

Rainer Frietsch, Peter Neuhäusler, Sonia Gruber, Andrea Zielinski
(Fraunhofer ISI)

Britta Wortmann, Michael Wolny, Christoph Besenfelder
(Fraunhofer IML)

Antje Schimke, Magdalena Kolb (Fraunhofer ZV)

Projekt: "Interdisziplinarität von Wissenschaftseinrichtungen – Strukturen und Effekte" (INTERDIS)

Zusammenfassung der Ergebnisse

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Literaturüberblick	3
2.1	Definitionen	3
2.2	Abgrenzungen	5
2.3	Operationalisierungen.....	7
2.4	Schlussfolgerungen aus der Literaturanalyse	9
3	Bibliometrische Indikatoren zur Messung von Interdisziplinarität	11
3.1	Beschreibung der Indikatoren	11
3.2	Ergebnisse der Indikatoren für die Fraunhofer Institute.....	14
3.3	Ergebnisse der Indikatoren für die Max-Planck-Institute	20
3.4	Ergebnisse nach Feldern.....	24
3.5	Ergebnisse nach Research Level	29
3.6	Ergebnisse im internationalen Vergleich	32
3.7	Stabilität der Indikatoren – Signifikanztests.....	34
4	Neue Methoden zur Messung von Interdisziplinarität	40
4.1	Patentindikatoren.....	40
4.2	Projektkooperationen – Der Förderkatalog des Bundes.....	43
4.3	Beschäftigung.....	46
4.4	Textbasierte Indikatoren	48
4.4.1	Rao-Stirling-Index – Bibliometrische Indikatoren.....	48
4.4.2	Rao-Stirling-Index – Projektberichte	54
4.5	Wissenstransfer- und Verwertung als Interdisziplinaritätsindikatoren.....	57

5	Synthese der Indikatoren – Korrelations- und Faktorenanalyse	62
5.1	Korrelationsanalyse.....	62
5.2	Faktorenanalyse	65
5.3	Synthese zu einem Interdisziplinaritätsindikator	71
6	Validierung der Ergebnisse	74
6.1	Datenbasis und methodologische Vorgehensweise	74
6.2	Faktoren und Stellvertreterindikatoren.....	77
6.2.1	Faktor 1: Marktorientierung und Stellvertreterindikator 1: Streuung der Themenfelder über die Websites	79
6.2.2	Faktor 2: Spillovers/Austausch und Stellvertreterindikator 2: Anteil der Zitierungen durch Publikationen aus anderen Themenfeldern	81
6.2.3	Faktor 3: Variety/Unterschiedlichkeit der Themenfelder und Stellvertreterindikator 3: Heterogenität der zitierten Themenfelder einer Publikation.....	83
6.2.4	Faktor 4: Breite/Streuung der Themenfelder und Stellvertreterindikator 4: Durchschnittliche Anzahl der einer Publikation zugeordneten Themenfelder	85
6.2.5	Faktor 5: Anwendungsorientierung und Stellvertreterindikator 5: Streuung der Themenfelder über die internen Transferprojekte	88
6.2.6	Validierung der Synthese zu einem Interdisziplinaritätsindikator	90
6.2.7	Fazit.....	91
7	Zusammenfassung und Diskussion	93
8	Literatur	95
9	Anhang.....	100

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Rangfolge der Institute nach den vier Indikatoren	18
Tabelle 2:	Korrelationsmatrix der vier Indikatoren	19
Tabelle 3:	Rangfolge der Institute nach den vier Indikatoren	22
Tabelle 4:	Korrelationsmatrix der vier Indikatoren	24
Tabelle 5:	Publikationsanteile nach RL für DE, FhG und MPG, 2007-2018 ...	30
Tabelle 6:	Rangfolge der Institute nach den vier Indikatoren	33
Tabelle 7:	Korrelationsmatrix der vier Indikatoren	34
Tabelle 8:	Signifikanztests der einfaktoriellen ANOVA im Überblick	36
Tabelle 9:	Überblicksstatistik Datensatz	52
Tabelle 10:	Überblicksstatistik Datensatz	55
Tabelle 11:	Prominente Topics im IML Corpus	55
Tabelle 12:	Textbasierter RAO-Index für 5 IML Projekte	56
Tabelle 13:	Mittelwert und Standardabweichung der Jaccard-Distanz der Transfer- und Verwertungsindikatoren	61
Tabelle 14:	Paarweise Rangkorrelation (Spearman) der untersuchten Variablen	64
Tabelle 15:	Faktorenanalyse der untersuchten Variablen	66
Tabelle 16:	Korrelation der Faktoren	67
Tabelle 17:	Ergebnisse der Befragung zu Faktor und Stellvertreterindikator 1	79
Tabelle 18:	Ergebnisse der Befragung zu Faktor und Stellvertreterindikator 2	82
Tabelle 19:	Ergebnisse der Befragung zu Faktor und Stellvertreterindikator 3	84
Tabelle 20:	Ergebnisse der Befragung zu Faktor und Stellvertreterindikator 4	86
Tabelle 21:	Ergebnisse der Befragung zu Faktor und Stellvertreterindikator 5	88
Tabelle 22:	Ergebnisse der Befragung zum zusammenfassenden Interdisziplinaritätsindikator	91
Tabelle 23:	Übersicht über die verwendeten Klassifikationen	100

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Durchschnittliche Anzahl der Felder pro Publikation für die FhG (Klassifikation ISI-EFI2010) 2016-2018	15
Abbildung 2:	Anteile von Zitaten aus anderen Feldern als die Publikation für die FhG (Klassifikation: ISI-EFI2010) 2014-2016	16
Abbildung 3:	Anteile von Referenzen aus anderen Feldern als die Publikationen der FhG (Klassifikation: ISI-EFI2010) 2016-2018	17
Abbildung 4:	Heterogenität der Referenzlisten der FhG (Klassifikation: ISI-EFI2010) 2016-2018	18
Abbildung 5:	Durchschnittliche Anzahl der Felder pro Publikation für Publikationen der MPG (Klassifikation ISI-EFI2010), 2016-2018...	20
Abbildung 6:	Anteile von Zitaten aus anderen Feldern als die Publikation für Publikationen der MPG (Klassifikation: ISI-EFI2010), 2014-2016	21
Abbildung 7:	Anteile von Referenzen aus anderen Feldern als die Publikation für Publikationen der MPG (Klassifikation: ISI-EFI2010), 2016-2018	21
Abbildung 8:	Heterogenität der Referenzlisten der MPG (Klassifikation: ISI-EFI2010), 2016-2018	22
Abbildung 9:	Publikationsanteile nach 26 Forschungsfeldern für Deutschland, FhG und MPG, 2016-2018	25
Abbildung 10:	Durchschnittliche Anzahl Felder in Publikationen der jeweiligen Felder (Klassifikation ISI-EFI2010), 2016-2018	26
Abbildung 11:	Anteile von Zitaten aus anderen Feldern in Publikationen der jeweiligen Felder (Klassifikation ISI-EFI2010), 2014-2016.....	27
Abbildung 12:	Anteile von Referenzen aus anderen Feldern in Publikationen der jeweiligen Felder (Klassifikation ISI-EFI2010), 2016-2018.....	28
Abbildung 13:	Heterogenität der jeweiligen Felder (Klassifikation ISI_EFI2010), 2016-2018.....	29
Abbildung 14:	Überblick über die vier Indikatoren der Interdisziplinarität nach RL der Publikationen (ISI-EFI2010), 2012-2014	31
Abbildung 15:	Die vier Indikatoren im Überblick für FhG, MPG, KIT und ausgewählte Länder (Klassifikation: ISI-EFI2010).....	33
Abbildung 16:	Vergleich der Indikatoren mit den Klassifikationen ISI-EFI2010, Scopus 2-Steller und Scopus 4-Steller, für ausgewählte Länder, Max-Planck-Gesellschaft, Fraunhofer-Gesellschaft und das Karlsruher Institut für Technologie.....	37

Abbildung 17:	Vergleich der Indikatoren mit den Klassifikationen ISI-EFI2010, Scopus 2-Steller und Scopus 4-Steller, für Institute der Fraunhofer Gesellschaft.....	38
Abbildung 18:	Streuung der Patentanmeldungen über Technologieklassen (IPC, 4-Steller), 2010-2012 (anonymisiert).....	42
Abbildung 19:	Streuung der Patente der Fraunhofer-Institute über Wirtschaftszweige (NACE Rev. 2-, 3-Steller), 2010-2012	43
Abbildung 20:	Durchschnittliche Anzahl der Projektpartner	44
Abbildung 21:	Durchschnittliche Anzahl der Projektpartner aus dem öffentlichen Sektor.....	44
Abbildung 22:	Durchschnittliche Anzahl der Projektpartner aus dem privaten Sektor.....	45
Abbildung 23:	Durchschnittliche Anzahl der unterschiedlichen Technologieklassen nach Leistungsplansystematik.....	46
Abbildung 24:	Durchschnittliche Anzahl der Personen in einem Studienfach bezogen auf alle Destatis-Studienfächer bei Fraunhofer, 2016.....	47
Abbildung 25:	Streuung der Anzahl der wissenschaftlichen Mitarbeitenden über Studienbereiche, 2016.....	48
Abbildung 26	Statistik für Scopus-Publikationen – <i>Scopus World</i>	51
Abbildung 27:	Statistik für Scopus FH (links) Scopus MPG (rechts).....	51
Abbildung 28:	Rao-Index für alle Fraunhofer Institute (LDA Modell, 200 Topics). 53	
Abbildung 29:	Rao-Index für alle MPG Institute (LDA Modell, 200 Topics).....	53
Abbildung 30:	Topicverteilung für die 5 IML Projekte (LDA Modell, 200 Topics)..	56
Abbildung 31:	Jaccard-Distanz zur Ähnlichkeitsbestimmung der Institute	59
Abbildung 32:	Ranking der Fraunhofer-Institute, Faktor 1 – Märkte/Marktorientierung.....	69
Abbildung 33:	Ranking der Fraunhofer-Institute, Faktor 2 – Spillovers/Austausch	69
Abbildung 34:	Ranking der Fraunhofer-Institute, Faktor 3 – Variety/Wissensgenerierung.....	70
Abbildung 35:	Ranking der Fraunhofer-Institute, Faktor 4 – Feld- und Fächerstruktur	70
Abbildung 36:	Ranking der Fraunhofer-Institute, Faktor 5 – Technologien/Anwendung	71

Abbildung 37:	Ranking der Fraunhofer-Institute, Mittelwert über die Stellvertreter-Variablen, inkl. missing values	72
Abbildung 38:	Ranking der Fraunhofer-Institute, Mittelwert über die Stellvertretervariablen, exkl. missing values	73
Abbildung 39:	Datenbasis und methodologische Vorgehensweise für die Messung der Interdisziplinarität	75
Abbildung 40:	Faktoren und Stellvertreterindikatoren im Überblick	78
Abbildung 41:	Faktor 1 Marktorientierung und Stellvertreterindikator 1 Streuung der Themenfelder über die Websites.....	79
Abbildung 42:	Faktor 2 Spillovers/ Austausch und Stellvertreterindikator 2 Anteil der Zitierungen durch Publikationen aus anderen Themenfeldern.	82
Abbildung 43:	Faktor 3 Variety/ Unterschiedlichkeit der Themenfelder und Stellvertreterindikator 3 Heterogenität der zitierten Themenfelder einer Publikation	84
Abbildung 44:	Faktor 4 Breite/ Streuung der Themenfelder und Stellvertreterindikator 4 Durchschnittliche Anzahl der einer Publikation zugeordneten Themenfelder	86
Abbildung 45:	Faktor 5 Anwendungsorientierung und Stellvertreterindikator 5 Streuung der Themenfelder über die internen Transferprojekte	88
Abbildung 46:	Zusammenfassung der Stellvertreterindikatoren zu einem Interdisziplinaritätsindikator	90

1 Einleitung

In den letzten Jahren wird Interdisziplinarität immer stärker in Forschungsprojekten gefordert, wobei häufig keine konkreten Kriterien benannt werden, wie genau sich diese Interdisziplinarität darstellen soll (beispielsweise bei DFG-Schwerpunktprogrammen oder DFG-Forschungszentren¹. Dies liegt zu einem großen Teil darin begründet, dass es sich bei der Interdisziplinarität um ein schwierig zu messendes, mehrdimensionales Konstrukt handelt, für das kein etabliertes Messkonzept vorliegt. Dies gilt besonders für die Ebene der Organisationen. Während Ansätze zur Messung der Interdisziplinarität auf der Ebene einzelner Personen bzw. auf der Ebene von Feldern existieren, ist dies für einzelne Forschungseinrichtungen nicht der Fall. Zudem werden zur Messung der Interdisziplinarität meist nur bibliometrische Indikatoren herangezogen, Indikatoren außerhalb der Bibliometrie finden kaum Anwendung.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es daher, die Interdisziplinarität von Forschungseinrichtungen bis hin zu einzelnen Instituten bewerten zu können, wobei die Institute der Fraunhofer-Gesellschaft sowie der Max-Planck-Gesellschaft² als Fallbeispiele dienen. Dabei soll über den Stand der Literatur und damit den Stand der Technik zur Messung der Interdisziplinarität deutlich hinausgegangen werden, indem nicht nur bibliometrische Indikatoren verwendet werden, sondern zusätzlich Indikatoren auf der Input- sowie der Output-Seite. Das Besondere an dieser Untersuchung ist, dass nicht nur öffentlich verfügbare Daten verwendet werden, sondern darüber hinaus umfassende interne Daten der Fraunhofer und der Max-Planck Gesellschaften zum Einsatz kommen. Hierzu werden im Laufe der Untersuchung jedoch auch Alternativen vorgeschlagen und getestet, um die Ergebnisse generalisieren und die berechneten Indikatoren in einem breiteren Kontext anwenden zu können. Damit wird einerseits die Interdisziplinarität ganzheitlich erfasst, denn in der Literatur wird mehrheitlich davon ausgegangen, dass Interdisziplinarität ein mehrdimensionales Phänomen ist. Andererseits wird es mit den dann vorliegenden Daten und Informationen auch möglich, eine Bewertung der bibliometrischen Indikatoren hinsichtlich ihrer Reliabilität und Reichweite in Bezug auf die Interdisziplinarität durchzuführen.

1 https://www.dfg.de/formulare/50_05/50_05_de.pdf;
https://www.dfg.de/formulare/67_10/67_10.pdf (abgerufen am 30.07.2021).

2 Detaillierte Ergebnisse zu den Analysen der Max-Planck-Institute finden sich in einem gesonderten Bericht: Palzenberger, M; Knaus, J. (2021): BMBF-Verbund-Projekt: "Interdisziplinarität von Wissenschaftseinrichtungen - Strukturen und Effekte" (INTERDIS), Teilvorhaben "Detailanalysen zur MPG", Max Planck Digital Library (MPDL), Big Data Analytics Group.

Zur Messung der Interdisziplinarität wird ein mehrdimensionaler Ansatz mit einem Methoden-Mix verwendet, der von quantitativen Indikatoren (Bibliometrie, Patente, Beschäftigung), über moderne Verfahren der Textanalyse (Publikationen, Webseiten, Projektanträge) bis hin zu Fallstudien zur Qualifizierung der Ergebnisse reicht. Dabei ist wichtig zu erwähnen, dass die gewählten Indikatoren jeweils nur einen kleinen Ausschnitt des Gesamtkonstrukts "Interdisziplinarität" darstellen können und daher nicht in Isolation betrachtet werden sollten. Die Indikatoren dienen in erster Linie dazu, den aktuellen Status Quo zu beschreiben. Damit ist bewusst keine Bewertung verbunden. Je nach Ausrichtung einzelner Einrichtungen kommt es notwendigerweise dazu, dass nicht auf allen ausgewählten Indikatoren ein hoher Wert erzielt werden kann bzw. das ist in vielen Fällen vielleicht auch bewusst so gewählt. Durch die Breite der gewählten Indikatoren können nicht gleichzeitig überall hohe Werte erzielt werden. Zudem ist nicht geklärt, ob eine hohe Interdisziplinarität (auf allen Ebenen) nur positive Implikationen hat oder ob es einen Punkt gibt, an dem "mehr" Interdisziplinarität nicht unbedingt "besser" ist.

Der Bericht folgt der nachfolgenden Struktur. Im nächsten Kapitel wird die schnell wachsende Literatur zum Thema Interdisziplinarität aufgearbeitet und insbesondere eine Abgrenzung zu Transdisziplinarität und Multidisziplinarität erarbeitet. Die verschiedenen Ansätze zur Messung bzw. Erfassung der Interdisziplinarität werden ebenso zusammengefasst wie auch die in der Literatur vorfindbaren unterschiedlichen Dimensionen der Interdisziplinarität. Im dritten Kapitel werden bibliometrische Indikatoren zur Messung der Interdisziplinarität in der Breite diskutiert, wobei hier von der Länder- über die Felder bis hin zu einzelnen Organisationen Indikatoren ausgewertet werden. Das vierte Kapitel widmet sich den neuen Indikatoren und Methoden zur Messung von Interdisziplinarität. Dazu zählen patentbasierte Indikatoren, Indikatoren zu Projektkooperationen, Beschäftigte an den einzelnen Instituten sowie text-basierte Indikatoren auf Basis von Publikationen, Webseiten und Projektberichten. Im fünften Kapitel erfolgt die Synthese der Indikatoren zu einem Interdisziplinaritäts-Index, der der Mehrdimensionalität des Konstrukts Rechnung trägt. Hier wird ermittelt, welche Indikatoren aufgrund gleicher Dimension zu einem übergeordneten Faktor zusammengeführt werden können. Die Ergebnisse der Interdisziplinarität hinsichtlich der ermittelten Dimensionen werden im Anschluss durch (leichter nachvollziehbare) Stellvertreterindikatoren innerhalb der Dimensionen dargestellt, was die Replizierbarkeit der Ergebnisse erleichtert und Möglichkeiten für Anschlussanalysen auch ohne interne Daten schafft. Im sechsten Kapitel werden die einzelnen Indikatoren sowie der Interdisziplinaritäts-Index mithilfe von Fallstudien innerhalb der Fraunhofer-Institute diskutiert und qualifiziert. Im finalen Kapitel erfolgt eine abschließende Diskussion der Ergebnisse.

2 Literaturüberblick

In diesem Kapitel wird die existierende Literatur zur Operationalisierung und Messung von Interdisziplinarität zusammengefasst. Zunächst widmen wir uns jedoch einer Definition der Interdisziplinarität sowie ihrer Abgrenzung der Trans- und Multidisziplinarität.

2.1 Definitionen

Mit der Untersuchung der Interdisziplinarität der Fraunhofer- sowie der Max-Planck-Institute wird an dieser Stelle der Frage nachgegangen, inwiefern Kompetenzen, Perspektiven, Wissen etc. aus unterschiedlichen Disziplinen für das Arbeiten und die Projekte bei den Instituten genutzt werden. Dies entspricht auch den im Allgemeinen verwendeten Definitionen von Interdisziplinarität, nämlich als das Zusammenführen und Nutzen verschiedener Teilaspekte aus unterschiedlichen Fachrichtungen. Wikipedia definiert Interdisziplinarität folgendermaßen:

*"Unter Interdisziplinarität versteht man die Nutzung von Ansätzen, Denkweisen oder zumindest Methoden verschiedener Fachrichtungen"*³

Der Begriff der Interdisziplinarität ist also an dieser Stelle insofern angebracht, als für unsere Messung der Interdisziplinarität auf Organisationsebene die Intensität der Nutzung verschiedener Fachrichtungen und Disziplinen in den Instituten abgebildet werden soll.

Eine interessante Perspektive auf Interdisziplinarität findet sich bei van den Besselaar und Heimericks (2001), die Interdisziplinarität stets als anwendungsnah ansehen, weshalb Grundlagenforschung per se nicht interdisziplinär sein kann. Dieser Frage widmen wir uns gezielt noch einmal in Abschnitt 3.4, wo wir uns mithilfe bibliometrischer Indikatoren grundlagen- vs. anwendungsorientierte Felder näher betrachten. Van den Besselaar und Heimericks (2001) versuchen sich auch an einer sehr generellen Definition von Interdisziplinarität, nämlich als "Abweichung vom Normalzustand". Sie sehen diesen Zustand als "Spezialität" an, der sich dann theoretisch, konzeptionell und methodisch von dem Normalzustand einer Disziplin abgrenzt.

