ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of

ZBW Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Brökel, Tom

Research Report

Die Förderung der Digitalisierung und Dekarbonisierung in Deutschland: Eine Analyse des Förderkatalogs

Studien zum deutschen Innovationssystem, No. 6-2025

Provided in Cooperation with:
Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI)

Suggested Citation: Brökel, Tom (2025) : Die Förderung der Digitalisierung und Dekarbonisierung in Deutschland: Eine Analyse des Förderkatalogs, Studien zum deutschen Innovationssystem, No. 6-2025, Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI), Berlin

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/312417

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

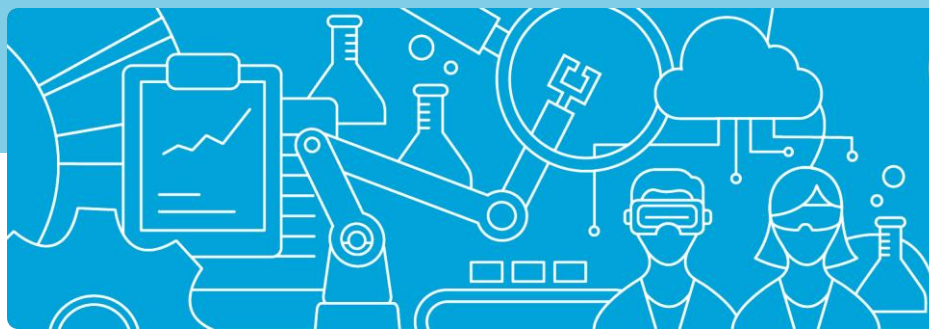
You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Studie zum deutschen Innovationssystem | Nr. 6-2025



Tom Brökel

Die Förderung der Digitalisierung und Dekarbonisierung in Deutschland

Eine Analyse des Förderkatalogs

Herausgeberin: Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI)

EXPERTENKOMMISSION
FORSCHUNG
UND INNOVATION

EFI

Diese Studie wurde im Auftrag der Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) erstellt. Die Ergebnisse und Interpretationen liegen in der alleinigen Verantwortung der durchführenden Institute. Die EFI hat auf die Abfassung des Berichts keinen Einfluss genommen.

Durchführendes Institut
University of Stavanger, School of Business and Law
Kjell Arholms gate 41, 4021 Stavanger, Norwegen
www.uis.no

Studien zum deutschen Innovationssystem
Nr. 6-2025
ISSN 1613-4338

Stand
Februar 2025

Herausgeberin
Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI)

Geschäftsstelle
Pariser Platz 6 | 10117 Berlin
www.e-fi.de

Alle Rechte vorbehalten, insbesondere das Recht auf Vervielfältigung und Verbreitung sowie Übersetzung. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung der EFI oder der Institute reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Kontakt und weitere Informationen
Prof. Dr. Tom Brökel
University of Stavanger, School of Business and Law
Kjell Arholms gate 41, 4021 Stavanger, Norwegen
T +47 (0) 51 83 44 99
M tom.brokel@uis.no

Kurzzusammenfassung

Dieser Bericht analysiert die staatliche Förderung von Projekten in den Bereichen Digitalisierung und Dekarbonisierung in Deutschland auf Grundlage des Förderkatalogs. Ziel der Untersuchung ist es, zentrale Trends und Muster in der Förderpolitik zu identifizieren, regionale Unterschiede herauszuarbeiten und die strategische Bedeutung dieser Fördermaßnahmen zu bewerten.

Im Zentrum der Analyse stand die Entwicklung eines methodischen Vorgehens zur Identifikation und Kategorisierung von Projekten im Förderkatalog, die auf die Themenfelder Digitalisierung und Dekarbonisierung abzielen. Hierfür wurden zwei zentrale Filtermethoden entwickelt: Ein regular-expression-basierter Filter ermöglichte die Identifikation von Projekten anhand textbasierter Muster in den Projekttiteln und -beschreibungen, während ein Förderthemen-basierter Filter die Leistungsplansystematik nutzte, um gezielt Projekte spezifischen Förderbereichen zuzuordnen. Durch die Kombination dieser Methoden konnte eine umfassende und präzise Erfassung relevanter Projekte gewährleistet werden, die als Grundlage für die folgenden Analysen diente.

Die temporale Analyse zeigte, dass die Zahl der geförderten Digitalisierungsprojekte seit 2012 kontinuierlich anstieg. Im Bereich der Dekarbonisierung wurde ein ähnlicher Trend festgestellt, insbesondere seit 2020, als ein deutlicher Anstieg der Fördersummen verzeichnet wurde. Die sektorale Verteilung verdeutlicht Unterschiede in der Gewichtung der Förderung: Während die Privatwirtschaft im Bereich Digitalisierung ab 2012 eine geringere Rolle spielte, nimmt sie im Bereich der Dekarbonisierung zunehmend eine zentrale Position ein.

Die Analyse der Wirtschaftszweigverteilung zeigt, dass Digitalisierungsprojekte vor allem in Dienstleistungsbereichen wie der Informationstechnologie (WZ 620), der Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten (WZ 260) und im Verlagswesen (einschließlich Software, WZ 580) angesiedelt sind. Demgegenüber stehen im Bereich der Dekarbonisierung Industrien wie der Maschinenbau (WZ 280), die chemische Industrie (WZ 200) und die Herstellung elektrischer Ausrüstungen (WZ 270) im Fokus.

Die geografische Verteilung der Projekte zeigt, dass Digitalisierungsprojekte überwiegend in urbanen Regionen durchgeführt werden, während Dekarbonisierungsprojekte vermehrt ländliche Gebiete betreffen. Im Bereich der Kooperation ergab die Analyse, dass Digitalisierungsprojekte häufig auf Zusammenarbeit setzen, während der Anteil kooperativer Projekte bei der Dekarbonisierung geringer ausfällt und in den letzten Jahren sogar zurückgegangen ist.

Eine Netzwerkanalyse zeigte außerdem, dass eine stabile Gruppe wirtschaftlich starker Regionen als zentrale Knotenpunkte für den interregionalen Wissenstransfer fungiert – sowohl im Bereich der Digitalisierung als auch der Dekarbonisierung.

Zusammenfassend bietet der Bericht eine umfassende Analyse der Förderung von Digitalisierungs- und Dekarbonisierungsprojekten. Die Kombination der entwickelten Filtermethoden, ergänzt durch detaillierte geografische und sektorale Analysen, ermöglicht eine präzise und differenzierte Darstellung der Förderpolitik.

Inhaltsverzeichnis

KURZZUSAMMENFASSUNG **2**

INHALTSVERZEICHNIS **3**

TABELLENVERZEICHNIS **4**

ABBILDUNGSVERZEICHNIS **5**

1 EINLEITUNG **6**

2 DER FÖRDERKATALOG **7**

2.1 Allgemeine Beschreibung des Förderkataloges 7
2.2 Die Leistungsplansystematik 7
2.3 Die Bedeutung des Förderkataloges für die wissenschaftliche Forschung 9

3 DEFINITIONEN DER KERNTHEMEN **9**

3.1 Vorbemerkung 9
3.2 Definition Digitalisierung 10
3.3 Definition Dekarbonisierung 11
3.4 Die Entwicklung der Filter 12
3.5 Evaluierung und Vergleich der Filter 13
3.6 Erstellung der Kombi-Filter 16
3.7 Verteilung der Projekte über LPS-Klassen 17

4 AUSWERTUNG **20**

4.1 Inhalte der Projekte 20
4.2 Temporale Veränderung der Förderung 22
4.2.1 Entwicklung der Förderung der Digitalisierung 22
4.2.2 Entwicklung der Förderung der Dekarbonisierung 26
4.3 Sektorale Verteilung der Förderung 27
4.3.1 Vorbemerkung 27
4.3.2 Analyse der Förderbeträge 31
4.3.3 Verteilung der BMBF-Förderung über Wirtschaftzweige: Digitalisierung 33
4.3.4 Verteilung der BMBF-Förderung über Wirtschaftzweige: Dekarbonisierung 34
4.4 Räumliche Verteilung 35
4.4.1 Vorbemerkungen 35
4.4.2 Räumliche Verteilung der Digitalisierungsprojekte 36
4.4.3 Räumliche Verteilung der Dekarbonisierungsprojekte 38
4.4.4 Korrelationsanalyse 40
4.4.5 Urbanisierungsgrad und Förderung 42

5 KOOPERATIONEN **44**

5.1 Vorbetrachtungen 44
5.2 Kooperationsintensitäten 46
5.3 Analyse des interregionalen Kooperationsnetzwerkes 47
5.3.1 Vorbetrachtungen 47
5.3.2 Die zentralsten Regionen 47

6 SCHLUSSBETRACHTUNG **50**

7 LITERATUR **51**

8 ANHANG 53

8.1 METHODIK: REGX-FILTER DIGITALISIERUNG 53
8.2 METHODIK: REGX-FILTER DEKARBONISIERUNG 53
8.3 METHODIK: SEKTORALE KLASSIFIKATION 54
8.4 METHODIK: TF-IDF-VERFAHREN 55
8.5 METHODIK: SCALING REGRESSION 56
8.6 ZUSÄTZLICHE ABBILDUNGEN ZUR RÄUMLICHEN VERTEILUNG 57
8.7 ZUSÄTZLICHE TABELLEN 59
8.8 ZUSÄTZLICHE ABBILDUNGEN 69

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: FILTERVERGLEICH DIGITALISIERUNG 14
TABELLE 2: FILTERVERGLEICH DEKARBONISIERUNG 14
TABELLE 3: VERGLEICH DER FILTER FÜR DIGITALISIERUNG 15
TABELLE 4: VERGLEICH DER FILTER FÜR DEKARBONISIERUNG 15
TABELLE 5: ÜBERSICHT DER KOMBINIERTEN KLASSIFIKATIONEN 17
TABELLE 6: TOP 10 DIGITALISIERUNGSRELEVANTE LPS-KLASSEN 19
TABELLE 7: TOP 10 DEKARBONISIERUNGSRELEVANTE LPS-KLASSEN 19
TABELLE 8: FÖRDERUNG NACH WIRTSCHAFTSZWEIGEN, TOP-5, DIGITALISIERUNG (WEIT) 59
TABELLE 9: FÖRDERUNG NACH WIRTSCHAFTSZWEIGEN, TOP-5, DIGITALISIERUNG (ENG) 60
TABELLE 10: FÖRDERUNG NACH WIRTSCHAFTSZWEIGEN, TOP-5, DEKARBONISIERUNG (WEIT) 61
TABELLE 11: FÖRDERUNG NACH WIRTSCHAFTSZWEIGEN, TOP-5, DEKARBONISIERUNG (ENG) 62
TABELLE 12: TOP-10 UND BOTTOM-10 REGIONEN FÜR DIGITALISIERUNG (WEIT) 63
TABELLE 13: TOP-10 UND BOTTOM-10 REGIONEN FÜR DIGITALISIERUNG (ENG) 64
TABELLE 14: TOP-10 UND BOTTOM-10 REGIONEN FÜR DEKARBONISIERUNG (WEIT) 65
TABELLE 15: TOP-10 UND BOTTOM-10 REGIONEN FÜR DEKARBONISIERUNG (ENG) 66
TABELLE 16: ZENTRALSTE REGIONEN IM GESAMTNETZWERK 67
TABELLE 17: ZENTRALSTE REGIONEN IM DIGITALISIERUNGSNETZWERK (WEIT) 67
TABELLE 18: ZENTRALSTE REGIONEN IM DEKARBONISIERUNGSNETZWERK (WEIT) 68
TABELLE 19: ZENTRALSTE REGIONEN IM DEKARBONISIERUNGSNETZWERK (ENG) 68
TABELLE 20: ZENTRALSTE REGIONEN IM DIGITALISIERUNGSNETZWERK (ENG) 69

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anzahl der Projekte pro LPS-Klasse 8
Abbildung 2: Verteilung der identifizierten Projekte über LPS-Klassen 18
Abbildung 3: Digitalisierung (weit) 20
Abbildung 4: Digitalisierung (eng) 20
Abbildung 5: Dekarbonisierung (weit) 21
Abbildung 6: Dekarbonisierung (eng) 21
Abbildung 7: Temporale Entwicklung Digitalisierungsförderung - Anzahl Projekte 23
Abbildung 8: Temporale Entwicklung Digitalisierungsförderung – Fördersummen 24
Abbildung 9: Temporale Entwicklung der Dekarbonisierungsförderung - Anzahl Projekte 25
Abbildung 10: Temporale Entwicklung der Dekarbonisierungsförderung – Fördersummen 26
Abbildung 11: Sektorale Verteilung der Projekte nach Thema, weite Definition 28
Abbildung 12: Sektorale Verteilung der Projekte nach Thema, enge Definition 29
Abbildung 13: Sektorale Verteilung der Förderbeträge nach Thema, weite Definition 30
Abbildung 14: Sektorale Verteilung der Förderbeträge nach Thema, enge Definition 32
Abbildung 15: Regionale Verteildung geförderter Projekte 36
Abbildung 16: Regionale Anteile der Digitalisierungsprojekten, weite Definition 37
Abbildung 17: Regionale Anteile der Digitalisierungsprojekten, enge Definition 38
Abbildung 18: Anteilige regionale Verteildung Dekarbonisierung (weit) 39
Abbildung 19: Anteilige regionale Verteildung Dekarbonisierung (eng) 39
Abbildung 20: Korrelation der Projektförderungsanteile 2000 bis 2011 40
Abbildung 21: Korrelation der Projektförderungsanteile 2012 bis 2024 41
Abbildung 22: Urbane Konzentration von geförderten Projekten 43
Abbildung 23: Anteil kooperativer Projekte gesamter Förderkatalog 44
Abbildung 24: Anteil kooperativer Projekte pro Thema 45
Abbildung 25: Temporale Stabilität Degree- und Betweennesszentralität, Digitalisierung 49
Abbildung 26: Temporale Stabilität Degree- und Betweennesszentralität, Dekarbonisierung 49
Abbildung 27: Räumliche Verteilung Projekte zur Digitalisierung (weit) 57
Abbildung 28: Räumliche Verteilung Projekte zur Digitalisierung (eng) 57
Abbildung 29: Räumliche Verteilung Projekte zur Dekarbonisierung (weit) 58
Abbildung 30: Räumliche Verteilung Projekte zur Dekarbonisierung (eng) 58
Abbildung 31: Temporale Stabilität Degree- und Betweennesszentralität: Digitalisierung 69
Abbildung 32: Temporale Stabilität Degree- und Betweennesszentralität: Dekarbonisierung 70

1 Einleitung

Der vorliegende Bericht analysiert die staatliche Förderung von Projekten in den Bereichen Digitalisierung und Dekarbonisierung anhand des deutschen Förderkatalogs. Ziel der Analyse ist es, zentrale Trends in der Förderpolitik zu identifizieren, regionale Unterschiede aufzuzeigen und eine umfassende Bewertung der Förderung im Hinblick auf die thematischen Schwerpunkte vorzunehmen. Dabei liegt der Fokus auf der Frage, wie sich die Förderung in verschiedenen Zeiträumen und Sektoren entwickelt hat und welche Rolle Kooperationen und interregionale Netzwerke spielen.

Vor dem Hintergrund der steigenden Bedeutung von Digitalisierung und Dekarbonisierung als zentrale Handlungsfelder in Wirtschaft, Forschung und Gesellschaft werden Fördermaßnahmen in diesen Bereichen immer relevanter. Digitalisierung ist ein Schlüsselfaktor für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen und die Modernisierung öffentlicher Dienstleistungen, während Dekarbonisierung eine notwendige Maßnahme zur Bekämpfung des Klimawandels darstellt. Die staatliche Unterstützung von Projekten in diesen Themenfeldern spielt daher eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung von Innovationsstrategien und der Erreichung politischer Ziele.

Zur Identifikation relevanter Projekte im Förderkatalog wurden zwei zentrale Filtermethoden entwickelt: ein *regex*-basierter Filter, der textuelle Muster in Projekttiteln und -beschreibungen identifiziert, sowie ein auf der Leistungsplansystematik (LPS) basierender Filter, der eine systematische Zuordnung von Projekten zu bestimmten Förderbereichen ermöglicht. Durch die Kombination beider Methoden konnte eine präzise Erfassung der Projekte gewährleistet werden, die für die Analyse von Digitalisierungs- und Dekarbonisierungsprojekten herangezogen wurden.

Die Analyse umfasst mehrere methodische Ansätze, um ein breites Spektrum an Fragen zu beleuchten. Dazu gehören temporale Analysen, die die Entwicklung der Fördermaßnahmen über verschiedene Zeiträume hinweg untersuchen, sowie sektorale und räumliche Analysen, die die Verteilung der geförderten Projekte auf verschiedene Sektoren und Regionen abbilden. Zudem werden Kooperationsintensitäten und interregionale Netzwerke betrachtet. Letztere, um zu verstehen, welche Regionen eine zentrale Rolle in der Vernetzung und im Wissensaustausch spielen.

Der Bericht bietet somit eine umfassende Grundlage für die Bewertung staatlicher Fördermaßnahmen in den Bereichen Digitalisierung und Dekarbonisierung und zeigt auf, wie die Förderung in diesen zentralen Innovationsfeldern strukturiert ist. Er liefert wertvolle Einblicke in die Verteilung der Fördermittel und die Dynamiken interregionaler Zusammenarbeit, die für die zukünftige Gestaltung der Förderpolitik von großer Bedeutung sind.

2 Der Förderkatalog

2.1 Allgemeine Beschreibung des Förderkataloges

Der Förderkatalog des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) ist eine zentrale Datenbank, die Informationen zu durch Bundesmittel geförderten Forschungs- und Entwicklungsprojekten in Deutschland bereitstellt. Ein zentraler Aspekt des Katalogs ist seine Verknüpfung mit dem internen Verwaltungssystem des BMBF, dem Projektförder-Informationssystem (PROFI). PROFI erfasst alle förderrelevanten Daten und Abwicklungsprozesse. Der Förderkatalog greift auf diese Datenbank zu, um sowohl aktuelle als auch historische Informationen öffentlich zugänglich zu machen. Dies erhöht die Transparenz staatlicher Fördermaßnahmen und erleichtert die Analyse geförderter Projekte. Er enthält Daten zu Projekten, die nach Themenbereichen, Finanzierungsvolumen, beteiligten Organisationen und Laufzeiten kategorisiert sind, und bietet somit eine strukturierte Übersicht über projektbezogene Investitionen in die deutsche Forschungslandschaft.

Neben den vom BMBF geförderten Projekten enthält der Katalog auch Daten zu Förderungen anderer Bundesministerien, insbesondere des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Allerdings unterscheidet sich die Abdeckung: Während das BMBF nahezu alle seine Projektförderungen im Förderkatalog veröffentlicht, ist die Darstellung von BMWK-Projekten und anderen Ministerien weniger umfassend. Zudem ist der Forschungscharakter vieler dieser Projekte unklar, da auch nicht-forschungsbezogene Unterstützungsmaßnahmen enthalten sein können. Dadurch stellt der Förderkatalog einen Mix aus forschungs- und nicht-forschungsbezogenen Förderprojekten dar.

Im Rahmen dieses Berichts wurde bewusst auf eine Trennung zwischen forschungs- und nicht-forschungsbezogenen Förderungen verzichtet, um die Gesamtheit der Unterstützungsleistungen zu erfassen. In zukünftigen Untersuchungen wäre jedoch eine solche Differenzierung sinnvoll, um die Ergebnisse präziser interpretieren zu können und mögliche Verzerrungen durch die unvollständige Abdeckung von Förderprojekten anderer Ministerien zu reduzieren.

Im Rahmen dieses Projektes erfolgt die Auswertung des Förderkataloges ausschließlich für Projekte, die nach dem 31.12.1999 begonnen haben. Das heißt, von den ursprünglich 206.710 Projekten, welche die Datenbank umfasst (Stichtag 30.09.2024), werden nur 141.496 Projekte berücksichtigt.

2.2 Die Leistungsplansystematik

Neben Informationen zu den Projekten (Titel, Beginn, Ende, Ausführende Stelle und Zuwendungsempfänger) beinhaltet der Förderkatalog auch eine thematische Klassifikation, die für diese Auswertung von zentraler Bedeutung ist: Die Leistungsplansystematik (LPS).

Die LPS basiert auf einem hierarchischen Klassifikationssystem, das es erlaubt, Projekte nach bestimmten Themenbereichen, wissenschaftlichen Disziplinen oder Anwendungsfeldern zu gruppieren. Dabei werden die Projekte in Haupt- und Unterkategorien eingeteilt, wodurch eine präzise Zuordnung der Projekte zu spezifischen Forschungsbereichen möglich ist. Genauer gesagt

umfasst sie insgesamt 21 Hauptgruppen, die in über 50 Förderschwerpunkte unterteilt sind. Diese Gruppen decken verschiedene Bereiche der Forschungs- und Innovationspolitik ab. Beispiele für die Hauptgruppen sind: *Gesundheitsforschung und Gesundheitswirtschaft*, *Bioökonomie*, *Energieforschung und Energietechnologien*, *Informations- und Kommunikationstechnologien*, *Fahrzeug- und Verkehrstechnologien*, *Umwelt- und Klimaforschung* und *Bildung und digitale Infrastrukturen*.

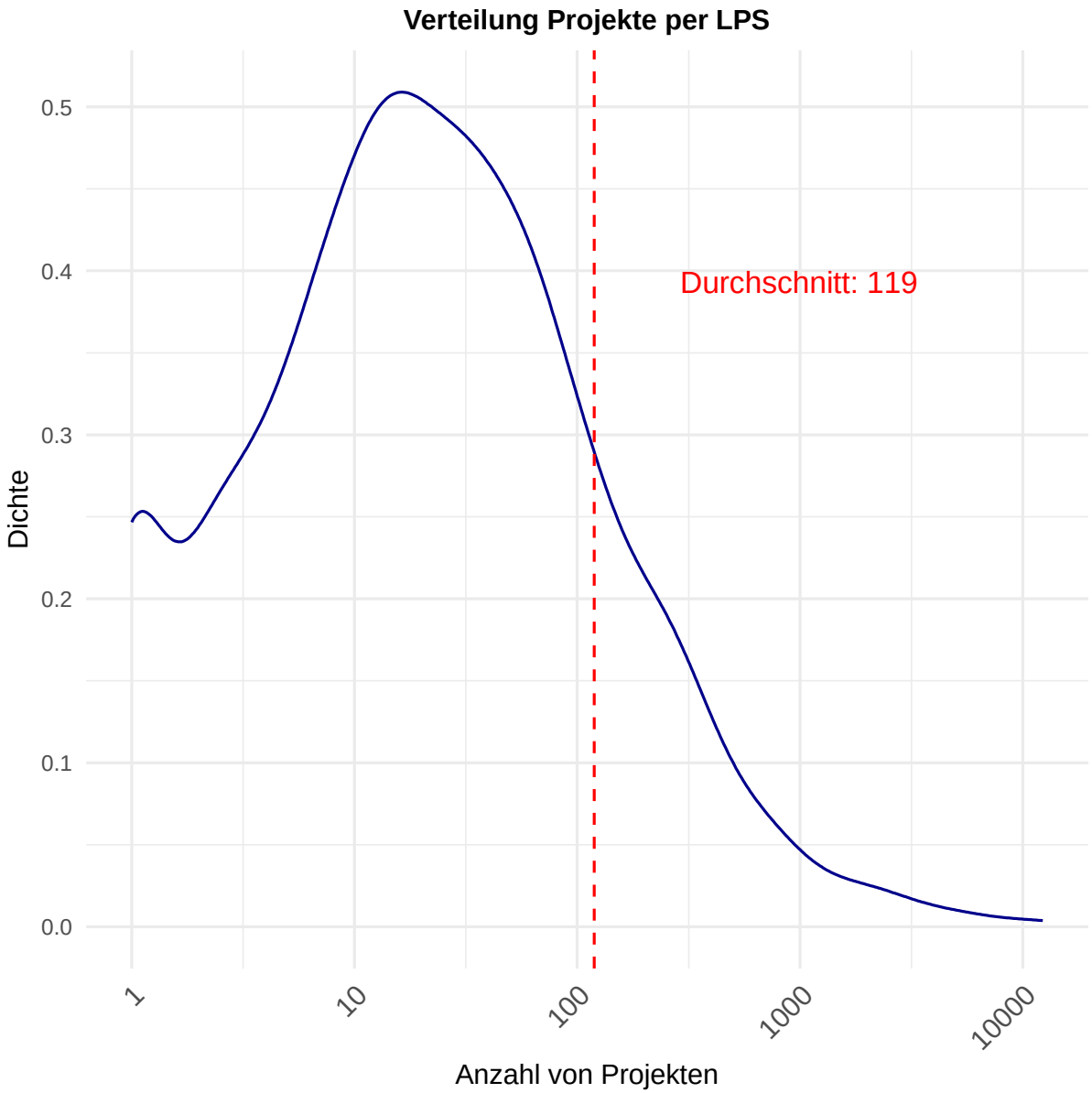


Abbildung 1: Anzahl der Projekte pro LPS-Klasse

Allerdings wird im Rahmen diese Projekts primär auf der Ebene der niedrigsten Aggregation gearbeitet. Das bedeutet, es stehen die 1.749 individuellen Klassen der Systematik im Vordergund. Diese Klassen haben im Regelfall eine spezifische Bezeichnung und beinhalten geförderte Projekte mit Bezug zu einem konkretem Thema. Allerdings ist das nicht immer der Fall. Die

Abbildung 1 visualisiert die Verteilung der Projekte im gesamten Förderkatalog über die Klassen der Leistungsplansystematik. Im Schnitt umfasst eine LPS-Klasse 119 Projekte. Aber es gibt eine relativ große Varianz. So gibt es auch Klassen mit mehr als 10.000 Projekten.

In der Leistungsplansystematik gibt es leider keinen übergeordneten Themenbereich, der vollständig alle Digitalisierungs- oder Dekarbonisierungsprojekte umfasst, was Teil der Motivation für diesen Bericht ist.

2.3 Die Bedeutung des Förderkataloges für die wissenschaftliche Forschung

In der wissenschaftlichen Literatur spielt der Förderkatalog eine wichtige Rolle in der Analyse von Innovationspolitik und der Bewertung staatlicher Fördermaßnahmen. So nutzen Czarnitzki, Ebersberger und Fier (2007) und Fornahl, Broekel und Boschma (2011) die Daten des Katalogs, um die Auswirkungen staatlicher Fördermittel auf die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten deutscher Unternehmen zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigen, dass staatliche Förderung zu einer signifikanten Steigerung der Innovationsleistung führt. Auf regionaler Ebene bestätigen Broekel u. a. (2017) diese Erkenntnisse.

Mewes und Broekel (2020) analysierte ebenfalls die Daten des Förderkatalogs und untersuchte den Einfluss staatlicher Förderung auf regionale Diversifikationsprozesse, wobei festgestellt wurde, dass die geförderten Projekte einen erheblichen Beitrag zur wirtschaftlichen Entwicklung in verschiedenen Regionen leisten.

Weitere Studien, wie die von Broekel und Graf (2012) und Bednarz und Broekel (2019), nutzen den Förderkatalog, um interorganisationale und interregionale Kooperationsnetzwerke in Deutschland abzubilden und zu analysieren. Diese Forschung zeigt, dass der Förderkatalog eine wichtige Datenquelle zur Erforschung von Innovationsnetzwerken ist und eine evidenzbasierte Bewertung der staatlichen Förderpolitik ermöglicht.

Die wissenschaftliche Nutzung des Förderkatalogs bezieht auch die Leistungsplansystematik mit ein, die häufig genutzt wird, um Technologien bzw. Themengebiete voneinander abzugrenzen (siehe z.B. Czarnitzki u. a. (2002), Mewes und Broekel (2020), Broekel und Graf (2012)). Diese Arbeiten zeigen, dass die LPS eine relativ verlässliche Informationsquelle ist, um die Wirkung staatlicher Förderung auf den Innovationsprozess zu bewerten.

3 Definitionen der Kernthemen

3.1 Vorbemerkung

Da es keine standardisierten und präzisen Definitionen der Themenbereiche “Digitalisierung” und “Dekarbonisierung” gibt, die eine eindeutige Klassifizierung geförderter Projekte ermöglichen, war es notwendig, spezifische Definitionen für diese Studie zu entwickeln. Diese dienen als Grundlage für die Klassifizierung der Projekte nach ihren thematischen Schwerpunkten. Für beide

Themen wurden zwei Sets von Definitionen entwickelt: zum einen eine allgemeine, weit gefasste Definition, die auf einer breiten Beschreibung des jeweiligen Themenbereichs basiert, und zum anderen eine engere Definition, die darauf abzielt, die Themen präziser zu fassen. Diese Definitionen wurden in konkrete Filter übersetzt, um die Projekte nach ihrer thematischen Relevanz zu klassifizieren.

Der Einsatz dieser beiden Definitionen adressiert den zentralen Zielkonflikt bei der Klassifizierung: Die Kategorien müssen breit genug sein, um alle relevanten Themen zu umfassen, dürfen jedoch nicht so weit gefasst werden, dass Projekte fälschlicherweise einem Thema zugeordnet werden, dem sie nicht zugehören. Es gibt keine perfekte Lösung für diesen Zielkonflikt, da immer ein Kompromiss zwischen dem Minimieren von Typ-1-Fehlern (fälschliche Zuordnung eines Projekts) und Typ-2-Fehlern (Übersehen relevanter Projekte) gefunden werden muss. Die weite Definition zielt darauf ab, Typ-2-Fehler zu minimieren, während die engere Definition darauf ausgelegt ist, Typ-1-Fehler zu reduzieren.

