachvollziehbar, warum die Luft- und Raumfahrt zwar gemäß der WZ-Klassifikation 2008 Teil des (sonstigen) Fahrzeugbaus ist, während in der LSP eine eigene Rubrik für Luft- und Raumfahrt existiert. Auch gibt es sicherlich große Überschneidungen zwischen Energieforschung und Klima/Umwelt. Ein Unternehmen, das sich mit alternativen Energien beschäftigt (und somit Energieforschung betreibt) zieht sicher eine große Motivation dafür aus dem Klima- und Umweltschutz. In welche der beiden Kategorien fällt die Aktivität also? Man muss also damit rechnen, dass die Zuordnung in manchen Fällen nicht eindeutig ist, sondern einer gewissen Subjektivität des antwortenden Unternehmens unterliegt. Auch wird nicht deutlich, ob in einzelnen Projekten an einer bestimmten Technologie geforscht wird oder mit Hilfe der Technologie. So könnte ein Unternehmen die Nanotechnologie weiterführen (z.B. Entwicklung von Nanosensoren) oder medizinische Forschung mit Hilfe der Nanotechnologie durchführen. Man muss allerdings konstatieren, dass die genannten Argumente so oder in ähnlicher Form für die Schmoch-Liste auch gelten, so dass letztlich ein völlig neuer Ansatz für eine Klassifikation erstellt werden müsste. Dieser könnte nicht nur für die Statistik, sondern auch für die Förderpolitik Anwendung finden und hätte für die Politik den Vorteil, dass die Aktivitäten der Unternehmen, aber auch der Politik selbst, deutlich besser dargestellt werden könnten.

Die Befragung in der FuE-Erhebung 2015 erfolgte in der Form, dass die Unternehmen nur dazu aufgefordert wurden, die Forschungsfelder, in denen sie aktiv sind, anzukreuzen. Eine Quantifizierung wurde zunächst nicht gefordert. Dies

diente in erster Linie dazu, festzustellen, ob die Unternehmen die Technologien in ihrem Haus überhaupt benennen können. Auf eine tiefere Befragung wurde dabei verzichtet, weil befürchtet wurde, dass dies zu vermehrten Antwortausfällen führen würde.

Insgesamt haben 1.790 Unternehmen Angaben gemacht, was einer durchaus zufriedenstellenden Antwortquote entspricht.

Aufgrund der Fragestellung im Fragebogen bot es sich zunächst an, die gegebenen Antworten schlicht zu addieren. Der Stifterverband selbst hat die Frage zu den Forschungsfeldern auf diese Weise ausgewertet<sup>30</sup> und hat eine hohe Dominanz der Informations- und Kommunikationstechnologien festgestellt. Knapp 32% der Unternehmen haben angegeben in diesem Bereich zu forschen. Danach folgen „Klima, Umwelt, Nachhaltigkeit“ mit knapp 28% der Nennungen, Energieforschung mit 24% und Fahrzeug- und Verkehrstechnologie mit 23%. Der Stifterverband zieht daraus den Schluss, die Fahrzeugtechnologie sei „weit weniger relevant“ als erwartet. Hier muss man allerdings einwenden, dass diese Sichtweise ein wenig verkürzt ist. IKT ist schließlich eine Querschnittstechnologie, die in quasi allen Bereichen zur Anwendung kommt. Neben der reinen IT-Forschung durch entsprechende IT-Anbieter, findet FuE im IKT-Bereich eben auch in der Auto- oder der Elektroindustrie statt. Es ist eigentlich eher verwunderlich, dass „nur“ etwas mehr als 30% der befragten Unternehmen IKT als relevantes Forschungsfeld eingestuft haben, wird doch in den meisten Branchen hochspezialisierte Software verwendet, die oftmals nur für einzelne Anwendungen überhaupt entwickelt wurde. Dass nur 32% der Unternehmen dieses Forschungsfeld nannten, ist wohl darauf zurückzuführen, dass die Unternehmen nur die interne FuE angeben sollten und Software gerne externalisiert wird.

Des Weiteren muss festgestellt werden, dass diese Art der Auswertung der Logik der FuE-Erhebung widerspricht. Nicht umsonst ist der Kernindikator (anders als in der Innovationserhebung) nicht die Anzahl der forschenden Unternehmen, sondern die internen FuE-Aufwendungen. Schließlich macht es sowohl betriebs- als auch volkswirtschaftlich einen großen Unterschied, ob ein weltweit agierender Konzern oder ein kleines Start-Up-Unternehmen in FuE aktiv ist. Daher haben Kladroba u.a. (2018) einen Algorithmus entwickelt, der unter sehr allgemeinen, plausiblen Annahmen eine Abschätzung der mit den Nennungen verbundenen FuE-Aufwendungen ermöglicht.

---

<sup>30</sup> Stifterverband Wissenschaftsstatistik (2017b), S. 24ff.

### 3.2.2 Methodik

Die Vorgehensweise von Kladroba u.a (2018) soll im Folgenden kurz zusammengefasst werden:

Gegeben sei der  $(K \times 1)$ -Vektor der internen FuE-Aufwendungen von  $K$  Branchen. Gesucht wird ein  $(T \times 1)$ -Vektor der FuE-Aufwendungen von  $T$  Technologien. Als Übergangsmatrix wird eine unbekannte  $(K \times T)$ -Gewichtungsmatrix verwendet. Es gilt also

$$(1) \quad \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_K \end{pmatrix}' \cdot \begin{pmatrix} g_{11} & \cdots & g_{1T} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{K1} & \cdots & g_{KT} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_T \end{pmatrix}'$$

$$(2) \quad x' \cdot G = y'$$

Mit:

$x_k$  = interne FuE-Aufwendungen der  $k$ -ten Branche

$y_t$  = interne FuE-Aufwendungen der  $t$ -ten Technologie

Die Bestimmung der Matrix  $G$  erfolgt in einem Algorithmus mit sechs Schritten:

#### 1. Schritt

Zunächst werden alle Unternehmen, die nur eine Technologie genannt haben, betrachtet. Die gemeldeten internen FuE-Aufwendungen dieser Unternehmen können der entsprechenden Technologie vollständig zugeschrieben werden. Für das Unternehmen in dieser Gruppe gilt also, dass  $x_{ik} = y_{it}$  ist.

#### 2. Schritt

Im zweiten Schritt erfolgt bei den Unternehmen, die in der Befragung mehr als eine Technologie genannt haben, eine vorläufige Zuordnung der FuE-Aufwendungen zu den Technologien. Dabei werden für jede Technologie ein Minimum- und ein Maximumwert der internen FuE-Aufwendungen ermittelt. Dazu werden zwei Annahmen getroffen:

1. Annahme: Ein Unternehmen investiert mindestens 50% der internen FuE-Aufwendungen in die Schwerpunkttechnologie der Branche.

Unter Schwerpunkttechnologie wollen wir im Folgenden verstehen, dass ein Unternehmen eine Technologie auf jeden Fall bedient, wenn es einer bestimmten Branche angehört. Beispiele dafür sind die Branchen 21 (Pharma) oder 32.5 (Medizintechnik), die beide dem Schwerpunkt „Gesundheit“ zuzuordnen sind. Die

Zuordnung einer Schwerpunkttechnologie zu einer Branche heißt dabei weder, dass diese Branche nur diese Technologie bedient, noch dass die Technologie nur aus dieser Branche gespeist wird.

2. Annahme: Unternehmen sind in einer Technologie, die sie im Fragebogen genannt haben, mit mindestens 10% ihrer internen FuE-Aufwendungen vertreten.

Dieser Annahme liegt die Vermutung zugrunde, dass ein Unternehmen eine Technologie im Fragebogen nur nennt, wenn sie eine bestimmte Bedeutung für das Unternehmen hat. Dies soll durch die 10%-Annahme ausgedrückt werden, wobei der Festlegung auf 10% durchaus eine gewisse Willkür attestiert werden muss.

Ausgehend von diesen Annahmen wird den Technologien ein Minimum- und ein Maximumwert für die internen FuE-Aufwendungen zugewiesen.<sup>31</sup>

3. und 4. Schritt: Kalibrierungen

Das Ergebnis des Algorithmus muss zwei Nebenbedingungen folgen, was an dieser Stelle jedoch noch nicht der Fall ist.<sup>32</sup>

Die erste Nebenbedingung besteht darin, dass die Summe der FuE-Aufwendungen über die Technologien der durch die Unternehmen gemeldeten Summe der FuE-Aufwendungen entsprechen muss.

Daher werden die in Schritt zwei gefundenen Minimum- und Maximumwerte neu kalibriert bis diese Nebenbedingung erfüllt ist. Durch diese Kalibrierung wird aber eventuell Nebenbedingung 2 verletzt, die sagt, dass der Wert der FuE-Aufwendungen nicht niedriger als der Minimumwert und nicht höher als der Maximumwert sein darf. In diesem Fall werden die gefundenen Werte auf das Minimum bzw. das Maximum korrigiert und die Kalibrierung wird wiederholt. Diese „Schleife“ wird so lange durchlaufen bis beide Nebenbedingungen erfüllt sind.

5. Schritt

Die aus den Schritten 1 bis 4 gewonnenen FuE-Aufwendungen pro Branche und Technologie werden addiert und jeweils durch die FuE-Aufwendungen aller Unternehmen mit Technologiemeldung pro Branche dividiert. Auf diese Weise erhält man Matrix G.

6. Schritt

---

<sup>31</sup> Für eine ausführliche Beschreibung dieser Zuordnung vgl. Kladroba u.a. (2018), S. 92/93

<sup>32</sup> Kladroba u.a. (2018), S. 94

Da die Übertragung der FuE-Aufwendungen pro Branche auf Technologien nicht nur für die Unternehmen mit Technologiemeldung in der FuE-Erhebung 2015 erfolgen soll, sondern für die gesamten internen FuE-Aufwendungen des Wirtschaftssektors (BERD<sup>33</sup>) wird zum Abschluss die Annahme gesetzt, dass die ermittelte Matrix G für den gesamten Wirtschaftssektor gilt, also auch für die Unternehmen ohne Technologiemeldung. Die Verwendung von Branchendurchschnitten auf die Unternehmen ohne explizite Meldung mag problematisch erscheinen. Wir folgen hier aber dem Frascati-Handbuch, das u.a. eine Imputation durch die Verwendung von Lagemaßen empfiehlt (vgl. OECD (2015), Ziffer 6.75).

Schließlich kann unter Verwendung des aus der FuE-Erhebung bekannten Vektors  $x$  mit Hilfe der Matrix G gemäß Gleichung (1) der Vektor  $y$  gebildet werden.

### *Induktive Betrachtung*

Um eine Bewertung der Ergebnisse vornehmen zu können, bietet sich im Weiteren eine induktive Betrachtung an. Das heißt, es wäre ein Konfidenzintervall für die Anteilswerte der gesamten internen FuE-Aufwendungen an den einzelnen Technologien zu bilden. Zu diesem Zwecke muss ein Konfidenzintervall für jede der Zellen in Matrix G gebildet werden. Diese können dann zu einem Intervall pro Forschungsfeld aufaddiert werden. Da der Anteil der einzelnen Technologien an den internen FuE-Aufwendungen der einzelnen Branchen einer relativierten Binomialverteilung gehorcht, ist dies nicht unproblematisch. Eine Approximation durch eine Normalverteilung ist dabei nicht möglich, weil in den meisten Zellen die Besetzungszahlen zu gering sind. Die übliche Approximationsvoraussetzung  $np(1-p) \geq 9$  ist daher nicht gegeben.<sup>34</sup> Die Bildung der Konfidenzintervalle für jedes einzelne Element mit Hilfe der relativierten Binomialverteilung ist an dieser Stelle zwar noch problemlos zu bewerkstelligen, allerdings ist es kaum möglich eine Gesamtzahl für die einzelnen Technologien anzugeben. Wir werden darauf gleich noch einmal eingehen.

Die Grenzen des Konfidenzintervalls ergeben sich aus der inversen Verteilungsfunktion der Binomialverteilung für die absoluten Werte. Die relativen Häufigkeiten werden durch Division durch  $n$  bestimmt.<sup>35</sup> Die Grenzen lassen sich also wie folgt berechnen:

---

<sup>33</sup> Business Enterprise R&D Expenditure

<sup>34</sup> Vgl. z.B. von der Lippe (2004), S. 48

<sup>35</sup> In vielen Statistikprogrammen (z.B. R) sind die Quantile der relativierten Binomialverteilung auch direkt bestimmbar.



Die untere Grenze ergibt sich aus

$$(3) \quad P(X \leq x_i) = \frac{\alpha}{2},$$

für die Binomialverteilung also

$$(4) \quad \sum_{i=0}^{x_i} \binom{n}{i} \hat{p}^i (1 - \hat{p})^{n-i} = \frac{\alpha}{2}$$

Die obere Grenze ist entsprechend

$$(5) \quad P(X \geq x_j) = \frac{\alpha}{2} \text{ bzw.}$$

$$(6) \quad \sum_{j=0}^{x_j} \binom{n}{j} \hat{p}^j (1 - \hat{p})^{n-j} = 1 - \frac{\alpha}{2}$$

Tabelle A4 im Anhang zeigt die Ergebnisse der Berechnungen in Prozent. Tabelle A5 die entsprechenden absoluten Zahlen. Zum Beispiel lässt sich so erkennen, dass der Anteil des Forschungsfeldes „Fahrzeug und Verkehr“ an den gesamten internen FuE-Aufwendungen der Branche 29 (Herstellung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeugteilen) mit 95%iger Wahrscheinlichkeit zwischen 62,5% und 90% liegt. In absoluten Zahlen ausgedrückt heißt das, dass die KfZ-Branche zwischen 13,4 und 19,3 Mrd. Euro für dieses Forschungsfeld ausgibt. Dies erscheint als Konfidenzintervall relativ breit und daher von eingeschränkter Aussagekraft. Das Problem liegt hier in der relativ kleinen Stichprobe von gerade einmal 39 Unternehmen, die auf die Frage nach den Forschungsfeldern geantwortet haben. Das heißt, dass sich hier gewisse Grenzen der Auswertbarkeit der Daten zeigen, da die Stichprobengröße nicht durch den Stifterverband beeinflussbar ist, sondern sich aus der Antwortbereitschaft der Unternehmen ergibt. Methodisch ließen sich an dieser Stelle zwei Möglichkeiten anführen:

1. Einführung von Korrekturfaktoren. Dabei könnte theoretisch auch der Grundgesamtheitsumfang eine Rolle spielen und so zu einer Verkleinerung des Konfidenzintervalls beitragen. Allerdings besteht hier auf der anderen Seite das Problem, dass die Grundgesamtheit nicht scharf abzugrenzen ist und so neue Unsicherheiten auftreten.
2. Imputationen auf Mikrodatenebene zur Vergrößerung der zur Verfügung stehenden Unternehmen.

Da die Frage nach den Technologien aber in der Erhebung 2015 erstmalig gestellt wurde, existieren noch keinerlei Erfahrungswerte, so dass entsprechende Vorgehensweisen rein experimentell wären und über dieses Projekt deutlich hinausgehen würden.

Die Addition der einzelnen Felder von Matrix G zu einer Zahl ist, wie bereits erwähnt, problematisch. Zwar lassen sich selbstverständlich für alle Branchen die jeweils unteren Grenzen der Konfidenzintervalle addieren und entsprechend auch die oberen Grenzen. Allerdings darf die Summe nicht mehr als 95%-Konfidenzintervall betrachtet werden. Der Grund dafür liegt darin, dass die Binomialverteilung nur reproduktiv ist, wenn die Parameter  $n$  und  $p$  für alle Verteilungen (hier alle Branchen) identisch sind. Dies ist hier aber nicht der Fall. Auf eine wahrscheinlichkeitstheoretische Interpretation der aggregierten Werte muss daher verzichtet werden.

### 3.3 Die FuE-Erhebung 2017

Eine zweite Befragung der Unternehmen nach Technologien/Forschungsfeldern hat im Rahmen der FuE-Erhebung 2017 stattgefunden. Allerdings wurde die Frage im Vergleich zu 2015 in zwei Punkten verändert.

Die Unternehmen wurden nicht nur gefragt, ob sie in einer bestimmten Technologie tätig sind, sondern sie wurden auch gebeten, abzuschätzen, wie groß der Anteil der FuE-Aufwendungen ist, der auf diese Technologie entfällt. In der Erhebung 2015 hatte man noch darauf verzichtet aus Sorge, die Unternehmen wären eventuell damit überfordert und würden die Frage dann überhaupt nicht beantworten. Allerdings zeigt sich in der Erhebung 2017, dass diese Befürchtung unbegründet war. Insgesamt haben 2089 Unternehmen Angaben zu den Forschungsfeldern gemacht, also sogar mehr als 2015.

Zusätzlich zu den bekannten Kategorien wurde eine Kategorie „sonstige/nicht zuzuordnen“ eingeführt. Diese wurde auch überraschend oft genannt, nämlich von 671 Unternehmen (davon 316 Unternehmen, die ausschließlich diese Kategorie genannt haben). Daraus lässt sich – sozusagen als Nebenerkenntnis – schlussfolgern, dass viele Unternehmen sich in den übrigen Kategorien nicht wiederfinden können und die Leistungsplansystematik einer Überarbeitung bedarf.<sup>36</sup> Um einen Vergleich zwischen 2015 und 2017 herstellen zu können, muss die Kategorie „sonstige“ wieder herausgerechnet werden.

Eine besondere Herausforderung der Erhebung 2017 war der Übertrag der Unternehmen, die die Technologiefrage beantwortet haben, auf die Unternehmen,

---

<sup>36</sup> Dies wird durch den Umstand bestätigt, dass die Zahl der antwortenden Unternehmen ohne diejenigen, die zu 100% die Kategorie „sonstige“ angegeben haben, ungefähr in der Größenordnung von 2015 liegt.

die sie nicht beantwortet haben. Diese Aufgabe gab es 2015 zwar auch schon, allerdings konnte hier wegen des dichotomen Charakters der Fragestellung (ja/nein) nur so vorgegangen werden, dass die Matrix G für die antwortenden Unternehmen gebildet wurde und die dort ermittelten Anteilswerte auf die gesamten internen FuE-Aufwendungen der einzelnen Branchen angewandt wurden.

Die Fragestellung in der Erhebung 2017 ermöglicht eine größere Bandbreite an möglichen Vorgehensweisen. Die Prozentzahlen können nämlich als quantitative, metrisch skalierte Variable interpretiert werden. Wir werden daher im Folgenden zunächst kurz auf die Vorgehensweise des Stifterverbandes eingehen und anschließend eine Alternative auf Basis einer Regressionsanalyse vorschlagen. Beide Vorgehensweisen werden wir kurz diskutieren.

### 3.3.1 Der Ansatz des Stifterverbandes

Der Ansatz des Stifterverbandes entspricht im Prinzip den Schritten 5 und 6 des in Kapitel 3.2.2 beschriebenen Algorithmus. Die Vorgehensweise entspricht einerseits dem Ansatz, den der Stifterverband auch an anderer Stelle wählt. Z.B. erfolgt die Schätzung bei den Produktgruppen und den Innovationsdaten in ähnlicher Weise. Auf der anderen Seite gibt es aber auch Abweichungen zur sonstigen Imputationsphilosophie des Stifterverbandes, die eine Imputation auf Mikrodatenebene vorsieht, so dass jedes Unternehmen über einen vollständigen Mikrodatensatz verfügt. Der hier gewählte Ansatz führt die Imputation allerdings auf aggregierter Ebene durch. Er ist aber im Vergleich z.B. zum im nächsten Abschnitt beschriebenen Verfahren (auf Mikrodatenebene) deutlich einfacher durchzuführen und auch EDV-technisch umzusetzen. Auf individuelle Auswertungen der Mikrodaten muss hier allerdings verzichtet werden.

Wir unterscheiden im Folgenden die internen FuE-Aufwendungen der Unternehmen mit Technologiemeldung  $x_{ijk}$  von den FuE-Aufwendungen der Unternehmen ohne Technologiemeldung  $y_{ijk}$ , wobei  $i$  die Branche,  $j$  die Technologie und  $k$  das Unternehmen bezeichnen. Es sind somit

$$(7) \quad z_i = x_i + y_i = \sum_j \sum_k (x_{ijk} + y_{ijk})$$

die bekannten FuE-Aufwendungen der  $i$ -ten Branche. Die linke Seite dieser Gleichung ist insofern vollständig bekannt, weil die internen FuE-Aufwendungen der Unternehmen entweder ebenfalls von den Unternehmen gemeldet werden (die

Zuordnung zur Variable Y bezieht sich nur darauf, dass keine Meldung für Technologien abgegeben wurden) oder durch den Stifterverband an anderer Stelle geschätzt wurden. Die internen Aufwendungen pro Branche  $x_i + y_i$  können in den Publikationen des Stifterverbandes nachgelesen werden.<sup>37</sup>

Darüber hinaus sind

$$(8) \quad x_{ij} = \sum_k x_{ijk}$$

die bekannten und

$$(9) \quad y_{ij} = \sum_k y_{ijk}$$

die unbekanntes FuE-Aufwendungen der i-ten Branche und j-ten Technologie.

Entsprechend sind

$$(10) \quad x_j = \sum_i x_{ij}$$

die bekannten und

$$(11) \quad y_j = \sum_i y_{ij}$$

die unbekanntes FuE-Aufwendungen der j-ten Technologie.

Eine Schätzung der FuE-Aufwendungen pro Branche und Technologie  $z_{ij} = x_{ij} + y_{ij}$  erfolgt gemäß der Formel:

$$(12) \quad z_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_i} \cdot z_i$$

Das heißt, dass die gemeldeten FuE-Aufwendungen pro Branche und Technologie  $x_{ij}$  ins Verhältnis gesetzt werden zur Summe der FuE-Aufwendungen der Unternehmen der Branche i, die eine Technologiemeldung abgegeben haben. Dieser Anteil wird dann angewandt auf die bekannten FuE-Aufwendungen der Branche i. Die Variable  $y_{ij}$  könnte als Differenz  $y_{ij} = z_{ij} - x_{ij}$  gebildet werden, ist inhaltlich aber in der Regel nicht weiter von Interesse.

Der Quotient  $\frac{x_{ij}}{x_i}$  bildet die Elemente der Gewichtungsmatrix G aus Gleichung (1).

---

<sup>37</sup> Stifterverband Wissenschaftsstatistik (2017a), (2017b), (2019a), (2019b)

### 3.3.2 Eine Alternative: Regressionsansatz

Wie bereits erwähnt erfolgt mit dem Ansatz des Stifterverbandes eine Imputation auf aggregierter Basis. Eine Mikroimputation ist wenig sinnvoll, da sie in den Branchen zu strukturell gleichen Unternehmen führen würde. Für die Unternehmen ohne Technologiemeldung würde quasi eine mittlere Struktur der Unternehmen mit Technologiemeldung unterstellt. Die Heterogenität, die sich aus den Technologiemeldungen aber ablesen lässt, würde auf diese Art verloren gehen. Daher wird sowohl bei der Auswertung für 2015 als auch beim Stifterverbandsansatz für 2017 auf Mikroimputationen verzichtet.

Ist das Ziel aber tatsächlich ein Mikrodatensatz für jedes Unternehmen auch in den Technologien, muss auf andere Vorgehensweisen ausgewichen werden. Diese müssen die Heterogenität der Unternehmen bezüglich verschiedener Variablen (z.B. Branche, Größe, FuE-Strukturen) übersetzen in eine Verteilung der Anteile der FuE-Aufwendungen auf die Technologien. Ähnlich wie in Kapitel 3.2 gilt dabei die Nebenbedingung, dass die Summe der Anteile über die Technologien natürlich immer 100% betragen muss.

Es gelte folgender Regressionsansatz für die  $j$ -te Technologie:

$$(14) \quad y_j = b_0 + \sum b_i d_i + b_b x_1 + b_r x_2 + b_s x_3 + \varepsilon$$

Dabei sind:  $y_j$  Der Anteil der FuE-Aufwendungen an der  $j$ -ten Technologie

$d_i$  Dummy-Variablen für die Branchen

$x_1$  Beschäftigtenzahl

$x_2$  Interne FuE-Aufwendungen

$x_3$  FuE-Aufwendungen/Beschäftigten

Mit der Variable  $X_3$  soll die Frage in die Analyse einfließen, ob es sich bei dem Unternehmen um ein forschungsstarkes Unternehmen handelt oder nicht.

Bei der Imputation fehlender Technologiemeldungen mit Hilfe eines Regressionsansatzes wurden insgesamt 13 Regressionsgeraden geschätzt, weil jeweils ein Technologiefeld als abhängige Variable verwendet wurde. Dabei zeigte sich vor allem, dass weder die internen FuE-Aufwendungen noch die Beschäftigtenzahl als absolute Größe einen Einfluss auf das Engagement der Unternehmen in den Technologiefeldern hatte. In keiner der 13 Gleichungen lieferten diese Variablen

ein signifikantes Ergebnis. Zumindest in der Hälfte der Fälle war aber das Verhältnis der beiden Größen, das – wie bereits erwähnt – die Forschungsstärke des Unternehmens in seiner Branche repräsentieren sollte, signifikant. Z.B. in den Bereichen Optische Technologien oder Nanotechnologie zeigte sich eine Zunahme der Forschungsaufwendungen des Technologiefeldes mit wachsender Forschungsstärke des Unternehmens. Umgekehrt zeigte sich auch z.B. in den Bereichen Klima und Umwelt und den innovativen Dienstleistungen der gegenteilige Effekt. Die Schätzung lieferte hier signifikant negative Koeffizienten. Das heißt, dass mit zunehmender Forschungsstärke das Interesse der Unternehmen an diesen Bereichen offensichtlich abnimmt.

Ein starker Zusammenhang ist allerdings zwischen den Branchen und den Technologien festzustellen. Dabei gibt es Technologien, die als echte Querschnittstechnologien zu interpretieren sind wie z.B. die Informations- und Kommunikationstechnologie. Andere Technologien (z.B. innovative Dienstleistungen oder Luft- und Raumfahrt) zeigen sich hingegen als spezialisiert, also als Technologie, die nur in wenigen Branchen beheimatet ist. Die innovativen Dienstleistungen werden vor allem im Dienstleistungssektor erbracht und kaum als zusätzlicher Service im produzierenden Gewerbe. Insgesamt haben die Schätzungen hier wenig Überraschendes hervorgebracht, sondern weitgehend die Befunde, die sich sowohl aus Kladroba u.a. (2018) als auch aus den Stifterverbandsberechnungen herleiten ließen, bestätigt.

Eine Übersicht über die geschätzten Regressionskoeffizienten gibt Tabelle A7 im Anhang.

### 3.4 Fazit

In dieser Studie wurden drei Ansätze zur Bestimmung der internen FuE-Aufwendungen nach Technologiefeldern vorgestellt. Alle Berechnungen fußen auf den FuE-Erhebungen 2015 und 2017, in denen die Unternehmen nach den von ihnen verwendeten Technologien gefragt wurden.

Der Ansatz von Kladroba u.a. (2018) ging von der Vorgehensweise der FuE-Erhebung 2015 aus. Hier wurden die Unternehmen nur gefragt, ob sie eine bestimmte Technologie verwenden. Quantitative Angaben sollten nicht gemacht werden. Kladroba u.a. (2018) versuchten daher mit Hilfe konkreter Annahmen über das Meldeverhalten der Unternehmen eine Übersetzung der ja/nein-Antworten in interne FuE-Aufwendungen.

Die Ansätze des Stifterverbandes und der hier erstmals vorgestellte Regressionsansatz widmen sich vor allem dem Missing-Value-Problem in der Befragung. In der Erhebung 2017 wurden die Unternehmen im Gegensatz zu 2015 gebeten einen prozentualen Anteil ihrer FuE-Aufwendungen in den jeweiligen Technologien zu nennen. Auch wenn die Antwortquote im für vergleichbare Erhebungen gängigen Rahmen lag, waren die Antwortausfälle doch erheblich. Da die FuE-Erhebung in Deutschland eine freiwillige Erhebung ist, beschäftigt das Problem der Antwortausfälle den Stifterverband bereits seit vielen Jahren. Er hat daher Vorgehensweisen entwickelt, diese zu kompensieren. Dabei wird in der Regel mit Strukturähnlichkeiten zwischen den Erhebungsjahren und mit Mittelwerten gearbeitet. Die wichtigste Annahme dabei ist, dass es eine Strukturgleichheit der antwortenden und der nicht antwortenden Unternehmen gibt.<sup>38</sup> Ein Unterschied bei der Imputation der fehlenden Werte in den Technologien und der im allgemeinen vom Stifterverband präferierten Imputationsverfahren liegt darin, dass meist auf der Basis der Mikrodaten imputiert wird. Dies ermöglicht weitaus flexiblere Auswertungsmöglichkeiten. Bei den Technologien wurde allerdings auf aggregierter Ebene imputiert.

Das hier erstmals vorgestellte Regressionsverfahren ermöglicht wieder die Imputation auf Mikroebene. Als abhängige Variable wurde der Anteil der internen FuE-Aufwendungen an einer bestimmten Technologie verwendet. Unabhängige Variablen waren die Unternehmensgröße (gemessen an der Mitarbeiterzahl), die internen FuE-Aufwendungen, die Forschungsstärke des Unternehmens (gemessen als Quotient aus internen FuE-Aufwendungen und Mitarbeiterzahl) sowie die Branchenzugehörigkeit. Die ersten beiden Variablen erwiesen sich aber nicht als signifikant, so dass vor allem die Branchenzugehörigkeit die Verwendung bestimmter Technologien in den Unternehmen bestimmt.

Der interessanteste Vergleichsmaßstab für die Nutzer sind sicherlich die resultierenden internen FuE-Aufwendungen pro Technologie. Daher soll hier eine abschließende Bewertung anhand eines Vergleiches dieser Zahlen vorgenommen werden.

---

<sup>38</sup> Diese Annahme wird im Übrigen auch bei Kladroba u.a. (2018) getroffen.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht zu den internen FuE-Aufwendungen, die sich aus den drei Verfahren im Jahr 2017 ergeben.

	Stiferverband	Kladroba (2018)	u.a.	Regression
Gesundheit	5.795.090,80	6.953.858,37		7.313.860,48
Bioökonomie	1.159.519,77	1.411.939,11		1.865.673,75
Zivile Sicherheit	586.697,77	1.693.449,85		640.833,81
Ernährung, Landwirtschaft	4.612.039,98	3.201.594,72		3.096.341,60
Energieforschung	4.004.058,73	5.592.133,62		4.057.825,38
Klima, Umwelt	1.555.267,40	3.345.669,48		2.606.931,84
IKT	7.773.552,21	10.603.739,02		4.825.376,22
Fahrzeug, Verkehr	33.383.741,09	26.656.794,50		32.290.883,27
Luft- und Raumfahrt	2.424.161,21	2.936.520,68		2.365.523,11
Innovative Dienstleistungen	2.626.750,20	1.732.944,63		3.109.185,10
Nanotechnologie	2.374.311,56	2.340.368,46		3.901.243,05
Optische Technologien	2.086.814,18	1.912.992,45		2.713.645,88

Tab. 1: Interne FuE-Aufwendungen nach Technologien



Tabelle 2 zeigt die prozentualen Abweichungen zwischen den einzelnen Ergebnissen.

	SV/ Regression	Regression/ Kladroba (2018)	u.a. Kladroba (2018)	u.a.
Gesundheit	26,21%	5,18%	-20,00%	
Bioökonomie	60,90%	32,14%	-21,77%	
Zivile Sicherheit	9,23%	-62,16%	-188,64%	
Ernährung, Landwirtschaft	-32,86%	-3,29%	30,58%	
Energieforschung	1,34%	-27,44%	-39,66%	
Klima, Umwelt	67,62%	-22,08%	-115,12%	
IKT	-37,93%	-54,49%	-36,41%	
Fahrzeug, Verkehr	-3,27%	21,14%	20,15%	
Luft- und Raumfahrt	-2,42%	-19,44%	-21,14%	
Innovative Dienstleistungen	18,37%	79,42%	34,03%	
Nanotechnologie	64,31%	66,69%	1,43%	
Optische Technologien	30,04%	41,85%	8,33%	
Varianz	0,1	0,17	0,38	

Tab. 2: Prozentuale Abweichungen der Ergebnisse aus Tab. 1

Die größten Ähnlichkeiten (gemessen an der Varianz) zeigen sich zwischen den Ergebnissen der Regressionsanalyse und den Ergebnissen des Stifterverbandes. Während in einigen Technologien die Ergebnisse fast identisch sind (z.B. Energieforschung), sind in anderen Bereichen die Abweichungen aber mit über 60% doch erheblich. Ein ähnliches Bild zeigt sich im Vergleich zwischen dem Regressionsansatz und dem Ansatz von Kladroba u.a. (2018). Wenig akzeptabel erscheinen dagegen die Abweichungen, die beim Vergleich zwischen dem Stifterverbandsergebnis und dem Ansatz von Kladroba u.a. (2018) zu sehen sind. Im Technologiefeld Zivile Sicherheit weisen Kladroba u.a. (2018) z.B. fast das Dreifache des Stifterverbandes aus.

Welche Schlussfolgerung kann jetzt daraus gezogen werden? Die wahre Verteilung der internen FuE-Aufwendungen auf die Technologiefelder ist unbekannt.

Sie könnte nur durch eine Befragung der Grundgesamtheit mit Hilfe einer verpflichtenden Erhebung ermittelt werden. Diese könnte aber nicht durchgeführt werden, weil

1. dafür eine Rechtsgrundlage fehlt, was auch kaum heilbar sein dürfte, weil die Technologien nicht zum Programm der FuE-Erhebung nach EU-Verordnung 995/2012 gehört.
2. eine trennscharfe Abgrenzung der Grundgesamtheit unmöglich ist.

Nichtsdestoweniger sind die Informationen zu den Technologien von hohem Wert für die Nutzer. Um hier eine aussagekräftige Zeitreihe aufzubauen, kann nur empfohlen werden, schnellstmöglich ein Verfahren zu etablieren und dieses über die Zeit auch beizubehalten. Dadurch erhält man zumindest für die Veränderungsraten, also die zeitliche Entwicklung, valide Ergebnisse von hohem politischen und wissenschaftlichen Wert.

### 3.5 Literatur

BMBF (2016), Daten und Fakten zu deutschen Forschungs- und Innovationssystem, Bundesbericht Forschung und Innovation 2016, Ergänzungsband 1, Bonn/Berlin

BMBF (2017), Bildung und Forschung in Zahlen 2017, Bonn/Berlin

BMWi (2020), Bundesbericht Energieforschung 2020: Forschungsförderung für die Energiewende, Berlin

Frietsch, Rainer u.a. (2014), Identifikation der Technologieprofile von FuE-betreibenden Unternehmen anhand eines Matchings von FuE- und Patentdaten, Endbericht, Karlsruhe/Essen

Kladroba, Andreas (2018), Energieversorgung als Innovationsbranche vor dem Hintergrund der Energiewende: Ein Fragezeichen, in: Zeitschrift für Energiewirtschaft 42, S. 273 - 278

Kladroba, Andreas/Muhammed Kudic/Katharina Friz/Tobias Buchmann/Patrick Wolf (2018), Technologien statt Branchen: Eine Neuauswertung der FuE-Erhebung 2015, in: Wirtschafts- und Sozialstatistisches Archiv 12, S. 87 - 104

Neuhäusler, Peter/Rainer Frietsch/Carolin Mund/Verena Eckl (2017), Identifying the Technology Profiles of R&D Performing Firms - A Matching of R&D

and Patent Data in: International Journal of Innovation and Technology Management 14

Neuhäusler, Peter/Rainer Frietsch/Carolin Mund/Verena Eckl (2018), Advanced Methods: Identifying the Technology Profiles of R&D Performing Firms - A Matching of R&D and Patent Data in: Daim, Tugrul U. (Ed.), Innovation Discovery: Network Analysis of Research and Innovation Activity for Technology Management, New Jersey, S. 407 – 430

OECD (2015), Frascati Manual: Guidelines für Collecting and Reporting Data on Research and experimental Development, Paris

Statistisches Bundesamt (2007), Gliederung der Klassifikation der Wirtschaftszweige Ausgabe 2008, Wiesbaden

Stifterverband Wissenschaftsstatistik (2017a), ARENDI – Zahlenwerk 2017, Essen

Stifterverband Wissenschaftsstatistik (2017b), ARENDI – Analysen 2017, Essen

Stifterverband Wissenschaftsstatistik (2019a), ARENDI – Zahlenwerk 2019, Essen

Stifterverband Wissenschaftsstatistik (2019b), ARENDI – Analysen 2019, Essen

Stifterverband Wissenschaftsstatistik (2020), Facts – Zahlen und Fakten aus der Wissenschaftsstatistik: Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft 2018; <https://www.stifterverband.org/download/file/fid/8823> (Abruf: 23.09.2020)

Thorwarth, Susanne; Kraft, Kornelius; Czarnitzki, Dirk (2008), The Knowledge Production of 'R' and 'D', ZEW Discussion Papers, No. 08-046

Von der Lippe, Peter (2004), Induktive Statistik, 6. Auflage, München/Wien

### 3.6 Anhang

Tabelle A1:	Übergangsmatrix G für das Jahr 2015
Tabelle A2:	Aufteilung der internen FuE-Aufwendungen der Branchen auf die Technologien 2015 (in Tsd. Euro)
Tabelle A3:	Anteil der internen FuE-Aufwendungen nach Branchen aus Sicht der Technologien 2015
Tabelle A4:	95%-Konfidenzintervalle für die Anteile der internen FuE-Aufwendungen nach Technologien 2015
Tabelle A5:	Umrechnung der Konfidenzintervalle in Tsd. Euro
Tabelle A6:	Aufteilung der internen FuE-Aufwendungen der Branchen auf Technologien 2017 (in Tsd. Euro)
Tabelle A7:	Regressionskoeffizienten

WZ	z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z8	z9	z10	z11	z12
	Gesundheit	Bioökonomie	Zivile Sicherheit	Ernährung, Landwirtschaft	Energieforschung	Klima, Umwelt	IKT	Fahrzeug, Verkehr	Luft- und Raumfahrt	Innovative Dienstleistungen	Nanotechnologie	Optische Technologien
01-03	0,00%	15,93%	0,00%	83,87%	0,00%	0,10%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%
04-09	0,00%	0,00%	0,00%	2,72%	38,93%	21,05%	15,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	21,13%
10-12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
13-15	6,59%	2,36%	7,00%	2,46%	3,76%	16,84%	0,76%	44,74%	6,56%	1,67%	7,23%	0,00%
16-18	0,00%	0,70%	0,00%	10,78%	2,91%	29,13%	36,80%	1,12%	0,00%	1,21%	0,35%	0,00%
19	0,54%	17,19%	0,04%	15,94%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,82%	0,00%	0,00%	0,00%
20	0,54%	17,19%	0,04%	15,94%	16,04%	17,82%	1,10%	14,73%	0,00%	0,07%	15,64%	0,00%
21	52,73%	7,21%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
22	5,37%	0,13%	0,02%	1,12%	0,62%	0,69%	2,89%	85,17%	2,56%	0,69%	0,19%	0,72%
23	0,89%	0,43%	0,00%	2,00%	22,39%	29,84%	3,08%	1,34%	4,65%	2,81%	10,92%	1,78%
24	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
25	2,43%	0,13%	0,45%	1,00%	14,70%	9,76%	10,31%	36,38%	8,47%	0,76%	3,72%	0,26%
26/27	8,07%	0,07%	8,16%	5,60%	15,55%	1,95%	28,21%	14,83%	1,97%	5,63%	2,03%	2,38%
28	0,26%	0,23%	0,09%	10,95%	16,22%	16,67%	26,68%	21,89%	0,36%	4,13%	1,64%	1,66%
29	2,44%	0,00%	2,47%	2,44%	2,54%	0,51%	3,01%	77,25%	0,00%	2,44%	2,44%	2,44%
30 a, 30.3	0,00%	0,00%	0,09%	0,00%	2,54%	0,15%	9,44%	87,28%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
30.3	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,42%	0,00%	1,42%	96,69%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
31	20,88%	20,88%	5,18%	0,00%	7,40%	0,00%	0,00%	13,76%	0,00%	0,00%	10,93%	0,00%
32	85,23%	0,74%	0,00%	1,70%	0,14%	0,39%	0,63%	0,14%	0,14%	0,64%	0,63%	0,84%
33	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	5,94%	19,44%	33,67%	15,92%	17,15%	1,37%	0,00%	0,68%
36/36	0,00%	0,00%	0,00%	0,11%	71,45%	13,66%	12,29%	11,11%	0,00%	1,36%	0,00%	0,00%
38/39	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	3,59%	92,81%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	3,59%	0,00%
41-43	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	16,75%	12,79%	17,41%	0,00%	0,00%	33,79%	19,27%	0,00%
45	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	13,20%	0,00%	0,00%	83,83%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
46-48	7,75%	0,24%	1,47%	12,34%	12,47%	12,34%	34,97%	2,07%	0,43%	4,15%	10,47%	1,30%
49-53	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	15,04%	16,04%	15,04%	25,07%	27,12%	0,00%	0,00%	0,00%
54-56	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
64-66	34,59%	0,00%	0,00%	1,01%	0,00%	0,00%	38,71%	0,00%	0,00%	25,70%	0,00%	0,00%
69-72	5,60%	0,65%	0,52%	0,85%	15,21%	1,84%	20,82%	16,46%	18,67%	0,85%	0,61%	13,92%
77-82	0,75%	0,23%	7,08%	0,00%	56,95%	12,76%	6,65%	8,65%	2,76%	3,16%	1,28%	0,00%
85	14,81%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	51,19%	0,00%	0,00%	34,06%	0,00%	0,00%
86	88,47%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	10,38%	0,00%	0,00%	0,16%	0,00%	0,00%