"An interdisciplinary approach, on the other hand, creates its own theoretical, conceptual and methodological identity. Consequently, the results of an interdisciplinary study of a certain problem are more coherent, and integrated." (ibd., S.2).

³ <https://de.wikipedia.org/wiki/Interdisziplinarit%C3%A4t>

Wang et al. (2014) behaupten, dass die Interdisziplinarität intuitiv leicht zugänglich ist, aber umso schwieriger zu definieren und zu messen. Anders formuliert: jeder versteht prinzipiell worum es geht, man kann es aber dennoch schwer fassbar machen. Sie beginnen ihre eigene Definition mit einem Verweis auf die Definition interdisziplinärer Forschung der National Academies (in den USA), wo ebenfalls der integrative Charakter der Arbeit verschiedener Disziplinen an einer gemeinsamen Fragestellung im Mittelpunkt steht und betonen dabei insbesondere die über die Fähigkeiten und den Horizont einer einzelnen Disziplin hinausgehende Perspektive.

"The National Academies defined that "interdisciplinary research (IDR) is a mode of research by teams or individuals that integrates information, data, techniques, tools, perspectives, concepts, and/or theories from two or more disciplines or bodies of specialized knowledge to advance fundamental understanding or to solve problems whose solutions are beyond the scope of a single discipline or area of research practice." (zitiert nach Wang, Thijs, Glänzel (2015), S. 1.)

Interdisziplinarität wird auch häufig synonym mit Multidisziplinarität oder Transdisziplinarität verwendet, in der wissenschaftlichen Diskussion bezeichnen diese drei Begriffe jedoch unterschiedliche Aspekte. Multidisziplinarität bezeichnet dabei eher die in verschiedenen Disziplinen eingenommene Perspektive auf den gleichen Gegenstand (Klein, 1990). Wesentliches Charakteristikum ist dabei die Unverbundenheit der Disziplinen. Im Internet findet sich folgende Definition:

"Unter Multidisziplinarität versteht man die nebenläufige Bearbeitung einer wissenschaftlichen Fragestellung oder Untersuchung eines Forschungsobjekts durch Wissenschaftler voneinander unabhängiger Fachbereiche, wobei zwischen den Disziplinen kein nennenswerterer methodischer, terminologischer oder konzeptioneller Austausch stattfindet. Im Unterschied zur Trans- und Interdisziplinarität wird also weder eine einheitliche konzeptionelle Rahmenstruktur aufgebaut, noch erfolgt die Erarbeitung gemeinsamer Lösungsstrategien -- sondern jede Disziplin definiert und bearbeitet ihre Problemstellung weitgehend isoliert."⁴

⁴ <http://wörterbuchdeutsch.com/de/multidisziplinar>

In den bibliometrischen Datenbanken Web of Science und Scopus findet sich eine Kategorie in der Zeitschriftenklassifikation mit der Bezeichnung "Multidisciplinary". Hier finden sich Zeitschriften, die sich im Allgemeinen keiner einzelnen Disziplin zuordnen lassen oder deren Beiträge ein breites disziplinäres Spektrum abdecken. Typische Beispiele sind die Zeitschriften Science oder Nature, wo Beiträge aus den Ingenieur-, den Natur- oder auch den Sozial- und Geisteswissenschaften zu finden sind. Wir überprüfen diese Gruppe von Zeitschriften als einer der Indikatoren zur Interdisziplinarität, auch wenn dieser Indikator eher zur Definition von Multidisziplinarität passt.

Als drittes wird die Transdisziplinarität unterschieden, die Vorgehensweisen oder Methoden jenseits von disziplinären Grenzen meint bzw. ein über alle Disziplinen hinweg gemeinsamer konzeptioneller Rahmen (Mugabushaka et al., 2016). Typische Beispiele wären die Mathematik oder die Statistik, ebenso wie die Methode der Simulation, die allesamt in unterschiedlichen Disziplinen zum Einsatz kommen können. Als transdisziplinär wird jedoch auch bezeichnet, wenn sich ein Forschungsgegenstand nicht einer einzelnen Disziplin eindeutig zuordnen lässt. Hierzu könnte beispielsweise die Bionik oder auch die Nanotechnologie zählen. Alvargonzalez formuliert es folgendermaßen:

"Following these meanings, transdisciplinarity is that which concerns transcending the disciplines, going across and through the different disciplines, and beyond each individual discipline."

Innerhalb von Fraunhofer wird bisweilen unter Transdisziplinarität die Zusammenarbeit nicht nur über die Disziplinen, sondern auch über Qualifikationsstufen hinweg subsumiert, so zum Beispiel zwischen Akademiker:innen und Techniker:innen, was bei einer breiten Interpretation des Begriffs Disziplin durchaus mit der hier genannten Definition vereinbar zu sein scheint.

2.2 Abgrenzungen

Aus den genannten Definitionen wird unmittelbar ersichtlich, dass die Abgrenzung von Disziplinen für die Messung, Bewertung und insbesondere die Intensität von Interdisziplinarität eine wesentliche Bedeutung hat. In der empirischen Forschung findet sich hier jedoch keine einheitliche Methode oder eine explizite Vorgehensweise. Sehr häufig wird ad hoc oder fallspezifisch abgegrenzt, das heißt Interdisziplinarität kann sehr unterschiedlich ausgeprägt sein. Nicht selten gibt es sehr differenzierte Definitionen innerhalb von speziellen Disziplinen wie sich am Beispiel von Vugteveen et al. (2014), die selbst innerhalb der Flussforschung unterschiedliche Disziplinen identifizieren, gezeigt werden kann. Es finden sich häufig stichwortbasierte Abgrenzungen wo anhand einzelner Stichworte die Zuordnung zu einzelnen Kategorien/Disziplinen vorgenommen wird. Da die

große Mehrheit der empirischen Literatur mit Publikationsdaten bzw. mit bibliometrischen Daten arbeitet, finden sich auch Beispiele wo mithilfe der Zuordnung der Zeitschriften eine Differenzierung von Disziplinen vorgenommen wird. Interdisziplinarität ist dann das Vorkommen von mindestens zwei solcher abgegrenzten Disziplinen in einem Themenfeld. Ähnlich funktioniert auch die zitatbasierte Abgrenzung (Larivière und Gingras 2010), bei der Cluster von wissenschaftlichen Veröffentlichungen darüber gebildet werden, wie ähnlich sich die Referenzlisten sind bzw. welche Beiträge sich gegenseitig zitieren. Interdisziplinarität ist dann entsprechend das Vorkommen wenigstens zweier solcher Cluster. Eine weitere Möglichkeit der Abgrenzung von Interdisziplinarität ergibt sich dadurch, dass Institutionen oder Autoren als Cluster definiert werden. Das bedeutet, eine interdisziplinäre Veröffentlichung wäre dann gegeben, wenn zwei unterschiedliche Institutionen auf einer Veröffentlichung zu finden sind.

"Ab wann von interdisziplinärer Arbeit gesprochen wird, kann sich in verschiedenen Fachrichtungen stark unterscheiden. So würde ein Ingenieur für Nachrichtentechnik die Zusammenarbeit mit einem Ingenieur für Hochspannungstechnik nicht als interdisziplinär bezeichnen. Dagegen sprechen Mediziner bereits von Interdisziplinarität bei Zusammenarbeit von Urologie und Gynäkologie, obwohl diese Fachrichtungen nahe verwandt sind."⁵

Man erkennt an dieser kursorischen Darstellung der Abgrenzungen von Interdisziplinarität, dass auch sehr unterschiedliche Perspektiven eingenommen werden können bzw. unterschiedliche Aggregationsniveaus zur Bewertung herangezogen werden. Interdisziplinarität kann auf der Ebene von Individuen oder Autoren ansetzen, ebenso auf der Ebene von Artikeln, von ganzen Zeitschriften, von Institutionen oder von ganzen Feldern. Hier setzen beispielsweise die Arbeiten von Stiller et al. (2021) an, die eine Liste interdisziplinärer Felder für den Kerndatensatz Forschung (KDSF) entwickelt haben. Man könnte sich auch vorstellen, dass die Interdisziplinarität verschiedener Förderprogramme verglichen wird. Einen Ansatz liefert die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft mit der 2013 erschienenen Studie "Fachübergreifende Begutachtung: Strukturwirkung und Fördererfolg" (DFG, 2013)⁶, welche die Orte des Auftretens fachübergreifender Zusammenarbeit aufgrund der Begutachtungskonstellationen von DFG-Neuanträgen aufzeigt.

⁵ <https://de.wikipedia.org/wiki/Interdisziplinarit%C3%A4t>

⁶ https://www.dfg.de/download/pdf/dfg_im_profil/geschaeftsstelle/publikationen/bericht_fachuebergreifende_begutachtung.pdf (abgerufen am 1.7.2021)

2.3 Operationalisierungen

Je nachdem, welches Konzept bzw. welche Abgrenzung verwendet wird, finden sich auch sehr unterschiedliche Operationalisierungen von Interdisziplinarität. Wie bereits erwähnt, nutzt die deutlich überwiegende Mehrheit der empirischen Literatur zu Interdisziplinarität bibliometrische Daten (Mugabushaka et al., 2016; Nagaoka und Kwon, 2006; Shafique, 2013; Small, 2010), was vermutlich zu einem nicht unerheblichen Teil daran liegt, dass international vergleichende oder Institutionen-übergreifende Daten sonst so gut wie nicht vorliegen.

Van den Besselaar und Heimericks (2001) analysieren Kommunikationsmuster von Zeitschriften, das heißt hier wird auf der Ebene nicht einzelner Artikel oder Institutionen, sondern von ganzen Zeitschriften operiert. Ihnen geht es – ausgehend von der Hypothese, dass sich die Intensität des Austauschs von disziplinär homogenen und weniger homogenen Feldern unterscheiden – darum, inwiefern in Forschungsfeldern unterschiedliche Kommunikationsmuster zu finden sind. Anders formuliert versuchen sie herauszufinden, ob die Wissensproduktion in den untersuchten Feldern eher disziplinärer oder interdisziplinärer Art ist.

Steele und Stier (2000) operationalisieren Interdisziplinarität als die Unterschiedlichkeit der zitierten Referenzen. Rinia et al. (2001) verwenden zur Messung der Interdisziplinarität eines Förderprogramms in der Physik den Anteil der Publikationen außerhalb der Physik. Für Levitt und Thelwall (2008) sind alle Veröffentlichungen in Zeitschriften mit mehr als einer Subject Category (Klasse in der WoS-Klassifikation) bereits interdisziplinär. Wang et al. (2015) operationalisieren Interdisziplinarität auf der Ebene der Publikationen durch die Profile der Referenzen in den Artikeln. Sie argumentieren – wie einige andere ebenfalls –, dass Interdisziplinarität ein mehrdimensionales Konstrukt ist, weshalb auch in der Operationalisierung/Messung diese Mehrdimensionalität abgebildet werden muss. Sie sehen konfligierende Ergebnisse durch eine unklare und eindimensionale Betrachtung der Interdisziplinarität entstehen, weshalb sie sich stark machen für eine Nutzung des Ansatzes von Stirling (2007). In einer kürzlich erschienenen Studie nutzen Hernández et al. (2020) Ko-Zitationsnetze zur Messung der Interdisziplinarität von Publikationen und Journals, wodurch nicht auf vorab definierte Klassifikationssysteme zurückgegriffen werden muss.

In einem eher theoretisch/konzeptionellen Ansatz schlägt Stirling (2007) eine Dekomposition von Diversität (Ungleichheit) in verschiedenen Dimensionen vor. Weil Ungleichheit sich in mehreren Dimensionen/Faktoren niederschlagen kann, schlägt er drei Teilindikatoren vor und nennt diese Variety, Balance und Disparity, die er am Ende zu einer Maß-

zahl zusammenführt. Variety (Vielfalt) unterscheidet danach, wie viele Typen einer Sache es gibt. Balance (Ausgeglichenheit) misst, wie viele von jedem Typ vorhanden sind. Das ist die Dimension, die im Allgemeinen in Konzentrations- oder Verteilungsmaßen abgebildet wird. Disparity (Verschiedenheit) misst, wie stark sich die Typen in ihrer Art unterscheiden. Stirling argumentiert, dass erst durch die Berücksichtigung aller drei Dimensionen die Ungleichheit erfasst werden kann.

Wang et al. wenden dieses Konzept auf die Interdisziplinarität an, indem sie mithilfe einer Faktorenanalyse (Varianzanalyse) die drei Dimensionen aus den Daten zu wissenschaftlichen Veröffentlichungen – sie verwenden Referenzen und Zeitschriftenkategorien – in Web of Science extrahieren. Auch Roessner et al. (2013) nutzen die Diversity von Stirling als konzeptionelle Basis. Sie berechnen die Cosinus-Ähnlichkeit von Subject Categories (also den Zeitschriftenkategorien in Web of Science) auf Basis von Ko-Zitierungen und vergleichen das mit Interviews bzgl. der Publikationen eines ausgewählten Forschers bei GeorgiaTech, USA. In der Vektorgeometrie misst die Cosinus-Ähnlichkeit, ob Vektoren ungefähr in eine ähnliche Richtung zeigen. Das heißt es wurden Ko-Zitierungen verwendet, um zu definieren, ob Subject Categories inhaltlich nah oder weit entfernt zu einander liegen. Sie führen anschließend zur Validierung ihres Ansatzes eine Fallstudie durch und untersuchen, ob bibliometrische Indikatoren die Interdisziplinarität abbilden können und erhalten ein ambivalentes Bild. Die Indikatoren scheinen für Portfolios von wissenschaftlichen Veröffentlichungen (mindestens zwei) die Interdisziplinarität abbilden zu können, während die Interdisziplinarität einzelner Veröffentlichungen nicht zufriedenstellend bestimmt werden kann. Ähnliche Ansätze finden sich auch in Rafols & Meyer (Rafols und Meyer, 2010). Sie operationalisieren die Stirling-Diversität mithilfe von drei bibliometrischen Indikatoren ("Variety", "Shannon Entropy", "Simpson Diversity" und "Rao-Stirling Index"), um die disziplinäre Vielfalt der Referenzen in Publikationen als stellvertretendes Maß für Interdisziplinarität verwenden zu können. Ähnlich gelagerte Indikatoren werden auch in weiteren Ansätzen verwendet, die den Impact von Interdisziplinarität erfassen wollen (Chen et al., 2021; Leydesdorff et al., 2019; Okamura, 2019; Yegros-Yegros et al., 2015). In einer jüngeren Studie von D'Este et al. (2019) werden diese Indikatoren zudem verwendet, den Einfluss von Interdisziplinarität auf das Engagement von Wissenschaftlern mit nicht-akademischen Akteuren zu beleuchten. In anderen Ansätzen wird neben den Rao-Stirling-Maßen auch zunehmend auf den Leinster-Cobbold Diversitäts-Index zurückgegriffen, wobei es sich dabei um ein Maß handelt, das ursprünglich in der Ökologie verwendet wurde, jetzt aber mehr und mehr auch in die Bibliometrie Einzug hält (siehe beispielsweise Mugabushaka et al., 2016)

Es existieren jedoch auch Ansätze jenseits der Bibliometrie. Uddin et al. (2021) analysieren welche Disziplinen hauptsächlich in interdisziplinären Forschungssettings auftau-

chen. Dabei nehmen sie Forschungsprojekte, die vom Australian Research Council finanziert wurden, mithilfe von Netzwerkmaßen in den Blick. Sie kommen zu dem Schluss, dass innerhalb der Naturwissenschaften das Ingenieurwesen und die Biologie die interdisziplinärsten Disziplinen darstellen, während dies bei den Geisteswissenschaften die Sprach- und Kommunikationswissenschaften, Geschichte und Archäologie sind. Grundsätzlich lässt sich jedoch auch die Frage stellen, ob verstärkt grundlagen- oder anwendungsorientierte Felder interdisziplinär arbeiten. Diesem Thema widmen wir uns gezielt in Abschnitt 3.4. Unsere Analysen fokussieren dann jedoch auf die Ebene einzelner Institute innerhalb der Fraunhofer sowie der Max-Planck-Gesellschaft, wobei auch hier die Unterscheidung zwischen grundlagen- oder anwendungsorientierter Forschung eine Rolle spielt. Im Zentrum steht jedoch, dass wir uns für die Analyse nicht ausschließlich auf bibliometrische Indikatoren fokussieren, sondern zusätzliche Messgrößen ins Zentrum stellen.

2.4 Schlussfolgerungen aus der Literaturanalyse

Aus der hier vorgestellten kurzen Literaturanalyse lassen sich folgende Schlussfolgerungen für die eigenen Analysen ziehen. Erstens findet sich für die hier vorliegende Fragestellung eine recht eindeutige Definition von Interdisziplinarität als Nutzung des Wissens aus unterschiedlichen Disziplinen. Die Messung von Interdisziplinarität ist denn auch das Ziel der hier vorgelegten Untersuchung. Zweitens finden sich sehr unterschiedliche Abgrenzungen von Disziplinen in der Literatur, was ggf. Auswirkungen auf die Intensität von Interdisziplinarität haben kann. Aus diesem Grund haben wir uns im Wesentlichen auf die bereits in der AG Wissenschaftsindikatoren erarbeitete Abgrenzung der Disziplinen bei Fraunhofer (siehe Tabelle 1) fokussiert und keine weitere Unterscheidung von zueinander nahen oder fernen Wissenschaftsdisziplinen durchgeführt. Drittens lässt sich die Mehrdimensionalität von Ungleichheit (Diversity) wie sie Stirling (2007) beschrieben hat, auch auf die Interdisziplinarität anwenden. Es kann also nicht nur ein einziger Indikator verwendet werden, sondern es müssen unterschiedliche Perspektiven eingenommen werden, um Interdisziplinarität adäquat abbilden zu können. Auch Jensen und Lutkouskaya (2014) kommen für die Bewertung der Interdisziplinarität von 600 Laboren innerhalb von CNRS zu dem Schluss, dass eine Mehrdimensionalität notwendig für eine adäquate Abbildung ist, wobei sie mit sechs Indikatoren starten und am Ende einerseits die disziplinäre Heterogenität sowie andererseits die inhaltliche Distanz der Labore als wesentliche Erklärungsfaktoren identifizieren. Viertens schließlich lässt sich aus der Literatur ableiten, dass bibliometrische Daten durchaus Informationen zu Interdisziplinarität enthalten, weshalb auch für die hier vorgestellten Analysen dies eine geeignete Ausgangsbasis ist. Auch Patente werden als Datenbasis, wenngleich deutlich seltener, verwendet, können jedoch auch als geeignete Messgröße angesehen werden (Kwon et al.,

2016). Allerdings kann aus der Literaturanalyse nicht gefolgert werden, dass Publikationen die am besten geeignete Datenquelle darstellen. Vielmehr scheint es so zu sein, dass auf Grund mangelnder Alternativen für breit angelegte empirische Untersuchungen auf diese Daten zurückgegriffen wird. Wenige Ausnahmen wie beispielsweise die Nutzung von Programmdateien (Nichols, 2014) belegen dies. Betrachtet man sich jedoch die Definition von Interdisziplinarität, dann bezieht sich diese im Wesentlichen auf die Nutzung unterschiedlichen Wissens, also auf die Inputseite der Forschung und weniger auf die Output-Seite. Wissenschaftliche Publikationen sind aber in erster Linie ein Maß des wissenschaftlichen Outputs (Frietsch et al., 2017). Erst durch Annahmen und Ableitungen lässt sich von diesem Output-Maß auch auf die Diversität des Inputs schließen. Besser wäre aber, man hätte direkt auch Informationen zur Diversität des Inputs zur Hand. Für die Analyse innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft sind wir in der Lage, hier auf einen breiteren Datenbestand zugreifen zu können als dies in den meisten international oder institutionell vergleichenden Analysen der Fall ist. Die Daten zu den Abschlüssen der Beschäftigten bilden dabei ein solches Input-Maß (siehe Abschnitt 4.3).

3 Bibliometrische Indikatoren zur Messung von Interdisziplinarität

In diesem Abschnitt werden die "klassischen" bibliometrischen Indikatoren, die für die Messung der Interdisziplinarität herangezogen wurden, beschrieben und erste Strukturen der Interdisziplinarität auf deren Basis geprüft. Für die Berechnung der Indikatoren wurde die Datenbank SCOPUS des Elsevier Verlags verwendet.