Die Ergebnisse der Studie können je nach Anwendung flexibel interpretiert werden. Die Auswahl der Definition – weit oder eng – sollte davon abhängen, ob in der jeweiligen Analyse eher der Typ-1- oder der Typ-2-Fehler von größerer Bedeutung ist.

3.2 Definition Digitalisierung

In einem ersten Schritt wurde, mit Hilfe einer generativen KI und aufbauend auf den bereitgestellten Informationen durch den Auftraggeber, eine möglichst allgemeine, weite Definition für das Thema Digitalisierung in Bezug auf die Projektförderung entwickelt. Dabei ist *Definition* hier primär als *Filter* bzw. *Klassifizierung* von (geförderten) Projekten zu verstehen und weniger, was Digitialisierung im Allgemeinen bedeutet. Diese Filterdefinition (nachfolgend nur noch *Definition*) wurde im Laufe des Projektes mehrfach überarbeitet und angepasst, bis die folgende finale Version, erreicht wurde.

Definition: Kernthemen des **weiten** Themenbereich **Digitalisierung**

1. **Software**: Digitale Werkzeuge zur Automatisierung, Datenanalyse, Künstlichen Intelligenz (KI), maschinellem Lernen und Algorithmusentwicklung.
2. **Datenverarbeitung**: Cloud-Computing, Cybersicherheit und digitale Systeme zur Verwaltung, Sicherung und Verarbeitung von Daten.
3. **Automatisierung**: Technologien, die manuelle Prozesse durch digitale Lösungen ersetzen oder verbessern (z.B. robotergesteuerte Prozessautomatisierung, intelligente Systeme).
4. **Telekommunikation, die direkt mit digitalen Diensten verbunden ist**: Dazu gehören z.B. 5G-Netze und mobile Kommunikation, die speziell für die Bereitstellung digitaler Dienste entwickelt wurde (nicht nur die zugrunde liegende physische Infrastruktur).
5. **Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen**: Anwendungen, die digitale Systeme zur Datenanalyse, Entscheidungsfindung und Produktivitätssteigerung nutzen.
6. **Infrastrukturtechnologien**: Glasfasernetze, Breitband, optische Kommunikationssysteme und andere physische Systeme, die digitale Dienste ermöglichen.
7. **Anwendungen der digitalen Technologie**: Bereiche, in denen digitale Werkzeuge zur Optimierung oder Verbesserung von Prozessen eingesetzt werden.

8. **Technologien zur Unterstützung oder Verbesserung anderer Systeme**: Technologien, die helfen, nicht-digitale Prozesse zu überwachen, zu analysieren oder zu integrieren, indem digitale Werkzeuge eingesetzt werden.

Diese umfassende und *weite* Definition des Filters wurde in einem zweiten Schritt ergänzt durch eine *engere* Definition. Beim Thema Digitalisierung findet sich der Unterschied zwischen der weiten und der engen Variante darin, dass die weite Variante auch digitalisierungsunterstützende Projekte beinhaltet, d.h. Projekte, die nicht direkt die Digitalisierung fördern, aber wichtige Grundlagen hierzu liefern. Dieses sind Projekte, welche die Forschung bzw. Bereitstellung der erforderlichen technischen Infrastruktur fördern, was insbesondere Technologien rund um den Mobilfunk und die Breitbandversorgung beinhaltet. Vereinfacht kann der Unterschied zwischen dem generellen Filter und seiner enger definierten Variante so verstanden werden, dass letzterer primär Software abdeckt, d.h. die tatsächliche Umwandlung von nicht-digitalen in digitale Inhalte, wohingegen der generelle Filter auch unterstützende Hardware berücksichtigt. Die enge Definition umfasst entsprechend primär die Themen 1, 2, 3, 5, und 7.

3.3 Definition Dekarbonisierung

Spiegelbildlich zur Definition der Filterdefinition beim Thema Digitalisierung wurde eine weite und umfassende Definition für das Themengebiet der Dekarbonisierung, mithilfe einer generativen KI und mit den bereitgestellten Informationen durch den Auftraggeber, erarbeitet. Auch diese wurde im Laufe des Projektes überarbeitet und angepasst.

Definition: Kernthemen des **weiten** Themenbereichs **Dekarbonisierung**

1. **Saubere Energietechnologien**: Erneuerbare Energiequellen wie Wind-, Solar- und Geothermie, die fossile Brennstoffe direkt ersetzen.
2. **Energieeffizienz-Technologien**: Technologien und Infrastrukturen zur Reduzierung des Energieverbrauchs in Industrie-, Wohn- und Verkehrssektoren.
3. **Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (CCS)**: Direkte Technologien, die Kohlenstoffemissionen erfassen, speichern oder nutzen, um ihre Umweltauswirkungen zu reduzieren.
4. **Kohlenstoffarme Industrieprozesse**: Technologien, die Kohlenstoffemissionen bei der Herstellung von Waren reduzieren oder eliminieren, wie z. B. die Produktion von grünem Wasserstoff, die Elektrifizierung von Prozessen oder alternative Materialien, die Emissionen reduzieren.
5. **Infrastruktur und Systeme zur Unterstützung sauberer Energie**: Übertragungsnetze, Energiespeicherlösungen (wie Batterien) und intelligente Netze, die die Nutzung erneuerbarer Energien ermöglichen.
6. **Nachhaltiger Transport und Logistik**: Maßnahmen zur Verbesserung der Transporteffizienz, Elektrifizierung von Fahrzeugen oder Optimierung der Logistik.
7. **Nachhaltige Landwirtschaft und Forstwirtschaft**: Praktiken, die langfristige Nachhaltigkeit unterstützen und Emissionen indirekt reduzieren, wie Aufforstung, Wiederaufforstung oder nachhaltige Anbaumethoden.

8. **Regulatorische, Markt- und Politikinstrumente**: Systeme und Werkzeuge, die Dekarbonisierung anreizen oder regulieren, wie Kohlenstoffmärkte oder Emissionshandelssysteme.

Auch hier wurde die *weite* Definition um eine *enge* Definition ergänzt. Im Gegensatz zur Digitalisierung macht eine Unterscheidung zwischen direkten Dekarbonisierungsprojekten und unterstützender Infrastruktur jedoch weniger Sinn. Stattdessen wird zwischen direkt und indirekt dekarbonisierungsrelevanten Projekten unterschieden. Direkte Dekarbonisierungsaktivitäten umfassen Maßnahmen, Technologien oder Projekte, die unmittelbar darauf abzielen, Treibhausgasemissionen zu reduzieren, CO2 aus der Atmosphäre zu entfernen oder den Einsatz fossiler Energieträger zu vermeiden. Diese Aktivitäten haben eine klare, messbare Wirkung auf die Dekarbonisierung und konzentrieren sich oft auf spezifische Technologien oder Maßnahmen, wie “CO2-Reduktion”, “erneuerbare Energien” oder die “Erhöhung der Energieeffizienz”.

Indirekte Dekarbonisierungsaktivitäten hingegen beziehen sich auf Maßnahmen, die zwar zur Verringerung von CO2-Emissionen beitragen, aber nicht primär auf Dekarbonisierung ausgerichtet sind. Sie wirken komplementär und fördern generelle Effizienzsteigerungen, Nachhaltigkeit oder Umweltmanagement. Beispiele hierfür sind Themen wie “Produktionseffizienz”, “Nachhaltigkeitsstrategie”, “Naturschutz”, “Abfallvermeidung” oder “LED-Beleuchtung”, die zur Reduzierung des Energieverbrauchs beitragen, aber nicht explizit die Reduzierung von Treibhausgasemissionen zum Ziel haben. Diese Aktivitäten sind überwiegend in der *weiten* Definition enthalten, während die *enge* Definition hauptsächlich die Bereiche 1, 3, 4, 5, 6 und 8 umfasst.

Es zeigt sich jedoch, dass der Unterschied zwischen den beiden Definitionen beim Thema Dekarbonisierung weniger ausgeprägt ist als bei der Digitalisierung. Dies sollte bei der Interpretation der entsprechenden Ergebnisse berücksichtigt werden.

3.4 Die Entwicklung der Filter

Um Projekte möglichst präzise und umfassend hinsichtlich ihrer Zugehörigkeit zu den Themen “Digitalisierung” und “Dekarbonisierung” zu identifizieren, wurden zwei Informationsquellen aus dem Förderkatalog genutzt: neben der bereits beschriebenen Leistungsplansystematik sind dieses die Projekttitel. Die Projekttitel sind als Volltexte verfügbar und bieten eine reiche Informationsquelle zur thematischen Relevanzeinschätzung.

Aufbauend auf den bereitgestellten Ansatz des Auftraggebers, werden zur Analyse der Projekttitel ein Regular-Expression-Matching (*regex*) verwendet, eine textanalytische Methode zur Mustererkennung. Mit *regex* können komplexe Suchmuster definiert werden, die nicht nur einfache Begriffe, sondern auch Variationen, Synonyme, unterschiedliche Schreibweisen und Kontextmerkmale erfassten. So werden nicht nur Begriffe wie “Digitalisierung” identifiziert, sondern auch verwandte Formen wie “digital” oder “digitalisiert”. Das Verfahren erlaubt zudem die Berücksichtigung von Wortgrenzen, Groß- und Kleinschreibung sowie optionalen Präfixen oder Suffixen, was die Genauigkeit der Analyse deutlich erhöht. Im Folgenden werden Filter, die auf diesem Verfahren basieren, als “regex”-Filter bezeichnet.

Ausgehend von den obigen Definitionen und den bereitgestellten *regex*-Filtern wurde manuell und mit Hilfe der generativen KI sowohl eine weite als auch eine enge Variante der *regex*-Filter iterativ entwickelt und verfeinert. Dabei wurden auch Erkenntnisse der parallel erfolgten Klassifikation der LPS berücksichtigt (nächster Abschnitt). Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Erfassung von Themen und Technologien gelegt, die in der LPS relativ wenig prominent aufgeführt sind. Die finalen Definitionen der *regex*-Filter befinden sich in den Anhängen.

Parallel dazu werden die Bezeichnungen der 1.749 Klassen auf der untersten Ebene der LPS hinsichtlich ihrer Relevanz für Digitalisierung und Dekarbonisierung vor dem Hintergrund der oben eingeführten Definitionen geprüft. Im Gegensatz zum *regex*-Verfahren werden bei diesem Ansatz alle Projekte, die einer bestimmten LPS-Klasse zugeordnet sind, automatisch als relevant betrachtet, sofern die Klasse selbst als thematisch passend identifiziert wird. Dieser Ansatz wird im folgendem als *LPS*-Filter bezeichnet. Während viele LPS-Klassenbezeichnungen sehr spezifisch und dadurch hilfreich für die thematische Zuordnung sind, erschwerten generische Bezeichnungen wie “Unterstützende Maßnahmen” oder “ZMAN” eine präzise Identifikation, da sie nicht eindeutig auf die Themen Digitalisierung oder Dekarbonisierung hinweisen.

Um die Genauigkeit dieses Ansatzes zu erhöhen, wurde auch hier iterativ gearbeitet. Zunächst wurden alle LPS-Klassen manuell überprüft und nach den definierten Kriterien klassifiziert. Anschließend bewertete eine generative KI diese manuelle Klassifizierung, identifizierte potenziell relevante, aber übersehene Klassen und markierte eventuell falsch zugeordnete Klassen. Diese Rückmeldungen wurden anschließend manuell validiert. Dieses iterative Verfahren, bei dem die KI insbesondere bei der Einschätzung technologischer Verwandtschaft und der Zuordnung zu übergeordneten Themen unterstützte, wurde insgesamt dreimal durchgeführt. Die ersten beiden Durchläufe erfolgten dabei sequenziell für die 24 Hauptklassen der LPS. Der letzte Durchgang evaluierte die Klassifikation über alle LPS-Klassen hinweg.

3.5 Evaluierung und Vergleich der Filter

Insgesamt stehen fünf verschiedene Filter für jedes Thema zur Verfügung: der originale *regex*-Filter, der dem Projektauftrag beigefügt war, zwei *regex*-Filter (weit und eng) und zwei LPS-Filter (weit und eng). Tabelle 1 fasst die Ergebnisse für die verschiedenen Filtervarianten bezüglich des Themas Digitalisierung zusammen. Die Tabelle zeigt die Anzahl der identifizierten Projekte sowie deren prozentualen Anteil an den Gesamtprojekten. Tabelle 2 präsentiert die Filterergebnisse für das Thema der Dekarbonisierung.

Der Vergleich zeigt, dass sowohl beim Thema Digitalisierung als auch beim Thema Dekarbonisierung die originalen *regex*-Filter (*Digitalisierung regex (original)* und *Dekarbonisierung regex (original)*) nur eine sehr geringe Anzahl an Projekten als relevant identifizieren. Die Zahlen der Projekte, die durch die LPS-Filter als relevant klassifiziert wurden, deuten darauf hin, dass diese Filter zu eng gefasst sind und daher keinen repräsentativen Überblick über die thematische Förderung bieten. Dies führte zu ihrer Überarbeitung und der Entscheidung, sie in den folgenden Analysen nicht weiter zu berücksichtigen.

Filter	*Projekte (Absolut)*	*Prozent (%)*
Digitalisierung regex (original)	*1664*	*1.18*
Digitalisierung regex (weit)	*16434*	*11.61*
Digitalisierung regex (eng)	*5033*	*3.56*
Digitalisierung LPS (weit)	*5409*	*3.82*
Digitalisierung LPS (eng)	*4411*	*3.12*

Tabelle 1: Filtervergleich Digitalisierung

Filter	*Projekte (Absolut)*	*Prozent (%)*
Dekarbonisierung regex (original)	2500	1.77
Dekarbonisierung regex (weit)	30016	21.21
Dekarbonisierung regex (eng)	10110	7.15
Dekarbonisierung LPS (weit)	35345	24.98
Dekarbonisierung LPS (eng)	32043	22.65

Tabelle 2: Filtervergleich Dekarbonisierung

Wie erwartet, identifizieren die engen Filtervarianten (*regex (eng)* und *LPS (eng)*) weniger Projekte als die weitgefassten Filter (*weit*). Auffällig ist jedoch, dass die Unterschiede bei den *regex*-Filtern deutlich größer sind als bei den LPS-basierten Filtern. Dies deutet darauf hin, dass die Begriffe, die in den *engen* regex-Filtern ausgeschlossen wurden, für einen erheblichen Teil der identifizierten Projekte verantwortlich sind. Beim Thema Digitalisierung werden 69,37 % der Projekte, die über den weiten Filter als relevant klassifiziert wurden, durch den engen Filter ausgeschlossen. Beim Thema Dekarbonisierung sind es 66,32 %. Die ähnliche Größenordnung dieser Unterschiede in beiden Themenbereichen unterstreicht die parallele Entwicklung der Filter.

Als nächstes wird die potenzielle Komplementarität bzw. Überlappung der *regex*- und LPS-Filter untersucht. Dazu wird ermittelt, wie viele Projekte von beiden Filtern übereinstimmend als thematisch zu Digitalisierung bzw. Dekarbonisierung zugehörig klassifiziert werden.

Die entsprechenden Ergebnisse sind in

Tabelle 3 und Tabelle 4 zusammengefasst. Diese Tabellen sind von den Zeilen zu den Spalten zu lesen, d.h., in

Tabelle 3 zeigt sich beispielsweise, dass 97,01 % der Projekte, die mit dem ursprünglichen *regex*-Filter als digitalisierungsrelevant identifiziert wurden, auch durch die weite Definition des neuen *regex*-Filters erfasst werden. Im Gegensatz dazu werden nur 30,71 % der Projekte, die unter die Definition des *weiten regex*-Filters fallen, auch durch den *engen regex*-Filter als digitalisierungsrelevant klassifiziert. Erwartungsgemäß fallen 100 % der Projekte, die durch die engen Definitionen identifiziert werden, auch unter die weiten Definitionen.

Filter	*Regex Original (%)*	*Regex weit (%)*	*Regex eng (%)*	*LPS weit (%)*	*LPS eng (%)*
Regex Original (%)	100.00	97.01	86.20	25.69	19.47
Regex weit (%)	9.86	100.00	30.71	12.20	9.62
Regex eng (%)	28.54	100.00	100.00	30.32	26.48
LPS (weit)	7.94	37.09	28.30	100.00	81.43
LPS (eng)	7.39	35.91	30.36	100.00	100.00

Tabelle 3: Vergleich der Filter für Digitalisierung

Filter	*Regex Original (%)*	*Regex weit (%)*	*Regex eng (%)*	*LPS weit (%)*	*LPS eng (%)*
Regex Original (%)	100.00	75.51	53.33	35.17	28.55
Regex weit (%)	6.31	100.00	33.73	71.35	69.89
Regex eng (%)	13.21	100.00	100.00	55.84	52.92
LPS (weit)	2.50	60.63	16.00	100.00	90.60
LPS (eng)	2.24	65.54	16.74	100.00	100.00

Tabelle 4: Vergleich der Filter für Dekarbonisierung

Besonders interessant sind die Vergleiche zwischen den LPS-basierten und den regex-basierten Filtern. Bei der Digitalisierung werden nur 37,09 % der Projekte, die durch den LPS-basierten *weiten* Filter erfasst wurden, auch durch den *weiten regex*-Filter als digitalisierungsrelevant identifiziert. Umgekehrt sind es 12,2 %. Die Überschneidungen bei den *engen* Filtervarianten liegen in einer ähnlichen Größenordnung. Im Bereich der Dekarbonisierung sind die Werte etwas höher, wobei sie nur im Fall des LPS-Filters (*eng*) und des *weiten regex*-Filters die 50 %-Marke übertreffen. Dies verdeutlicht, dass die beiden Filteransätze nicht substitutiv, sondern komplementär zueinander sind.

Diese Komplementarität entspricht den Erwartungen und lässt sich durch die jeweiligen Stärken und Schwächen der beiden Ansätze erklären.

In Fällen, in denen eine LPS-Klasse eindeutig dem Thema Digitalisierung zugeordnet werden kann – wie etwa *GA1010, Entwicklung von Softwaremethoden und -werkzeugen* –, erweisen sich die LPS-basierten Filter als treffsicherer. Der Grund dafür ist, dass die *regex*-Filter in solchen Fällen besonders anfällig für "false negatives" sind, d.h., Projekte, die tatsächlich digitalisierungsrelevant sind, werden nicht als solche erkannt. So werden bei der genannten LPS-Klasse lediglich 584 von insgesamt 1.133 Projekten als digitalisierungsrelevant eingestuft.

Umgekehrt liefern die *regex*-Filter zuverlässigere Ergebnisse, wenn die LPS-Klassen keine eindeutigen Hinweise auf Digitalisierung geben. Ein Beispiel hierfür ist die LPS *GC4081, Forschungslabore Mikroelektronik Deutschland*, die aufgrund ihres Titels nicht sofort als digitalisierungsrelevant erscheint. Der *regex*-Filter identifizierte jedoch 13 von 13 Projekten als digitalisierungsrelevant.

Solche Erkenntnisse verdeutlichen nicht nur die Komplementarität der beiden Filteransätze, sie wurden auch während der iterativen Verbesserung der Filterdefinitionen genutzt, um sowohl die LPS-Klassifizierung als auch die Token-Filter zu optimieren. So wurde beispielsweise aufgrund der Ergebnisse des *regex*-Filters die LPS *GC4081* in die Liste der digitalisierungsrelevanten LPS aufgenommen. Gleichzeitig wurden Begriffe wie *Netzwerk* und *Vernetzung* aus den *regex*-Filtern entfernt, da sie zu häufigen Fehlklassifizierungen führten – beispielsweise wurden alle Projekte, die soziale Netzwerke und Verbünde fördern, fälschlicherweise als digitalisierungsrelevant eingestuft.

Ähnliches zeigt sich im Bereich der *Dekarbonisierung*. Auch hier sind die LPS-basierten Filter zuverlässiger, wenn die LPS-Klassen klar und informativ benannt sind, während der *regex*-Ansatz bessere Ergebnisse liefert, wenn die LPS-Klassen allgemein gehalten sind. Zum Beispiel identifiziert der *regex*-Filter nur 35 Projekte in der LPS *HA4010, Emissionsverringerung und Energiereinsparung im Straßenverkehr* als dekarbonisierungsrelevant, obwohl viele der insgesamt 2.113 Projekte in dieser Klasse zur Verbesserung von Elektrofahrzeugen beitragen. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der LPS *KB2220, Li-Ionen-Batterien*, die eine Schlüsseltechnologie für die Dekarbonisierung darstellt. Hier ist die Projektidentifizierung über die LPS-Filter eindeutig vorzuziehen.

Es sei angemerkt, dass sowohl die *regex*- als auch die LPS-Filter einem iterativen Evaluierungs- und Anpassungsprozess unterliegen. So wurden einige LPS-Klassen aufgrund der hohen Trefferquote des *regex*-Filters als dekarbonisierungsrelevant eingestuft. Ein Beispiel hierfür ist die LPS *FD6010, Technologien für Nachhaltigkeit und Klimaschutz*. Im Rahmen dieses Prozesses wurden auch die *regex*-Filter weiter verbessert, beispielsweise durch die Ergänzung um Begriffe wie *LED* und *Straßenbeleuchtung*, da zahlreiche Projekte die Umstellung auf energiesparende Beleuchtungstechnologien fördern.

3.6 Erstellung der Kombi-Filter

Da beide Ansätze – LPS-basiert und *regex*-basiert – in unterschiedlichen Bereichen ihre jeweiligen Stärken und Schwächen aufweisen, wird im Folgenden ein kombinierter Ansatz verwendet. Alle Projekte, die einer der LPS-Klassen in der Kategorie *Digitalisierung LPS* zugeordnet sind, werden als digitalisierungsrelevant eingestuft. Zusätzlich werden die Projekte berücksichtigt, die durch die *regex*-Filter (*Digitalisierung regex*) identifiziert wurden. Das bedeutet, dass alle als digitalisierungsrelevant eingestuften Projekte entweder einer Kern-LPS der Digitalisierung zugehören oder relevante *regex*-Begriffe aufweisen. Dieser kombinierte Filter wird als *Digitalisierung Kombi* bezeichnet.

Kategorie	*Anzahl Projekte*	*Prozent (%)*
Digitalisierung Kombi (weit)	19838	14.02
Dekarbonisierung Kombi (weit)	43926	31.05
Digitalisierung Kombi (eng)	8105	5.73
Dekarbonisierung Kombi (eng)	36788	26.00

Tabelle 5: Übersicht der kombinierten Klassifikationen

Die Unterscheidung zwischen *engen* und *weiten* Definitionen wird dabei beibehalten: Der *Digitalisierung LPS (weit)*-Filter wird um die Treffer des *regex*-Filters *Digitalisierung regex (weit)* erweitert, und entsprechend wird der *Digitalisierung LPS (eng)*-Filter um die Treffer des *regex*-Filters *Digitalisierung regex (eng)* ergänzt. Für die Dekarbonisierung wird das gleiche Vorgehen angewendet, wodurch die Filter *Dekarbonisierung Kombi (eng)* und *Dekarbonisierung Kombi (weit)* entstehen.

Tabelle 5 zeigt die Anzahl der Projekte, die mittels dieses Vorgehens als unterstützend für Digitalisierungsprozesse bzw. als relevant für Dekarbonisierungsanstrengungen identifiziert werden. Diese Zahlen sind die Grundlage für die weiteren Auswertungen.

3.7 Verteilung der Projekte über LPS-Klassen

Die dem Bericht beiliegenden Excel-Tabellen *lps_digital.xlsx* und *lps_karbon.xlsx* listen alle LPS-Klassen auf, die mindestens ein Projekt enthalten, das als relevant für die Digitalisierung bzw. Dekarbonisierung eingestuft wurde. Zudem wird angegeben, welcher Filter in der jeweiligen Klasse zur Identifizierung verwendet wurde (“Filter”), wie viele Projekte der *regex*-Filter gefunden hat und welcher Anteil der Projekte in einer LPS-Klasse letztlich als relevant eingestuft wurde. Wenn der LPS-basierte Filter zur Anwendung kam, liegt dieser Anteil immer bei 100 %. Die Tabellen verdeutlichen eindrucksvoll, wie sich die beiden Komponenten des Kombifilters ergänzen und jeweils einer der beiden Filter die primäre Identifizierung übernimmt.

Die 19.838 Digitalisierungsprojekte nach der *weiten* Definition verteilen sich auf 709 LPS-Klassen. Nach der engen Definition sind es 8.105 Projekte, die sich auf 578 Klassen verteilen.

Im Bereich Dekarbonisierung und bei der *weiten* Filterdefinition verteilen sich 43.926 Projekte auf 849 LPS-Klassen. Nach der engen Definition sind es 36.788 Projekte in 588 LPS-Klassen. Die Verteilungen sind jedoch nicht gleichmäßig, wie die Lorenzkurven in der Abbildung 2 verdeutlichen.

Die Kurven verdeutlichen z.T. recht ausgeprägte Unterschiede zwischen den beiden Themenbereichen, da die Lorenzkurven für die Digitalisierungsfilter etwas flacher verlaufen. Dies deutet darauf hin, dass es in diesem Bereich weniger dominante LPS-Klassen gibt. Dennoch ist die ungleichmäßige Verteilung der Projektanzahlen über die LPS-Klassen deutlich sichtbar: Projekte aus weniger als 100 Klassen (Digitalisierung: 57, Dekarbonisierung: 40) repräsentieren mehr als 80 % der kumulierten Anzahl an Projekten.

Einen ersten Überblick über die identifizierten LPS-Klassen (*weite* Definition) geben die Tabelle 6 und Tabelle 7, die jeweils die zehn LPS-Klassen mit der höchsten Anzahl identifizierter Projekte zeigen.

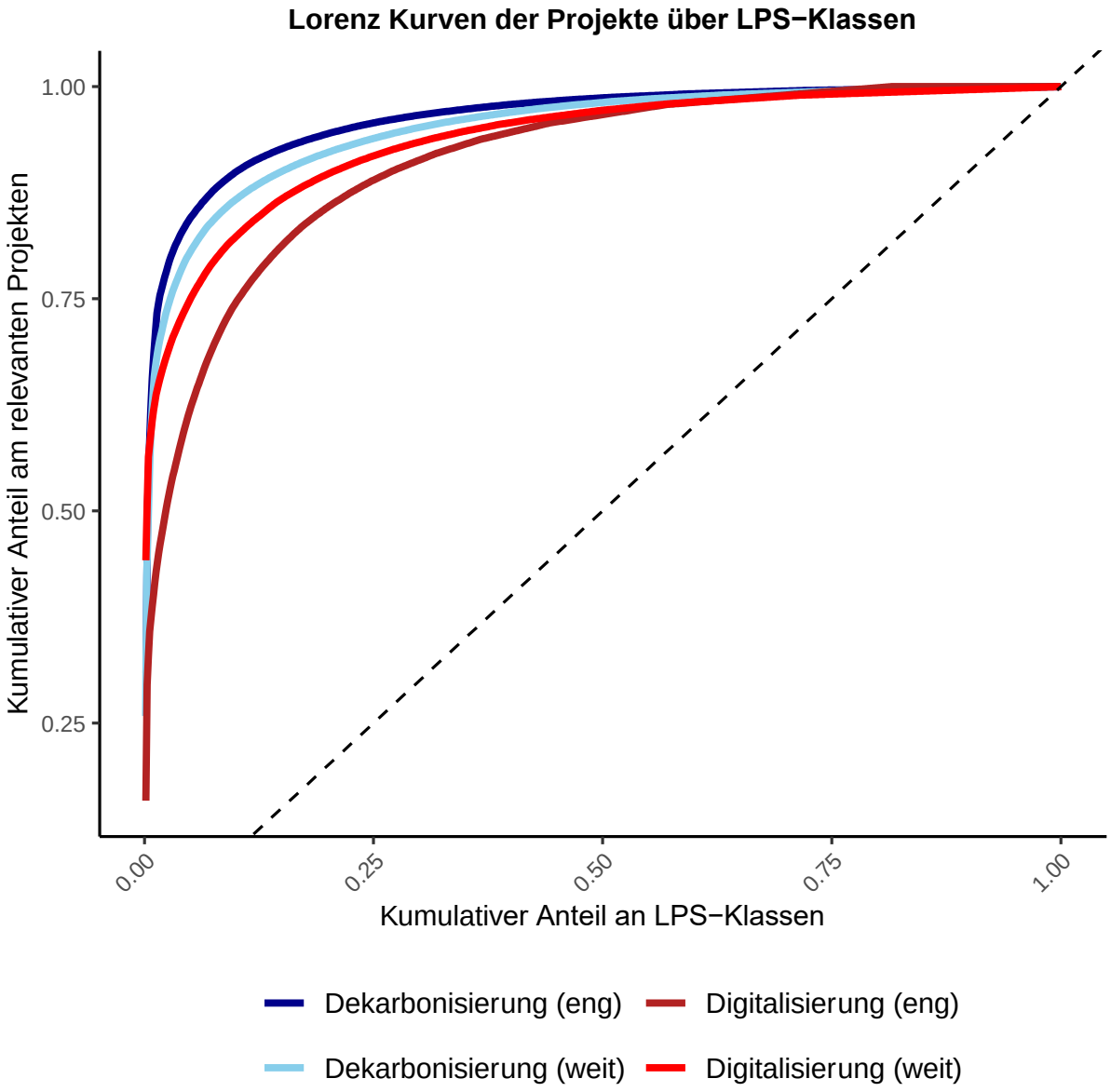


Abbildung 2: Verteilung der identifizierten Projekte über LPS-Klassen

Im Bereich Digitalisierung dominiert die LPS *ZMAN, LP für alle Mandanten* das Ranking. Diese Klasse, auch als "Zentrale Maßnahmen" bezeichnet, umfasst typischerweise administrative oder unterstützende Projekte, die sich auf das Management und die Durchführung von Forschungsprogrammen beziehen, jedoch inhaltlich keinem spezifischen Forschungsfeld zugeordnet sind. Es ist daher besonders wichtig, relevante Projekte über die Projekttitel und den *regex*-Filter zu identifizieren, da diese Klasse ein hohes Potenzial für Fehlidentifikationen birgt.