Tabelle A1: Übergangsmatrix G für das Jahr 2015

WZ	FuE Aufwendungen Branchen	Z1 Gesundheit	Z2 Bioscience	Z3 Zivile Sicherheit	Z4 Ernährung, Landwirtschaft	Z5 Energieerzeugung	Z6 Klima, Umwelt	Z7 KT	Z8 Fahrzeug, Verkehr	Z9 Luft- und Raumfahrt	Z10 Innovative Dienstleistungen	Z11 Nanotechnologie	Z12 Optische Technologien
0403	149.993,00	0,00	23.941,49	0,00	125.545,02	0,00	196,54	0,00	0,00	0,00	23,93	0,00	
0409	21.318,00	0,00	0,00	0,00	459,45	0,00	3.201,37	0,00	0,00	0,00	4.972,82	0,00	
1012	377.615,00	6.219,79	21.967,83	5.015,43	262.476,10	0,00	13.411,80	129,92	0,00	0,00	445,62	5.015,43	
1218	31.116,00	6.005,76	2.152,64	6.373,45	2.267,85	0,00	3.423,79	1.885,11	0,00	0,00	1.824,47	6.939,28	
1301	1.034,00	0,00	0,00	0,00	46,74	0,00	6.579,96	2.170,91	0,00	0,00	2.013,91	7,05	
19	134.858,00	0,00	26,93	0,00	0,00	0,00	134.853,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
20	3.786.071,00	2.014,27	850.700,87	1.524,85	603.479,74	6.071.891,31	6.74.754,20	41.763,36	559.618,67	30.976,14	2.827,52	592.119,03	
21	3.956.079,00	3.670.413,20	285.292,43	0,00	213,98	0,00	44,06	0,00	0,00	0,00	0,00	88,12	
22	1.089.340,00	59.484,83	1.379,23	291,50	12.221,04	0,00	6.460,93	31.491,69	926.892,01	27.894,95	7.548,10	1.134,87	
23	210.413,00	3.042,78	4.448,28	4.993,70	5.183,04	0,00	92.830,28	3.937,68	0,00	0,00	8.532,46	51.351,94	
24	1.009.837,00	20.466,00	1.547,76	2.765,92	1.005,62	0,00	1.487,84	1.188,65	0,00	0,00	3.437,80	1.515,94	
25	624.357,00	20.046,00	1.045,72	44.897,74	0.075,20	0,00	121.172,12	804.579,79	328.574,12	60.704,50	6.233,60	55.993,65	
2627	9.790.477,00	790.136,73	6.947,59	859.897,16	548.004,80	1.522.877,69	190.705,06	2.781.452,60	1.449.189,89	183.330,59	951.110,29	664.029,34	
28	5.489.450,00	14.461,44	12.740,25	4.652,45	597.458,32	685.856,54	909.807,59	1.456.714,30	1.151.459,44	20.927,193	225.236,01	891.654,13	
29	21.456.983,00	594.842,74	0,00	592.293,13	524.442,74	544.289,42	538.107,03	646.760,07	16.983.153,65	2.197,78	594.842,74	524.842,74	
3033	1.766.837,00	0,00	0,00	2.692,30	0,00	0,00	646,70	243.764,43	24.316,42	0,00	0,00	0,00	
31	34.912,00	7.200,67	1.787,40	1.787,40	0,00	0,00	2.559,43	0,00	1.749,38	0,00	0,00	5.607,20	
32 c, 32 e	64.789,00	406,45	0,00	0,00	6.096,74	0,00	4.653,52	47.351,43	0,00	0,00	6.290,96	0,00	
33	1.274.798,00	479.291,26	4.129,64	0,00	9.534,14	0,00	612,87	2.173,12	2.947,40	0,00	3.618,75	3.830,22	
34	1.425.957,00	0,00	0,00	84.544,60	0,00	0,00	287.873,25	429.201,60	192.762,44	218.991,89	17.444,47	0,00	
3739	11.739,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	163,69	1.619,28	0,00	0,00	2.059,90	0,00	
4143	74.714,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	149,95	10.911,89	0,00	0,00	0,00	438,95	
415	11.435,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12.514,90	9.556,69	13.005,41	0,00	25.241,39	14.395,64	
4648	292.917,00	19.590,23	611,96	3.705,91	31.299,01	1.508,57	0,00	0,00	9.529,17	0,00	386,26	0,00	
4653	193.865,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31.550,29	31.217,57	88.440,70	5.237,89	1.084,57	10.498,76	
4654	134.109,00	19,40	0,00	0,00	0,00	0,00	20.100,48	22.900,10	34.317,96	36.249,38	0,00	0,00	
6446	384.426,00	99.301,65	0,00	8.019	4.961,93	0,00	0,00	1.018,93	449,73	0,00	293,63	9,09	
6475	4.686.311,00	262.393,49	218.029,10	24.200,26	39.837,64	712.517,88	86.185,18	975.546,06	771.297,63	874.830,16	39.666,01	28.913,46	
7732	46.886,00	350,76	1.06,92	3.519,19	0,00	0,00	26.543,21	3.111,503	4.056,79	1.303,85	1.492,54	590,95	
85	1.865,00	202,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	697,98	0,00	464,91	0,00	
86	6.142,00	5.494,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	637,98	0,00	9,66	0,00	
<b>Summe</b>	<b>60.326.793,00</b>	<b>5.997.051,24</b>	<b>1.261.292,35</b>	<b>1.694.237,05</b>	<b>2.628.797,41</b>	<b>4.880.310,54</b>	<b>3.094.075,89</b>	<b>9.906.345,14</b>	<b>22.834.972,31</b>	<b>3.123.971,98</b>	<b>1.542.606,90</b>	<b>2.124.862,23</b>	<b>1.632.950,34</b>
<b>Anteil</b>		<b>9,84%</b>	<b>2,07%</b>	<b>2,82%</b>	<b>4,46%</b>	<b>8,17%</b>	<b>5,08%</b>	<b>16,26%</b>	<b>37,48%</b>	<b>5,14%</b>	<b>2,55%</b>	<b>3,49%</b>	<b>2,69%</b>

Tabelle A2: Aufteilung der internen FuE-Aufwendungen der Branchen auf die Technologien 2015 (in Tsd. Euro)

WZ	z1	z2	z3	z4	z5	z6	z7	z8	z9	z10	z11	z12
	Gesundheit	Biotechnologie	Zwie Stiercheit	Ernährung, Landwirtschaft	Energetisch	Klima, Umwelt	IKT	Fahrzeug, Verkehr	Luft- und Raumfahrt	Innovative Dienstleistungen	Nanotechnologie	Optische Technologien
01_03	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
05_09	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
10_12	0,00%	1,69%	0,11%	0,26%	0,16%	0,16%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
13_15	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
16_18	0,00%	1,65%	0,00%	1,50%	0,13%	2,02%	0,79%	0,00%	0,00%	0,17%	0,04%	0,00%
19	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,70%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
20	0,00%	51,59%	0,00%	21,33%	12,19%	21,81%	0,42%	2,45%	0,89%	0,18%	27,87%	0,04%
21	0,00%	22,11%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
22	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
23	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,89%	0,10%	0,00%	0,48%	0,57%	2,43%	0,00%
24	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,91%	0,12%	0,00%	0,00%	0,00%
25	0,00%	0,00%	2,02%	0,00%	2,43%	2,60%	0,86%	1,44%	2,22%	0,40%	2,64%	0,13%
26/27	13,16%	0,55%	53,94%	19,37%	30,58%	6,16%	27,89%	6,35%	5,86%	35,73%	32,85%	14,25%
28	0,00%	1,01%	0,00%	21,12%	17,79%	25,41%	14,70%	5,04%	0,07%	14,69%	4,22%	5,54%
29	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
30_02_30_3	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
30_03	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
30_03_30_3	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
31	0,00%	0,00%	0,11%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
32_0_32_5	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,15%	0,48%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
32_5	7,88%	0,33%	0,00%	0,34%	0,01%	0,07%	0,03%	0,00%	0,00%	0,23%	0,18%	3,38%
33	0,00%	0,00%	5,00%	0,00%	1,82%	8,01%	4,33%	0,84%	6,98%	1,13%	0,00%	0,55%
34	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
35	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
36	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
37	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
38	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
39	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
40	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
41	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
42	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
43	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
44	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
45	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
46-48	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
49-53	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
54-63	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
64-68	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
69-72	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
73-82	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
83	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
85	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabelle A3: Anteil der interne FuE-Aufwendungen nach Branchen aus Sicht der Technologien 2015

WZ	Berechnungszahlen	FuE-Aufwendungen Branche	11 Gesundheit		12 Biotechnologie		13 Zivile Sicherheit		14 Ernährung, Landwirtschaft		15 Energieerzeugung		16 Klima, Umwelt	
			unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben
01-03	9	149.895,00	0,00%	0,00%	0,00%	44,44%	0,00%	0,00%	55,56%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
05-09	5	21.338,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	20,00%	0,00%	0,00%	0,00%	60,00%
10-14	5	71.816,00	0,00%	8,52%	0,00%	14,29%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	30,00%
15-16	2	91.142,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	11,43%	0,00%	0,00%	0,00%	30,00%
16-18	3	214.759,00	0,00%	0,00%	0,00%	26,32%	0,00%	0,00%	5,26%	36,84%	0,00%	0,00%	10,53%	52,63%
19	10	134.583,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
20	916	3.786.071,00	0,00%	2,08%	10,42%	25,00%	1,94%	9,38%	23,96%	23,96%	9,38%	0,00%	10,42%	26,04%
21	100	3.986.278,00	87,00%	0,00%	3,00%	13,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
22	10	1.046.829,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
23	35	310.113,00	0,00%	5,71%	0,00%	5,71%	0,00%	0,00%	0,00%	8,57%	0,00%	0,00%	14,29%	46,71%
24	20	530.642,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	15,00%
25	106	824.587,00	0,00%	5,66%	0,00%	0,44%	1,69%	0,38%	0,00%	3,77%	0,00%	0,00%	4,72%	16,04%
2627	544	9.790.457,00	5,23%	11,05%	0,00%	0,88%	5,81%	11,32%	3,20%	8,14%	11,92%	15,48%	0,58%	3,49%
28	42	21.645.585,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
29	40	300.643,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
30 o. 30.3	12	1.706.837,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	8,33%
31	6	34.512,00	0,00%	50,00%	0,00%	50,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	33,33%
32 o. 32.5	7	64.788,00	0,00%	14,29%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	28,57%	0,00%	0,00%	0,00%	28,57%
33	14	1.274.788,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	42,86%
35/36	9	180.074,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	33,33%
37-39	5	11.379,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%
41-43	31	74.714,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	25,81%
44-46	3	48.696,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
46-48	39	252.917,00	0,00%	17,66%	0,00%	2,66%	0,00%	0,00%	2,56%	20,16%	0,00%	0,00%	2,56%	20,16%
48-53	5	153.655,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	60,00%
54-55	239	3.184.905,00	0,00%	1,26%	0,00%	0,42%	1,26%	0,00%	0,00%	0,84%	0,00%	0,00%	2,51%	1,26%
64-66	7	284.426,00	0,00%	71,43%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	14,29%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
67-73	336	4.885.311,00	3,27%	5,04%	2,68%	7,14%	0,00%	0,00%	0,00%	2,08%	0,00%	0,00%	0,00%	3,27%
74-76	3	4.885.311,00	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
85	2	1.365,00	0,00%	50,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
86	4	6.142,00	50,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabelle A4: 95%-Konfidenzintervalle für die Anteile der internen FuE-Aufwendungen nach Technologien 2015 (Teil 1)



WZ	Beratungszahlen	FuE-Aufwendungen Branche	z7		z8		z9		z10		z11		z12	
			unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben
0143	9	58.985,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
0144	9	2.187,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
1012	34	31.143,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
1013	26	91.116,00	0,0%	3,8%	26,92%	65,38%	99,23%	99,23%	7,69%	19,28%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
1511	19	24.789,00	13,79%	27,89%	5,89%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,26%	5,26%	0,0%	0,0%	0,0%
1511	19	24.789,00	13,79%	27,89%	5,89%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,26%	5,26%	0,0%	0,0%	0,0%
20	100	3.738.571,00	0,0%	31,3%	8,33%	21,38%	31,3%	31,3%	1,68%	22,82%	8,33%	22,82%	0,0%	0,0%
21	100	3.186.979,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
22	100	1.898.929,00	0,0%	8,7%	74,7%	89,7%	74,7%	74,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
23	216	318.413,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
24	20	530.642,00	0,0%	0,0%	65,00%	85,00%	85,00%	85,00%	8,00%	8,00%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
25	104	65.827,00	4,7%	16,0%	30,19%	49,06%	37,7%	14,15%	0,0%	2,63%	2,63%	0,0%	0,0%	0,0%
26	203	5.439.450,00	21,88%	32,74%	15,79%	28,46%	15,79%	1,58%	1,94%	6,73%	0,48%	3,58%	0,0%	0,0%
28	203	5.439.450,00	21,88%	32,74%	15,79%	28,46%	15,79%	1,58%	1,94%	6,73%	0,48%	3,58%	0,0%	0,0%
29	30	21.465.983,00	0,0%	10,0%	62,69%	80,00%	62,69%	62,69%	7,69%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
30	313	1.708.527,00	0,0%	23,0%	66,7%	83,3%	66,7%	66,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
31	6	345.12,00	0,0%	0,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
32	31	64.718,00	42,86%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	26,57%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
32.0	32.5	4.274.708,00	7,14%	17,14%	0,0%	35,71%	0,0%	0,0%	0,0%	7,14%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
33	14	1.274.708,00	7,14%	17,14%	0,0%	35,71%	0,0%	0,0%	0,0%	7,14%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
33.0	9	180.074,00	0,0%	33,33%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	11,11%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
33.1	5	1.094.634,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
33.2	4	1.177,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
34	31	7.177,00	0,0%	32,26%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
45	2	1.143,00	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	50,0%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
46-41	39	252.917,00	29,51%	51,28%	7,69%	0,0%	0,0%	0,0%	2,58%	19,28%	2,58%	20,31%	0,0%	0,0%
46-42	39	252.917,00	29,51%	51,28%	7,69%	0,0%	0,0%	0,0%	2,58%	19,28%	2,58%	20,31%	0,0%	0,0%
54-53	209	3.184.905,00	80,05%	97,26%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,61%	0,0%	0,42%	0,0%	0,0%
64-66	7	264.459,00	0,0%	71,43%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	57,14%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
64-66	7	264.459,00	0,0%	71,43%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	57,14%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
67-71	333	4.868.111,00	17,67%	23,5%	12,66%	20,44%	12,66%	12,66%	2,63%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
72-81	40	1.186,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
80	2	1.186,00	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
81	4	6.142,00	0,0%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabelle A4: 95%-Konfidenzintervalle für die Anteile der internen FuE-Aufwendungen nach Technologien 2015 (Teil 2)

WZ	Besetzungszahlen	FuE-Aufwendungen Branche	x1 Gesundheit		x2 Bioteknologie		x3 Zivile Sicherheit		x4 Ernährung, Landwirtschaft		x5 Energieforschung		x6 Klima Umwelt	
			unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben
01-03	9	148.695,00	0,0	0,0	0,0	66.531,1	0,0	0,0	83.163,9	149.895,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05-09	5	21.918,00	0,0	0,0	0,0	46.709,1	0,0	0,0	4.263,6	4.263,6	0,0	17.054,4	0,0	12.790,8
10-12	34	317.615,00	0,0	23.024,9	0,0	46.709,1	0,0	18.893,2	224.198,8	298.831,8	0,0	0,0	18.893,2	0,0
13-17	19	1.016.176,00	0,0	1.022,3	0,0	56.545,5	0,0	1.022,3	11.303,1	39.333,7	0,0	22.828,2	0,0	13.503,1
18-18	19	2.147.980,00	0,0	0,0	0,0	56.545,5	0,0	0,0	11.303,1	39.333,7	0,0	22.828,2	0,0	13.503,1
19	100	124.553,00	0,0	0,0	0,0	63,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	86	3.786.071,00	0,0	78.676,5	394.392,4	946.517,8	0,0	39.439,2	394.944,2	907.079,5	354.944,2	907.079,5	394.392,4	895.056,0
21	100	3.986.079,00	3.441.798,7	3.857.398,6	118.892,4	514.295,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	47	1.089.340,00	0,0	138.537,0	0,0	23.195,2	0,0	0,0	46.312,3	46.312,3	0,0	46.312,3	0,0	46.312,3
23	20	1.170,00	0,0	1.170,0	0,0	1.170,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	20	830.642,00	0,0	1.170,0	0,0	1.170,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	106	824.357,00	0,0	46.861,7	0,0	7.777,0	16.563,9	65.546,5	31.107,8	69.992,6	1.169.895,9	178.869,9	38.894,8	132.209,3
26/27	344	9.790.457,00	5.129,1	1.081.504,0	0,0	96.921,3	589.212,8	1.166.895,9	313.066,6	796.807,7	1.906.892,3	56.921,3	34.152,7	6
28	223	5.469.450,00	0,0	48.963,7	0,0	46.895,7	0,0	24.481,8	381.709,4	832.392,5	636.527,8	1.150.646,5	661.009,6	1.175.128,3
29	40	2.465.893,00	0,0	1.693.948,7	0,0	0,0	0,0	1.693.948,7	0,0	1.693.948,7	0,0	1.693.948,7	0,0	1.693.948,7
30	30	1.786.537,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50.072,0	0,0	142.293,4
31	6	34.612,00	0,0	17.256,0	0,0	17.256,0	0,0	11.944,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11.944,0
32	32	64.798,00	0,0	3.255,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18.510,9	0,0	0,0	0,0	18.510,9
32.5	47	961.146,00	417.674,7	595.329,2	0,0	23.879,6	0,0	0,0	0,0	36.817,8	0,0	11.939,3	0,0	11.939,3
33	14	1.274.798,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	273.171,0	0,0	0,0	0,0	273.171,0	0,0	546.342,0
34	6	6.979,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	6,0
37-39	8	11.378,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2.275,8	0,0	11.378,0
41-43	31	74.714,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4.820,3	24.101,3	2.410,1	19.281,0
45	2	11.435,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5.717,5	0,0	0,0
46-48	39	292.917,00	0,0	45.395,4	0,0	6.485,1	0,0	12.670,1	6.485,1	59.365,5	6.485,1	59.365,5	6.485,1	59.365,5
49-53	8	133.695,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	80.199,0	0,0	80.199,0
54-58	27	264.438,00	0,0	39.162,9	0,0	19.919,0	0,0	39.162,9	0,0	0,0	0,0	79.656,0	0,0	39.162,9
64-68	27	264.438,00	0,0	203.162,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49.632,9	0,0	0,0	0,0	0,0
69-75	336	4.685.211,00	153.395,2	376.498,2	126.499,4	334.665,1	0,0	69.271,9	0,0	97.610,6	543.330,7	862.440,2	27.883,8	153.395,2
77-82	13	48.866,00	0,0	3.695,1	0,0	3.695,1	0,0	10.815,2	0,0	0,0	14.420,3	39.656,5	0,0	14.420,3
85	2	1.365,00	0,0	692,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
86	4	6.142,00	3.071,0	6.142,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle A5: Umrechnung der Konfidenzintervalle in Tsd. Euro (Teil 1)

WZ	Bemerkungen (z.B. Branche)	FuE-Aufwendungen		z7		z8		z9		z10		z11		z12	
		unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben
01-03		148.895,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
04-09		24.118,00	0,0	17.299,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12.706,8	0,0
10		1.000,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12		24.118,00	0,0	3.504,5	24.531,2	24.531,2	56.576,8	17.527,3	17.527,3	17.527,3	17.527,3	17.527,3	17.527,3	17.527,3	0,0
13-15		24.118,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16-18		24.118,00	33.509,3	124.334,2	0,0	11.303,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19		134.853,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20		3.586.071,00	0,0	114.147,7	3.699,9	3.699,9	3.699,9	118.147,7	118.147,7	118.147,7	318.147,7	318.147,7	318.147,7	318.147,7	0,0
21		100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22		1.088.348,00	0,0	92.624,7	810.466,0	1.018.871,5	0,0	92.624,7	0,0	463.123,3	0,0	23.156,2	0,0	46.312,3	0,0
23		310.413,00	0,0	26.609,8	0,0	26.609,8	0,0	35.475,8	0,0	26.609,8	0,0	17.759,9	0,0	86.689,4	79.520,5
24		5.489.458,00	1.150.648,4	1.737.132,2	856.854,3	1.444.426,5	0,0	73.446,5	87.927,4	387.277,6	24.481,8	95.854,7	24.481,8	156.854,7	0,0
25		628.387,00	58.884,8	132.268,2	248.862,5	484.401,5	31.107,8	116.654,3	31.107,8	23.338,9	23.338,9	301.100,4	0,0	15.555,9	0,0
26		9.789.457,00	2.305.311,1	3.244.811,9	1.051.504,0	1.821.486,4	58.921,3	341.527,6	313.926,9	798.897,7	465.809,5	867.951,4	465.809,5	86.381,9	356.448,8
27		5.489.458,00	1.150.648,4	1.737.132,2	856.854,3	1.444.426,5	0,0	73.446,5	87.927,4	387.277,6	24.481,8	95.854,7	24.481,8	156.854,7	0,0
28		300.843,00	0,0	0,0	0,0	300.843,00	0,0	0,0	0,0	1.186.817,7	0,0	0,0	0,0	1.186.817,7	0,0
30, 3, 30,3		1.706.837,00	0,0	142.236,4	0,0	142.236,4	1.422.864,2	1.706.837,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31		24.572,00	0,0	0,0	0,0	17.256,0	0,0	17.256,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17.256,0	0,0
32, 5		1.000,00	0,0	64,0	0,0	0,0	0,0	18,0	0,0	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
33		691.146,00	0,0	23.878,6	0,0	23.878,6	0,0	11.939,3	0,0	23.878,6	0,0	23.878,6	11.939,3	107.463,5	0,0
34		1.274.798,00	31.057,0	728.456,6	0,0	465.295,0	0,0	465.295,0	0,0	91.897,6	0,0	91.897,6	0,0	91.897,6	0,0
35		180.078,00	0,0	50.028,7	0,0	18.074,9	0,0	18.074,9	0,0	18.074,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36		74.714,00	4.850,3	24.103,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14.869,9	38.562,1	4.850,3	26.511,4	0,0	0,0
41-43		11.435,00	0,0	0,0	0,0	11.435,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
45		11.435,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
46-53		3.878,00	86,490,7	86,490,7	0,0	86,490,7	0,0	86,490,7	0,0	28.807,7	6.801,1	57.682,9	0,0	129,1	0,0
54-55		3.184.054,00	2.837.711,7	3.104.649,2	0,0	93.287,7	0,0	26.859,9	0,0	26.859,9	0,0	13.326,0	0,0	39.977,9	0,0
64-66		284.493,00	0,0	203.162,9	0,0	65,0	0,0	17,0	0,0	162.530,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
67-72		4.848.848,00	2.678,2	11.568,9	0,0	11.568,9	0,0	11.568,9	0,0	97.453,1	0,0	0,0	0,0	46.853,2	884,7
73-75		148.184,00	0,0	0,0	0,0	10.185,2	0,0	10.185,2	0,0	7.140,2	0,0	34.551,1	0,0	0,0	0,0
85		1.366,00	0,0	1.366,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
86		6.142,00	0,0	3.071,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle A5: Umrechnung der Konfidenzintervalle in Tsd. Euro (Teil 2)

WZ	FuE-Aufwendungen												Summe	
	21 Gesundheit	22 Ernährung, Landwirtschaft	23 Chemie	24 Pharmazie	25 Energie	26 Klima, Umwelt	27 IT	28 Transport	29 Luft- und Raumfahrt	30 Innovative Dichtungen	31 Nanotechnologie	32 Optische Technologien		
01-02	168.811	0,00	26.864,08	0,00	142.052,29	0,00	104,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	59,48
03-09	24.788	6.521,80	0,00	0,00	2.292,72	0,00	2.514,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6.935,13
10-15	10.188	2.353,56	0,00	0,00	1.323,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.676,66
16-18	247.688	5.003,18	13.864,77	11.02,04	37.821,25	11.831,42	13.231,41	317,62	15.282,51	4.462,67	801,08	42.376,13	1.000,31	28.552,03
19	4.144,64	3,00	38.070,27	0,00	36.070,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	83.148,79
20	4.830,94	0,00	1.000,00	0,00	3.830,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9.661,94
21	4.830,94	0,00	1.000,00	0,00	3.830,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9.661,94
22	1.169.440	16.879,47	5.391,62	816,44	65.000,70	28.814,10	738.960,22	39,43	16.529,84	67.489,20	48.157,53	0,00	0,00	055.703,16
23	319.008	1.064,15	292,13	0,00	308,23	30.508,08	34.011,77	153,30	27.509,40	2.405,11	1.405,11	0,00	0,00	79.330,50
24	1.149.008	419.269,24	4.373,73	5.842,30	623.781,10	603.852,23	320.053,90	248.853,08	283.017,72	352.852,08	307.452,89	0,00	0,00	1.461.627,49
25	92.1276	2.803,91	6.411,48	9.110,72	4.498,54	402.693,76	20.943,07	4.217,80	18.440,32	5.943,35	167.423,07	1.201,01	0,00	124.153,68
26-27	10.421.400	189.785,74	7.951,62	214.429,17	1.294.406,86	340.124,76	3.349.650,18	1.438.826,55	236.389,75	1.404.207,12	327.885,02	680.956,30	0,00	847.895,39
28	2.119.708	419.269,24	4.373,73	5.842,30	623.781,10	603.852,23	320.053,90	248.853,08	283.017,72	352.852,08	307.452,89	0,00	0,00	1.461.627,49
29	284.376	0,00	0,00	397,70	1.442,19	0,00	1.442,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2.843,98
30 a, 30.3	1.481.307	3.862,54	0,00	631,88	0,00	3.862,54	0,00	138.817,56	1.540.254,28	0,00	0,00	0,00	0,00	1.540,35
31	52.125	542,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	542,28
32 a	744.640	697.598,93	8.589,54	0,00	7.134,60	2.093,50	0,00	3.296,15	0,00	2.001,89	9.169,80	7.932,86	0,00	37.211,83
33	200.638	2.592,00	407,79	603,98	16.178,96	14.892,95	5.787,25	5.834,67	18.308,54	1.305,97	89.161,95	1.464,41	0,00	10.256,89
34	18.892	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18.892
35	12.862	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12.862
41-43	84.882	0,00	339,26	0,00	0,00	2.865,17	4.396,29	2.515,17	0,00	1.296,85	8.907,76	0,00	0,00	64.231,96
44	156	0,00	0,00	0,00	0,00	639,42	3.527,15	0,00	4.750,35	0,00	0,00	0,00	0,00	2.625,19
45	12.165	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12.165
46	12.165	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12.165
47	117.668	106.897,91	2.764,44	38,00	113.670,35	113.670,35	113.670,35	113.670,35	113.670,35	113.670,35	113.670,35	113.670,35	0,00	43.100,42
48-50	3.773.897	78.124,46	481,27	7.144,82	16.646,37	807.861,15	41.548,58	2.927.007,67	91.063,30	50.889,91	174.717,42	41.238,06	121.860,55	89.120,86
64-68	248.446	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	124.222,48	0,00	0,00	0,00	124.222,48	0,00	0,00	124.222,48
69	248.446	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	124.222,48	0,00	0,00	0,00	124.222,48	0,00	0,00	124.222,48
71-72	80.323	760,26	21.023,54	0,00	3.515,31	5.237,80	0,00	3.921,31	63.347,67	5.865,90	0,00	0,00	0,00	1.328,82
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe	68.781.803,60	5.882.076,54	1.382.919,59	349.881,60	2.247.151,67	3.801.697,65	21.142.224,41	10.243.073,30	24.684.114,07	2.998.233,97	5.407.744,94	4.131.285,80	1.805.001,90	37.960.000,38
Anteil		8,70%	2,01%	0,51%	3,27%	5,53%	31,2%	14,89%	35,74%	4,23%	7,85%	6,01%	2,62%	5,41%

Tabelle A6: Aufteilung der internen FuE-Aufwendungen der Branchen auf Technologien 2017 (in Tsd. Euro)

	Intercept	f15	f31	f31f15	WZ01	WZ05	WZ10	WZ13	WZ16	WZ19	WZ20	WZ21	WZ22	WZ23	WZ24	WZ25	WZ26	WZ28	WZ29
z1	7,632	0,0001401	-0,000004576	0,1436	-9,832	-6,842	-3,187	1,37	-3,841	-9,951	-4,522	56,95	-0,09618	-10,96	-8,065	-9,434	-3,87	-10,2	-12,68
z2	0,8955	-0,00008198	-5,817E-07	0,0717	20,47	-0,7756	11,42	-1,179	8,426	-0,3094	2,646	13,27	1,169	-0,999	-0,7874	-1,266	-1,604	-11,96	-1,665
z3	0,232	-4,11E-05	7,97E-07	-0,002762	9,1876	-0,09953	-2,126	4,499	3,125	-0,1809	0,1849	-0,155	0,9297	-0,1933	1,008	1,349	1,912	0,9827	-0,1297
z4	6,905	2,84E-04	-5,04E-06	-0,01128	51,63	-5,941	5,754	-5,303	-5,314	-6,768	2,183	-0,8702	-6,401	-6,394	-6,418	-3,743	-6,052	-3,023	-6,109
z5	6,857	3,49E-05	-7,97E-07	-2,97E-02	-6,4	1,118	-6,756	-1,429	2,11	-3,045	-4,413	-5,819	-1,254	3,719	7,033	2,404	3,108	4,906	-3,649
z6	10,7	-7,10E-04	1,30E-05	-9,33E-02	-4,595	33,71	-3,057	-0,612	-0,4135	-7,404	-5,87E-02	-3,958	1,582	3,698	-8,465	-0,8476	-6,405	1,468	-4,695
z7	13,24	4,07E-05	-5,92E-07	1,44E-02	-13,47	-13,41	-12,09	-9,255	-13,49	-12,57	-12,16	-11,01	-12,46	-12,64	-12,64	-12,46	8,654	-9,039	-12,5
z8	2,93	8,82E-04	9,22E-06	0,0108	-3,219	-5,663	-4,173	5,224	-0,7766	-3,313	0,9817	-4,005	10,33	-0,6982	18,32	7,941	5,047	5,815	75,71
z9	0,01034	-4,26E-05	9,88E-07	9,20E-03	-0,2442	1,01E-03	-0,1276	3,855	0,7081	-0,2484	-0,2484	-0,3263	0,7761	0,6921	1,33	2,659	2,699	2,008	0,4309
z10	6,942	2,13E-04	-3,56E-06	-7,95E-02	-5,732	-7,375	-6,698	-2,714	-4,708	-5,685	-2,206	-2,889	-0,9844	-2,889	-0,604	-1,362	-1,886	-2,602	-4,472
z11	7,117	1,93E-04	-4,82E-06	3,47E-02	-7,656	12,6	-6,573	3,982	3,95	-7,701	14,6	-7,922	7,915	23,33	25,14	11,86	-4,562	-0,6807	-6,298
z12	5,794	-2,42E-04	3,32E-06	0,03544	-6,254	-5,09	-5,808	-4,743	-2,649	-6,261	-5,389	-6,423	-4,641	-1,877	-5,636	-4,36	7,769	-3,005	-3,348
z13	26,55	-6,73E-04	1,12E-05	-0,1084	-12,28	-0,01515	-17,84	11,36	10,86	66,59	10,36	-25,75	3,903	5,32	-7,992	7,47	-2,577	14,4	-20,59

Tabelle A7: Regressionskoeffizienten (Teil 1)

Hinweise:

- Markierte Werte sind mindestens zu 10% signifikant
- Bezeichnungen der z-Variablen (Technologien) wie in den Tabellen A1-A8
- Variable z13 bezeichnet die Kategorie „sonstige“
- Variable f15 ist die Mitarbeiterzahl
- Variable f31 sind die internen FuE-Aufwendungen
- Variable f15f31 sind die internen FuE-Aufwendungen pro Mitarbeiter
- Die Variablen WZxxx beziehen sich auf die jeweiligen Branchen gem. WZ-Klassifikation 2008

	WZ300-303	WZ303	WZ31	WZ320-325	WZ325	WZ33	WZ35	WZ37	WZ41	WZ45	WZ49	WZ58	WZ64	WZ69	WZ77	R-squared
z1	-7,972	-10,07	10,24	-8,674	53,82	-5,627	-9,706	-11,06	-10,63	-8,162	-9,526	-7,154	-7,945	2,136	-9,651	0,2648
z2	-0,8755	-2,549	-1,044	-1,352	1,941	0,1839	-1,813	-2,553	-0,4587	-1,097	-1,735	-1,989	-0,6594	4,587	5,945	0,08014
z3	1,782	4,01	-0,218	-0,2105	-0,1841	12,3	-0,1763	-0,1644	-0,2013	-0,205	16,48	1,722	-0,2177	1,161	-0,1814	0,026
z4	-6,936	-6,693	-6,909	-6,833	-6,533	-5,17	-6,862	-6,644	-6,965	-6,872	-6,854	-6,177	-6,944	-3,094	-0,7351	0,2816
z5	-6,799	-5,312	-6,77	-6,643	-3,558	7,161	3,767	2,552	7,052	19,25	1,015	-3,86	-6,805	4,775	2,981	0,053
z6	-10,36	-7,874	-10,32	-9,999	-9,144	6,491	36,67	26,56	16,68	9,663	4,907	-6,734	-10,36	6,587	16,95	0,1069
z7	-13,28	-13,6	-13,29	9,984	-9,13	-6,38	-7,617	3,076	-7,056	-13,3	-1,776	-50,28	-66,72	-4,275	-3,159	0,39
z8	94,87	0,7659	-3,085	13,62	-3,198	6,859	-3,448	-3,219	-3,35	33	19,13	2,025	-3,145	3,377	0,1452	0,2105
z9	-0,152	89,68	-0,126	-0,1688	-0,2474	3,984	-0,2163	-0,3229	-0,1359	-0,1389	1,458	2,492	-0,126	1,067	5,076	0,2946
z10	-6,81	-5,063	-6,727	-4,15	-3,732	2,095	-3,444	-5,041	2,695	1,344	19,85	3,601	13,17	7,013	13,4	0,055
z11	-7,23	-7,996	-5,582	-7,375	-5,405	4,208	-7,685	-7,956	4,117	-7,25	-7,63	-7,138	-7,227	-2,024	-7,726	0,12
z12	-5,763	-6,537	-5,809	-3,759	-1,06	-4,362	-6,135	-6,576	-5,812	-5,856	-6,111	-4,526	-5,751	-4,736	-6,32	0,08
z13	-28,19	-25,9	51,86	27,78	-13,75	-17,25	-26,81	-9,379	4,68	-18,15	-26,99	-22,56	-28,2	14,34	-16,73	0,1488

Tabelle A7: Regressionskoeffizienten (Teil 2)

Hinweise: s.o.

## 4 Methoden zur dynamischen Erfassung von Unternehmensereignissen

Katharina Friz

### 4.1 Einleitung

Die genaue Erfassung der Aktivitäten von Forschung und Entwicklung (F&E) von Unternehmen ist eine zentrale Voraussetzung für die Ableitung zielgerichteter und maßgeschneiderter innovationspolitischer Maßnahmen (OECD 2015). Die bestehenden F&E Datenbestände und -erhebungen leisten hier einen wichtigen Beitrag. Insbesondere die F&E Querschnittserhebungen bieten eine sehr solide und umfangreiche Basis für F&E Berichterstattung und ermöglichen belastbare Aussagen auf höherer Aggregationsebene. Dennoch bieten sich noch Möglichkeiten die Erfassung von F&E Aktivitäten und somit dessen Nutzungsumfang zu erweitern. Insbesondere die Technologie-Push-Förderungen wurden in Deutschland in den letzten Jahren stetig ausgebaut (BMBF 2019). Somit steigt auch die Nachfrage nach dynamik- und technologiebasierten Innovationsstudien (Kladroba et al. 2018). Die vorhandenen F&E-Zahlen und Statistiken sind jedoch nach wie vor statisch und konzentrieren sich auf Wirtschaftszweige. Folglich sind technologiebasierte Indikatoren stark unterrepräsentiert. Auch die strukturellen und zeitlichen Dimensionen von Innovationsprozessen werden nicht berücksichtigt.

Bestehende Querschnittsbeobachtungen beschreiben einen Innovationsprozess zu einem bestimmten Zeitpunkt. Mit anderen Worten: eine Momentaufnahme. Sie sind somit nicht dynamisch, sondern statisch (Doreian & Stokman, 2005). Daher muss der Faktor „Zeit“ explizit berücksichtigt werden (Gräbner et al., 2018). Um diesem Problem entgegen zu wirken, werden Querschnittsdaten über die Zeit miteinander verbunden. Dabei kommt es aber zu methodischen Problemen. Ein zentrales Problem ist die unvollständige und uneinheitliche Erfassung von Konzernstrukturen und Umstrukturierungsprozesse in F&E Firmendatensätzen. Veränderungereignisse bei Bestandsdaten wie unter anderem Firmennamensänderungen, Fusionen und Übernahmen werden häufig nur unzureichend berücksichtigt. Dies erschwert sowohl die intertemporale Vergleichbarkeit der Grundgesamtheiten als auch die Kopplung einzelner Erhebungswellen. Aufgrund der Ein- und Austrittsdynamik der Unternehmen führt dies zu methodischen Problemen



bei der Konstruktion von Paneldatensätzen und bei der Auswertung von Längsschnittanalysen. Auch das Zusammenfügen (*mergen*) verschiedener Umfragedatensätze ist bis heute problematisch. Daher ist eine systematische Erfassung dieser veränderlichen Ereignisse auf der Knotenebene erforderlich.

Wir greifen diese Problematik auf und zeigen eine Möglichkeit, firmenübergreifende Querschnittsdaten über die Zeit zu verknüpfen. Zeitveränderliche, unvollkommene Strukturdimensionen eines wohlspezifizierten (technologischen) Innovationssystems dienen uns dabei als Basis. Die dadurch entstehenden Längsschnittanalysen ermöglichen die Umsetzung neuartiger Indikatorenkonzepte und erweitern den derzeitigen Anwendungsbereich für diese Daten.

Dieses Kapitel konzentriert sich auf die Entwicklung einer ereignisbasierten Erfassungssystematik und eines Kodierungssystems als eine Methode zur Umwandlung von statischen Mikrodaten in dynamische Nanodaten. Unser Ziel ist es, einen einzigartigen Längsschnittdatensatz zu entwickeln, welcher die Veränderungen innerhalb von Unternehmen und Unternehmensstrukturen während eines Beobachtungszeitraums erfasst. Dabei werden Veränderungen von Unternehmen strukturiert und mit eindeutigen Ereigniscodes erfasst. Die Grundidee ist, dass alles, was einem Unternehmen im Laufe der Zeit wiederfährt, sich mithilfe eines Datums und eines Ereigniscodes darstellen lässt. Die Methode wird am Beispiel des Technologiefeldes der deutschen Elektromobilität erprobt. Das Technologiefeld Elektromobilität zeichnet sich durch eine hohe Wissens- und Innovationsintensität aus und kann zudem als hoch transformativ und dynamisch (d.h. Veränderung bestehender Wertschöpfungsketten) eingestuft werden (Dijk et al. 2016; Donada und Attias 2015; Vergragt und Brown 2007). Aus diesen Gründen haben wir dieses Technologiefeld als Versuchsdatenobjekt ausgewählt. Dieser Ansatz bietet ein großes Potenzial, welcher in Zukunft auf andere Branchen oder Technologiefelder oder ganze Länder übertragen werden kann.

Unser Ansatz trägt in mehrfacher Hinsicht zur Erforschung der Industriedynamik und F&E Indikatorik bei. Bislang konzentriert sich die Sammlung der F&E-Aktivitäten auf Wirtschaftssektoren und vernachlässigt Technologiefelder. Darüber hinaus werden die Eintritts- und Austrittsdynamik einer Firmenpopulation in den aktuellen Daten nicht widerspiegelt. Unser Ansatz ermöglicht es, diese Veränderungen innerhalb eines Unternehmens nachzuvollziehen. Zudem gibt es derzeit keine adäquate Erfassung von Struktur, Dynamik und strategischer Positionierung von Unternehmen in sich verändernden Netzwerken. Die neue Datenstruktur erfasst diese Dynamik und entwickelt sich somit von statischen zu dynamischen

Daten. Letztlich schafft unser Ansatz die Grundlage, die Output-Messung innerhalb sich verändernder Innovationssysteme zukünftig besser zu erfassen.

Der Rest dieser Arbeit ist wie folgt gegliedert: Abschnitt zwei erläutert den konzeptionellen Rahmen, im dritten wird das Verarbeitungs- und Kodierungssystem auf der Knotenpunktdimension erläutert und gibt Einblicke in den praktischen methodischen Ansatz. Im vierten Abschnitt werden der erstellte Datensatz und die Datenbankstruktur vorgestellt und deren Vorzüge aufgezeigt und diskutiert. Der letzte Abschnitt gibt eine kurze Zusammenfassung und gibt einen Ausblick auf fortführende Arbeiten.