Die vorliegenden Indikatoren dienen an dieser Stelle dazu, die Interdisziplinarität der Fraunhofer und Max-Planck-Institute zu beschreiben. Sie sollen jedoch auch auf weitere Organisationen anwendbar sein, um die Interdisziplinarität verschiedener Einrichtungen – sowohl nationale als auch internationale – vergleichen zu können. Deshalb werden neben den Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft (FhG) und der Max-Planck-Gesellschaft (MPG) auch die FhG und MPG insgesamt, das Karlsruhe Institut für Technologie (KIT) sowie ausgewählte Länder und die Welt insgesamt abgebildet, um die Ergebnisse besser einordnen zu können. Neben den Analysen auf Ebene der Organisationen; und den Ländern wird in einem weiteren Schritt auch die Interdisziplinarität der Wissenschaftsfelder überprüft.

3.1 Beschreibung der Indikatoren

Es wurden vier Indikatoren berechnet, die alle auf der Zuordnung der Publikationen zu Forschungsfeldern basieren. In Scopus werden den Journals verschiedene Forschungsfelder zugeordnet, diese spiegeln sich auch in den jeweiligen Publikationen wider und dienen den Indikatoren als Berechnungsgrundlage. Die Forschungsfelder können in verschiedenen Klassifikationen definiert sein (Michels und Schmoch, 2012; Schmoch und Hinze, 2004).

Zur Berechnung der Indikatoren wird eine Fraunhofer ISI interne Klassifikation verwendet, die 26 Klassen beinhaltet. In Kapitel 3.7 wird eine zweite, auf den Klassen beruhende, Abgrenzung vergleichend hinzugenommen, um herauszufinden ob die Indikatoren über verschiedene Klassifikationen hinweg stabil sind. Außerdem wird getestet, ob eine Verzerrung über unterschiedliche Zeitscheiben entsteht. In den nachfolgenden Kapiteln sind die Ergebnisse jeweils in den aktuellsten Jahresscheiben abgebildet. Der Zeitraum für Publikationen wurde auf 2007-2018 und für zitierbasierte Indikatoren auf 2007-2016 festgelegt (hier ist der Zeitraum kürzer, da ein 3-Jahres Zitierungsfenster verwendet wird).

Um den Vergleich der einzelnen Institute besser zu ermöglichen, wurden Institute mit weniger als 50 Publikationen in den Jahren 2015-2017 ausgeschlossen.

Durchschnittliche Anzahl der Felder pro Publikation (Bib1)

Der erste Indikator beinhaltet, wie der Name schon sagt, die durchschnittliche Anzahl der Felder je Publikation. Die Annahme bei diesem Indikator ist, dass eine höhere Anzahl der auf einer Publikation genannten Felder für eine größere Interdisziplinarität des jeweiligen Instituts spricht. Jede Publikation erhält einen Wert, der die durchschnittliche Anzahl der Klassen (Felder), die einer Publikation (bzw. genauer die Zeitschrift, in der die Publikation erschienen ist) zugeordnet werden.

$$\frac{\sum_{i=1}^{n=\text{AnzahlPub}} \text{AnzahlKlassen}_{pub_i}}{\text{AnzahlPub}}$$

Im ersten Schritt werden also die Felder für jede Publikation gezählt (AnzahlKlassen) je pub_i . Im zweiten Schritt wird die Summe (AnzahlKlassen) über alle Publikationen durch die Anzahl der Publikationen geteilt.

So erhält man die durchschnittliche Anzahl der Felder die eine Publikation in dem jeweiligen Set von Publikationen (dies kann ein Land oder eine Organisation sein) haben kann. Je höher der Wert ausfällt, desto interdisziplinärer ist das Set.

Je mehr Publikationen ein Set hat, umso stabiler ist dieser Indikator, denn so fallen einzelne Publikationen die in besonders vielen Feldern kategorisiert sind, weniger ins Gewicht.

Anteile von Zitaten aus anderen Feldern (Bib2)

Einfache zitatenbasierte Indikatoren bieten sich zur Messung auch der Interdisziplinarität an, da sie nicht nur die Interdisziplinarität des Beitrags selbst, sondern der Sichtbarkeit bzw. der Nutzung (Zitierung) der Beiträge in Betracht zieht. Es wird hier der Anteil der Zitierungen außerhalb des ursprünglichen Felds/Klasse der Publikationen in einem dreijährigen Zitationsfenster als Maßzahl herangezogen.

Ältere Publikationen werden von jüngeren Publikationen zitiert. Bei diesem Indikator wird berücksichtigt, aus welchen Forschungsfeldern die Publikationen kommen, die die Publikationen aus unserem Set zitieren. Es wird angenommen, dass eine Publikation interdisziplinär ist, wenn sie von Publikationen zitiert wird die aus anderen Forschungsfeldern stammen als sie selbst. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn eine Publikation im Set aus dem Feld "Geosciences" von einer anderen Publikation aus dem Feld "Humanities" zitiert wird.

In einem Set von Publikationen gibt es also Publikationen die laut der oberen Definition als interdisziplinär gelten oder nicht. Je mehr Publikationen in dem Set als interdisziplinär kategorisiert werden, umso interdisziplinärer wird das Set an Publikationen eingestuft.

Demnach wird der Indikator für ein Publikationsset als die Summe der feldfremden Zitate durch die Summe der Zitate aller Publikationen im Set errechnet.

$$\frac{\sum_{i=1}^{n=\text{AnzahlPubb}} \text{AnzahlCit}_{pub_i} (\text{Klasse}(cit_{ij}) \neq \text{Klasse}(pub_i))}{\sum_{i=1}^{n=\text{AnzahlPubb}} \text{AnzahlCit}_{pub_i}}$$

Der Indikator gibt somit den Anteil der Zitierungen in einem dreijährigen Zitationsfenster an, welche außerhalb des ursprünglichen Feldes/Klasse der Publikation liegen.

Der Vorteil des Indikators ist sicherlich die "Bewertung" der Interdisziplinarität durch den Lesenden, der die Publikation zitiert. Der Nachteil liegt im Zeitverzug, der durch das 3-jährige Zitierungsfenster entsteht.

Anteile von Referenzen aus anderen Feldern (Bib3)

Ein etwas komplexerer Indikator nutzt die Referenzlisten der Publikationen im Set. Bei diesem Indikator wird eine Publikation als interdisziplinär angesehen, wenn sie eine "heterogene" Referenzliste hat, das heißt wenn die Referenzen aus anderen Forschungsfeldern stammen als die Publikation selbst. Es werden also die Referenzlisten aller Publikationen geprüft, inwiefern diese Publikationen aus anderen Disziplinen zitieren.

Die Berechnung des Indikators erfolgt ähnlich wie bei Indikator zwei. Er wird für ein Publikationsset als die Summe der feldfremden Referenzen durch die Summe der Referenzen aller Publikationen im Set gerechnet.

$$\frac{\sum_{i=1}^{n=\text{AnzahlPubb}} \text{AnzahlReff}_{pub_i} (\text{Klasse}(ref_{ij}) \neq \text{Klasse}(pub_i))}{\text{AnzahlPubb}}$$

Der Indikator wird demnach beschrieben als: Anteil der Referenzen, welche außerhalb des Klasse (Feldes) der Publikation liegen.

Dieser Ansatz hat den Vorteil, dass er die Inhalte der Publikationen selbst nutzt und hier kein Zeitverzug trotz Verwendung der Zitierungen entsteht, da keine Vorwärts-, sondern Rückwärtszitierungen eingesetzt werden.

Heterogenität der Referenzlisten (Bib4)

Dieser Indikator ähnelt dem ersten Indikator. Er gibt die durchschnittliche Anzahl der Felder pro Publikation anhand der Referenzen an. Das heißt, es wird die Heterogenität der Referenzliste berechnet, anhand der Anzahl der verschiedenen Felder, welche sich aus der Referenzliste ergeben.

$$\frac{\sum_{i=1}^{n=\text{AnzahlPub}} \text{AnzahlRefKlassen}_{pub_i}}{\sum_{i=1}^{n=\text{AnzahlPub}} \text{AnzahlRef}_{pub_i}}$$

Im ersten Schritt werden also die unterschiedlichen Felder aller Referenzen je Publikation gezählt (AnzahlRefKlassen) je pub_i . Im zweiten Schritt wird die Summe (AnzahlRefKlassen) über alle Publikationen durch die Anzahl der Referenzen geteilt.

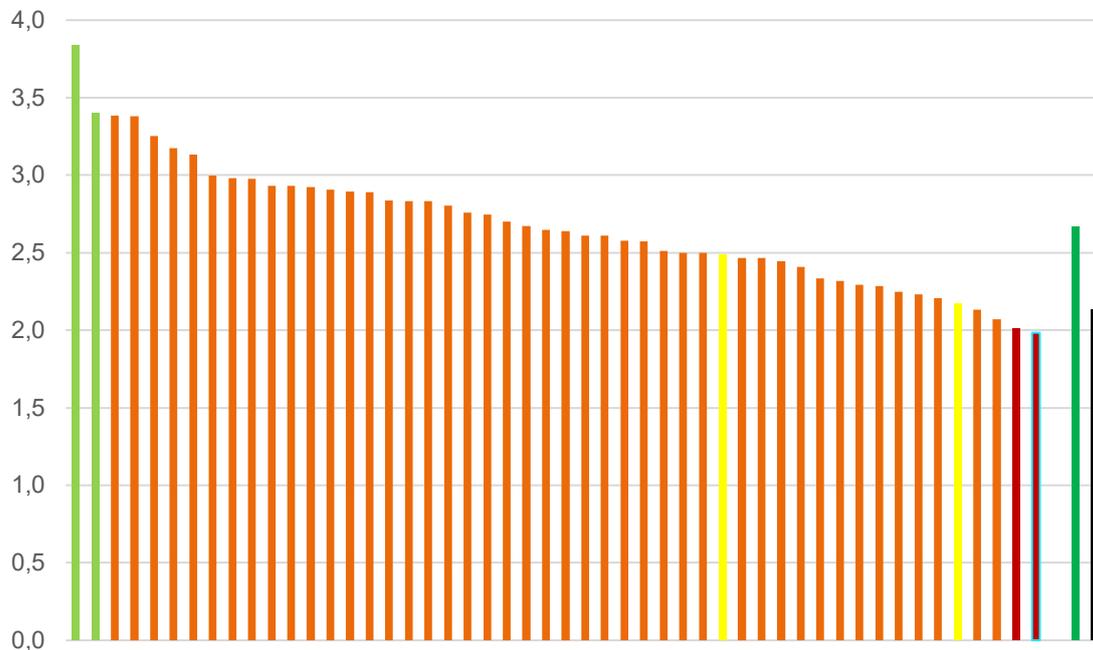
So erhält man die durchschnittliche Anzahl der Referenzfelder, die eine Publikation in dem jeweiligen Set von Publikationen haben kann.

3.2 Ergebnisse der Indikatoren für die Fraunhofer Institute

Im Folgenden sind die Ergebnisse der vier bibliometrischen Indikatoren nach den einzelnen Fraunhofer Instituten, der FhG insgesamt und Deutschland als Vergleich, abgebildet.

Die vier Indikatoren messen Interdisziplinarität auf verschiedene Weisen. Um herauszufinden wie sich die Indikatoren unterscheiden und ob und wie sie miteinander korrelieren, werden sie im Folgenden einzeln abgebildet. Einige der Institute sind farblich markiert, um so die unterschiedlichen Positionen bei den vier Indikatoren schneller erfassen zu können. Des Weiteren werden die beim ersten Indikator erstplatzierten Institute grün und die zwei letztplatzierten Institute rot markiert. Durch die Markierung ist es einfacher, die Ränge der Institute innerhalb der verschiedenen Indikatoren zu verfolgen.

Abbildung 1 Durchschnittliche Anzahl der Felder pro Publikation für die FhG (Klassifikation ISI-EFI2010) 2016-2018 (anonymisiert)

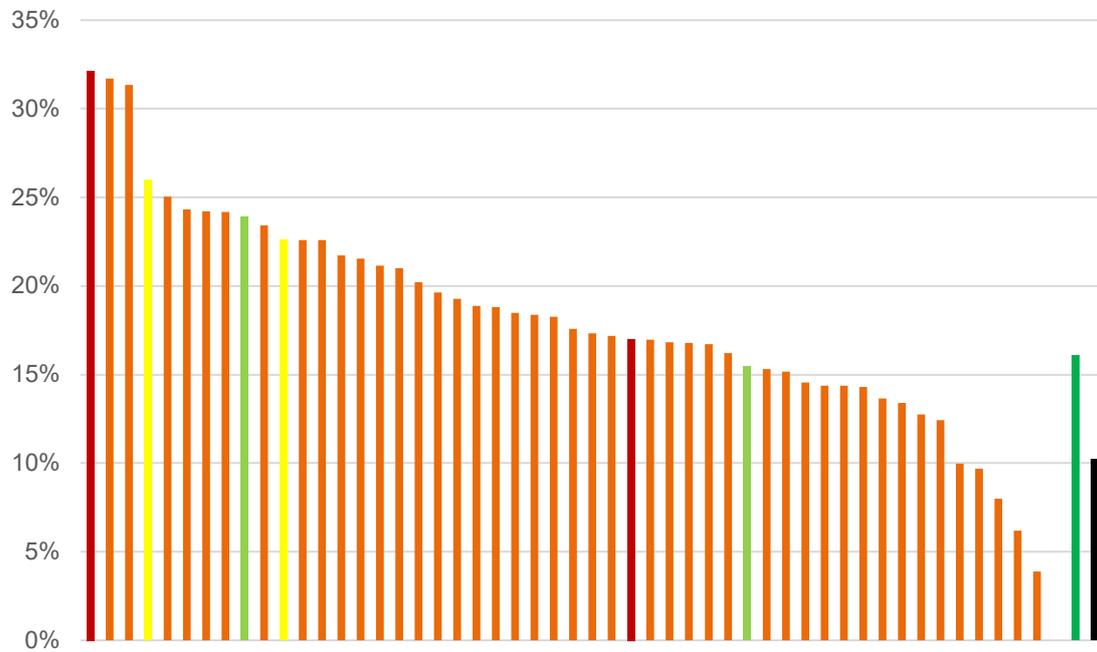


Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Im Durchschnitt werden Publikationen in Deutschland in 2,3 Feldern publiziert. Die FhG insgesamt liegt mit 2,8 Feldern je Publikation über dem deutschen Durchschnitt. Würde man nur diesen Indikator betrachten, würde es bedeuten, dass die FhG interdisziplinärer publiziert als Deutschland insgesamt. Betrachtet man die einzelnen Institute, so liegen nur drei Institute unter dem deutschen Durchschnitt, der Höchstwert eines Institutes liegt bei 3,6 Feldern je Publikation.

Abbildung 2 zeigt den zweiten Indikator, die Anteile von Zitaten aus anderen Feldern als die Publikation. Auch bei diesem Indikator liegt die FhG mit 16% vor Deutschland (10%) insgesamt. Die meisten Institute befinden sich über dem Fraunhofer Durchschnitt, dies könnte ein Effekt der Publikationsanzahl sein, denn die Publikationszahlen unterscheiden sich zwischen den Instituten stark. So schneiden hier Institute, die nur wenig publizieren, tendenziell besser ab. Betrachtet man die markierten Institute, fällt auf, dass die meisten Institute die beim ersten Indikator am unteren Ende oder im Mittelfeld standen, nun viel weiter vorne stehen. Dies könnte ein Anzeichen für eine negative Korrelation der Indikatoren sein und bedeutet, dass sie unterschiedliche Aspekte abbilden.

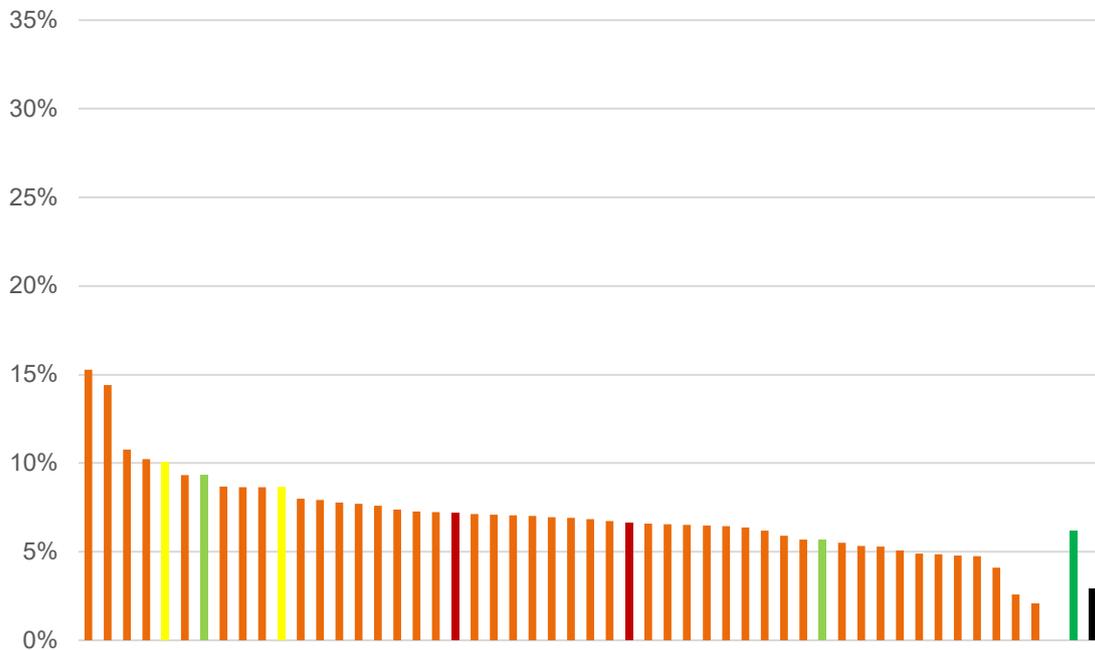
Abbildung 2: Anteile von Zitaten aus anderen Feldern als die Publikation für die FhG (Klassifikation: ISI-EFI2010) 2014-2016 (anonymisiert)



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Im Vergleich zum zweiten Indikator (Abbildung 3) ändert sich beim dritten Indikator die Reihenfolge der Institute nur geringfügig. Die Anteile sind insgesamt um etwa die Hälfte geringer, was die These stützen würde, dass Autoren tendenziell Publikationen aus dem gleichen Feld zitieren, um die Veröffentlichungschance im Journal zu steigern. Der Anteil der FhG (6%) ist hier jedoch doppelt so hoch wie der Deutschlands (3%).

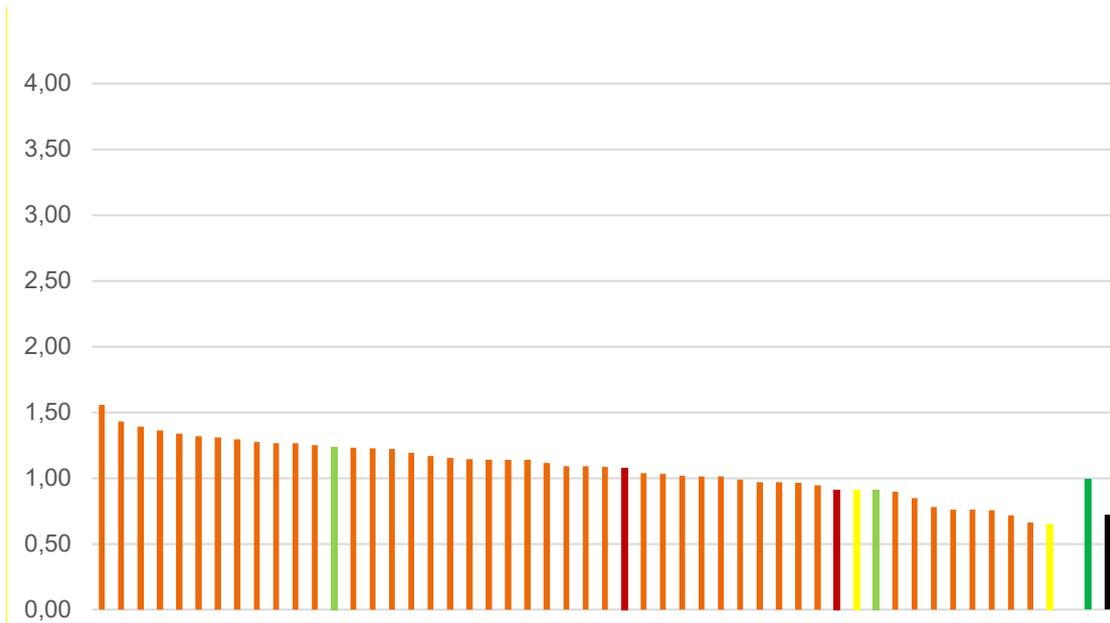
Abbildung 3: Anteile von Referenzen aus anderen Feldern als die Publikationen der FhG (Klassifikation: ISI-EFI2010) 2016-2018 (anonymisiert)



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Der vierte Indikator ist dem ersten hinsichtlich seiner Konstruktion recht ähnlich und das zeigt sich auch in den Ergebnissen (Abbildung 4). Allerdings weist auch dieser Indikator, der ebenfalls auf den Referenzen basiert, ein deutlich niedrigeres Niveau auf. Die Werte sind etwa um die Hälfte geringer als beim ersten Indikator. Die Referenzen der FhG Publikationen werden durchschnittlich 0,9 Feldern zugeordnet, während der Durchschnitt in Deutschland bei 0,7 Feldern liegt. Der Unterschied zwischen den Instituten ist hier wesentlich geringer als beim ersten Indikator.