Trotzdem stuft der Digitalisierungsfilter (*weit*) 8.875 Projekte aus dieser Klasse als relevant ein. Dies liegt vor allem an der umfangreichen Förderung des Breitbandausbaus, der das Thema von 8.806 Projekten in dieser Klasse betrifft – also fast aller als relevant identifizierten Projekte. Diese Beobachtung war ein zentraler Beweggrund für die Entwicklung der engen Filtervarianten, die im Falle der Digitalisierung den Begriff "Breitband" ausschließen.

Nach dieser ausführlichen Darstellung der Identifizierung digitalisierungs- und dekarbonisierungsrelevanter Projekte können die erfassten Projekte nun analysiert werden.

LPS	*Relevante Projekte*	*Bezeichnung*
ZMAN	8875	LP für alle Mandanten
RB9510	1313	Digitaler Wandel
GA1010	1133	Entwicklung von Softwaremethoden und -werkzeugen
RB0570	293	Technologietransfer Hochschule - Wirtschaft / Public-Private-Partnership; EXIST
GB6132	292	Digitaler Mobilfunk
GB1099	278	Sonstiges im Rahmen der IT-Sicherheit
GA4080	242	Sonstiges im Rahmen der intelligenten Systeme
RB9210	188	Forschung an Fachhochschulen
RB3010	186	Innovationsförderung in den neuen Ländern
RC1010	128	Mensch-Technik-Interaktion für den demografischen Wandel (abgeschlossen)

Tabelle 6: Top 10 digitalisierungsrelevante LPS-Klassen

LPS	*Relevante Projekte*	*Bezeichnung*
FA1913	11407	KSI - Klimaschutztechnologien bei der Stromnutzung
FA1902	7274	KSI - Klimaschutzinvestitionen in KSJS
HA4010	2113	Emissionsverringerung und Energieeinsparung im Straßenverkehr
FA1911	2059	KSI - Erstellung von Klimaschutzkonzepten
HA4011	1973	Alternative Antriebstechnologien
FA1912	1395	KSI - Beratende Begleitung von Klimaschutzkonzepten
FA1917	1049	KSI - Investive Maßnahmen zur Förderung einer nachhaltigen Mobilität
EA3011	996	BMWi-Wettbewerb Energieeffizienz
FA1965	801	KSI - Klimaschutzkonzepte und Klimaschutzmanagement
ZMAN	465	LP für alle Mandanten

Tabelle 7: Top 10 dekarbonisierungsrelevante LPS-Klassen

4 Auswertung

4.1 Inhalte der Projekte

Um einen Eindruck davon zu gewinnen, welche konkreten Themen die identifizierten Projekte in den Bereichen Digitalisierung und Dekarbonisierung abdecken, wurden die Projekttitel analysiert, um zentrale Begriffe sichtbar zu machen. Dabei wurden die Häufigkeit und Relevanz bestimmter Schlüsselbegriffe in den Titeln ausgewertet. Dies bietet nicht nur einen Überblick über die häufigsten Begriffe, sondern zeigt auch, welche Themen in den Projekten besonders hervorgehoben werden. Da der Rahmen des Projektes es nicht erlaubt hat, umfangreichere textanalytische Verfahren, wie z.B. topic modeling, zu verwenden, wurde ein einfacherer, aber dennoch informativer Ansatz gewählt: die Identifikation von Kern- und Schlüsselbegriffen. Dazu wurden die Projekttitel erst durch einen Natural Language Processing (NLP) aufbereitet (lemmatisiert) und nachfolgend auf die Substantive reduziert. Im nächsten Schritt wurde ein klassenspezifischer TF-IDF-Wert (“Term Frequency-Inverse Document Frequency”) ermittelt, um zu bewerten, wie typisch ein Begriff in einem Thema, z.B. Digitalisierung, im Vergleich zu seiner Häufigkeit in anderen Klasse, nicht Digitalisierung, ist. Begriffe mit hohen Werten repräsentieren die Inhalte dieser Klasse entsprechend gut. Diese besonders repräsentativen Begriffe in den Projekttiteln sind visuell in themenspezifischen Wordclouds aufbereitet und geben einen informativen Einblick in die relevanten Inhalte. Eine noch tiefergehende Beschreibung der TF-IDF Methodik findet sich im Anhang im Abschnitt 8.4.

Um die Analyse aber nicht zu überfrachten, wurden für die Erstellung der Wordclouds nur Projekte berücksichtigt, die später als Januar 2019 begonnen haben. Sie geben entsprechend einen Einblick in die Themen, die in den letzten 5 Jahren in den identifiziereten Projekten häufig aufgetreten sind.

Abbildung 3: Digitalisierung (weit)

Abbildung 4: Digitalisierung (eng)

Abbildung 5: Dekarbonisierung (weit)

Abbildung 6: Dekarbonisierung (eng)

Die Wordclouds in Abbildung 3, Abbildung 4, Abbildung 5 und Abbildung 6 fassen die Ergebnisse visuell eingängig zusammen.

In den oberen Wordclouds zur Digitalisierung stehen Begriffe wie “Software”, “Datenmanagement” und “Datenanalyse” im Fokus, was auf Projekte hinweist, die stark auf Softwareentwicklung sowie die Verwaltung und Analyse großer Datenmengen ausgerichtet sind. Begriffe wie “Cyber” und “Virtuelle” verdeutlichen zudem die Bedeutung von digitaler Infrastruktur und Sicherheitslösungen. Der Unterschied zwischen der *weiten* und der *engen* Definition wird hier besonders deutlich: Während die Wordcloud der *weiten* Definition zusätzliche kontextbezogene Begriffe wie “Kommunikation” und “Energienetze” enthält, konzentriert sich die enge Definition stärker auf technologische Kernthemen wie “Datenverarbeitung”.

Die unteren Wordclouds zur Dekarbonisierung zeigen Begriffe wie “Flutlichtanlage”, “Klimaschutz” und “Wasserstoff”, was auf Projekte hinweist, die sich mit Energieeffizienz, Beleuchtungstechnologien und Wasserstoffanwendungen befassen. Auch hier wird der Unterschied zwischen den Definitionen sichtbar: Die enge Definition betont spezifische Technologien wie “Innenbeleuchtung”, während die weite Definition umfassendere Konzepte wie “Klimaschutzkonzept” einbezieht. Im Vergleich zur Digitalisierung ist die Trennschärfe der Begriffe hier allerdings geringer. Die prominente Platzierung von Begriffen wie “Flutlichtanlage” und “Hallenbeleuchtung” im Zusammenhang mit Dekarbonisierung ist auf die bereits diskutierte Vermischung von Projekten des BMWK (Infrastrukturförderung) und des BMBF (Forschungsförderung) im Förderkatalog zurückzuführen. Alle Nennungen von “Flutlichtanlage” stammen aus den LPS FA1902 und FA1913, die Teil der Nationalen Klimaschutzinitiative des BMWK sind. Diese Initiative umfasst seit 2019 insgesamt 7.274 Projekte in der FA1902 mit einem Volumen von 158.225.020 EUR, was zu einer möglichen Verzerrung der Ergebnisse führt, die bei künftigen Analysen vermieden werden kann.

Zusammenfassend verdeutlichen die Wordclouds, dass die Filter gut geeignet sind, um relevante Projekte in den Bereichen Digitalisierung und Dekarbonisierung zu identifizieren. Während die weiten Definitionen eine größere Bandbreite allgemeiner Konzepte und Themen abdecken, konzentrieren sich die engen Definitionen stärker auf spezifische technische Anwendungen. Diese

Flexibilität ermöglicht eine differenzierte Analyse der geförderten Projekte und zeigt die Vielfalt der thematischen Ausrichtung in beiden Bereichen.

4.2 Temporale Veränderung der Förderung

4.2.1 Entwicklung der Förderung der Digitalisierung

Die Abbildung 7 zeigt die zeitliche Entwicklung der Anzahl geförderter Projekte im Bereich der Digitalisierung und deren Anteil an den insgesamt geförderten Projekten zwischen 2000 und 2024. Die beiden Diagramme vergleichen die *enge* (links) und die *weite* (rechts) Definition von Digitalisierungsprojekten.

In beiden Fällen ist zu erkennen, dass die Anzahl der geförderten Projekte über die Jahre kontinuierlich gestiegen ist, obwohl die relativen Anteile an geförderten Projekten bereits im Jahr 2016 bei 22,3 % (*weite* Definition) und im Jahr 2001 mit 11,1 % (*enge* Definition) ihre Höhepunkte erreichten. Aber in den letzten Jahren nehmen die prozentualen Anteile der Digitalisierungsprojekte (dargestellt durch die dunkelblauen Balken) erneut zu und erreichen fast schon wieder ihre Höchstwerte.

Die Abbildung 7 zeigt damit, dass die Förderung der Digitalisierungsprojekte in den letzten Jahren wieder deutlich an Relevanz gewonnen hat. Dieser Trend könnte auf die zunehmende Bedeutung von digitalen Technologien in fast allen Wirtschafts- und Gesellschaftsbereichen zurückzuführen sein, insbesondere im Zusammenhang mit der Industrie 4.0, der digitalen Transformation und der fortschreitenden Vernetzung durch das Internet der Dinge (IoT).

Ein differenzierteres Bild ergibt sich, wenn statt der Anzahl der Projekte die Höhe der bewilligten Fördermittel betrachtet wird. Abbildung 8 zeigt die zeitliche Entwicklung der bewilligten Fördersummen im Verhältnis zu den insgesamt bewilligten Mitteln für alle Themenbereiche. Der Begriff “bewilligt” spielt hierbei eine zentrale Rolle: Da die meisten Projekte über mehrere Jahre laufen, wird die Auszahlung der Mittel gestaffelt über die gesamte Projektlaufzeit vorgenommen. In dieser Auswertung wird jedoch die gesamte Fördersumme eines Projekts dem Jahr des Projektstarts zugeordnet.

Das bedeutet, dass die Darstellung auf den Förderzusagen zu einem bestimmten Zeitpunkt basiert – also auf den “Commitments” der Fördergeber für ein bestimmtes Thema. Sie zeigt nicht, wann die Mittel tatsächlich fließen, sondern wann sich die Förderinstitutionen vertraglich zur Unterstützung eines Projekts verpflichtet haben. Dadurch wird ersichtlich, in welchen Zeiträumen und für welche Themenbereiche die Fördergeber strategische Prioritäten setzen, unabhängig von den zeitlich gestaffelten Auszahlungen.

Im Gegensatz zur reinen Anzahl der Projekte, bei der die Unterscheidung zwischen der engen und der weiten Definition keinen wesentlichen Einfluss auf die Interpretation der Entwicklungstrends hatte, zeigt sich bei den Fördersummen ein anderes Bild.

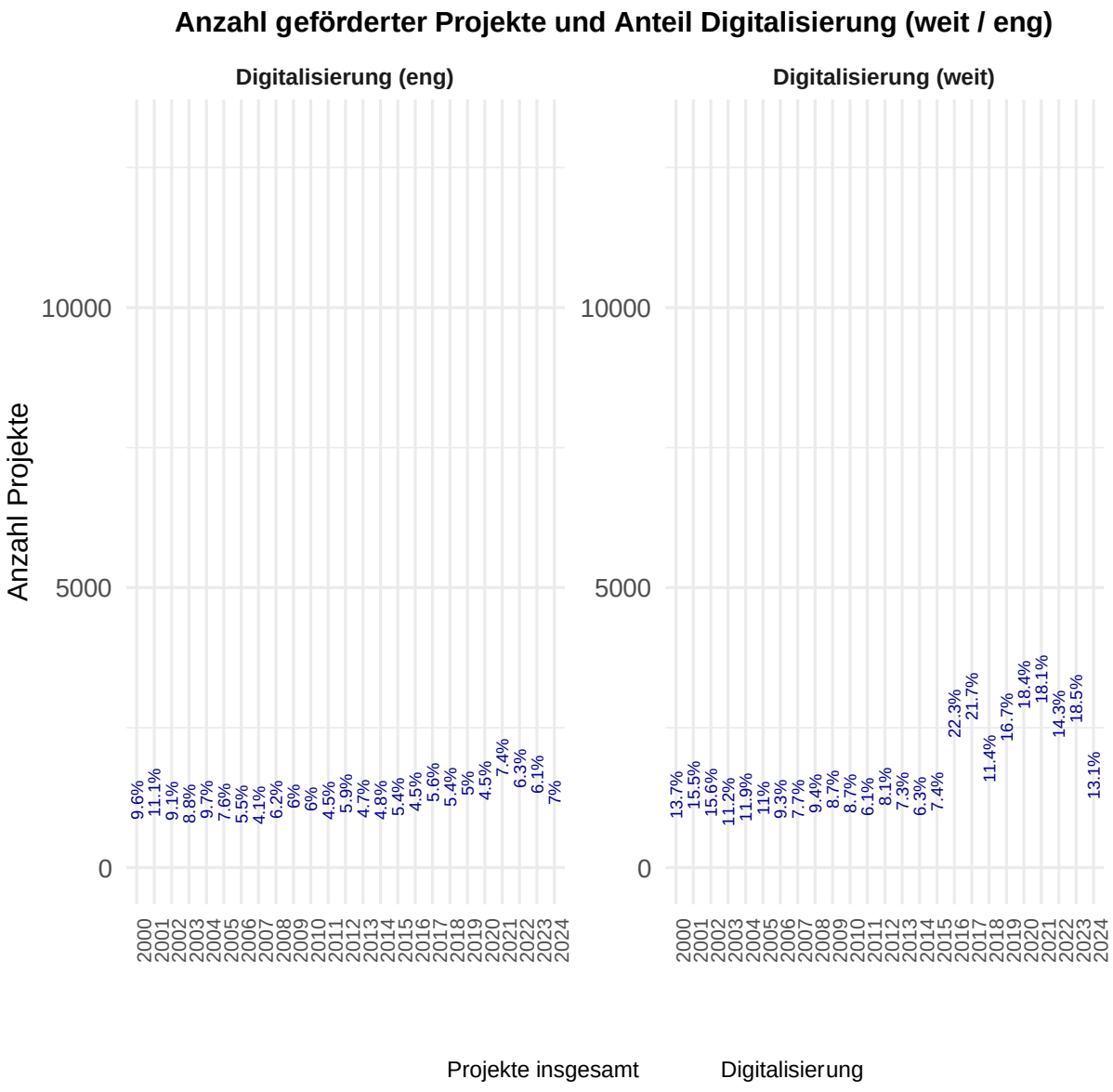


Abbildung 7: Temporale Entwicklung Digitalisierungsförderung - Anzahl Projekte

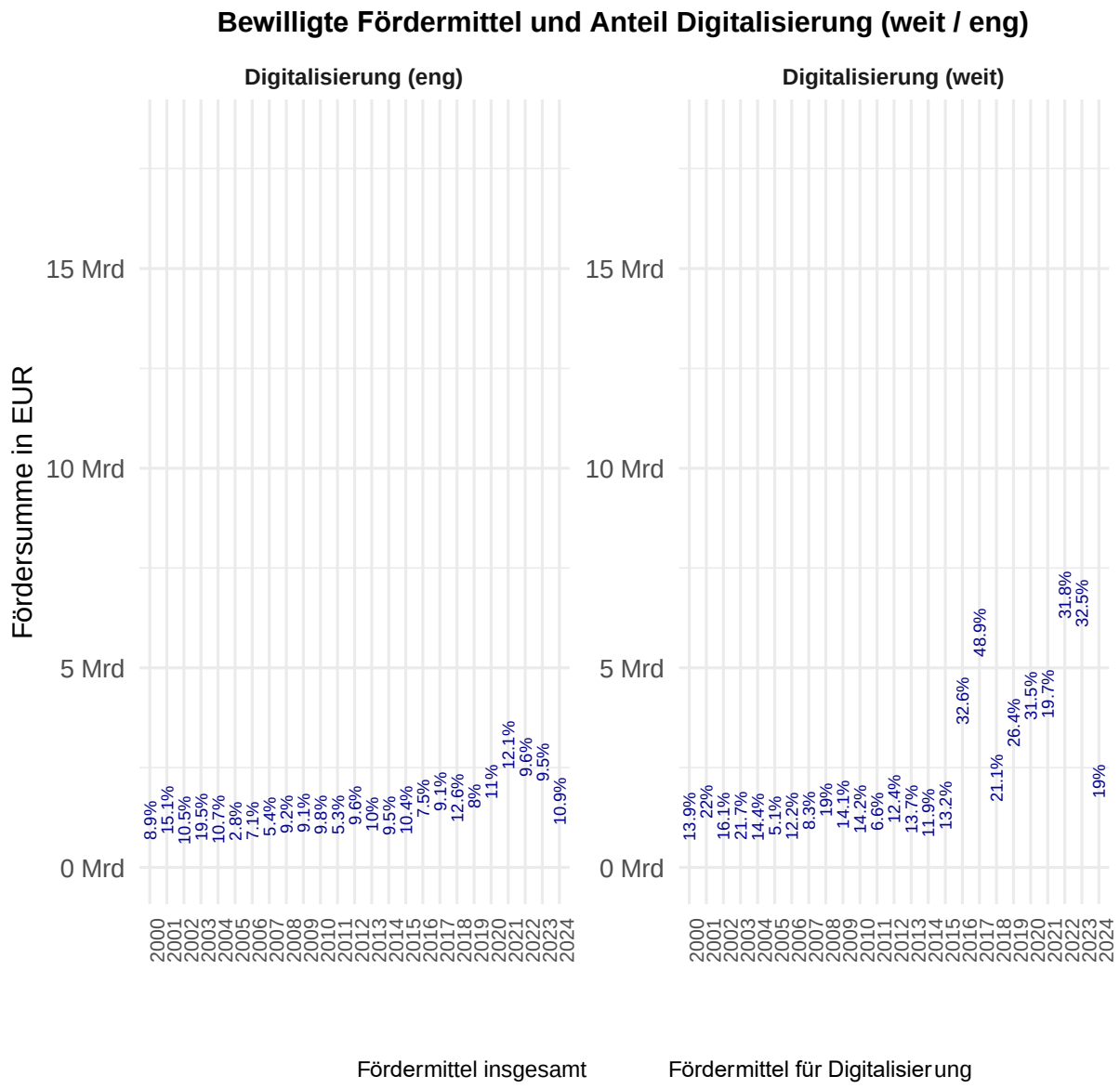


Abbildung 8: Temporale Entwicklung Digitalisierungsförderung – Fördersummen

Wird die *engere* Definition verwendet (linke Seite in Abbildung 8), zeigt sich, dass der Anteil der Fördermittel für Digitalisierungsprojekte im Vergleich zur Gesamtförderung stark schwankt und kaum wahrnehmbare Tendenzen aufweist. Dennoch zeigt sich, dass ein bedeutender Teil der Projektförderung diesem Thema – selbst in der engen Definition – gewidmet wurde.

Betrachtet man die *weite* Definition (rechte Seite in Abbildung 8), fällt der deutlich höhere Anteil der Digitalisierungsförderung an der Gesamtförderung auf. Ab 2016 ist ein sprunghafter Anstieg zu verzeichnen, der 2017 seinen Höhepunkt erreicht, mit bemerkenswerten 48,89 % der Gesamtförderung. Zwar sinkt der Anteil danach wieder leicht, bleibt jedoch auf einem hohen Niveau. Ein weiterer deutlicher Anstieg ist im Jahr 2022 erkennbar, was höchstwahrscheinlich auf die verstärkte Förderung digitaler Technologien im Zuge der COVID-19-Pandemie

zurückzuführen ist. Besonders die Digitalisierung im Bildungsbereich, wie die Förderung digitaler Lehrformate und die Unterstützung digitaler Infrastrukturen zur Bewältigung der Pandemieauswirkungen, dürfte hier eine wesentliche Rolle gespielt haben. Dies spiegelt die gestiegene Dringlichkeit und Priorität digitaler Lösungen wider, die in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen haben. Allerdings hätten diese Projekte auch bei der engen Definition berücksichtigt werden müssen. Eine tiefergehende Analyse dieses Unterschieds wäre jedoch erforderlich, was den Rahmen dieses Projekts überschreiten würde.

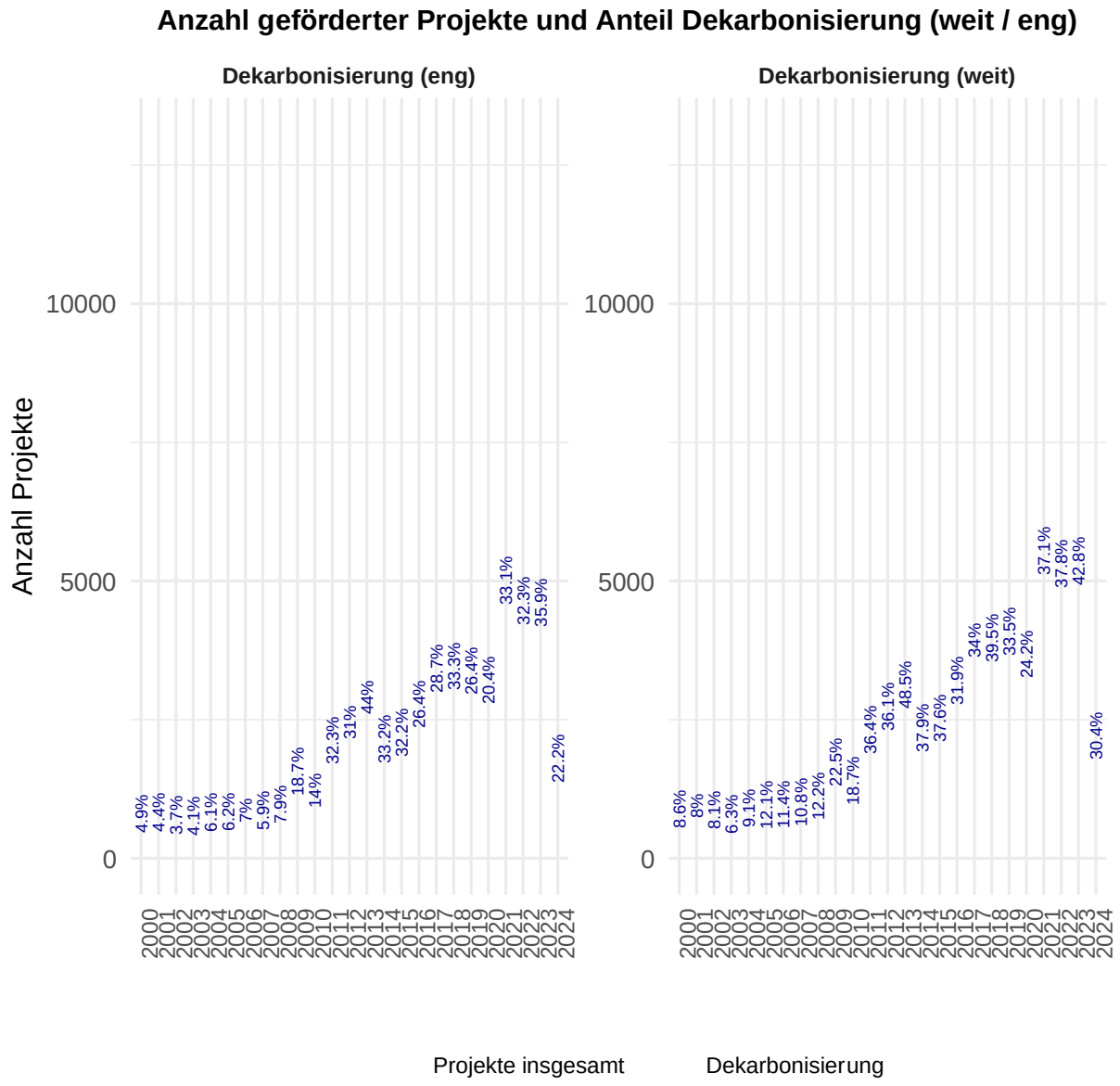


Abbildung 9: Temporale Entwicklung der Dekarbonisierungsförderung - Anzahl Projekte

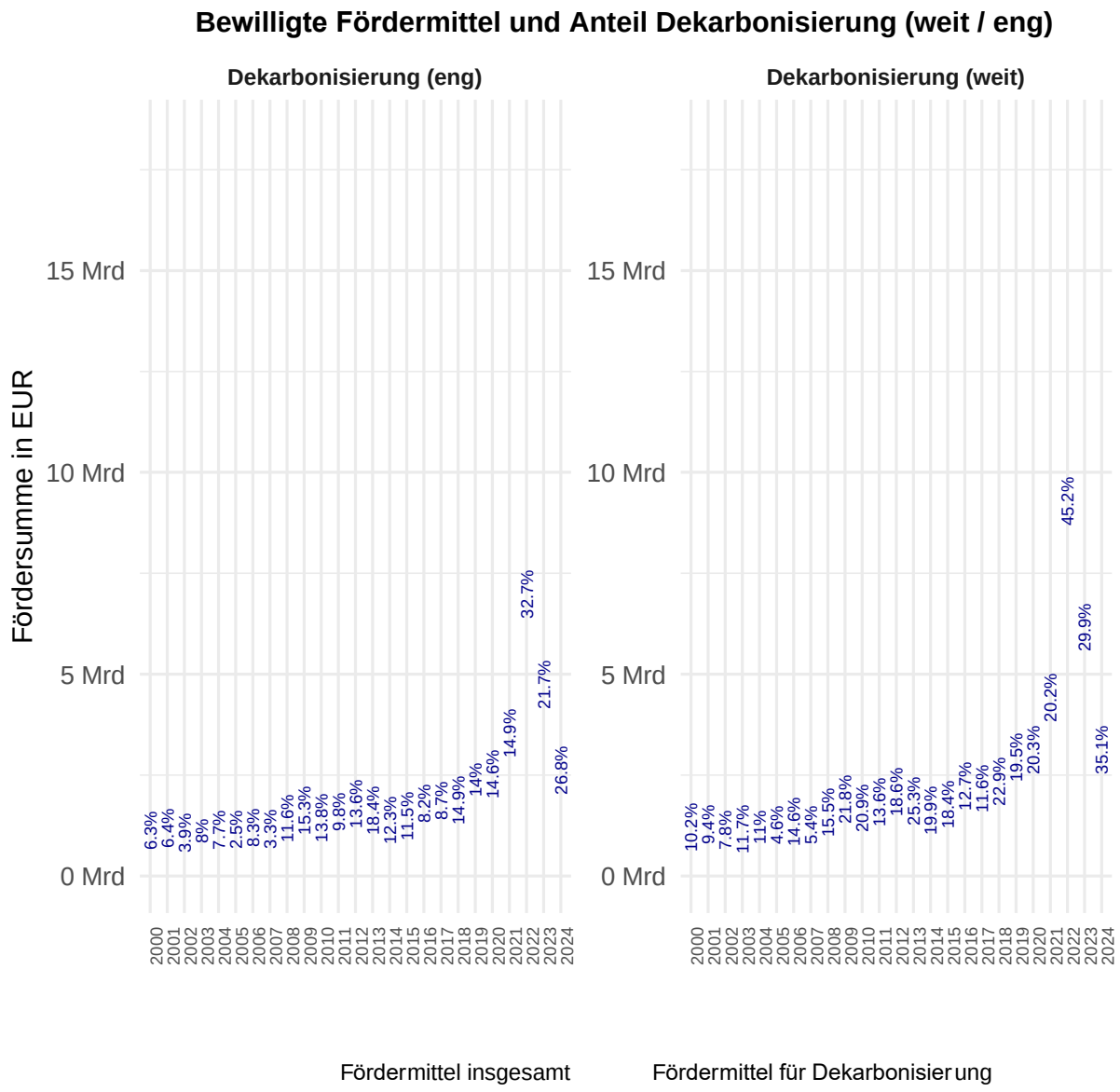


Abbildung 10: Temporale Entwicklung der Dekarbonisierungsförderung – Fördersummen

4.2.2 Entwicklung der Förderung der Dekarbonisierung

Die Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen die zeitliche Entwicklung der Anzahl geförderter Projekte sowie der bewilligten Fördermittel im Bereich der Dekarbonisierung, aufgeteilt nach der *engen* und *weiten* Definition.