## 4.2 Der konzeptionelle Rahmen

Ein Technologiefeld entsteht durch Komplementaritäten und Synergien verschiedener wirtschaftlicher Kompetenzen. Aufgrund der zunehmenden Komplexität sind die Unternehmen oftmals nicht in der Lage, Lösungen innerhalb ihrer eigenen F&E-Anstrengungen zu finden (Pyka 2002). Technologischer Fortschritt wird also immer häufiger durch die Zusammenarbeit heterogener Akteure und Wissensfelder erreicht (Gräbner et al. 2018; Pyka 2002; Ramella 2016). Dies widerspricht dem neoklassischen Ansatz, der sich auf homogene Akteure konzentriert. Ferner widerspricht es der neoklassischen Annahme, dass Wissen ein „öffentliches Gut“ ist, welches sich durch die zwei Kriterien der nicht-Ausschließbarkeit und der nicht-Rivalität auszeichnet (Pyka et al. 2018). Dieses Wissensverständnis vernachlässigt sowohl die relationale Dimension von Wissenstransferprozessen auf der Inputseite als auch den oft kollektiven Charakter von Innovationsprozessen (kooperative F&E-Prozesse). Anstatt immer zugänglich zu sein, wird Wissen als "lokal (technologiespezifisch), stillschweigend (firmenspezifisch) und komplex (basierend auf einer Vielzahl von Technologie- und Wissenschaftsfeldern)" (Pyka 2002) betrachtet (siehe auch Atkinson und Stiglitz 1969; Polanyi 2009). Auch die strukturellen und zeitlichen Dimensionen von Innovationsprozessen (Indikatorik auf dynamischen Strukturen) sind Punkte, die mit der Auffassung von Wissen als öffentliches Gut nicht berücksichtigt werden. Lernen ist ein nichtlinearer Prozess, der von unvollkommenem (fehlerhaftem) und selektivem Verhalten begleitet wird (Dosi und Nelson 1994). Dies ist mit ökonomischen Standardansätzen, die auf linearen Input-Output-Beziehungen in der Innovation aufbauen, nicht erfassbar. Aufgrund dieser Einschränkungen wird in diesem Kapitel „Wissen“ aus der systemischen/evolutionären Perspektive betrachtet, in welcher Netzwerke eine zent-

rale Rolle bei inter-organisationalen und -personellen Wissenstransfer- und Lernprozessen spielen. Anders als in der klassischen Mikroökonomie wird hier davon ausgegangen, dass Unternehmen sich extern generiertes Wissen nicht ohne weiteres Zutun aneignen können. Um die neuesten technologischen Entwicklungen zu verstehen und anwenden zu können, benötigen Firmen absorptive Fähigkeiten. Diese Fähigkeiten erlangt ein Unternehmen, indem es selbst im Bereich F&E aktiv ist und sich somit eine eigene Wissensbasis aufbaut (Cohen und Levinthal 1989, 1990). Des Weiteren werden „Unvollkommenheiten“ im Rahmen von Wissenstransfer- und Lernprozessen in der evolutorischen Ökonomie als „Normalzustand“ und nicht als die Ausnahme betrachtet. Ein weiterer Vorteil dieses Ansatzes ist, dass der Faktor „Zeit“ Berücksichtigung findet. Aspekte wie Pfadabhängigkeiten („lock-in“), charakteristische Rückkopplungseffekte, Zeitverzögerungen und andere dynamische und nichtlineare Effekte fließen mit ein. Eine systematische Analyse von Innovation basierend auf Netzwerkstrukturen ist folglich notwendig.

In dieser Studie gehen wir von einem sehr einfachen und grundlegenden Verständnis von Netzwerken aus. Ein Netzwerk kann durch eine Reihe von Knoten und Verbindungen, die diese Knoten verbinden, vollständig beschrieben werden. In Anlehnung an Cantner und Graf (2011) sowie Brenner et al. (2011) spezifizieren wir ein Innovationsnetzwerk in folgender Weise (Kudic 2015): Ein interorganisationales Innovationsnetzwerk

1. besteht aus einer klar definierten Gruppe von unabhängigen Wirtschaftsakteuren (d.h. Unternehmen, Forschungsinstitute, Universitäten usw.),
2. umfasst alle direkten oder indirekten Verbindungen zwischen den Akteuren, während jede dieser Verbindungen oder Verbindungsstellen einen unilateralen, bilateralen oder multilateralen Austausch von Ideen, Informationswissen und Expertise darstellt,
3. ist in ein breiteres sozioökonomisches Umfeld eingebettet und
4. hat eine strategische Dimension in dem Sinne, dass die beteiligten Akteure zusammenarbeiten, um das in Gütern oder Dienstleistungen enthaltene neue Wissen neu zu kombinieren und zu generieren, um die Marktanforderungen und Kundenbedürfnisse zu erfüllen.

Netzwerke fördern die Schaffung und Verbreitung von Wissen, Lernen und Innovation (Cantner et al. 2010; Hanusch und Pyka 2006). Innovation und Lernen findet auf der Mikroebene von zwischenbetrieblichen Netzwerken statt und kann

die Zusammensetzung von Sektoren beeinflussen. Ebenso können Veränderungen in der Industriestruktur durch Fusionen, Übernahmen oder technologische Allianzen eine wichtige Quelle für die Schaffung von Wissen sein (Hanusch und Pyka 2006). Dementsprechend sollten Netzwerke nicht als statisch betrachtet werden, da sie sich im Laufe der Zeit verändern. Die Akteure treffen ihre Entscheidungen im Laufe der Zeit in Abhängigkeit von ihren Bedürfnissen, Fähigkeiten und Kooperationsstrategien. Dabei bauen sie neue Beziehungen auf und modifizieren bestehende oder schneiden sie ab (Kudic et al. 2012). So entwickeln sich Netzwerke im Zeitverlauf (Doreian und Stokman 2005). Die Betrachtung dieser Netzwerke als sich komplex entwickelnde sozioökonomische Systeme ergibt sich aus der Natur dieser zugrundeliegenden Prozesse. Um die Entwicklung von Netzwerken und Industriedynamiken vollständig zu verstehen, müssen wir sowohl das Entstehen als auch das Verschwinden von Verbindungen und Knoten erfassen. Knoteneintritte oder Knotenaustritte verändern Netzwerkprozesse auf der Mikroebene und wirken sich somit auf die strukturelle Konfiguration von Netzwerken im Laufe der Zeit aus. Daher ist es wichtig, sich auf dynamische Veränderungen und nicht auf statische Aktivitäten zu konzentrieren (Gräbner et al. 2016; Kudic et al. 2012). Um die Kräfte oder Determinanten der Veränderung von Netzwerken verstehen zu können, ist es darüber hinaus unerlässlich, diese Veränderungen in den Daten zu erfassen. Aus diesen Gründen wird die zeitveränderliche (nano-) Struktur des Systems in diesem Kapitel explizit auf der Knoten - Ebene (Industriedynamik) berücksichtigt.

### 4.3 Unternehmensereignisse auf der Knotenebene

Wie bereits im oberen Abschnitt erläutert, ist Innovation eine Entwicklung über die Zeit (Pyka et al. 2018). Des Weiteren sind auch Industrien genau wie Technologiefelder einem kontinuierlichen Wandel unterzogen. Eine Vernachlässigung von Eintritts- und Austrittsdynamiken in der Datenerfassung führt daher zu einem unvollständigen und stark verzerrten Bild. Aus diesem Grund ist die Betrachtung von Querschnittsdaten wenig aussagekräftig. Der Aufbau eines Längsschnittdatensatzes erfordert aber eine systematische Einbeziehung aller Änderungen der Bestandsdaten. Erst dadurch kann die Populationsdynamik von Unternehmen hinreichend abgebildet werden. Um dies zu realisieren, bedarf es einer näheren Betrachtung der Knotenebene.

In diesem Abschnitt werden daher die veränderlichen Ereignisse auf der Knotenebene kurz vorgestellt. Mit „veränderlich“ ist gemeint, dass diese Ereignisse die

Zusammensetzung der Akteure innerhalb einer betrachteten Populationsgruppe im Laufe der Zeit ändern können. Das bedeutet, dass Firmen oder andere Arten von Organisationen in die Populationsgruppe eintreten können (Entry-Event), z.B. durch Neugründungen oder Ausgliederungen, und sie können aus der Population ausscheiden (Exit-Event), z.B. durch Schließung oder Konkurs. Zu den wichtigsten Veränderungsereignissen gehören: Unternehmensgründungen, Namensänderungen, Joint Ventures, Fusionen und Übernahmen, Ausgliederungen sowie Insolvenz und Gesamtliquidation. Diese Ereignisse und ihre Auswirkung auf die Populationsgröße werden nun näher beschrieben.

Entry-Events:

1. Neugründungen:

Ein Unternehmen wird innerhalb des Beobachtungszeitraumes neu gegründet und erhält sein eigenes Label. Infolgedessen erhöht sich die Populationsgröße innerhalb des zu untersuchendem Technologiefeldes.

2. Spin Off:

a) Akademischer Spin Off:

Die Unternehmensausgründung entstammt aus einer Zusammenarbeit von Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Dadurch entsteht eine neue wirtschaftliche Einheit, welchem ein neues Label zugewiesen wird. Somit erhöht ein akademisches Spin-Off die Populationsgröße.

b) Nicht akademischer Spin-Off

Bei einem nicht akademischen Spin Off ist bei der Ausgründung kein Akademiker beteiligt. Dabei wird unterschieden, ob es sich um eine eigenständige Abkoppelung oder um einen Spin-Off als Erweiterung des funktionalen Bereiches handelt. Bei einer Erweiterung des funktionalen Bereiches wird ein Bereich des Konzerns in Form von einer Tochtergesellschaft ausgegliedert. Damit verändert sich die Konzernstruktur und der Konzern wird kleiner. Gleichzeitig bekommt das neue Tochterunternehmen sein eigenes Label und vergrößert die Population.

Bei einer eigenständischen Abkoppelung löst sich ein Tochterunternehmen von dem Mutterkonzern. Auch dies bewirkt, dass sich die Konzernstruktur verändert. Allerdings bleibt die Populationsgröße konstant.

### 3. Joint Venture

Bei einem Joint Venture beschließen zwei oder mehrere Partnerunternehmen für ein gemeinsames Vorhaben miteinander zu kooperieren. Das dafür gemeinsam gegründete Unternehmen bekommt sein eigenes Label und erhöht die Populationsgröße. Die kooperierenden (Ursprungs-)Unternehmen sind weiterhin wirtschaftlich und rechtlich unabhängig voneinander und somit bleiben ihre Labels in der Population bestehen. Allerdings ändert sich die Konzernstruktur.

#### Entry- und Exits-Events

##### 1. Umfirmierung

Ein Unternehmen firmiert den Handelsnamen um. Dies bedeutet, dass der alte Firmenname und das zugehörige Label nicht länger gültig sind und deaktiviert werden. Die Umfirmierung stellt daher gleichzeitig auch ein Exit-Event dar. Nach der Umfirmierung trägt das Unternehmen nun einen neuen Namen (eventuell auch ein Rechtsformwechsel) und erhält folglich ein neues Label. Aus diesem Grunde ändert sich die Populationsgröße nicht.

##### 2. Merger (Fusion)

Bei einem Merger verschmelzen zwei Unternehmen miteinander und es entsteht ein neues Unternehmen mit einer vergrößerten Konzernstruktur. Die Populationsgröße reduziert sich, da zwei Unternehmen austreten und durch ein neu entstandenes Unternehmen ersetzt werden.

##### 3. Akquisition

Bei einer Akquisition erwirbt ein Unternehmen eine andere Firma bzw. einen Teil davon. In dem Fall, dass eine andere Firma vollständig übernommen wird, tritt diese aus der Population aus und demzufolge verkleinert sich die Populationsgröße. Der übernehmende Konzern vergrößert sich. Wird dagegen nur ein Teil erworben, bleibt die Populationsgröße unverändert. Nur die Konzernstruktur und die dazugehörigen Labels müssen angepasst werden.

#### Exit-Events

##### 1. Insolvenz/Konkurs

Wenn ein Unternehmen nicht mehr zahlungsfähig ist, muss es Konkurs melden und wird aufgelöst. Demnach scheidet dieses Unternehmen aus der Population aus und dessen Label muss deaktiviert werden.

##### 2. Gesamtliquidation

Bei der Gesamtliquidation eines Unternehmens wird dieses liquide, indem es alle

seine Vermögensgegenstände verkauft. Dementsprechend ist dieses Unternehmen nicht länger Bestandteil der Population. Das Unternehmenslabel muss deaktiviert werden und die Populationsgröße verkleinert sich.

Um die Entwicklung von Unternehmenspopulationen in Zeitverlauf beobachten zu können, müssen die Ein- und Austritte von Akteuren im Zeitverlauf erfasst werden. Gleiches gilt für die Erfassung von Firmenzusammenschlüssen, Übernahmen und Umfirmierungen. Im nächsten Abschnitt wird das Ereignisschema näher erläutert, welches ermöglicht diese Ereignisse in den Daten zu reflektieren.

#### 4.4 Die ereignisbasierte Erfassungssystematik

Für den Aufbau eines Längsschnittdatensatzes ist es unerlässlich, ein Ereignisschema zu entwickeln, das die Veränderungen im Unternehmen und seiner Struktur im Laufe der Zeit erfasst und diese Veränderungen mittels eindeutiger Ereigniscodes widerspiegelt. Hinzu kommt, dass sich die üblichen wirtschaftszweigbasierten Abgrenzungen von Unternehmenspopulationen bei technologiebasierten Betrachtungen als unbrauchbar erweisen. Ziel ist es daher die wichtigsten organisatorischen Umstrukturierungsprozesse mit wenigen, gut durchdachten Ereigniscodes aufzunehmen und an dem Technologiefeld Elektromobilität anzuwenden. Dazu gehören die eben beschriebenen Unternehmensereignisse. Diese werden in Eintrittsereignisse und Austrittsereignisse unterteilt, je nachdem, ob ein Ereignis zu einer Zunahme oder Abnahme der Gesamtbevölkerung führt. Die Anwendung eines solchen Ereignisschemas ermöglicht es, die „Lebensgeschichte“ eines Unternehmens nachzuvollziehen. Die oben aufgelisteten Unternehmensereignisse veranschaulichen, dass jedes Ereignis unterschiedliche Auswirkungen auf die Konzernstruktur der beteiligten Unternehmen oder auf die Gesamtpopulation von Unternehmen innerhalb eines Industriezweigs oder Technologiebereichs hat. Bei der Gestaltung des Schemas ist deshalb darauf zu achten, dass die Ursachen und strukturellen Folgen der verschiedenen Ereignistypen differenziert und selektiv erfasst werden.

Die Ereignisse sind in Abbildung 2 in Form eines Ereignisschemas zusammengefasst. Jedes Ereignis erhält seinen eigenen Ereigniscode, um die Firmengeschichte innerhalb der Daten zu identifizieren. Darüber hinaus ist es für den Aufbau einer Paneldatenstruktur wichtig, Informationen auch dann zu erfassen, wenn keine Ereignisse auftreten, wenn eine Firma die Grundgesamtheit am Ende des Beobachtungszeitraums nicht verlässt oder wenn Firmen ohne weitere Angaben ein-

oder austreten. Daher wurde für diese Events auch jeweils ein eigener Code zugeordnet.

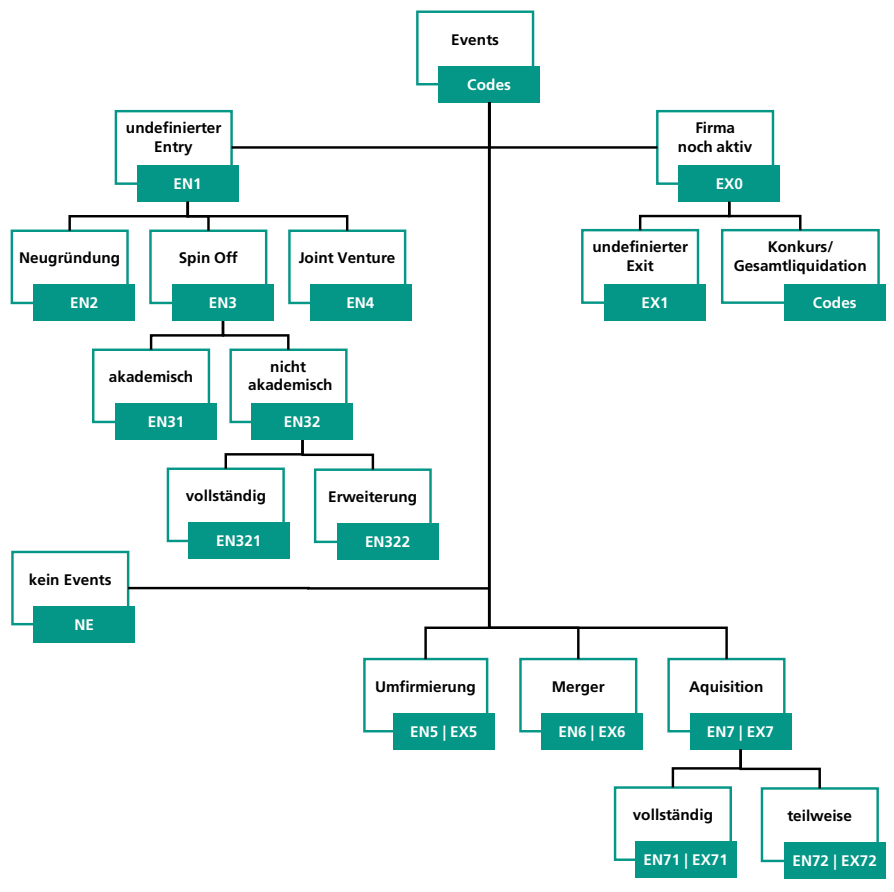


Abb. 2: Ereignisschema



In einem ersten Schritt werden mögliche Firmenereignisse aufgelistet und aufgrund ihrer Implikationen für die Firmenpopulation in Gruppen eingeteilt. Zur Kategorie der Eintrittsereignisse (Entry-Events) gehören Start-ups, Spin Offs und Joint Ventures. Diese Firmenereignisse erweitern die beobachtete Population. Neue Firmen treten in die Population ein und müssen durch den jeweiligen Eintrittscode, der Auskunft über die Art des Ereignisses gibt, und ein eigenes Label, das die neue Firma identifiziert, erfasst werden. Im Falle einer Ausgründung (Spin Off) ist das Event entsprechend der verschiedenen möglichen Hintergründe noch weiter mit spezifischen Codes untergliedert<sup>39</sup>.

Die Kategorie Austrittsereignis umfasst Konkurs und Gesamtliquidation, welche beide unter dem Code „EX2“ zusammengefasst sind.

#### 4.4.1 Vorgehensweise beim ereignisbasierten Erweitern des Datensatzes

Auf der Grundlage der eben vorgestellten Ereigniscodes erfolgt die Datenerfassung und Kodierung. Das Ziel besteht darin, von einer statischen Ausgangsliste zu einer dynamischen Paneldatenstruktur überzugehen. Zu diesem Zweck müssen zusätzlich beteiligte Unternehmen (z.B. die Vorgängerfirmen bei der Namensänderung der Veranstaltung), die nicht in der statischen Liste der Unternehmen erscheinen, in die erweiterte Liste der Unternehmen aufgenommen werden. Der große Vorteil unseres Ansatzes ist es, dass mit (soweit möglich) öffentlich zugänglichen Sekundärdateninformationen und vorhandenen F&E-Erhebungsdaten gearbeitet wird. Die Daten des deutschen Handelsregisters stellen dabei eine zentrale Informationsquelle dar. Diese Daten enthalten Angaben zu chronologischen Informationen der Unternehmensentwicklung, indem sie die Veränderungen der Rechtsform und der Rechtsverhältnisse innerhalb eines Unternehmens im Zeitablauf dokumentieren. Diese Rechtsformänderungen bilden die Basis für die Zuordnung der definierten Ereigniscodes für die jeweiligen Unternehmen. Da die vom Handelsregister verwendeten Bezeichnungen gleichbleiben, konnte eine Liste von Schlagwörtern erstellt werden. Tabelle 1 listet die meist verwendeten Schlagwörter auf und ordnet diese den entsprechenden Unternehmensereignissen bzw. -codes zu.

---

<sup>39</sup> Solche Differenzierungen sind natürlich nur möglich, wenn die verfügbaren Informationen ausreichend umfassend sind. Der Vorteil des geschaffenen Ereignisschemas besteht jedoch darin, dass es immer möglich ist, auf der verfügbaren Informationsebene zu bleiben und dennoch über den adäquaten Code oder Ereignisebene zu verfügen.

Schlagwörter	Bedeutung	in Betracht kommendes Ereignis	Zugehöriger Eventcode
Firma geändert, bisher ... nun	Änderung des Handelsnamens	Umfirmierung	EN5   EX5
Verschmelzungs- vertrag	Übertragung des gesamten Vermö- gens eines Rechtsträgers auf einen anderen schon bestehenden oder neu gegründeten Rechtsträger.	Merger, Akquisi- tion, Joint Ven- ture	EN6   EX6, EN7   EX7, EN4
Verschmelzung zur Aufnahme	Übernehmender Rechtsträger existi- ert bereits und wird nicht erst im Verschmelzungsprozess neu gegrün- det.	Akquisition	EN7   EX7
Verschmelzung zur Neugründung	Gründung eines neuen Rechtsträ- gers	Joint Venture	EN4
übernehmender Rechtsträger	Das Unternehmen ist übernehmen- der Rechtsträger, wenn es ein ande- res Unternehmen akquiriert.	Eintritt durch Ak- quisition	EN7
übertragender Rechtsträger	Das Unternehmen ist übertragender Rechtsträger, wenn es von einem anderen Unternehmen akquiriert wird.	Austritt durch Akquisition	EX7
Ausgliederung	Bei einer Ausgliederung handelt es sich um ein Unternehmen oder Tochtergesellschaft, die durch Ab- spaltung von der Muttergesellschaft erfolgt.	(nicht) akademi- scher Spin Off	EN31, EN32
Übernahme durch Ausgliederung		(nicht) akademi- scher Spin Off, Akquisition	EN31, EN32, EN7   EX7
Insolvenzverfahren eröffnet, Gesell- schaft ist aufgelöst	Zahlungsfähigkeit	Insolvenz	EX2
Liquidation, Gesell- schaft ist aufgelöst	Gesamtliquidation	Gesamtliquida- tion	EX2

Schlagwörter	Bedeutung	in Betracht kommendes Ereignis	Zugehöriger Eventcode
Firma wurde ge- gründet		Nicht spezifizier- tes Entry-Event	EN1
Firma noch aktiv		Firma noch aktiv	ENO
Firma ist erloschen, Gesellschaft ist auf- gelöst.		Nicht spezifizier- tes Exit-Event	EX1

Tab. 3: Zuordnung der Rechtsformänderungen

Anschließend wurden diese Schlagwörter sukzessive sowohl händisch als auch mithilfe eines eigens kreierten *textmining tools* aus den Handelsregisterdaten ausgelesen und die dort festgehaltenen Rechtsformänderungen der Unternehmen den Ereigniscodes zugeordnet. Im nächsten Abschnitt wird nun der auf diese Weise erweiterte Datensatz vorgestellt.

#### 4.4.2 Der Datensatz

Ausgangspunkt ist die statische Firmenpopulation von 411 Unternehmen, welche in Deutschland im Technologiefeld Elektromobilität<sup>40</sup> beschäftigt sind. Abbildung 3 zeigt die räumliche Verteilung dieser Unternehmen innerhalb Deutschlands. Insbesondere in den Bundesländern mit einem stark ausgeprägten Automobilsektor wie Baden-Württemberg und Bayern sind viele Unternehmen aus dem Technologiefeld angesiedelt. Allerdings finden sich auch über andere Bundesländer verteilt Unternehmen aus dem Bereich Elektromobilität.

Der dynamische Beobachtungszeitraum umfasst einen Zehnjahreszeitraum vom 01.01.2007 bis zum 31.12.2017<sup>41</sup>. Die Beschränkung des Erfassungszeitraums ergab sich aus der Verfügbarkeit der Daten. Das Handelsregister hatte im Jahr 2007 mit der digitalen Dokumentation begonnen. Innerhalb dieses Zeitraums

<sup>40</sup> Der Datensatz wurde durch die Sammlung von Daten aus der Patentdatenbank PATSTAT, dem Förderkatalog für Bundesprojekte, dem Batterieforum, das bibliographische Kooperationen im WoS enthält, der CORDIS-Datenbank für EU-Projekte und Pressemitteilungen zusammengestellt.

<sup>41</sup> Wenn allerdings Informationen zu einem Unternehmen über das Jahr 2017 hinaus zur Verfügung standen, wurden diese noch mit aufgenommen.

wurde daher der ereignishistorische Datensatz aufgebaut. Die Ereignishistorie bezieht sich ausschließlich auf Unternehmen, daher wurden andere beteiligte Organisationen wie Universitäten und Forschungsinstitute nicht in diesen Firmendatensatz mit aufgenommen, denn zentrale Aufgabe war es, die Analyseeinheit "Unternehmen" im Zeitablauf entlang aller strukturellen Ereignisse zu verfolgen. Auf diese Weise wurde der Datensatz auf 1239 Firmen erweitert<sup>42</sup>.



Abb. 3: Räumliche Verteilung der (statischen) Unternehmen im Technologiefeld E-Mobilität

Im folgendem wird anhand zweier exemplarisch ausgewählter Unternehmensbeispiele aufgezeigt, wie eine ganzheitliche Erfassung der Unternehmensereignisse den Datensatz erweitert und der Mehrwert dieser Art der Erfassung aufgezeigt. Die Auswahl der Unternehmen bezieht sich auf die häufigsten vorkommenden Veränderungsereignisse.

Tabelle 2 zeigt die Unternehmensereignisse für das erste Beispiel. Die statische Ausgangsliste hatte die Brückner Maschinenbau GmbH & Co. KG als ein im Tech-

<sup>42</sup> Zur Übersichtlichkeit wurden Unternehmen, die durch Akquisitionsgeschäfte etc. hinzukamen, nur dann in dem Datensatz berücksichtigt, wenn diese für das Technologiefeld relevant waren.

nologiefeld Elektromobilität tätiges Unternehmen identifiziert. Unter Einbeziehung der Handelsregisterdaten wurde ersichtlich, dass bei der Gründung im Jahr 2006 der Name des Unternehmens Brückner Anlagenbau GmbH & Co. KG betrug und erst im Jahr 2007 in den Namen Brückner Maschinenbau GmbH & Co. KG umfirmiert wurde. Des Weiteren war das Unternehmen im Jahr 2007 an einem nicht-akademischen Spin Off beteiligt und gliederte die Brückner Technology Holding GmbH aus, welche dann 2014 in die Brückner Group GmbH umbenannt wurde. Beide Unternehmen waren bis Ende des Beobachtungszeitraums noch aktiv.

Dieses Beispiel zeigt auf, dass zum einen durch nicht Berücksichtigung von Unternehmensereignissen Informationen zu den Umstrukturierungsprozessen verloren gehen und zum anderen würde sich die Kopplung von Erhebungswellen aus dem Jahr 2006 und 2007 durch die Namensänderung des Unternehmens als problematisch erweist. Denn ohne die Integration der Ereigniscodes in den Datensatz, würden die vorgenommenen Umstrukturierungsprozesse dazu führen, dass die verschiedenen Namensbezeichnungen für das identische Unternehmen die intertemporale Vergleichbarkeit in den Daten unmöglich machen.

ID	Name	Eventcode	Event Nr.	Tag	Monat	Jahr	Kommentar	Involvierte ID
ID021	Brückner Anlagenbau GmbH & Co. KG	EN1	1	17	10	2006	Firma wurde gegründet	
ID021	Brückner Anlagenbau GmbH & Co. KG	EX5	2	15	2	2007	Austritt aus Umfirmierung	ID022
ID022	Brückner Maschinenbau GmbH & Co. KG	EN5	1	15	2	2007	Eintritt aus Umfirmierung	ID021
ID023	Brückner Technology Holding GmbH	EN32	1	10	08	2007	Eintritt aus nicht-akademischen Spin Off	ID022
ID023	Brückner Technology Holding GmbH	EX5	2	04	03	2014	Austritt aus Umfirmierung	ID024

ID	Name	Eventcode	Event Nr.	Tag	Monat	Jahr	Kommentar	Involvierte
								ID
ID024	Brückner Group GmbH	EN5	3	04	03	2014	Eintritt aus Umfirmierung	ID023
ID024	Brückner Group GmbH	EX0	4	31	12	2017	Firma noch aktiv	EX0
ID022	Brückner Maschinenbau GmbH & Co. KG	EX0	2	31	12	2017	Firma noch aktiv	EX0

Tab. 4: Beispiel Brückner Maschinenbau GmbH

Wie wichtig die Einbeziehung allein des Ereignisses Umfirmierung ist, zeigt auch das nächste Beispiel in Tabelle 3. Im Falle der Vossloh Kiepe GmbH wären allein drei Namensänderungen nicht berücksichtigt worden. Dieses Beispiel ist relevant, da die Namensänderungen nicht nur in der Vergangenheit lagen, sondern eine Umfirmierung auch noch im Jahr 2017 stattgefunden hat und das Unternehmen nun den offiziellen Namen Kiepe Electric GmbH trägt. Des Weiteren akquirierte das Unternehmen noch die Vossloh Kiepe Main Line Technology GmbH im Jahr 2016 und die Electric Beteiligungs GmbH. Die Erfassung der Akquisitionen ist besonders wichtig, um die Konzernstrukturen besser nachvollziehen zu können. Dies wird nochmals deutlich, wenn große Unternehmen wie die TÜV Rheinland Kraftfahrt GmbH und die Daimler AG betrachtet werden. Die TÜV Rheinland Kraftfahrt GmbH und die Daimler AG waren an Akquisitionsgeschäfte bei 25 Unternehmen beziehungsweise bei 15 Unternehmen innerhalb des Erfassungszeitraums beteiligt.

ID	Name	Eventcode	Event Nr.	Tag	Monat	Jahr	Kommentar	Involvierte ID
ID1232	Kiepe Elektrik Verwaltungsgesellschaft mbH	EN1	1	21	2	1997	Firma wurde gegründet	
ID1232	Kiepe Elektrik Verwaltungsgesellschaft mbH	EX5	1	28	10	2002	Austritt aus Umfirmierung	ID1233
ID1233	Kiepe Elektrik GmbH	EN5	2	28	10	2002	Eintritt aus Umfirmierung	ID1232
ID1233	Kiepe Elektrik GmbH	EX5	1	20	5	2003	Austritt aus Umfirmierung	ID1234
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	EN5	2	20	5	2003	Eintritt aus Umfirmierung	ID1233  ID1235
ID1235	Vossloh Kiepe Main Line Technology GmbH	EN7	1	23	8	2016	Eintritt aus Akquisition	ID1234
ID1235	Vossloh Kiepe Main Line Technology GmbH	EX7	2	23	8	2016	Austritt aus Akquisition	
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	EX5	2	5	5	2017	Austritt aus Umfirmierung	ID1236
ID1236	Kiepe Electric GmbH	EN5	1	5	5	2017	Eintritt aus Umfirmierung	ID1234  ID1237
ID1237	Electric Beteiligungs GmbH	EN7	1	29	9	2017	Eintritt aus Akquisition	ID1236
ID1237	Electric Beteiligungs GmbH	EX7	2	29	9	2017	Austritt aus Akquisition	
ID1236	Kiepe Electric GmbH	EX0	2	31	12	2017	Firma noch aktiv	

Tab. 5: Beispiel Vossloh Kiepe GmbH

Der auf diese Weise erweiterte Datensatz wurde anschließend in eine Paneldatenstruktur überführt, die nun exemplarisch anhand des bereits erläuterten Beispiels der Kiepe Electric GmbH vorgestellt wird. Tabelle 4 zeigt das „long“ Format des Paneldatensatzes, der die Grundlage für zukünftige Längsschnittauswertungen schafft. Für jedes Jahr wird damit erfasst, was mit dem jeweiligen Unternehmen passiert und somit die Knotendynamik der Unternehmen abgebildet.

Der Aufbau dieser Paneldatenstruktur erlaubt eine Einspeisung der Daten in die eigens kreierte Datenbankstruktur. Diese Datenbankstruktur wird im folgenden Abschnitt kurz vorgestellt.



Firmen ID	Name	Event code	Event Tag	Event Monat	Event Jahr	Kommentar	Involvierte ID
ID1232	Kiepe Elektrik Verwaltungsgesellschaft mbH	EN1	21	2	1997	Firma wurde gegründet	
ID1232	Kiepe Elektrik Verwaltungsgesellschaft mbH	NE	1	1	1998	Kein Event	
ID1232	Kiepe Elektrik Verwaltungsgesellschaft mbH	NE	1	1	1999	Kein Event	
ID1232	Kiepe Elektrik Verwaltungsgesellschaft mbH	NE	1	1	2000	Kein Event	
ID1232	Kiepe Elektrik Verwaltungsgesellschaft mbH	NE	1	1	2001	Kein Event	
ID1232	Kiepe Elektrik Verwaltungsgesellschaft mbH	EX5	28	10	2002	Austritt aus Umfirmierung	ID1233
ID1233	Kiepe Elektrik GmbH	EN5	28	10	2002	Eintritt aus Umfirmierung	ID1232
ID1233	Kiepe Elektrik GmbH	EX5	20	5	2003	Austritt aus Umfirmierung	ID1234
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	EN5	20	5	2003	Eintritt aus Umfirmierung	ID1233  ID1235
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	NE	1	1	2004	Kein Event	ID1233  ID1235

Firmen ID	Name	Event code	Event Tag	Event Monat	Event Jahr	Kommentar	Involvierte ID
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	NE	1	1	2005	Kein Event	ID1233  ID1235
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	NE	1	1	2006	Kein Event	ID1233  ID1235
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	NE	1	1	2007	Kein Event	ID1233  ID1235
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	NE	1	1	2008	Kein Event	ID1233  ID1235
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	NE	1	1	2009	Kein Event	ID1233  ID1235
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	NE	1	1	2010	Kein Event	ID1233  ID1235
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	NE	1	1	2011	Kein Event	ID1233  ID1235
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	NE	1	1	2012	Kein Event	ID1233  ID1235
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	NE	1	1	2013	Kein Event	ID1233  ID1235
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	NE	1	1	2014	Kein Event	ID1233  ID1235
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	NE	1	1	2015	Kein Event	ID1233  ID1235
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	NE	1	1	2016	Kein Event	ID1233  ID1235
ID1234	Vossloh Kiepe GmbH	EX5	5	5	2017	Austritt aus Umfirmierung	ID1236

Firmen ID	Name	Event code	Event Tag	Event Monat	Event Jahr	Kommentar	Involvierte ID
ID1235	Vossloh Kiepe Main Line Technology GmbH	EN7	23	8	2016	Eintritt aus Akquisition	ID1234
ID1235	Vossloh Kiepe Main Line Technology GmbH	EX7	23	8	2016	Austritt aus Akquisition	
ID1236	Kiepe Electric GmbH	EN5	5	5	2017	Eintritt aus Umfirmierung	ID1234  ID1237
ID1236	Kiepe Electric GmbH	EX0	31	12	2017	Firma noch aktiv	

Tab. 6: „long“ Format des Paneldatensatzes



### 4.4.3 Die Datenbankstruktur

Die auf dem erweiterten Datensatz aufbauende dynamische Datenbankstruktur ermöglicht eine systematische Erfassung der Populationsdynamik und schafft gleichzeitig die Voraussetzung für die Ergänzung von innovationsökonomisch relevanten Informationen wie Umsatz, Beschäftigte, Branche, Patente, Standort etc., die aus verschiedenen Informationsquellen wie dem Handelsregister, ORBIS und PATSTAT hinzugefügt werden. Dies gelingt, indem die Datenbank in vier Datenbankkategorien aufgeteilt wird (siehe auch Abbildung 4). In der roten Kategorie werden die primären Unternehmensdaten abgelegt und in der grünen sind die eventbasierten Daten hinterlegt. Die blaue Kategorie enthält Informationen zu der Förderdatenbank. Darüber lässt sich feststellen, ob die aufgelisteten Unternehmen des Technologiefeldes Elektromobilität öffentlich gefördert wurden: unter anderem findet man dort Angaben zur Höhe der Unterstützung, Zeitraum, Eigenbeitrag, Kooperationen und Träger. Die violette Kategorie ist die Schnittstelle zu anderen Datenbanken wie dem Handelsregister, ORBIS und PATSTAT.

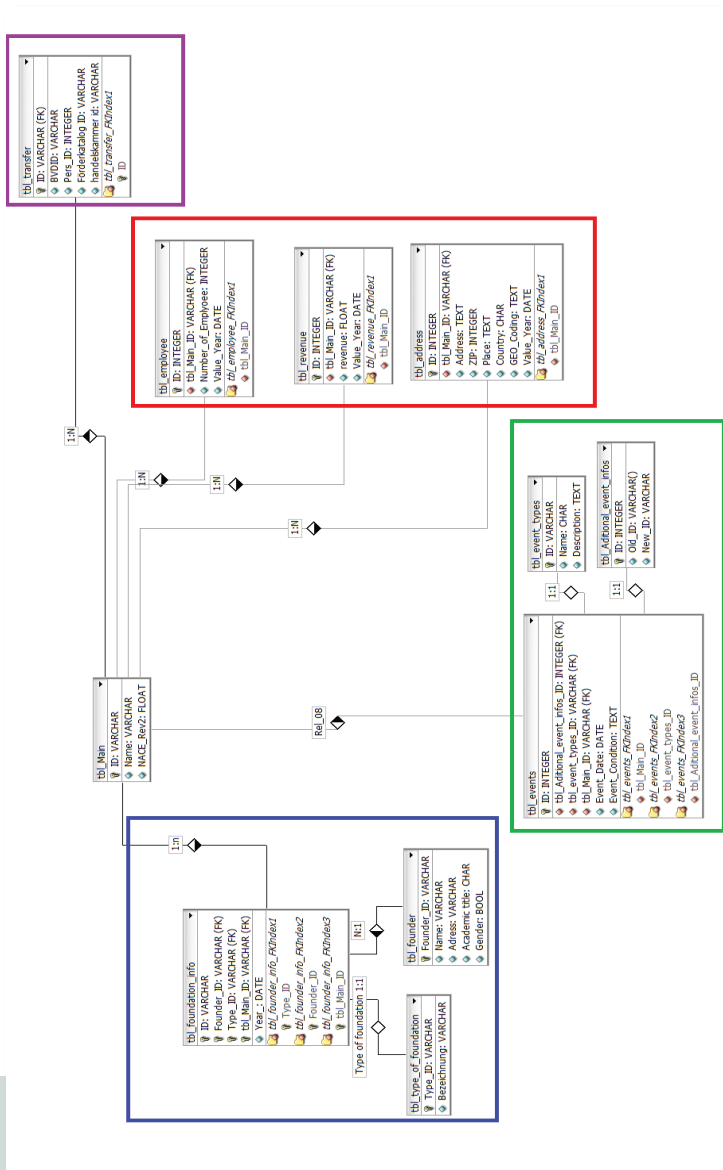


Abb. 4: Aufbau der Datenbankstruktur

Durch diese Schnittstellen bietet diese Datenbankstruktur einen deutlichen Mehrwert. Ein entscheidender Vorteil ist, dass sich die Daten ohne großen zeitlichen

Aufwand jährlich aktualisieren lassen. Des Weiteren besteht das Potenzial, die Datenbank mit einfachen Mitteln zu erweitern.

Diese dynamische Datenbankstruktur ermöglicht eine systematische Erfassung der Populationsdynamik und bildet eine Grundlage für die Ergänzung von Unternehmensattributen im Zeitverlauf auf der Basis verschiedener sekundärer Datenquellen. Unsere Vorarbeiten bilden somit die Grundlage für die dynamische Erfassung von Netzwerkstrukturen.

#### 4.5 Fazit

Dieses Kapitel stellt die Entwicklung eines methodischen „Prototypen“ zur empirischen Beobachtung der Struktur­dynamik von Unternehmen vor. Unter Einbeziehung der Ein- und Austrittsdynamik von Unternehmen gelingt es einen Paneldatensatz aufzubauen, der die Konzernstrukturen und Umstrukturierungsprozesse vollständig und einheitlich in den Daten erfasst. Mittels eindeutiger Ereigniscodes können Unternehmensstrukturereignisse wie beispielsweise Übernahme, Zusammenschluss, oder Ausgründung in den Daten widerspiegelt werden. Auf diese Weise werden die „Lebensgeschichten“ der an sich nur statisch dokumentierten Unternehmen rekonstruiert. Das von uns entwickelte Kodierungssystem ermöglicht somit, Querschnittsdaten durch diese Strukturevents miteinander zu verbinden und stellt damit eine Methode dar, wie statische Mikro- in dynamische Nanodaten transformiert werden können. Die zeitveränderliche (Nano-) Struktur des Systems wird damit explizit auf der Knotenebene und durch die Verknüpfung zu Datenbanken wie der Förderdatenbank, die unter anderem Angaben zu Forschungsk Kooperationen enthält, auch auf der Kantenebene berücksichtigt. Als Basis dient uns dabei das evolutorische Wissensverständnis, welches von zeitveränderlichen, unvollkommenen Strukturdimensionen eines wohl spezifizierten (technologischen) Innovationssystems ausgeht.

Die hier vorgestellte methodische Vorgehensweise kann zukünftig auf weitere Sektoren bzw. Technologiefelder oder ganze Länder angewandt werden und ermöglicht dynamische Netzwerkanalysen aller Technologien oder Industriezweige. Des Weiteren lassen sich auf Basis der dynamischen Dokumentation der Unternehmensereignisse weitere F&E-Output Indikatoren entwickeln. Beispielsweise ermöglicht die Aufnahme der Umstrukturierungsprozesse innerhalb von Unternehmen in dem Datensatz, dass auch die Patenthistorie von Unternehmen nachgezeichnet werden kann. Die Patenthistorie könnte damit eine wertvolle Ergänzung der F&E Indikatorik auf der Outputseite des Forschungsprozesses leisten.