Abbildung 4: Heterogenität der Referenzlisten der FhG (Klassifikation: ISI-EFI2010) 2016-2018 (anonymisiert)



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Wenn man die markierten Institute betrachtet, variiert deren Position zwischen den Indikatoren deutlich. Berücksichtigt man die Ränge der Institute in den einzelnen Indikatoren, deutet sich jedoch eine Korrelation der vier bibliometrischen Indikatoren an (Tabelle 1). Die ersten Ränge sind dunkelrot markiert, je heller die Felder sind, umso mehr rücken sie in die Mitte und die hinteren Ränge sind blau bis dunkelblau. Die Tabelle ist nach dem Durchschnitt der Ränge sortiert, so dass die obersten Institute die interdisziplinärsten Institute in der Gesamtperspektive der Indikatoren sind.

Tabelle 1: Rangfolge der Institute nach den vier Indikatoren

Institute (anonymisiert)	1: Durchschnittliche Anzahl der Felder (2016-18)	2: Anteil Zitate aus anderen Feldern (2014-16)	3: Anteil Referenzen aus anderen Feldern (2016-18)	4: Heterogenität der Referenzen (2016-18)	Durchschnitt der Ränge
	2	9	7	13	8
	11	16	6	4	9
	3	19	8	23	13
	8	17	19	14	15
	6	21	14	17	15
	29	10	15	6	15
	20	7	28	11	17
	15	3	50	5	18
	12	20	26	15	18
	27	8	30	10	19
	28	12	2	34	19
	22	6	4	48	20
	39	18	22	3	21
	37	15	12	18	21
	33	13	1	37	21
	10	34	36	8	22
	19	2	51	16	22
	4	45	3	36	22

Institute (anonymisiert)	1: Durchschnittliche Anzahl der Felder (2016-18)	2: Anteil Zitate aus anderen Feldern (2014-16)	3: Anteil Referenzen aus anderen Feldern (2016-18)	4: Heterogenität der Referenzen (2016-18)	Durchschnitt der Ränge
	13	5	49	24	23
	32	23	16	21	23
	35	11	5	41	23
	21	25	25	22	23
	17	40	10	27	24
	16	24	35	20	24
	38	14	17	26	24
	26	27	41	2	24
	5	48	46	1	25
	9	31	31	29	25
	7	46	18	31	26
	14	43	24	25	27
	18	41	33	19	28
	47	4	11	51	28
	42	30	13	30	29
	24	37	48	9	30
	36	44	32	7	30
	1	36	40	42	30
	23	32	27	38	30
	51	1	29	40	30
	50	29	20	28	32
	49	22	45	12	32
	41	33	23	32	32
	25	35	37	35	33
	46	26	34	33	35
	40	38	21	43	36
	34	28	43	39	36
	44	50	9	45	37
	30	47	38	50	41
	31	49	42	46	42
	43	39	47	44	43
	48	42	44	47	45
	45	51	39	49	46

Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus).

Das Ergebnis der Rangfolge spiegelt sich auch in der Korrelationsmatrix (Tabelle 2) wider. Nur der erste und der vierte Indikator korrelieren vergleichsweise stark miteinander, die Indikatoren scheinen also unterschiedliche Dinge zu messen.

Tabelle 2: Korrelationsmatrix der vier Indikatoren

	1. Durchschnittliche Anzahl der Felder	2. Anteil Zitate aus anderen Feldern	3. Anteil Referenzen aus anderen Feldern	4. Heterogenität der Referenzen
2. Anteil Zitate aus anderen Feldern	0,00			
3. Anteil Referenzen aus anderen Feldern	0,03	0,06		
4. Heterogenität	0,34	0,27	-0,20	

Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

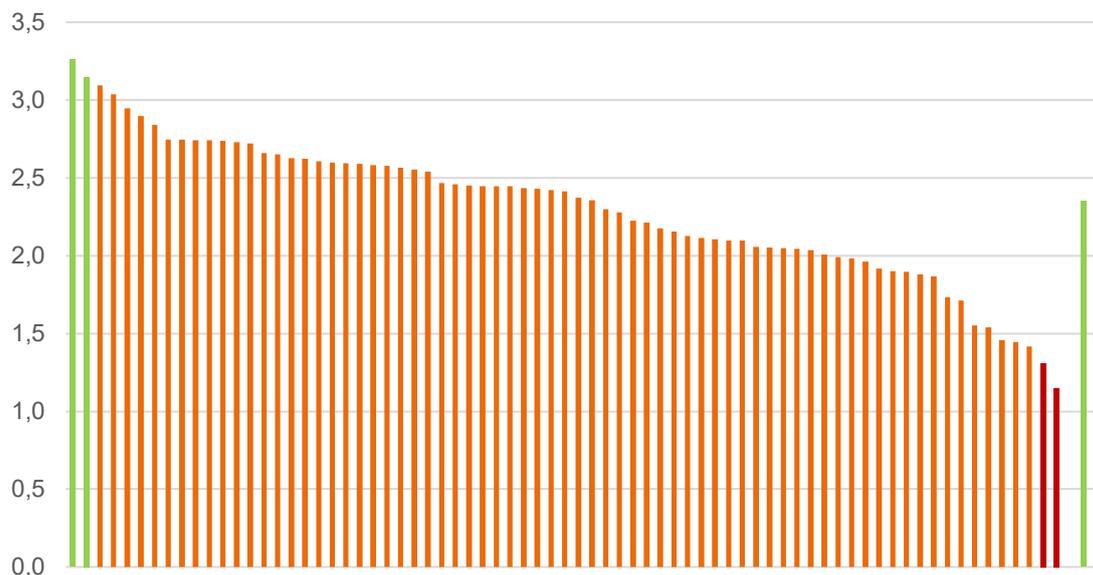
Als kurzes Zwischenfazit lässt sich sagen, dass mit bibliometrischen Methoden eine Messung der Interdisziplinarität möglich ist. Es bleibt jedoch offen, wie gut diese Messung tatsächlich ist und wie stark Datenbankeffekte und äußere Faktoren in die oben dargestellten Analysen mit hineinspielen. Insgesamt zeigen sich zwei wesentliche Erkenntnisse. Erstens sind die Werte der FhG insgesamt sowie der meisten Institute deutlich oberhalb des gesamtdeutschen Durchschnitts. Dies kann mit Verweis auf die Litera-

tur und die Analysen der Interdisziplinarität von Disziplinen auf die starke Anwendungsorientierung der Fraunhofer Gesellschaft zurückgeführt werden. Zweitens lassen sich auch innerhalb von bibliometrischen Daten unterschiedliche Aspekte und Perspektiven auf Interdisziplinarität einnehmen.

3.3 Ergebnisse der Indikatoren für die Max-Planck-Institute

Analog zu den Analysen der FhG aus Kapitel 3.2, wurden die Indikatoren für die Institute der Max-Planck-Gesellschaft berechnet. Auch für diese Analyse sind in der nächsten Abbildung die beiden erstplatzierten Institute grün und die beiden letztplatzierten Institute rot markiert, um deren Platzierung über die folgenden Indikatoren hinweg beobachten und Unterschiede feststellen zu können. Das Niveau des Indikators ist ähnlich hoch wie bei den Instituten der FhG. Insgesamt liegt auch die MPG (2,4) auf diesem Indikator über dem bundesweiten Durchschnitt aller Publikationen (2,1).

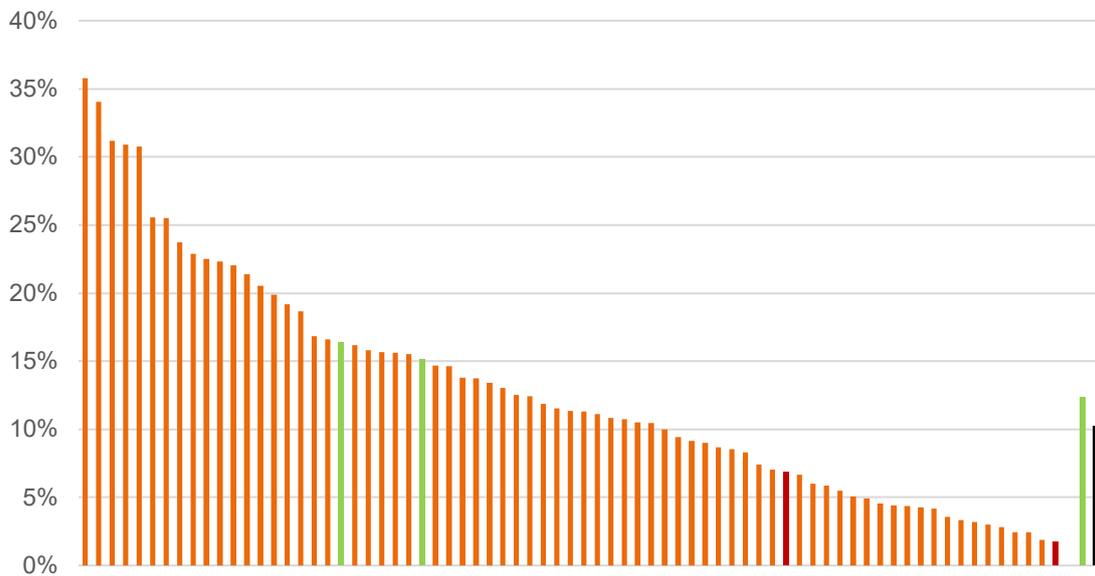
Abbildung 5: Durchschnittliche Anzahl der Felder pro Publikation für Publikationen der MPG (Klassifikation ISI-EFI2010), 2016-2018 (anonymisiert)



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Der zweite Indikator für die MPG (Abbildung 6) erreicht in der Erstplatzierung ein höheres Niveau als bei der FhG. Es fällt auf, dass die markierten Institute zwar ihre Platzierung nicht beibehalten, dennoch ändern sie nicht ihre Reihenfolge. Auch hier liegt die MPG (12%) vor Deutschland (10%).

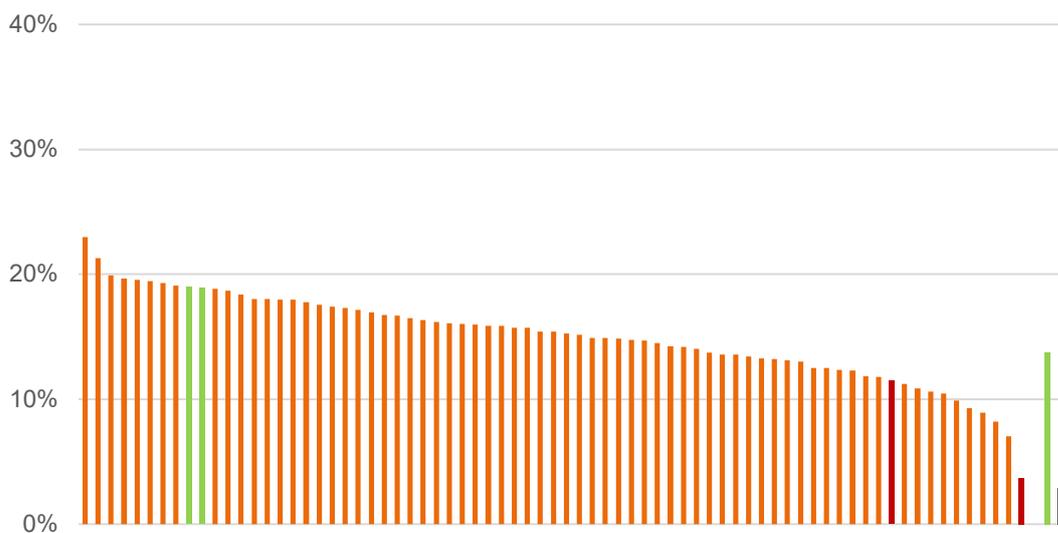
Abbildung 6: Anteile von Zitaten aus anderen Feldern als die Publikation für Publikationen der MPG (Klassifikation: ISI-EFI2010), 2014-2016 (anonymisiert)



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Der dritte Indikator (Abbildung 7) bezieht sich analog zu den Analysen für die FhG auf die Referenzen aus anderen Feldern. Hier fällt auf, dass sich die MPG (14%) sehr deutlich von Deutschland (3%) abhebt.

Abbildung 7: Anteile von Referenzen aus anderen Feldern als die Publikation für Publikationen der MPG (Klassifikation: ISI-EFI2010), 2016-2018 (anonymisiert)



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Auch beim vierten Indikator zeigt sich ein ähnliches Bild (Abbildung 8). Auffällig ist hier jedoch, dass der Wert der MPG und Deutschlands beinahe gleich hoch sind.

Abbildung 8: Heterogenität der Referenzlisten der MPG (Klassifikation: ISI-EFI2010), 2016-2018 (anonymisiert)



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Insgesamt gesehen sind die Indikatoren für die MPG in Bezug auf die Institute deutlich stabiler als für die FhG, das heißt es kommt zu weniger Verschiebungen über die Indikatoren hinweg. Dies liegt wohl im wesentlich höheren Publikationsaufkommen der Max-Planck-Institute begründet, was zu insgesamt stabileren Indikatorwerten führt. Die Korrelationsmatrix in Tabelle 4 bestätigt diese These, da die Indikatoren insgesamt stärker untereinander korrelieren als das bei der FhG der Fall ist.

Tabelle 3: Rangfolge der Institute nach den vier Indikatoren

Institute (anonymisiert)	1: Durchschnittliche Anzahl der Felder (2016-18)	2: Anteil Zitate aus anderen Feldern (2014-16)	3: Anteil Referenzen aus anderen Feldern (2016-18)	4: Heterogenität der Referenzen (2016-18)	Durchschnitt der Ränge
1	20	9	7	9	
28	7	1	12	12	
2	26	10	14	13	
20	8	6	23	14	
10	16	26	8	15	
15	17	3	28	16	
26	9	7	22	16	
9	23	18	17	17	
16	14	35	3	17	
5	18	50	1	19	
27	15	14	19	19	
3	34	2	40	20	
35	4	44	2	21	
7	41	12	29	22	
32	1	52	5	23	
6	32	46	6	23	

Institute (anonymisiert)	1: Durchschnittliche Anzahl der Felder (2016-18)	2: Anteil Zitate aus anderen Feldern (2014-16)	3: Anteil Referenzen aus anderen Feldern (2016-18)	4: Heterogenität der Referenzen (2016-18)	Durchschnitt der Ränge
	18	13	54	10	24
	4	44	22	25	24
	8	39	38	13	25
	21	29	47	4	25
	23	30	25	24	26
	31	11	55	9	27
	13	24	51	20	27
	44	3	48	15	28
	22	38	32	26	30
	40	21	30	27	30
	17	47	21	34	30
	11	40	39	30	30
	19	35	31	38	31
	12	36	29	47	31
	14	52	8	55	32
	52	6	28	45	33
	45	5	61	21	33
	24	45	4	59	33
	43	37	11	48	35
	29	49	17	46	35
	65	12	57	11	36
	25	64	13	49	38
	46	19	60	32	39
	54	27	68	16	41
	36	54	33	43	42
	39	60	19	52	43
	66	2	72	31	43
	60	10	53	50	43
	38	70	5	60	43
	37	51	49	37	44
	49	28	67	33	44
	34	68	45	39	47
	51	33	42	62	47
	41	56	20	71	47
	63	42	66	18	47
	30	58	34	67	47
	42	46	62	41	48
	33	69	36	53	48
	48	67	15	66	49
	47	50	58	42	49
	69	25	69	35	50
	70	31	37	68	52
	53	71	23	63	53
	55	61	40	56	53
	50	63	41	58	53
	68	22	59	65	54
	59	72	16	69	54
	62	65	27	64	55
	57	66	24	72	55
	56	62	43	61	56
	61	48	65	51	56
	67	59	64	36	57
	58	55	71	44	57
	64	57	56	57	59
	71	43	70	70	64
	72	53	63	73	65
	73	73	73	54	68

Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Tabelle 4: Korrelationsmatrix der vier Indikatoren

	1. Durchschnittliche Anzahl der Felder	2. Anteil Zitate aus anderen Feldern	3. Anteil Referenzen aus anderen Feldern	4. Heterogenität der Referenzen
2. Anteil Zitate aus anderen Feldern	0,14			
3. Anteil Referenzen aus anderen Feldern	0,64	-0,06		
4. Heterogenität	0,54	0,64	-0,01	

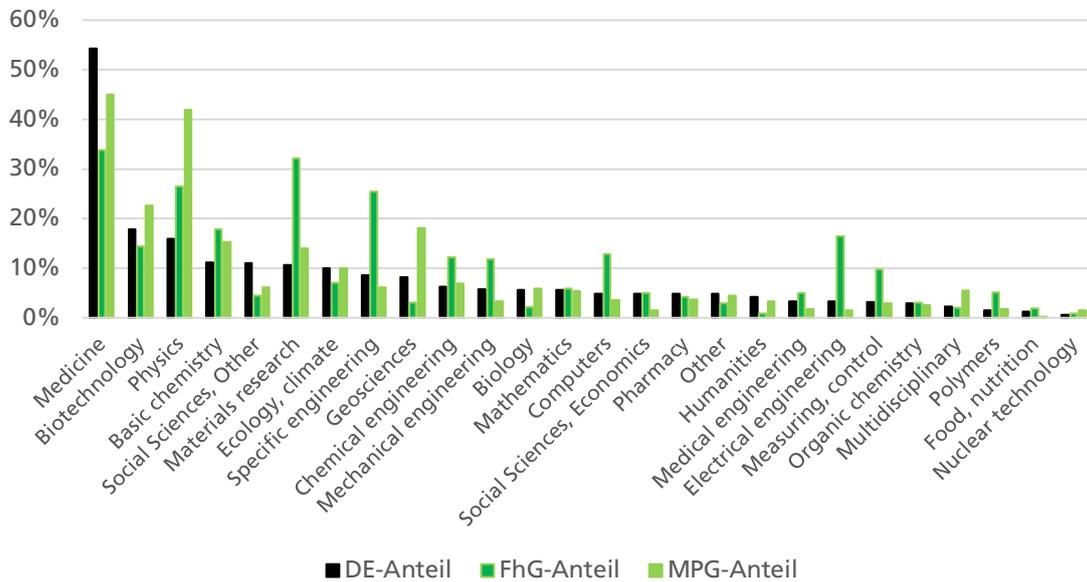
Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

3.4 Ergebnisse nach Feldern

In diesem Abschnitt steht die Analyse der Interdisziplinarität auf Ebene der Wissenschaftsfelder mithilfe bibliometrischer Indikatoren im Fokus. Zwischen den Feldern existieren große Unterschiede in der Anzahl der Publikationen sowie der Zitierungen. Hier werden die 26 Felder der einer Klassifikation (Grupp et al. 2001), einem Aggregat der Scopus ASJC Klassen für die weiteren Analysen herangezogen. Die verwendeten Indikatoren sind die gleichen wie bei der Analyse der Institute.

Zunächst wird die Verteilung der Publikationen nach Feldern in Abbildung 9 dargestellt, um festzustellen, in welchen Feldern Deutschland, FhG und MPG ihre Schwerpunkte haben. Das publikationsstärkste Forschungsfeld in Deutschland ist die Medizin. Weitere wichtige Forschungsfelder in Deutschland, gerankt nach der Publikationsanzahl, sind die Biotechnologie (18%) und die Physik (16%). Die FhG publiziert neben der Medizin häufig im Bereich Material Science (32%), Physik (27%) und im Spezialmaschinenbau (25%). Bei der MPG ist die Physik besonders stark vertreten mit 42% der Publikationen, gefolgt von der Biotechnologie und den Geowissenschaften. Die Felder "Ernährung" und "Nukleartechnologie" weisen Deutschland die geringsten Anteile auf.