Im Vergleich zur Anzahl der Projekte zeigt sich bei den Fördersummen ebenfalls eine starke Zunahme, wobei die *weite* Definition wieder einen größeren Anteil der Gesamtförderung für Dekarbonisierungsprojekte aufweist. Der sprunghafte Anstieg der Fördermittel ab 2022 (beide Definitionen) lässt sich wahrscheinlich auf politische Maßnahmen zur Förderung von Projekten im Bereich Klimaschutz und Nachhaltigkeit zurückführen, insbesondere im Zusammenhang mit

den Zielsetzungen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen und zur Förderung erneuerbarer Energien. Dies spiegelt eine zunehmende Bedeutung des Themas Dekarbonisierung wider, das in den letzten Jahren besonders durch internationale Verpflichtungen und nationale Klimaschutzinitiativen an Relevanz gewonnen hat.

Zusammengefasst decken beide Themenbereiche große Teile der projektbasierten Förderung ab, vor allem wenn die Fördersummen betrachtet werden. Auch hier ist vermutlich die Mischung aus BMWK und BMBF Projekten die Ursache.

4.3 Sektorale Verteilung der Förderung

4.3.1 Vorbemerkung

Die Klassifizierung von Zuwendungsempfängern im Förderkatalog ist eine komplexe Aufgabe, da entsprechende Informationen oft nicht direkt verfügbar sind. Für dieses Projekt standen dankenswerterweise die Daten des sogenannten STESYS-Systems, bereitgestellt durch das DLR, zur Verfügung. STESYS entstammt dem PROFI-System (Projektförder-Informationssystem) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) und kann mit dem Förderkatalog verknüpft werden. Die Hauptfunktion von STESYS besteht darin, Zuwendungsempfänger und ausführende Stellen basierend auf ihrer primären Tätigkeit zu klassifizieren. Es enthält einerseits Elemente der Wirtschaftszweigklassifikation und andererseits Informationen zur Zuordnung einer Organisation zu einem von vier Sektoren (*Hochschulen*, *außeruniversitäre Forschungseinrichtungen*, *Privatwirtschaft*, *Sonstige*).

Allerdings beruhen die Informationen in STESYS auf der Selbstklassifizierung der Antragsteller, was die Zuverlässigkeit, insbesondere bei der Sektorzuordnung, beeinträchtigt. Aus diesem Grund wurde die Sektorzuordnung mit einem alternativen Ansatz nachgebildet. Die genaue methodische Vorgehensweise sowie die Begründung dieser Klassifizierung sind im Anhang im Abschnitt detailliert beschrieben. Das Ergebnis dieser Analyse ist eine Einteilung der Zuwendungsempfänger in vier Sektoren, die anschließend analysiert werden: Hochschulen, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen (z. B. die Max-Planck-Gesellschaft oder Fraunhofer-Gesellschaft), privatwirtschaftliche Akteure und sonstige Organisationen, die keiner der anderen Kategorien zugeordnet werden können.

Bei der Interpretation der Verteilung der Projektförderung über die Sektoren ist zu beachten, dass kooperative Projekte häufig Partner aus verschiedenen Sektoren einbinden. Daher summieren sich die Prozentzahlen der geförderten Projekte nicht zu 100 %.

In der Abbildung 11 zur weiten Definition der Themen ist erkennbar, dass die Anteile geförderter Projekte in den vier Sektoren für beide Themen – Digitalisierung und Dekarbonisierung zusammengenommen – im Laufe der Zeit zugenommen haben. Eine Ausnahme bildet die Kategorie *Sonstige* in der Periode 2018–2024. Insgesamt fällt die Zunahme bei Dekarbonisierung deutlicher aus als bei Digitalisierung.

Bei genauerer Betrachtung der Digitalisierung zeigt sich, dass der Anteil der Projekte im Sektor *Wirtschaft* zwischen 2000 und 2005 relativ hoch ist. In den darauffolgenden Perioden nimmt dieser Anteil ab und fällt ab 2012 unter den Anteil der Dekarbonisierungsprojekte. Gleichzeitig bleibt

der Anteil digitalisierungsbezogener Projekte im Hochschulsektor relativ konstant. In *außeruniversitären Forschungseinrichtungen* ist hingegen ein leichter, aber kontinuierlicher Anstieg zu beobachten.

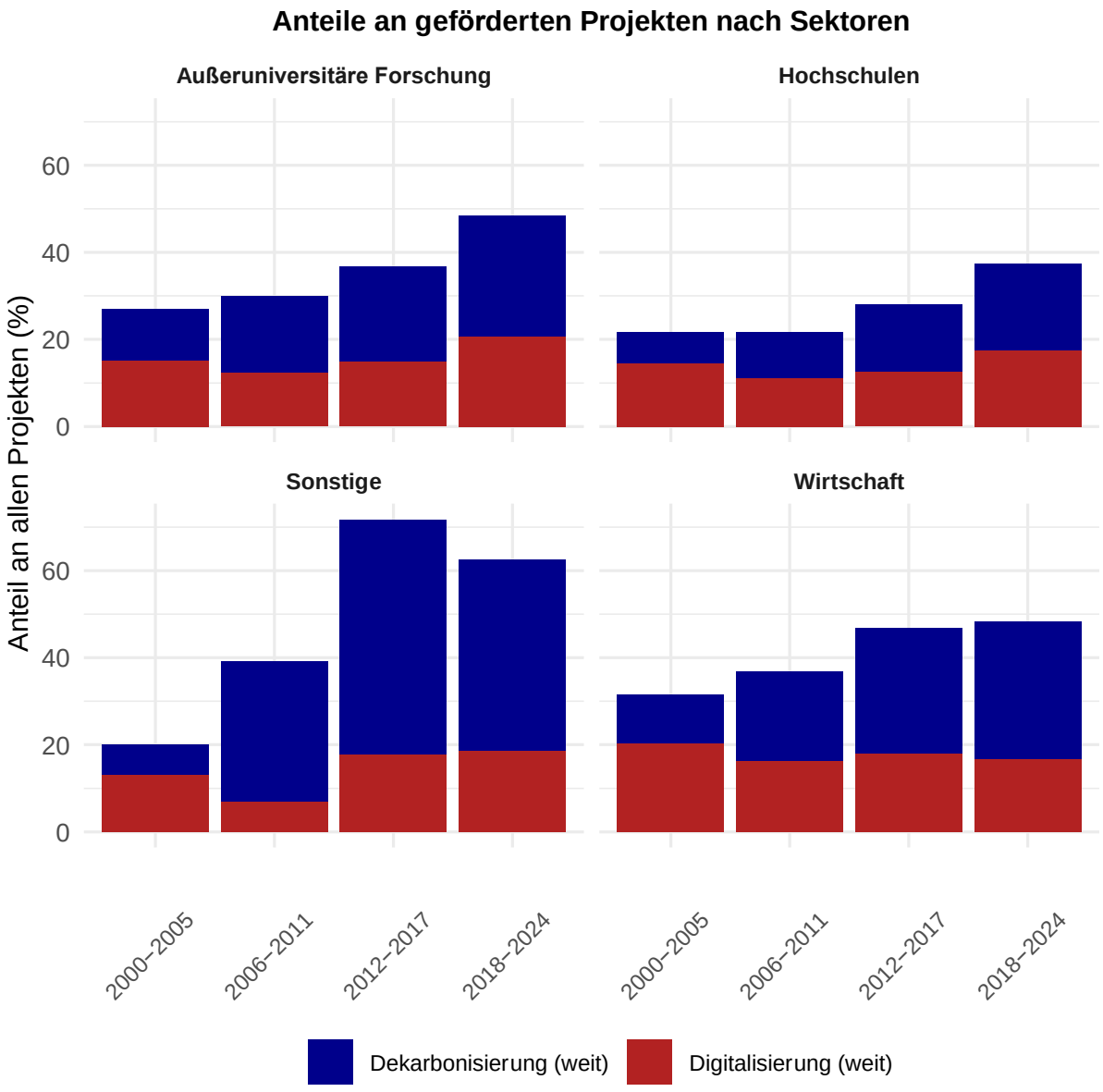


Abbildung 11: Sektorale Verteilung der Projekte nach Thema, weite Definition

Dies deutet darauf hin, dass privatwirtschaftliche Akteure im Bereich Digitalisierung im Laufe der Jahre weniger Projektförderung erhalten. Ein möglicher Grund dafür könnte sein, dass sich digitale Technologien in der Privatwirtschaft zunehmend etabliert haben und der Förderbedarf entsprechend sinkt.

Für Dekarbonisierung zeigt sich ein anderes Bild: Der Anteil der Projekte wächst in allen Sektoren kontinuierlich. Dies spiegelt die steigende (politische) Relevanz von Dekarbonisierungsaktivitäten wider und verdeutlicht die zunehmende Priorisierung von Klimaschutzmaßnahmen in der Forschungs- und Förderlandschaft.

Die Auswertungen zur engen Definition der Themen (Abbildung 12) zeigen ähnliche Trends wie die weite Definition, allerdings mit kleinen Unterschieden.

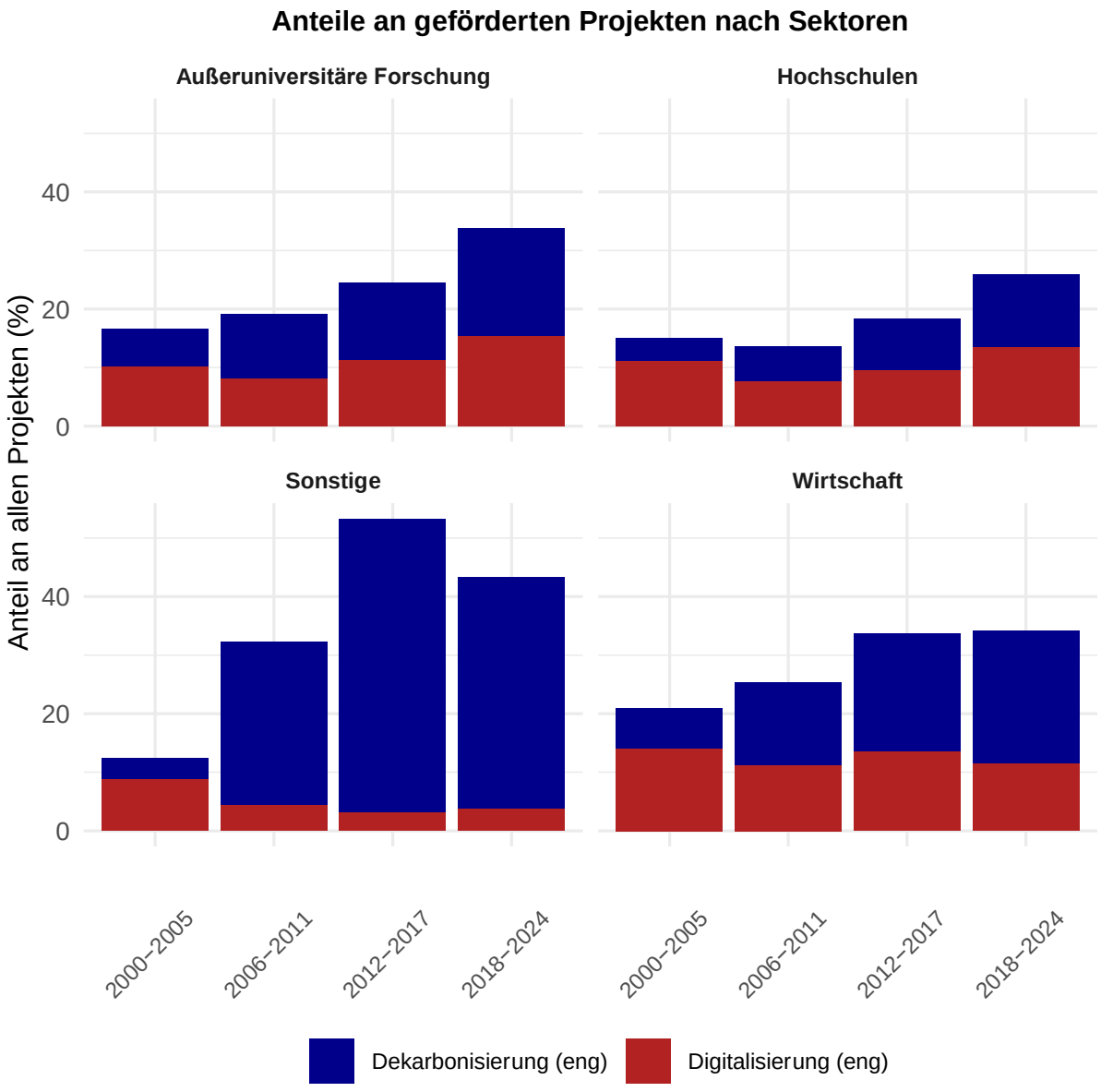


Abbildung 12: Sektorale Verteilung der Projekte nach Thema, enge Definition

Neben der allgemeinen Verringerung der Gesamtanteile von Projekten mit Bezug zu beiden Förderthemen zeigt sich die stärkste Veränderung bei der Digitalisierung. Bei Anwendung der

engen Definition verringert sich der Anteil digitalisierungsbezogener Projekte in der Kategorie *Sonstige* deutlich, insbesondere ab der Periode 2006–2011. Dies deutet darauf hin, dass es in dieser Kategorie viele Akteure gibt, die nicht eindeutig dem Digitalisierungsthema zugeordnet werden können.

In beiden Definitionen (*weit* und *eng*, Abbildung 11 und Abbildung 12) wird deutlich, dass der Anteil der dekarbonisierungsbezogenen Projekte in der Privatwirtschaft vor allem in den letzten Jahren (2018–2024) deutlich zunimmt. Dies deutet auf eine verstärkte Integration von nachhaltigen Technologien in die privatwirtschaftliche Praxis hin und zeigt ein wachsendes Engagement von Unternehmen bei der Entwicklung unterstützender Systeme. Dennoch spielen Hochschulen, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und sonstige Akteure weiterhin eine bedeutende Rolle.

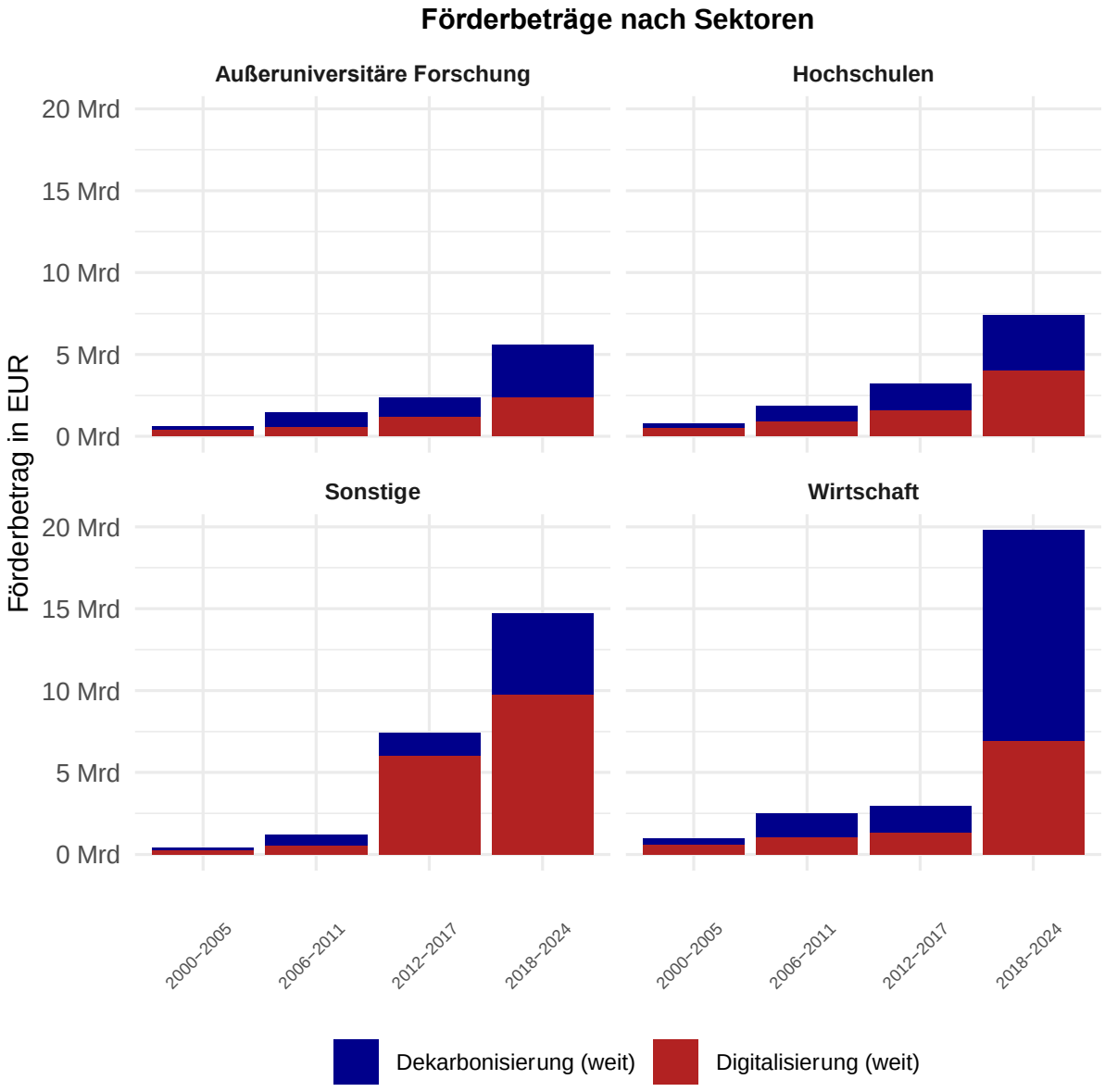


Abbildung 13: Sektorale Verteilung der Förderbeträge nach Thema, weite Definition

4.3.2 Analyse der Förderbeträge

Neben den Anteilen geförderter Projekte ist es auch interessant, die Unterschiede bei den Fördersummen zu betrachten. Diese liefern ergänzende Informationen über die Höhe der absoluten monetären Förderung, die den Projektanteilen zugrunde liegt.

Dabei ist zu beachten, dass Vergleiche zwischen Sektoren schwierig sind, da es signifikante Unterschiede bei den Fördersätzen gibt. Während bei Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen nahezu die gesamten Projektkosten gefördert werden, müssen privatwirtschaftliche Unternehmen einen erheblichen Teil der Kosten selbst tragen. Dies sollte bei der Interpretation der Fördersummen berücksichtigt werden, da die tatsächlichen finanziellen Aufwendungen und Förderbedarfe je nach Sektor variieren.

In der Abbildung 13, die auf der weiten Definition basiert, ist erkennbar, dass die Förderbeträge für Projekte in beiden Themenbereichen – Digitalisierung und Dekarbonisierung – im Laufe der Zeit deutlich zunehmen.

Für Digitalisierung (weite Definition) zeigt sich, dass die Fördersummen für privatwirtschaftliche Akteure ab 2018 stark ansteigen. In den früheren Zeiträumen (2000–2005 und 2006–2011) gingen die meisten Fördermittel an Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen. In den letzten beiden Perioden verschiebt sich diese Verteilung zugunsten der Wirtschaft und sonstiger Akteure.

Für Dekarbonisierung ist ebenfalls ein starkes Wachstum der Fördermittel zu beobachten. Ab 2018 übersteigen die Fördersummen für privatwirtschaftliche Akteure die Zuwendungen an alle anderen Sektoren. Im Gegensatz zur Digitalisierung dominiert hier die Wirtschaft in den letzten Jahren.

Die Abbildung 14 zur engen Definition der Themen zeigt ähnliche Entwicklungen, jedoch mit einigen signifikanten Unterschieden.

Für Digitalisierung ist die Höhe der Förderbeträge an Hochschulen relativ höher, als die Projektanteile vermuten lassen. Dies lässt sich durch die unterschiedlichen Fördersätze erklären. Dennoch wird der Zuwachs der Fördermittel für diesen Themenbereich, insbesondere ab 2017, deutlich.

Bei Dekarbonisierung ist die Wirtschaft auch in der engen Definition der Hauptempfänger der Fördermittel. Zudem verzeichnen Akteure der Kategorie Sonstige höhere Fördersummen als Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen. Dies unterstreicht die anwendungsorientierte Ausrichtung vieler Dekarbonisierungsprojekte, während die Forschung hierbei eine geringere Rolle spielt.

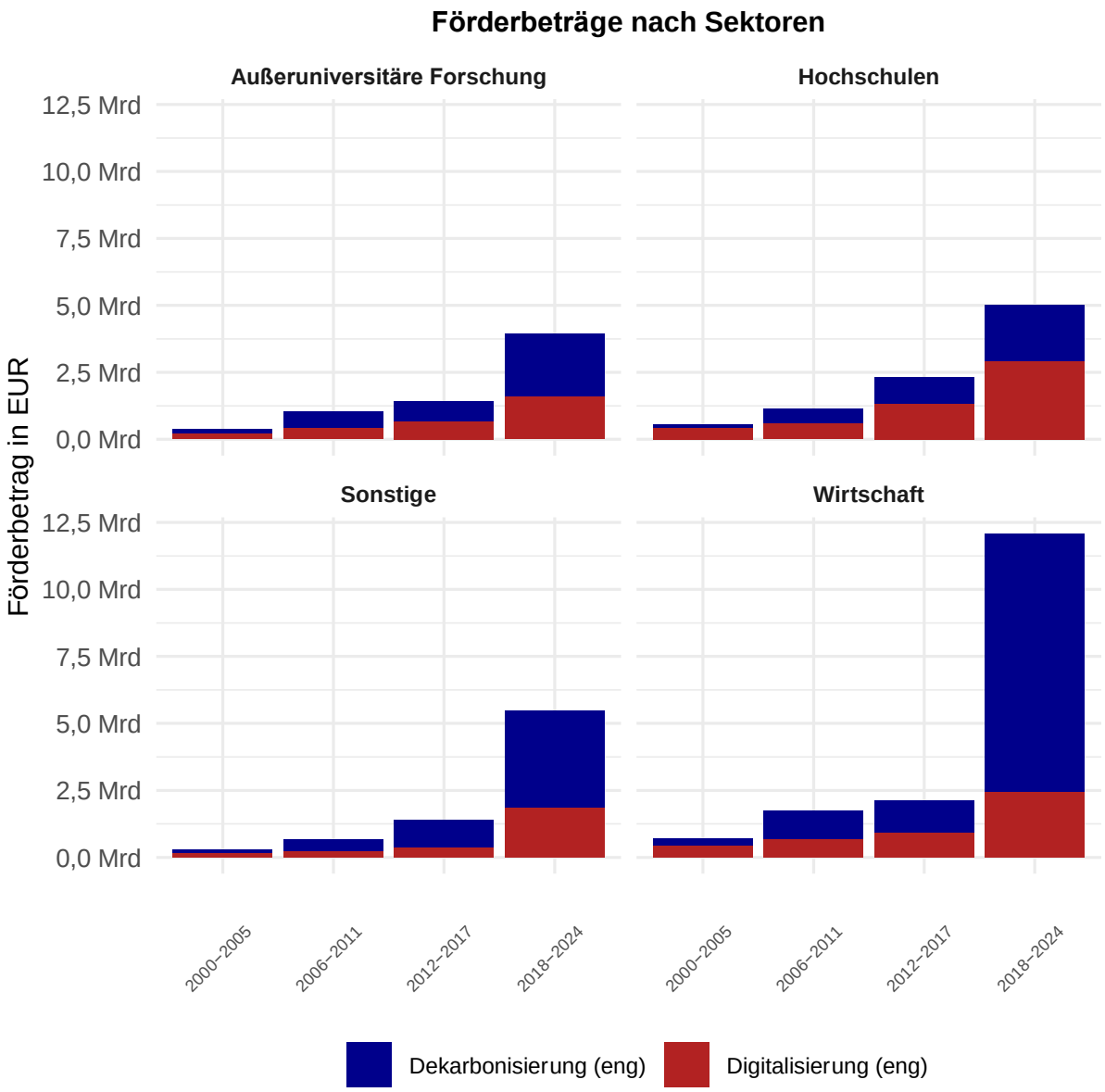


Abbildung 14: Sektorale Verteilung der Förderbeträge nach Thema, enge Definition

Beim Vergleich der Anteile geförderter Projekte und der entsprechenden Fördersummen für Digitalisierung und Dekarbonisierung lassen sich interessante Muster erkennen. Die absoluten Fördersummen steigen kontinuierlich, und die relative Bedeutung der beiden Themenbereiche nimmt sektorenübergreifend zu.

Für Digitalisierung steigen die Fördersummen deutlich, insbesondere für sonstige und privatwirtschaftliche Akteure ab 2012, während die relativen Projektanteile eher rückläufig sind. Das deutet darauf hin, dass vermehrt teurere oder umfangreichere Projekte gefördert werden.

Im Bereich Dekarbonisierung zeigt sich hingegen eine durchgängige Zunahme sowohl bei den Projektanteilen als auch bei den Fördersummen. Die stärksten Zugewinne verzeichnen hier

Akteure aus der *Wirtschaft* und der Kategorie *Sonstige*. Dies verdeutlicht den anwendungsorientierten Charakter von Dekarbonisierungsprojekten, bei denen Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen eine untergeordnete Rolle spielen.

4.3.3 Verteilung der BMBF-Förderung über Wirtschaftzweige: Digitalisierung

Dank der Bereitstellung der STESYS-Daten durch das DLR konnte die Verteilung der geförderten Projekte nach Wirtschaftszweigen zumindest für alle Projekte des BMBF durchgeführt werden (STESYS-Informationen anderer Ministerien wurden nicht zur Verfügung gestellt). Da naturgemäß Forschungs- und Hochschulwirtschaftszweige häufig dominieren, was für diese Analyse weniger relevant ist, wurde die Auswertung auf Wirtschaftszweige mit WZ-Zweistellern kleiner als 72 beschränkt. Diese Grenze wurde gewählt, da Wirtschaftszweige ab WZ 72 in der Regel öffentliche und gemeinnützige Bereiche wie Bildung, Gesundheit und öffentliche Verwaltung umfassen, die nicht zur Privatwirtschaft gehören. Durch diese Trennung liegt der Fokus auf privatwirtschaftlichen Sektoren, die eine zentrale Rolle in der Innovations- und Forschungsförderung spielen.

Die Tabelle 8 und Tabelle 9 im Anhang stellen die Förderung von Digitalisierungsprojekten nach Wirtschaftszweigen dar, wobei Tabelle 8 die weite Definition und Tabelle 9 die enge Definition der Digitalisierung verwendet. Ein Vergleich der beiden Tabellen zeigt einige wesentliche Unterschiede in der Anzahl der geförderten Projekte und der Fördersummen über die Zeiträume hinweg.

In beiden Tabellen ist der Wirtschaftszweig “Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen” (WZ 260) in allen Zeiträumen von großer Bedeutung. Allerdings zeigt die weite Definition (Tabelle 8) durchgehend höhere Projektzahlen und Fördersummen, insbesondere in der Periode 2018–2024, wo 474 Projekte mit einer Fördersumme von rund 348 Millionen Euro gefördert wurden. In der engen Definition (Tabelle 9) wurden hingegen 333 Projekte mit rund 189 Millionen Euro gefördert. Diese Diskrepanz zeigt, dass in der weiten Definition mehr Projekte als digitalisierungsrelevant eingestuft wurden, während in der engen Definition größere Fördersummen auf weniger Projekte entfallen.

Ähnlich verhält es sich bei der “Erbringung von Dienstleistungen der Informationstechnologie” (WZ 620). Hier verzeichnet die weite Definition für die Periode 2018–2024 1.111 Projekte mit knapp 350 Millionen Euro, während die enge Definition 978 Projekte mit rund 286 Millionen Euro listet. Auch hier deutet die weite Definition auf eine größere Anzahl von geförderten Projekten hin, die möglicherweise breiter gefasste Digitalisierungsaspekte abdeckt.

Ein weiterer Unterschied zeigt sich im “Verlagswesen (einschließlich Software)” (WZ 580). In der weiten Definition (Tabelle 8) wurden in der Periode 2018–2024 insgesamt 190 Projekte mit einer Fördersumme von etwa 56 Millionen Euro gefördert, während die enge Definition (Tabelle 9) 165 Projekte mit etwa 50 Millionen Euro ausweist. Dies deutet darauf hin, dass auch in diesem Bereich die weite Definition mehr Projekte als digitalisierungsrelevant einordnet.

Einheitlicher fällt der Vergleich im Bereich “Maschinenbau” (WZ 280) aus, wo die Unterschiede zwischen den Tabellen weniger ausgeprägt sind. In der Periode 2018–2024 wurden in (Tabelle 8)

insgesamt 232 Projekte mit etwa 87 Millionen Euro gefördert, während (Tabelle 9) 180 Projekte mit rund 68 Millionen Euro verzeichnet.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die weite Definition (Tabelle 8) insgesamt mehr Projekte als digitalisierungsrelevant einstuft und diese auch in höherer Anzahl fördert. Die engere Definition (Tabelle 9) konzentriert sich hingegen auf spezifischere Projekte, die oft größere Fördersummen pro Projekt aufweisen. Dies verdeutlicht die unterschiedlichen Ansätze der beiden Definitionen: Während die weite Definition ein breiteres Spektrum digitaler Innovationen erfasst, fokussiert sich die enge Definition auf Kernbereiche der Digitalisierung.

4.3.4 Verteilung der BMBF-Förderung über Wirtschaftzweige: Dekarbonisierung

Die Tabelle 10 und Tabelle 11 konzentrieren sich auf die Förderung von Projekten zur Dekarbonisierung in verschiedenen Wirtschaftszweigen. Tabelle 10 stellt die Förderung nach der weiten Definition dar, während Tabelle 11 die engere Definition der Dekarbonisierung abbildet. Ein Vergleich der beiden Tabellen zeigt einige interessante Unterschiede in Bezug auf die Anzahl der geförderten Projekte und die bereitgestellten Fördersummen in den jeweiligen Zeiträumen.