## 4.6 Literaturverzeichnis

- Atkinson, Anthony B.; Stiglitz, Joseph E. (1969): A New View of Technological Change. In: *The Economic Journal* 79 (315), S. 573. DOI: 10.2307/2230384.
- BMBF (2019): Der Haushalt des Bundesministeriums für Bildung und Forschung steigt. Das zeigt: Bildung und Forschung genießen hohe Priorität. Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/de/der-haushalt-des-bundesministeriums-fuer-bildung-und-forschung-202.html>.
- Brenner, Thomas; Cantner, Uwe; Graf, Holger (2011): Innovation Networks: Measurement, Performance and Regional Dimensions. In: *Industry and Innovation* 18 (1), S. 1–5. DOI: 10.1080/13662716.2010.528925.
- Cantner, Uwe; Conti, Elisa; Meder, Andreas (2010): Networks and Innovation: The Role of Social Assets in Explaining Firms' Innovative Capacity. In: *European Planning Studies* 18 (12), S. 1937–1956. DOI: 10.1080/09654313.2010.515795.
- Cantner, Uwe; Graf, Holger (2011): 15 Innovation networks: formation, performance and dynamics. In: Cristiano Antonelli (Hg.): *Handbook on the economic complexity of technological change*. Cheltenham [England]: Edward Elgar Pub.
- Cohen, Wesley M.; Levinthal, Daniel A. (1989): Innovation and Learning: The Two Faces of R & D. In: *The Economic Journal* 99 (397), S. 569. DOI: 10.2307/2233763.
- Cohen, Wesley M.; Levinthal, Daniel A. (1990): Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. In: *Administrative Science Quarterly* 35 (1), S. 128. DOI: 10.2307/2393553.
- Dijk, Marc; Wells, Peter; Kemp, René (2016): Will the momentum of the electric car last? Testing an hypothesis on disruptive innovation. In: *Technological Forecasting and Social Change* 105, S. 77–88. DOI: 10.1016/j.techfore.2016.01.013.
- Donada, Carole; Attias, Danielle (2015): Food for thought: which organisation and ecosystem governance to boost radical innovation in the electromobility 2.0 industry? In: *IJATM* 15 (2), S. 105. DOI: 10.1504/IJATM.2015.068545.



- Doreian, P.; Stokman, F. N. (2005): The dynamics and evolution of social networks. In: P. Doreian und F. N. Stokman (Hg.): *Evolution of Social Networks*. 2nd ed. New York: Gordon and Breach, S. 1–17. Online verfügbar unter <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9780203059500/chapters/10.4324/9780203059500-5>.
- Dosi, Giovanni; Nelson, Richard R. (1994): An introduction to evolutionary theories in economics. In: *J Evol Econ* 4 (3), S. 153–172. DOI: 10.1007/BF01236366.
- Gräbner, Claudius; Heinrich, Thorsten; Kudic, Muhamed; Vermeulen, Ben (2018): The dynamics of and on networks: an introduction. In: *International Journal of Computational Economics and Econometrics* 8 (3/4), S. 229–241.
- Gräbner, Claudius; Heinrich, Torsten; Kudic, Muhamed (2016): Structuration processes in complex dynamic systems - an overview and reassessment. In: *MPRA Paper* (69095). Online verfügbar unter <https://ideas.repec.org/p/pra/mprapa/69095.html>.
- Hanusch, H.; Pyka, A. (2006): Principles of Neo-Schumpeterian Economics. In: *Cambridge Journal of Economics* 31 (2), S. 275–289. DOI: 10.1093/cje/bel018.
- Kladroba, Andreas; Kudic, Muhamed; Friz, Katharina; Buchmann, Tobias; Wolf, Patrick (2018): Technologien statt Branchen: Eine Neuauswertung der FuE-Erhebung 2015. In: *AStA Wirtsch Sozialstat Arch* 12 (2), S. 87–104. DOI: 10.1007/s11943-018-0226-z.
- Kudic, Muhamed (2015): *Innovation Networks in the German Laser Industry*. Cham: Springer International Publishing.
- Kudic, Muhamed; Pyka, Andreas; Günther, Jutta (2012): Determinants of Evolutionary Change Processes in Innovation Networks – Empirical Evidence from the German Laser Industry. In: *IWH Discussion Papers* (7/2012). Online verfügbar unter <https://ideas.repec.org/p/zbw/iwhdps/iwh-7-12.html>.
- OECD (2015): *Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Developmen. The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*. Paris: OECD Publishing.

- Polanyi, Michael (2009): Personal knowledge. Towards a post-critical philosophy. [Nachdr.]. Chicago: Univ. of Chicago Press.
- Pyka, Andreas (2002): Innovation networks in economics: from the incentive-based to the knowledge-based approaches. In: Euro Jnl of Inn Mngmnt 5 (3), S. 152–163. DOI: 10.1108/14601060210436727.
- Pyka, Andreas; Mueller, Matthias; Kudic, Muhamed (2018): Regional Innovation Systems in Policy Laboratories. In: JOItmC 4 (4), S. 44. DOI: 10.3390/joitmc4040044.
- Ramella, Francesco (2016): Sociology of economic innovation. London, New York: Routledge Taylor & Francis Group (Routledge advances in sociology, 154). Online verfügbar unter <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=1036460>.
- Vergragt, Philip J.; Brown, Halina Szejnwald (2007): Sustainable mobility: from technological innovation to societal learning. In: Journal of Cleaner Production 15 (11-12), S. 1104–1115. DOI: 10.1016/j.jclepro.2006.05.020.

## 5 Netzwerkaufbau und Indikatoriksystementwicklung

Tobias Buchmann, Patrick Wolf

### 5.1 Einleitung

Wissensbasierte Volkswirtschaften sind durch ein hohes Maß an Komplexität der Interaktionen gekennzeichnet. Dies drückt sich dadurch aus, dass kaum ein Unternehmen mehr in der Lage ist, sich ausschließlich auf die eigene FuE-Abteilung zu stützen (Pyka 2002). Um komplexe Innovationsprozesse erfolgreich bewältigen zu können, hat sich die kooperative Zusammenarbeit von Unternehmen, die ihre jeweiligen Kompetenzen in strategischen Forschungsallianzen, FuE-Joint Ventures etc. bündeln, als sehr erfolgversprechend erwiesen (z. B. Hagedoorn 2002). Aus den bi- und multilateralen Kooperationen entstehen Innovationsnetzwerke als komplexe Interaktionsbeziehungen (Pyka et al. 2009), die insbesondere in wissensbasierten Technologiefeldern eine Erfolgsdeterminante darstellen (Pyka 2002). Dies gilt auf der Ebene von Technologiefeldern ebenso wie auch in klassischen Industriezweigen. Möchte man jedoch belastbare und empirisch abgesicherte Aussagen über den Zusammenhang zwischen Vernetzung und Innovationsoutput treffen, so ist die Struktur, Dynamik und die strategische Positionierung von Unternehmen innerhalb der sich wandelnden Netzwerke zu untersuchen. Speziell bezüglich dieses Aspekts ist bislang keine systematische und umfassende Erfassung der Vernetzungsstruktur des deutschen nationalen Innovationsystems (NIS) erfolgt, insb. nicht auf der Ebene von Technologiefeldern. Dies betrifft explizit auch das Vorhandensein einer Methodik zur Erfassung entsprechender Netzwerke.

Zusätzlich zu einer Methodik der generellen Netzwerkerstellung werden im Besonderen auch Indikatoren benötigt, die Aufschluss über die Vernetzung der verschiedenen Teilbereiche einer Volkswirtschaft bieten. Die intrasektorale und intersektorale Vernetzung von Unternehmen und Forschungseinrichtungen ist insbesondere in wissensbasierten Technologiefeldern von zentraler Bedeutung. Bisherige Indikatoriksysteme vernachlässigen diese Dimension weitgehend. In verschiedenen Bereichen, wie bspw. der Sozialen Netzwerkanalyse (SNA, vgl. Wassermann & Faust 1994), wurden zahlreiche Indikatoren entwickelt, die es erlauben, die Struktur und die Veränderung von Netzwerken abzubilden, welche wir im vorliegenden Dokument aufzeigen und teilweise für den Fall der Technologiefeldanalyse adaptieren. Insbesondere gilt es hier, den Wandel über die Zeit zu berücksichtigen. Netzwerke sind hochdynamische Systeme, da sowohl Akteure

ein- und austreten, als auch die Kooperationsbeziehungen zwischen den Akteuren im Zeitverlauf aufgelöst oder neu gebildet werden können (Kudic 2015).

Obwohl diesbezüglich mehrere, in langen Reihen verfügbare Sekundärdatensätze existieren, wurden diese bisher noch nicht im oben skizzierten Sinne genutzt. In der vorliegenden Ausarbeitung wird deshalb ein Vorschlag erarbeitet, der illustriert, wie verschiedene Facetten der Kooperation und Vernetzung in die bestehende FuE Erhebungsmethodik integriert werden können. Damit leistet das Vorhaben einen Beitrag zur Vervollständigung bestehender FuE Statistiken um kooperations- und vernetzungsbedingte Determinanten der Innovationsleistungsfähigkeit deutscher Unternehmen.

Das Kapitel ist folgendermaßen strukturiert: Im nachfolgenden Abschnitt wird zunächst eine Methodik zur Erstellung von technologiefeldbasierten Innovationsnetzwerken mit Fokus auf das deutsche nationale Innovationssystem vorgestellt. Dies umfasst sowohl ein Vorgehen hinsichtlich der Abgrenzung von Technologiefeldern als auch der Erhebung von Daten zur Netzwerkerstellung, basierend auf verschiedenen Sekundärdatenquellen. Weiterhin wird auf die Methodik zur Datenvereinheitlichung und Aggregation mit dem Ziel der Konstruktion eines einheitlichen Datensatzes zur Netzwerkanalyse eingegangen.

Der dritte Abschnitt beschäftigt sich vertiefend mit der Erstellung eines Indikatoriksystems, welches zur Quantifizierung von Netzwerkstrukturen und deren Veränderung herangezogen werden kann. Im Rahmen dessen werden zunächst basierend auf einer umfassenden Literaturrecherche potentiell relevante Netzwerkindikatoren identifiziert und klassifiziert. Im Anschluss hieran werden für das Indikatoriksystem relevante Maße unter Zuhilfenahme eines Bewertungsschemas selektiert und anschließend genauer hinsichtlich ihrer theoretischen Formulierung und Aussagekraft beschrieben.

## 5.2 Netzwerkerstellung

### 5.2.1 Technologiefeldabgrenzung

Bevor mit der Datenerhebung und Netzwerkerstellung begonnen werden kann, ist es zunächst von hoher Relevanz, das zu betrachtende Technologiefeld klar abzugrenzen. Dies ermöglicht eine Einschränkung des Suchraums für die folgende Datenerhebung und ermöglicht es, diese letztlich nochmals auf die Definition hin zu überprüfen. Eine möglichst genaue Abgrenzung ist auch in der Hinsicht wichtig, da es sich bei einem Technologiefeld um eine Gruppierung von Technologien handelt (BMW, 2015) und die Suche nach dem Technologiefeld selbst somit in der Regel nur einen Teil der relevanten Ergebnisse liefern kann. Vielmehr sind somit auch die einzelnen Teiltechnologien des Feldes zu identifizieren und zu benennen. Dies ermöglicht letztendlich auch bei Notwendigkeit einer stichwortbasierten Suche relevante Daten möglichst vollumfänglich zu erfassen.

Neben der Abgrenzung des Technologiefeldes an sich sind gegebenenfalls noch weitere Abgrenzungen vorzunehmen. Dies kann beispielsweise eine Begrenzung in zeitlicher oder auch räumlicher Hinsicht umfassen. Die generellen Schranken für den Betrachtungszeitraum bestehen in der Regel vor allem hinsichtlich der Verfügbarkeit von Datenquellen für die jeweiligen Betrachtungsjahre. Räumliche Beschränkungen können darin bestehen, dass eine Untersuchung sich auf bestimmte Gebiete fokussiert, beispielsweise Deutschland, Ost-/Westdeutschland oder auch einzelne Bundesländer. Die Zugehörigkeit zu bestimmten Subregionen ist bei der Datenerhebung allerdings nicht immer direkt ersichtlich, weshalb es hier sinnvoll sein kann, die Daten zunächst auf einer höheren regionalen Ebene zu sammeln und anschließend im Rahmen einer Georeferenzierung relevante Daten zu identifizieren.

### 5.2.2 Datenerhebung

Der nachfolgende Abschnitt beschreibt den Datenerhebungsprozess zur Erstellung eines Innovationsnetzwerks aus methodischer Sicht. Die vorgestellten Datenquellen und Extraktionsmethoden haben hierbei einen speziellen Fokus auf das deutsche nationale Innovationssystem, sie sind jedoch zumindest in Teilen auch auf andere Länder und geografische Räume anwendbar.

Ziel des Datenerhebungsprozesses ist es hierbei, zum einen relevante Akteure im Technologiefeld zu identifizieren sowie zum anderen, Informationen über deren

Vernetzung untereinander (mit Bezug zum untersuchten Technologiefeld) zu erhalten. Abbildung 5 gibt nachfolgend einen schematischen Überblick über die einzelnen Quellen für die Identifizierung relevanter Unternehmen sowie deren Vernetzung. Die zugehörige Erhebungsprozedur wird im Folgenden für die einzelnen Teilbereiche genauer ausgeführt.



Abb. 5: Schematische Darstellung der Datenerhebung.

### 5.2.3 Nationale Förderprojekte

Nationale Förderprojekte stellen eine der zentralsten Quellen bei der Untersuchung von nationalen Kooperationen im Bereich Innovation dar. Dies bedingt sich nicht nur durch den prinzipiellen Anspruch der Wissens- bzw. Innovationsgenerierung im Rahmen von Forschungsprojekten, sondern auch dadurch, dass im Gegensatz zu anderen Quellen, wie Patenten und Publikationen, sowohl Akteure aus der Industrie als auch Forschungseinrichtungen und Universitäten in breitem Maße vertreten sind.

Mit Bezug auf das deutsche Innovationssystem stellt primär der frei zugängliche Förderkatalog<sup>43</sup> als Förderdatenbank des Bundes eine zentrale Anlaufstelle für die

<sup>43</sup> Zugriff via: <https://foerderportal.bund.de/foekat/jsp/SucheAction.do;jsessionid=2FB347915B1973993844F1225C4E1604?actionMode=searchmask>

Erhebung relevanter Daten dar. Die hier aufgeführten Daten beinhalten Informationen zu mehr als 100.000 laufenden und abgeschlossenen Förderprogrammen des Bundes und der Länder. Die Informationen umfassen hierbei unter anderem Angaben zu den Förderprojekten, wie Bezeichnung, Förderressort und Laufzeit, sowie zu den jeweiligen Projektbeteiligten mit Standort und Zuwendungssumme. Die Abfrage der Informationen erfolgt über eine Suchmaske, welche eine detaillierte Abgrenzung von relevanten Förderprojekten ermöglicht.

Im Rahmen einer Technologiefeldbetrachtung ist insbesondere eine Abgrenzung mittels der vom Bund eingeführten Leistungsplansystematik sinnvoll, welche die geförderten Projekte hinsichtlich forschungsthematischer Gesichtspunkte unterteilt. Basierend auf der vorangegangenen Technologiefeldabgrenzung kann hierdurch eine Eingrenzung potentiell relevanter Projekte erfolgen, welche jedoch, basierend auf der Übereinstimmung des Technologiefelds mit der Systematik, noch eine genauere Untersuchung erfordert. Eine solche kann beispielsweise manuell oder automatisiert mittels Stichworten erfolgen. Die übergeordneten Forschungsbereiche der Leistungsplansystematik, welche jeweils noch mehrere untergeordnete Forschungsschwerpunkte umfassen, sind nachfolgend in Tabelle 7 dargestellt.

Kategorie	Bezeichnung
A	Gesundheitsforschung und Gesundheitswirtschaft
B	Bioökonomie
C	Zivile Sicherheitsforschung
D	Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
E	Energieforschung und Energietechnologien
F	Klima, Umwelt, Nachhaltigkeit
G	Informations- und Kommunikationstechnologien
H	Fahrzeug- und Verkehrstechnologien einschließlich maritimer Technologien
I	Luft- und Raumfahrt
J	Forschung und Entwicklung zur Verbesserung der Arbeitsbedingungen und im Dienstleistungssektor
K	Nanotechnologien und Werkstofftechnologien
L	Optische Technologien
M	Produktionstechnologien

Kategorie	Bezeichnung
N	Raumordnung und Stadtentwicklung; Bauforschung
O	Innovationen in der Bildung
P	Geisteswissenschaften; Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
Q	Innovationsförderung des Mittelstandes
R	Innovationsrelevante Rahmenbedingungen und übrige Querschnittsaktivitäten
T	Förderorganisationen, Umstrukturierung der Forschung im Beitrittsgebiet; Hochschulbau und überwiegend hochschulbezogene Sonderprogramme
U	Großgeräte der Grundlagenforschung

Tab. 7: Hauptkategorien der Leistungsplansystematik

Identifizierte Projekte sowie die zugehörigen Informationen lassen sich direkt exportieren und stehen dann für eine Aufbereitung, wie sie später in Abschnitt 2.3.2 dargestellt wird, zur Verfügung. Der Förderkatalog deckt hinsichtlich der öffentlichen, nationalen Projektförderung ein umfassendes Spektrum ab. Je nach untersuchtem Technologiefeld kann es jedoch auch sinnvoll sein, weitere nationale Datenbanken zu identifizieren und für die Datengewinnung heranzuziehen. Außerhalb der national-staatlichen Projektförderung gibt es hier beispielsweise die GEPRIIS-Datenbank der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG).

#### 5.2.4 Internationale Förderprojekte

Neben nationalen Förderprojekten sind auch internationale Förderprojekte eine relevante Quelle für Informationen zu Vernetzungen zwischen verschiedenen Akteuren in einem bestimmten Technologiefeld. Dies gilt hierbei auch bei Untersuchungen eines nationalen Innovationssystems, da, sofern mindestens zwei Akteure entsprechender Nationalität an einem solchen Projekt beteiligt sind, eine Vernetzung dieser Akteure besteht.

Eine wichtige Informationsquelle für internationale Förderprojekte auf europäischer Ebene stellt die CORDIS-Datenbank der Europäischen Kommission dar.<sup>44</sup> Diese enthält Informationen zu allen 127.000 EU-geförderten Forschungs- und Innovationsprojekten, einschließlich Projekttitel, -dauer und -beschreibung sowie

<sup>44</sup> Erreichbar unter <https://cordis.europa.eu/search/de>



beteiligter Akteure, deren Nationalität und jeweils erhaltener Förderbeträge. Die Datenbank wurde bereits in mehreren Studien zur Untersuchung von Kooperationen in Forschungs- und Entwicklung genutzt. So gibt es sowohl Untersuchungen hinsichtlich des Kooperationsverhaltens bestimmter Länder, wie Spanien (Barajas & Huergo, 2010) und Belgien (Meeusen & Dumont, 1998), als auch Studien hinsichtlich der Verbindung zwischen Kooperation und Innovationsfähigkeit (Aguiar & Gagnepain, 2017; Arranz & de Arrovabe, 2012). Dennoch fanden internationale Förderprojekte, gerade auch im Vergleich mit Patentdaten und nationalen Datenbanken, bisher nur unzureichend Beachtung innerhalb der Innovationsforschung.

Im Rahmen einer technologiefeldbezogenen Netzwerkanalyse erfolgt eine Abgrenzung relevanter Projekte primär basierend auf einer Stichwortsuche innerhalb der Projekttitle und -beschreibungen, zumal eine thematische Aufschlüsselung ähnlich der deutschen Leistungsplansystematik nicht verfügbar ist. Zwar existiert in der Datenbank eine Filtermöglichkeit nach 12 Anwendungsdomänen<sup>45</sup>, diese weisen allerdings eine nur geringe Tiefe auf und sind für eine Analyse lediglich für eine erste grobe Einteilung sinnvoll. Zudem liegt eine entsprechende Domänenzuteilung lediglich für ca. 6 % aller gelisteten Projekte vor, sodass eine textbasierte Suche kaum vermieden werden kann.

Die umfangreichen Projektinformationen liegen für die letzten beiden Forschungsförderungsprogramme FP7 und FP8 (auch als ‚Horizon 2020‘ bezeichnet) als gebündelt abrufbare Datentabellen im offenen Datenportal der EU vor.<sup>46</sup> Informationen zu den vorangegangenen Programmen im Zeitraum 1984 bis 2006 sind hingegen nicht gebündelt abrufbar und erfordern eine individuelle Datenanfrage.

### 5.2.5 Patentdaten

Patentdaten stellen eine weitere zentrale Datenquelle im Bereich der Netzwerk- und Innovationsforschung dar. Wichtige Datenbanken zum Abrufen von Patentinformationen sind die PATSTAT-Datenbank des Europäischen Patentamts

---

<sup>45</sup> Folgende Domänen werden unterschieden: Industrielle Technologien, Grundlagenforschung, Verkehr und Mobilität, Gesundheit, Gesellschaft, Sicherheit, Klimawandel und Umwelt, Energie, Weltraum, Digitale Wirtschaft, Lebensmittel und natürliche Ressourcen

<sup>46</sup> Siehe <https://data.europa.eu/euodp/de/data/dataset/cordisfp7projects> bzw. <https://data.europa.eu/euodp/de/data/dataset/cordisH2020projects>

(kostenpflichtig) sowie die REGPAT-Datenbank der OECD (kostenfrei). Diese Datenbanken enthalten verschiedene Patentinformationen, unter anderem Titel und Abstracts, Länder und Zeitpunkte der Anmeldung sowie umfangreiche Informationen zu den Patenturhebern. Gleichzeitig existieren verschiedene Klassifizierungsschemata nach denen Patente bestimmten Technologiebereichen zugeordnet werden. Die beiden wesentlichen Klassifizierungen sind hierbei die IPC (International Patent Classification) sowie die CPC (Cooperative Patent Classification), welche vom EPA in Zusammenarbeit mit dem Patent- und Markenamt der Vereinigten Staaten verwaltet wird. Die Klassifikationen unterteilen Patente hierbei Patente anhand der jeweiligen technologischen Wissensbasis in neun Sektionen von A bis H und Y (nur CPC), welche in Tabelle 5 dargestellt sind.

Kategorie	Bezeichnung
A	Täglicher Lebensbedarf
B	Arbeitsverfahren; Transportieren
C	Chemie; Hüttenwesen
D	Textilien; Papier
E	Bauwesen; Erdbohren; Bergbau
F	Maschinenbau; Beleuchtung; Heizung; Waffen; Sprengen; Kraft- und Arbeitsmaschinen
G	Physik
H	Elektrotechnik
Y	Allgemeine Kennzeichnung von neu entstehenden Technologien; allgemeine Kennzeichnung von sektionsübergreifenden Technologien aus mehreren IPC-Sektionen; technischer Inhalt aus den früheren USPC-Sammlungen mit Querverweisen [XRACs] sowie Digests

Tab. 8: Sektoren der gemeinsamen Patentklassifikation CPC

Die Sektoren ihrerseits unterteilen sich, wie Abbildung 6 schematisch darstellt, in mehrere hierarchische Ebenen (Klassen, Unterklassen, Hauptgruppen sowie Untergruppen) und ermöglichen so eine Identifizierung bzw. Eingrenzung relevanter Patente. Insgesamt existieren je nach Klassifikationsschema bis zu 250.000 unterschiedliche Klassifikationssymbole. Mitunter kommt es dennoch vor, dass die

Klassifikationen die betrachtete Technologie nicht ausschließlich abdecken. In diesem Fall ist eine zusätzliche Abgrenzung basierend auf einer Stichwortsuche in Patenttiteln und -abstracts sinnvoll.

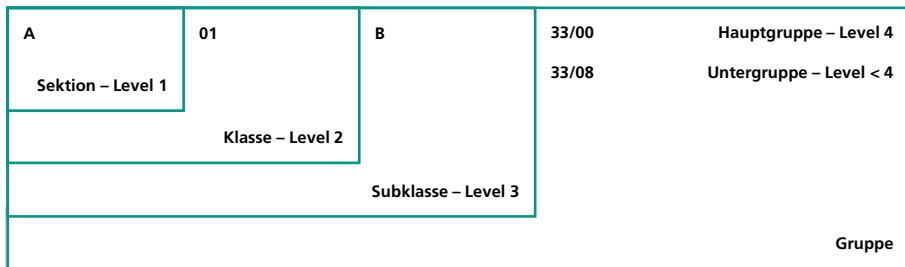


Abb. 6: Schematische Struktur der Patentklassifizierung in Sektionen, Klassen, Unterklassen sowie Haupt- und Untergruppen. Darstellung nach PATSTAT (2019)

Bei der Nutzung von Patentinformationen im Rahmen von Netzwerkanalysen sind einige Besonderheiten zu beachten. So können von den identifizierten Patenten nur jene zur Netzwerkerstellung herangezogen werden, welche von mindestens zwei unterschiedlichen Akteuren innerhalb des betrachteten geografischen Raums in Kooperation erstellt wurden. Dies schränkt die Anzahl verwendbarer Patente mitunter deutlich ein. Weiterhin ist zu beachten, dass Kooperationen in Patenten unter Berücksichtigung der jeweiligen Patentfamilie identifiziert werden sollten. Hierdurch wird vermieden, dass Patente mit gleichem Inhalt und gleichem Kooperationshintergrund, die allerdings an mehreren unterschiedlichen Patentämtern eingereicht wurden, mehrfach gezählt werden und somit die Ergebnisse verfälschen. Ein Problem bei der Nutzung von Patentdaten, speziell bei Betrachtung von Vernetzungsdynamiken ist, dass in entsprechenden Datenbanken lediglich das Anmelde- bzw. Einreichdatum der Invention verzeichnet wird. Dies führt letztendlich dazu, dass man auf keinen direkten Kooperationszeitraum schließen kann, da der Beginn der patenterstellungsbasierten Zusammenarbeit nicht bekannt ist. Eine gebräuchliche Lösung ist es, hierfür einen fixierten Kurationszeitraum von bspw. 3 Jahren anzusetzen, welcher den identifizierten Patenten unterstellt wird. Letztlich ist noch darauf hinzuweisen, dass die Nutzung von Patentdaten aufgrund der großen Datenmenge in der Regel die Einrichtung einer Datenbank zur Datenabfrage erfordert.

### 5.2.6 Bibliographische Daten

Die vierte wesentliche Quelle für Informationen zu Akteursnetzungen sind bibliographische Datenbanken. Diese Datenbanken umfassen in der Regel wissenschaftliche, aber mitunter auch quasi- und nichtwissenschaftliche Veröffentlichungen. Von zentraler Relevanz für die Netzwerkbildung sind hierbei Veröffentlichungen, welche von Autoren aus mindestens zwei unterschiedlichen Institutionen verfasst wurden, da nur so auf eine Akteursvernetzung geschlossen werden kann.

Mittlerweile gibt es zahlreiche verschiedene Literaturdatenbanken, welche als Quelle heranziehbar sind, wie beispielsweise Scopus, ScienceDirect, Web of Science sowie Google Scholar. Diese sind allerdings nicht immer kostenfrei (bspw. Scopus) oder verfügen über keine hinreichende Funktionalität zum Export der identifizierten Publikationen (bspw. Google Scholar). Bei kleinerer Veröffentlichungszahl bietet sich das Web of Science an, welches einen simultanen Export von Literaturmetadaten für bis zu 500 wissenschaftlichen Publikationen ermöglicht.

Die Identifikation von relevanter Literatur erfolgt in Literaturdatenbanken primär über eine Stichwortsuche. Eine zusätzliche Eingrenzung in bestimmte Themenfelder kann zusätzlich über mit den Veröffentlichungen verknüpfte Keywords erfolgen, sofern die gewählte Datenbank eine entsprechende Funktionalität unterstützt. Für den Export der identifizierten Literatur bietet sich das bibtex-Format an, in welchem folgende Informationen enthalten sein sollten: Titel der Veröffentlichung, Datum der Veröffentlichung sowie beteiligte Organisationen mit Namen und Regionsinformationen (zumindest das jeweilige Land, um relevante Akteure leichter identifizieren zu können).

Ähnlich wie bei den Patentinformationen sind auch bei der Nutzung bibliographischer Daten im Rahmen der Netzwerkgenerierung einige Dinge zu beachten. So ist, ähnlich wie bei Patenten, in der Regel lediglich das Veröffentlichungsdatum bekannt, wohingegen der tatsächliche Kooperationsbeginn zur Anfertigung der Veröffentlichung zumeist nicht verfügbar ist. Dies führt dazu, dass zur Nutzung der Daten ein fixer Bearbeitungszeitraum angenommen werden muss, welcher allen Veröffentlichungen unterstellt wird. Weiterhin ist zu erwarten, dass insbesondere bei wissenschaftlichen Veröffentlichungen vornehmlich Hochschulen, Universitäten sowie Forschungseinrichtungen als Akteure auftreten, wohingegen Akteure aus der Industrie in der Regel unterrepräsentiert sind. Diese wiederum

finden sich eher in quasi- bzw. nichtwissenschaftlichen Veröffentlichungen, wie Berichten, Studien etc., wieder, welche nach Möglichkeit ebenfalls in die Suche nach relevanter Literatur einzubeziehen sind. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass nichtwissenschaftliche Publikationen nur bedingt in den genannten Datenbanken geführt werden, was deren Identifizierung sowie die Möglichkeit einer (automatisierte) Abfrage relevanter Informationen deutlich erschwert.

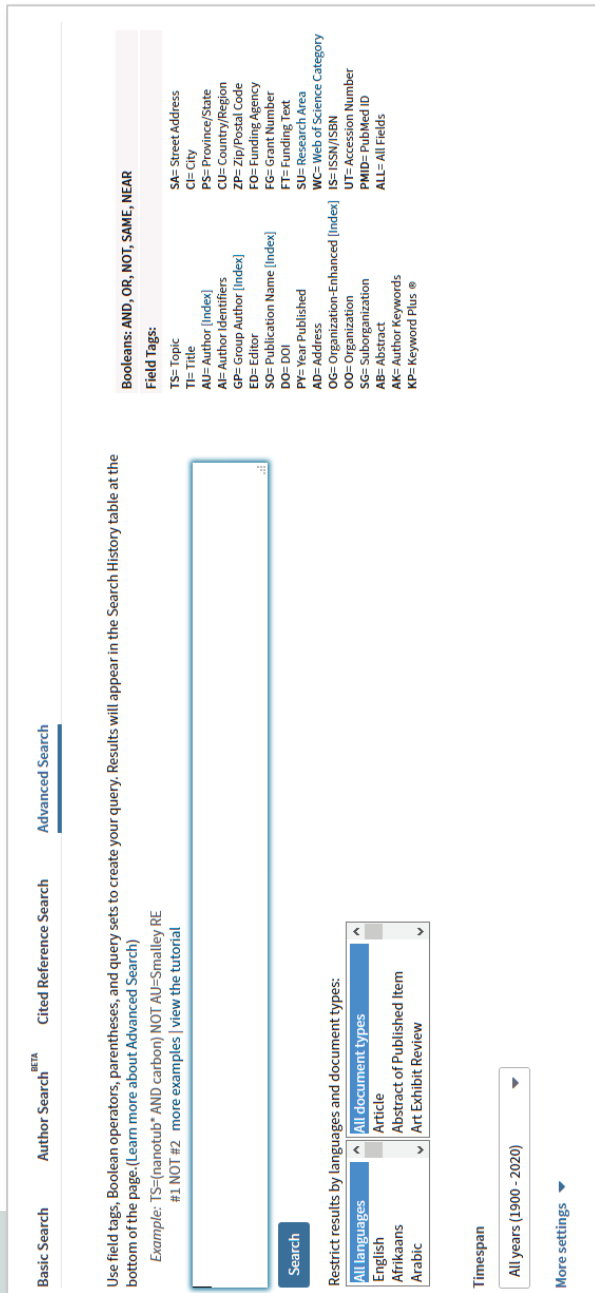


Abb. 7: Beispielhafte Darstellung der Suchoberfläche des Web of Science

### 5.2.7 Messekataloge & Kompetenzatlanten

Neben den bereits genannten Quellen können im Rahmen der Datenrecherche auch Messekataloge oder Kompetenzatlanten herangezogen werden. Auch wenn diese in der Regel keine direkten Informationen zu Kooperationen enthalten, können sie dennoch einen guten Überblick über relevante Akteure innerhalb eines Technologiefelds geben. Zudem besteht hierdurch die Möglichkeit, weitere Akteure zu identifizieren, welche in den bisherigen Netzwerkdaten nicht auftauchen. Dies ist vor allem auch deshalb wichtig, weil man für eine möglichst umfassende Betrachtung des Technologiefelds prinzipiell alle Unternehmen und Forschungseinrichtungen berücksichtigen sollte, unabhängig von deren Kooperationsverhalten. Weiterhin bietet sich die Möglichkeit, in den zuvor genannten Datenbanken nochmals gezielt nach den identifizierten Akteuren (ggf. in Kombination mit wenigen technologiefeldspezifischen Stichworten) zu suchen, um den Datenbestand noch um weitere, eventuell übergangene (bspw. aufgrund von zu restriktiven Stichwortkombinationen) Vernetzungsinformationen zu ergänzen.

### 5.2.8 Netzwerkkonstruktion

#### 5.2.8.1 Netzwerkgrundlagen

Nachfolgend soll zunächst sehr kurz ein grundlegendes Verständnis über Definition und Aufbau von Netzwerken geschaffen werden. Netzwerke können nach Kilduff & Tsai (2003) allgemein als Akteure, die über Beziehungen miteinander verbunden sind, definiert werden. Bei Akteuren handelt es sich im Kontext dieser Publikation primär um Organisationen in Form von Unternehmen, Forschungseinrichtungen sowie Hochschulen/Universitäten. Diese sind wiederum durch Kooperationen miteinander verbunden, welche aus der gemeinsamen Teilnahme an Kooperationsprojekten (in Form von Forschungsprojekten, Publikationen, Patenten, etc.) resultieren. Abbildung 8 zeigt nachfolgend eine beispielhafte Darstellung eines kleinen Netzwerkes in Form eines Soziogramms. Hierbei werden die einzelnen Akteure des Netzwerkes als Knoten (nodes) und die Beziehungen in Form von Linien (edges) dargestellt. Eine solche Darstellung eignet sich hierbei gut für einen ersten Überblick über die Struktur eines Netzwerkes. Die für tieferegehende Untersuchungen im Rahmen des Indikatoriksystems erforderlichen Daten sowie deren Struktur soll nachfolgend näher betrachtet werden.

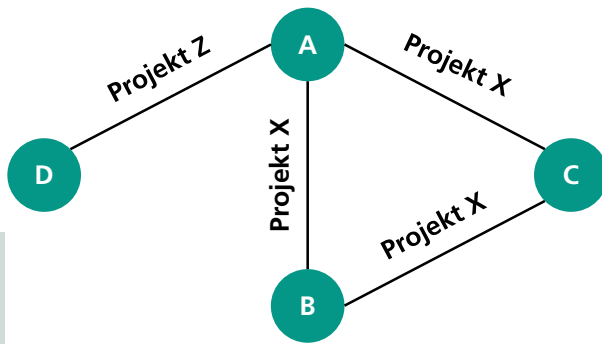


Abb. 8: Beispielhafte, vereinfachte Darstellung eines Netzwerks

### 5.2.8.2 Datenaufbereitung und -vereinheitlichung

Bevor die im Rahmen der Datenrecherche erhobenen Informationen für die Netzwerkerstellung verwendet werden können, müssen sie zunächst aufbereitet und in eine einheitliche Struktur gebracht werden. Je nach Art der Quelle und genutzter Datenbank kann dies mit unterschiedlich hohem Aufwand verbunden sein. In vielen Fällen, wie beispielsweise in den meisten Förderdatenbanken, liegen die relevanten Informationen bereits in aufbereiteter, tabellarischer Form vor. Bei exportierten Literaturmetadaten, beispielsweise im BibTex Format, hingegen ist noch eine Transformation der enthaltenen Informationen in eine tabellarische Form erforderlich, welche möglichst automatisiert erfolgen sollte (beispielsweise mittels des bib2df-Pakets in R).

Liegen alle Informationen in tabellarischer Form vor, können die Daten aus den unterschiedlichen Quellen zusammengeführt werden. Die Daten sind hier nochmals auf Vollständigkeit zu prüfen und ggf. zu ergänzen. So kann es speziell bei Patentdaten vorkommen, dass Akteursnamen unvollständig sind oder abgekürzt werden. Speziell bei den Akteursnamen sollte eine Vereinheitlichung jedoch vorsichtig vorgenommen werden. So sind Unternehmen, welche einen ähnlichen Namen tragen oder lediglich eine unterschiedliche Rechtsform ausweisen, nicht zwangsläufig zueinander gehörig und sollten deshalb nicht pauschal als ein Unternehmen gesehen werden. Die Entscheidung, welche der identifizierten Akteure sich letztlich auf den gleichen Knoten beziehen, ist nicht einfach zu treffen und erfordert eine zusätzliche Betrachtung der Knotendynamik, deren Konzept am Ende des Kapitels kurz umrissen wird.



### 5.2.8.3 Datenstruktur Netzwerk

Um die erhobenen Daten im Rahmen des Indikatoriksystems effizient nutzen zu können, ist eine Strukturierung und Aufteilung der Daten sinnvoll. Insbesondere bietet es sich an, die gewonnenen Daten in eine Liste mit Informationen über die einzelnen Knoten bzw. Akteure sowie eine Liste mit Informationen über die Kanten bzw. Kooperationen zu separieren. Eine solche Aufteilung wird in Abbildung 9 beispielhaft dargestellt.

Eine Knotenliste bzw. Nodeliste enthält alle relevanten Informationen zu den einzelnen Akteuren, welche im zu untersuchenden Technologiefeld aktiv sind. Dies umfasst auch Akteure, welche keine Vernetzung zu anderen Akteuren aufweisen. Die Liste sollte hierbei für jeden der Knoten bzw. Akteur eine eindeutige Identifikationsnummer, den Namen sowie die Art der Einrichtung umfassen. Speziell für raumbezogene Analysen sind zudem geografische Angaben notwendig, u.a. der jeweilige Längen- und Breitengrad. Die Kantenliste bzw. Edgelist wiederum enthält alle relevanten Informationen zu den Kooperationen zwischen den einzelnen Akteuren. Dies umfasst die Bezeichnung der Kooperation (bspw. Projekt-, Publikations- oder Patenntitel) sowie ggf. ein Kürzel (bspw. Kurztitel, Patentnummer oder ISBN/DOI) und jeweils eine eindeutige ID. Weiterhin relevant sind Informationen zur Quelle und Art der Kooperation (bspw. Publikation, Patent oder Forschungsprojekt) sowie die Laufzeit mit Start und Endzeitpunkt. Zudem sind jedem der Einträge jeweils paarweise die Kooperationen zuzuweisen (in der Abbildung mit Source und Target bezeichnet). Da es sich um ein ungerichtetes Netzwerk handelt, liegen somit für jedes Kooperationsprojekt  $\frac{n!}{(n-2)! \cdot 2!}$  separate Kooperationen vor, wobei  $n$  die Anzahl an Partizipanten beschreibt.

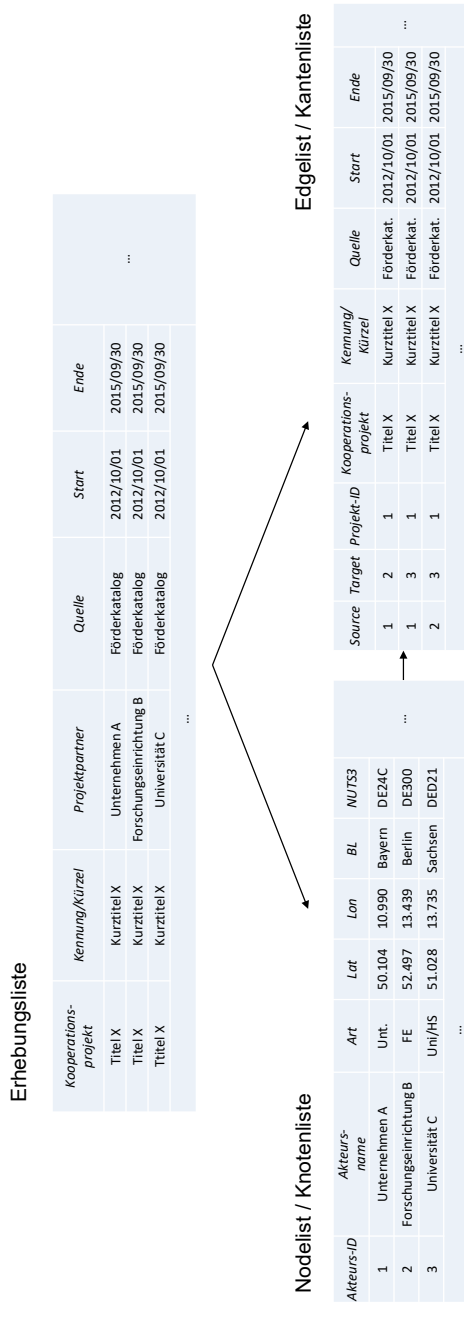


Abb. 9: Beispielhafte Aufteilung der erhobenen Daten in Nodelist- und Edgelist

#### 5.2.8.4 Erweiterung um Knotendynamik

Die bisher vorgestellte Datenstruktur ist dazu geeignet, die Vernetzung von Akteuren sowie die Vernetzungsdynamik über längere Zeiträume darzustellen. Wie in Abschnitt 5.2.8.2 aufgezeigt, ist es für eine präzise Darstellung der Netzwerkstruktur und -entwicklung jedoch auch notwendig, die Knotendynamik bzw. die Entwicklung der Akteure über die Zeit genauer zu untersuchen und in die bestehende Netzwerkstruktur einzubeziehen. So kann es innerhalb der Daten Akteure geben, welche aufgrund von Umwidmungen unter unterschiedlichen Namen geführt werden, sich letztlich jedoch auf denselben Knoten im Netzwerk beziehen. Weiterhin ist es zur Untersuchung der Netzwerkentwicklung wichtig zu wissen, zu welchem Zeitpunkt die einzelnen Akteure ihre Aktivitäten aufgenommen haben (bspw. Zeitpunkt der Unternehmensgründung) bzw. ob diese ab einem bestimmten Zeitpunkt nicht mehr existierten (bspw. Austritt durch Insolvenz). Eine Nichtberücksichtigung solcher Informationen kann letztendlich dazu führen, dass das zu untersuchende Netzwerk nicht korrekt dargestellt wird und die Anwendung von Indikatoren zu falschen bzw. zumindest ungenauen Ergebnissen führt.