Abbildung 9: Publikationsanteile⁷ nach 26 Forschungsfeldern für Deutschland, FhG und MPG, 2016-2018

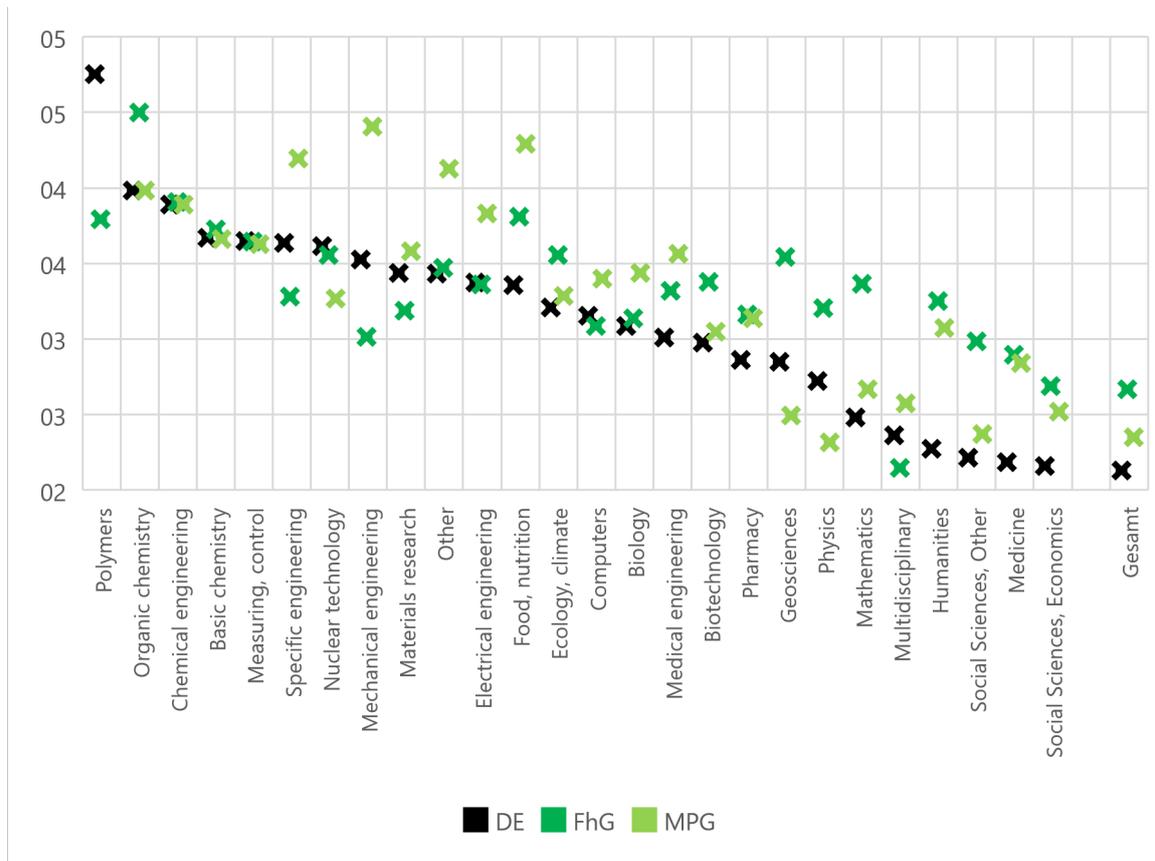


Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Um zu erfahren, in welchen Feldern besonders interdisziplinär publiziert wird, werden im Folgenden die vier bibliometrischen Indikatoren der Interdisziplinarität jeweils für Deutschland, die FhG und MPG abgebildet.

⁷ Die Publikationen wurden nach der Whole Count-Methode gezählt, bei der eine Publikation die in mehreren Feldern auftaucht, mehrfach gezählt wird. Demnach ergibt die Summe der Publikationen mehr als 100%.

Abbildung 10: Durchschnittliche Anzahl Felder in Publikationen der jeweiligen Felder (Klassifikation ISI-EFI2010), 2016-2018



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

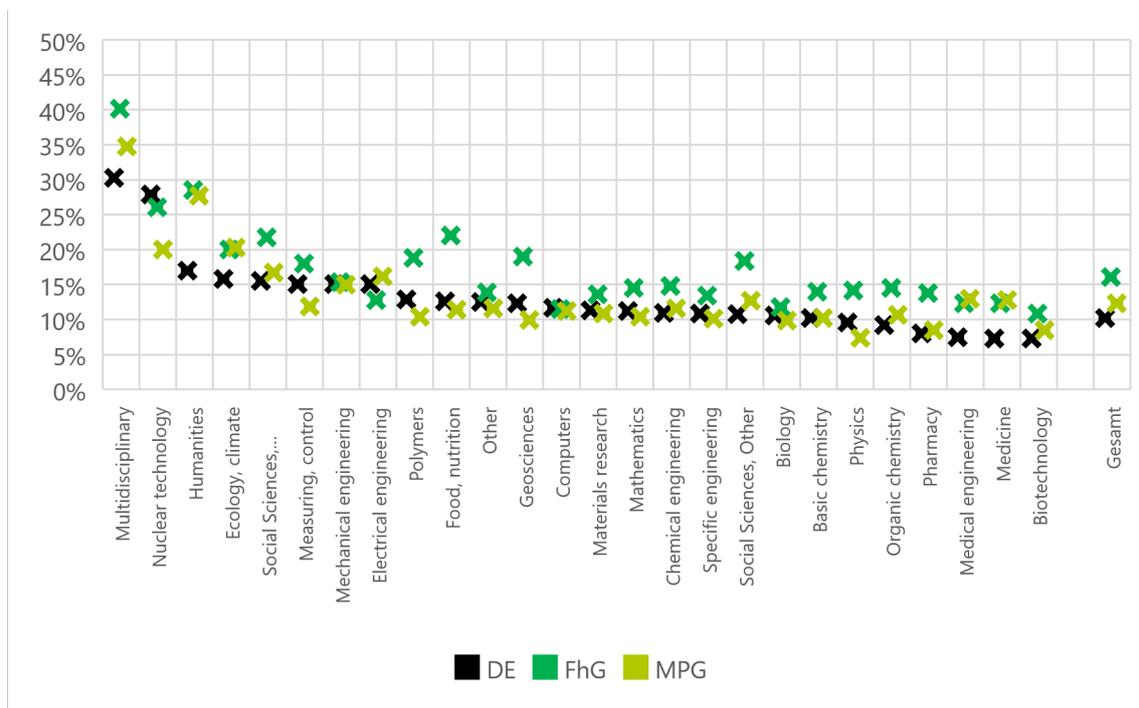
Abbildung 10 zeigt die durchschnittliche Anzahl der Felder in Publikationen der jeweiligen Felder. Der Indikator gibt also an, wie vielen Feldern Publikationen zugeordnet sind, die in dem jeweiligen Feld in der Abbildung zu sehen sind. So sind für Deutschland Publikationen die im Feld Polymere publizieren im Schnitt noch 4,8 anderen Feldern zugeordnet, weshalb dieses Feld auf diesem Indikator als sehr interdisziplinär angesehen werden kann, auch wenn es sich hierbei nur um ein eher kleines Feld handelt. An zweiter und dritter Stelle stehen die organische Chemie und Chemieingenieurwesen. Hier liegt eine Kooperation mit anderen Feldern im Ingenieurwesen oder in die Chemie nahe. Die FhG und MPG unterscheiden sich teilweise deutlich von Deutschland. So hat die FhG im Feld organische Chemie den höchsten Wert und liegt genau wie die MPG in vielen Feldern über dem deutschen Durchschnitt.

Die Medizin, die insgesamt das publikationsstärkste Feld darstellt, wird auf diesem Indikator als wenig interdisziplinär eingestuft. Dies liegt jedoch zumindest zum Teil darin begründet, dass die Medizin selbst in viele Einzelfelder unterteilt ist, wir in dieser Darstellung die Medizin jedoch nur als Ganzes betrachten. Eine Publikation im Bereich der

Onkologie in der auch das Feld Chirurgie genannt ist, würde hier nicht gezählt werden. Es lässt sich jedoch auch zeigen, dass die FhG und die MPG überdurchschnittlich hohe Werte auf diesem Indikator vorweisen.

In Abbildung 11 wird der zweite Indikator "Anteile von Zitaten aus anderen Feldern" abgebildet. Hier haben die Felder "Multidisciplinary" und die Nukleartechnologie die höchsten Werte im Vergleich der Felder. Diese beiden Felder werden also besonders häufig von Publikationen aus anderen Feldern zitiert. Für Deutschland erhalten 30% der Publikationen im Feld Multidisciplinary und 28% der Publikationen im Feld Nukleartechnologie Zitierungen aus Publikationen anderer Felder. Zu beachten ist jedoch, dass in diesen Feldern insgesamt relativ wenig publiziert wird. Interessant ist, dass die Geisteswissenschaften bei der FhG und MPG besonders häufig von Publikationen aus anderen Feldern zitiert werden, in Deutschland insgesamt ist der Wert jedoch wesentlich niedriger. Die FhG verzeichnet außerdem einen Anteil über 20% bei den Feldern "Social Science, Economics" und "Food, Nutrition". Der Unterschied zwischen den Feldern ist bei diesem Indikator wesentlich geringer.

Abbildung 11: Anteile von Zitaten aus anderen Feldern in Publikationen der jeweiligen Felder (Klassifikation ISI-EFI2010), 2014-2016

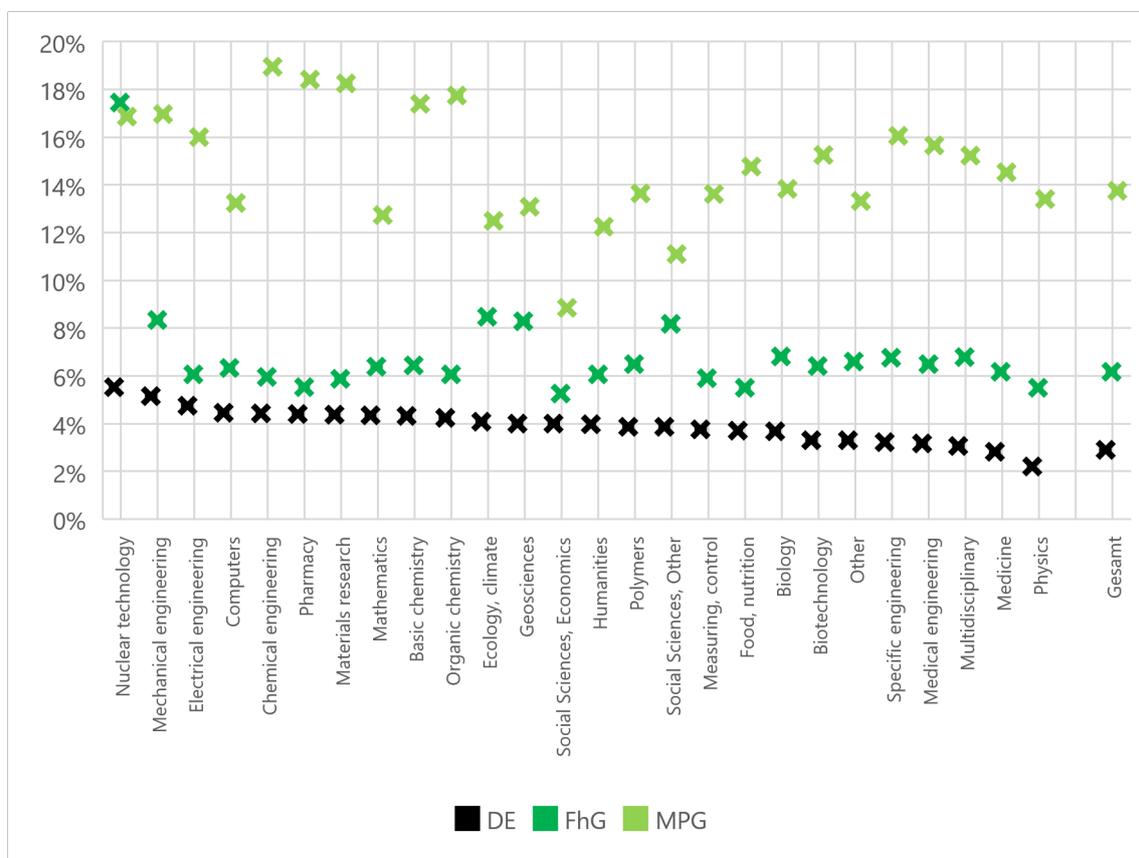


Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Der dritte Indikator bezieht sich auf die Referenzen (Abbildung 12). Hier werden die Anteile von Referenzen der Publikationen aus anderen Feldern abgebildet, es wird also

analysiert wie häufig eine Publikation von Publikationen aus anderen Feldern zitiert wird. Es fällt auf, dass die Werte für Deutschland in allen Feldern niedriger als für die FhG sowie die MPG ausfallen. Auch hier weist das Feld Nukleartechnologie einen vergleichsweise hohen Wert für Deutschland insgesamt und vor allem auch die FhG auf. Erneut bleibt hier jedoch zu berücksichtigen, dass das Feld Nukleartechnologie insgesamt sehr klein ausfällt, weshalb kleine Veränderungen hier bereits für starke Effekte sorgen können.

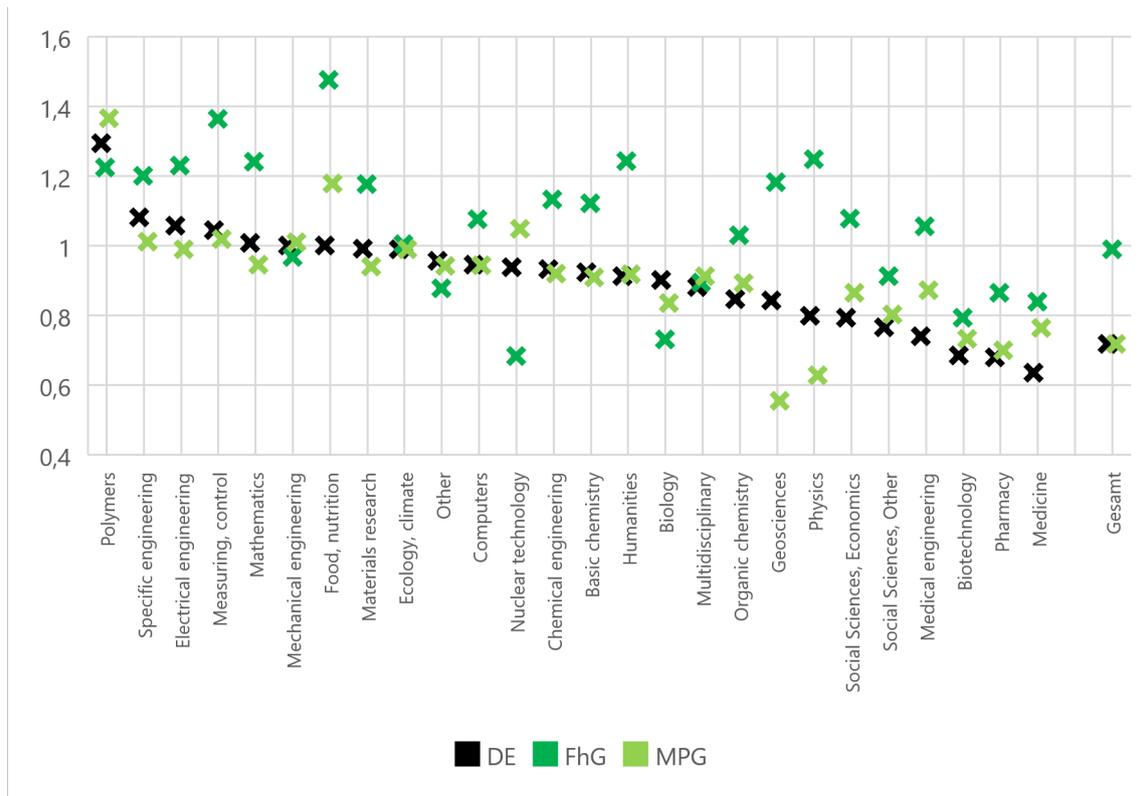
Abbildung 12: Anteile von Referenzen aus anderen Feldern in Publikationen der jeweiligen Felder (Klassifikation ISI-EFI2010), 2016-2018



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

In Abbildung 13 ist der vierte bibliometrische Indikator – die Heterogenität der Referenzliste nach Feldern – dargestellt. Wie schon beim ersten Indikator, sticht das Feld Polymere heraus, wobei hier erneut die geringe Größe des Feldes beachtet werden muss. Spezialingenieurwesen, Elektroingenieurwesen und das Messwesen zeigen hohe Werte für Deutschland als Ganzes. Die FhG weist in vielen Feldern deutlich höhere Werte als Deutschland auf, was sich auch in dem Gesamtdurchschnitt der FhG widerspiegelt. Die höchsten Werte hat die FhG in den Feldern Ernährung sowie Messwesen.

Abbildung 13: Heterogenität der jeweiligen Felder (Klassifikation ISI_EFI2010), 2016-2018



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

3.5 Ergebnisse nach Research Level

Dieser Abschnitt widmet sich der Frage, ob sich Unterschiede in der Interdisziplinarität nicht nur zwischen Feldern, sondern auch unterschieden nach Research Levels (RL) zeigen lassen. RLs sind eine für bibliometrische Zwecke entwickelte, vierstufige Klassifikation von Forschungspublikationen. Erstmals wurde dieser Ansatz 1976 von Narin, Pinski & Gee entwickelt, der ein vierstufiges System der Einordnung biomedizinischer Zeitschriften beinhaltet. Die Zuweisung der Zeitschriften zu den vier Stufen basierte auf Experteneinschätzungen und auf der Beobachtung eines Musters von Zitationsbeziehungen.

Eine Neuere, hier verwendete, Klassifikation basiert auf der Ebene einzelner Artikel nach Boyack et al. (2014). Sie wurde im Rahmen eines Projekts von Donner (2017) im Kompetenzzentrum Bibliometrie umgesetzt. Die Klassifikation basiert auf einer multinomialen logistischen Regression unter Verwendung des Vorhandenseins bestimmter Wörtern in Titel und Abstract als Prädiktorvariablen. mit deren Hilfe 88% aller deutschen Publikationen zugeordnet werden konnten. Laut Boyack et al. (2014) sind die Bereiche Physik, Chemie, Biologie und Teile der Medizin der Grundlagenforschung zuzuordnen, während

die Bereiche Ingenieurwesen, Informatik, Sozialwissenschaften und die eher klinischen Bereiche der Medizin eher der angewandten Forschung zuzuordnen sind.

Die Berechnung der Indikatoren nach Research Level (RL) beruht auf der Einteilung der Publikationen nach vier Klassenbezeichnungen des RL: 1. Applied Technology, 2. Engineering-technological mix, 3. Applied research und 4. Basic scientific research. Wobei hier der Fokus auf RL 3 und 4 die Angewandte Forschung und auf die Grundlagenforschung gerichtet ist. Da die Daten der verwendeten Klassifikation lediglich bis 2014 ausreichend verfügbar sind (siehe Tabelle 5), werden die Indikatoren im Zeitraum 2012 bis 2014 abgebildet.

Tabelle 5 zeigt die Verteilung der Publikationen Deutschlands, der FhG und MPG auf die vier RL, gesehen auf alle Publikationen. Da nicht alle Publikationen einen RL haben, ist die Summe der RL-Anteile unter 100% und im Durchschnitt bei 88%. So ist die Verteilung 2012 bis 2014 in Deutschland relativ homogen, mit einem Schwerpunkt auf der Grundlagenforschung (31% bei RL=4). Die FhG hat ihren Schwerpunkt mit 32% auf der Anwendungsorientierten Forschung (RL=3) und bei der MPG überwiegt deutlich die Grundlagenforschung mit 67% der Publikationen.