Ein zentraler Unterschied zwischen den beiden Definitionen wird im Bereich “Maschinenbau” (WZ 280) deutlich. In der weiten Definition (Tabelle 10) wurden in der Periode 2018–2024 insgesamt 209 Projekte mit einer Fördersumme von rund 150 Millionen Euro unterstützt, während in der engen Definition (Tabelle 11) 137 Projekte mit etwa 125 Millionen Euro gefördert wurden. Dies zeigt, dass die weite Definition eine größere Anzahl von Projekten umfasst, während die engere Definition sich stärker auf spezialisierte Vorhaben konzentriert.

Ein ähnliches Muster ist im Bereich “Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen” (WZ 260) erkennbar. In der weiten Definition (Tabelle 10) wurden in der Periode 2018–2024 164 Projekte mit knapp 990 Millionen Euro gefördert, während die enge Definition (Tabelle 11) 82 Projekte mit rund 540 Millionen Euro verzeichnet. Auch hier deutet die weite Definition auf eine breitere Abdeckung von Projekten hin, während die engere Definition auf spezifischere und meist stärker fokussierte Projekte setzt.

Ein weiterer bedeutender Unterschied zeigt sich im Bereich “Herstellung von chemischen Erzeugnissen” (WZ 200). Während in der weiten Definition (Tabelle 10) für den Zeitraum 2018–2024 insgesamt 155 Projekte mit etwa 953 Millionen Euro gefördert wurden, zeigt die enge Definition (Tabelle 11) lediglich 102 Projekte mit rund 624 Millionen Euro. Dies deutet darauf hin, dass in der weiten Definition mehr Projekte als dekarbonisierungsrelevant eingestuft wurden.

Interessant ist auch der Bereich “Herstellung von elektrischen Ausrüstungen” (WZ 270), in dem die weite Definition für die Periode 2018–2024 insgesamt 124 Projekte mit etwa 607 Millionen Euro auflistet, während die enge Definition 99 Projekte mit etwa 485 Millionen Euro zeigt. Auch hier umfasst die weite Definition mehr Projekte, während die engere Definition die Mittel auf weniger, aber potenziell zentralere Projekte konzentriert.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die aufgeführten Wirtschaftszweige in beiden Tabellen, unabhängig von der weiten oder engen Definition der Dekarbonisierung, nahezu identisch sind. Dies deutet darauf hin, dass bestimmte Wirtschaftszweige klar als

dekarbonisierungsrelevant identifiziert werden, unabhängig davon, wie breit oder eng die Definition gefasst ist.

4.4 Räumliche Verteilung

4.4.1 Vorbemerkungen

Die Zuordnung der Projekte in dieser Analyse basiert auf der Verortung der "ausführenden Stellen", wie sie im Förderkatalog angegeben sind. Der Grund dafür, die Verortung anhand der "ausführenden Stellen" vorzunehmen und nicht die Zuwendungsempfänger heranzuziehen, liegt insbesondere in der Struktur vieler außeruniversitärer Forschungseinrichtungen. So ist beispielsweise im Regelfall die Max-Planck-Gesellschaft mit Sitz in München als Zuwendungsempfänger registriert, selbst wenn das Projekt von einem ihrer zahlreichen Institute in anderen Regionen Deutschlands durchgeführt wird. Ein ähnliches Muster findet sich bei einigen Großunternehmen. Daher ist die Information der "ausführenden Stelle" präziser und bevorzugt für die geografische Zuordnung von Förderprojekten.

Für die Verortung wurde die NUTS3-Ebene gewählt, die die Kreise und Landkreise als Analyseebene darstellt. Ursprünglich wäre die Gemeindeebene die kleinstmögliche geografische Einheit in den Daten gewesen, jedoch wurde bewusst entschieden, diese nicht zu verwenden. Der Grund dafür ist, dass sich die Abgrenzungen von Gemeinden im Zeitverlauf häufig ändern, was die Vergleichbarkeit der Daten erschweren würde. Zudem weisen die meisten Gemeinden keine ausreichende Anzahl an Projektbeteiligungen auf, um sinnvolle Analysen auf dieser Ebene durchzuführen.

Aus diesen Gründen wurden die Gemeinden auf die NUTS3-Ebene aggregiert. Diese bietet eine stabilere und zugleich hinreichend feine regionale Einheit, um Unterschiede in der Projektförderung sichtbar zu machen, während die Analyse auf einer konsistenten geografischen Grundlage erfolgt. Die NUTS3-Definition aus dem Jahr 2021 wurde verwendet, um sicherzustellen, dass aktuelle und einheitliche regionale Abgrenzungen berücksichtigt werden. Dies ermöglicht eine präzisere und zeitlich stabile Analyse der regionalen Verteilung der geförderten Projekte.

In der folgenden Auswertung wird der Schwerpunkt auf den Anteil der geförderten Projekte zu einem bestimmten Thema (Digitalisierung bzw. Dekarbonisierung) gelegt. Diese Herangehensweise wird der Analyse der absoluten Anzahl an Projekten und Fördersummen vorgezogen, da letztere stark von der Größe einer Region beeinflusst werden und dadurch zu Verzerrungen führen können. Die Auswertung zielt daher darauf ab, den Spezialisierungsgrad einer Region in Bezug auf die erhaltene Förderung für ein bestimmtes Thema darzustellen, anstatt ihren absoluten Erfolg zu messen. Die Karten, welche die absolute Anzahl an Projekten auf der regionalen Ebene für die Digitalisierung und die Dekarbonisierung zeigen, sind aber im Anhang im Abschnitt 8.6 zu finden.

4.4.2 Räumliche Verteilung der Digitalisierungsprojekte

Abbildung 15 bietet eine Übersicht über die räumliche Verteilung aller geförderten Projekte (absolute Anzahl) über verschiedene Zeiträume hinweg (2000–2005, 2006–2011, 2012–2017, 2018–2024), was eine nützliche Referenz für den Vergleich der themenspezifischen Verteilungen mit der allgemeinen Verteilung der Förderprojekte darstellt. Diese Grafik verdeutlicht, dass es keine augenfälligen geografischen Konzentrationen oder räumlichen Strukturen in der Verteilung zu geben scheint, abgesehen von einer, zumindest visuell, positiven Korrelation der Anzahl der Projekte mit der Bevölkerungsdichte. Das heißt, die Regionen mit den höchsten Projektanzahlen sind, naturgemäß, die urbanen Räume mit hohen Einwohnerzahlen.

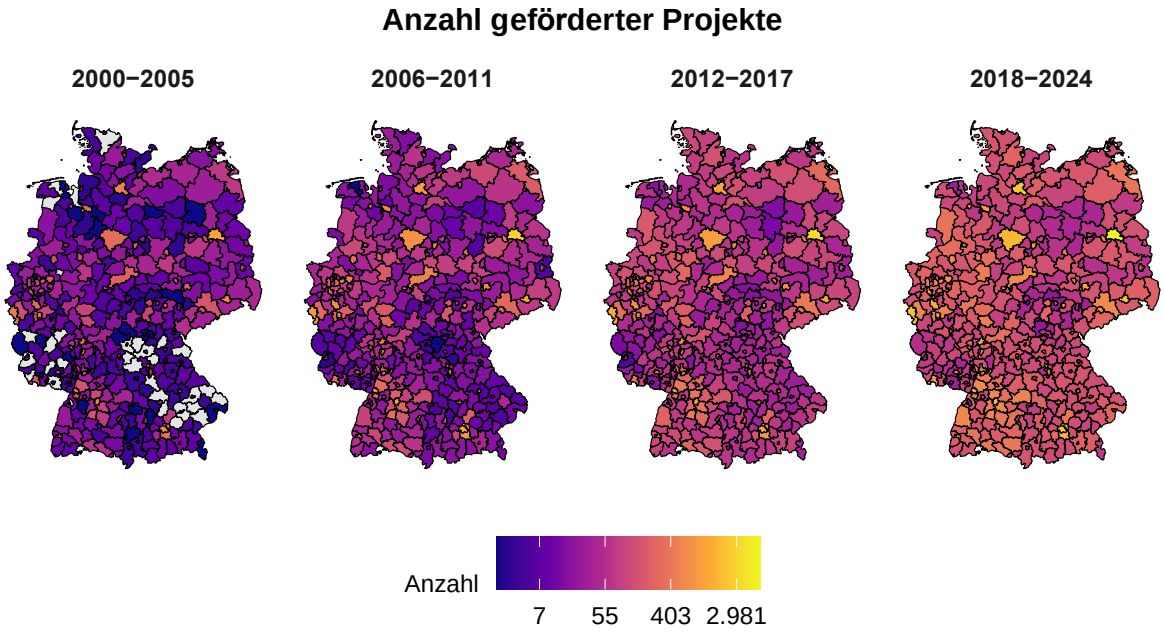


Abbildung 15: Regionale Verteildung geförderter Projekte

Abbildung 16 illustriert die räumliche Verteilung des Anteils der Digitalsierungsprojekte in den NUTS3 Regionen aufbauend auf der *weiten* Definition. Im Gegensatz zu der Verteilung der geförderten Projekte allgemein (Abbildung 15) offenbart sich hier eine deutliche räumliche Struktur, insbesondere in den späteren Perioden. Die meisten Regionen mit hohen Anteilen an digitalisierungsrelevanten Projekten konzentrieren sich im Südosten (Bayern, Südhessen) und teilweise im Nordosten (Mecklenburg-Vorpommern). Allerdings wird diese Struktur primär bei der Verwendung der weiten Definition deutlich, was suggeriert, dass in diesen Regionen insbesondere die Förderung von Maßnahmen und Forschung mit Bezug zur digitalisierungsunterstützenden Infrastruktur erfolgt.

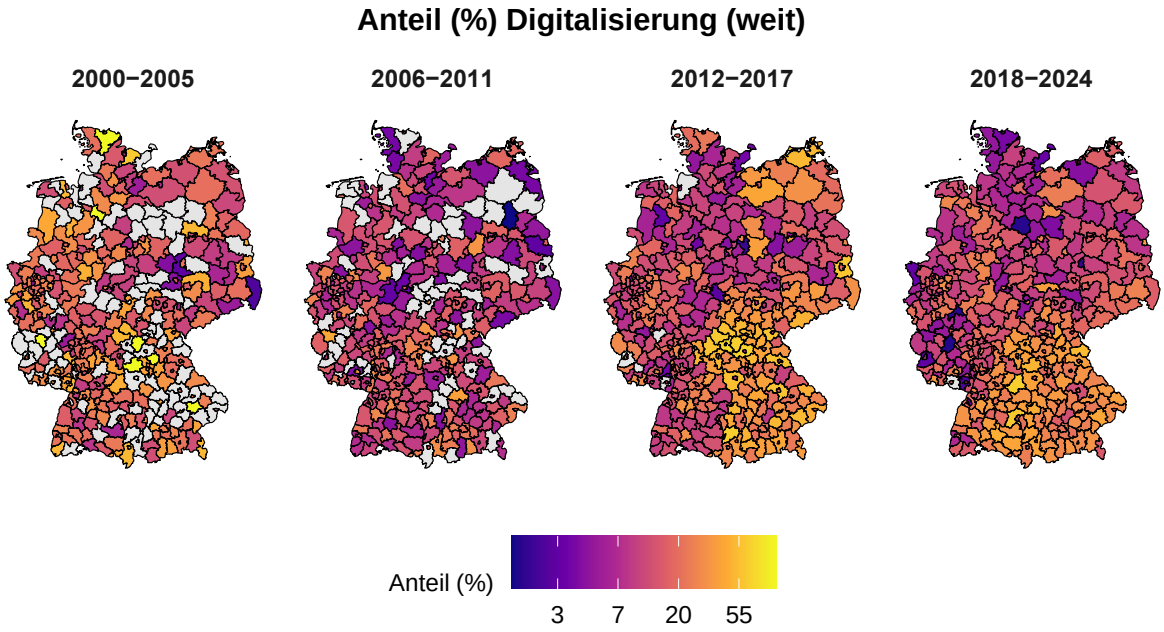


Abbildung 16: Regionale Anteile der Digitalisierungsprojekte, weite Definition

Weiterhin verdeutlichen die Karten, dass die Anzahl an Regionen, welche die höchsten Anteile an geförderten Digitalsierungsprojekten haben, im Laufe der Zeit zunimmt. Zu Beginn des betrachteten Zeitraums (2000–2005) ist die Verteilung der Projekte relativ gering und konzentriert sich auf wenige Regionen. Über die Zeit steigt die Anzahl der geförderten Projekte jedoch stark, was insbesondere ab 2012 deutlich wird.

Bemerkenswert ist, dass die Anteile der Digitalisierungsprojekte in den Jahren 2018 bis 2024, sowohl in der engen als auch in der weiten Definition, in einigen Regionen besonders hoch sind. Dies deutet auf spezialisierte Forschungscluster oder Wirtschaftssektoren in diesen Gebieten hin, die sich vermehrt mit digitaler Transformation beschäftigen.

Die Tabelle 12 bestätigt diesen Befund nur teilweise. Bei Verwendung der *weiten* Definition finden sich zwar wirtschaftlich starke Städte und Regionen wie Schwäbisch Hall, der Alb-Donau-Kreis oder Pforzheim unter den Spitzenreitern bei der Anzahl der geförderten Digitalisierungsprojekte. Allerdings zählen diese Regionen nicht unbedingt zu den klassischen Agglomerationen des IKT-Sektors. Eine bemerkenswerte Ausnahme ist Kaiserslautern, das mit dem Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) und dem Fraunhofer-Institut für Experimentelles Software Engineering (IESE) führende Institutionen im Bereich IKT beheimatet.

Das Bild ändert sich deutlich, wenn die *enge* Definition von Digitalisierung verwendet wird, wie die Abbildung 17 und die Tabelle 13 zeigen. Hier dominieren vor allem mittelgroße und große Städte die Liste der Spitzenreiter. Auch verschwindet die starke Präsenz von Süd-West-Deutschland auf der Karte. Dies verdeutlicht, dass weniger urbane Gebiete primär von der Förderung der unterstützenden Infrastruktur für die Digitalisierung sowie von damit verbundenen Forschungsprojekten profitieren. Die Forschung zu den Kernthemen der Digitalisierung scheint

hingegen stärker in urbanen Zentren konzentriert zu sein. Diese Beobachtung wird im späteren Verlauf noch genauer untersucht.

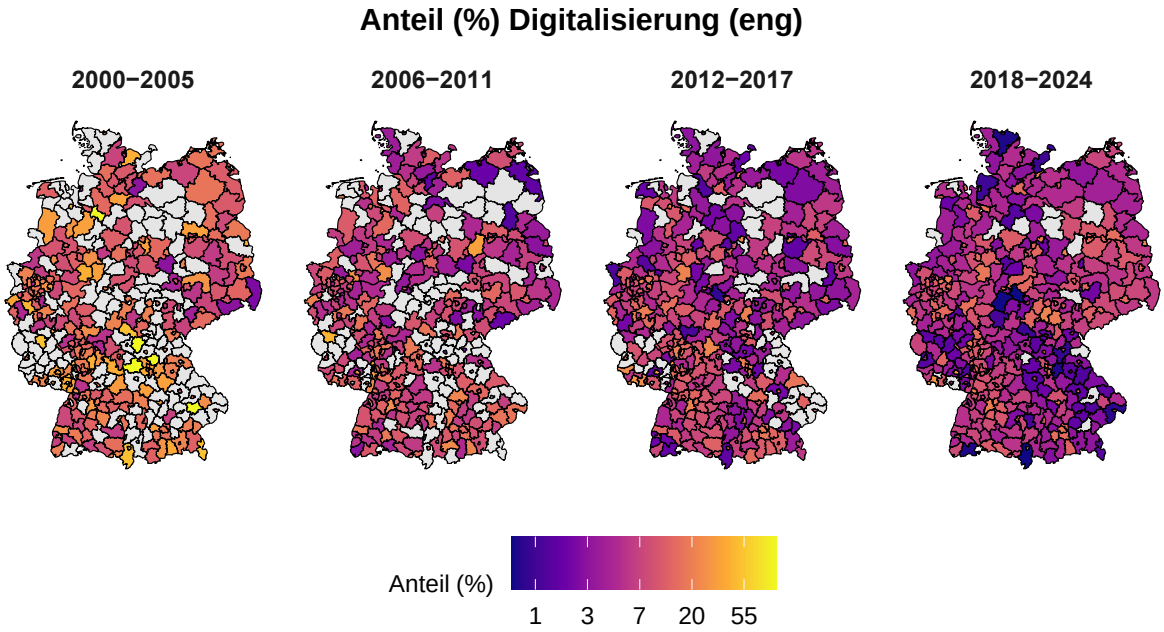


Abbildung 17: Regionale Anteile der Digitalisierungsprojekte, enge Definition

4.4.3 Räumliche Verteilung der Dekarbonisierungsprojekte

Im Gegensatz zur Digitalisierung variiert die räumliche Verteilung der Dekarbonisierungsprojekte deutlich weniger zwischen der weiten und der engen Definition, wie die Karten in Abbildung 18 und Abbildung 19 verdeutlichen. Dennoch zeigt sich auch hier ein gewisses räumliches Muster, das sich jedoch von dem der Digitalisierung unterscheidet.

Die Anteile der geförderten Projekte mit Bezug zu Dekarbonisierungsaktivitäten pro Region weisen ein leichtes West-Ost-Gefälle auf, das über die Unterschiede zwischen Ost- und Westdeutschland hinausgeht. Auffällig ist, dass viele Regionen in Bayern, insbesondere in der Periode 2012–2017, unterdurchschnittlich stark in solchen Projekten engagiert waren. Erst in der aktuellen Periode (2018–2024) schwächt sich dieses Gefälle etwas ab, wobei visuell zumindest ein Unterschied zwischen Ost- und Westdeutschland erkennbar bleibt. Dieser Unterschied ist bei der Verwendung der *weiten* Definition weniger stark ausgeprägt als bei der *engen* Definition.

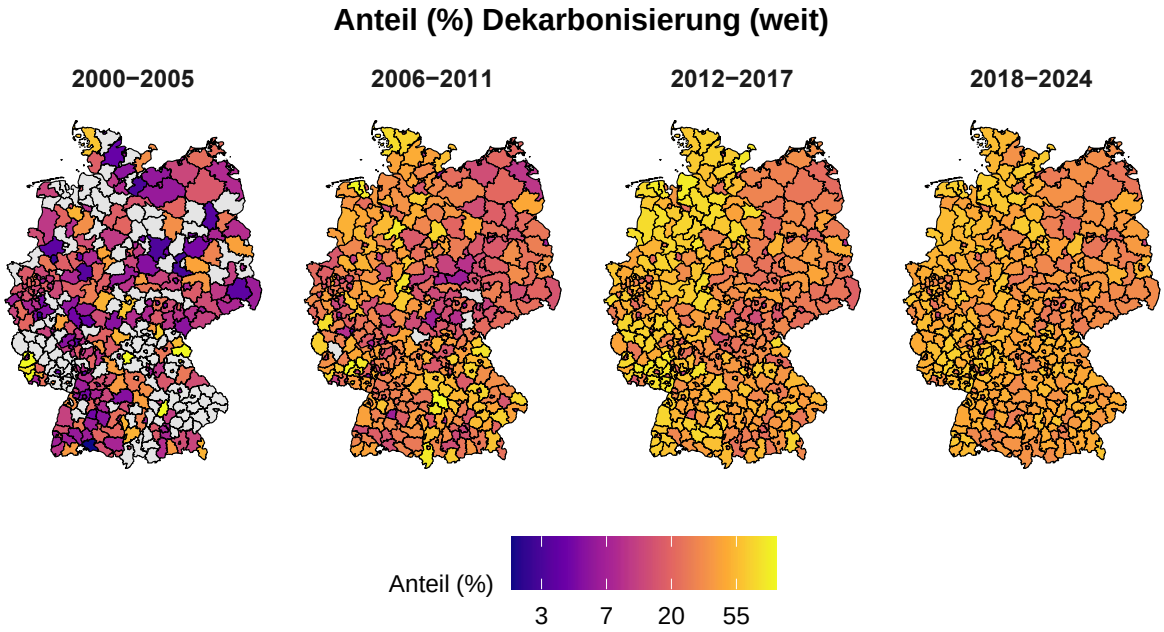


Abbildung 18: Anteilige regionale Verteilung Dekarbonisierung (weit)

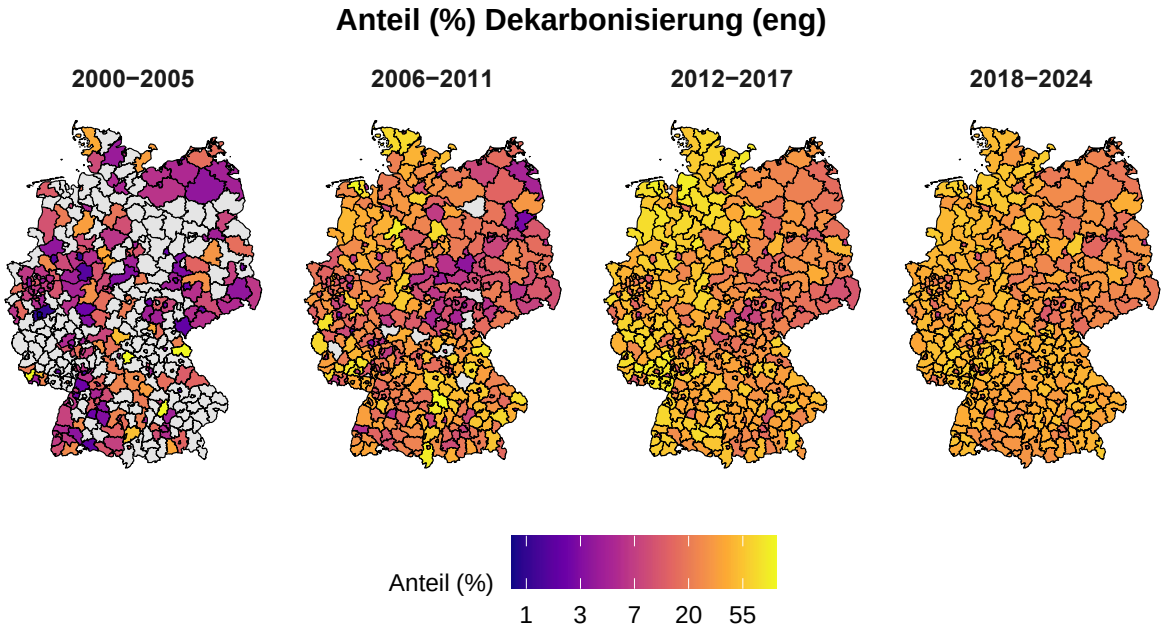


Abbildung 19: Anteilige regionale Verteilung Dekarbonisierung (eng)

Ähnlich wie bei der Digitalisierung spiegeln die Karten zur Dekarbonisierung die zunehmende Ausbreitung der geförderten Projekte zu diesem Thema im Raum über die Zeit wider. Einen

Einblick in die Regionen mit der höchsten Spezialisierung hinsichtlich geförderter Projekte in diesem Themenbereich geben die Tabelle 14 und Tabelle 15.

Wie die Karten bereits andeuten, ähneln sich die Top-10 Regionen in beiden Definitionen stark, sodass im Folgenden nur die *weite* Definition kurz ausgewertet wird. Es wird deutlich, dass die Regionen mit der höchsten Spezialisierung überwiegend ländlich geprägt sind, während die am Ende des Spezialisierungsrankings eher urban sind. Regionen wie Kusel und Bad Kreuznach weisen einen überproportional hohen Anteil an Dekarbonisierungsprojekten im Verhältnis zur Gesamtförderung auf, während in Städten wie Jena und den beiden Frankfurts das Verhältnis genau umgekehrt ist.

Dabei ist jedoch zu beachten, dass ein niedriger Anteil von Projekten zum Thema Dekarbonisierung nicht zwangsläufig auf eine geringe absolute Anzahl hindeutet. So hat die am niedrigsten platzierte Region, Jena, doppelt so viele Projekte in diesem Bereich wie die erstplatzierte Region. Diese Diskrepanz wird im nächsten Abschnitt noch analysiert.

4.4.4 Korrelationsanalyse

Um ein besseres Verständnis für die visuellen Beobachtungen und ihre Beziehungen zueinander zu erhalten, wurden die fünf zentralen Variablen miteinander auf Ebene der NUTS3-Regionen korreliert. Um dabei der zeitlichen Dimension Rechnung zu tragen, wird wieder auf die vier Perioden zurückgegriffen.

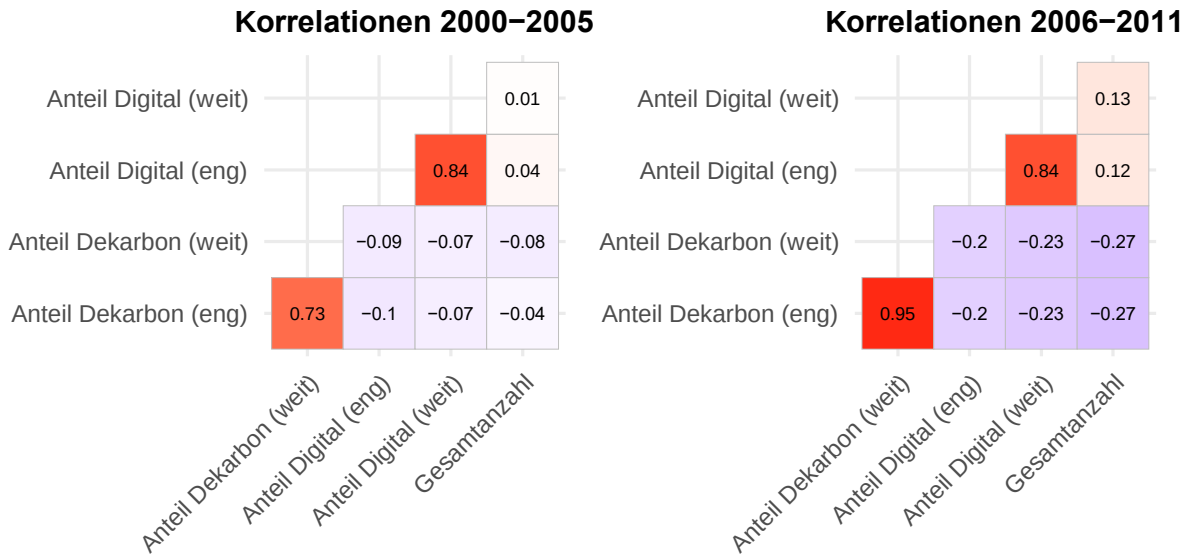


Abbildung 20: Korrelation der Projektförderungsanteile 2000 bis 2011

Die Korrelationsplots in Abbildung 20 und Abbildung 21 verdeutlichen die Zusammenhänge zwischen den Anteilen geförderter Digitalisierungs- und Dekarbonisierungsprojekte sowie der Gesamtprojektanzahl in den Regionen. Dabei wird ersichtlich, dass Regionen mit einem hohen Spezialisierungsgrad auf Digitalisierung selten auch einen hohen Anteil an

Dekarbonisierungsprojekten aufweisen. Dies deutet auf eine regionale Spezialisierung hin, bei der einige Gebiete stärker auf digitale Innovationen und andere auf klimarelevante Themen fokussiert sind.

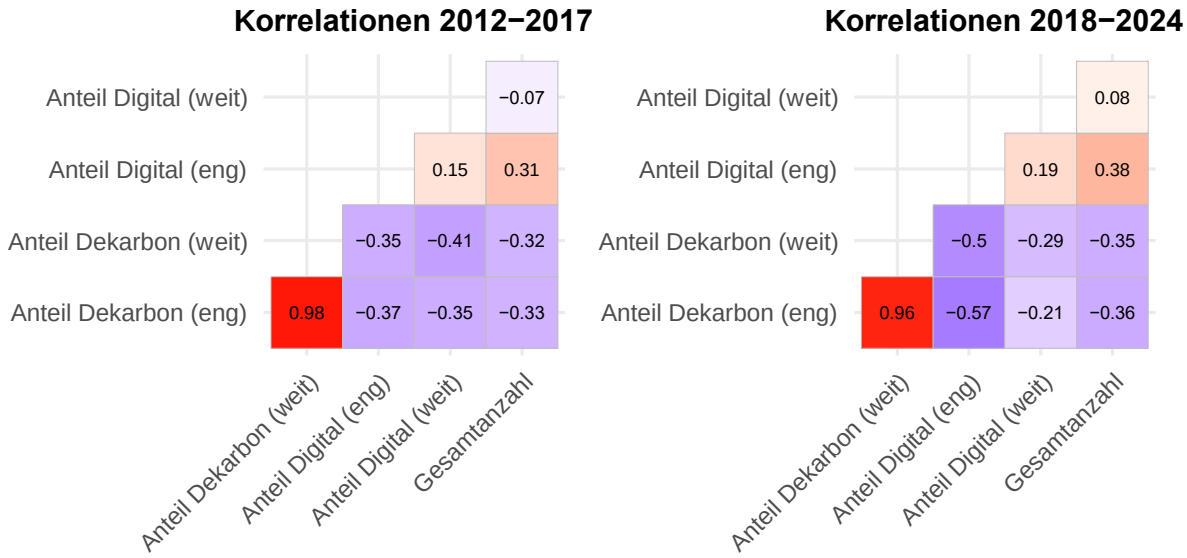


Abbildung 21: Korrelation der Projektförderungsanteile 2012 bis 2024

Zudem zeigen die Korrelationen, dass es kaum einen Zusammenhang zwischen der Gesamtprojektanzahl in einer Region und dem Anteil an Digitalisierungsprojekten gibt, insbesondere in den ersten beiden Perioden, wo die Korrelationen nahezu null sind. In den letzten beiden Perioden zeigen sich insbesondere bei der engen Definition digitalisierungsrelevanter Projekte positive Korrelationen. Das deutet darauf hin, dass eine starke Fokussierung auf Digitalisierung nicht zu einem Rückgang von Projekten in anderen Bereichen führt (“Crowding-Out”). Anders verhält es sich bei Dekarbonisierungsprojekten: Hier sind die Korrelationen schwach oder sogar negativ, was darauf hinweist, dass Regionen mit einem hohen Anteil an Dekarbonisierungsprojekten tendenziell weniger Projekte in anderen Förderbereichen einwerben. Dies könnte daran liegen, dass viele Regionen mit einem starken Fokus auf Dekarbonisierung eher ländlich geprägt sind und eine weniger diversifizierte Forschungs- und Wirtschaftsstruktur aufweisen.