### 5.3 Entwicklung des Indikatoriksystems

#### 5.3.1 Grundlegendes

Vor der eigentlichen Entwicklung des Indikatoriksystems sind zunächst grundlegende Begrifflichkeiten zu klären. Hinsichtlich der Definition des Begriffes „Indikator“ folgen wir hier dem gängigen Begriffsverständnis in der Literatur (siehe bspw. Fitz-Gibbon, 1996 sowie Ogawa & Collom, 1998). Dieses versteht einen Indikator als eine qualitativ messbare Größe, welche komplexe bzw. mehrdimensionale Zustände und Zusammenhänge möglichst einfach und verständlich beschreibt. Er vermittelt somit Informationen zu Phänomenen, die nicht direkt messbar sind, in einer kompakten Form und ermöglicht zudem in Form einer Zeitreihe die Beobachtung von deren Veränderung (DIPF, 2007). Indikatoriksysteme wiederum basieren auf mehreren Einzelindikatoren und ermöglichen es, Entwicklungen in Umwelt, Gesellschaft oder Wirtschaft in einem vielschichtigeren und umfassenderen Maß zu untersuchen, als es einzelne Indikatoren könnten. Indikatoriksysteme finden hierbei vor allem in den Bereichen Verwaltung und Politik Verwendung, wo sie für die Politikgestaltung, zum Monitoring sowie zur Messung von Maßnahmenwirkungen eingesetzt werden.

Die nachfolgenden Ausführungen zur Identifizierung des Indikatorensets orientiert sich an dem in Lustat (2012) geschilderten Vorgehen. Hiernach erfolgt zunächst eine Bestimmung des theoretischen Bezugsrahmens, an welchem sich das Indikatoriksystem letztlich orientieren soll. Im Anschluss erfolgt basierend auf diesem Bezugssystem eine generelle Suche von Indikatoren, die als Teile des Systems prinzipiell geeignet sind. Diese werden nachfolgend, basierend auf vorher festzulegenden Kriterien, einer Bewertung und einem hierauf aufbauenden Auswahlprozess unterzogen, an dessen Ende eine feste Selektion von Indikatoren für das Indikatoriksystem steht. Die ausgewählten Indikatoren werden daraufhin abschließend nochmals genauer hinsichtlich ihrer formalen Darstellung, Aussagekraft sowie relevanter Literatur dargestellt.

### 5.3.2 Bestimmung des theoretischen Bezugsrahmens

Die Bestimmung des theoretischen Bezugsrahmens stellt den ersten wesentlichen Schritt bei der Entwicklung eines Indikatoriksystems dar. Der Bezugsrahmen ist auch deshalb ein zentraler Bestandteil, da nach Meyer (2004) die Entwicklung des Systems stark vom Zweck der Indikatorenutzung abhängt. Der Zweck und somit auch Bezugsrahmen des zu erstellenden Indikatorensystems kann hierbei folgendermaßen beschrieben werden: *Ziel des Indikatoriksystems ist es, die Struktur und Dynamik sowie die strategische Positionierung von Akteuren innerhalb der sich wandelnden Innovationsnetzwerke auf Technologiefeldebene adäquat zu erfassen.* Basierend auf dieser gegebenen Zielsetzung kann der theoretische Bezugsrahmen folgendermaßen abgegrenzt werden:

1. Die Untersuchung bezieht sich auf **Innovationsnetzwerke**, d.h. für die Netzwerkerstellung soll speziell die Vernetzung von Akteuren im Bereich Forschung und Entwicklung betrachtet werden
2. Die Netzwerke sollen auf **Technologiefelder** anwendbar sein. Es wird demnach weder das gesamte Innovationssystem betrachtet noch eine einzelne Technologie.

Die Aspekte 1 und 2 stellen spezielle Anforderungen an die zu betrachtenden Netzwerkdaten, deren Erhebung und Strukturierung bereits an vorheriger Stelle ausgeführt wurde. Diese haben in der Regel jedoch kaum Einfluss auf das Innovationssystem an sich. Die übrigen Punkte beziehen sich nachfolgend speziell auf die Ausgestaltung des Indikatoriksystems.

1. Die Erfassung der **Struktur** des Netzwerks bezieht sich auf die Fähigkeit, strukturelle Aspekte des Gesamt- bzw. eines Teilnetzwerks zu erfassen.
2. Die Erfassung der **Dynamik** bezieht sich auf die Fähigkeit, Änderungen innerhalb des Netzwerks zu erkennen und quantifizieren. Dies impliziert gleichzeitig die Möglichkeit der Untersuchung des Netzwerks im Zeitverlauf und somit eine nicht-statische Betrachtung.
3. Die Forderung nach einer Möglichkeit zur Betrachtung der **strategischen Positionierung von Akteuren** bezieht sich letztlich auf die Fähigkeit, neben der Netzwerkstruktur auf höherer Ebene auch einzelne Knoten/Akteure sowie deren Position im Netzwerk bestimmen zu können.

Der theoretische Bezugsrahmen gibt einen Überblick über die wesentlichen Bereiche, welche durch das Indikatoriksystem abgedeckt werden sollen. Neben dem theoretischen Bezugsrahmen gibt es noch weitere, generelle Indikatoranforderungen, welche generell für Indikatoren gelten sollten und somit Berücksichtigung finden müssen. Auf diese wird später im Abschnitt Indikatorensuche Bezug genommen.

### 5.3.3 Indikatorensuche

Nach Festlegung des theoretischen Rahmens wurde eine Literaturrecherche nach potentiellen Indikatoren im Bereich Netzwerkstruktur und Netzwerkdynamik durchgeführt. Zur Schaffung eines umfassenden Überblicks über potentiell relevante Netzwerkindikatoren wurde die Suche bewusst möglichst breit ausgelegt. So wurde, trotz eines primären Augenmerks auf wissenschaftliche Literaturdatenbanken und dort verzeichnete Papiere, auch graue Literatur in den Review einbezogen. Weiterhin wurden Veröffentlichungen verschiedener wissenschaftlicher Fachbereiche in die Suche inkludiert, u.a. Innovationsökonomie und Sozialwissenschaften aber auch Biologie, Neurologie und Physik. Hierdurch konnten Netzwerkmaße mit verschiedenen wissenschaftlichen Hintergründen, beispielsweise der sozialen Netzwerkanalyse oder der neuronalen Netzwerkforschung, in die Indikatorenbasis aufgenommen werden.

Im Rahmen der Indikatorensuche konnten 72 Indikatoren identifiziert werden, welche zur Messung von Netzwerkstrukturen und deren Veränderung herangezogen werden können. Die Maße divergieren hierbei sowohl hinsichtlich ihres

Typs, der Nutzbarkeit geografischer Daten sowie der betrachteten Skalierungsebene. Abbildung 10 gibt nachfolgend einen Überblick über die Indikatorarten sowie Skalierungsebenen.

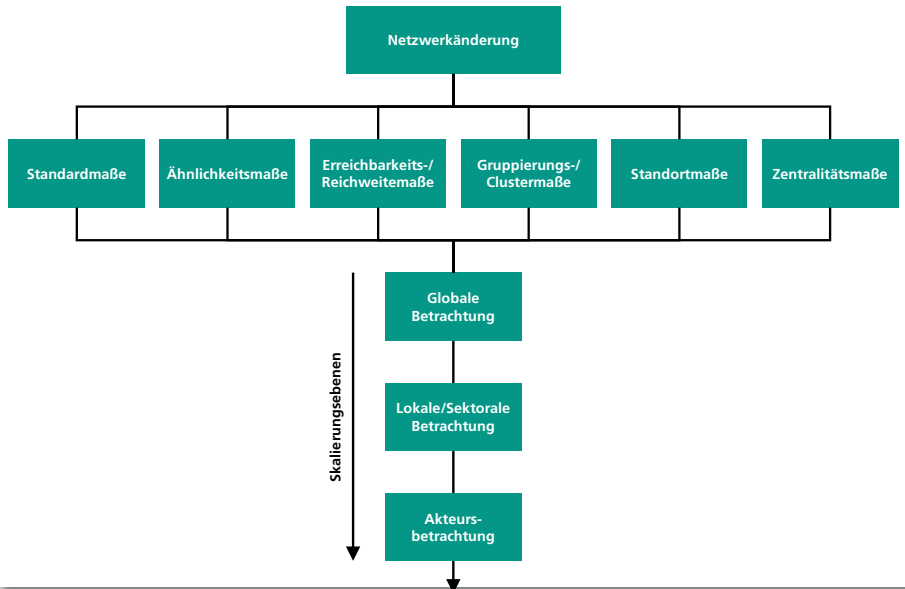


Abb. 10: Schematische Aufgliederung des Indikatoriksystems in Indikatortyp und Skalierungsebene

Die identifizierten Indikatoren können sechs verschiedenen Indikatorgruppen zugeordnet werden, welche jeweils unterschiedliche Netzwerkaspekte untersuchen. Diese umfassen Standardmaße der Netzwerkforschung, Ähnlichkeitsmaße, Erreichbarkeitsmaße, Clustermaße, Zentralitätsmaße sowie geografische Maße bzw. Standortmaße. Weiterhin können die Indikatoren verschiedenen Skalierungs- bzw. Betrachtungsebenen zugeordnet werden. So können Indikatoren zur Untersuchung des Gesamtnetzwerks, eines Teilnetzwerks sowie einzelner Akteure im Netzwerk herangezogen werden.

Die Tabellen 9-14 fassen die identifizierten Indikatoren nachfolgend zusammen und geben jeweils kurze Informationen zu deren Aussage, relevanten Quellen sowie der anwendbaren Skalierungsebene.

Indikator	Kurzdefinition	Ursprung/ Nutzung	Geo	Glob	Lok	Akt
Salton's measure	Maß für die Stärke des Zusammenhangs zwischen Gruppen. Common Neighbors werden durch ihr geometrisches Mittel geteilt.	Salton & McGill (1983)	(x)		x	x
Assortativity coefficient	Maß für die Präferenz eines Knotens, sich mit anderen ihm (in einer bestimmten Art und Weise) ähnelnden Knoten zu verbinden.	Newman (2002)				x
Local assortativity	Local-Assortativity quantifiziert den Beitrag, den einzelne Knoten zur Netzwerk-Assortativität leisten.	Piraveenan et al. (2008)				x
RV-Koeffizient	Der RV-Koeffizient berechnet die Pearson-Korrelation zwischen zwei Matrizen	Escovier (1973)		x	x	
Adjusted RV-Koeffizient	Angepasste Version des modifizierten RV-Koeffizienten	Mayer et al. (2011)		x	x	
Modified RV-Koeffizient	Modifizierte Version des klassischen RV-Koeffizienten, der den dortigen Bias bzgl. der Stichprobengröße reduziert.	Smilde et al. (2009)		x	x	
dCov-Koeffizient	Maß für die Abhängigkeit zwischen zwei Vektoren.	Szekely et al. (2013)		x	x	
Jaccard-Index	Die Jaccard-Ähnlichkeit berechnet die Ähnlichkeit zwischen Knoten-Sets bzw. Knotenpaaren. Hierbei werden die gemeinsamen Nachbarn zweier Knoten durch die Gesamtanzahl an Nachbarn geteilt.	Jaccard (1901)				x

Indikator	Kurzdefinition	Ursprung/ Nutzung	Geo	Glob	Lok	Akt
Absolute Pearson Correla- tion distance	Absolutwert des Pearson-Korrela- tionskoeffizienten	-	x			x
Adamic Adar	Berechnet die Ähnlichkeit zweier Knoten mittels derer gemeinsamen Nachbarn, wobei Nachbarn mit gerin- gerem Grad höher gewichtet wer- den.	Adamic & A- dar (2003)				x
Common Neighbors	Anzahl gemeinsamer Partner zweier Knoten	-				x
Cosine-Si- milarity	Maß für die Ähnlichkeit zweier Vek- toren. Die Kosinus-Ähnlichkeit ist der Kosinus des Winkels zwischen zwei n-dimensionalen Vektoren im n-di- mensionalen Raum.	Chen et al. (2010)				x
Dice Simi- larity	Bestimmt die Ähnlichkeit zweier Kno- ten durch das Teilen der gemeinsa- men Nachbarn durch deren arithme- tische Mittel.	Afra et al. (2017)				x
Eisen co- sine corre- lation dis- tance	Spezialfall der Pearson-Korrelation, wobei x und y jeweils durch Null er- setzt werden.	Eisen et al. (1998)				x
Euclidean distance	Die Euklidische Distanz berechnet die direkte Distanz zwischen zwei Punk- ten (Knoten) im n-dimensionalen Raum.	-	x			x
French Railway Metric	Misst die Distanz zwischen zwei Kno- ten als kürzeste Distanz über einen dritten, zentralen Knoten	Ghys & de la Harpe (1990)	x			x



Indikator	Kurzdefinition	Ursprung/ Nutzung	Geo	Glob	Lok	Akt
Gini-Koeffizient	Misst die Gleichverteilung im Netzwerk (bspw. bzgl. Knotengrad). Bzgl. des Knotengrades ist er definiert als die absolute Grad-Differenz zwischen jedem möglichen Knotenpaar, skaliert mit der Anzahl an Knoten und des durchschnittlichen Grades.	Breimann et al. (1984); Burghouwt (2007)		x	x	
Graph edit distance	Berechnet den minimalen Aufwand der Transformation eines Graphen in einen anderen durch entfernen oder hinzufügen von Knoten und Verbindungen.	Shimada et al. (2016)		x	x	
Hamming distance	Summe der einfachen Differenz zwischen der Adjazenzmatrizen zweier Graphen.	Shimada et al. (2016)		x	x	
HIM network distance	Die HIM-Distanz vergleicht zwei Netzwerke durch Kombinieren der Hamming-Distanz mit der spektralen Ipsen-Mikhailov-Distanz.	Jurman et al. (2015)		x	x	
Hub depressed similarity	Ähnlichkeitsmaß, welches die gemeinsamen Nachbarn von Knoten durch den maximalen Grad der Nachbarschaft dividiert.	Afra et al (2017)				x
Hub promoted similarity	Ähnlichkeitsmaß, welches die gemeinsamen Nachbarn von Knoten durch den minimalen Grad der Nachbarschaft dividiert.	Afra et al (2017)				x
Ipsen-Mikhailov distance	Berechnet die Ähnlichkeit von Netzwerken basierend auf der Verteilung der laplaceschen Eigenwerte der verglichenen Graphen.	Ipsen & Mikhailov (2002); Jurman et al. (2011)		x	x	

Indikator	Kurzdefinition	Ursprung/ Nutzung	Geo	Glob	Lok	Akt
Kendall correlation distance	Die Kendall-Rangkorrelation ist eine Metrik, welche den Rang zwischen Variablen miteinander vergleicht.	Kendall, M. (1938)				x
Laplacian-based graph distance	Berechnet die Unterschiede in sowohl den strukturellen als auch dynamischen Eigenschaften von Graphen, charakterisiert durch die Laplace-Matrix.	Shimada et al. (2016)		x	x	
Leicht-Holme-Newman	Ähnlichkeitsmaß, welches die gemeinsamen Nachbarn zweier Knoten durch den quadrierten Mittelwert teilt.	Afra et al (2017)				x
Manhattan distance	Misst die Distanz zwischen zwei Knoten als die Summe der absoluten Differenzen ihrer Einzelkoordinaten.	Royer (2001)	x			x
Overlap Similarity	Misst die Überschneidung zwischen zwei Sets/Netzwerken. Die Overlap-Similarity ist definiert als die Größe der Überschneidung dividiert durch die Größe des kleineren Sets/Netzwerkes.	Vijaymeena & Kavitha (2016)			x	
Pearson Correlation Distance	Berechnet die Distanz zwischen zwei Knoten mittels des Pearson-Korrelationskoeffizienten.	Pearson (1895)	x			x
Pearson Similarity	Berechnet die Ähnlichkeit zwischen zwei Variablen. Die Pearson-Ähnlichkeit ist definiert als die Kovarianz zweier n-dimensionaler Vektoren geteilt durch das Produkt ihrer Standardabweichungen.	Pearson (1895)				x
Plasticity	Fähigkeit des Netzwerkes, sich nach einem Schock an den neuen Zustand anzupassen.	-		x	(x)	

Indikator	Kurzdefinition	Ursprung/ Nutzung	Geo	Glob	Lok	Akt
Preferential Attachment	Ähnlichkeitsmaß basierend auf den gemeinsamen Nachbarn zweier Knoten. Knoten sind sich umso ähnlicher, je höher der Grad ihrer Nachbarn.	Barabasi & Albert (2002)				x
Resilience	Fähigkeit des Netzwerkes, nach einem Schock in den Ausgangszustand zurückzukehren.	Bocaletti et al. (2006)		x	(x)	
Resource Allocation	Ein Ähnlichkeitsmaß ähnlich zum Adamic Adar Indikator, jedoch basierend auf einer linearen Form.	Zhou et al. (2009)				x
Spearman correlation distance	Nichtparametrisches Maß basierend auf dem Spearman Korrelationskoeffizient.	Spearman (1904)				x
Total Neighbors	Misst die Ähnlichkeit zweier Knoten basierend auf deren gemeinsamen Nachbarn.	-				x

Tab. 9: Maße zur Quantifizierung der Netzwerkähnlichkeit

Indikator	Kurzdefinition	Ursprung/ Nutzung	Geo	Glob	Lok	Akt
Global Efficiency	Der Indikator quantifiziert die Möglichkeit des Informationsaustausches im gesamten Netzwerk.	Burt (1992); Schilling & Phelps (2007)		x		
Local Efficiency	Der Indikator betrachtet, wie gut noch Informationen zwischen den Nachbarn eines Knotens ausgetauscht werden können, wenn dieser entfernt wird.	Burt (1992); Schilling & Phelps (2007)				x
Distance weighted reach	Distanz zwischen einem Knoten und allen anderen von diesem erreichbaren Knoten.	Borgatti et al. (2002); Borgatti (2006)				x
Average distance weighted reach	Mittlere Erreichbarkeit aller Knoten.	Borgatti et al. (2002); Borgatti (2006)		x	x	
Internal reach	Durchschnittliche Reichweite zu Knoten innerhalb derselben Region/ desselben Teilnetzwerkes.	Borgatti et al. (2002); Borgatti (2006), Breschi & Lenzi (2013)			x	
External reach	Durchschnittliche Reichweite zu Knoten anderer Regionen/Teilnetzwerke.	Borgatti et al. (2002); Borgatti (2006), Breschi & Lenzi (2013)			x	
Average shortest path length	Durchschnittliche Längen aller kürzesten Pfade im Netzwerk.	Freeman (1979)		x	x	

Indikator	Kurzdefinition	Ursprung/ Nutzung	Geo	Glob	Lok	Akt
Network Diameter	Längster aller kürzesten Pfade im Netzwerk bzw. die kürzeste Distanz zwischen den beiden am weitesten entfernten Knoten im Netzwerk.	-		x	x	
Standard Distance Deviation	Standardabweichung der Distanz jedes Knotens zum Netzwerkschwerpunkt.	Levine (2004)	x	x	x	

Tab. 10: Maße zur Quantifizierung der Erreichbarkeit & Reichweite in Netzwerken

Indikator	Kurzdefinition	Ursprung/ Nutzung	Geo	Glob	Lok	Akt
Lokaler Clusterkoeffizient	Der lokale Clusterkoeffizient eines Knotens ist das Verhältnis zwischen den existierenden Verbindungen zu anderen Knoten und der maximal möglichen Anzahl an Verbindungen.	Watts & Strogatz (1998)				x
Globaler Clusterkoeffizient	Der globale Clusterkoeffizient betrachtet den lokalen Clusterkoeffizienten für alle Knoten N des Netzwerks, indem es das arithmetische Mittel über alle lokalen Clusterkoeffizienten bildet.	Watts & Strogatz (1998)		x	x	
Modularity	Misst, wie gut ein Netzwerk in einzelne Cluster/Gruppen/Module eingeteilt werden kann.	Guimera & Amaral (2005)				
Partizipationskoeffizient	Misst das Ausmaß der Zugehörigkeit zu einem spezifischen Modul / einer spezifischen Gruppe.	Guimera & Amaral (2005)			(x)	x
Geographic clustering coefficient	Misst, wie eng die Nachbarschaft eines Knotens miteinander verbunden ist. Hierbei erfolgt eine Gewichtung basierend auf der geografischen Distanz.	Scellato et al (2010)	x			x

Tab. 11: Gruppierungs- und Clustermaße für Netzwerke

Indikator	Kurzdefinition	Ursprung / Nutzung	Geo	Glob	Lok	Akt
Density	Verhältnis zwischen den existierenden Kanten im Netzwerk und der maximal möglichen Kanten.	Wasserman & Faust (1994)		x	x	
Degree	Anzahl der Kanten, die von einem Knoten ausgehen.	Hakimi (1962)				x
Average Degree	Durchschnittliche Anzahl der Kanten, die von den Knoten im Netzwerk ausgehen.	Hakimi (1962)		x	x	
Size (Number of Nodes)	Anzahl der Knoten des Netzwerks.	Wasserman & Faust (1994)		x	x	
Size (Number of Edges)	Anzahl der Kanten des Netzwerks.	Wasserman & Faust (1994)		x	x	

Tab. 12: Standardmaße der Netzwerkanalyse

Indikator	Kurzdefinition	Ursprung/ Nutzung	Geo	Glob	Lok	Akt
Node Locality	Quantifiziert die geografische Nähe der Nachbarn eines Knoten.	Scellato et al (2010)	x			x
Average node Locality	Gibt die durchschnittliche Node Locality im Netzwerk an.	Scellato et al (2010)	x			x
Mean Center	Schwerpunkt des Netzwerks, wobei der Mittelwert aus allen Längen- und Breitengraden der Knoten gebildet wird.	Levine (2004)	x	x	x	
(Weighted) Mean Center	Gewichteter Schwerpunkt des Netzwerks, wobei der Mittelwert aus allen Längen- und Breitengraden der Knoten gebildet wird. Die Gewichtung erfolgt bspw. basierend auf den Knotengraden.	Levine (2004)	x	x	x	
Median Center	Schwerpunkt des Netzwerks, wobei der Median aus allen Längen- und Breitengraden der Knoten gebildet wird.	Levine (2004)	x	x	x	
(Weighted) Median Center	Gewichteter Schwerpunkt des Netzwerks, wobei der Median aus allen Längen- und Breitengraden der Knoten gebildet wird. Die Gewichtung erfolgt bspw. basierend auf den Knotengraden.	Levine (2004)	x	x	x	

Tab. 13: Standortmaße der Netzwerkanalyse



Indikator	Kurzdefinition	Ursprung/ Nutzung	Geo	Glob	Lok	Akt
Betweenness centrality	Quantifiziert die Häufigkeit, die ein Knoten auf dem kürzesten Pfad von zwei anderen Knoten liegt.	Freeman (1977)		(x)	(x)	x
Closeness centrality	Mittlere Länge der kürzesten Wege zwischen einem Knoten und allen anderen Knoten im Netzwerk.	Sabidussi (1966)		(x)	(x)	x
Eigenvektor centrality	Misst den Einfluss eines Knotens auf das Netzwerk durch das Zuweisen einer relativen Bewertung aller anderen Knoten.	Leontief (1951)		(x)	(x)	x
Degree centrality	Anzahl der Verbindungen eines Knotens (entspricht dem Knotengrad)	-		(x)	(x)	x
Extensity centrality	Gibt an, inwiefern ein Knoten sich mit Knoten aus Untergruppen des Graphen verbindet.	Newman (2001).; Zhang et al. (2014)		(x)	(x)	x
Harmonic centrality / valued centrality	Variante der Closeness-Zentralität, welche die inverse Distanz eines Knotens zu allen anderen Knoten betrachtet.	Marchiori & Latora (2000)		(x)	(x)	x
Katz centrality	Misst die Anzahl aller Knoten, welche durch einen einzelnen Pfad verbunden werden können, wobei entfernte Knoten geringer gewichtet werden.	Katz (1953)		x	x	

Indikator	Kurzdefinition	Ursprung/ Nutzung	Geo	Glob	Lok	Akt
Cross-clique central- ity / clique-overlap centrality	Beschreibt die Verbindung eines Knotens zu verschie- denen Gruppen im Netz- werk.	Faghani & Nguyen (2013); Everett & Borgatti (1998)				x
Extensity centrality- Newman (Cext-N)	Misst die Stärke gemeinsa- mer Verbindungen zwi- schen Knoten.	Zhang et al. (2014)				x
Entropy centrality	Misst die Zentralität von Knoten basierend auf de- ren Beitrag zur Entropie des Graphen.	Tutzauer (2007), Börner et al. (2005)				x

Tab. 14: Zentralitätsmaße der Netzwerkanalyse

### 5.3.4 Indikatorenselktion

Basierend auf der vorangegangenen Zusammenstellung potentiell relevanter Netzwerkindikatoren wurde eine Auswahl getroffen. Dies ist in derlei Hinsicht sinnvoll und notwendig, da bei Nutzung aller Indikatoren schon aufgrund der großen Anzahl das Indikatoriksystem unpraktikabel wäre, es zudem häufig Überschneidungen in der Aussage der Indikatoren gibt und letztlich auch nicht alle Indikatoren relevant für das Indikatoriksystem sind. Meyer (2004) schlägt hierzu einen Vergleich der gesammelten Indikatoren nach mehreren, festgelegten Selektionskriterien vor, um herauszufinden, welche Indikatoren letztlich beibehalten, weiterentwickelt bzw. abgelehnt werden sollen. Im Rahmen der Indikatorenselktion wurden deshalb zunächst in der Literatur genutzte Anforderungskriterien für Indikatoren zusammengetragen.

Tabelle 12 gibt nachfolgend einen Überblick über mögliche Anforderungs- und Selektionskriterien bei der Indikatorenauswahl. Es handelt sich hierbei um eine idealtypische Darstellung. So genügen zum einen nicht alle aufgezeigten Indikatoren sämtlichen Kriterien, zum anderen sind letztlich auch nicht alle Kriterien relevant für das Indikatoriksystem. Im Hinblick auf die Anforderungen des Indika-

toriksystems im Generellen sowie Netzwerkindikatoren im Speziellen wurde deshalb ein Subset der aufgezeigten Kriterien ausgewählt, welches letztlich zur Bewertung und Auswahl der Indikatoren herangezogen wurde.

Kriterienkategorie	Kriterium
Wissenschaftliche Kriterien	Datenqualität, Transparenz bei Unsicherheit
	Genauigkeit
	Nachvollziehbarkeit der Aggregation
	Nachvollziehbarkeit der Auswahlkriterien
	Repräsentativität und Relevanz für das Zielsystem (Validität)
	Reproduzierbarkeit der Ergebnisse (Reliabilität)
	Sensitivität
	Verlässlichkeit
Funktionale Kriterien	Eignung zur Erfassung von Trends
	Frühwarnfunktion
	Nicht manipulierbar
	Sensitivität gegenüber Änderungen im Zeitverlauf
	Vergleichbarkeit
Anforderungsbasierte Kriterien	Bedeutung im internationalen, nationalen oder regionalen Kontext
	Hohe Akzeptanz
	Normativ eindeutige Interpretation
	Nutzeradäquate Verdichtung von Informationen und Übersichtlichkeit
	Politische Steuerbarkeit
	Sensibilisierung für Zusammenhänge

	Verständlichkeit für Politik, Verwaltung und Öffentlichkeit
	Zielbezug
Praktikabilitätskriterien	Datenverfügbarkeit
	Handhabbarkeit
	Möglichkeit regelmäßiger Aktualisierung
	Vertretbarer Aufwand bei der Datenbeschaffung

Tab. 15: Selektionskriterien für Indikatoren. Zusammenstellung nach Jourmard & Gudmundsson (2010); Coenen (2000); Atkinson et al. (2002); Noll (2002)

Neben dem Vergleich hinsichtlich der Selektionskriterien erfolgte die Auswahl der Indikatoren zudem derart, dass für jede Kombination aus Skalierungsebene sowie Indikatortyp mindestens ein passender Indikator ausgewählt wurde.

Tabelle 16 gibt nachfolgend einen Überblick über die für das Indikatoriksystem herangezogenen Indikatoren.

	Global	Lokal-/Sektoral	Akteursbezogen
Standardmaße	Dichte; Average Degree; Größe (Zahl Knoten/Kanten)	Dichte; Average Degree; Größe (Zahl Knoten/Kanten)	Degree
Ähnlichkeitsmaße	RV-Koeffizient	RV-Koeffizient	Common Neighbors; Adamic Adar
Erreichbarkeits-/Reichweitenmaße	Global Efficiency ; Average distance weighted reach	Global Efficiency ; Average distance weighted reach Internal Reach; External Reach	Local Efficiency; Distance weighted reach
Gruppierungs-/Clustermaße	Modularity; globaler Clusterkoeffizient	Modularity; globaler Clusterkoeffizient	Partizipationskoeffizient
Standortmaße	Average node Locality; (Weighted) Mean Center;	Average node Locality; (Weighted) Mean Center;	Node Locality
Zentralitätsmaße	Betweenness centrality; Closeness centrality	Betweenness centrality; Closeness centrality	Betweenness centrality; Closeness centrality

Tab. 16: Übersicht über die für das Indikatoriksystem herangezogenen Indikatoren

### 5.3.5 Theoretische Beschreibung der ausgewählten Indikatoren

Nach dem erfolgten Selektionsprozess sollen die einzelnen Indikatoren des Indikatorksystems nachfolgend genauer beschrieben werden. Die Darstellungen umfassen hierbei eine theoretische und formale Beschreibung des jeweiligen Indikators, Angaben zu dessen Nutzbarkeit im Innovationssystem sowie Quellen und Literaturangaben für eine vertiefende Beschäftigung. Eine beispielhafte Anwendung der Indikatoren im Rahmen einer Untersuchung des Technologiefelds Elektromobilität erfolgt im nachfolgenden Kapitel.

Indikator	Lokale Effizienz / Local Efficiency
Theoretische Beschreibung	<p>Der Local Efficiency Indikator nach Burt (1992) untersucht den Einfluss der lokalen Netzwerkstruktur eines Akteurs. Das Maß gibt hierbei an, in welchem Ausmaß die direkten Partner des Akteurs nicht-redundant sind. Die Local Efficiency für den Akteur <math>i</math> im Jahr <math>t</math> kann mit der Formel</p> $ELoc_{it} = \frac{[\sum_j [1 - \sum_q p_{iq} m_{iq}]]}{N_i}, \quad j \neq q$ <p>berechnet werden, wobei <math>p_{iq}</math> den Anteil der Gesamtverbindungen <math>i</math>'s angibt, der mit <math>q</math> realisiert wird, und <math>m_{iq}</math> der marginalen Verbindungsstärke zwischen den anderen <math>j</math> und <math>q</math> entspricht. <math>N_i</math> stellt die Anzahl an Partnern dar, die ausschließlich mit <math>i</math> verbunden sind. Sofern keine Kantengewichtung existiert, entsprechen die Werte für <math>m_{iq}</math> entweder 1, falls eine Verbindung existiert, oder 0, falls keine Verbindung existiert. Die letztendliche Local Efficiency variiert zwischen null und eins, wobei höhere Werte auf eine höhere Effizienz hinweisen.</p>
Aussagekraft / Nutzbarkeit im Innovationssystem	<p>Der Indikator gibt Auskunft darüber, in welchem Maße ein Akteur innerhalb eines Netzwerks mit anderen Akteuren vernetzt ist. Unter einer dynamischen Betrachtung lässt sich hierdurch feststellen, ob dieser Akteure sich im zeitverlauf zunehmend stark vernetzt oder seine Vernetzung mit anderen Akteuren eher abnimmt.</p>
Quellen	<p>Burt (1992); Schilling &amp; Phelps (2007)</p>

Tab. 17: Local Efficiency Indikator

Indikator	Globale Effizienz / Global Efficiency
Theoretische Beschreibung	<p>Der Global Efficiency Indikator nach Burt (1992) untersucht die generelle Verbindungseffizienz eines Netzwerks. Er entspricht hierbei einer netzwerkübergreifenden Anwendung des Local Efficiency-Indikators. Der Indikator ist hierbei definiert als</p> $EGlob_t = \frac{E(G)}{E(G^{ideal})}$ <p>wobei <math>E(G)</math> der durchschnittlichen Effizienz im Netzwerk und <math>E(G^{ideal})</math> der Effizienz des Netzwerks unter Annahme einer direkten Verbindung zwischen allen Akteuren entspricht. Die durchschnittliche Effizienz entspricht hierbei</p> $E(G) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i \neq j \in G} \frac{1}{d(i,j)} * \frac{1}{E}$ <p>mit <math>n</math> als Gesamtanzahl der Akteure im Netzwerk und <math>d(i,j)</math> als Länge der kürzesten Verbindung zwischen den Akteuren <math>i</math> und <math>j</math>. Letztendlich zeigt der Indikator somit auf, wie weit das vorhandene Netzwerk von einem perfekt verbundenen Netzwerk entfernt ist.</p>
Aussagekraft / Nutzbarkeit im Innovationssystem	<p>Der Indikator gibt Auskunft darüber, in welchem Maße die Akteure innerhalb eines Netzwerks miteinander vernetzt sind. Unter einer dynamischen Betrachtung lässt sich hierdurch feststellen, ob die Akteure innerhalb eines Netzwerks sich zunehmend stark vernetzen oder ihre Vernetzung miteinander eher abnimmt.</p>
Quellen	Latora & Marchiori, (2001)

Tab. 18: Global Efficiency Indikator

Indikator	Reichweite / (Average) Distance Weighted Reach
<p>Theoretische und formale Beschreibung</p>	<p>Bei der zuerst von Borgatti et al. (2002) vorgestellten <i>distance weighted reach</i> handelt es sich um einen Indikator, welcher die Distanz zwischen Akteur <math>i</math> und allen anderen von diesem erreichbaren Akteuren untersucht. Formal stellt sich der Indikator, wie in der nachfolgenden Formel aufgezeigt, als die Summe der inversen Distanzen <math>d_{ij}</math> (i.d.R. kürzeste geodätische Distanz) zwischen Akteur <math>i</math> und den anderen Akteuren <math>j</math> zum Zeitpunkt <math>t</math> dar:</p> $dwr_{it} = \sum_j \frac{1}{d_{ij}}.$ <p>Zur Darstellung der generellen, durchschnittlichen Reichweite kann als weiterentwickeltes Verbundmaß auch die <i>average distance weighted reach</i> genutzt werden, welche die mittlere Erreichbarkeit aller Akteure <math>n</math> berechnet:</p> $adwr_{it} = \frac{\sum_n \sum_j \frac{1}{d_{ij}}}{n}.$ <p>Eine zusätzliche Anpassung dieses Indikators für inter- und intraregionale Betrachtungen bzw. Betrachtungen von mehreren Teilnetzwerken erfolgte durch Breschi &amp; Lenzi (2013). Die <i>internal reach</i> betrachtet hierbei die durchschnittliche Reichweite zu Akteuren innerhalb der selben Region, während die <i>external reach</i> die Reichweite zu Akteuren anderer Regionen misst.</p> $internal\ reach_{it} = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \frac{1}{d_{jk}}}{n_i};$ $external\ reach_{it} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{h=1}^{n_h} \frac{1}{d_{ih}}}{n_i}$
<p>Aussagekraft / Nutzbarkeit im Innovationssystem</p>	
<p>Quellen</p>	<p>Borgatti et al. 2002; Borgatti (2006), Schilling &amp; Phelps (2007), Breschi &amp; Lenzi (2013)</p>

Tab. 19: Reichweite / (Average) Distance Weighted Reach



Indikator	Netzwerkdichte / Network Density
Theoretische und formale Beschreibung	<p>Die Dichte eines Netzwerks ist definiert als das Verhältnis der Anzahl an existierenden Verbindungen in einem Graphen zur Anzahl der maximal möglichen Verbindungen in dem Graphen (vollständige Vernetzung). Mit <math>E</math> als Anzahl der bestehenden Kanten im Netzwerk und <math>V</math> als Anzahl der existierenden Knoten ergibt sich demnach die nachfolgende formale Darstellung für ungerichtete Graphen:</p> $D = \frac{2 E }{ V  * ( V  - 1)}$ <p>Unter Betrachtung der Dichte über die Zeit lassen sich Rückschlüsse auf deren Evolution und damit die Änderung der generellen Vernetzung des Graphen ziehen.</p>
Aussagekraft / Nutzbarkeit im Innovationssystem	<p>Die Dichte als Standardmaß gibt an, wie „dicht“ die Vernetzung zwischen den Knoten im Netzwerk ist. Eine zunehmende Dichte impliziert bei gleichbleibender Anzahl an Knoten, dass sich die Vernetzung innerhalb des Netzwerks verstärkt hat. Aufgrund der starken Abhängigkeit des Indikators von der Netzwerkgröße sollte dessen Interpretation vor allem bei dynamischen Betrachtungen stets unter Berücksichtigung einer eventuellen Veränderung der Knotenzahl im Netzwerk erfolgen.</p>
Quellen	Santoro et al. (2011)

Tab. 20: Netzwerkdichte / Network Density

Indikator	Globaler & lokaler Clusterkoeffizient
<p>Theoretische Beschreibung</p>	<p>Der von Watts &amp; Strogatz (1998) entwickelte Clusterkoeffizient beschreibt das Ausmaß von Transitivität bzw. Cliquenbildung in einem gegebenen Netzwerk. Er begegnet hiermit der Feststellung, dass Knoten dazu tendieren, sich verstärkt in kleineren, kompakten Gruppen mit vergleichsweise hoher Dichte zu vernetzen (Santoro, 2010).</p> <p>Je nachdem, ob ein einzelner Akteur oder ein gesamtes Netzwerk hinsichtlich seiner Transitivität untersucht wird, sprechen wir hierbei von einem lokalen bzw. globalen Clusterkoeffizienten. Ersterer definiert sich als der Quotient aus der Anzahl an Kanten <math>n</math>, die zwischen den <math>k_i</math> Nachbarn des Knotens <math>i</math> verlaufen, und der Anzahl an maximal realisierbaren Kanten zwischen diesen Nachbarn. Für einen ungerichteten Graph drückt sich dieser Zusammenhang folgendermaßen aus:</p> $C_i = \frac{2n}{k_i(k_i - 1)}$ <p>Für einen Knoten <math>i</math> gibt der Clusterkoeffizient somit an, in welchem Ausmaß dessen Nachbarschaft einer Clique ähnelt. Der globale Clusterkoeffizient betrachtet dies für alle Knoten <math>N</math> des Netzwerks, indem es das arithmetische Mittel über alle lokalen Clusterkoeffizienten bildet:</p> $C_{global} = \frac{1}{N} \sum_i C_i$
<p>Quellen</p>	<p>Santoro et al. (2011)</p>

Tab. 21: Globaler & lokaler Clusterkoeffizient

Indikator	Modularität / Modularity
Theoretische Beschreibung	<p>Die Modularität misst, wie stark ein bestehendes Netzwerk in einzelne Untergruppen (bzw. Cluster oder Module) geteilt werden kann. Eine solche Modularität kennzeichnet sich hierbei insbesondere dadurch, dass Knoten innerhalb einzelner Gruppen eine starke Vernetzung zueinander und eine geringere Vernetzung zu Knoten anderer Gruppen aufweisen. Die Modularität zwischen zwei Knoten <math>i</math> und <math>j</math> kann hierbei in einem ungerichteten Graph als das mit der doppelten Anzahl an Kanten dividierte Produkt der Knotengrade <math>k</math> dargestellt werden:</p> $M_{ij} = \frac{k_i * k_j}{2 E }$ <p>Bei gegebener Anzahl Gruppen bzw. Module kann die Modularität des Gesamtnetzwerks nach Guimera &amp; Amaral (2005) folgendermaßen berechnet werden:</p> $M = \sum_{s=1}^{N_M} \left[ \frac{E_s}{ E } - \left( \frac{d_s}{2 E } \right)^2 \right]$ <p><math>N_M</math> entspricht hierbei der Anzahl an Modulen, <math>E_s</math> der Zahl an Kanten zwischen den Knoten in Modul <math>s</math>, <math>d_s</math> der Summe der Knotengrade in Modul <math>s</math> und <math> E </math> der Anzahl an Kanten im Gesamtnetzwerk.</p> <p>Die Modularität eines einzelnen Knoten <math>i</math> wiederum berechnet sich nach Guimera &amp; Amaral (2005) als</p> $M_i = 1 - \sum_{s=1}^{N_M} \left( \frac{E_{is}}{k_i} \right)^2,$ <p>wobei <math>E_{is}</math> der Anzahl an Verbindungen von Knoten <math>i</math> zu den anderen Knoten des Moduls <math>s</math> und <math>k_i</math> dem Gesamtgrad von Knoten <math>i</math> entspricht.</p>
Aussagekraft / Nutzbarkeit im Innovationssystem	<p>Der Modularitätsindikator gibt Informationen zur Ausprägung von Gemeinschaftsstrukturen. Speziell bei einer dynamischen Betrachtung über die Zeit können so strukturelle Merkmale komplexer Netzwerke offengelegt werden, wie beispielsweise, ob Gruppen, Sektoren bzw. Subnetzwerke über die Zeit zu einer Homogenisierung oder einer Spezialisierung neigen.</p>
Quellen	Santoro et al. (2011), Newman (2004); Guimera & Amaral (2005)