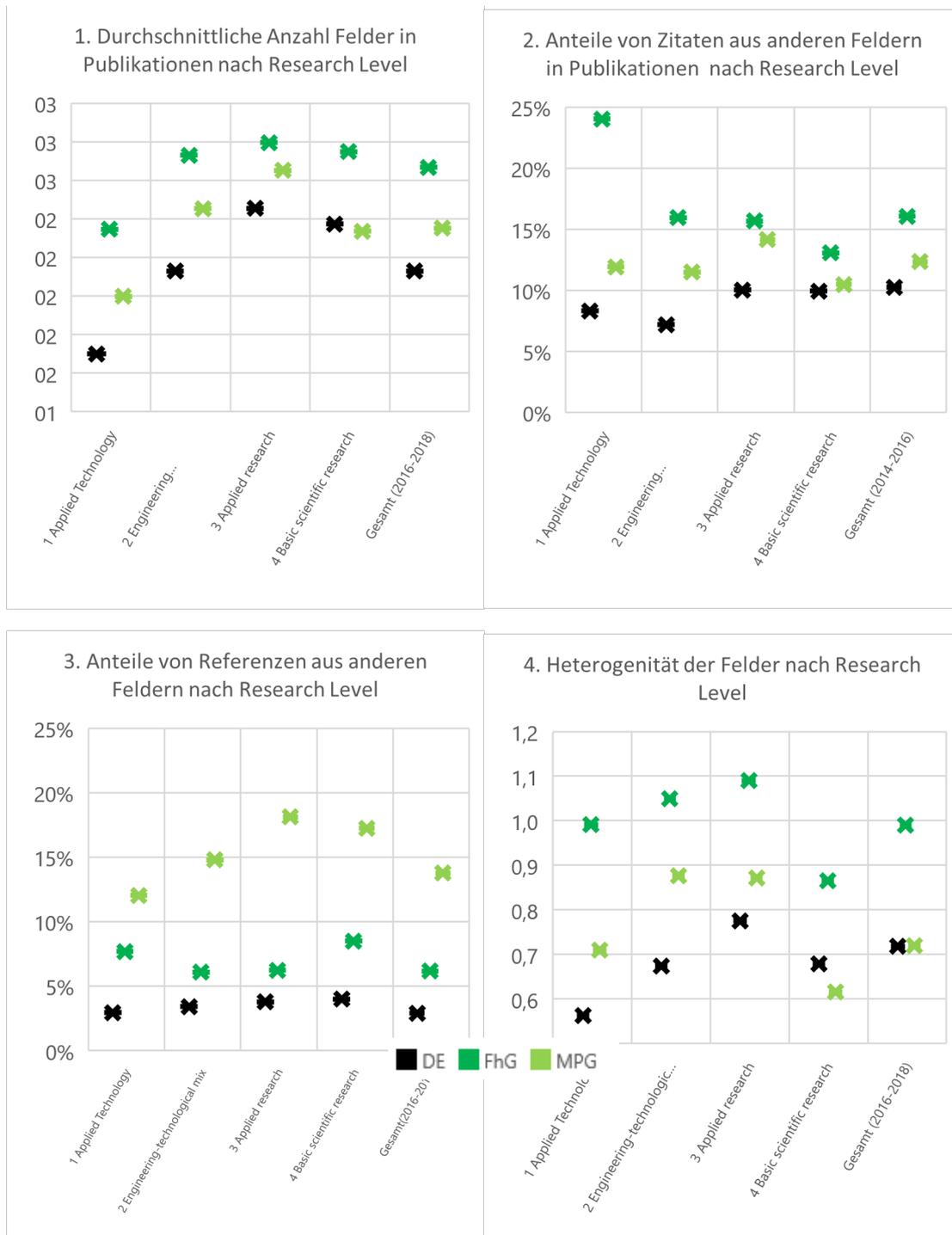
Tabelle 5: Publikationsanteile nach RL für DE, FhG und MPG, 2007-2018

DE	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Avg 2012-14
1	20%	19%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	7%	0%	0%	0%	20%
2	17%	18%	18%	18%	18%	19%	18%	17%	7%	0%	0%	0%	18%
3	18%	19%	19%	18%	18%	18%	19%	17%	6%	0%	0%	0%	18%
4	32%	33%	33%	33%	34%	32%	32%	29%	10%	0%	0%	0%	31%
gesamt	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
FhG	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Avg 2012-14
1	20%	19%	19%	20%	17%	17%	18%	18%	5%	0%	0%	0%	18%
2	27%	29%	26%	28%	29%	31%	26%	25%	9%	0%	0%	0%	28%
3	31%	30%	32%	33%	34%	32%	35%	30%	11%	0%	0%	0%	32%
4	13%	13%	14%	14%	16%	12%	14%	13%	5%	0%	0%	0%	13%
gesamt	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
MPG	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Avg 2012-14
1	3%	4%	4%	3%	4%	4%	4%	4%	1%	0%	0%	0%	4%
2	7%	7%	8%	6%	7%	7%	7%	7%	3%	0%	0%	0%	7%
3	19%	18%	18%	17%	16%	16%	16%	16%	6%	0%	0%	0%	16%
4	68%	69%	67%	71%	71%	70%	69%	64%	22%	0%	0%	0%	67%
gesamt	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Im Folgenden werden die interdisziplinären Indikatoren in Bezug auf den RL abgebildet. Abbildung 14 zeigt eine Übersicht mit allen vier Indikatoren.

Abbildung 14: Überblick über die vier Indikatoren der Interdisziplinarität nach RL der Publikationen (ISI-EFI2010), 2012-2014



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

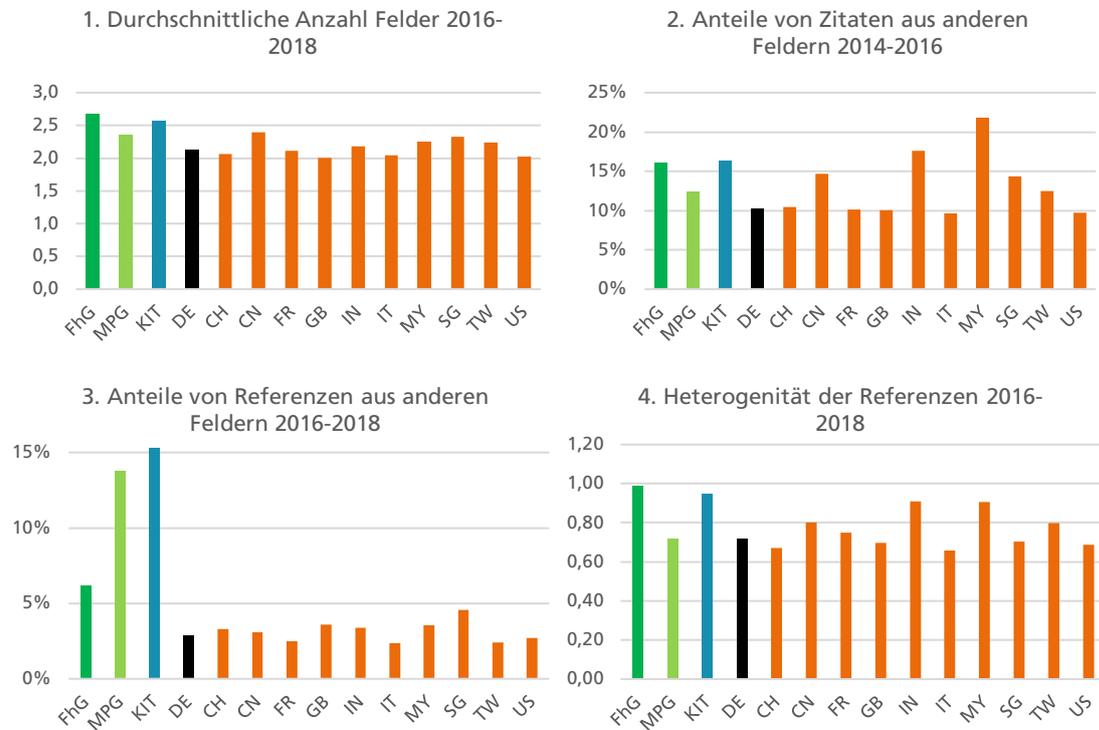
Insgesamt zeigen sich Unterschiede nach Research Level insgesamt vor allem für den ersten und den vierten bibliometrischen Indikator. Der Bereich der "applied research" (RL3) hat auf beiden Indikatoren die höchsten Interdisziplinaritäts-Werte, gefolgt von "basic scientific research" (RL4). Bei der konkreten technologischen Anwendung und in der Mischform mit den Ingenieurwissenschaften zeigen sich insgesamt niedrigere Interdisziplinaritäts-Werte. Bei den Indikatoren zwei und drei zeigen sich für Deutschland jedoch nur marginale Unterschiede. Für die Unterscheidung zwischen FhG und MPG zeigt sich kein einheitliches Bild, sondern sehr unterschiedliche Effekte über die Indikatoren hinweg. Die liegt jedoch in den klaren Schwerpunkten innerhalb des Forschungsprofils der FhG und MPG begründet, weshalb in den jeweils anderen Kategorien nur niedrige, schwer interpretierbare Werte zustande kommen.

3.6 Ergebnisse im internationalen Vergleich

In diesem Kapitel widmen wir uns der Ebene der Länder im Vergleich zu den einzelnen Organisationen. Neben der MPG und der FhG wird, als Beispiel für die Universitäten, das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) neben dem Ländervergleich aufgeführt. Vergleicht man die Indikatoren auf der Makroebene miteinander so zeigt sich, dass sowohl die FhG, MPG und das KIT im internationalen Vergleich vergleichsweise hohe Werte auf den vier bibliometrischen Interdisziplinaritäts-Indikatoren aufweisen (Abbildung 15), während Deutschland insgesamt sich im internationalen Durchschnitt bewegt.

Vor allem beim dritten Indikator (Anteil der Referenzen aus anderen Feldern) heben sich MPG und KIT stark von anderen Ländern ab.

Abbildung 15: Die vier Indikatoren im Überblick für FhG, MPG, KIT und ausgewählte Länder (Klassifikation: ISI-EFI2010)



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

In der Rangfolge der Organisationen und Länder, ist das Bild recht deutlich (Tabelle 6). Das KIT schneidet über alle Indikatoren hinweg am besten ab.

Tabelle 6: Rangfolge der Institute nach den vier Indikatoren

	1: Durchschnittliche Anzahl der Felder (2016-18)	2: Anteil Zitate aus anderen Feldern (2014-16)	3: Anteil Referenzen aus anderen Feldern (2016-18)	4: Heterogenität der Referenzen (2016-18)	Durchschnitt der Ränge
KIT	2	3	1	2	2
FhG	1	4	3	1	2
MY	6	1	6	4	4
IN	8	2	7	3	5
CN	3	5	9	5	6
MPG	4	8	2	8	6
SG	5	6	4	10	6
TW	7	7	13	6	8
DE	9	10	10	9	10
FR	10	11	12	7	10
CH	11	9	8	13	10
GB	14	12	5	11	11
US	13	13	11	12	12
IT	12	14	14	14	14

Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Auf der Makroebene korrelieren alle Indikatoren deutlich stärker miteinander, als das auf Ebene der einzelnen Institute der Fall war (Tabelle 7). Dies ist zu erwarten, da die Fraunhofer sowie die Max-Planck-Institute jeweils unterschiedliche thematische Ausrichtungen haben. Diese Unterschiede der einzelnen Institute verschwimmen auf der Ebene der Länder. Dies wiederum bedeutet, dass vor allem auf der Mikroebene einzelner Institutionen ein Vergleich über mehrere Indikatoren hinweg vonnöten ist, um einen mehrdimensionalen Einblick in die Interdisziplinarität zu erhalten.

Tabelle 7: Korrelationsmatrix der vier Indikatoren

	1. Durchschnittliche Anzahl der Felder	2. Anteil Zitate aus anderen Feldern	3. Anteil Referenzen aus anderen Feldern	4. Heterogenität der Referenzen
2. Anteil Zitate aus anderen Feldern	0,59			
3. Anteil Referenzen aus anderen Feldern	0,61	0,24		
4. Heterogenität der Referenzen	0,75	0,82	0,33	

Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

3.7 Stabilität der Indikatoren – Signifikanztests

Eine große Herausforderung bei der Messung der Interdisziplinarität – in der Bibliometrie sowie in anderen Bereichen – ist die unterschiedliche Breite der Feldklassifikationen, die häufig bei der Berechnung der Indikatoren Anwendung finden. In diesem Kapitel wird daher überprüft, ob die Anwendung verschiedener Klassifikationssysteme innerhalb der Bibliometrie zu unterschiedlichen Ergebnissen führt. Für die Berechnung der Indikatoren wurden dabei drei verschiedene Klassifikationen miteinander verglichen. Die erste Klassifikation ist die bereits in den vorherigen Kapiteln dargestellte interne Klassifikation (ISI_EFI2010), die 26 Felder auf Basis der Scopus Klassifikation umfasst. Die zweite ist die 2-Steller Klassifikation (ASJC2) aus Scopus, die 27 Klassen beinhaltet und der ISI_EFI2010 Klassifikation nahezu gleich. Die dritte Klassifikation ist eine sehr viel detailliertere Klassifikation in Scopus, die 4-Steller Klassifikation (ASJC4): Diese deutlich feinere Klassifikation beinhaltet 334 Klassen. Eine genaue Übersicht der Klassifikationen findet sich im Anhang (Tabelle 23). Die neu entwickelte Klassifikation für den Kerndatensatz Forschung (Stiller et al. 2021) kann an dieser Stelle leider nicht berücksichtigt werden, da nicht alle Publikationen den entsprechenden Feldern zugeordnet werden konnte bzw. noch keine Konkordanz zu den Feldern der ASJC existiert.

Neben der Unterschiedlichkeit der Felder wurde getestet, ob die Indikatoren im Zeitverlauf signifikante Unterschiede aufweisen. Dazu werden Jahrescheiben mit jeweils drei Jahren für Publikationen und Referenzen (2007-2009; 2010-2012; 2013-2015; 2016-2018) sowie für Zitate (2008-2010; 2011-2013; 2014-2016) abgebildet.

Die vier bibliometrischen Interdisziplinaritätsindikatoren wurden für drei verschiedene Klassifikationen und vier Jahreszeiträume gerechnet und miteinander verglichen (Tabelle 8). Der Signifikanztest hat ergeben, dass sich die Jahreszeiträume bis auf wenige Ausnahmen nicht signifikant unterscheiden. Lediglich beim zweiten Indikator wurde für die MPG und die Länder ein signifikanter Unterschied festgestellt. Der signifikante Unterschied ist auf relativ viele Ausreißer zurückzuführen.

Betrachtet man die Länder, ist ein zeitlicher Effekt bei diesem Indikator sichtbar. So schneiden alle Länder im Zeitraum 2008-2010 am schlechtesten und 2014-2016 am besten ab, was auf eine zunehmende Interdisziplinarität im Gesamtsystem hinweist. Dieser Effekt zeichnet sich über alle Klassifikationen hinweg ab. Der Effekt zeigt, dass der Anteil von Zitaten aus anderen Feldern als die Publikation mit der Zeit steigt, und zwar bei allen Ländern und Organisationen. Dieser Effekt zeigt sich jedoch erst auf der Makroebene signifikant. Insgesamt zeigen sich also leichte zeitliche Fluktuationen, die sich jedoch hauptsächlich auf der Makroebene niederschlagen.

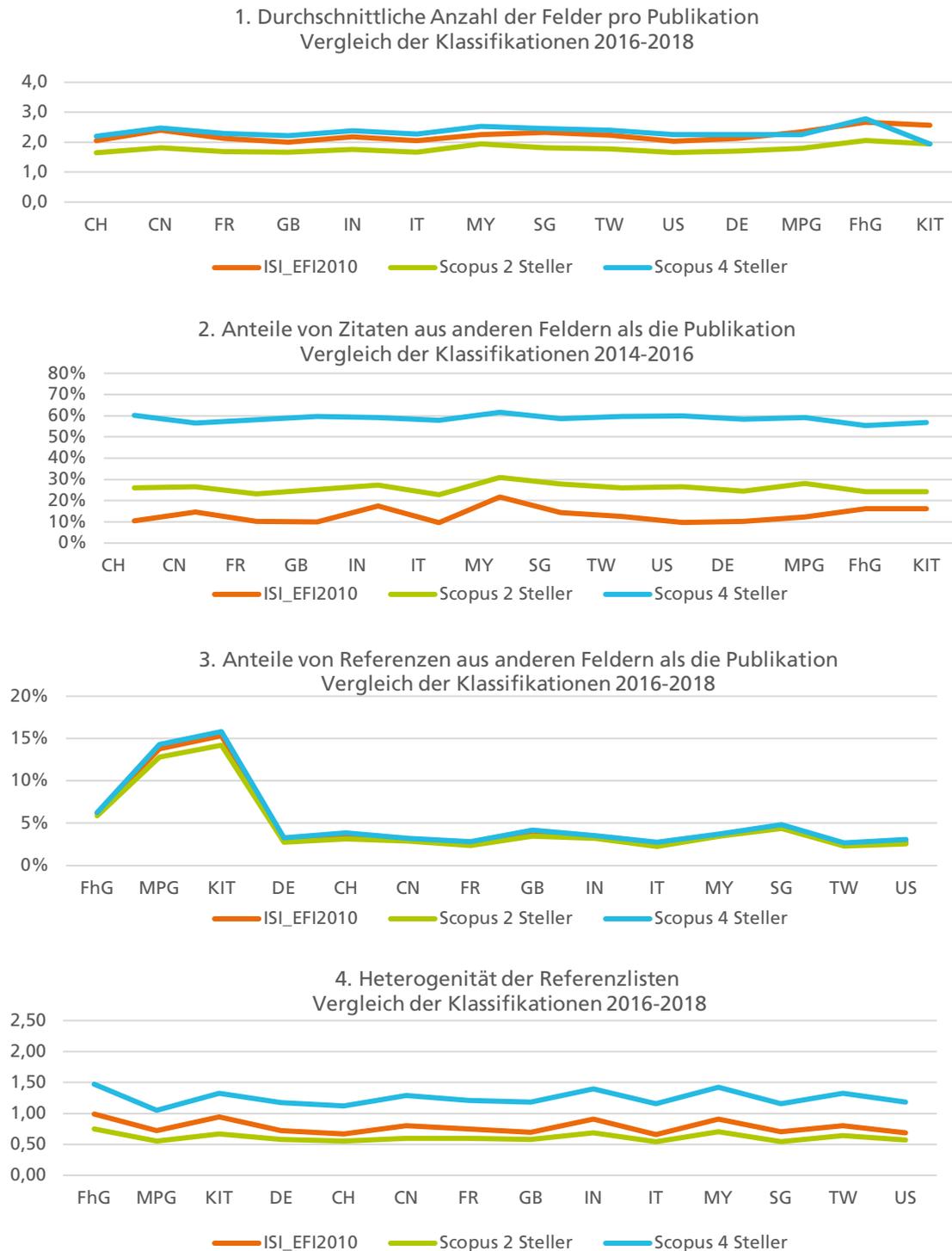
Anders ist dies bei den verschiedenen Klassifikationssystemen. Dieser Unterschied ist fast immer signifikant. Das heißt, es macht einen Unterschied welche Klassifikation verwendet wird. Bei der 4-Steller Klassifikation gibt es natürlicherweise deutlich mehr Klassen, weshalb die durchschnittliche Anzahl der Felder automatisch höher ausfällt. Da die Klassifikationen jedoch einheitlich für alle Institute verwendet werden, werden alle auf dem Niveau der gleichen Klassifikation bewertet. Bei Organisationen unterschiedlicher inhaltlicher Ausrichtung führt dies jedoch durchaus zu unterschiedlichen Effekten, was bei einem Vergleich der Institute in Betracht gezogen werden muss (siehe Abbildung 16). Eine Ausnahme bildet der dritte Indikator, bei dem der Unterschied zwischen den Klassifikationen bei der FhG und auf der Makroebene nicht signifikant ist.