Insgesamt zeigt die Analyse eine klare räumliche Verteilung sowohl der Digitalisierungs- als auch der Dekarbonisierungsprojekte. Während sich Digitalisierungsprojekte vermehrt in städtischen und industriellen Regionen konzentrieren, sind Dekarbonisierungsprojekte eher in ländlichen, weniger dicht besiedelten Gebieten vertreten. Dies deutet auf unterschiedliche regionale Strategien hin, bei denen urbane Zentren stärker auf technologische Innovation setzen, während ländliche Regionen verstärkt nachhaltige Entwicklungsprojekte verfolgen.

Der Zusammenhang zwischen Urbanisierungsgrad und Projektkonzentration wird im folgenden Abschnitt tiefer analysiert.

4.4.5 Urbanisierungsgrad und Förderung

Nachfolgend wird untersucht, wie die Größe einer Region, hier durch die Anzahl der Einwohner approximiert, mit verschiedenen Kennzahlen, die zuvor betrachtet wurden, wie der Anzahl von Digitalisierungs- und Dekarbonisierungsprojekten, zusammenhängt. Das Ziel besteht darin zu ermitteln, ob größere Regionen überproportional mehr Projekte erhalten oder ob die Verteilung proportional zur Bevölkerungsgröße erfolgt. Dies erfolgt mit einem aus der Urban Scaling Literatur übernommenem einfachen Ansatz, der log-log Regression. Details dazu finden sich im Anhang im Abschnitt 8.5. Wichtig ist, dass, abweichend zu den vorangegangenen Auswertungen, für diese Analyse die absoluten Projektzahlen und Fördersummen betrachtet werden.

Die Ergebnisse der Regressionen sind in den Koeffizientenplots in der Abbildung 22 zusammengefasst. Sie zeigen die geschätzten Koeffizienten für verschiedene Projektkategorien (z. B. Digitalisierung *weit* und *eng* sowie Dekarbonisierung *weit* und *eng*). Jedes Diagramm veranschaulicht die Koeffizienten für die vier verschiedenen Zeitperioden. Eine gestrichelte Linie bei eins dient als Referenz, um zu verdeutlichen, ob die Verteilung über (Koeffizient ist größer als eins) oder unterproportional (Koeffiziert ist kleiner als eins) zur Bevölkerungsgröße ist. Die Konfidenzintervalle geben Auskunft über die statistische Signifikanz zum Niveau von p=0.05.

Die Ergebnisse in Abbildung 22 zeigen ein differenziertes Bild. Während die meisten Projektkategorien, wie “Projekte Digitalisierung (weit)” und “Projekte Dekarbonisierung (weit / eng)”, nahe bei einem Koeffizienten von 1 liegen, was auf eine proportionale Verteilung im Verhältnis zur Bevölkerungsgröße hindeutet, gibt es signifikante Ausschläge bei den Summenvariablen. Besonders auffällig sind die Werte für “Summe Digitalisierung (weit / eng)” und “Summe Dekarbonisierung (weit / eng)”, die teils deutlich und signifikant über 1 liegen.

Diese hohen Koeffizienten deuten darauf hin, dass größere Regionen bei den Fördersummen überproportional erfolgreich sind. Ein Koeffizient von deutlich über 1, wie er in einigen Perioden für “Summe Digitalisierung (weit)” oder “Summe Dekarbonisierung (weit)” zu sehen ist, bedeutet, dass ein 1-prozentiger Anstieg der Bevölkerungsgröße im Schnitt mit einem mehr als 1-prozentigen Anstieg der Fördersumme einhergeht. Das deutet auf eine Konzentration von Fördermitteln in großen Regionen hin.

Im Gegensatz dazu weisen die Projektzahlen ohne die Summenvariablen relativ konstante und moderate Schwankungen auf. Dies deutet darauf hin, dass zwar die Anzahl der Projekte in vielen Fällen proportional zur Bevölkerungsgröße verteilt ist, größere Regionen jedoch tendenziell höhere Fördersummen erhalten. Diese Diskrepanz zwischen der Anzahl der Projekte und den Fördersummen könnte darauf hindeuten, dass größere und möglicherweise wirtschaftsstärkere Regionen stärker in umfangreicheren oder kostspieligeren Projekten engagiert sind oder diese initiieren.

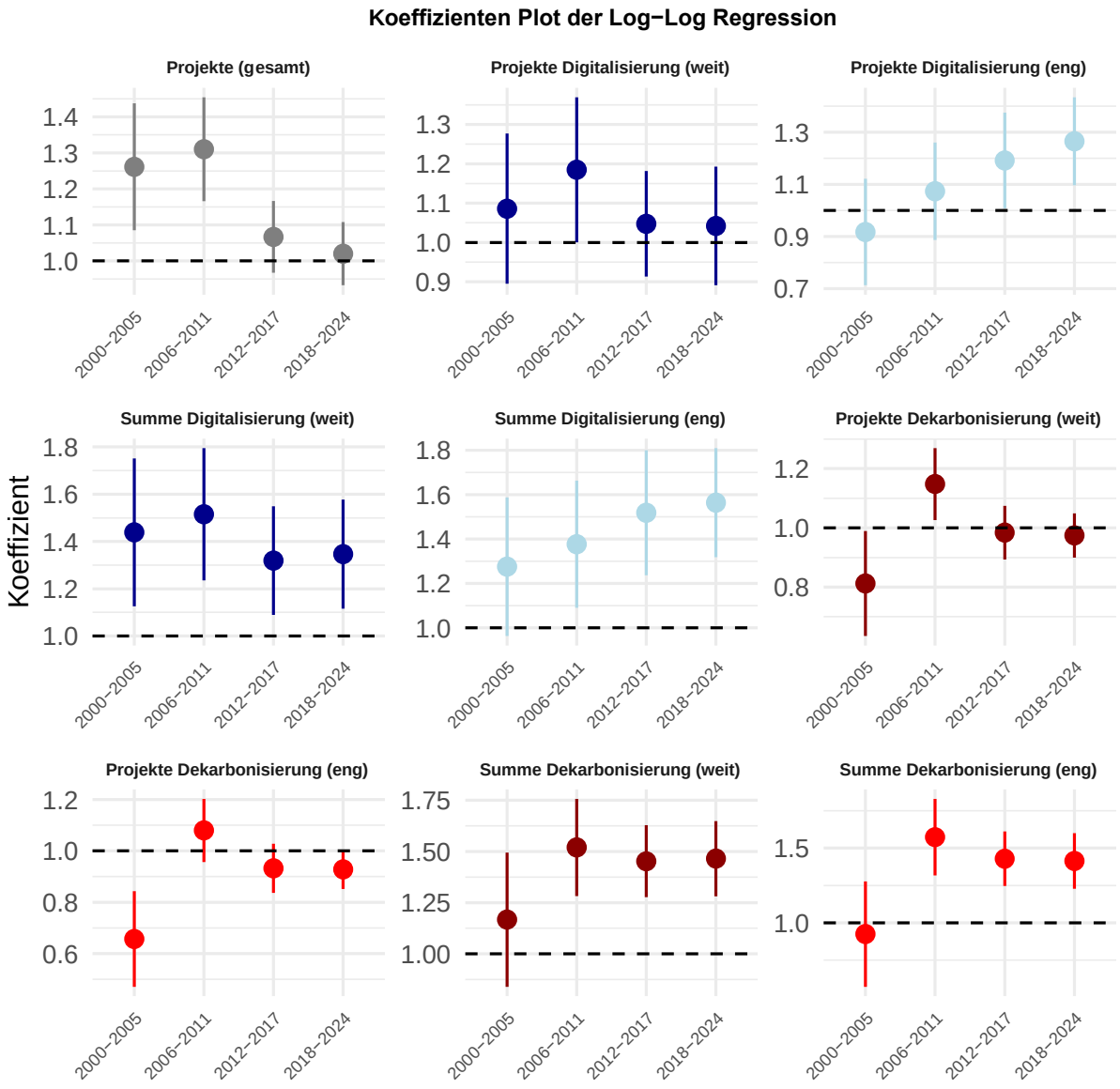


Abbildung 22: Urbane Konzentration von geförderten Projekten

Zusammenfassend zeigt die Analyse, dass, während die Verteilung der Projektanzahl größtenteils proportional zur Bevölkerungsgröße bleibt, größere Regionen insbesondere bei den Fördersummen deutliche Vorteile haben. Dies könnte auf gezielte Maßnahmen oder strukturelle Vorteile größerer Regionen hinweisen.

5 Kooperationen

5.1 Vorbetrachtungen

Neben den bisher untersuchten Eigenschaften geförderter Projekte bietet der Förderkatalog auch die Möglichkeit, zwischen kooperativen und nicht-kooperativen Projekten zu unterscheiden. In der wissenschaftlichen Literatur besteht Einigkeit (Uzzi 1996), dass kooperative Forschungs- und Entwicklungsprojekte (F&E) eine zentrale Grundlage für den Wissensaustausch zwischen Organisationen und Regionen darstellen und maßgeblich zur Innovationsfähigkeit beitragen. Kooperative Projekte ermöglichen es den beteiligten Akteuren, von den Stärken ihrer Partner zu profitieren, Wissen auszutauschen und Skaleneffekte zu realisieren, was den Innovationsprozess effizienter gestaltet.

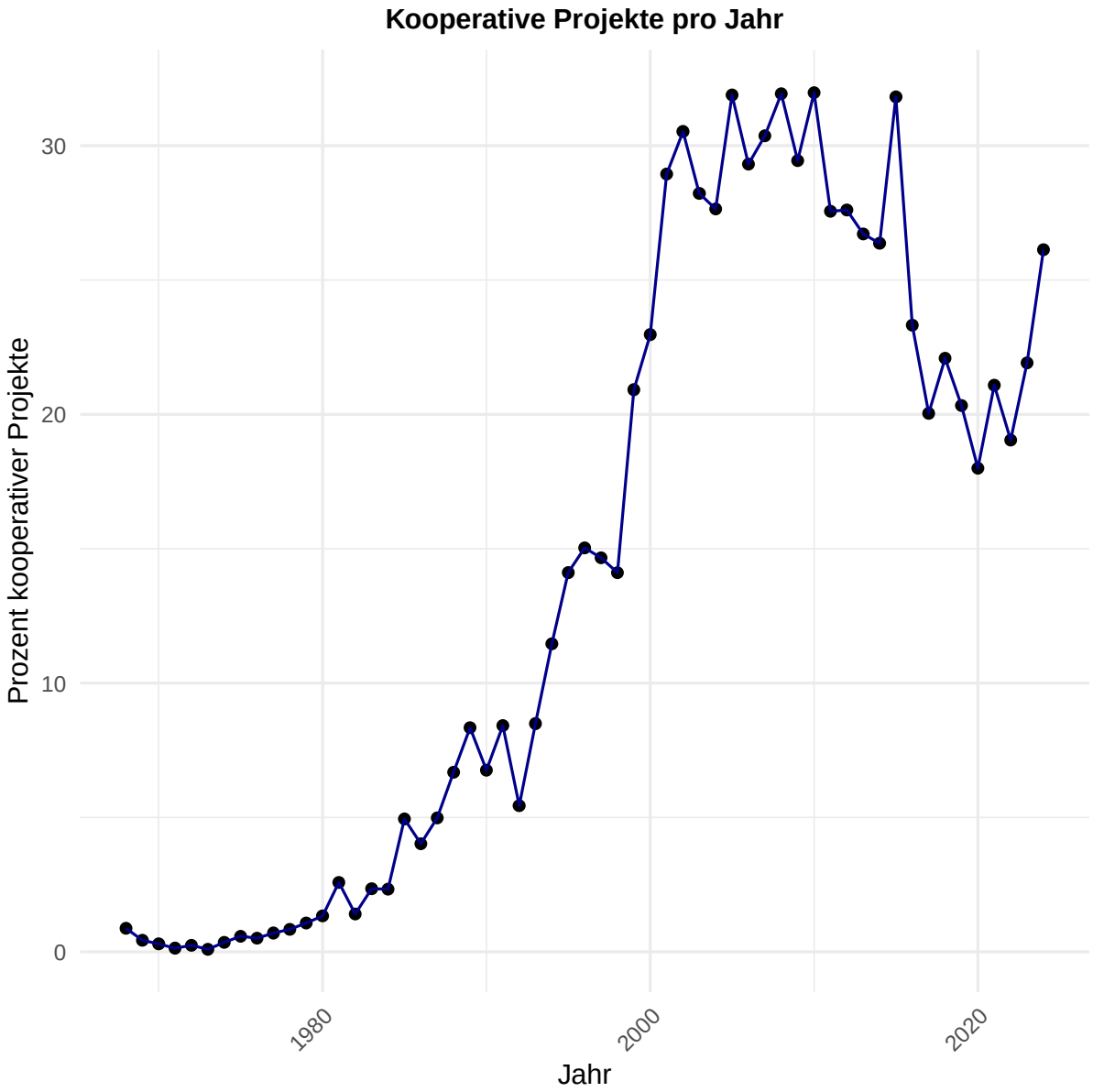


Abbildung 23: Anteil kooperativer Projekte gesamter Förderkatalog

Durch interorganisationale und interregionale Kooperationen entstehen komplexe Netzwerke, in denen sowohl die Struktur als auch die Positionierung der Akteure über die direkten Interaktionen hinausreichende Effekte erzeugen. Während Kooperationen auf bilaterale oder multilaterale Interaktionen abzielen, entfalten sich in diesen Netzwerken durch die Struktur übergreifende Dynamiken. Diese fördern indirekte Verbindungen und Synergien, die die Gesamtdynamik und Innovationskraft der beteiligten Regionen und Organisationen stärken. Wie Broekel und Hartog (2013) zeigen, wird die Struktur solcher Netzwerke durch Faktoren wie geografische Nähe und technologische Komplementarität bestimmt. Gleichzeitig bieten nicht-kooperative Projekte den Vorteil größerer Unabhängigkeit, was für Organisationen von Vorteil sein kann, die ihre strategischen Ziele autonom verfolgen möchten.

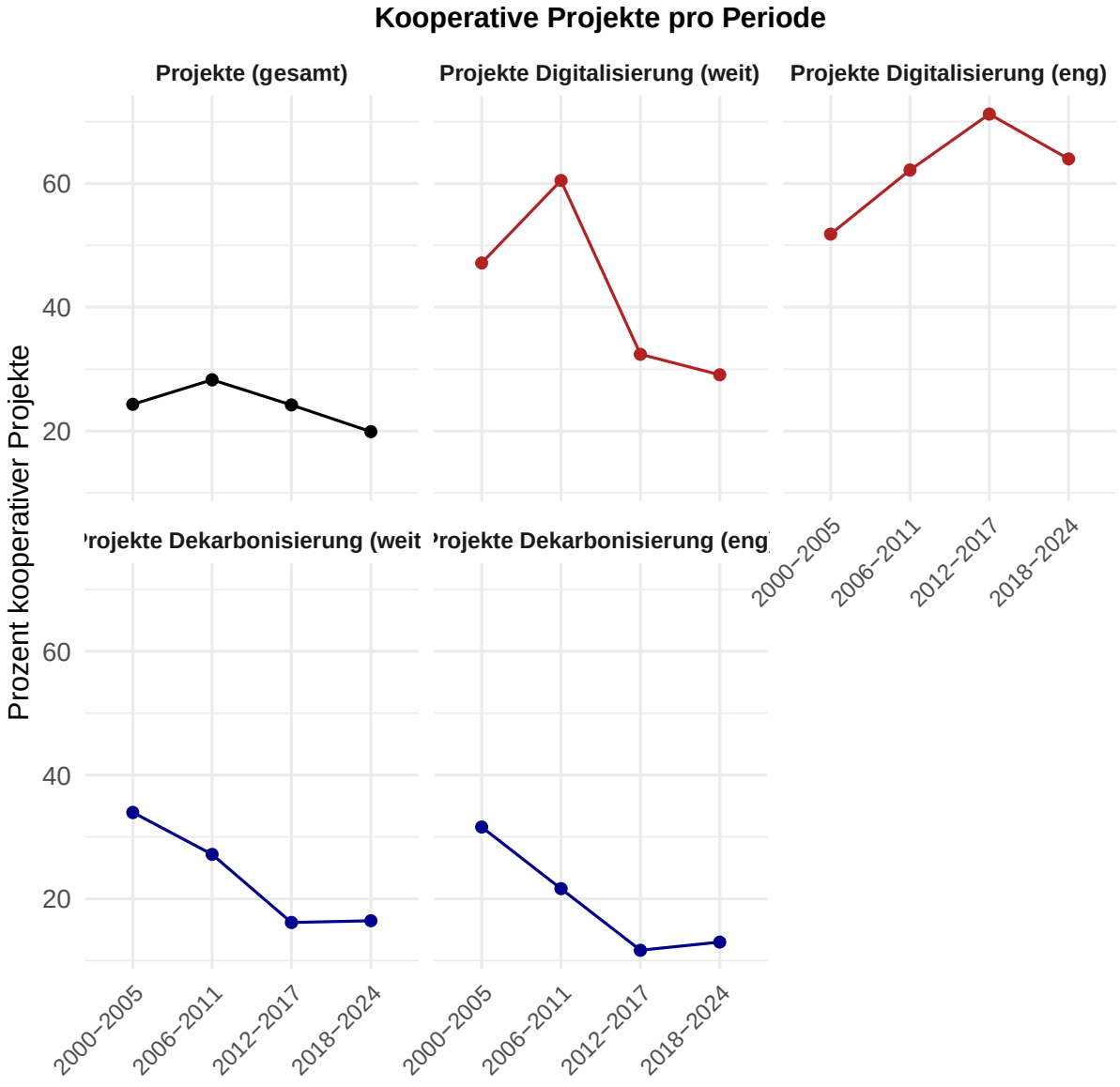


Abbildung 24: Anteil kooperativer Projekte pro Thema

Es ist daher nicht überraschend, dass gerade die Teilnahme an kooperativen F&E-Projekten die Innovationsfähigkeit von Regionen (Broekel 2015) und Unternehmen (Fornahl, Broekel, und Boschma 2011) signifikant erhöhen kann. Dies unterstreicht die Bedeutung kooperativer Projekte für die regionale Innovationslandschaft und verdeutlicht, warum sie in der Analyse des Förderkatalogs berücksichtigt werden sollten – wie im Folgenden dargestellt.

Die Abbildung 23 zeigt den Anteil kooperativer Projekte im gesamten Förderkatalog über einen längeren Zeitraum. Auffällig ist der starke Anstieg ab den 1980er Jahren, der bis etwa 2005 anhält, gefolgt von einer Phase der Stabilität und einem leichten Rückgang nach 2010. Diese Entwicklung verdeutlicht die zunehmende Erkenntnis in der Innovationspolitik, dass Kooperationen für den Wissensaustausch und die Innovationsförderung von zentraler Bedeutung sind und entsprechend politisch gefördert werden sollten. Warum allerdings er Anteil ab den 2000er Jahren bei ungefähr 30% stagnierte und sogar nach 2010 wieder absank, kann mit dieser Argumentation nicht erklärt werden und sollte an anderer Stelle weiter untersucht werden.

5.2 Kooperationsintensitäten

Die Abbildung 24 stellt den Anteil kooperativer Projekte für die beiden Themenbereiche und Filterdefinitionen in den vier Zeitperioden dar. Auch wird der entsprechende Anteil für alle Projekte des Förderkatalogs als Benchmark vorangestellt.

Es wird deutlich, dass die Kooperationsintensität der Dekarbonisierungsprojekte (*enge* und *weite* Definition) in etwa der für alle Projekte entspricht. Von anfänglich 30% sinkt sie unter 20% und bleibt in etwa auf diesem Niveau (weite Definition). Bei der engen Definition ist der Abfall deutlicher ausgeprägt und erreicht Werte von nur knapp über 10%. Das bedeutet, dass während zu Beginn der 2000er Jahre noch ein relativ hoher Anteil an kooperativen Projekten in diesem Themenbereich zu verzeichnen war, zeigt sich in den jüngeren Zeiträumen ein deutlicher Rückgang. Dies könnte darauf hindeuten, dass in der Dekarbonisierung zunehmend Einzelprojekte gefördert werden, möglicherweise weil Technologien reifer geworden sind oder weil weniger Bedarf an interorganisationaler Zusammenarbeit gesehen wird.

Anders stellt sich die Situation beim Thema Digitalisierung dar. Hier bewegen sich die Werte, insbesondere bei der engen Definition, auf einem ganz anderen Niveau und erreichen teilweise Werte von über 70% (2012-2017). Auch ist über die Zeit zunächst ein Anstieg kooperativer Projekte zu beobachten, bevor der Anteil nach 2011 (*weit*) bzw. 2017 (*eng*) wieder abnimmt. Dieser Trend könnte die anfängliche Notwendigkeit von Kooperationen in der digitalen Transformation widerspiegeln, während in den letzten Jahren eine stärkere Individualisierung der Projekte oder veränderte Förderprioritäten eine Rolle spielen.

Insgesamt zeigen beide Abbildungen, dass der Anteil kooperativer Projekte stark von den thematischen Schwerpunkten und der jeweiligen Förderperiode abhängt. Während Kooperationen in bestimmten Bereichen wie der Digitalisierung zunächst an Bedeutung gewonnen haben, besteht insbesondere im Bereich der Dekarbonisierung ein rückläufiger Trend.

5.3 Analyse des interregionalen Kooperationsnetzwerkes

5.3.1 Vorbetrachtungen

Neben der Kooperationsintensität ist es ebenso aufschlussreich, die Gesamtstruktur des aus den individuellen Kooperationen entstehenden Netzwerks zu betrachten. Dieses Kooperationsnetzwerk bildet entscheidende Wissensdiffusionskanäle, da Wissen, welches ein Partner in einer Kooperation erwirbt, potenziell in weiteren Kooperationen an andere Partner weitergegeben werden kann. Auf diese Weise entsteht ein dynamischer Austausch von Wissen, der über die direkten Beziehungen hinausgeht und die Innovationskraft des gesamten Netzwerks stärkt.

Die Untersuchung des Kooperationsnetzwerks ist daher nicht nur wegen der Anzahl und Art der Kooperationen relevant, sondern auch, weil es Einblicke in die Art und Weise gibt, wie Wissen und Ressourcen zwischen den Akteuren verteilt und weitergegeben werden. Ein dichtes Netzwerk mit vielen Verbindungen erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass neue Erkenntnisse und technologische Fortschritte schnell verbreitet werden. Dadurch lassen sich zentrale Akteure und Knotenpunkte im Netzwerk identifizieren, die eine Schlüsselrolle in der Wissensvermittlung spielen. Diese Analyse hilft, besser zu verstehen, wie Kooperationen zur Steigerung von Innovationspotenzial und Wettbewerbsfähigkeit beitragen können.

Dies soll im Folgenden geschehen, allerdings übersteigt es den Rahmen dieses Projekts, interorganisationale Kooperationsnetzwerke auf Basis der Daten des Förderkatalogs zu konstruieren. Dafür wäre eine aufwendige Bereinigung der Namen der “ausführenden Stellen” im Katalog notwendig. Stattdessen wird auf einen leichter umsetzbaren Ansatz zurückgegriffen: die Betrachtung des interregionalen Kooperationsnetzwerks. In diesem Netzwerk stellen die Knoten die Regionen dar – konkret die bereits verwendeten NUTS3-Regionen. Zwei Regionen sind miteinander verbunden, wenn mindestens zwei Organisationen, die als “ausführende Stellen” genannt werden, aus diesen Regionen in einem gemeinsamen Projekt kooperieren. Der Einfachheit halber wird das Netzwerk binär definiert. Das bedeutet, es wird nicht betrachtet, wie häufig Organisationen aus zwei Regionen miteinander kooperieren, sondern lediglich, ob eine Kooperation zwischen den Regionen besteht, sofern mindestens zwei Organisationen beteiligt sind.

5.3.2 Die zentralsten Regionen

Die Netzwerkanalyse bietet vielfältige Möglichkeiten, die Strukturen von Netzwerken zu untersuchen. Im vorliegenden Fall liegt der Fokus jedoch darauf, diejenigen Regionen zu identifizieren, die für die interregionalen Wissensflüsse in den jeweiligen Themengebieten besonders relevant, also zentral, sind. Zudem werden wie bisher auch unterschiedliche Zeiträume berücksichtigt, um potenzielle Entwicklungen nachvollziehen zu können. Darüber hinaus wird das themenübergreifende Gesamtnetzwerk, das sich aus den Verbindungen aller Projekte im Förderkatalog ergibt, als Benchmark herangezogen, um die themenspezifischen Befunde besser einordnen zu können. Weiterhin wird auf die Beschreibung der Befunde für die *engen* Definition verzichtet, da sie keine maßgeblich anderen grundsätzlichen Erkenntnisse beinhalten. Die entsprechenden Tabellen finden sich im Anhang im Abschnitt 8.7.

In der Tabelle 16 sind die zentralen Regionen des Gesamtnetzwerks im Förderkatalog aufgeführt, basierend auf den Ergebnissen der Berechnung der Degree- und Betweenness-Zentralität. Diese beiden Maße liefern Informationen darüber, wie stark eine Region in das Netzwerk eingebunden ist (Degree-Zentralität) und wie wichtig sie für die Vermittlung zwischen anderen Regionen ist (Betweenness-Zentralität). Auffällig ist, dass Regionen wie Berlin, München (SK) und Stuttgart in beiden betrachteten Zeiträumen (2000-2005 und 2018-2024) besonders hervorstechen. Sie nehmen sowohl in der Degree- als auch in der Betweenness-Zentralität Spitzenpositionen ein, was darauf hinweist, dass diese Regionen konstant eine bedeutende Rolle im deutschen Forschungs- und Innovationsnetzwerk spielen. Über die Zeit gewinnen andere Regionen wie Aachen und Karlsruhe vor allem in der Betweenness-Zentralität an Bedeutung, was darauf hindeutet, dass diese zunehmend als wichtige Vermittler in Forschungskooperationen fungieren.

Im Bereich Digitalisierung (*weit*), wie in Tabelle 17 dargestellt, bleibt München (SK) eine der zentralsten Regionen. Es gibt jedoch einen stärkeren Wettbewerb mit Regionen wie Stuttgart, Berlin und Dresden, die ebenfalls hohe Zentralitätswerte aufweisen. Diese Verteilung verdeutlicht, dass die Digitalisierung in Deutschland nicht nur auf die größten Städte beschränkt ist, sondern sich über mehrere Regionen verteilt. Im Zeitraum 2018-2024 gewinnen auch Hamburg und Erlangen an Bedeutung, was auf eine breitere geografische Verteilung der Digitalisierungsinitiativen hinweist.

Ähnlich zeigt sich im Bereich der Dekarbonisierung (*weit*), wie in Tabelle 18 ersichtlich, dass Berlin und Aachen in beiden Zeiträumen führende Positionen einnehmen. Besonders hervorzuheben ist hier der starke Anstieg der Betweenness-Zentralität von München (SK) im Zeitraum 2018-2024, was auf die zunehmende Rolle dieser Region als Vermittler in Dekarbonisierungsprojekten hinweist. Während Berlin in beiden Zeiträumen weiterhin eine führende Rolle spielt, tritt Stuttgart in der Betweenness-Zentralität im zweiten Zeitraum hervor.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die zentrale Position einiger Regionen im Gesamtnetzwerk über die Zeit relativ stabil zu bleiben scheinen. Allerdings unterscheiden sich die spezifischen Netzwerke für Digitalisierung und Dekarbonisierung durchaus. Regionen, die im Gesamtnetzwerk führend sind, dominieren nicht zwangsläufig in diesen themenspezifischen Netzwerken, was auf eine zunehmende Spezialisierung und Differenzierung innerhalb der deutschen Forschungslandschaft hinweist.