Tab. 22: Modularität / Modularity

Indikator	Betweenness-Zentralität / Betweenness centrality
Theoretische Beschreibung	<p>Die von Freeman (1979) eingeführte Betweenness-Zentralität misst das Ausmaß, mit welchem ein Knoten/Akteur sich auf dem kürzesten Pfad zwischen allen anderen Knotenkombinationen im Netzwerk befindet. Für einen Knoten <math>i</math> kann die Betweenness-Zentralität zum Zeitpunkt <math>t</math> folgendermaßen berechnet werden:</p> $BC_{it} = \sum_{j \neq k} \frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}}$ <p>Hierbei entspricht <math>g_{jk}(n_i)</math> der Anzahl an kürzesten Pfaden zwischen <math>j</math> und <math>k</math> die durch <math>i</math> führen, während <math>g_{jk}</math> der Gesamtanzahl an kürzesten Pfaden zwischen <math>j</math> und <math>k</math> entspricht. Der Term <math>\frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}}</math> entspricht demnach der Wahrscheinlichkeit, mit welcher <math>i</math> auf einem der kürzesten Pfade zwischen <math>j</math> und <math>k</math> liegt. Die Betweenness-Zentralität ist dann die Summe aller dieser Wahrscheinlichkeiten über alle Knotenkombinationen, mit Ausnahme von <math>i</math>. Für die Anwendung des Indikators in dynamischer Form sowie eine bessere Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Netzwerken ist zusätzlich eine Normierung sinnvoll.</p> <p>Neben einer aktorsbezogenen Anwendung kann die Betweenness-Zentralität auch auf Akteursgruppen, Subnetzwerke oder mehrere Industrien angewandt werden. Eine solche Betrachtung ermöglicht die ebenfalls von Freeman (1979) beschriebene Gruppen-Betweenness-Zentralität, welche für jede der Gruppen einen spezifischen Zentralitätswert berechnet. Der Indikator stellt sich formal folgendermaßen dar:</p> $GBC_{jt} = 100 * \left\{ \sum_{i=1}^g \frac{[C'_B(n^*) - C'_B(n_i)]}{g - 1} \right\}$ <p><math>C'_B(n^*)</math> entspricht hierbei der maximalen realisierten Betweenness-Zentralität in Gruppe <math>j</math> im Jahr <math>t</math> und <math>C'_B(n_i)</math> der realisierten Betweenness-Zentralität von Akteur <math>i</math> aus Gruppe <math>j</math> im Jahr <math>t</math>. Weiterhin entspricht <math>g</math> der Anzahl an Akteuren in Gruppe <math>j</math>. Das letztendliche Indikatorergebnis kann als prozentualer Wert interpretiert werden, wobei bei der Ausprägung Null alle Akteure der Gruppe die gleiche Betweenness-Zentralität aufweisen, während die Ausprägung 100 darauf hindeutet, dass ein Akteur alle anderen Akteure miteinander verbindet.</p>
Aussagekraft / Nutzbarkeit im Innovationssystem	<p>Mit dem Indikator kann überprüft werden, wie zentral die Position eines Akteurs im Netzwerk ist und inwiefern er somit dazu beiträgt, dass Netzwerk stabil zu halten. Akteure mit einer hohen Betweenness-Zentralität tendieren außerdem dazu, innovationsstärker zu sein (siehe bspw. Owen-Smith and Powell 2004, Soh 2003).</p>
Quellen	Freeman (1979)

Tab. 23: Betweenness-Zentralität / Betweenness centrality

Indikator	Closeness-Zentralität / Closeness centrality
Theoretische Beschreibung	<p>Die Closeness-Zentralität, ursprünglich eingeführt von Freeman (1979), beschreibt die Zentralität eines Knotens basierend auf dessen pfadbasierter Nähe zu allen anderen Knoten im Netzwerk. Mit <math>G = \{V, E\}</math> als Graph kann die Closeness-Zentralität eines Knotens <math>u \in V</math> als Kehrwert der Summe der kürzesten Distanz von <math>u</math> zu allen anderen Knoten <math>v</math> des Netzwerks gesehen werden. Für die Anwendung des Indikators in dynamischer Form sowie eine bessere Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Netzwerken ist zusätzlich eine Normierung sinnvoll. Formal stellt sich die Closeness-Zentralität von Akteur <math>u</math> zu Zeitpunkt <math>t</math> folgendermaßen dar:</p> $CC_{ut} = \sum_{v \in V, u \neq v} \frac{1}{ p(u, v) } \text{ bzw. normiert } C_{ut, norm} = \sum_{v \in V, u \neq v} \frac{ V  - 1}{ p(u, v) }$ <p>Neben einer akteursbezogenen Anwendung kann die Betweenness-Zentralität auch auf Akteursgruppen angewandt werden. Eine solche Betrachtung ermöglicht die von Everett &amp; Borgatti (2005) beschriebene Group-Closeness-Zentralität, welche für jede der Gruppen einen spezifischen Zentralitätswert berechnet. Der Indikator entspricht hierbei der inversen Summe der Distanzen der Gruppe <math>j</math> zu allen anderen Knoten außerhalb von Gruppe <math>j</math> und kann formal folgendermaßen ausgedrückt werden:</p> $GCC_{jt} = \sum_{x \in V - C} d(x, C) \text{ bzw. normiert } GCC_{jt, norm} = \frac{ V - C }{\sum_{x \in V - C} d(x, C)},$ <p>Hierbei entspricht <math>C</math> einem Subset von <math>V</math> mit allen Knoten in Gruppe <math>j</math> und <math>d(x, C)</math> der Distanz von Knoten <math>x</math> zu Gruppe <math>C</math>.</p>
Aussagekraft / Nutzbarkeit im Innovationssystem	<p>Mit dem Indikator kann überprüft werden, wie zentral die Position eines Akteurs im Netzwerk ist und inwiefern er sich innerhalb des Netzwerkes in einer leicht erreichbaren Position befindet. Akteure mit einer hohen Closeness-Zentralität sind in einer guten Position hinsichtlich der Akquise und Kontrolle von Informationen innerhalb des Netzwerkes.</p>
Quellen	<p>Sabidussi (1966); Freeman, 1978; Everett &amp; Borgatti (2005)</p>

Tab. 24: Closeness-Zentralität / Closeness centrality

Indikator	Partizipationskoeffizient / Participation Coefficient
<p>Theoretische Beschreibung</p>	<p>Der Partizipationskoeffizient beschreibt, in welchem Ausmaß ein Knoten einer bestimmten Gruppe zugehörig ist. Der Partizipationskoeffizient <math>P</math> für Knoten <math>i</math> zum Zeitpunkt <math>t</math> stellt sich dar als:</p> $P_{it} = 1 - \sum_{s=1}^{N_M} \left( \frac{k_{is}}{k_i} \right)$ <p>Hierbei entspricht <math>k_{is}</math> der Anzahl an Verbindungen von Knoten <math>i</math> zu allen Knoten innerhalb der Gruppe bzw. des Moduls <math>s</math> und <math>k_i</math> dem Grad von <math>i</math> bezogen auf das Gesamtnetzwerk. Bei einer Ausprägung des Partizipationskoeffizienten von Eins kann man hierbei von einer vollständig gleichförmigen Verteilung der Verbindungen von <math>i</math> zu allen Gruppen ausgehen, wohingegen ein Wert von Null impliziert, dass alle Verbindungen des Knoten <math>i</math> zu Knoten innerhalb einer einzelnen Gruppe bestehen. Der Term <math>\frac{k_{is}}{k_i}</math> ist hierbei eine einfache Form zur Untersuchung des Ausmaßes der Gruppenzugehörigkeit, welche auch separiert zum Vergleich zwischen diesen verwendet werden kann.</p>
<p>Aussagekraft / Nutzbarkeit im Innovationssystem</p>	<p>Mit dem Indikator kann überprüft werden, ob ein Knoten bzw. Akteur vornehmlich einer einzelnen Gruppe angehört oder in mehreren Gruppen gleichzeitig aktiv ist und somit als Bindeglied zwischen den Gruppen gesehen werden kann. Gleichzeitig gibt der Indikator damit Auskunft darüber, wie abhängig ein Akteur vom Bestehen einer Gruppe ist.</p>
<p>Quellen</p>	<p>Guimera &amp; Amaral (2005)</p>

Tab. 25: Partizipationskoeffizient / Participation Coefficient

Indikator		(Average) Node Locality
Theoretische Beschreibung	Be-	<p>Der Node Locality Indikator quantifiziert die geografische Nähe der Nachbarn eines Knoten zu ebendiesem. Der Indikator kann hierbei formal folgendermaßen dargestellt werden:</p> $NL_i = \frac{1}{k_i} \sum_{j \in \Gamma_i} e^{-\frac{l_{ij}}{\beta}}$ <p>Die Formel dient zur Betrachtung eines ungerichteten Netzwerkes mit geografisch verortbaren Knoten, wobei <math>\Gamma_i</math> dem Set an Nachbarn (d.h. Knoten mit einer direkten Verbindung zu <math>i</math>) von Knoten <math>i</math> und <math>k_i</math> der Anzahl der Nachbarn entspricht. Die geografische Distanz zwischen <math>i</math> und <math>j</math> wird durch <math>l_{ij}</math> dargestellt, wobei der Skalierungsfaktor <math>\beta</math> verhindert, dass einzelne, sehr hohe Distanzen zu übermäßig kleinen Indikatorwerten führen. Als Skalierungsfaktor kann hierbei die durchschnittliche geografische Distanz oder auch einer beliebigen anderen Distanz, welche die Trennung zwischen langen und kurzen Entfernungen widerspiegelt, gewählt werden. Der letztendliche Indikatorwert liegt stets zwischen 0 und 1, wobei ein Wert von 1 einer optimalen Node Locality, d.h. alle Nachbarn liegen geografisch am selben Ort, entspricht. Für die Betrachtung eines Gesamt- oder Teilnetzwerkes kann auch auf die Average Node Locality zurückgegriffen werden, welche die Node Locality jedes Knotens im Netzwerk berechnet und ins Verhältnis zur Knotenanzahl setzt.</p>
Aussagekraft / Nutzbarkeit im Innovationssystem	/	<p>Der Indikator gibt Auskunft darüber, wie zentral die Lage eines Knotens zu anderen mit ihm verbundenen Knoten ist. Wenn man bei der Indikatorberechnung alle vorhandenen Knoten des Netzwerkes an Stelle lediglich der Nachbarn heranzieht, erhält man zudem Informationen über die geografische Zentralität des betrachteten Knotens als Ergänzung der anderen hier vorgestellten Zentralitätsmaße.</p>
Quellen		Guimera & Amaral (2005), Scellator (2010)

Tab. 26: (Average) Node Locality

Indikator	(Weighted) Mean Center / Mittlerer Mittelpunkt
Theoretische Beschreibung	<p>Das Mean Center oder auch der Mittlere Mittelpunkt eines räumlichen Netzwerks ergibt sich aus der mittleren gewichteten x-Koordinate und der mittleren gewichteten y-Koordinate aller Knoten des Netzwerks. Eine Gewichtung kann beispielsweise basierend auf den jeweiligen Knotengraden erfolgen. Formal kann das Mean Center eines Netzwerks mit <math>i</math> Knoten folgendermaßen dargestellt werden</p> $wm_x = \frac{\sum_i x_i * w_i}{\sum_i w_i} \quad wm_y = \frac{\sum_i y_i * w_i}{\sum_i w_i},$ <p>wobei <math>x</math> und <math>y</math> der jeweiligen Koordinate des Knotens und <math>w</math> der jeweiligen Gewichtung entspricht. Zu beachten ist hierbei, dass der Mittelwert nicht basierend auf der Anzahl an Knoten, sondern der Summe aus deren Gewichten bestimmt wird.</p>
Aussagekraft / Nutzbarkeit im Innovationssystem	<p>Der Indikator gibt Auskunft darüber, wo sich der (gewichtete) geografische Mittelpunkt eines Netzwerks befindet. Hierdurch lässt sich abschätzen, wo ein geografisch zentraler Standort des Netzwerkes liegt und, unter dynamischer Betrachtung, wie sich der geografische Schwerpunkt des Netzwerks über die Zeit entwickelt.</p>
Quellen	Levine (2004)

Tab. 27: (Weighted) Mean Center / Mittlerer Mittelpunkt



Indikator	RV-Koeffizient
Theoretische Beschreibung	<p>Der RV-Koeffizient wurde ursprünglich von Escoufier (1970, 1973) sowie Robert &amp; Escoufier (1976) eingeführt und dient der Messung des Verhältnisses zwischen zwei Variablen-Sets. Im Rahmen einer Netzwerkanalyse kann er jedoch auch zur Quantifizierung der generellen Veränderung innerhalb eines Netzwerkes in Form einer Matrixkorrelationsberechnung herangezogen werden (Josse &amp; Holmes, 2016).</p> <p>Der RV-Koeffizient basiert auf dem Prinzip, dass eine perfekte Korrelation zwischen zwei Variablensets vorherrscht, wenn eine orthogonale Transformation existiert unter der sich die Variablensets gleichen. Mit 1) <math>X</math> als <math>n \times p</math> Matrix mit <math>p</math> Variablen von <math>X_1</math> zu <math>X_p</math>, 2) <math>Y</math> als <math>n \times q</math> Matrix mit <math>q</math> Variablen von <math>Y_1</math> zu <math>Y_q</math> und 3) beiden Sets definiert für die gleichen <math>n</math> Akteure kann der RV-Koeffizient folgendermaßen definiert werden:</p> $RV(X, Y) = \frac{\text{tr}(XX'YY')}{\sqrt{\text{tr}((XX')^2)\text{tr}((YY')^2)}} = \frac{\text{tr}(S_{XY}S_{YX})}{\sqrt{\text{tr}(S_{XX}^2) * \text{tr}(S_{YY}^2)}}$ <p>Hierbei entspricht <math>\text{tr}</math> dem trace-operator, <math>S_{XX} = \left(\frac{1}{n-1}\right)X'X</math> und <math>S_{YY} = \left(\frac{1}{n-1}\right)Y'Y</math> beziehen sich auf die jeweiligen empirische Kovarianzmatrix und <math>S_{XY} = \left(\frac{1}{n-1}\right)X'Y</math> bzw. <math>S_{YX} = \left(\frac{1}{n-1}\right)Y'X</math> beziehen sich auf die empirische Kovarianzmatrix zwischen <math>X</math> und <math>Y</math>. Der Koeffizient selbst liegt zwischen Null und Eins und entspricht bei letzterem einer perfekten Übereinstimmung zwischen den Matrizen bzw. bei ersterem einer vollständigen Nichtübereinstimmung.</p>
Aussagekraft / Nutzbarkeit im Innovationssystem	<p>Der Indikator kann herangezogen werden, um einen generellen Überblick über die Strukturänderung innerhalb eines Netzwerkes über einen längeren Zeitraum zu erhalten. Er ermöglicht es hierbei, Zeiträume größerer struktureller Ähnlichkeit sowie auch Strukturbrüche im Netzwerk zu erkennen.</p>
Quellen	<p>Escoufier (1970, 1973); Robert &amp; Escoufier (1976); Josse &amp; Holmes (2016)</p>

Tab. 28: RV-Koeffizient

Indikator	Common Neighbors
Theoretische Beschreibung	<p>Der Common Neighbors Indikator vergleicht die Ähnlichkeit zweier Knoten basierend auf den von ihnen geteilten Nachbarn. Er sagt hierbei aus, dass Knoten, welche viele Nachbarn teilen, auch eine hohe Ähnlichkeit zueinander haben. Der Indikator kann hierbei folgendermaßen formuliert werden:</p> $CN(x, y) =  N(x) \cap N(y) $ <p>Hierbei entspricht <math>N(x)</math> dem Set an Knoten, welche mit <math>x</math> direkt verbunden sind und <math>N(y)</math> dem Set an Knoten, welche eine direkte Verbindung zu Knoten <math>y</math> aufweisen. Je höher der Indikatorwert ausfällt, desto höher ist die Ähnlichkeit der beiden betrachteten Knoten. Bei einem Indikatorwert von 0 besteht keinerlei Ähnlichkeit.</p>
Aussagekraft / Nutzbarkeit im Innovationssystem	Der Indikator kann dazu genutzt werden, zueinander ähnliche Knoten zu identifizieren.
Quellen	Daminelli et al. (2015)

Tab. 29: Common Neighbors

Indikator		Adamic Adar
Theoretische Beschreibung	Be-	<p>Der Adamic Adar Indikator vergleicht die Ähnlichkeit zweier Knoten basierend auf den von ihnen geteilten Nachbarn. Er ähnelt hierbei dem Common Neighbors Indikator, berücksichtigt jedoch zusätzlich die Gradzentralität der von den beiden betrachteten Knoten geteilten Nachbarn. Hierdurch wird das Konzept berücksichtigt, dass eine geringere Aussagekraft über die Ähnlichkeit von Knoten vorherrscht, wenn der von beiden geteilte Nachbar einen hohen Grad bzw. sehr viele Verbindungen aufweist. Mit <math>N(u)</math> als Anzahl der Nachbarn des von <math>x</math> und <math>y</math> geteilten Nachbarn <math>u</math> kann der Indikator folgendermaßen formuliert werden:</p> $A(x, y) = \sum_{u \in N(x) \cap N(y)} \frac{1}{\log N(u) }$ <p>Der Indikator entspricht demnach der inversen logarithmierten Gradzentralität der von <math>x</math> und <math>y</math> geteilten Knoten. Je höher der Indikatorwert ausfällt, desto höher ist die Ähnlichkeit der beiden betrachteten Knoten. Bei einem Indikatorwert von 0 besteht keinerlei Ähnlichkeit.</p>
Aussagekraft / Nutzbarkeit im Innovationssystem	/	Der Indikator kann dazu genutzt werden, zueinander ähnliche Knoten zu identifizieren.
Quellen		Adamic & Adar (2003)

Tab. 30: Adamic Adar

## 5.4 Zusammenfassung

Das vorliegende Kapitel thematisiert eine generelle Methodik zur Erstellung von technologiefeldbasierten Innovationsnetzwerken unter Berücksichtigung der Aspekte Technologiefeldabgrenzung, Datenerhebung sowie Datenstrukturierung. Zudem wird das Vorgehen zur Erstellung eines auf solche Netzwerke ausgerichteten Indikatoriksystems geschildert, dessen Prämisse es ist, Struktur und Dynamik der Netzwerke sowie die strategische Positionierung von dessen Akteuren adäquat erfassen und über den Zeitverlauf analysieren zu können. Aus den Ausführungen wird sowohl der mit der Erstellung solcher Netzwerke verbundene Prozess als auch die vielfältigen Möglichkeiten zu deren indikatorbasierten Analyse deutlich. Das vorgestellte Indikatoriksystem basiert hierbei auf einem ausgewählten Set aus der Fülle an bestehenden Netzwerkindikatoren, mittels welchem es möglich ist, die Netzwerkstruktur und deren Entwicklung sowie einzelne Akteure so umfassend und effizient wie möglich zu untersuchen. Das System ist hierbei nicht

auf spezielle Technologiefelder ausgerichtet und lässt sich somit unabhängig von diesen sowie auch unabhängig von der Netzwerkgröße anwenden. Eine exemplarische Anwendung erfolgt hierbei im nachfolgenden Kapitel.

## 5.5 Literaturverzeichnis

- Adamic, Lada A; Adar, Eytan (2003). "Friends and neighbors on the web". *Social Networks*. Elsevier. 25 (3): 211–230.
- Afra, S., Aksaç, A., Özyer, T., & Alhajj, R. (2017). Link prediction by network analysis. In *Prediction and inference from social networks and social media* (pp. 97-114). Springer, Cham.
- Aguiar, L., & Gagnepain, P. (2017). European cooperative R&D and firm performance: Evidence based on funding differences in key actions. *International Journal of Industrial Organization*, 53, 1-31.
- Albert, R., & Barabási, A. L. (2002). Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of modern physics*, 74(1), 47.
- Arranz, N., & de Arroyabe, J. C. F. (2012). Can innovation network projects result in efficient performance?. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(3), 485-497.
- Atkinson, T., Cantillon, B., Marlier, E., & Nolan, B. (2002). *Social indicators: The EU and social inclusion*. Oup Oxford.
- Baba, K., Shibata, R., & Sibuya, M. (2004). Partial correlation and conditional correlation as measures of conditional independence. *Australian & New Zealand Journal of Statistics*, 46(4), 657-664.
- Barajas, A., & Huergo, E. (2010). International R&D cooperation within the EU Framework Programme: Empirical evidence for Spanish firms. *Economics of Innovation and New Technology*, 19(1), 87-111.
- Bischoff, J., Taphorn, C., Wolter, D., Braun, N., Fellbaum, M., Goloverov, A., ... & ten Hompel, M. (2015). *Erschließen der Potenziale der Anwendung von Industrie 4.0 im Mittelstand*. Berlin: BMWi.
- BMWi, 2015 [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/erschliessen-der-potenziale-der-anwendung-von-industrie-4-0-im-mittelstand.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/erschliessen-der-potenziale-der-anwendung-von-industrie-4-0-im-mittelstand.pdf?__blob=publicationFile&v=5); S.17

- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., & Hwang, D. U. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics reports*, 424(4-5), 175-308.
- Borgatti, S. P. (2006). Identifying sets of key players in a social network. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 12(1), 21-34.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G., & Freeman, L. C. (2002). *Ucinet for Windows: Software for social network analysis*. Harvard, MA: analytic technologies, 6.
- Breiman, L., Friedman, J., Stone, C. J., & Olshen, R. A. (1984). *Classification and regression trees*. CRC press.
- Breschi, S., & Lenzi, C. (2013). Local buzz versus global pipelines and the inventive productivity of US cities. In *The geography of networks and R&D collaborations* (pp. 299-315). Springer, Cham.
- Burghouwt, G. (2007). *Airline Network Development in Europe and its implications for Airport Planning*. Ashgate. Aldershot, England.
- Burt, R. S. 1992. *Structural Holes*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Chen, L., Yang, G., Zhang, Y., & Chen, Z. (2010, December). Web services clustering using SOM based on kernel cosine similarity measure. In *The 2nd International Conference on Information Science and Engineering* (pp. 846-850). IEEE.
- Coenen, R. (2000). Konzeptionelle Aspekte von Nachhaltigkeitsindikatorensystemen. *TATuP-Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis*, 9(2), 47-53.
- Daminelli, S., Thomas, J. M., Durán, C., & Cannistraci, C. V. (2015). Common neighbours and the local-community-paradigm for topological link prediction in bipartite networks. *New Journal of Physics*, 17(11), 113037.
- DIPF (2007). *Das weiterentwickelte Indikatorenkonzept der Bildungsberichterstattung*. Berlin/Frankfurt.
- Eisen, M. B., Spellman, P. T., Brown, P. O., & Botstein, D. (1998). Cluster analysis and display of genome-wide expression patterns. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(25), 14863-14868.

- Escoufier Y. Le traitement des variables vectorielles. *Biometrics*. 1973; 29:751–760.
- Escoufier, Y. (1970). Echantillonnage dans une population de variables aléatoires réelles.
- Everett, M. G., & Borgatti, S. P. (1998). Analyzing clique overlap. *Connections*, 21(1), 49-61.
- Faghani, M. R., & Nguyen, U. T. (2013). A study of XSS worm propagation and detection mechanisms in online social networks. *IEEE transactions on information forensics and security*, 8(11), 1815-1826.
- Fitz-Gibbon, C. T. (1996). Official indicator systems in the UK: examinations and inspections. *International journal of educational research*, 25(3), 239-247.
- Freeman L. C. (1979). Centrality in social networks conceptual clarification [J]. *Social Network*, 1(3), 215–239.
- Freeman, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 35-41.
- Ghys, É., & De La Harpe, P. (1990). Espaces métriques hyperboliques. In *Sur les groupes hyperboliques d'après Mikhael Gromov* (pp. 27-45). Birkhäuser, Boston, MA.
- Guimera, R., & Amaral, L. A. N. (2005). Functional cartography of complex metabolic networks. *nature*, 433(7028), 895-900.
- Hagedoorn, J. (2002). Inter-firm R&D partnerships: an overview of major trends and patterns since 1960. *Research policy*, 31(4), 477-492.
- Hakimi, S. L. (1962). On realizability of a set of integers as degrees of the vertices of a linear graph. I. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, 10(3), 496-506.
- Ipsen, M. (2004). Evolutionary reconstruction of networks. In *Function and Regulation of Cellular Systems* (pp. 241-249). Birkhäuser, Basel.
- Jaccard, P. (1901). Distribution de la flore alpine dans le Bassin des Drouceset dans quelques regions voisines. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 37(140), 241–272.
- Josse, J., & Holmes, S. (2016). Measuring multivariate association and beyond. *Statistics surveys*, 10, 132.

- Joumard, R., & Gudmundsson, H. (2010). Indicators of environmental sustainability in transport.
- Jurman, G., Riccadonna, S., Visintainer, R., & Furlanello, C. (2011). Biological network comparison via Ipsen-Mikhailov distance. arXiv preprint arXiv:1109.0220.
- Jurman, G., Visintainer, R., Filosi, M., Riccadonna, S., & Furlanello, C. (2015, October). The HIM glocal metric and kernel for network comparison and classification. In 2015 IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA) (pp. 1-10). IEEE.
- Kendall, M. G. (1938). A new measure of rank correlation. *Biometrika*, 30(1/2), 81-93.
- Kilduff, M., & Tsai, W. (2003). *Social networks and organizations*. Sage.
- Latora, V., & Marchiori, M. (2001). Efficient behavior of small-world networks. *Physical review letters*, 87(19), 198701.
- Leontief, W. W. (1951). The structure of American economy, 1919-1939: an empirical application of equilibrium analysis (No. HC 106. 3 L3945 1951).
- Levine, N. (2004). *CrimeStat III: a spatial statistics program for the analysis of crime incident locations (version 3.0)*. Houston (TX): Ned Levine & Associates/Washington, DC: National Institute of Justice.
- Lustat (2012). *Methodische Grundsätze beim Aufbau von Indikatorenprojekten*. Luzern.
- Marchiori, M., & Latora, V. (2000). Harmony in the small-world. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 285(3-4), 539-546.
- Mayer, C. D., Lorent, J., & Horgan, G. W. (2011). Exploratory analysis of multiple omics datasets using the adjusted RV coefficient. *Statistical applications in genetics and molecular biology*, 10(1).
- Meeusen, W., & Dumont, M. (1998). The Network of Subsidized and Spontaneous R&D Cooperation between Belgian and Foreign Firms, Research Institutes and universities: A Graph-theoretical Approach.
- Meyer, W. (2004). *Indikatorenentwicklung: eine praxisorientierte Einführung*. CEval Arbeitspapiere. Nr.10.

- Newman, M. E. (2002). Assortative mixing in networks. *Physical review letters*, 89(20), 208701.
- Noll, H. H. (2002). Towards a European system of social indicators: Theoretical framework and system architecture. *Social indicators research*, 58(1-3), 47-87.
- Ogawa, R., & Collom, E. (1998). Educational Indicators: What Are They? How Can Schools and School Districts Use Them?. The California Educational Research Cooperative (CERC).
- PATSTAT (2019). Data Catalog. PATSTAT Global. European Patent Office.
- Pearson, K. (1895). Notes on Regression and Inheritance in the Case of Two Parents *Proceedings of the Royal Society of London*, 58, 240-242.
- Piraveenan, M., Prokopenko, M., & Zomaya, A. Y. (2008). Local assortativeness in scale-free networks. *EPL*, 84(2), 28002.
- Pyka, A. (2002). Innovation networks in economics: from the incentive-based to the knowledge-based approaches. *European Journal of Innovation Management*, 5(3), 152-163.
- Pyka, A., Schön, B., Windrum, P., Fuglsang, L., & Frenken, K. (2009). Cooperation for innovation in services: an economic approach to the theory of innovation networks in the service industries.
- Robert, P., & Escoufier, Y. (1976). A unifying tool for linear multivariate statistical methods: the RV-coefficient. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 25(3), 257-265.
- Royer, C. (2001). *Simultane Optimierung von Produktionsstandorten, Produktionsmengen und Distributionsgebieten*. Herbert Utz Verlag.
- Sabidussi, G. (1966). The centrality index of a graph. *Psychometrika*, 31(4), 581-603.
- Salton, G., & McGill, M. (1983). Retrieval evaluation. *Introduction to modern information retrieval*, 157-197.
- Scellato, S., Mascolo, C., Musolesi, M., & Latora, V. (2010, June). Distance Matters: Geo-social Metrics for Online Social Networks. In *WOSN*.



- Schilling, M. A., & Phelps, C. C. (2007). Interfirm collaboration networks: The impact of large-scale network structure on firm innovation. *Management science*, 53(7), 1113-1126.
- Shimada, Y., Hirata, Y., Ikeguchi, T., & Aihara, K. (2016). Graph distance for complex networks. *Scientific reports*, 6, 34944.
- Smilde, A. K., Kiers, H. A., Bijlsma, S., Rubingh, C. M., & Van Erk, M. J. (2009). Matrix correlations for high-dimensional data: the modified RV-coefficient. *Bioinformatics*, 25(3), 401-405.
- Spearman, C. (1904). Measurement of association, Part II. Correction of 'systematic deviations'. *Am. J. Psychol*, 15, 88-101.
- Székely, G. J., Rizzo, M. L., & Bakirov, N. K. (2007). Measuring and testing dependence by correlation of distances. *The annals of statistics*, 35(6), 2769-2794.
- Tutzauer, F. (2007). Entropy as a measure of centrality in networks characterized by path-transfer flow. *Social networks*, 29(2), 249-265.
- Vijaymeena, M. K., & Kavitha, K. (2016). A survey on similarity measures in text mining. *Machine Learning and Applications: An International Journal*, 3(2), 19-28.
- Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications* (Vol. 8). Cambridge university press. Kудic 2015
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of 'small-world' networks. *nature*, 393(6684), 440-442.
- Zhang, G., Liu, L., Feng, Y., Shao, Z., & Li, Y. (2014). Cext-N index: a network node centrality measure for collaborative relationship distribution. *Scientometrics*, 101(1), 291-307.
- Zhou, T., Lü, L., & Zhang, Y. C. (2009). Predicting missing links via local information. *The European Physical Journal B*, 71(4), 623-630.



## 6 Vernetzungsdynamik des Technologiefelds Elektromobilität

Tobias Buchmann, Patrick Wolf

### 6.1 Einleitung

Aufbauend auf den vorherigen, eher konzeptionell orientierten Kapiteln hat dieses Kapitel einen primär anwendungsorientierten Bezug. Ziel ist es hierbei, die in den vorherigen Kapiteln aufgezeigten Konzepte am Beispiel eines ausgewählten Technologiefelds anzuwenden und entsprechende Resultate aufzuzeigen. Zunächst wird dabei das Technologiefeld Elektromobilität abgegrenzt. Anschließend stellen wir dar, wie die Netzwerke auf Basis der unterschiedlichen Datenquellen konstruiert und zusammengeführt werden. Im Laufe der Zeit entstehen neue Kooperationen und werden nach Abschluss eines Projektes wieder beendet. Dadurch entstehen im Netzwerk Kanten und lösen sich wieder auf. Wir gehen noch einen Schritt weiter und berücksichtigen auch die Dynamik der Knoten. Insbesondere Unternehmen verändern häufig ihre Struktur im Laufe ihrer Geschichte. Beispielsweise kommt es zu Abspaltungen (Gründung von Tochterunternehmen), Ausgründungen oder Zusammenschlüssen. Aufbauend auf dem im dritten Kapitel vorgestellten Ereignisschema berücksichtigen wir solche Ereignisse bei der Darstellung der Knoten und der Analyse des Netzwerkes. Schließlich wird die Anwendung des Indikatoriksystems demonstriert. Hierzu werden die im vorherigen Kapitel ausgewählten Indikatoren berechnet und grafisch dargestellt. Damit lassen sich Trend- und Strukturbrüche im Netzwerk erkennen, die mit technologischen Paradigmenwechseln einhergehen.

### 6.2 Netzwerkerstellung

#### 6.2.1 Technologiefeldabgrenzung

Zur Definition des Technologiefeldes „Elektromobilität“ beziehen wir uns auf die Nationale Plattform Elektromobilität sowie auf den Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität (NPE, 2018). Entsprechend gehören zur Elektromobilität nicht nur Fahrzeuge mit batterieelektrischem Antrieb (BEV), sondern auch Plug-In-Hybride (PHEV) sowie Fahrzeuge mit Range Extender (REEV). Bei Plug-In-Hybriden ergänzt der elektrische Antrieb den konventionellen Verbrennungsmotor. Die Batterie des Fahrzeugs ermöglicht zudem die rein elektrische Fortbewegung für

einige Kilometer. Gemeinsam ist den genannten Antriebskonzepten die Möglichkeit, entsprechende Fahrzeuge direkt am Stromnetz aufzuladen.

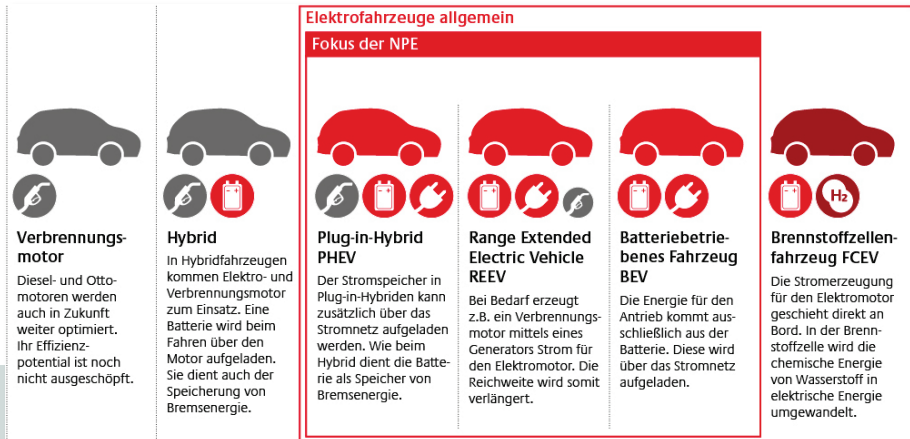


Abb. 11: Fahrzeugabgrenzung nach der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE, 2018)

Des Weiteren bezieht sich das hier betrachtete Technologiefeld Elektromobilität rein auf den Straßenverkehr und umfasst neben Personenkraftwagen (PKW) auch leichte und schwere Nutzfahrzeuge. Hinsichtlich der räumlichen Abgrenzung wurde die Bundesrepublik Deutschland als Betrachtungsraum gewählt. Der zeitliche Betrachtungshorizont reicht vom Jahr 1990 bis 2018. Der Startzeitpunkt wurde so gewählt, da somit eine in der Ost-Westteilung der Bundesrepublik begründete Datenproblematik umgangen werden kann. Zudem ist das gewählte Technologiefeld, mit Ausnahme sehr früher Entwicklungen zu Beginn des 20. Jahrhunderts, erst in jüngerer Zeit in den Fokus der Forschung gerückt, sodass ein früherer Startzeitpunkt als kaum zielführend angesehen werden kann.

## 6.2.2 Datenerhebung

### 6.2.2.1 Nationale Förderprojekte – Batterieforschung

Im Rahmen der Identifikation nationaler Förderprojekte ist es im Hinblick auf das hier beispielhaft betrachtete Technologiefeld Elektromobilität notwendig, Projekte mit fahrzeugrelevanter Batterieforschung zu identifizieren.<sup>47</sup> Diese sind mit ausführlichen Angaben im Förderkatalog gelistet.

Für einen präziseren und effizienten Suchvorgang wurde in einem ersten Schritt zunächst auf die Datenbank des Batterieforums Deutschland zurückgegriffen, in welcher die verschiedenen nationalen Forschungsprogramme im Batteriebereich nach genauem Verwendungszweck klassifiziert sind. Um Forschungsprojekte mit mobiler Batterie Verwendung zu extrahieren wurden die folgenden vom Batterieforum Deutschland definierten Anwendungsfelder gefiltert: „Mobil“, „Mobil, stationär“, „Mobil, 2nd Life und Recycling“, „Mobil, Ausbildungszwecke“, „Mobil, Noch nicht vorhersehbar“, „Mobil, Portabel, Noch nicht vorhersehbar“, „Mobil, Portabel, Stationär“, „Mobil, Portabel, Stationär, 2nd Life und Recycling, Ausbildungszwecke, Noch nicht vorhersehbar“, „Mobil, Stationär, 2nd Life und Recycling, Ausbildungszwecke, Noch nicht vorhersehbar“, „Noch nicht vorhersehbar“, „Undefiniert, Mobil“ sowie „undefiniert“, da eine spätere mobile Anwendung dabei nicht ausgeschlossen werden kann.

In einem zweiten Schritt wurden die identifizierten Projekte nun im Förderkatalog gefiltert und die dort geführten Informationen zu Projektdauer und Projektpartnern extrahiert. Die Projekte sind dabei jeweils in Teilprojekte untergliedert, welches jeweils von einem Forschungsinstitut oder einer sonstigen Institution zugeschrieben ist. Dadurch können Kooperationen zwischen den Projektpartnern unterstellt werden. Im Rahmen einer Geocodierung, basierend auf in der Datenbank hinterlegten Ortsangaben sowie eigener Recherchen, konnten die einzelnen Institutionen geografisch verortet werden. Das erhaltene geografische Netzwerk für nationale Projekte im Bereich Batterieforschung wird nachfolgend in Abbildung 12 dargestellt.

Insgesamt konnten in der Batterieforschung 204 aktive Akteure (Knoten) mit 919 Kooperationen (Kanten) über den Zeitraum von 1990 bis 2018 identifiziert werden. Wie aus Abbildung 13 ersichtlich wird, liegt der Akteursschwerpunkt vor

---

<sup>47</sup> Weitere nationale Forschungsprojekte mit Fokus auf E-Fahrzeugtechnik werden im nächsten Abschnitt thematisiert.

allem im Süden Deutschlands, jedoch weist jedes Bundesland aktive Organisationen in der Batterieforschung auf. Deutlich werden hierbei auch vor allem Forschungseinrichtungen aber auch Unternehmen als zentrale Akteure, wohingegen Universitäten sichtbar weniger involviert sind.



Abb. 12: Netzwerk Batterieforschung (Orange = Unternehmen; Blau = Universitäten/Hochschulen; Grün = Forschungseinrichtungen)

### 6.2.2.2 Nationale Förderprojekte – E-Fahrzeugforschung

Neben Förderprojekten bezüglich relevanter Batterieforschung wurden bei der Suche auch Aspekte der E-Fahrzeugtechnik, welche keinen direkten bzw. ausschließlichen Fahrzeugbatteriebezug haben, berücksichtigt. Quelle hierfür stellte der Förderkatalog dar. Für die Identifizierung relevanter Projekte wurde zunächst basierend auf der Leistungsplansystematik der Suchraum eingeschränkt, indem für das betrachtete Technologiefeld potentiell relevante Bereiche der Systematik ausgewählt wurden. Die diesbezüglich getroffene Auswahl wird nachfolgend in Tabelle 31 veranschaulicht.

Leistungsplansystematik	Bezeichnung
EB1850	Mobilität
GC3020	Gesamtsystem Elektrofahrzeug (mit Fokus auf Fahrzeugelektronik und Energiemanagement, Fahrzeugkonzepte und Herstellungsverfahren)
GC3040	-
GC3050	Automobilelektronik, IAE, E/ENOVA
HA8050	Fahrzeugintegration von elektrifizierten Antriebssträngen (insbes. Antriebsmanagement, Einbindung in Sicherheitssysteme)
HA8060	Schaufenster Elektromobilität

Tab. 31: Auswahl potentiell relevanter Bereiche der Leistungsplansystematik

Die den gezeigten Bereichen zugehörigen Projekte wurden hinsichtlich ihrer Projektbeschreibung gescreent und bezüglich ihrer tatsächlichen Relevanz mit der Technologiefeldabgrenzung abgeglichen. Zusätzlich hierzu wurden die restlichen Bereiche des Förderkatalogs auf vorher festgelegte Stichworte (E-Fahrz\*; Elektrofahrz\*; Elektromobilität; Hybridfahr\*) hin untersucht. Die sich hieraus ergebenden Förderprojekte wurden ebenfalls manuell geprüft und bei Relevanz in die letztendliche Kooperationsliste aufgenommen. Die identifizierten Projekte wurden anschließend mit den Ergebnissen der vorherigen Recherche batteriebezoge-



ner Forschungsprojekte abgeglichen um diesbezügliche Dopplungen zu vermeiden. Insgesamt wurden 202 aktive Akteure sowie 707 aktive Verbindungen zwischen diesen für den Zeitraum zwischen 1990 und 2018 identifiziert.

Abbildung 13 zeigt nachfolgend das resultierende Kooperationsnetzwerk im Bereich Elektrofahrzeugforschung über den gesamten Betrachtungszeitraum. Das Netzwerk zeigt sich hierbei insgesamt weit verzweigt und erstreckt sich über nahezu die gesamte Bundesrepublik. Zentrale Akteure sind hierbei Unternehmen und, in einem geringeren Ausmaß, Universitäten.