Tabelle 8: Signifikanztests der einfaktoriellen ANOVA im Überblick

Einfaktorielle ANOVA	Perioden Unterschied	Klassifikationen Unterschied
FhG Institute		
1. Durchschnittliche Anzahl der Felder	nicht signifikant	signifikant
2. Anteil CIT andere Felder	nicht signifikant	signifikant
3. Anteil REF andere Felder	signifikant	nicht signifikant
4. Heterogenität der Referenzen	nicht signifikant	signifikant
MPG Institute		
1. Durchschnittliche Anzahl der Felder	nicht signifikant	signifikant
2. Anteil CIT andere Felder	ISI_EFI und 2 Steller signifikant 4 Steller nicht signifikant	signifikant
3. Anteil REF andere Felder	signifikant	signifikant
4. Heterogenität der Referenzen	nicht signifikant	signifikant
Länder, FhG, MPG und KIT		
1. Durchschnittliche Anzahl der Felder	nicht signifikant	signifikant
2. Anteil CIT andere Felder	ISI_EFI nicht signifikant 2 und 4 Steller signifikant	signifikant
3. Anteil REF andere Felder	nicht signifikant	nicht signifikant
4. Heterogenität der Referenzen	nicht signifikant	signifikant

Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

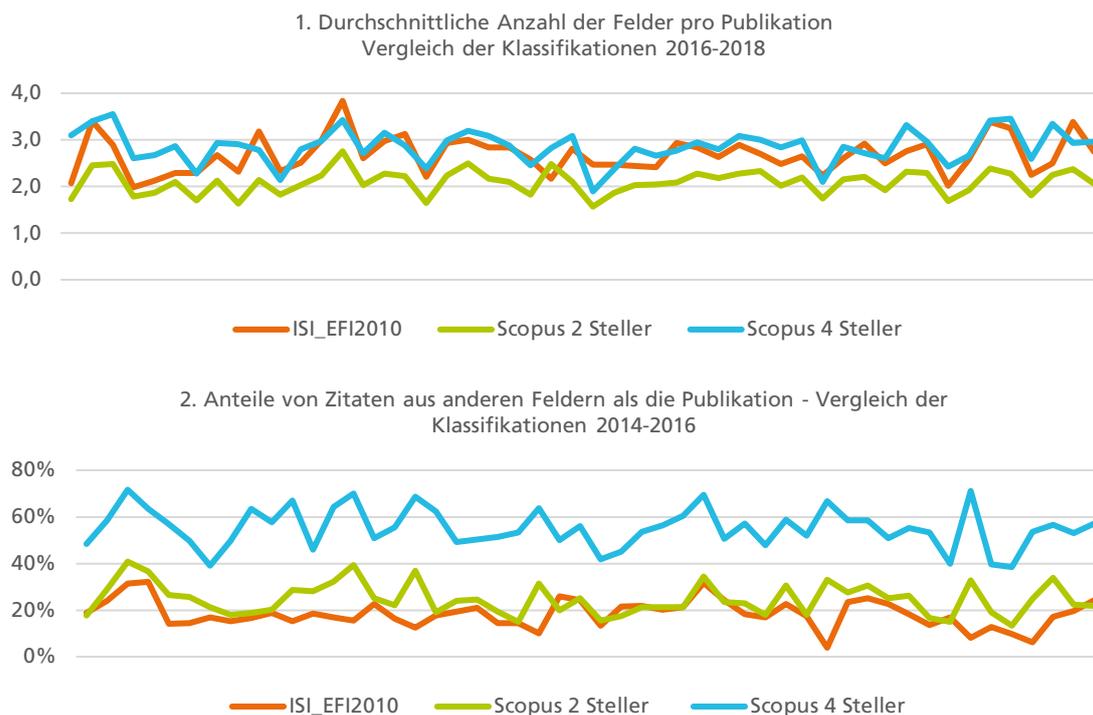
Abbildung 16: Vergleich der Indikatoren mit den Klassifikationen ISI-EFI2010, Scopus 2-Steller und Scopus 4-Steller, für ausgewählte Länder, Max-Planck-Gesellschaft, Fraunhofer-Gesellschaft und das Karlsruher Institut für Technologie

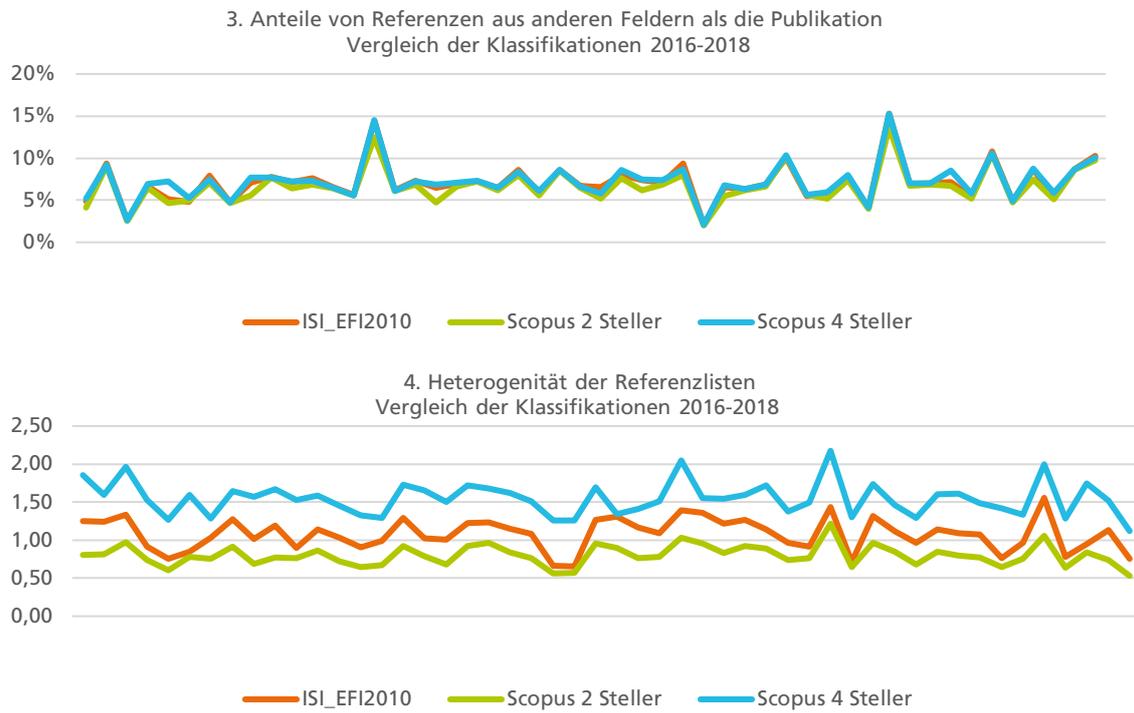


Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Ein ähnliches Bild erhält man, wenn man die Institute miteinander vergleicht. In Abbildung 17 wird beispielsweise die FhG betrachtet. Auf der Mikroebene sind die Schwankungen höher, dies liegt jedoch an der geringeren Fallzahl. Insgesamt bleibt jedoch die Aussage, dass durch die Unterschiedlichkeit des Detaillierungsgrades in den Klassifikationssystemen Unterschiede entstehen können, die auf die Klassifikationssysteme zurückzuführen sind – unabhängig von den Unterschieden, die zwischen den einzelnen Instituten bestehen. Es sollte daher bei einem Vergleich auf Organisationsebene darauf geachtet werden in den Feldstrukturen ähnliche Organisationen miteinander zu vergleichen, da es sonst zu Verzerrungen unterschiedlicher Klassifikationssysteme kommen kann. Eine Option hierzu ist, klassifikationsunabhängige Indikatoren zu verwenden, worauf in den folgenden Kapiteln näher eingegangen wird.

Abbildung 17: Vergleich der Indikatoren mit den Klassifikationen ISI-EFI2010, Scopus 2-Steller und Scopus 4-Steller, für Institute der Fraunhofer Gesellschaft





Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

4 Neue Methoden zur Messung von Interdisziplinarität

In diesem Abschnitt werden neue Indikatoren vorgestellt, die der Messung unterschiedlicher Facetten von Interdisziplinarität dienen können und die über klassische bibliometrische Analysen hinausgehen. Dazu zählen am technologischen Output orientierte Maße wie Patent- und Markenmeldungen, Kooperationen in gemeinsamen Projekten, disziplinärer Hintergrund der kooperierenden Personen sowie die Darstellung von Instituten auf ihrer Website.

4.1 Patentindikatoren

Die verwendeten Patentindikatoren wurden aus der EPO Worldwide Patent Statistical Database (PATSTAT) extrahiert, die Informationen zu Patentanmeldungen an mehr als 80 Patentämtern weltweit enthält. Dort findet sich nicht nur die reine Anmeldezahl, auch bibliographische Informationen, z.B. Land des Erfinders/Patentanmelders, Zuordnung zu Technologieklassen, etc., sind in der Datenbank verfügbar. Die Patente werden dabei nach dem Jahr der weltweit ersten Anmeldung, dem so genannten Prioritätsjahr, ausgewertet, da dieses Datum dem zugrundeliegenden FuE-Prozess am nächsten liegt. Die Patentanmeldungen werden als Familien gezählt, d.h. dass jede Patentanmeldung an einem beliebigen Patentamt als solche gezählt wird, Doppelzählungen von Erfindungen werden damit ausgeschlossen.

Die Patentanmeldungen der einzelnen Fraunhofer-Institute sind in der Datenbank jedoch nicht erfasst, da Fraunhofer alle Patente zentral als "Fraunhofer Gesellschaft" anmeldet. Diese Daten wurden dem Fraunhofer ISI in einem Vorgängerprojekt zur Verfügung gestellt, mussten allerdings wieder gelöscht werden. Die Auswertungen in diesem Projekt basieren daher auf den Ergebnissen früherer Auswertungen. Es wurde somit auf die in den anderen Projekten verwendete Abgrenzung/Klassifikation (nach WZ und IPC-Code) und die dort verwendeten Prioritätsjahre (2010-2012) zurückgegriffen.

Der erste verwendete Patentindikator zur Messung der Interdisziplinarität der Fraunhofer-Institute ist die Streuung der Patentanmeldungen der einzelnen Fraunhofer-Institute über IPC-Klassen (Internationale Patentklassifikation). Im Verlauf des Anmelde-/Erteilungsprozesses ordnet der Patentprüfer einem Patent mindestens eine – jedoch meist mehrere – IPC-Klassen zu, die helfen, das Patent technologisch zu klassifizieren. Aggregiert auf Ebene der Fraunhofer-Institute gibt dieses Maß Aufschluss darüber, in wie vielen IPC-Klassen ein Fraunhofer-Institut im Durchschnitt patentiert und erlaubt dadurch Aussagen darüber in wie vielen unterschiedlichen Forschungszeigen ein

Fraunhofer-Institut involviert ist. Zur besseren Darstellung der Ergebnisse wird ein Streuungsmaß, der so genannte Herfindahl-Hirschman Index berechnet:

$$1 - HHI = 1 - \left\{ \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} \right)^2 \right\}$$

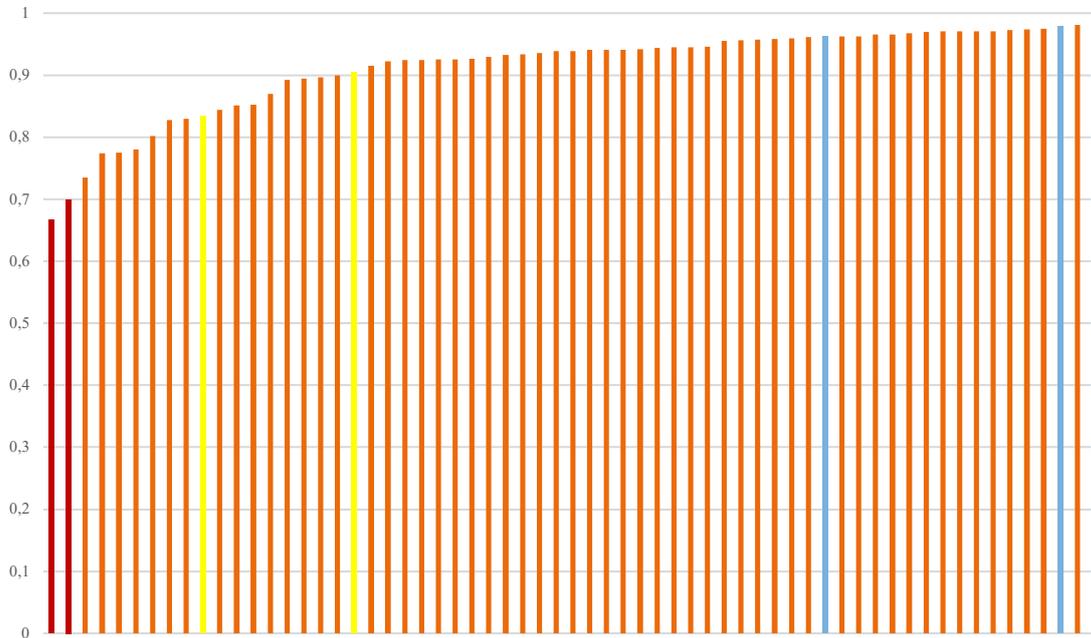
mit 1=maximale Streuung, 1/n=minimale Streuung.

Der Herfindahl-Hirschman Index zeigt an, ob sich die Patentanmeldungen eines Fraunhofer-Instituts stark auf eine (oder wenige) IPC-Klassen konzentrieren oder breit über verschiedene IPC-Klassen streuen. Dabei gilt, je größer der Wert des Herfindahl-Hirschman Index, desto größer ist die Konzentration (Maximalwert=1, Minimalwert= 1/n). Da an dieser Stelle die Frage nach der Streuung im Vordergrund steht, wurde der Indikator durch die Transformation mit 1- Herfindahl-Hirschman Index gedreht, so dass der Maximalwert von "1" mit einer maximalen Streuung gleichzusetzen ist.

Die Annahme hinter der Berechnung des Herfindahl-Hirschman Index ist, je breiter die Streuung der Patente eines Fraunhofer-Instituts über Technologieklassen, desto interdisziplinärer aufgestellt ist ein Fraunhofer-Institut.⁸ Dabei gilt jedoch zu bedenken, dass es sich hierbei um ein Output-orientiertes Maß handelt. Es lassen sich also nur Rückschlüsse auf interdisziplinäre Forschungsteams ziehen, wobei die Streuung des Patents über Technologiefelder als Korrelat dient, d.h. es wird die Annahme zugrunde gelegt, dass die Streuung der Patente über Technologieklassen bei interdisziplinären Forschungsteams breiter ist. Außerdem sind nur patentierende Fraunhofer-Institute erfasst. Institute, die im Zeitraum 2010-2012 kein Patent angemeldet haben, sind in der Analyse nicht enthalten.

⁸ Hierbei muss bedacht werden, dass die Patentklassen der IPC unterschiedlich breit abgegrenzt sind und dadurch auch eine unterschiedliche Größe, gemessen an der Anzahl der eingeordneten Patente, besitzen. Hier können Verzerrungen entstehen, bspw. wenn ein Fraunhofer-Institut in "breiteren" Klassen patentiert als ein anderes Fraunhofer-Institut.

Abbildung 18: Streuung der Patentanmeldungen über Technologieklassen (IPC, 4-Steller), 2010-2012 (anonymisiert)

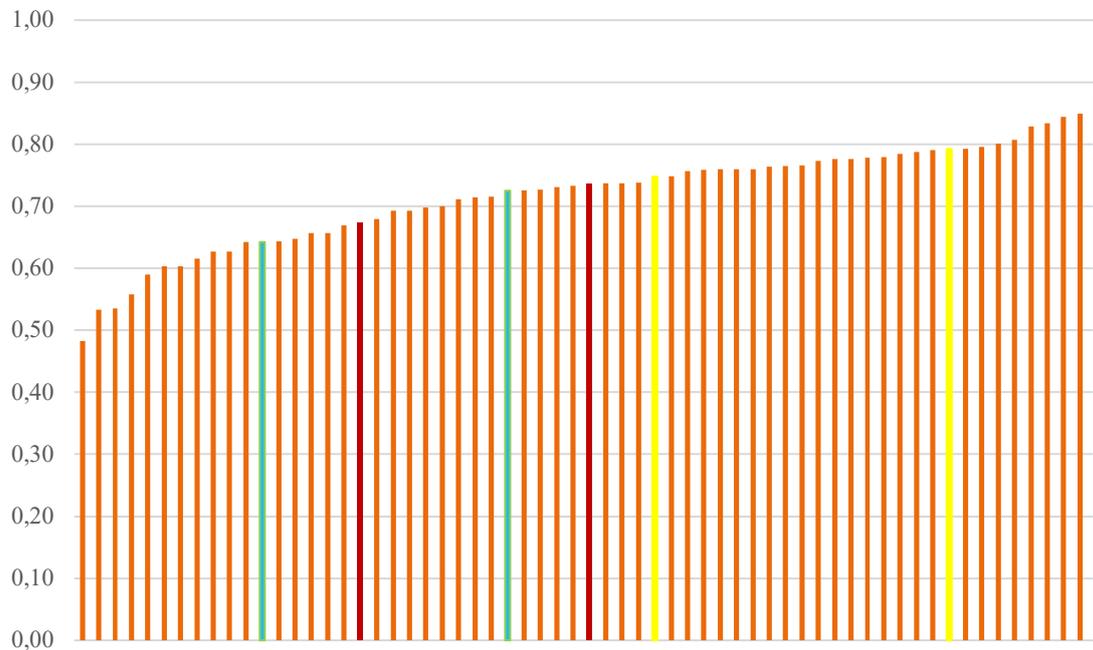


Quelle: PATSTAT, Recherchen und Berechnungen des Fraunhofer ISI.

Wie oben bereits erwähnt werden Patente nur nach Technologien, nicht jedoch nach Wirtschaftszweigen klassifiziert. Um diesem Problem zu entgehen, hat das Fraunhofer ISI einen Abgleich von Technologieprofilen der Fraunhofer-Institute mit einzelnen Wirtschaftszweigen durchgeführt, um die Fraunhofer-Institute einem (bzw. mehreren) Wirtschaftszweig zuzuordnen. Dies konnte durch die Zusammenführung der PATSTAT Datenbank mit der ORBIS Datenbank des Anbieters Bureau van Dijk erreicht werden, bei dem jedem Patentanmelder auf der Mikroebene ein Wirtschaftszweig zugeordnet wurde. Insgesamt wurden jedem Fraunhofer-Institut auf diesem Weg in absteigender Reihenfolge fünf Wirtschaftszweige zugeordnet.

An dieser Stelle wurde, analog zur Berechnung der Streuung der Patente über Technologieklassen, eine Streuung der Patente der Fraunhofer-Institute über Wirtschaftszweige berechnet. Technologien und Wirtschaftszweige sind nicht gleichbedeutend. Häufig wird in einem Wirtschaftszweig an Technologien geforscht, die auf den ersten Blick nicht direkt mit dem jeweiligen Wirtschaftszweig in Verbindung stehen. Beispielweise forschen viele Automobilhersteller (Wirtschaftszweig) in der Elektrotechnik (Technologiefeld), wenn es um Navigationssysteme geht. Auch im Bereich Textilien findet Forschung statt, bspw. bei Sicherheitsgurtsystemen oder Sitzbezügen. Besonders im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK) ist eine breite Streuung über Wirtschaftszweige zu beobachten (Gehrke et al., 2014).

Abbildung 19: Streuung der Patente der Fraunhofer-Institute über Wirtschaftszweige (NACE Rev. 2-, 3-Steller), 2010-2012 (anonymisiert)



Quelle: PATSTAT, BvD - ORBIS, Recherchen und Berechnungen des Fraunhofer ISI

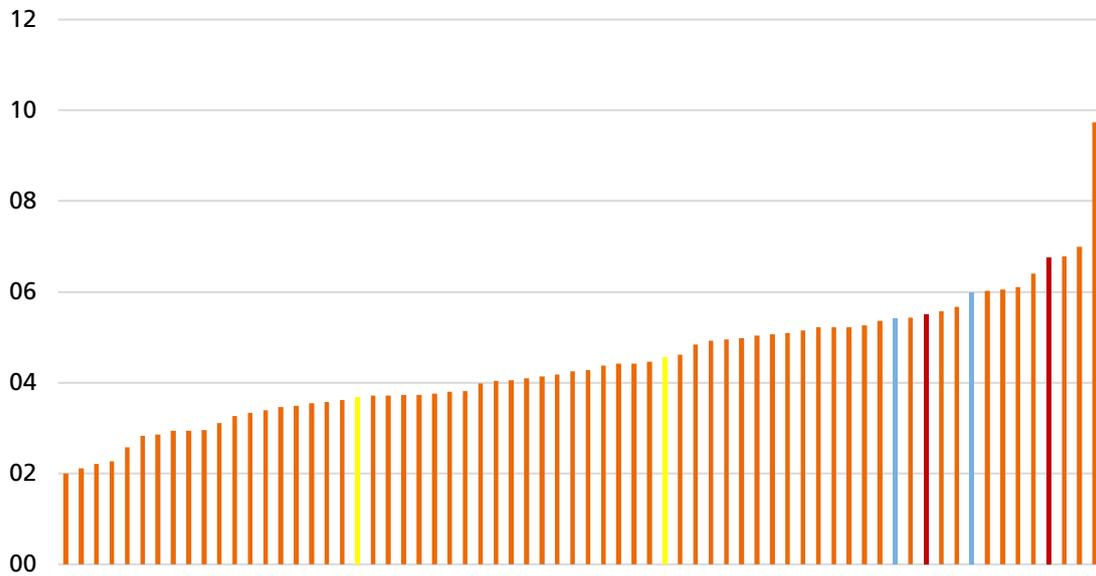
4.2 Projektkooperationen – Der Förderkatalog des Bundes

Eine weitere Informationsquelle zur Messung der Interdisziplinarität einzelner Fraunhofer-Institute ist die Anzahl der unterschiedlichen Partner, mit denen ein Fraunhofer-Institut im Laufe der Zeit kooperiert hat. Als Basis für diese Analyse wird der Förderkatalog des Bundes⁹ herangezogen. Hier sind alle Projekte seit 1968 gelistet, die von einigen bundesdeutschen Ministerien gefördert wurden, wobei die große Mehrheit der Einträge (knapp 80%) der Kooperationsprojekte nach 2000 durchgeführt wurden.