Einen noch besseren Einblick in die temporale Stabilität der regionalen Zentralitäten in den entsprechenden Netzwerken geben die Korrelationsplots in Abbildung 25 und Abbildung 26. Sie zeigen die Korrelation der Zentralitätswerte der Degree-Zentralität (links) und der Betweenness-Zentralität (rechts) über vier verschiedene Zeiträume: 2000–2005, 2006–2011, 2012–2017 und 2018–2024 für die beiden *weiten* Definitionen der darunterliegenden Filter. Die entsprechenden Abbildungen für die *engen* Definitionen befinden sich im Anhang im Abschnitt 8.8, da sie sich von denen für die weiten Definitionen kaum unterscheiden.

Bei der Degree-Zentralität (links) zeigt sich eine relativ niedrige Stabilität in den frühen Perioden (2000–2005 im Vergleich zu späteren Zeiträumen). Dies deutet darauf hin, dass sich die zentralen Regionen im Netzwerk über die Zeit doch verändert haben. In den späteren Perioden (2012–2017 und 2018–2024) ist die Stabilität jedoch deutlich höher, mit Korrelationen von über 0,8 zwischen aufeinanderfolgenden Zeiträumen, was auf eine zunehmende Konsistenz der zentralen Regionen hinweist.

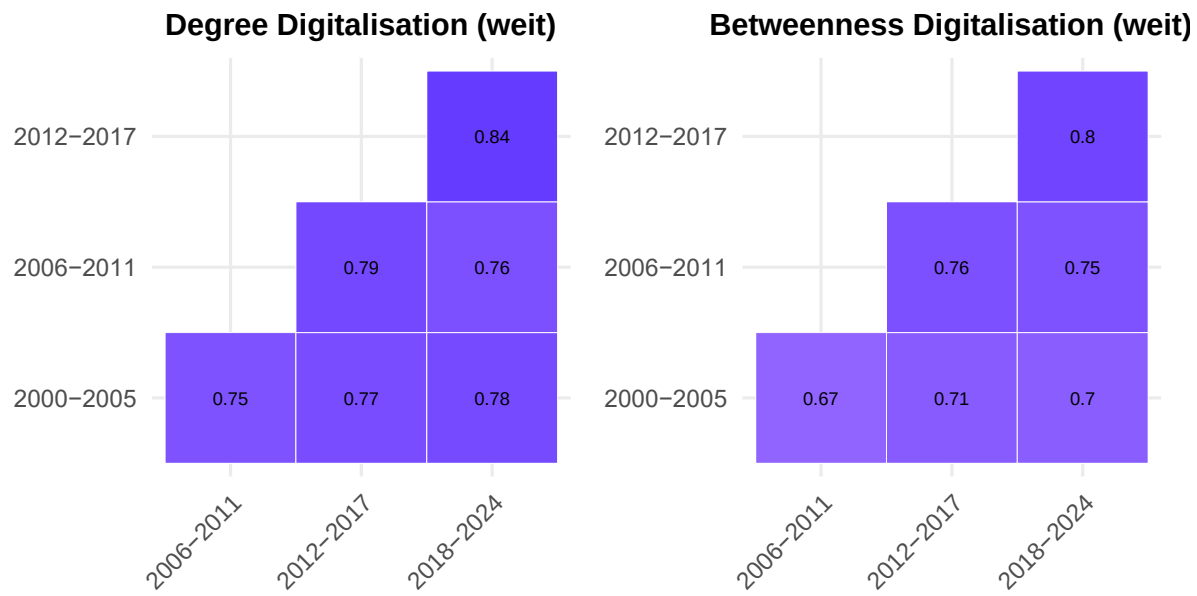


Abbildung 25: Temporale Stabilität Degree- und Betweenness-Zentralität, Digitalisierung

Die Betweenness-Zentralität (rechts) zeigt ein ähnliches Muster. In den frühen Jahren ist die Stabilität ebenfalls geringer. Die Korrelationen steigen jedoch in den späteren Perioden. Dies deutet ebenfalls darauf hin, dass die Bedeutung einzelner Regionen als zentrale Vermittler im Netzwerk zu Beginn der Periode schwankte, jedoch in den späteren Jahren eine größere Konstanz aufweist.

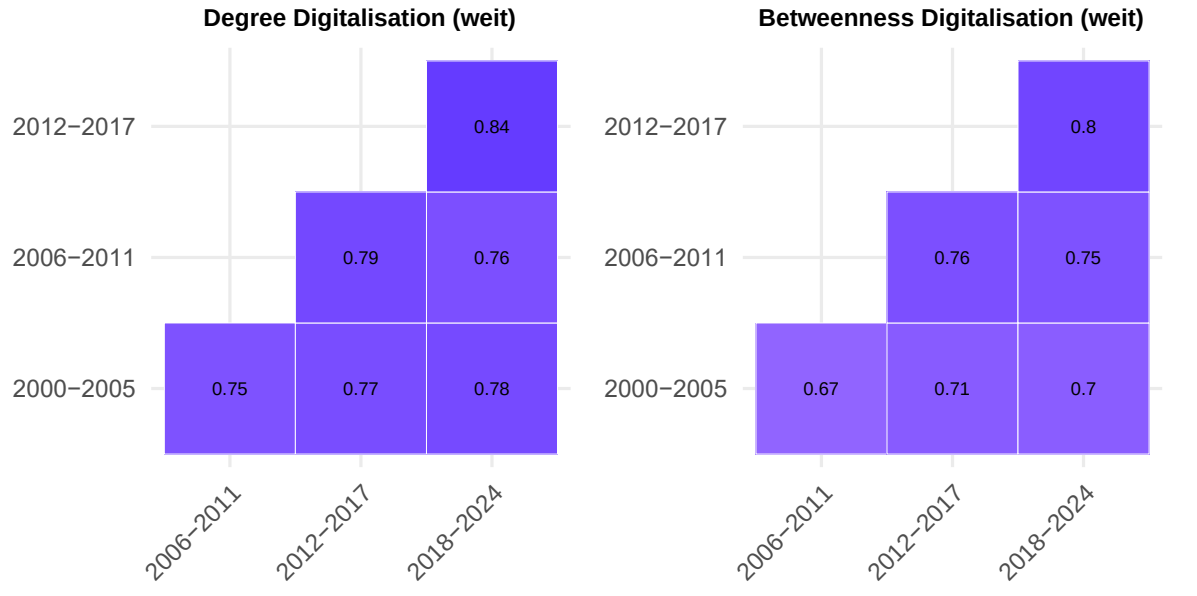


Abbildung 26: Temporale Stabilität Degree- und Betweenness-Zentralität, Dekarbonisierung

Insgesamt zeigen beide Plots, dass die zentralen Regionen sowohl in Bezug auf die Degree- als auch auf die Betweenness-Zentralität in den ersten Perioden variabler waren. Mit der Zeit stabilisieren sich die Netzwerke jedoch, insbesondere ab 2012, was auf eine zunehmende Festigung der Rolle bestimmter Regionen im Netzwerk hindeutet.

6 Schlussbetrachtung

Im Zentrum der Analyse stand die Entwicklung eines methodischen Vorgehens zur Identifikation und Kategorisierung von Projekten im Förderkatalog, die auf die Themenfelder Digitalisierung und Dekarbonisierung abzielen. Hierfür wurden zwei zentrale Filtermethoden entwickelt: ein *regex*-basierter Filter sowie ein auf der Leistungsplansystematik (LPS) basierender Ansatz. Beide Methoden wurden kombiniert, um eine umfassende und präzise Erfassung der relevanten Projekte zu gewährleisten. Der *regex*-Filter ermöglichte die Identifikation von Projekten auf Basis textbasierter Muster in den Projekttiteln und -beschreibungen, während der LPS-basierte Filter systematische Klassifikationen berücksichtigte, um gezielt Projekte in spezifischen Förderbereichen auszuwählen.

Aufbauend auf der Kombination der beiden Filter wurde der Förderkatalog systematisch in Bezug auf die Themen Digitalisierung und Dekarbonisierung analysiert. Dabei wurden insbesondere folgende Analysen durchgeführt:

Temporale Analyse: Die Entwicklung der Fördermaßnahmen wurde über mehrere Zeitperioden hinweg betrachtet. Es zeigte sich, dass die Zahl der geförderten Digitalisierungsprojekte kontinuierlich anstieg, insbesondere ab dem Jahr 2012, was auf die wachsende Bedeutung digitaler Technologien hinweist.

Sektorale Verteilung: Die Förderprojekte wurden nach sektoralen Schwerpunkten untersucht, um zu analysieren, welche Sektoren in den Themen Digitalisierung und Dekarbonisierung besonders gefördert wurden. Dabei zeigte sich, dass die Privatwirtschaft, insbesondere im Bereich der Digitalisierung, ab 2012 weniger stark einbezogen wurde, während sie im Bereich Dekarbonisierung eine zunehmend zentralere Rolle einnimmt.

Wirtschaftszweigverteilung: Die Analyse zeigt Unterschiede zwischen den förderrelevanten Wirtschaftszweigen im Bereich der Digitalisierung und der Dekarbonisierung auf. Im Bereich der Digitalisierung sind es vor allem Dienstleistungen der Informationstechnologie (WZ 620), die Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten (WZ 260) und das Verlagswesen (einschließlich Software, WZ 580). Im Bereich der Dekarbonisierung konzentriert sie sich stärker auf den Maschinenbau (WZ 280), die chemische Industrie (WZ 200) und die Herstellung von elektrischen Ausrüstungen (WZ 270).

Räumliche Verteilung: Die geografische Verteilung der geförderten Projekte wurde analysiert. Dabei wurde untersucht, welche Regionen besonders von den Förderprogrammen profitiert haben und ob eine regionale Konzentration der Förderung erkennbar ist. Die Analyse ergab, dass sich Digitalisierungsprojekte überwiegend auf urbane, industriell geprägte Regionen konzentrieren, während Dekarbonisierungsprojekte vermehrt in ländlichen Gebieten durchgeführt werden.

Analyse des Urbanisierungsgrades: Die Untersuchung der urbanen Konzentration von Projekten ging der Frage nach, ob größere städtische Gebiete tendenziell mehr Projekte und Fördermittel erhalten haben. Die Ergebnisse zeigten, dass urbanisierte Regionen proportional mehr Digitalisierungsprojekte und überproportional mehr Fördermittel in diesem Bereich erhielten, während der Einfluss auf Dekarbonisierungsprojekte weniger stark ausgeprägt war.

Kooperationsanalyse: Der Anteil kooperativer Projekte wurde thematisch und zeitlich untersucht. Die Analyse ergab, dass insbesondere im Bereich der Digitalisierung kooperative Projekte die Norm darstellen, während der Anteil kooperativer Projekte im Bereich Dekarbonisierung teilweise unter dem Durchschnitt aller Projekte im Förderkatalog liegt und in den letzten Jahren sogar gesunken ist.

Netzwerkanalyse: Eine Netzwerkanalyse untersuchte die interregionalen Wissensflüsse und identifizierte zentrale Regionen, die als Knotenpunkte für den Wissenstransfer fungieren. Die Analyse zeigte, dass es eine relativ stabile Gruppe wirtschaftlich starker oder großer Regionen gibt, die in beiden Themenbereichen die zentralsten Positionen in den Netzwerken einnehmen.

Zusammenfassend bietet der Bericht eine umfassende Analyse der Förderung von Digitalisierungs- und Dekarbonisierungsprojekten. Die Anwendung mehrerer Filtermethoden sowie die Berücksichtigung geografischer und sektoraler Aspekte ermöglichen eine präzise Bewertung der Entwicklungen. Zukünftige Analysen könnten von einer stärkeren Unterscheidung zwischen forschungs- und nicht forschungsorientierten Projekten sowie von einer vertieften textbasierten Analyse profitieren.

7 Literatur

Bednarz, M., & Broekel, T. (2019). The relationship of policy-induced R&D networks and inter-regional knowledge diffusion. *Journal of Evolutionary Economics, 29*(5), 1459–1481. https://doi.org/10.1007/s00191-019-00621-2

Bettencourt, L. M. A. (2013). The origins of scaling in cities. *Science, 340*(6139), 1438–1441. https://doi.org/10.1126/science.1235823

Broekel, T. (2015). Do cooperative R&D subsidies stimulate regional innovation efficiency? Evidence from Germany. *Regional Studies, 49*(7), 1087–1110.

Broekel, T., & Graf, H. (2012). Public research intensity and the structure of German R&D networks: A comparison of 10 technologies. *Economics of Innovation and New Technology, 21*(4), 345–372.

Broekel, T., Brachert, M., Duschl, M., & Brenner, T. (2017). Joint R&D subsidies, related variety, and regional innovation. *International Regional Science Review, 40*(3), 297–326. https://doi.org/10.1177/0160017615589007

Broekel, T., & Hartog, M. (2013). Determinants of cross-regional R&D collaboration networks: An application of exponential random graph models. In T. Scherngell (Ed.), *The Geography of Networks and R&D Collaborations* (pp. 49–70). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02699-2

Czarnitzki, D., Doherr, T., Fier, A., Licht, G., Rammer, C., & Niggemann, H. (2002). Öffentliche Förderung der Forschungs- und Innovationsaktivitäten von Unternehmen in Deutschland. *ZEW Discussion Paper No. 02-63*.

Czarnitzki, D., Ebersberger, B., & Fier, A. (2007). The relationship between R&D collaboration, subsidies, and R&D performance: Empirical evidence from Finland and Germany. *Journal of Applied Econometrics, 22*(7), 1347–1366. https://doi.org/10.1002/jae

Fornahl, D., Broekel, T., & Boschma, R. A. (2011). What drives patent performance of German biotech firms? The impact of R&D subsidies, knowledge networks, and their location. *Papers in Regional Science, 90*(2), 395–418. https://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2011.00361.x

Mewes, L., & Broekel, T. (2020). Subsidized to change? The impact of R&D policy on regional technological diversification. *Annals of Regional Science.* https://doi.org/10.1007/s00168-020-00981-9

Uzzi, B. (1996). The sources and consequences of embeddedness for the economic performance of organizations: The network effect. *American Sociological Review, 61*(4), 674–698.

8 Anhang

8.1 Methodik: regx-Filter Digitalisierung

Original regex-Filter Digitalisierung: “digital” UND (“Kommunikation” ODER “Information” ODER “Übertragung” ODER “Verarbeitung” ODER “Comput*”), “Computertechnologie”, “Kommunikationstechnologie”, “Informationstechnologie”, “Mikroelektronik”, “Nanoelektronik”, “Optoelektronik”, “Quantencomputing”, “Edge Computing”, “Internet der Dinge”, “Nahfeldkommunikation”, “Satellitenkommunikation”, “Funklokalisierung”, “Verkehrskontrolltechnologie”, “Datenmanagement”, “Datenanalyse”, “Datamining”, “Textmining”, “Künstliche Intelligenz”, “Deep Learning”, “Neuronale Netze”, “Maschinelles Lernen”, “Krypto” UND “Technologie”, “Netzwerksicherheit”

Neuer regex-Filter Digitalisierung (weite Definition): “digital*” UND (“Kommunikation*” ODER “Information*” ODER “Übertragung” ODER “Verarbeitung” ODER “Computer*”), *”Computertechnik*”, ”Kommunikationstechnik*”, ”Informationstechnik*”, ”Mikroelektronik”, ”Nanoelektronik”, ”Optoelektronik”, ”EDV”, ”IKT”, ”Elektronische Datenverarbeitung”, ”Cyber*”, ”Informations- und Kommunikation”, ”Informationswirtschaft”, ”Computernutzung”, ”IT-Sicherheit”, ”IT-Dienstleistungen”, ”Telekommunikation”, ”Telearbeit”, ”Telematik”, ”Multimedia”, ”Informationsgesellschaft”, ”Informationsdienst”, ”Virtuell”, ”Elektronisch”, ”Digitale Medien”, ”Internet”, ”Datenverarbeitung”, ”IuK-Technologien”, ”PC”, ”Software”, ”Fernzugriff”, ”Internetverbindung”, ”Teleservice”, ”Medienkompetenz”, ”Zugangstechnologien”, ”5G”, ”UMTS”, ”GSM”, ”3G”, ”Glasfaser”, ”Breitband”, ”Modem”, ”Optische Netzwerke”, ”Drahtloses Netzwerk”, ”Digitaler Wandel”, ”Datensicherheit”, ”Systemsicherheit”, ”Softwarebasiert”, ”Multimedia-Terminal”, ”Endgerät”, ”Datenübertragung”, ”Kommunikationsnetz”, ”VERNET”, ”Ethernet”, ”Mobiltelefon”, ”IT”, ”LAN”, ”WLAN”, ”Quantencomputing”, ”Edge Computing”, ”Internet der Dinge”, ”Nahfeldkommunikation”, ”Satellitenkommunikation”, ”Funklokalisierung”, ”Verkehrskontrolltechnologie”, ”Datenmanagement”, ”Datenanalyse”, ”Datamining”, ”Textmining”, ”Künstliche Intelligenz”, ”Deep Learning”, ”Neuronale Netze”, ”Maschinelles Lernen”, ”Krypto*” UND ”Technologie*”*, “Netzwerksicherheit”

Neuer regex-Filter Digitalisierung (enge Definition): “digital*” UND (“Kommunikation*” ODER “Information*” ODER “Verarbeitung” ODER “Computer*”), “Elektronische Datenverarbeitung”, “Cyber*”, “Datenmanagement”, “Datenanalyse”, “Datenverarbeitung”, “Digitale Medien”, “Virtuell”, “Multimedia”, “Software”, “Textmining”, “Datamining”, “Künstliche Intelligenz”, “Deep Learning”, “Neuronale Netze”, “Maschinelles Lernen”, “Internet”, “IuK-Technologien”, “IKT”, “Internet der Dinge”, “Digitaler Wandel”, “Fernzugriff”, “Medienkompetenz”, “Krypto*” UND “Technologie*”

8.2 Methodik: regx-Filter Dekarbonisierung

Originaler regex-Filter Dekarbonisierung: “Dekarbonisierung”, “niedrig-kohlenstoff”, “Klimawandel”, “Treibhausgasemissionen”, “grüne Energie”, “erneuerbare Energie”, “Energieeffizienz”, “Kohlenstoff”, “Solarenergie”, “Windenergie”, “Geothermie”,

“Kreislaufwirtschaft”, “Verschmutzung” UND (“Kontrolle” ODER “Reduzierung” ODER “Minderung”)

Neuer regex-Filter Dekarbonisierung (weite Definition): “Dekarbonisierung” ODER “kohlenstoffarm” ODER “Klimawandel” UND (“Minderung” ODER “Anpassung”), “Treibhausgasemissionen” UND (“Reduktion” ODER “Minderung” ODER “Erfassung” ODER “Speicherung” ODER “Sequestrierung” ODER “Entsorgung”), “grüne Energie”, “saubere Energie”, “erneuerbare Energie”, “Energieeffizienz”, “Kohlenstoff” UND (“Erfassung” ODER “Speicherung” ODER “Sequestrierung” ODER “Entsorgung”), “Null-Emission”, “Solarenergie”, “Windenergie”, “Geothermie”, “Wasserstoff*”, “LED”, “Beleuchtung”, “energiespar*”, “Umweltschutz*”, “Abfallvermeidung”, “Energiepolitik”, “Energieversorgung”, “Atomausstieg”, “Umweltfreundlich*”, “Naturschutz”, “NKI”, “CO2-Emissionsreduktion”, “CO2”, “Emissionsreduktion”, “stromspar*”, “Klimaschutz*”, “Kraft-Wärme-Kopplung”, “KWK”, “Wärmepumpe”, “Klimaschutzmanagement”, “Nachhaltig*”, “EDL-Richtlinie”, “Endenergieeffizienz”, “Kyoto-Protokoll”, “Kyoto”, “Treibhausgase”, “HFCS”, “Energiewirtschaft”, “Ressourceneffizienz*”, “Rohstoffeffizienz”, “Nachhaltigkeitsstrategie”, “Agenda 21”, “Methan”, “Energiemix”

Neuer regex-Filter Dekarbonisierung (enge Definition): “Dekarbonisierung” ODER “kohlenstoffarm” ODER “Klimawandel” UND (“Minderung” ODER “Anpassung”), “Treibhausgasemissionen” UND (“Reduktion” ODER “Minderung” ODER “Erfassung” ODER “Speicherung” ODER “Sequestrierung” ODER “Entsorgung”), “grüne Energie”, “saubere Energie”, “erneuerbare Energie”, “Kohlenstoff” UND (“Erfassung” ODER “Speicherung” ODER “Sequestrierung” ODER “Entsorgung”), “Null-Emission”, “Solarenergie”, “Windenergie”, “Geothermie”, “Wasserstoff*”, “Nationale Klimaschutzinitiative”, “NKI”, “CO2-Emissionsreduktion”, “Klimaschutz*”, “CO2”, “Emissionsreduktion”, “Kraft-Wärme-Kopplung”, “KWK”, “Wärmepumpe”, “EDL-Richtlinie”, “Kyoto-Protokoll”, “Kyoto”, “Treibhausgase”, “HFCS”, “Nachhaltigkeitsstrategie”, “Agenda 21”, “Methan”, “Energiemix”

8.3 Methodik: Sektorale Klassifikation

Um einen Überblick über die sektorale Verteilung der Projektförderung zu erhalten, wird häufig auf die sogenannte *STESYS* zurückgegriffen. Die *STESYS* ist Teil des PROFI-Systems (Projektförder-Informationssystem), das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und anderen Bundesministerien verwendet wird, um die Verwaltung von Förderprojekten effizient zu unterstützen. Ihre Hauptfunktion besteht darin, Zuwendungsempfänger und ausführende Stellen entsprechend ihrer primären Tätigkeit zu klassifizieren. Genauer gesagt kombiniert die *STESYS* eine Klassifizierung nach Wirtschaftszweigen mit einer Sektorkomponente, die zwischen Hochschulforschung, außeruniversitärer Forschung, privatwirtschaftlicher Forschung und sonstigen Akteuren unterscheidet. Bei manueller Überprüfung hat sich die Sektorkomponente als sehr unverlässlich herausgestellt, sodass ein alternativer Ansatz gewählt wurde. Genauer gesagt, lässt sich eine Variante der Sektorkomponente, basierend auf den öffentlich zugänglichen Informationen, rekonstruieren. Dazu wurde ein einfaches regex-Filterverfahren verwendet, das auf die Namen der Zuwendungsempfänger angewendet wird, um die Sektorklassifizierung abzubilden. Dieses Verfahren orientiert sich am Gedanken der *STESYS* und basiert auf folgenden Filtern:

1. **Wirtschaft** Dieser Regex-Filter identifiziert privatwirtschaftlich orientierte Projektteilnehmer, indem er nach rechtlichen Unternehmensformen wie „AG", „Aktiengesellschaft", „GmbH", „KG" oder „Co." sucht. Ein besonderes Augenmerk liegt auf dem Ausschlusskriterium „gemeinnützig", um sicherzustellen, dass gemeinnützige Organisationen, die ähnliche Rechtsformen haben könnten, nicht fälschlicherweise als Firmen klassifiziert werden. Der Regex-Filter lautet: *(!gemeinnützig)(ag|co|kg|aktiengesellschaft|gmbh*.
2. **Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen** Dieser Filter richtet sich an große außeruniversitäre Forschungseinrichtungen in Deutschland, wie die Max-Planck-, Fraunhofer-, Helmholtz- und Leibniz-Gesellschaften. Diese Institutionen spielen eine zentrale Rolle in der Forschungslandschaft und sind klar von Hochschulen abzugrenzen. Begriffe wie „Leibniz-Institut" oder „Forschungszentrum" dienen zur eindeutigen Identifizierung solcher Einrichtungen. Zusätzlich wird der Ausdruck „an der Universität" berücksichtigt, um Kooperationsprojekte mit Universitäten zu erfassen, die dennoch primär außeruniversitären Einrichtungen zuzuordnen sind. Der Regex-Filter lautet: *planck|fraunhofer|helmholtz|leibniz-institut|leibniz institut|forschungszentrum|an der universität|institut*.
3. **Hochschulen** Für diesen Filter werden Begriffe wie „Universität", „Hochschule" und „Fachhochschule" verwendet, um diese klar von außeruniversitären Einrichtungen abzugrenzen. Der Ausdruck „an der Universität" wird ausgeschlossen, um Verwechslungen mit Kooperationsprojekten zwischen Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen zu vermeiden. Der Regex-Filter lautet: *(?!an der universität)(universität|hochschule|fachhochschule)*.
4. **Sonstiges** Diese Kategorie umfasst alle Projektteilnehmer, die keiner der oben genannten Gruppen zuzuordnen sind.

Diese Filter bieten eine einfache und effektive Möglichkeit, Zuwendungsempfänger in verschiedene Sektoren einzuordnen, basierend auf öffentlich zugänglichen Informationen, und spiegeln den ursprünglichen Ansatz der *STESYS* in vereinfachter Form wider. Manuelle Überprüfungen haben eine sehr hohe Treffergenauigkeit ergeben.

8.4 Methodik: TF-IDF-Verfahren

Für die Erstellung der Wordclouds wurde das sogenannte TF-IDF-Verfahren („Term Frequency-Inverse Document Frequency") verwendet. Dabei handelt es sich um eine Methode, die nicht nur betrachtet, wie oft ein Begriff in einer Kategorie vorkommt, sondern auch, wie relevant dieser Begriff im Vergleich zu einem allgemeinen Referenzrahmen ist.

Konkret wurden die Begriffe in den Kategorien „Digitalisierung" und „Dekarbonisierung" zunächst gezählt (Term Frequency, TF). Dies zeigt, wie häufig ein Begriff in einer bestimmten Klasse vorkommt. Im nächsten Schritt wurde überprüft, wie oft der gleiche Begriff in anderen Texten oder Projekten vorkommt (Inverse Document Frequency, IDF). Ein Begriff, der in vielen Projekten vorkommt, erhält eine geringere Gewichtung, da er als weniger spezifisch und weniger informativ für die jeweilige Kategorie gilt.

Durch die Kombination dieser beiden Werte ergibt sich der TF-IDF-Wert, der aufzeigt, welche Begriffe besonders charakteristisch für die Kategorie „Digitalisierung" oder „Dekarbonisierung" sind, indem er die relative Bedeutung gegenüber dem Gesamtbestand an Projekten herausstellt. In den Wordclouds werden daher Begriffe besonders groß dargestellt, die innerhalb ihrer Klasse häufig vorkommen, aber im Vergleich zu allen anderen Projekten besonders einzigartig und relevant sind.

8.5 Methodik: Scaling Regression

Hierfür wurde eine log-log Regression verwendet, die im Bereich der Urban Scaling Literatur ein beliebtes Modell ist, um ähnliche Sachverhalte zu überprüfen (Bettencourt (2013)). Diese Methode zeigt auf, wie eine prozentuale Änderung der Bevölkerungsgröße mit einer prozentualen Änderung einer anderen Kennzahl, z.B. der Anzahl an geförderten Projekten, verknüpft ist. Praktisch werden dabei die Werte zweier Variablen log-transformiert und mittels einer einfachen linearen Regression auf eine mögliche Korrelation hin getestet. Wenn der berechnete Steigungskoeffizient größer als ein ist, deutet dies darauf hin, dass größere Regionen überproportional höhere Werte in der Kennzahl aufweisen, z.B. mehr Projekte erhalten. Ein Koeffizient kleiner als ein weist hingegen darauf hin, dass kleinere Regionen relativ zur Bevölkerungsgröße überproportional höhere Werte haben. Da es sich um ein bivariates Verfahren handelt, wird eine individuelle Regression für jeweils eine Variablenkombination durchgeführt.