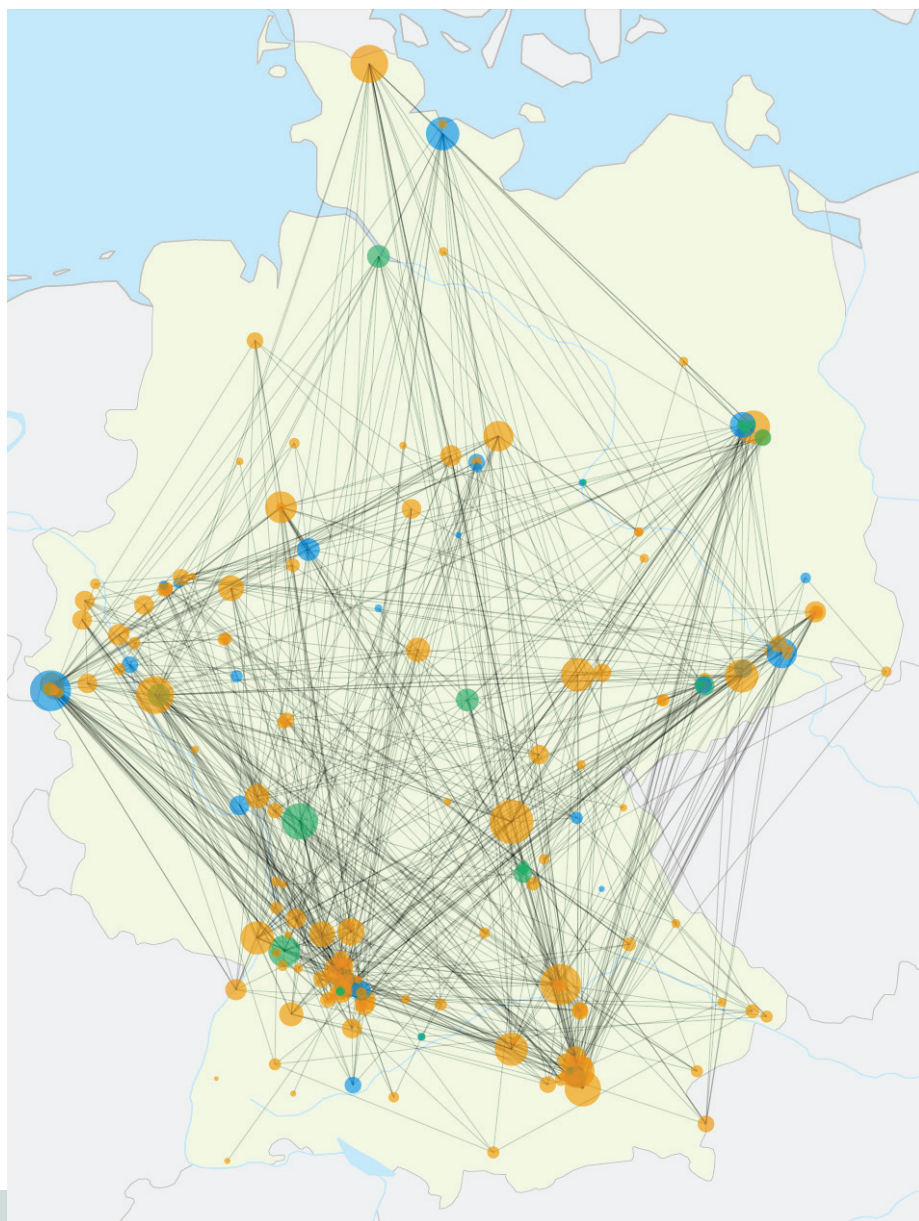


Abb. 13: Netzwerk Förderprojekte E-Fahrzeugtechnik (Orange = Unternehmen; Blau = Universitäten/Hochschulen; Grün = Forschungseinrichtungen)

### 6.2.3 Internationale Förderprojekte

Neben nationalen Forschungsprogrammen stellen auch internationale Forschungsdatenbanken eine potentielle Quelle für das Sammeln von Netzwerkdaten dar. Als zentraler und wesentlicher Vertreter ist hier die CORDIS-Datenbank der Europäischen Kommission (EC) zu nennen, welche Informationen zu allen im Rahmen der EU-Förderung durchgeführten Forschungsprojekte enthält. Basierend auf einer Untersuchung nationaler Innovationssysteme sind von den hier gelisteten Projekten diejenigen von Interesse, welche mindestens zwei Teilnehmer des betreffenden Landes aufweisen und Informationen zu deren Kooperationsverhalten enthalten. Eine entsprechende Filterung sollte jedoch erst im Anschluss an eine generelle Suche nach für das Technologiefeld relevanten Projekten erfolgen.

Zur Identifikation relevanter Projekte wurde die webbasierte Filterfunktion der CORDIS-Datenbank genutzt. Diese ermöglichte es zum einen, gezielt nach Stichworten zu suchen sowie zum anderen, weitere Eingrenzungen vorzunehmen, beispielsweise hinsichtlich beteiligter Länder, Projektdomäne, Sprache und Zeitraum. Tabelle 29 gibt nachfolgend einen Überblick über die herangezogenen Suchbegriffe und Filtereinstellungen bei der webbasierten Suche sowie die resultierende Zahl an potentiell relevanten Projekten. Bei der Suche war zu beachten, dass die Domänenzuweisung innerhalb der Datenbank bisher nur für einen kleinen Teil der existierenden Projekte vorgenommen wurde. Der Versuch einer Suchraumeinschränkung durch die Auswahl einer passenden Domäne (beim hier betrachteten Technologiefeld bspw. „Verkehr und Mobilität“) hätte somit nur einen Bruchteil der tatsächlichen Projekte ergeben, weshalb auf eine diesbezügliche Einschränkung verzichtet wurde.

Suchbegriffe	Sammlung	Domäne	Sprache	Beteiligtes Land	Ergebnisse
electric AND vehicle	Projekte	-	en, de	Deutschland	645
li-ion AND vehicle AND battery	Projekte	-	en, de	Deutschland	305
electric AND car	Projekte	-	en, de	Deutschland	292
automotive AND electric	Projekte	-	en, de	Deutschland	329

Tab. 32: Abfrage CORDIS-Datenbank

Die identifizierten Projekte wurden nun hinsichtlich ihrer Relevanz untersucht und die resultierende Projektliste um weitere Informationen, wie Teilnehmer und deren Herkunft, die Projektdauer, etc. ergänzt. Hierfür bietet sich ein Abgleich der Projekt-IDs mit den von der EC bereitgestellten Projektlisten an, welche zu Projekten der Forschungsrahmenprogramme H2020 und FP7 zusätzliche Informationen enthalten. Informationen zu Projekten früherer Programme müssen hingegen den jeweiligen Projektseiten entnommen oder bei größerer Zahl direkt bei der EC angefragt werden. Basierend auf den gewonnenen Informationen können nun relevante Projekte mit mindestens zwei nationalen Teilnehmern identifiziert werden. Abbildung 14 stellt nachfolgend das resultierende Netzwerk dar.

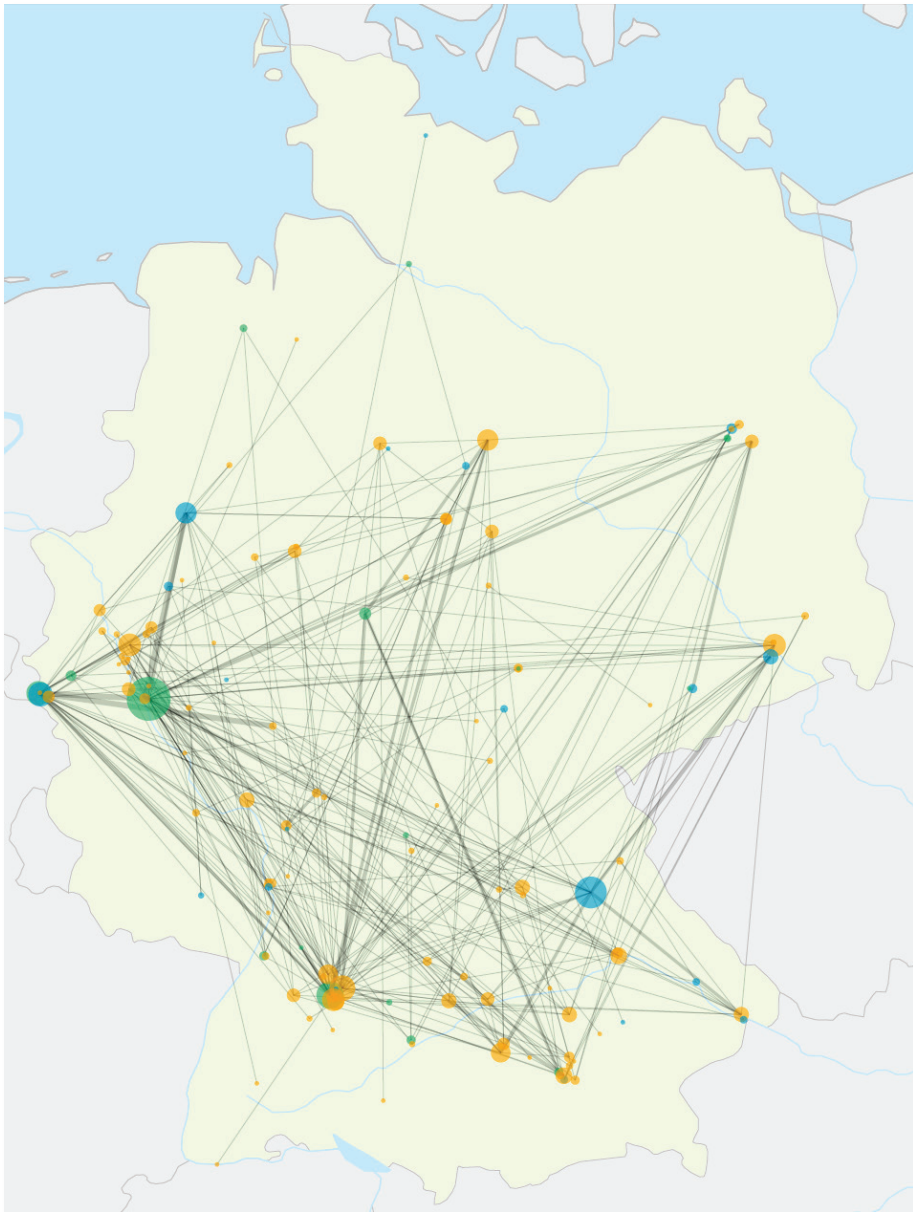


Abb. 14: Netzwerk Forschungsprojekte CORDIS (Orange = Unternehmen; Blau = Universitäten/Hochschulen; Grün = Forschungseinrichtungen)

#### 6.2.4 Patentdaten

Neben öffentlich ausgeschriebenen und geförderten Projekten im Bereich Elektromobilität und Batterieforschung lassen sich auch aus Informationen über in Kooperation erstellte Patente wichtige Aussagen über deutsche Forschungsnetzwerke treffen. Speziell aufgrund der Eigenfinanzierung des hinter Patenten stehenden FuE-Aufwands lässt sich hier ein hoher Stellenwert der entsprechenden Technologie für die Firma erwarten. Diese oftmals notwendige Verfügbarkeit finanzieller Mittel führt zusätzlich dazu, dass im Vergleich zur Analyse von Forschungsprojekten ein geringerer Anteil von Universitäten und (Nichtregierungs-)Organisationen, jedoch ein höherer Anteil an klassischen Unternehmen aufzufinden ist.

Zur Identifizierung relevanter Unternehmen wurde zunächst eine Liste mit relevanten IPC sowie CPC Klassen erstellt, durch welche mit der Elektromobilität verbundene Technologien repräsentiert werden. In einem ersten Schritt wurde hierbei die Literatur nach bisher genutzten Patentklassen gesucht und in einer Liste zusammengefasst. Die Ergebnisse wurde anschließend nochmals anhand der offiziellen Klassenbeschreibung des Europäischen Patentamts (EPA) auf ihre Relevanz und Verwendbarkeit hin überprüft. In einem zweiten Schritt wurde die erstellte Liste um Ergebnisse einer eigenen Recherche in der Datenbank des EPA ergänzt, wodurch auch bisher unberücksichtigte, jedoch eng mit dem Technologiefeld verknüpfte Technologieklassen mit in die Analysen aufgenommen werden konnten. Anhand der jeweiligen Klassenbezeichnungen ließen sich im Anschluss Kernfelder im Bereich der Elektromobilität ableiten. Eine Einordnung der genutzten Patentklassen nachfolgend in Tabelle 30 gegeben.

Für die Abfrage relevanter Patenten wurde die PATSTAT-Datenbank unter Nutzung der Programmiersprache R auf die aufgezeigten Patentklassen hin durchsucht. Im Fokus standen hierbei den Patentklassen zugehörige Patentfamilien, welche mindestens zwei deutsche Anmelder aufwiesen, die wiederum unterschiedlichen Unternehmen bzw. Institutionen zugehörig waren. Neben der Patentnummer und den Akteursnamen wurde zudem das jeweilige Datum der ersten Patentanmeldung in die Ergebnisliste aufgenommen. Hierbei wurde unterstellt, dass das Patent umgehend nach Beendigung der erfinderischen Tätigkeit beim jeweiligen Patentamt eingereicht wurde und mit dieser Einreichung auch die Kooperation der Akteure im Rahmen der Patenterstellung endete. Die Daten

wurden zudem um Angaben zum Standort der jeweiligen Akteure ergänzt. Hierfür wurde die genutzte Datenbank um die standortbezogenen Daten von de Rassenfosse et al. (2019) ergänzt.

Während die aus der Patentklassensuche resultierende Anzahl an Patenten bzw. Patentfamilien umfangreich ausfiel war die letztliche Zahl an Patenten, welche in Kooperation von mindestens zwei Akteuren erstellt und angemeldet wurden, vergleichsweise gering. Dies zeigt sich auch in der in Abbildung 15 dargestellten Vernetzungsstruktur auf Patentebene. Diese wird, wie erwartbar, vor allem von Unternehmensakteuren dominiert, wobei insbesondere die Fahrzeughersteller Daimler und BMW als zentral hervorzuheben sind.

Patentkategorie	IPC / CPC	Betrachtete Patentklassen
Battery Technology	IPC	H01M 4/13, H01M 6/14, H01M 6/16, H01M 10/52%, H01M 10/48
	CPC	Y02E 60/122, Y02E 60/124, Y02E 60/128, Y02T 10/7011
Battery Management	IPC	B60L 3/%, B60R 16/04, B60S 5/06, G01R 31/36
	CPC	B60L 2240/545, B60L 3/%, H01M 10/486, H01M 10/5004, H01M 10/5008, H01M 10/5022, H01M 10/503, H01M 10/504, H01M 10/5059, H01M 10/5075, Y02T 10/7022, Y02T 10/7044, Y02T 10/7077, Y02T 90/14, Y02T 90/16, Y02T 90/163
Motor Technology	IPC	B60L 11/%, B60L 15/%, B60L 9/%, B60L 11/18%, H02K 017%, H02K 041
	CPC	B60L 11/02, B60L 11/04, B60L 11/06, B60L 11/08, B60L 11/10, B60L 11/12%, B60L 11/18%, Y02T 10/621%, Y02T 10/622%, Y02T 10/623%, Y02T 10/624%, Y02T 10/625%, Y02T 10/626%, Y02T 10/627%, Y10S 903/00, Y10S 903/902, Y10S 903/903, Y10S 903/904, Y10S 903/905, Y10S 903/906, Y10S 903/907, Y10S 903/91%
Motor Controlling Technology	IPC	H02P 1/%, H02P 3/%, H02P 5/%, H02P 6/%, H02P 7/%, H02P 9/%, H02P 21/%, H02P 23/%, H02P 25/%, H02P 27/%, H02P 29/%, H02P 31/%
	CPC	-
Electric Vehicle Controlling Systems	IPC	B60K 6/2%, B60K 6/3%, B60K 6/4%, B60K 6/5%, B60L 15/%, B60L 1/%, B60L 5/%, B60L 8/%, B60W 10/26%, B60W 20/%, B60W 10/28, H01M 10/44, H02J 7/%
	CPC	B60K 2001%, B60K 1/00%, B60K 1/04%, B60K 2006/262%, B60K 2006/264%, B60K 2006/266%, B60K 2006/268%, B60K 2006/48%, B60K 6/2%, B60K 6/4%, B60L 5/%, B60L 8/%, B60W 20/%, Y02T 10/705, Y02T 10/7055, Y02T 10/706%, Y02T 10/7061, Y02T 10/72%

Tab. 33: Übersicht über relevante Patentklassen im Bereich Elektromobilität. Darstellung basierend auf Borgstedt, Neyer & Schewe, 2017; Pilkington & Dyerson, 2006 sowie eigenen Recherchen innerhalb der PATSTAT-Datenbank





Abb. 15: Netzwerk Patentkooperation (Orange = Unternehmen; Blau = Universitäten/Hochschulen; Grün = Forschungseinrichtungen)

### 6.2.5 Bibliographische Daten

Im Rahmen der Identifizierung relevanter Kooperationsprojekten im Bereich Elektromobilität erfolgte auch eine Recherche bezüglich bibliographischer Kooperationen. Im Rahmen dieser Analyse wurde innerhalb des Web of Science nach Publikationen gesucht. Diese Quelle hat den Vorteil, dass die geführten Veröffentlichungen einen nachweislich wissenschaftlichen Anspruch haben und zudem zugehörige Daten in einem größeren Maße exportierbar sind. Nachteil ist hingegen eine mitunter geringere Anzahl an gelisteten Publikationen im Vergleich zu breiter ausgerichteten Datenbanken wie bspw. Google Scholar.

Die Suche nach Publikationen basierte auf der nachfolgend in Tabelle 34 dargestellten Abfrage. Diese enthält verschiedene Stichworte zur Identifikation relevanter Veröffentlichungen sowie die Einschränkung, dass mindestens ein Autor aus Deutschland stammen muss. Das Vorhandensein von mindestens zwei Autoren unterschiedlicher Institutionen mit Sitz in Deutschland ist nicht direkt über den Abfragecode einstellbar und wurde im Anschluss an die Abfrage separat geprüft.

Abfragecode	Ergebnisse
(TS=(electric vehicle*) OR TS=(electric mobility*) OR TS=(e-mobility*) OR TS=(electric car) OR TS=(Elektromobilität) OR TS=(E-Fahrzeug*)) AND AD=German*	1783

Tab. 34: Abfragecode Web of Science

Die Suche ergab insgesamt 1783 relevante Veröffentlichungen, welche einer bibliographischen Analyse in R unterzogen wurden. In dieser wurden Informationen für jede der Veröffentlichungen aufbereitet und die einzelnen Autoren sowie deren Arbeitgeber aufgeschlüsselt. In die Kooperationsliste wurden letztendlich diejenigen Veröffentlichungen aufgenommen, welche durch mindestens zwei Autoren an unterschiedlichen deutschen Instituten/Unternehmen verfasst wurden. Die letztendliche Kooperationsliste umfasst hierbei 522 Veröffentlichungen und 183 Akteure. Die Vernetzung wird nachfolgend in Abbildung 16 dargestellt.

Wie zu erwarten war, wird das auf bibliographischen Daten basierende Kooperationsnetzwerk vor allem von Universitäten und Forschungseinrichtungen domi-

nier. Die Akteursverteilung fällt hierbei, auch aufgrund der bundesweiten Verteilung der Forschungseinrichtungen, erkennbar dezentraler bzw. weniger geclustert aus als bspw. die Kooperationsnetzwerke nationaler Forschungsprojekte.

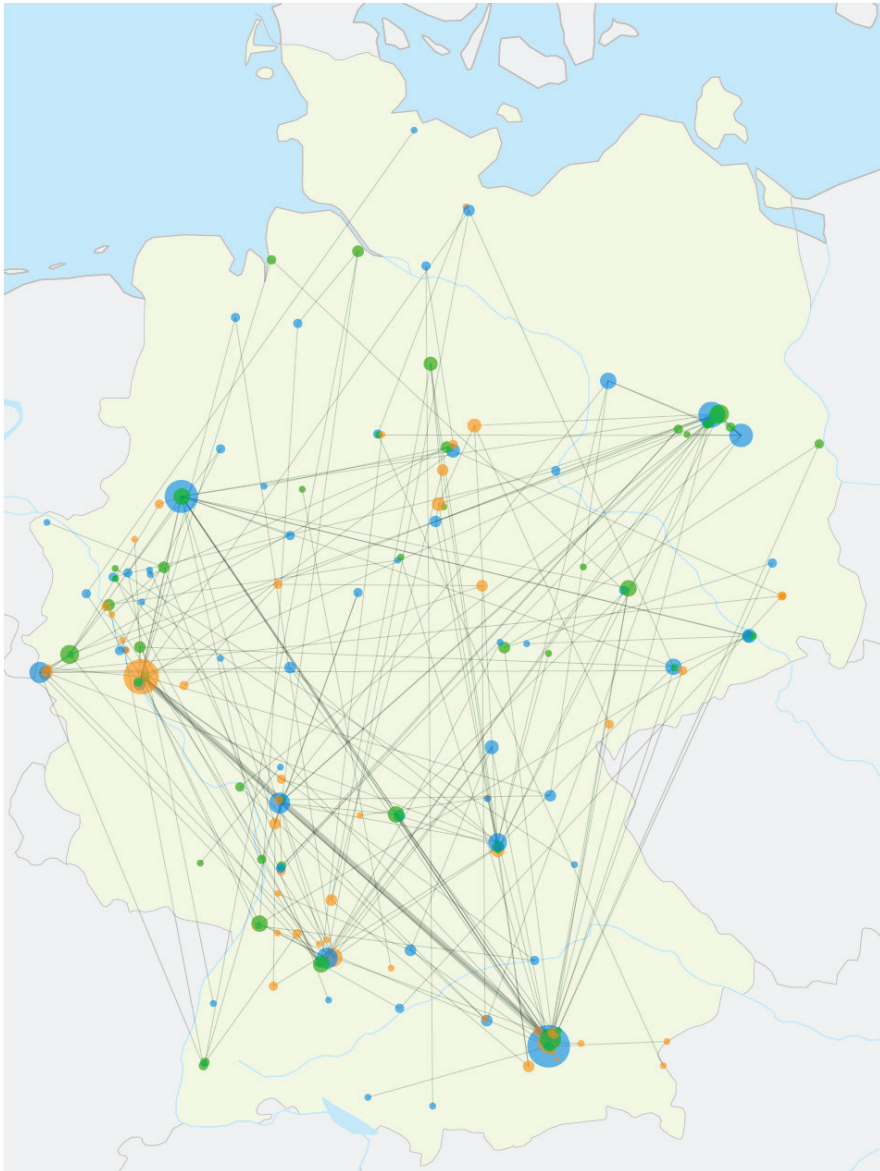


Abb. 16: Netzwerk Bibliographie (Orange = Unternehmen; Blau = Universitäten/Hochschulen; Grün = Forschungseinrichtungen)

## 6.2.6 Netzwerkkonstruktion

### 6.2.6.1 Datenaufbereitung

Im Anschluss an die Extraktion der Kooperationsdaten aus den verschiedenen Quellen erfolgte eine Datenaufbereitung mit dem Ziel, die gewonnenen Informationen aufzubereiten, zu vereinheitlichen sowie zu ergänzen.

Eine Aufbereitung erfolgte in der Hinsicht, dass die jeweiligen Daten hinsichtlich relevanter Informationen gefiltert und strukturiert wurden. Der diesbezügliche Aufwand variierte hierbei deutlich. Während Daten des Förderkatalogs zu großen Teilen bereits strukturiert vorlagen, war für die bibliographischen Daten eine aufwändigere Extraktion relevanter Informationen aus den vorliegenden Bibtex-Auszügen notwendig. Im Rahmen der Vereinheitlichung wurden die Daten aus den unterschiedlichen Quellen aneinander angepasst. Dies betrifft beispielsweise das Datumsformat aber auch die Unternehmensbezeichnungen. Beispielsweise variierten letztere hinsichtlich der Groß- und Kleinschreibung sowie der Verwendung von Sonderzeichen. Insbesondere bei Patentdaten waren Unternehmensbezeichnungen nicht immer vollständig und mussten teilweise separat geprüft werden. Eine Vereinheitlichung erfolgte auch durch ein Matching der Unternehmensbezeichnungen mit den Einträgen im Handelsregister im Rahmen der Erweiterung der Netzwerkdaten um die Knotendynamik (siehe hierfür Abschnitt 6.2.6.4). Ergänzungen der Daten erfolgten im Rahmen einer Geocodierung der einzelnen Akteure um die Darstellung geografischer Netzwerke zu ermöglichen.

### 6.2.6.2 Netzwerkdatenstruktur

Der beschriebenen Datenaufbereitung folgend, sind die erhobenen Daten nun in eine einheitliche und gemeinsame Datenstruktur zu bringen, um mittels dieser das resultierende Gesamtnetzwerk darstellen und hinsichtlich seiner Struktur und Dynamik untersuchen zu können. Hierfür bietet sich eine Separierung in zwei Listen an, von denen die eine Informationen zu den Knoten bzw. Akteuren und die andere Informationen zu deren Kanten bzw. Vernetzung enthält. Abbildung 17 gibt einen Überblick über eine mögliche Strukturierung der Listen sowie relevante Variablen.

Zentrale Informationen innerhalb der Knotenliste sind eine Knoten-ID zur direkten Referenzierung von Akteuren sowie ein Label mit der genauen Akteursbezeichnung. Letztere ist für Analysen nicht zwingend erforderlich, erhöht allerdings die

Übersichtlichkeit und erlaubt eine bessere Bezugnahme, speziell bei akteursbasierten Untersuchungen. Für eine bessere Differenzierung der Knoten ist zudem die Zuweisung der Akteursart, bspw. Unternehmen vs. Forschungseinrichtung vs. Hochschule, sinnvoll. Die räumliche Verortung der einzelnen Akteure im Netzwerk wird durch die Zuweisung von im Rahmen einer Georeferenzierung gewonnenen Längen- und Breitengraden gewährleistet. Dies ermöglicht nicht nur eine geografiebezogene Netzwerkdarstellung, sondern ist auch für eine Nutzung koordinatenbasierter Indikatoren zwingend erforderlich. Basierend auf den Koordinaten können bei Bedarf zudem weitere Differenzierungsmerkmale gewonnen werden. Diese können u.a. eine Ost-West Kennung oder auch Angaben zur Zugehörigkeit zu NUTS2/NUTS3-Regionen umfassen. Weiterhin wären basierend auf den Koordinaten auch Angaben zur Zentralität sowie Ländlichkeit der zugehörigen Region zuordenbar. Für eine weitere Unterscheidung der Akteure kann auch eine (kategorisierte) Mitarbeiterzahl angefügt werden, deren Feststellung jedoch mit weiterem Rechercheaufwand verbunden ist. Eine Erweiterung des Datenbestands um Informationen zur Knotendynamik ermöglicht es zudem, Aussagen zur Unternehmensgründung und ggf. -auflösung zu treffen. Hierdurch kann ein besseres Bild über die genaue Zahl und Entwicklung relevanter Akteure gewonnen werden. Weiterhin ermöglicht es das Feststellen der Zusammengehörigkeit von Akteuren, bspw. aufgrund einer Umfirmierung. Eine solche Zusammengehörigkeit kann hierbei beispielsweise durch eine separate historienbezogene Akteurs-ID (HID) berücksichtigt werden. Eine genauere Erläuterung zum Erweitern des Datenbestandes um Informationen zur Knotendynamik gib Abschnitt 6.2.6.4.

**Nodelist / Knotenliste (Auszug)**

HID	ID	Name	Art	Lat.	Lon.	OW	NUTS3_Code	Mitarb	Start	End
				...						
HID001	ID002	MAHLE Behr GmbH	Unternehmen	48.818609	9.17315	W	DE111	2	1909	9999
HID001	ID001	BEHR GMBH & CO KG	Unternehmen	48.128415	11.6345	W	DE212	1	1909	9999
HID002	ID003	Deutsche ACCUmotive GmbH	Unternehmen	51.300043	14.0894	O	DED2C	1	2009	9999
HID004	ID006	Atmel Germany GmbH	Unternehmen	48.30766	11.62126	W	DE21B	2	1998	2017
HID004	ID006	Atmel Automotive GmbH	Unternehmen	48.30766	11.62126	W	DE21B	2	1998	2017
				...						

**Edgelist / Kantenliste (Auszug)**

Target	Source	Kennung	Technologie- feld	Kooperations- projekt	Quelle	PID	Sektor	Von	Bis
				...					
HID589	HID710	HIPolIT	EKFZ	HIPolIT - ...	FK-BT	498	Batt	2016/01/01	2018/12/31
HID589	IDF299	HIPolIT	EKFZ	HIPolIT - ...	FK-BT	498	Batt	2016/01/01	2018/12/31
IDF601	HID794	HIT-Cell	EKFZ	HIT-Cell- ...	FK-BT	792	Batt	2018/01/01	2020/12/31
IDF601	IDHS200	HIT-Cell	EKFZ	HIT-Cell- ...	FK-BT	792	Batt	2018/01/01	2020/12/31
IDHS704	HID794	HIT-Cell	EKFZ	HIT-Cell- ...	FK-BT	792	Batt	2018/01/01	2020/12/31
				...					

Abb. 17: Auszugsweise Darstellung einer sinnvollen Datenstruktur der Knoten- und Kantenliste

Die ebenfalls in Abbildung 17 dargestellte Kantenliste umfasst spezifische Informationen zu den Kooperationsbeziehungen zwischen den Akteuren. Hierbei werden in den ersten beiden Spalten jeweils projektspezifische Verbindungen zwischen Akteuren dargestellt. Die angeführten Spaltenbezeichnungen ‚Target‘ und ‚Source‘ können hierbei irreführend sein, da bei Projektbeziehungen in der Regel von einer ungerichteten Verbindung zwischen den Akteuren ausgegangen werden kann. Bei Kooperationsprojekten mit mehr als zwei Teilnehmern müssen entsprechende Kombinationen gebildet und separat aufgeführt werden. Bei Vorliegen von Informationen zur Knotendynamik ist für die einzelnen Akteure die Nutzung der HID an Stelle der normalen ID vorzuziehen. Jedem Kooperationsprojekt ist zudem eine einheitliche Projekt-ID (PID) zuzuweisen. Zusätzlich hilfreich für die Interpretation der Kanten ist zudem die Angabe einer Kennung des Projektes (Kurztitel des Projektes, Patentnummer, ISBN, ...) sowie ggf. einer ausführlicheren Bezeichnung (Projektbezeichnung, Patenttitel, Titel der Veröffentlichung, etc.). Im Rahmen sektoraler Untersuchungen kann auch die Zuweisung eines Sektors bzw. bei technologiefeldübergreifenden Untersuchungen des zugehörigen Technologiefelds erfolgen. Für eine Differenzierung bezüglich der Datenherkunft kann auch die jeweilige Quelle (bspw. Patentdatenbank, CORDIS-Datenbank, Förderkatalog, ...) angeführt werden. Ein zentraler und im Rahmen der dynamischen Netzwerkuntersuchung zwingend erforderlicher Aspekt ist der jeweilige Kooperationszeitraum. Dieser wird separiert nach Anfangs- und Enddatum angeführt. Je nach Vorgehen sind hierbei jeweils monatsgenaue Angaben erforderlich oder auch lediglich das entsprechende Start- und Endjahr der Zusammenarbeit ausreichend. Im Hinblick auf eine größtmögliche Flexibilität ist jedoch eine Integration eines möglichst präzisen Datums in den Datensatz anzuraten, da eine auf diesem basierende, gröbere Zuordnung im Nachgang problemlos erfolgen kann.

### 6.2.6.3 Resultierendes Gesamtnetzwerk

Die nachfolgenden Abbildungen 18 und 19 geben einen Überblick über das aus den verschiedenen Teilnetzwerken resultierende Gesamtnetzwerk über den gesamten Betrachtungszeitraum. Die Größe der einzelnen Knoten ergibt sich hierbei aus der Anzahl der Verbindungen mit anderen Akteuren und spiegelt somit die jeweilige Einbindung im Netzwerk wieder. Insgesamt ergaben sich im Rahmen der Suche 560 relevante Akteure, welche im Bereich Elektromobilität Forschung betreiben. Hiervon bilden Unternehmen (355 Akteure) den größten Anteil gefolgt von Forschungseinrichtungen (112 Akteure) und Hochschulen (93 Akteure). Trotz

der unterschiedlichen Anteile ist jedoch erkennbar, dass unter allen drei Akteurstypen zentrale Knoten existieren. Hinsichtlich der räumlichen Verteilung ist eine Akteurskonzentration vor allem im Süden und Westen der Bundesrepublik zu erkennen, welche insbesondere durch die Unternehmensakteure getrieben ist. Hochschulen und Forschungseinrichtungen sind hingegen deutlich dezentraler verteilt. Hinsichtlich der letztlichen Vernetzung konnten 2312 Kanten zwischen den Akteuren identifiziert werden.

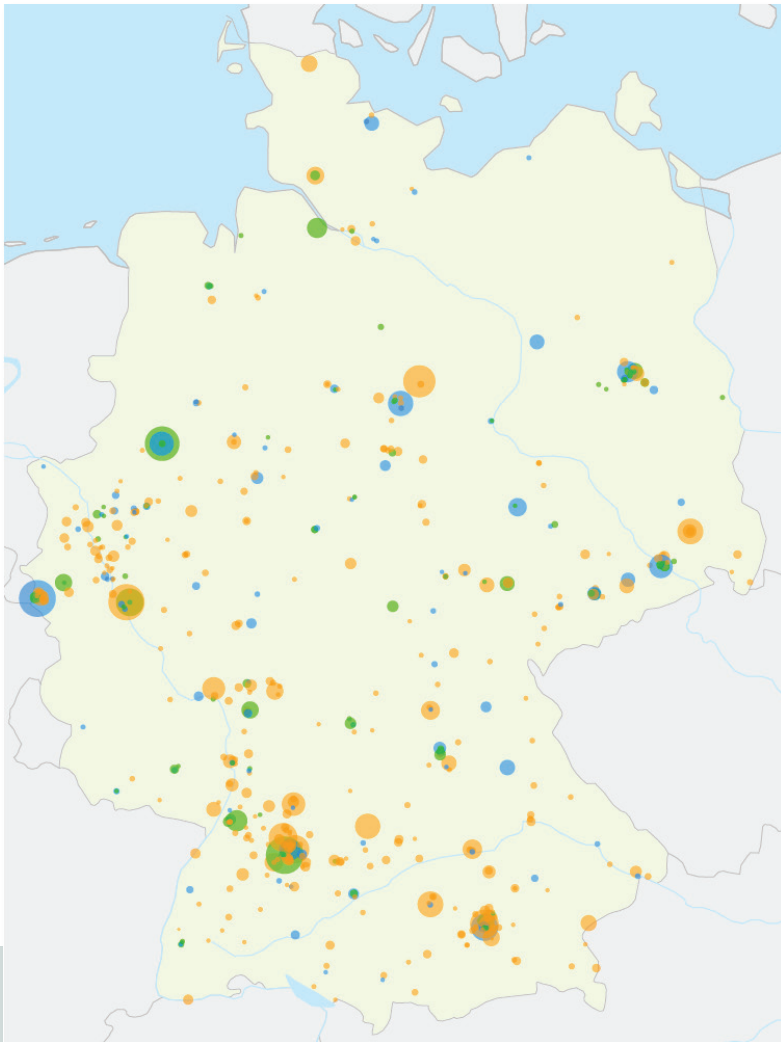


Abb. 18: Darstellung der Akteursverteilung im Gesamtnetzwerk (Orange = Unternehmen; Blau = Universitäten/Hochschulen; Grün = Forschungseinrichtungen)



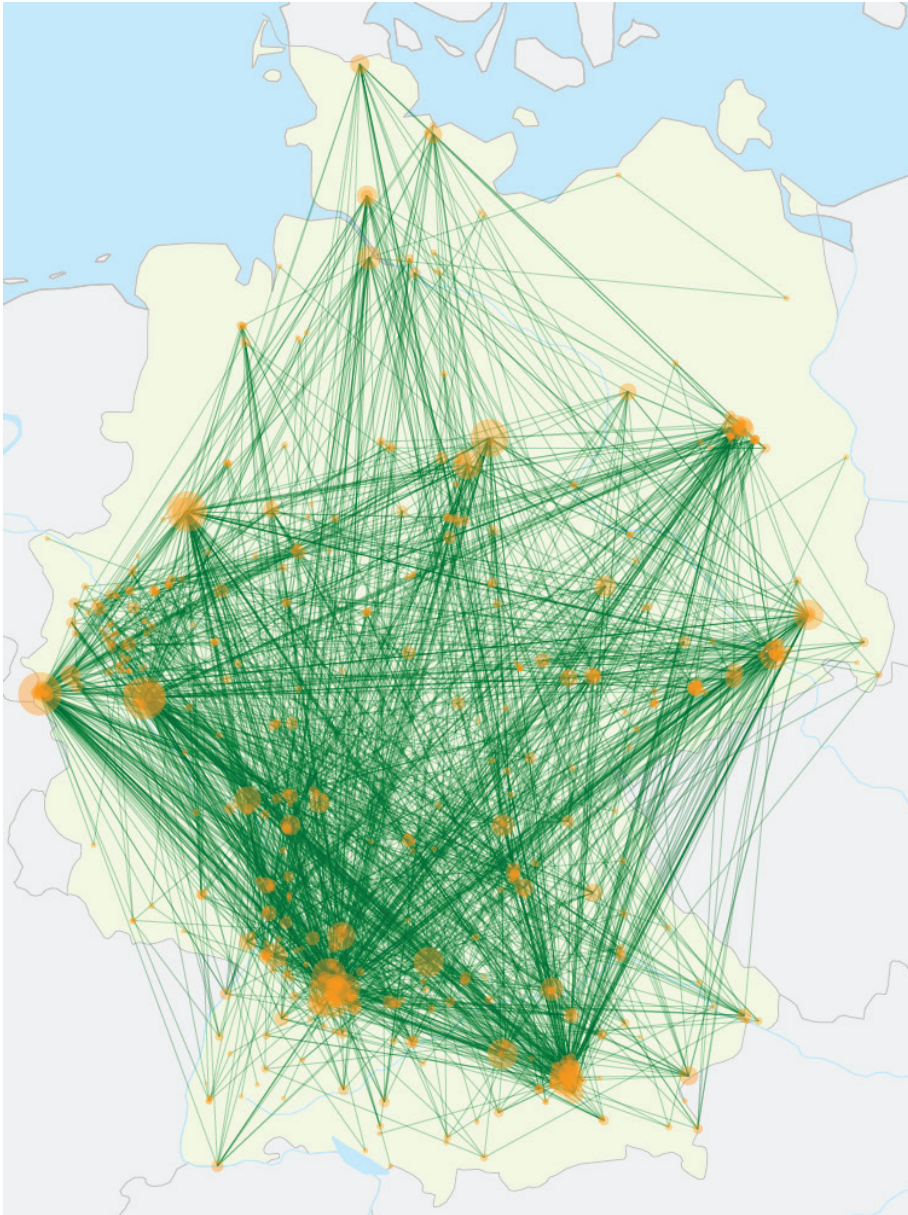


Abb. 19: Darstellung der Vernetzung zwischen den Akteuren im Gesamtnetzwerk  
(Achtung: Keine farbliche Differenzierung nach Akteurstyp)

#### 6.2.6.4 Erweiterung um Knotendynamik

Die durch den bisher vorgestellten Erhebungsvorgang gesammelten Daten ermöglichen es, die Vernetzung von Akteuren sowie die Vernetzungsdynamik innerhalb des gewählten Technologiefelds über längere Zeiträume darzustellen. Für eine präzise Darstellung der Netzwerkstruktur und -entwicklung ist es jedoch auch notwendig, die Knotendynamik bzw. die Entwicklung der Akteure über die Zeit genauer zu untersuchen und in die bestehende Netzwerkstruktur einzubeziehen. Eine solche Betrachtung ist hinsichtlich verschiedener Aspekte wesentlich. Zum einen können durch eine Nachverfolgung der Firmenhistorie Umfirmierungen bzw. Änderungen der Unternehmensbezeichnung sowie Rechtsform nachvollzogen werden. Hierdurch können Unternehmen, welche bisher als separate Knoten geführt wurden, als derselbe Akteur identifiziert werden, was mitunter erheblichen Einfluss auf deren dargestellte Bedeutung im Netzwerk haben kann. Gleichzeitig können sich Akteure, welche sich lediglich hinsichtlich ihrer Rechtsform unterscheiden, trotz gleichen Namens als mitunter völlig unabhängig voneinander herausstellen. Zum anderen ermöglicht eine Nachverfolgung der Firmenhistorie die Feststellung des Ein- und ggf. Austrittsdatums der einzelnen Akteure. Hierdurch lässt sich für jeden der Knoten ein konkreter Zeitraum feststellen, innerhalb welchem er, unabhängig von seiner tatsächlichen Vernetzung, als aktiv angesehen werden kann. Je nach Betrachtungsweise – man kann einerseits alle potentiell verfügbaren Knoten oder andererseits lediglich die tatsächlich vernetzten Knoten betrachten – ergeben sich hierdurch teils erhebliche Unterschiede in der Netzwerkdarstellung und Indikatorenberechnung. Weiterhin ermöglicht die Untersuchung der Knotendynamik auch die Feststellung von Akquisetätigkeiten, mittels welcher man Wissensflüsse bzw. die Weitergabe von Wissen zwischen Unternehmen noch präziser abbilden kann.<sup>48</sup> Für eine ausführliche Darstellung der Untersuchung von Firmen bezüglich deren Historie sei hierbei auf Kapitel 4 verwiesen. Nachfolgend soll, ausgehend von vorliegenden Netzwerkdaten und Daten zu den Firmenhistorien, die Erstellung eines volldynamischen Netzwerks am Beispiel des Technologiefeldes Elektromobilität kurz umrissen werden. Zur Erweiterung der bestehenden Netzwerkdaten um die Knotendynamik sind drei Schritte erforderlich. Für ein besseres Nachvollziehen werden die finale Paneldatenstruktur sowie die resultierende Knoten- und Kantenliste in

---

<sup>48</sup> Auf eine genauere Betrachtung von Akquisetätigkeiten wird im Folgenden verzichtet. Jedoch stellen diesbezügliche Daten eine nicht zu unterschätzende und bisher weitestgehend vernachlässigte Wissensbasis dar und bildet somit ein interessantes Feld für zukünftige Forschung.

Abbildung 20 auszugsweise dargestellt. Zunächst erfolgt eine Zuteilung von Identifikationsnummern zu den aus der Handelsregisterauswertung resultierenden Unternehmensnamen. Hierbei hat sich eine zweifache Zuweisung als sinnvoll herausgestellt. Einerseits werden jedem Unternehmen mit unterschiedlichem Namen einzigartige IDs zugewiesen, sodass diese bei Bedarf direkt referenziert werden können. Andererseits erfolgt die Zuweisung einer zusätzlichen HID (für ‚Historische ID‘), welche jeweils einzigartig für eine Firmenhistorie ist. Akteure, deren Namen sich durch Umfirmierungen geändert haben, welche aber ansonsten die gleichen Akteure sind, erhalten somit dieselbe HID. In einem zweiten Schritt werden die Informationen aus der Paneldatenstruktur mit der vorliegenden Nodelist gematcht. Dies kann entweder basierend auf der Unternehmensbezeichnung erfolgen oder basierend auf der ID, sofern den Unternehmen der Paneldatenstruktur im ersten Schritt die IDs der bestehenden Nodelist zugeordnet wurden. Die Nodelist beinhaltet nun sowohl die IDs eines jeden Unternehmens sowie deren jeweilige HID. In einem dritten Schritt erfolgt nun die Zuweisung der HIDs zur Edgelist bzw. Kantenliste. Bei dieser ist wiederum im Nachhinein zu überprüfen, ob es in den einzelnen Projekten Dopplungen in den Verbindungen gibt, welche aus den neu zugewiesenen HIDs resultieren können. Endergebnis des Matchings ist nun ein volldynamischer Netzwerkdatensatz.

Paneldatenstruktur (Auszug)									
firm_hist_id	firm_id	firm_name	Eventcode	eventnr_firm	event_day	event_month	event_year	commentar	
HID004	ID005	ATMEL Holding GmbH	EN1	1	6	3	1998	Firma wurde gegründet	
HID004	ID005	ATMEL Holding GmbH	NE	1	1	1	1999	Kein Event	
HID004	ID005	ATMEL Holding GmbH	NE	1	1	1	2000	Kein Event	
HID004	ID005	ATMEL Holding GmbH	NE	1	1	1	2001	Kein Event	
HID004	ID005	ATMEL Holding GmbH	NE	1	1	1	2002	Kein Event	
HID004	ID005	ATMEL Holding GmbH	NE	1	1	1	2003	Kein Event	
HID004	ID005	ATMEL Holding GmbH	NE	1	1	1	2004	Kein Event	
HID004	ID005	ATMEL Holding GmbH	NE	1	1	1	2005	Kein Event	
HID004	ID005	ATMEL Holding GmbH	NE	1	1	1	2006	Kein Event	
HID004	ID005	ATMEL Holding GmbH	NE	1	1	1	2007	Kein Event	
HID004	ID005	ATMEL Holding GmbH	NE	1	1	1	2008	Kein Event	
HID004	ID005	ATMEL Holding GmbH	EX5	2	3	6	2009	Austritt aus Umfirmierung	
HID004	ID006	ATMEL Automotive GmbH	EN5	1	3	6	2009	Eintritt aus Umfirmierung	
HID004	ID006	ATMEL Automotive GmbH	NE	1	1	1	2010	Kein Event	
HID004	ID006	ATMEL Automotive GmbH	NE	1	1	1	2011	Kein Event	
HID004	ID006	ATMEL Automotive GmbH	NE	1	1	1	2012	Kein Event	
HID004	ID006	ATMEL Automotive GmbH	NE	1	1	1	2013	Kein Event	
HID004	ID006	ATMEL Automotive GmbH	NE	1	1	1	2014	Kein Event	

Nodelist / Knotenliste (Auszug)				Edgelist / Kantenliste (Auszug)			
firm_hist_id	firm_id	firm_name	Art	Target	Source	Kenntung	PID
HID001	ID002	MAHLE Behr GmbH	Unternehmen	HID399	HID606	ReVISED Batt	1002
HID002	ID003	Deutsche ACCUmotive GmbH	Unternehmen	HID399	HID704	ReVISED Batt	1002
HID004	ID006	Atmel Automotive GmbH	Unternehmen	HID399	HID296	ReVISED Batt	1002
HID004	ID005	ATMEL Holding GmbH	Unternehmen	HID704	HID606	ReVISED Batt	1002
HID007	ID009	SB LIMotive Germany GmbH	Unternehmen	HID004	HID958	E3Car	82
HID008	ID011	REFU Elektronik GmbH	Unternehmen	HID004	HID975	E3Car	82

Abb. 20: Auszugsweise Darstellung der finalen Paneldatenstruktur sowie der Akteursdarstellung in Knoten- und Kantenliste

## 6.3 Anwendung des Indikatoriksystems

### 6.3.1 Grundlegendes

Basierend auf dem erstellten Datensatz soll nachfolgend, bezogen auf das Technologiefeld Elektromobilität, eine beispielhafte Anwendung des Indikatoriksystems erfolgen. Es werden hierbei die in Kapitel 5 näher beschriebenen Indikatoren der sechs identifizierten Indikatorengruppen berücksichtigt. Fokus der Analyse liegt hierbei auf der globalen sowie akteursbezogenen Betrachtung.

Das für die Analyse genutzte Netzwerk wurde anhand der in den vorherigen Abschnitten dargelegten Methodik aufgebaut. Hinsichtlich der Knotendynamik werden Umfirmierungen betrachtet. Als aktiv werden zudem jeweils Knoten mit mindestens einer bestehenden Kantenverbindung angesehen. Der Untersuchungszeitraum erstreckt sich, wie in der Technologiefeldabgrenzung formuliert, von 1990 bis 2018.

### 6.3.2 Globale Analyse

Im Rahmen der globalen Analyse erfolgte eine Untersuchung der strukturellen Veränderung bzw. Netzwerkdynamik bezogen auf das Gesamtnetzwerk Elektromobilität, wobei keine weiteren Unterteilungen des Datensatzes vorgenommen wurden. Die Ergebnisse der Analyse, auf welche nachfolgend kurz näher eingegangen wird, werden in Abbildung 21 dargestellt. Für eine genauere Erläuterung der genutzten Indikatoren und deren Aussage sei hiermit auf Kapitel 5 verwiesen.

Eine zentrale Darstellung der Veränderungen im Netzwerk ermöglicht der RV-Koeffizient, welcher als Ähnlichkeitsmaß die Ähnlichkeit der Gesamtnetzwerkstruktur eines Betrachtungsjahres zu jedem anderen Jahr berechnet. Die Ergebnisse des Koeffizienten können hierbei in Form einer Matrix dargestellt werden, welche die Ähnlichkeit der Betrachtungsjahre vergleichend gegenüberstellt. Mittels einer auf den berechneten Koeffizienten basierenden Einfärbung können anschließend Zeiträume hoher Stabilität sowie Zeitpunkte großer Veränderung verbildlicht werden. Es sei hierbei darauf hingewiesen, dass der Indikator aufgrund seiner Definition lediglich hervorhebt, wann es zu erkennbaren Veränderungen in der Netzwerkstruktur kam, jedoch darüber hinaus keine Aussagen zu den Hintergründen dieser Änderungen zulässt. Hierfür ist eine zusätzliche Gegenüberstellung mit weiteren Indikatoren notwendig. Im Zusammenspiel mit diesen ergibt sich ein System, welches es ermöglicht, sowohl zentrale Veränderungen im Netzwerk als

auch deren Hintergründe bzw. hiermit verbundene Bereiche hoher Dynamik zu erkennen und nachzuvollziehen. In Abbildung 21 werden die Ergebnisse des RV-Koeffizienten in Form einer Matrix dargestellt. Je dunkler hierbei die blaue Einfärbung ausfällt, desto höher ist die Ähnlichkeit der Netzwerkstruktur zwischen den beiden zugehörigen Jahren. Dies führt letztlich dazu, dass die Diagonale immer die höchste Farbintensität aufweist, da ein Jahr zu sich selbst immer eine perfekte Strukturähnlichkeit aufweist (dies entspricht einem RV-Koeffizienten von 1). Bei Betrachtung der Netzwerkstruktur mittels des RV-Koeffizienten fällt auf, dass es innerhalb des Betrachtungszeitraums drei wesentliche Netzwerkstrukturbrüche gab. Der erste Bruch findet sich im Übergang des Jahres 1991 zu 1992, der zweite im Übergang von 2006 zu 2007 und der dritte zwischen 2010 und 2012. Daneben gibt es mehrere Zeiträume einer hohen Stabilität: 1992 bis 1999, 2002 bis 2006, 2007 bis 2010 sowie 2012 bis 2018, wobei sich auch der längere Zeitraum von 1992 bis 2006, trotz einiger Strukturumbrüche, abhebt.

Die Netzwerkdichte liegt zu Beginn des Betrachtungszeitraums vergleichsweise hoch, erfährt jedoch bereits zeitig einen deutlichen Rückgang, welcher anschließend in einen stetigen, jedoch erkennbar langsameren Rückgang übergeht. Der sinkende Dichtewert resultiert primär aus einer stetigen Zunahme an aktiven Akteuren, wobei die Anzahl an möglichen Verbindungen stärker ansteigt als die ebenfalls steigende Zahl an tatsächlich realisierten Kanten. Die Entwicklung des durchschnittlichen Knotengrades hingegen verläuft zumindest teilweise gegensätzlich. Nach einem leichten Anstieg zwischen 1991 und 1992 schwankt der Indikatorwert bis Ende der 2000er Jahre um den Wert von 2, erfährt anschließend jedoch einen starken Anstieg, welcher in der Verdreifachung der vorherigen Werte mündet. Der Anstieg deutet auf eine stärkere Involvierung der Akteure in das Gesamtnetzwerk hin, wobei jedoch auch der potentielle Einfluss von hinsichtlich der Partnerzahl größerer Forschungsprojekte zu prüfen ist. Betrachten wir nun die Dynamik der Netzwerkstrukturähnlichkeit unter Berücksichtigung der Entwicklung von Knotengrad und Netzwerkdichte fallen einige Überschneidungen auf. So geht der erste größere Strukturumbruch des Netzwerks mit einem rapiden Abfall der Netzwerkdichte einher wobei zu diesem Zeitpunkt gleichzeitig ein deutlicher Anstieg des durchschnittlichen Knotengrads erkennbar ist. Ähnliche Zusammenhänge sind auch bezüglich der Netzwerkänderungen 1995 zu 1996 und 1999 zu 2000 zu erkennen. Die deutlichen Variationen des RV-Koeffizienten zwischen 2006 und 2007 sowie insbesondere zwischen 2010 und 2012 scheinen primär aus einer Änderung des durchschnittliche Knotengrades - und

damit einer zunehmenden Vernetzung der Knoten untereinander - zu resultieren, wohingegen die Dichte hier nur marginale Änderungen aufweist.

Hinsichtlich der Zahl der aktiven Knoten ist das Netzwerk durch einen zunächst gemächlichen Anstieg gekennzeichnet, welcher sich bis zum Ende der 2000er Jahre zieht. Hierauf folgt eine deutliche Zunahme aktiver Akteure, deren Anzahl in 2014 ihren Peak findet und anschließend wieder leicht rückläufig ist. Die Zahl aktiver Kanten weist über den Betrachtungszeitraum einen ähnlichen Verlauf auf und zeigt lediglich nach 2016 einen gegensätzlichen Verlauf zur Knotenzahl, welcher sich auch in der Entwicklung des durchschnittlichen Knotengrades wieder spiegelt. In Bezug auf die Strukturänderung des Netzwerks zeigt sich vor allem im Zeitraum des stärksten Knoten- und Kantenzuwachses 2010 bis 2012 ein deutlicher Umbruch sowie auch in geringerem Maße während des Rückgangs der Akteurs- und Verbindungszahl zwischen 2015 und 2016. Zu beachten ist zudem die sehr geringe Zahl an Knoten und Akteuren in den ersten zwei Jahren des Betrachtungszeitraums, welche bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss.

Die Analyseergebnisse weisen für die Zentralitätsmaße deutlich divergierende Ergebnisse auf. Hinsichtlich der Gruppen-Betweeness Zentralität ist eine Schwankung zwischen den Werten 0.8 und 0.9 feststellbar. Die Ergebniswerte liegen hierbei ab dem Jahr 1992 vor, da der Indikator aufgrund der geringen Akteurszahl und deren Vernetzung zueinander für die zwei vorherigen Jahre nicht definiert ist. Die hohen Werte des Indikators deuten darauf hin, dass vergleichsweise wenige zentrale Akteure andere Akteure des Netzwerks miteinander verbinden. Die hohen Indikatorwerte werden auch durch die erkennbar hohe Akteurszahl sowie die relativ niedrige Dichte des Gesamtnetzwerks untermauert. Trotz relativ hoher Ergebniswerte, kann insgesamt ein leichter Abwärtstrend festgestellt werden. Die erkennbaren Schwankungen fallen hierbei vor allem mit den Netzwerkstrukturänderungen zwischen den Jahren 1999 und 2000, 2001 und 2002 sowie 2010 und 2011 zusammen. Die Globale Closeness-Zentralität zeigt, wie sich die durchschnittliche, pfadbasierte Nähe der Akteure innerhalb des Netzwerks entwickelt. Die Indikatorwerte schwanken insgesamt zwischen 0 und 0,16 und liegen somit eher im unteren Spektrum des allgemeinen Indikatorraumes. Die Perioden in etwa gleichbleibender Werte decken sich hierbei teilweise deutlich mit den Perioden erhöhter struktureller Netzwerkstabilität des RV-Indikators. Besonders auffällig ist dies in dem Zeitraum von 1992 bis 1999 sowie dem Zeitraum nach 2012.

Hinsichtlich der globalen Effizienz des Netzwerks fällt über den Betrachtungszeitraum eine leichte Trendverschiebung auf. Nach einer zunächst vergleichsweise hohen Effizienz in den Anfangsjahren, auch bedingt durch die niedrige Akteurszahl, sinkt die globale Netzwerkeffizienz zunächst ab und bleibt über einen längeren Zeitraum auf einem niedrigen Niveau. Erst mit dem starken Anstieg der Knoten- und Kantenzahl ab 2010 kommt es zu einem signifikanten Anstieg der globalen Netzwerkeffizienz mit einem anschließenden stabilen Verhalten. Der Gesamtverlauf weist hierbei Ähnlichkeiten zur Entwicklung des Clusterkoeffizienten auf. Dieser ist aus Gründen einer Ermangelung an transitiven Verbindungen in den vorherigen Jahren erst ab dem Jahr 1992 definiert und weist dort seine höchste Ausprägung auf. Im Zeitverlauf nimmt der Anteil an Transitivität im Netzwerk stetig ab. Speziell der Zeitraum zwischen 2007 und 2010 ist hierbei durch eine sehr niedrige Clusterung der Akteure gekennzeichnet. Aufgrund der deutlichen Zunahme der Vernetzung im Netzwerk zeigt der darauf folgende Zeitraum ab 2011 wieder eine höhere Transitivität.



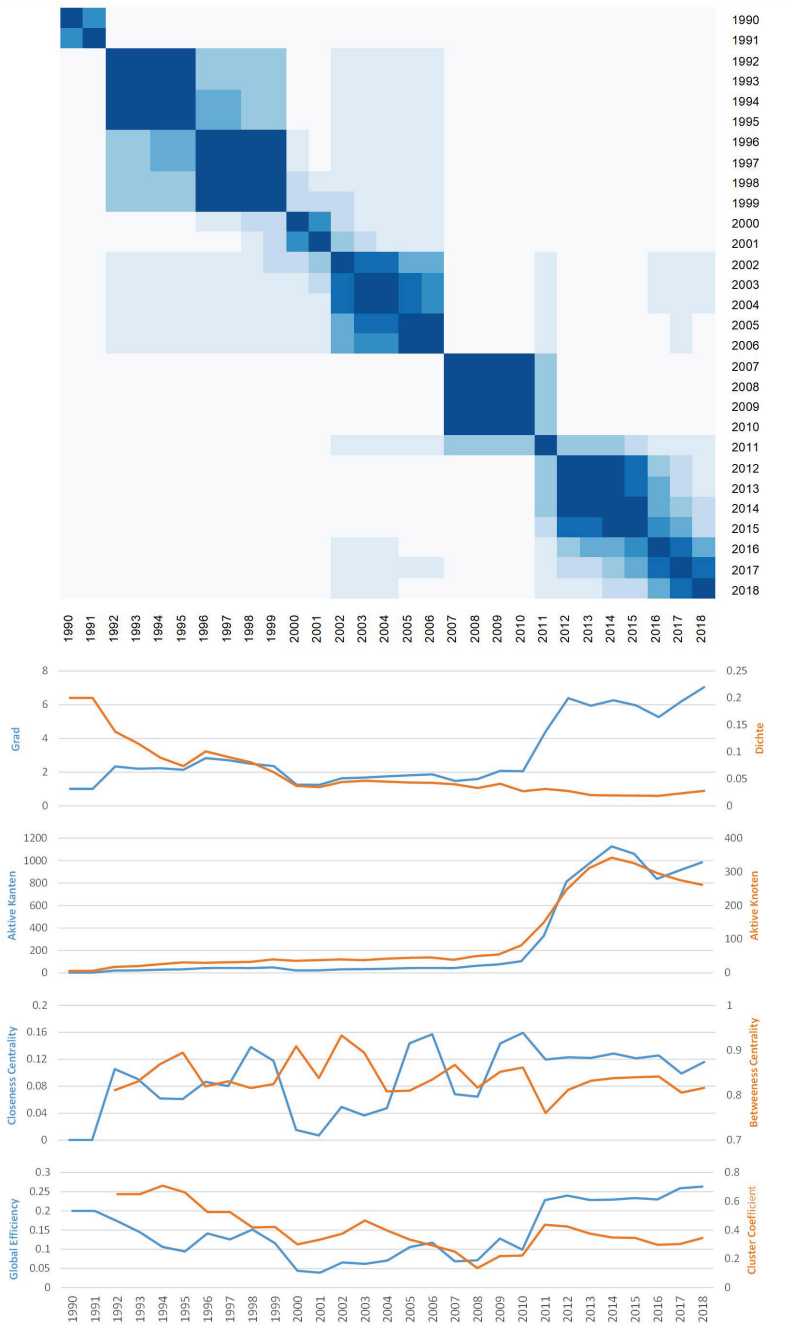


Abb. 21: Ergebnisse der globalen Analyse

### 6.3.3 Akteursbezogene Analyse

Neben einer Betrachtung der Entwicklung des Gesamtnetzwerks im Technologiefeld Elektromobilität soll nachfolgend auch eine akteursbezogene Analyse erfolgen. Diese ermöglicht es, die Aktivitäten der einzelnen Akteure im Netzwerk über den Betrachtungszeitraum zu veranschaulichen und nachzuvollziehen. Aufgrund der hohen Anzahl an aktiven Akteuren im Betrachtungszeitraum soll die Analyse exemplarisch an drei ausgewählten Akteuren (hier: Akteur Grün, Blau und Rot) erfolgen, bei welchen es sich um zwei Unternehmen und eine Forschungseinrichtung handelt. Die Ergebnisse werden nachfolgend in Abbildung 22 aufgezeigt. Als Startpunkt für die Zeitachse wurde hier aus Darstellungsgründen abweichend das Jahr 1992 gewählt, da alle gewählten Akteure vor diesem Jahr keine nachweisbare Netzwerkaktivität aufwiesen.

Hinsichtlich des Knotengrades zeigt sich bei allen drei Akteuren über nahezu den gesamten Betrachtungszeitraum ein Knotengrad über Null, was auf eine fast durchgängige Aktivität im Netzwerk schließen lässt. Obwohl der Knotengrad bis in die späten 2000er Jahre den Wert 10 nicht überschreitet, kann man im Vergleich mit dem im vorherigen Abschnitt aufgezeigten durchschnittlichen Wert von einer insgesamt hohen Vernetzung ausgehen. Im Rahmen der generell deutlich ansteigenden Aktivität im Technologiefeld erfolgt auch bei den dargestellten Akteuren ab dem Jahr 2010 eine zunehmende Vernetzung, wobei jedoch in den nachfolgenden Jahren deutlich unterschiedliche Verläufe erkennbar sind. So erreicht eines der beiden Unternehmen im Jahr 2014 seine höchste Gradausprägung und fällt in seiner Aktivität anschließend stetig ab, während das andere Unternehmen seine Vernetzung in etwa beibehalten kann. Die betrachtete Forschungseinrichtung weist zunächst die geringste Gradsteigerung der drei Akteure auf, kann diese jedoch bis zum Ende des Betrachtungszeitraums aufrechterhalten und letztlich die höchste diesbezügliche Ausprägung erreichen.

Unter Betrachtung der Betweenness Zentralität fallen vornehmlich die Forschungseinrichtung und eines der Unternehmen (Grün) als zentrale Akteure im Netzwerk auf. Letzteres kann insbesondere zwischen den Jahren 2004 und 2010 als zentrales Bindeglied im Netzwerk gesehen werden, zeigt in den folgenden Jahren jedoch eine schwindende Bedeutung. Die Forschungseinrichtung zeigt stetig wiederkehrende Peaks hinsichtlich der Betweenness Zentralität, was vor allem auch der generellen Bedeutung von Forschungseinrichtungen als Bindeglied zwischen Grundlagenforschung und praktischer industrieller Forschung zuzuschreiben ist. Die normierte Closeness Centrality ähnelt sich für alle drei Akteure.

Die Local Efficiency entspricht innerhalb der aktorsbezogenen Betrachtung der Definition des Clusterkoeffizienten. Erkennbar ist hierbei eine zunehmende Verringerung des Koeffizienten für die drei Akteure, was auch durch den später starken Anstieg der Knoten im Netzwerk bedingt ist. Insbesondere zwischen den Jahren 1992 und 1998 liegen die Werte der betrachteten Forschungseinrichtung sowie auch eines der Unternehmen (Blau), welches sogar eine perfekte lokale Effizienz aufweist, deutlich höher als in den folgenden Jahren.

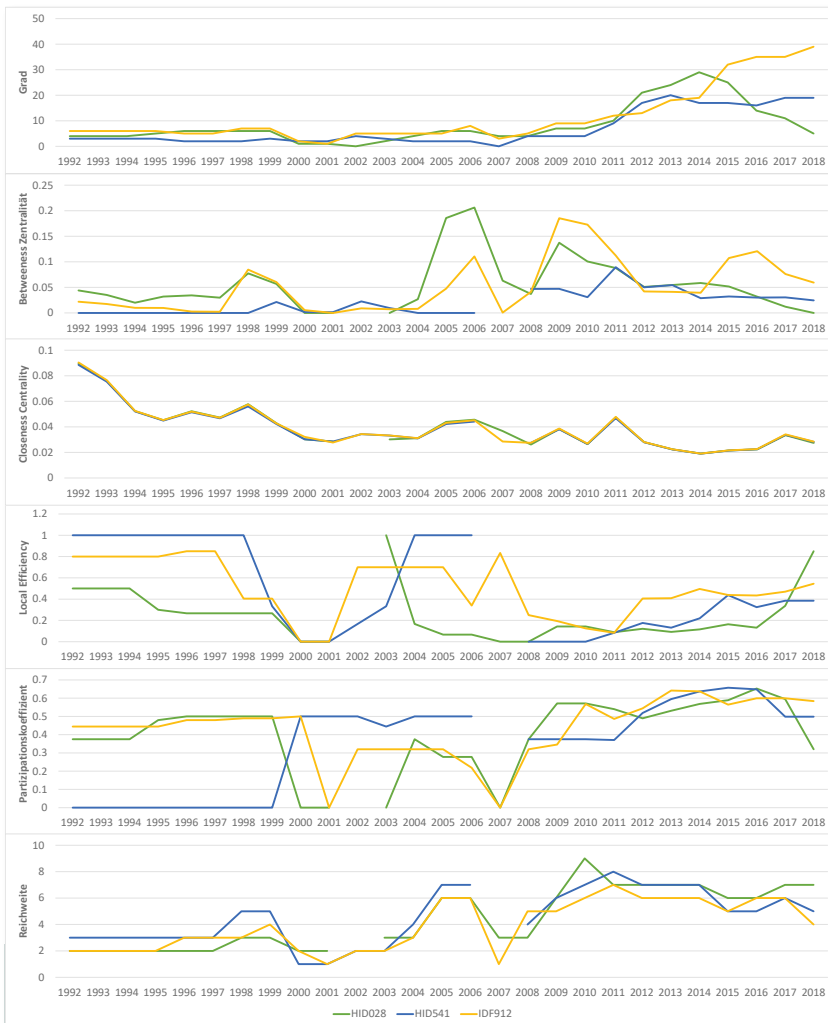


Abb. 22: Ergebnisse der aktorsbezogenen Analyse für ausgewählte Akteure

Die Ergebnisse des Partizipationskoeffizienten deuten auf deutliche Unterschiede im Kooperationsverhalten der drei betrachteten Akteure hin. Eine besonders große Divergenz ergibt sich hierbei in den 90er Jahren, in welchen das Forschungsinstitut sowie eines der Unternehmen in etwa hälftig mit Akteuren ihres eigenen Typs sowie hälftig mit Akteuren eines anderen Typs (Hochschulen bzw. entweder Unternehmen oder Forschungseinrichtungen) kooperieren. Das andere Unternehmen (Blau) weist hier hingegen einen Koeffizienten von Null und somit eine ausschließliche Vernetzung mit anderen Unternehmen auf. Um die Jahrtausendwende kommt es diesbezüglich zu einer deutlichen Transformation der Kooperationsbeziehungen, in Folge derer die Ausprägung des Partizipationskoeffizienten deutlich ansteigt und, mit Ausnahme eines kurzen Zeitraums ohne Netzwerkaktivität, bis zum Ende des Betrachtungszeitraums auf erhöhtem Niveau verbleibt. Generell herrscht bei den betrachteten Akteuren ab Ende der 2000er Jahre ein Partizipationskoeffizient über dem Wert 0.5 vor, was auf eine erhöhte Tendenz des Wissensaustauschs mit Akteuren eines anderen Typs im Zeitraum erhöhter Netzwerkaktivitäten hindeutet.

Hinsichtlich der Reichweiteentwicklung weisen die Akteure einen zueinander ähnlichen Verlauf auf. Aufgrund der generell geringen Netzwerkgröße in den Anfangsjahren ist die jeweilige Reichweite innerhalb des Netzwerks noch relativ gering. Der Zeitraum zwischen 1997 und 2007 ist nachfolgend durch zeitweise Anstiege und Absenkungen der Reichweite geprägt, welche sich schließlich auf einem erhöhten Niveau einpegeln.

Die gezeigten Indikatoren ermöglichen es, die Vernetzungsaktivitäten einzelner Akteure innerhalb des Netzwerks zu beschreiben und nachzuvollziehen. Anhand der Verläufe ist zudem ein Vergleich der Entwicklung einzelner Knoten, bzw. auf Kosten der Übersichtlichkeit auch ein direktes Gegenüberstellen der Gesamtpopulation möglich. Ähnlichkeitsmaße, wie bspw. Adamic Adar und Common Neighbors, erlauben weiterhin eine Untersuchung der Ähnlichkeit zwischen spezifischen Akteuren. Eine genauere Untersuchung diesbezüglich erfolgt im Kontext der vorliegenden Publikation nicht, es sei für Informationen zur Berechnung von Akteursähnlichkeiten jedoch auf die in Kapitel 5 aufgeführten Indikatorbeschreibungen verwiesen.

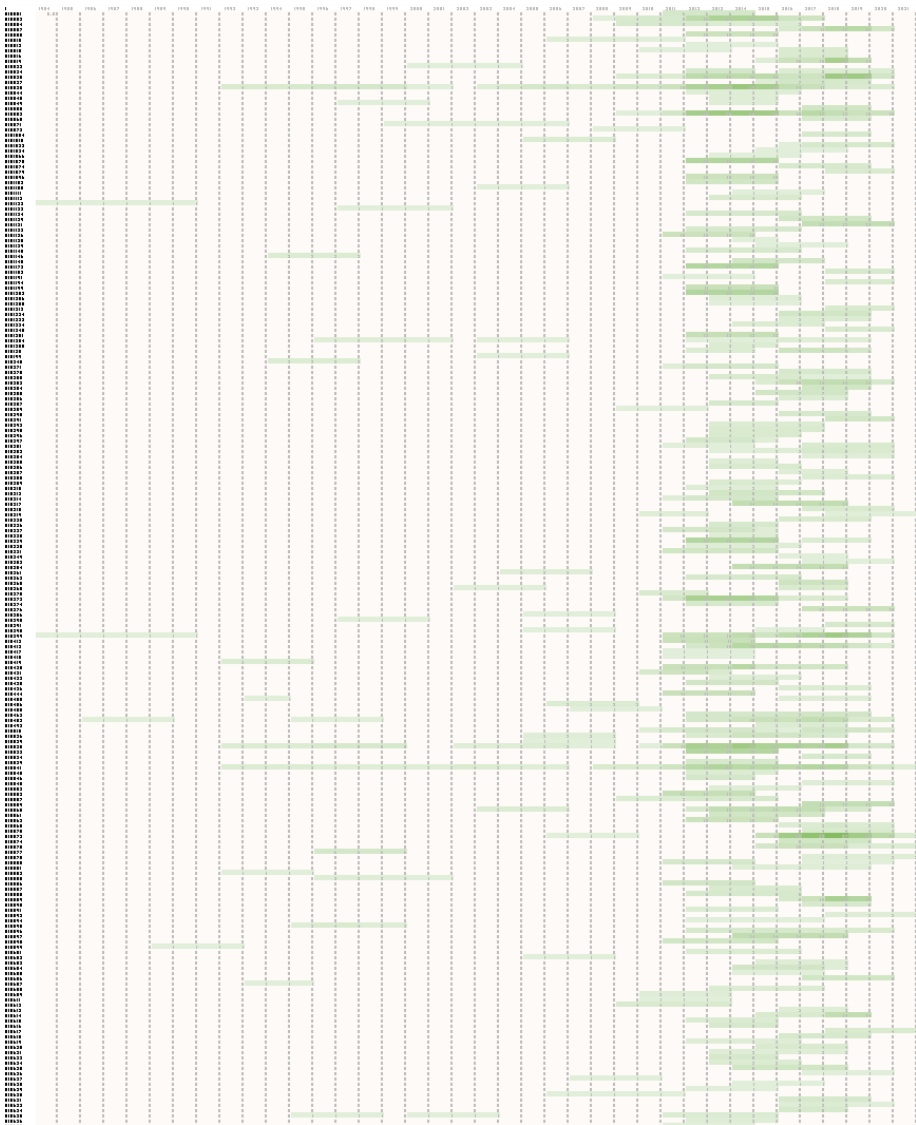


Abb. 23: Auszug aus Übersicht über Knotengradentwicklung für die verschiedenen Akteure

## 6.4 Zusammenfassung

Innerhalb dieses Kapitels erfolgte eine praxisorientierte Beschreibung des Vorgehens zur Erstellung eines technologiefeldbezogenen Innovationsnetzwerks sowie die Anwendung eines breit angelegten Indikatorensets zu dessen Untersuchung. Fokus lag hierbei insbesondere auf der Berücksichtigung der Innovationsnetzwerken inhärenten Dynamik und einer hiermit zusammenhängenden Notwendigkeit zur Untersuchung der Netzwerkentwicklung über die Zeit. Weiterhin wird innerhalb der beschriebenen Netzwerkkonstruktion auch die bisher häufig vernachlässigte, aber für das Treffen realistischer Aussagen immens wichtige Dynamik auf Akteurs- bzw. Knotenseite berücksichtigt.

Im Rahmen der letztlichen Netzwerkanalyse konnte ein Bild der Entwicklung des deutschen Innovationsnetzwerks im Technologiefeld Elektromobilität gezeichnet und die dem Netzwerk inne liegende Dynamik hinsichtlich verschiedener Aspekte untersucht werden. Ebenfalls wurden Möglichkeiten zur Untersuchung des Netzwerkverhaltens einzelner Knoten innerhalb des Netzwerks aufgezeigt. Die Möglichkeiten wurden hiermit jedoch bei weitem nicht ausgeschöpft. So ergeben sich im Rahmen der Analyse von Innovationsnetzwerken noch zahlreiche weitere Fragestellungen, welche mit den hier vorgestellten Indikatoren untersuchbar sind. Diese betreffen beispielsweise die Untersuchung des vielfältigen Zusammenspiels und der Rolle der einzelnen Netzwerkakteure, der Rolle verschiedener Subsektoren innerhalb des Technologiefelds oder auch das Zusammenwirken verschiedener Technologiefelder (hier beispielsweise die Bereiche Elektromobilität und klassische, verbrennungsmotorbasierte Mobilität). Eine Beantwortung dieser Fragen erlaubt hierbei letztlich nicht nur die Betrachtung der Entwicklung einzelner Technologiefelder, sondern ermöglicht auf breiterer Ebene auch neue und vertiefende Einblicke in das deutsche Innovationssystem und dessen Dynamik.

## 6.5 Literaturverzeichnis

Borgstedt, P., Neyer, B., & Schewe, G. (2017). Paving the road to electric vehicles – A patent analysis of the automotive supply industry. *Journal of cleaner production*, 167, 75-87.

De Rassenfosse, G., Kozak, J., & Seliger, F. (2019). Geocoding of worldwide patent data. *Scientific data*, 6(1), 1-15.

NPE (2018). Fortschrittsbericht 2018 – Markthochlaufphase. Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. Berlin.

Pilkington, A., & Dyerson, R. (2006). Innovation in disruptive regulatory environments. *European Journal of Innovation Management*.



kostenloser Download  
unter [fom-ifes.de](http://fom-ifes.de)

- Hernes, D. / Lehrbass, F. / Maucy, K. (2021): Big Data basierte Analyse des Einflusses traditioneller und neuartiger Faktoren auf Mietpreise in Düsseldorf, in: Krol, B. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 25, 2021, ISSN (eBook) 2569-5355, ISBN (eBook) 978-3-89275-426-8
- Lehrbass, F. (2021): Deep Learning Diagnostics – How to Avoid Being Fooled by TensorFlow, PyTorch, or MXNet with the Help of Modern Econometrics, in: Krol, B. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 24, 2021, ISSN (eBook) 2569-5355, ISBN (eBook) 978-3-89275-424-4
- Lehrbass, F. / Wörndl, F. (2021): Was treibt die Renditen von Hedgefonds? Eine empirische Untersuchung ausgewählter Hedgefonds Strategien, in: Krol, B. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 23, 2021, ISSN (eBook) 2569-5355, ISBN (eBook) 978-3-89275-422-0
- Kladroba, A. / Friz, K. / Buchmann, T. / Wolf, P. (2020): Netzwerk- und Outputmessung – Indikatorik für transformative Technologiefelder (NEO-Indikatorik), in: Krol, B. / Kladroba, A. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 22, 2020, ISSN (eBook) 2569-5355, ISBN (eBook) 978-3-89275-420-6
- Bähren, T. / Maasjosthusmann, R. / Walter, A. / Lehrbass, F. (2020): Praktische Umsetzung von Business Analytics im Mediensektor: Predictive Analytics im Filmgeschäft, in: Krol, B. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 21, 2020, ISSN (eBook) 2569-5355, ISBN (eBook) 978-3-89275-418-3



- Kladroba, A. (2019): Der Einfluss mathematischer Methoden auf das Ergebnis von Mannschaftswettkämpfen: Eine Simulationsrechnung, in: Krol, B. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 20, 2019, ISSN (eBook) 2569-5355, ISBN (eBook) 978-3-89275-416-9
- Raasch, A. / Lehrbass, F. (2019): Investmentstrategien im Rahmen von Übernahmen börsennotierter Gesellschaften – Merger Arbitrage und Maschinelles Lernen, in: Krol, B. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 19, 2019, ISSN 2191-3366, ISBN 978-3-89275-413-8
- Hagemann, D. / Lehrbass, F. (2018): Prognosemodelle für Länderrisiken: Logit- und Deep Learning-Methoden im Vergleich, in: Krol, B. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 18, 2018, ISSN 2191-3366, ISBN 978-3-89275-411-4
- Graalmann, M.-P. / Lehrbass, F. (2018): Eignung von Varianz-Kovarianz-Ansätzen und Copula-Modellen zur Risikoaggregation in bankaufsichtlichen Risikotragfähigkeitskonzepten, in: Krol, B. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 17, 2018, ISSN 2191-3366, ISBN 978-3-89275-409-1
- Cox, P. / Lehrbass, F. (2018): Determinanten der Replikationsgüte von Exchange Traded Funds, in: Krol, B. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 16, 2018, ISSN 2191-3366, ISBN 978-3-89275-407-7
- Lehrbass, F. / Scheipers, N. (2017): Determinanten der Höhe von Wirtschaftsprüfungshonoraren am Beispiel von gelisteten Unternehmen im Prime Standard, in: Krol, B. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 15, 2017, ISSN 2191-3366, ISBN 978-3-89275-406-0
- Schwarz, J. (2017): Ergebnisse der Analyse von Studienabbrüchen, in: Krol, B. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 14, 2017, ISSN 2191-3366, ISBN 978-3-89275-405-3
- Lehrbass, F. (2016): Risikomessung für den globalen Kohlehandel: Einfache und fortgeschrittene Verfahren nebst Backtesting sowie ein Vergleich mit IFRS 7, in: Krol, B. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 13, 2016, ISSN 2191-3366, ISBN 978-3-89275-404-6
- Godbersen, H. (2016): Die Means-End Theory of Complex Cognitive Structures – Entwicklung eines Modells zur Repräsentation von verhaltensrelevanten und komplexen Kognitionstrukturen für die Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, in: Krol, B. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 12, 2016, ISSN 2191-3366, ISBN 978-3-89275-403-9

- Seng, A. / Landherr, G. (2015): Vielfalt leben und Vielfalt gestalten – Diversity Management in der Lehre, in: Krol, B. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 11, 2015, ISSN 2191-3366, ISBN 978-3-89275-402-2
- Gansser, O. A. / Schutkin, A. (2014): Studie zur Validierung der Persönlichkeitsmerkmale Abenteuerlust und Routineverhalten, in: Krol, B. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 10, 2014, ISSN 2191-3366, ISBN 978-3-89275-401-5
- Gansser, O. A. (2014): Marketingplanung als Instrument zur Krisenbewältigung, in: Krol, B. (Hrsg.), ifes Schriftenreihe, Band 9, 2014, ISSN 2191-3366, ISBN 978-3-89275-400-8
- Runia, P. M. / Wahl, F. / Rüttgers, C. (2013): Das Markenimage von Hersteller- und Handelsmarken: Eine empirische Analyse der Imagekomponenten von Körperpflegemarken auf der Grundlage eines Markenidentitätskonzeptes, in: Krol, B. (Hrsg.), KCS Schriftenreihe, Band 8, 2013, ISSN 2191-3366
- Naskrent, J. / Rüttgers, C. (2013): Sportmonitor Essen 2013: Eine empirische Analyse über das Image regionaler Sportvereine und ihre Sponsoring- und Promotionangebote, in: Krol, B. (Hrsg.), KCS Schriftenreihe, Band 7, 2013, ISSN 2191-3366
- Seng, A. / Fiesel, L. / Rüttgers, C. (2013): Akzeptanz der Frauenquote, in: Krol, B. (Hrsg.), KCS Schriftenreihe, Band 6, 2013, ISSN 2191-3366
- Naskrent, J. / Rüttgers, C. (2012): Wahrnehmung von Werbung mit Sportereignisbezug: Eine empirische Analyse der Einschätzung von Sponsoring und Ambush-Marketing im Rahmen der Fußball-Europameisterschaft und der Olympischen Spiele im Jahr 2012, in: Krol, B. (Hrsg.), KCS Schriftenreihe, Band 5, 2012, ISSN 2191-3366
- Seng, A. / Fiesel, L. / Krol, B. (2012): Erfolgreiche Wege der Rekrutierung in Social Networks, in: Krol, B. (Hrsg.), KCS Schriftenreihe, Band 4, 2012, ISSN 2191-3366
- Heinemann, S. / Krol, B. (2011): Nachhaltige Nachhaltigkeit: Zur Herausforderung der ernsthaften Integration einer angemessenen Ethik in die Managementausbildung, in: Krol, B. (Hrsg.), KCS Schriftenreihe, Band 2, 2011, ISSN 2191-3366

Überblick Schriftenreihe  
Bisher erschienene Bände

Hermeier, B. / Rettig, P. / Krol, B. (2010): Marken- und Produktmanagement durch Nutzung von Sportgroßereignissen: Möglichkeiten und Grenzen für Industrie und Handel, in: Krol, B. (Hrsg.), KCS Schriftenreihe, Band 1, 2010, ISSN 2191-3366

ISBN (Print) 978-3-89275-419-0

ISSN (Print) 2191-3366

ISBN (eBook) 978-3-89275-420-6

ISSN (eBook) 2569-5355



Institut für Empirie & Statistik  
der FOM Hochschule  
für Oekonomie & Management

## FOM Hochschule

## ifes

FOM. Die Hochschule. Für Berufstätige.

Die mit bundesweit über 57.000 Studierenden größte private Hochschule Deutschlands führt seit 1993 Studiengänge für Berufstätige durch, die einen staatlich und international anerkannten Hochschulabschluss (Bachelor/Master) erlangen wollen.

Die FOM ist der anwendungsorientierten Forschung verpflichtet und verfolgt das Ziel, adaptionsfähige Lösungen für betriebliche bzw. wirtschaftsnahe oder gesellschaftliche Problemstellungen zu generieren. Dabei spielt die Verzahnung von Forschung und Lehre eine große Rolle: Kongruent zu den Masterprogrammen sind Institute und KompetenzCentren gegründet worden. Sie geben der Hochschule ein fachliches Profil und eröffnen sowohl Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern als auch engagierten Studierenden die Gelegenheit, sich aktiv in den Forschungsdiskurs einzubringen.

Weitere Informationen finden Sie unter [fom.de](http://fom.de)

Zunehmende Digitalisierung erfordert und ermöglicht datenbasierten Erkenntnisgewinn und fundiertes unternehmerisches Handeln. Um aus den allgegenwärtigen Daten die richtigen Schlüsse zu ziehen, ist überall eine kritische Methodenkompetenz erforderlich. Der wissenschaftliche Fokus der ifes-Akteure liegt dabei in den Bereichen der empirischen Unternehmens-, Markt- und Konsumentenforschung, der angewandten Statistik, des Data Minings und der Finanzstatistik.

Das ifes verfolgt das Ziel, empirische Kompetenzen an der FOM zu bündeln und die angewandte Forschung im empirischen Bereich der Hochschule weiter voranzutreiben. Damit nimmt das ifes eine zentrale Stellung im Bereich der Entwicklung und Unterstützung der Methodenausbildung in der Lehre der Bachelor- und Masterstudiengänge sowie im Promotionsprogramm der FOM ein.

Weitere Informationen finden Sie unter [fom-ifes.de](http://fom-ifes.de)



Im Forschungsblog werden unter dem Titel „FOM forscht“ Beiträge und Interviews rund um aktuelle Forschungsthemen und -aktivitäten der FOM Hochschule veröffentlicht.

Besuchen Sie den Blog unter [fom-blog.de](http://fom-blog.de)