8.6 Zusätzliche Abbildungen zur räumlichen Verteilung

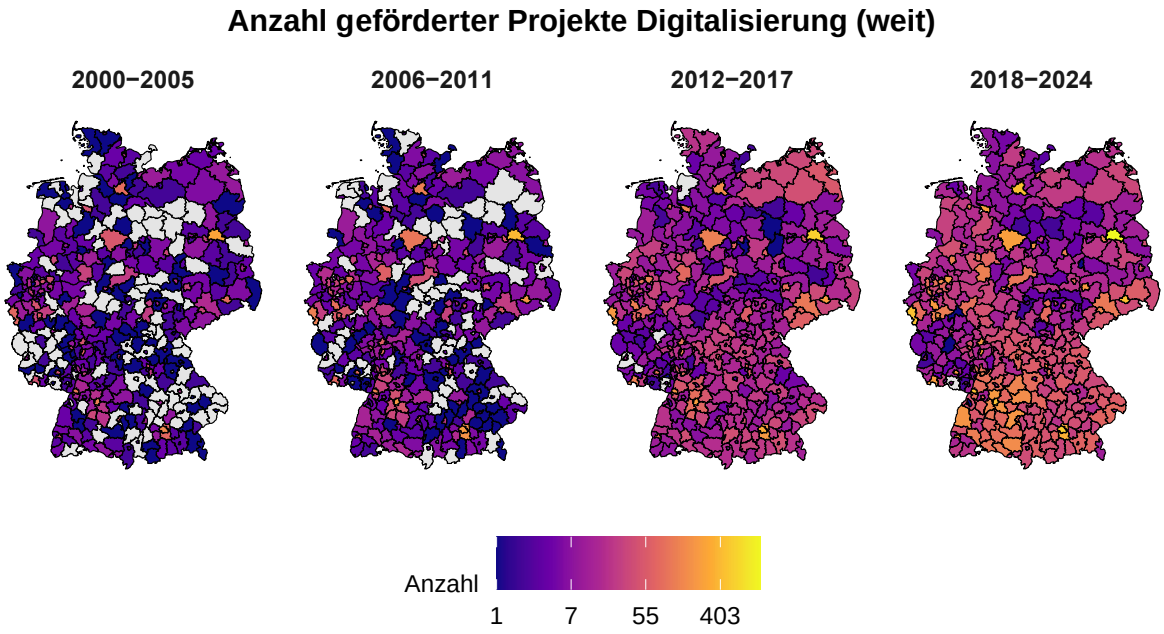


Abbildung 27: Räumliche Verteilung Projekte zur Digitalisierung (weit)

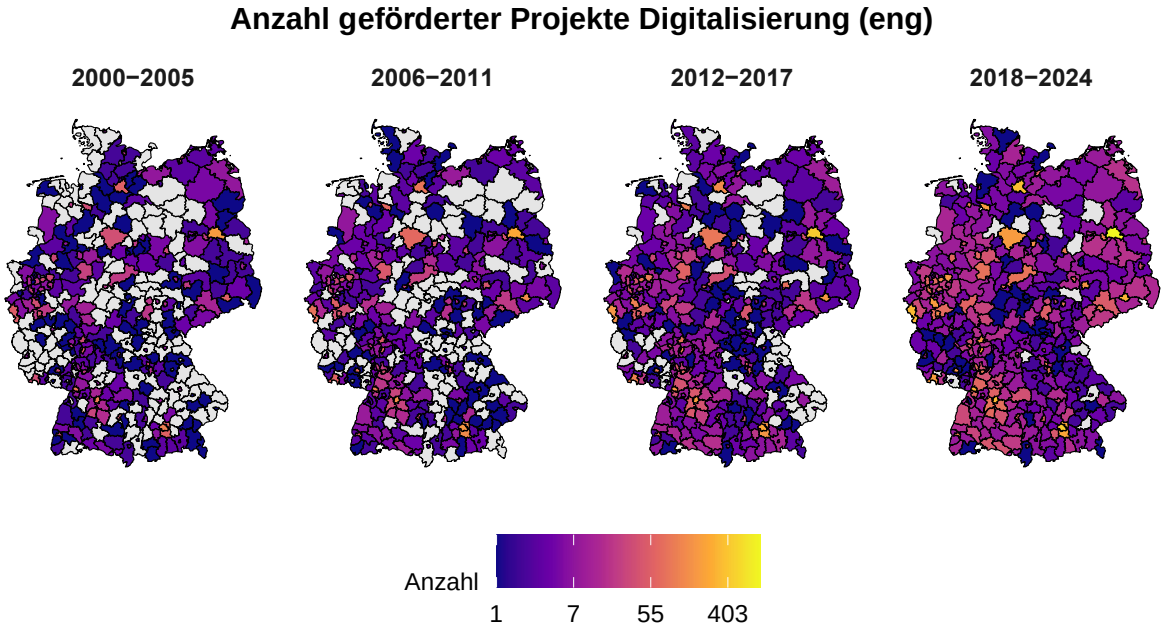


Abbildung 28: Räumliche Verteilung Projekte zur Digitalisierung (eng)

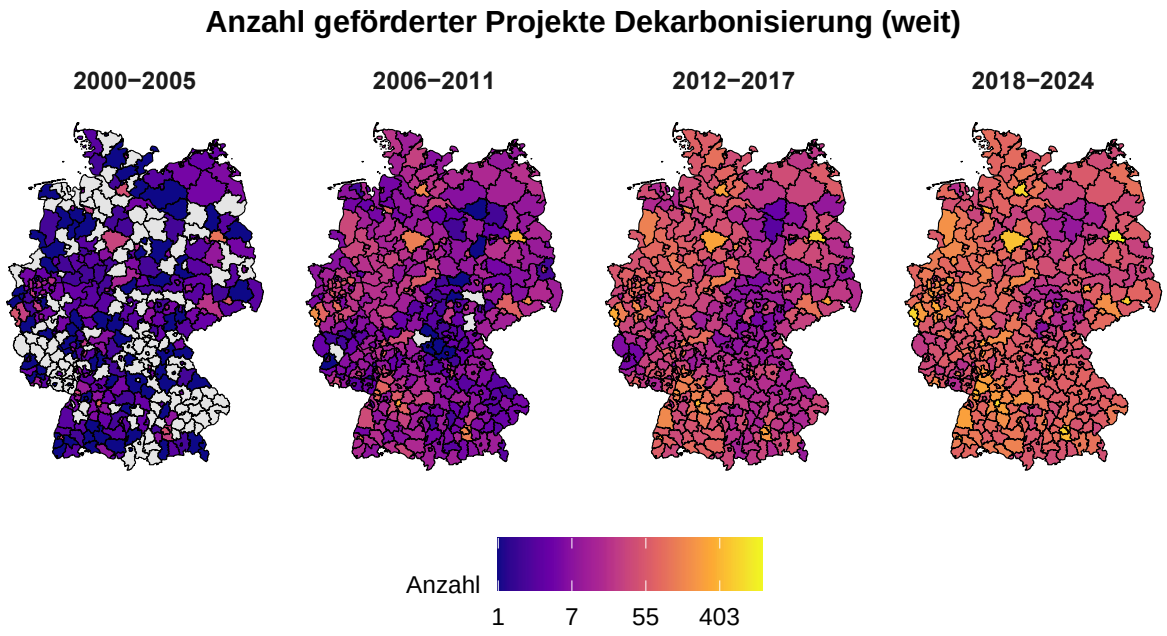


Abbildung 29: Räumliche Verteilung Projekte zur Dekarbonisierung (weit)

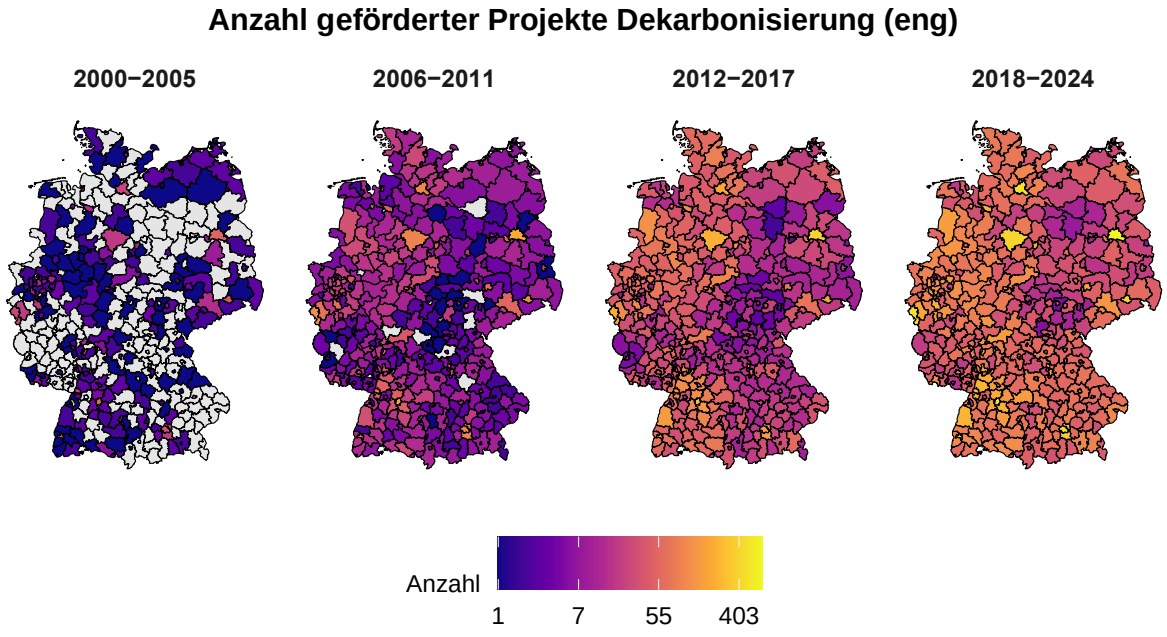


Abbildung 30: Räumliche Verteilung Projekte zur Dekarbonisierung (eng)

8.7 Zusätzliche Tabellen

Periode	*WZweig*	*Name*	*Anzahl Proj.*	*Summe in EUR*
2000-2005	260	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	196	256470680
2000-2005	580	Verlagswesen (einschl. Software)	134	49828051
2000-2005	280	Maschinenbau	93	54359991
2000-2005	620	Erbringung von Dienstleistungen der Informationstechnologie	81	27262974
2000-2005	270	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	78	64237155
2006-2011	260	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	346	287962053
2006-2011	580	Verlagswesen (einschl. Software)	246	81198014
2006-2011	620	Erbringung von Dienstleistungen der Informationstechnologie	246	115627312
2006-2011	280	Maschinenbau	153	72924161
2006-2011	270	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	122	96299150
2012-2017	620	Erbringung von Dienstleistungen der Informationstechnologie	455	137460785
2012-2017	260	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	379	215050119
2012-2017	580	Verlagswesen (einschl. Software)	199	53667675
2012-2017	280	Maschinenbau	196	79343571
2012-2017	270	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	138	78539192
2018-2024	620	Erbringung von Dienstleistungen der Informationstechnologie	1111	349712379
2018-2024	260	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	474	348472232
2018-2024	280	Maschinenbau	232	87409800
2018-2024	580	Verlagswesen (einschl. Software)	190	56260743
2018-2024	630	Informationsdienstleistungen	182	64254986

Tabelle 8: Förderung nach Wirtschaftszweigen, Top-5, Digitalisierung (weit)

Periode	*WZweig*	*Name*	*Anzahl Proj.*	*Summe in EUR*
2000-2005	260	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	123	174492438
2000-2005	580	Verlagswesen (einschl. Software)	122	47909573
2000-2005	620	Erbringung von Dienstleistungen der Informationstechnologie	68	24366226
2000-2005	280	Maschinenbau	62	37040074
2000-2005	270	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	47	36871732
2006-2011	580	Verlagswesen (einschl. Software)	213	74801521
2006-2011	260	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	201	145372358
2006-2011	620	Erbringung von Dienstleistungen der Informationstechnologie	197	95883813
2006-2011	280	Maschinenbau	99	48835307
2006-2011	630	Informationsdienstleistungen	78	19984481
2012-2017	620	Erbringung von Dienstleistungen der Informationstechnologie	391	121194230
2012-2017	260	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	273	140331678
2012-2017	580	Verlagswesen (einschl. Software)	185	50299253
2012-2017	280	Maschinenbau	159	63474155
2012-2017	270	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	98	44850823
2018-2024	620	Erbringung von Dienstleistungen der Informationstechnologie	978	286079407
2018-2024	260	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	333	189927326
2018-2024	280	Maschinenbau	180	68369272
2018-2024	580	Verlagswesen (einschl. Software)	165	50615024
2018-2024	630	Informationsdienstleistungen	152	54317683

Tabelle 9: Förderung nach Wirtschaftszweigen, Top-5, Digitalisierung (eng)

Periode	*WZweig*	*Name*	*Anzahl Proj.*	*Summe in EUR*
2000-2005	240	Metallerzeugung und bearbeitung	37	9066900
2000-2005	280	Maschinenbau	31	11844040
2000-2005	260	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	24	7049480
2000-2005	200	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	23	9906222
2000-2005	710	Architektur und Ingenieurbüros, technische, physikalische und chemische Untersuchung	20	6979342
2006-2011	260	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	152	114121979
2006-2011	280	Maschinenbau	143	53807587
2006-2011	200	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	98	84498411
2006-2011	270	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	94	102685519
2006-2011	710	Architektur und Ingenieurbüros, technische, physikalische und chemische Untersuchung	78	17313929
2012-2017	260	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	166	97132275
2012-2017	280	Maschinenbau	131	50702016
2012-2017	270	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	109	66169679
2012-2017	710	Architektur und Ingenieurbüros, technische, physikalische und chemische Untersuchung	88	18428934
2012-2017	200	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	83	41723558
2018-2024	280	Maschinenbau	209	149502671
2018-2024	260	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	164	98950752
2018-2024	200	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	155	95342556
2018-2024	620	Erbringung von Dienstleistungen der Informationstechnologie	126	44483208
2018-2024	270	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	124	60793298

Tabelle 10: Förderung nach Wirtschaftszweigen, Top-5, Dekarbonisierung (weit)

Periode	*WZweig*	*Name*	*Anzahl Proj.*	*Summe in EUR*
2000-2005	260	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	9	2813977
2000-2005	280	Maschinenbau	9	4106032
2000-2005	200	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	5	3627514
2000-2005	270	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	4	1362628
2000-2005	710	Architektur und Ingenieurbüros, technische, physikalische und chemische Untersuchung	4	1822122
2006-2011	280	Maschinenbau	79	29539229
2006-2011	260	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	72	57878347
2006-2011	200	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	61	51934303
2006-2011	270	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	49	30115668
2006-2011	710	Architektur und Ingenieurbüros, technische, physikalische und chemische Untersuchung	36	6682627
2012-2017	260	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	85	45263765
2012-2017	280	Maschinenbau	71	32057296
2012-2017	270	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	70	41134465
2012-2017	290	Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen	56	43464262
2012-2017	200	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	42	26944221
2018-2024	280	Maschinenbau	137	125434939
2018-2024	200	Herstellung von chemischen Erzeugnissen	102	62424284
2018-2024	270	Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	99	48550346
2018-2024	260	Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	82	53843290
2018-2024	350	Energieversorgung	54	81132360

Tabelle 11: Förderung nach Wirtschaftszweigen, Top-5, Dekarbonisierung (eng)

Rang	*Region*	*Projekte insgs.*	*Anzahl Proj. Thema*	*Summe Thema*	*Anteil Proj. Thema*
1	Schwäbisch Hall	213	134	251575921	62.91
2	Alb-Donau-Kreis	332	197	794763867	59.34
3	Tirschenreuth	108	56	30904727	51.85
4	Neustadt a. d. Aisch	117	57	17420577	48.72
5	Sigmaringen	197	89	209887785	45.18
6	Dillingen a.d. Donau	83	37	22526914	44.58
7	Pforzheim	149	64	175212484	42.95
8	Kronach	104	44	22245296	42.31
9	Rottal-Inn	166	70	55469859	42.17
10	Kaiserslautern (SK)	548	227	335626245	41.42
392	Kleve	176	5	1144211	2.84
393	Baden-Baden	36	1	153252	2.78
394	Trier-Saarburg	74	2	249582	2.70
395	Südliche Weinstraße	90	2	910150	2.22
396	Dessau-Roßlau	59	1	149976	1.70
397	Altenkirchen (Westerwald)	66	1	114565	1.52
398	Celle	134	2	333076	1.49
399	Rhein-Hunsrück-Kreis	70	1	334854	1.43
400	Delmenhorst	13	0	0	0.00
401	Südwestpfalz	33	0	0	0.00

Tabelle 12: Top-10 und Bottom-10 Regionen für Digitalisierung (weit)

Rang	*Region*	*Projekte insgs.*	*Anzahl Proj. Thema*	*Summe Thema*	*Anteil Proj. Thema*
1	Kaiserslautern (SK)	548	166	154885554	30.29
2	Frankenthal (Pfalz)	27	8	6701416	29.63
3	Regionalverband Saarbrücken	675	193	151180646	28.59
4	Darmstadt	933	218	173522055	23.37
5	Frankfurt (Oder)	110	24	24037700	21.82
6	Ilm-Kreis	249	53	39639309	21.29
7	Dortmund	806	171	134439702	21.22
8	Oldenburg (Oldenburg)	505	107	77593280	21.19
9	Magdeburg	477	100	66382672	20.96
10	Lübeck	304	63	47696318	20.72
392	Celle	134	0	0	0.00
393	Lüchow-Dannenberg	44	0	0	0.00
394	Delmenhorst	13	0	0	0.00
395	Grafschaft Bentheim	95	0	0	0.00
396	Wittmund	29	0	0	0.00
397	Südwestpfalz	33	0	0	0.00
398	Neunkirchen	57	0	0	0.00
399	Altmarkkreis Salzwedel	51	0	0	0.00
400	Jerichower Land	43	0	0	0.00
401	Burgenlandkreis	67	0	0	0.00

Tabelle 13: Top-10 und Bottom-10 Regionen für Digitalisierung (eng)

Rang	*Region*	*Projekte insgs.*	*Anzahl Proj. Thema*	*Summe Thema*	*Anteil Proj. Thema*
1	Kusel	59	40	2082908	67.80
2	Bad Kreuznach	110	74	2299116	67.27
3	Herford	137	91	10843293	66.42
4	Friesland (DE)	67	44	5917292	65.67
5	Harburg	116	76	7942314	65.52
6	Wittmund	29	19	6996016	65.52
7	Germersheim	87	57	20445183	65.52
8	Cuxhaven	104	68	10054559	65.38
9	Olpe	138	90	7216450	65.22
10	Neunkirchen	57	37	3103646	64.91
392	Würzburg (SK)	590	117	51231948	19.83
393	Kiel	753	147	175821747	19.52
394	Potsdam	796	153	80075941	19.22
395	Lübeck	304	57	33403249	18.75
396	Frankfurt a.M.	1597	274	293794934	17.15
397	Mainz	512	74	63050620	14.45
398	Heidelberg	652	93	25890924	14.26
399	Bonn	1140	156	166447992	13.68
400	Frankfurt (Oder)	110	14	10833045	12.72
401	Jena	695	83	57331415	11.94

Tabelle 14: Top-10 und Bottom-10 Regionen für Dekarbonisierung (weit)

Rang	*Region*	*Projekte insgs.*	*Anzahl Proj. Thema*	*Summe Thema*	*Anteil Proj. Thema*
1	Bad Kreuznach	110	71	1876308	64.54
2	Kusel	59	38	1984897	64.40
3	Olpe	138	88	7059105	63.76
4	Rhein-Pfalz-Kreis	71	45	2487085	63.38
5	Wittmund	29	18	3996006	62.06
6	Germersheim	87	54	20385587	62.06
7	Herford	137	82	9414552	59.85
8	Friesland (DE)	67	40	5215630	59.70
9	Celle	134	79	15978703	58.95
10	Ostholstein	102	60	6734488	58.82
392	Berlin	6091	709	524878520	11.64
393	Potsdam	796	92	45335807	11.55
394	Osnabrück (SK)	385	44	31686033	11.42
395	Bielefeld	418	44	10337182	10.52
396	Frankfurt a.M.	1597	164	165516664	10.26
397	Mainz	512	44	29953130	8.59
398	Heidelberg	652	52	13560136	7.97
399	Bonn	1140	84	73215414	7.36
400	Jena	695	47	27197570	6.76
401	Frankfurt (Oder)	110	7	339552	6.36

Tabelle 15: Top-10 und Bottom-10 Regionen für Dekarbonisierung (eng)

2000–2005	*Degree*	*2018–2024*	*Degree*	*2000–2005*	*Betweenness*	*2018–2024*	*Betweenness*
München (SK)	226	Berlin	366	München (SK)	3115.130	Berlin	2855.1594
Berlin	246	München (SK)	338	Berlin	4273.267	München (SK)	1800.8313
Stuttgart	225	München (LK)	307	Stuttgart	3408.593	München (LK)	1276.8868
München (LK)	180	Dresden	349	München (LK)	1667.782	Dresden	2196.3344
Hamburg	196	Aachen	360	Hamburg	2656.284	Aachen	2631.2640
Hannover	182	Stuttgart	350	Hannover	1534.635	Stuttgart	2302.3117
Dresden	223	Hamburg	308	Dresden	3457.878	Hamburg	1503.8748
Aachen	241	Karlsruhe (SK)	313	Aachen	3841.364	Karlsruhe (SK)	1505.6753
Karlsruhe (SK)	192	Potsdam	207	Karlsruhe (SK)	2500.678	Potsdam	427.7459
Frankfurt a.M.	164	Hannover	300	Frankfurt a.M.	1031.619	Hannover	1325.6473

Tabelle 16: Zentralste Regionen im Gesamtnetzwerk

2000–2005	*Degree*	*2018–2024*	*Degree*	*2000–2005*	*Betweenness*	*2018–2024*	*Betweenness*
München (SK)	139	Berlin	288	München (SK)	2514.2919	Berlin	4826.9110
Berlin	145	München (SK)	271	Berlin	4187.1703	München (SK)	3591.4700
Stuttgart	131	München (LK)	224	Stuttgart	2784.0865	München (LK)	1715.0270
München (LK)	112	Dresden	249	München (LK)	1680.4915	Dresden	3181.2010
Dresden	117	Karlsruhe (SK)	229	Dresden	2807.3393	Karlsruhe (SK)	2089.7910
Karlsruhe (SK)	126	Stuttgart	259	Karlsruhe (SK)	2555.2246	Stuttgart	3235.5590
Ulm	87	Aachen	272	Ulm	614.5722	Aachen	4191.1570
Hamburg	114	Hamburg	230	Hamburg	1841.2025	Hamburg	2334.9740
Hannover	97	Hannover	213	Hannover	1230.1252	Hannover	1953.3080
Darmstadt	106	Darmstadt	194	Darmstadt	1395.1440	Darmstadt	1953.3080

Tabelle 17: Zentralste Regionen im Digitalisierungsnetzwerk (weit)

2000–2005	*Degree*	*2018–2024*	*Degree*	*2000–2005*	*Betweenness*	*2018–2024*	*Betweenness*
Berlin	106	Berlin	302	Berlin	2711.8513	Berlin	4563.7209
Aachen	105	München (SK)	265	Aachen	2248.7521	München (SK)	2549.8695
Stuttgart	98	Aachen	307	Stuttgart	1690.2217	Aachen	4970.8446
Köln	87	Stuttgart	282	Köln	760.9307	Stuttgart	3498.4538
Frankfurt a.M.	91	Karlsruhe (SK)	240	Frankfurt a.M.	1265.8660	Karlsruhe (SK)	1954.8265
Freiburg i.B.	56	München (LK)	235	Freiburg i.B.	1639.7559	München (LK)	1737.2589
Düren	70	Dresden	297	Düren	677.4152	Dresden	4798.6449
Dresden	98	Hamburg	238	Dresden	2151.9305	Hamburg	2212.3192
Darmstadt	49	Freiburg i.B.	233	Darmstadt	775.9425	Freiburg i.B.	1953.3331
München (LK)	66	Karlsruhe (LK)	187	München (LK)	1146.0203	Karlsruhe (LK)	749.9646

Tabelle 18: Zentralste Regionen im Dekarbonisierungsnetzwerk (weit)

2000–2005	*Degree*	*2018–2024*	*Degree*	*2000–2005*	*Betweenness*	*2018–2024*	*Betweenness*
Berlin	81	Stuttgart	244	Berlin	1400.6991	Stuttgart	4729.8357
Aachen	68	Karlsruhe (SK)	190	Aachen	856.1264	Karlsruhe (SK)	1994.6426
Stuttgart	74	Berlin	247	Stuttgart	721.8463	Berlin	5744.9017
Freiburg i.B.	40	München (SK)	214	Freiburg i.B.	843.0355	München (SK)	3290.2642
Köln	66	München (LK)	158	Köln	502.9566	München (LK)	987.9981
Düren	59	München (LK)	180	Düren	537.5009	München (LK)	1766.8212
Kiel	12	Aachen	260	Kiel	490.7274	Aachen	5799.8444
München (SK)	43	Dresden	262	München (SK)	793.2727	Dresden	6246.2892
Dresden	78	Freiburg i.B.	193	Dresden	1340.6513	Freiburg i.B.	2064.6250
München (LK)	40	Hamburg	194	München (LK)	742.5628	Hamburg	2815.4734

Tabelle 19: Zentralste Regionen im Dekarbonisierungsnetzwerk (eng)

2000–2005	*Degree*	*2018–2024*	*Degree*	*2000–2005*	*Betweenness*	*2018–2024*	*Betweenness*
München (SK)	114	Berlin	269	München (SK)	2072.3495	Berlin	4586.0730
Berlin	122	München (SK)	257	Berlin	3478.7876	München (SK)	3892.4030
Stuttgart	118	München (LK)	195	Stuttgart	2800.4713	München (LK)	1325.0580
Karlsruhe (SK)	113	Stuttgart	246	Karlsruhe (SK)	2287.8954	Stuttgart	3752.7800
München (LK)	106	Dresden	222	München (LK)	1693.2980	Dresden	3045.6710
Dresden	98	Karlsruhe (SK)	209	Dresden	2245.9694	Karlsruhe (SK)	1961.8700
Ulm	68	Aachen	252	Ulm	478.7605	Aachen	3881.5300
Hamburg	91	Hamburg	212	Hamburg	959.6655	Hamburg	2503.7390
Potsdam	39	Köln	186	Potsdam	132.2443	Köln	1166.3730
Hannover	77	Darmstadt	207	Hannover	834.8495	Darmstadt	1742.4320

Tabelle 20: Zentralste Regionen im Digitalisierungsnetzwerk (eng)

8.8 Zusätzliche Abbildungen

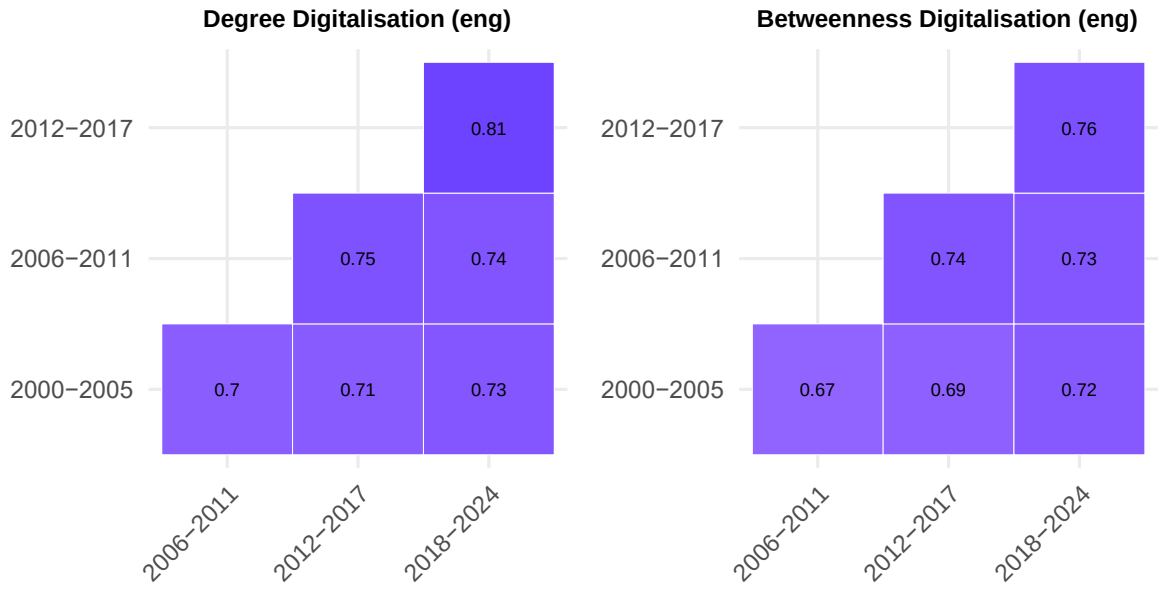


Abbildung 31: Temporale Stabilität Degree- und Betweenness-Zentralität: Digitalisierung

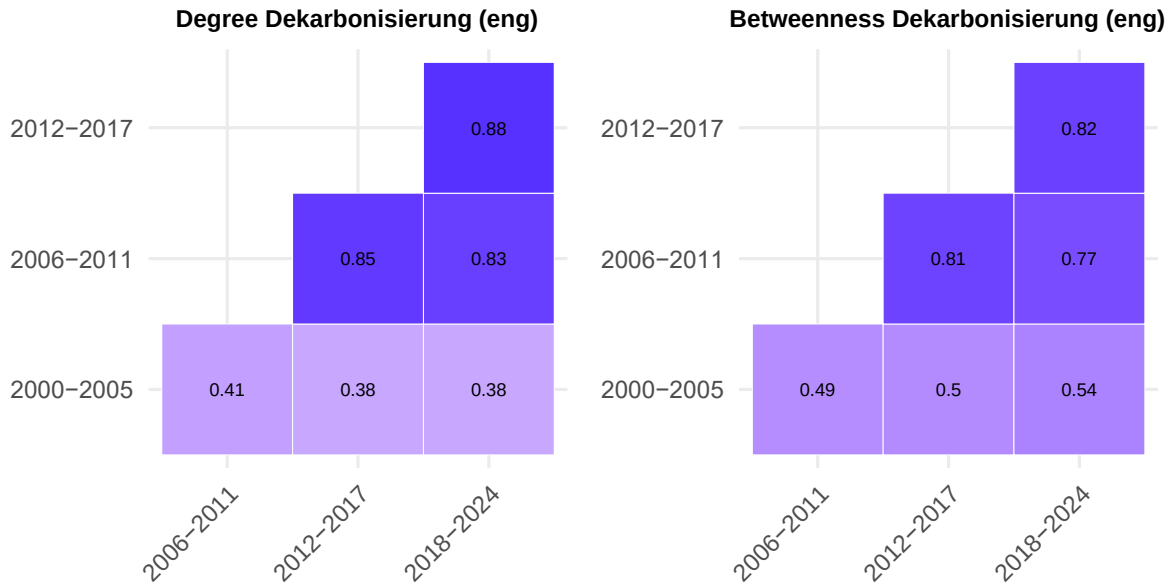


Abbildung 32: Temporale Stabilität Degree- und Betweenness-Zentralität: Dekarbonisierung