Um zu analysieren, mit wie vielen Partner die Fraunhofer-Institute im Durchschnitt kooperieren, wurde der Datensatz nur auf Kooperationsprojekte eingeschränkt. Die Hypothese, die diesem Indikator zugrunde liegt ist, dass in Verbund-/Kooperationsprojekten (in erster Linie) komplementäres Wissen, also Wissen aus anderen Bereichen als dem eigenen Schwerpunkt, durch Kooperation mit externen Partnern in das Projekt integriert wird. Neben der Anzahl der unterschiedlichen Projektpartner (generell und getrennt nach öffentlichen und privaten Partnern) wird außerdem die durchschnittliche Anzahl der unterschiedlichen Felder in Kooperationsprojekten auf Basis der Leistungsplansystematik des Bundes (LPS) analysiert.

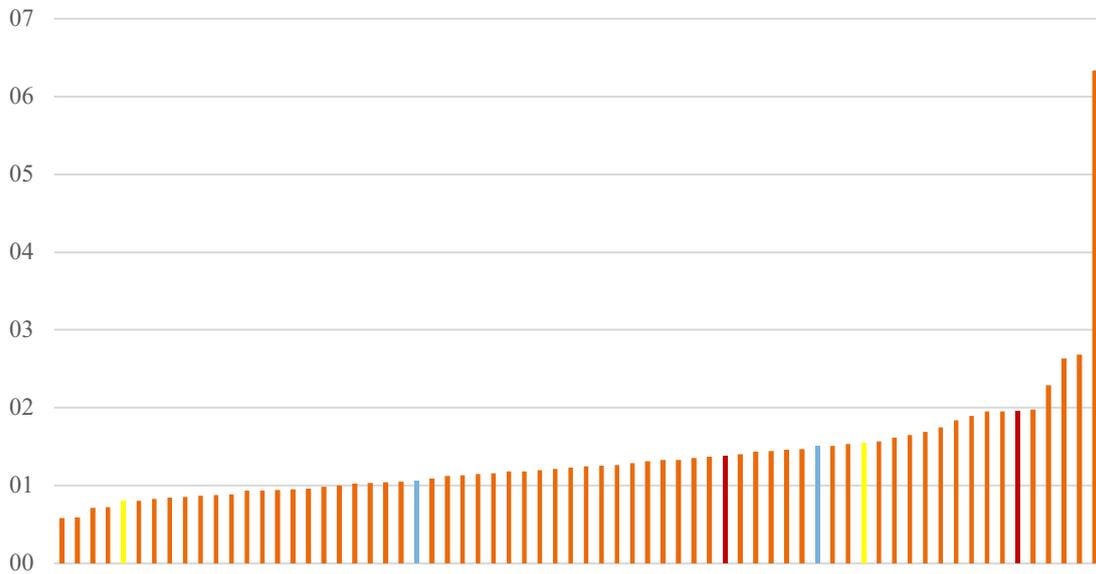
⁹ <http://foerderportal.bund.de/foekat/jsp/StartAction.do>

Abbildung 20: Durchschnittliche Anzahl der Projektpartner (anonymisiert)



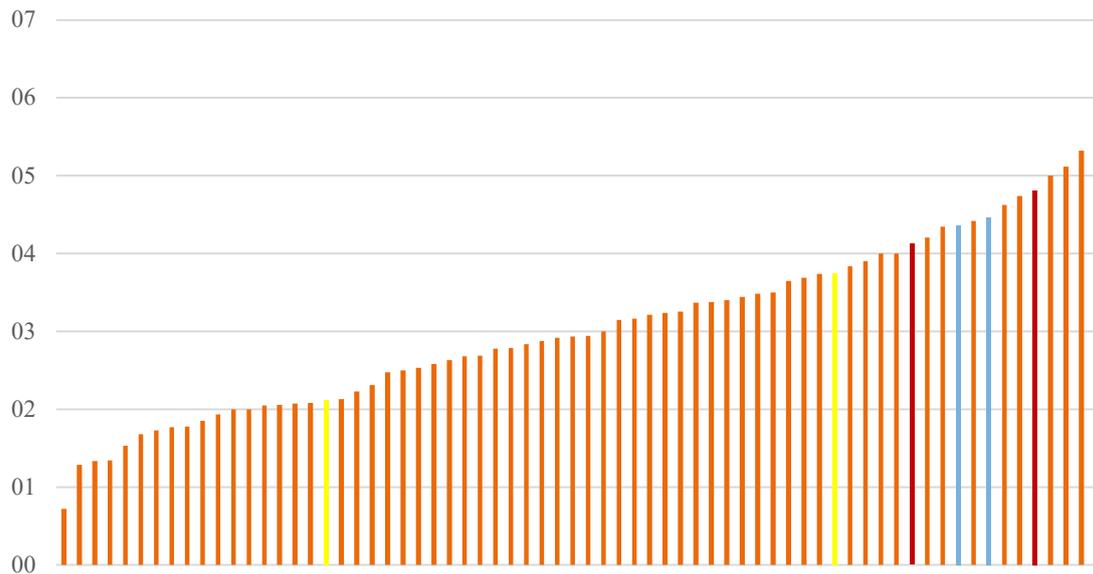
Quelle: Förderportal des Bundes - Förderkatalog, Recherchen und Berechnungen des Fraunhofer ISI

Abbildung 21: Durchschnittliche Anzahl der Projektpartner aus dem öffentlichen Sektor (anonymisiert)



Quelle: Förderportal des Bundes - Förderkatalog, Recherchen und Berechnungen des Fraunhofer ISI

Abbildung 22: Durchschnittliche Anzahl der Projektpartner aus dem privaten Sektor (anonymisiert)



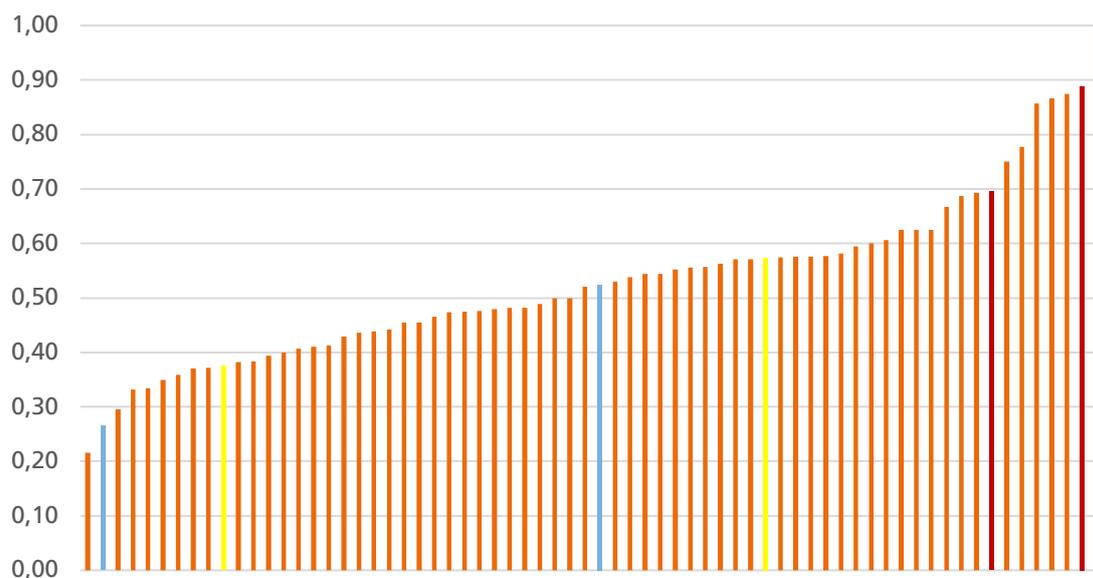
Quelle: Förderportal des Bundes - Förderkatalog, Recherchen und Berechnungen des Fraunhofer ISI

Im Förderkatalog des Bundes werden nicht nur die Projektpartner gelistet. Jedes Projekt wird außerdem laut Leistungsplansystematik des Bundes (LPS) klassifiziert. Mit der Leistungsplansystematik werden die FuE-Ausgaben des Bundes unabhängig vom finanzierenden Ressort einem Forschungsfeld zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt dabei nach dem Schwerpunktprinzip (Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2016). Wie die Internationale Patentklassifikation (IPC) ist auch die LPS hierarchisch geordnet. Um der Unterschiedlichkeit der Forschungsprojekte Rechnung zu tragen, wurde hier der 6-Steller verwendet.

Das Verfahren zur Auszählung der unterschiedlichen LPS-Klassen pro Fraunhofer-Institut ist analog zur Berechnung der unterschiedlichen Projektpartner. Zunächst wurden alle Kooperationsprojekte mit Beteiligung der Fraunhofer-Gesellschaft identifiziert. Im Anschluss daran wurde pro Fraunhofer-Institut ("Ausführende Stelle) die Anzahl der unterschiedlichen LPS-Klassen ausgezählt. Da pro Projekt jedoch nur eine Klasse vergeben wird, wird hier nicht die durchschnittliche Anzahl der LPS-Klassen pro Projekt verwendet, sondern die Anzahl der unterschiedlichen LPS-Klassen pro Institut durch die Anzahl der Projekte pro Institut dividiert, um Größeneffekte auszuschließen. Der Maximalwert von 1 bedeutet somit, dass ein Institut in jedem seiner Kooperationsprojekte in einem anderen Feld geforscht hat.

In Abbildung 23 wird deutlich, dass besonders zwei Institute in vielen unterschiedlichen Forschungsthemen bei Kooperationsprojekten aktiv sind. Insgesamt gesehen zeigt sich bei diesem Indikator eine große Bandbreite an feldspezifischen Fokussierungen. Die beiden Institute, die die beiden letzten Ränge einnehmen, sind in Bezug auf diesen Indikator sehr fokussiert in ihren Forschungsthemen und dadurch wenig "interdisziplinär" während andere Institute hier eine deutlich größere Streuung verschiedener Forschungsschwerpunkte aufweisen. Allerdings muss bei der Interpretation dieses Indikators bedacht werden, dass die Felder der LPS unterschiedlich breit definiert sind, was durch diesen Indikator nicht abgebildet werden kann. Daneben werden bei diesem – wie auch beim vorangehenden Indikator – lediglich die im Förderkatalog enthaltenen Projekte verwendet, während beispielsweise Projekte aus dem Bereich der Verteidigungsforschung nicht enthalten sind.

Abbildung 23: Durchschnittliche Anzahl der unterschiedlichen Technologieklassen nach Leistungsplansystematik (anonymisiert)



Quelle: Förderportal des Bundes - Förderkatalog, Recherchen und Berechnungen des Fraunhofer ISI

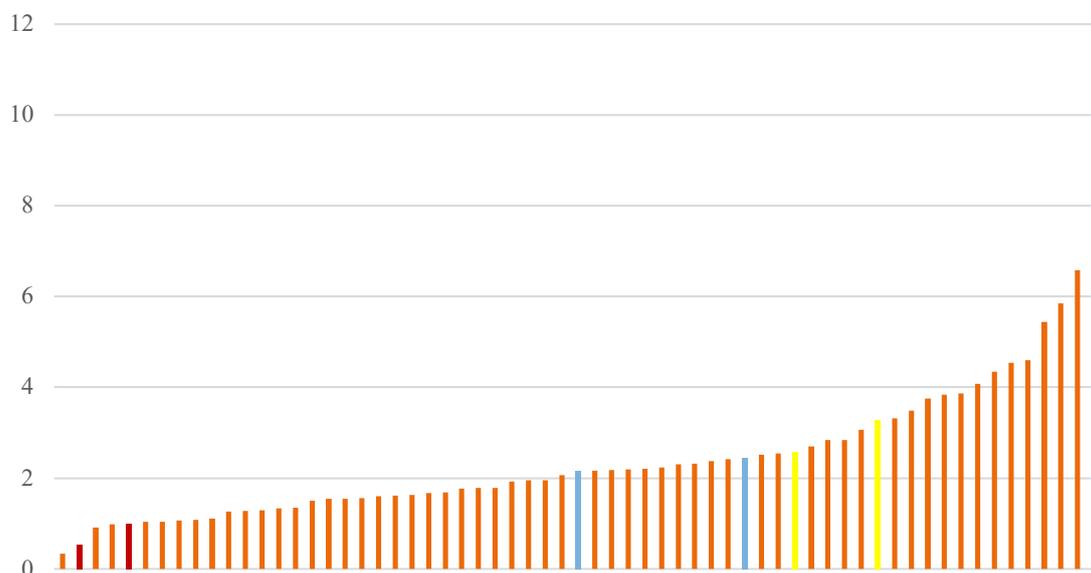
4.3 Beschäftigung

Als weiteres Indiz für Interdisziplinarität sind die Beschäftigten der Fraunhofer-Institute angeführt. Mitarbeitende mit unterschiedlichen wissenschaftlichen Abschlüssen arbeiten an den Fraunhofer-Instituten in Abteilungen, Arbeitsgruppe oder Projekten zusammen und bringen Ihren jeweiligen wissenschaftlichen Hintergrund in behandelte Fragestellung ein.

Als Basis dieser Indikatorengruppe dienen die Studienabschlüsse – aufgeschlüsselt nach Fächerklassifikation des Statistischen Bundesamtes (Destatis)¹⁰. Die unterschiedlichen Granularitäten der Fächersystematik sind in Fächergruppen, Studienbereiche und Studienfächer gruppiert. Für Fraunhofer finden sich Ende 2016 Personen mit wissenschaftlichen Abschlüssen in 56 Studienbereiche der 10 Fächergruppen.

Auf dieser Basis wurden zwei Indikatoren berechnet. Erstens der Durchschnitt der wissenschaftlichen Mitarbeitenden in allen Destatis-Studienbereichen bei Fraunhofer und zweitens die Streuung der wissenschaftlichen Mitarbeitenden über Studienbereiche, wobei hier analog zu den Patentindikatoren der Herfindahl-Hirschman Index berechnet wurde. Die beiden Indikatoren sind in den nachfolgenden Tabellen dargestellt. Hohe Streuungswerte verdeutlichen, dass ein Fraunhofer-Institut ein sehr breites Spektrum an Mitarbeitenden mit vielen unterschiedlichen Abschlüssen aufweist. Die wissenschaftliche Expertise sollte sich durch mehr Mitarbeitende in einem Studienfach verstärken, so dass je nach Aufgabenspektrum des Instituts sowohl eine Konzentration mit vielen Mitarbeitenden in einem Bereich, als auch eine hohe Streuung angestrebt wird.

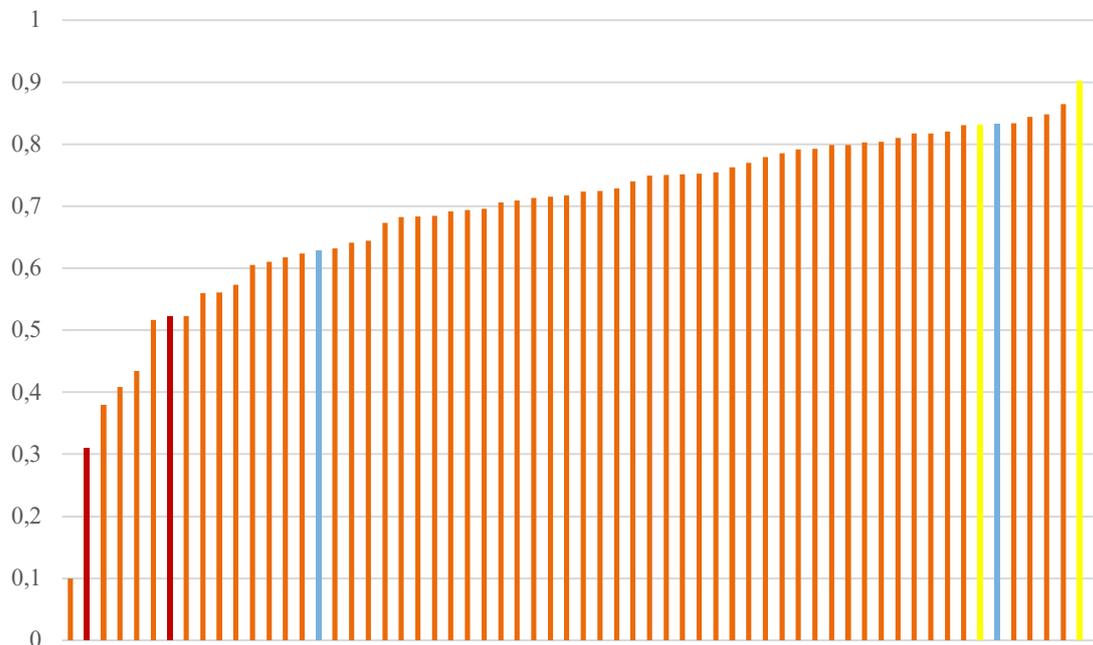
Abbildung 24: Durchschnittliche Anzahl der Personen in einem Studienfach bezogen auf alle Destatis-Studienfächer bei Fraunhofer, 2016



Quelle: Interne Daten der Fraunhofer-Zentralverwaltung

¹⁰ https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Bildung/studenten-pruefungsstatistik.pdf?__blob=publicationFile (abgerufen am 30.07.2021).

Abbildung 25: Streuung der Anzahl der wissenschaftlichen Mitarbeitenden über Studienbereiche, 2016



Quelle: Interne Daten der Fraunhofer-Zentralverwaltung.

4.4 Textbasierte Indikatoren

4.4.1 Rao-Stirling-Index – Bibliometrische Indikatoren

In diesem Abschnitt wird der textbasierte Rao Stirling Diversitäts-Index zur Messung von Interdisziplinarität beschrieben, welcher auf Bache (2013), Yau (2014) und Wang (2014) aufsetzt.

Beschreibung des Indikators

Die Grundlage für den Rao Index ist das Latent Dirichlet Allocation (LDA) Topic Model (Blei, 2003), ein generatives Wahrscheinlichkeitsmodell. Hierbei wird jedes Dokument als eine Mischung verschiedener Themen (latente Topics) betrachtet. Jedes Wort eines Dokumentes gehört ein oder mehreren Themen an, wobei ein Topic als Wahrscheinlichkeitsverteilung über das gesamte Vokabular des Korpus repräsentiert wird. Die Anzahl K der Topics muss jedoch zuvor vom Benutzer festgelegt werden.

Das LDA Modell generiert bei Eingabe eines Textkorpus eine Dokument-Topic-Verteilung und eine Topic-Wort-Verteilung, welche über die Dirichlet-Verteilungen parametrisiert werden müssen. Somit lässt sich benutzerdefiniert festlegen, ob alle Topics bzw.

Wörter a-priori gleich wahrscheinlich sind bzw. ob Dokumente a-priori jeweils nur wenige Topics enthalten sollen. In der Regel ist es wünschenswert, dass jedes einzelne Topic nur anhand weniger Wörter repräsentiert wird, deren Wahrscheinlichkeit dann entsprechend hoch ist. Das probabilistische Modell von LDA ist wie folgt definiert:

- Jedes Dokument $m \in M$ wird durch eine multinominale Dokument-Topic-Verteilung θ_m repräsentiert. Jede Dokument-Wort-Verteilung θ_m wird aus einer Dirichlet-Verteilung mit Parameter α gezogen: $\theta_m \sim \text{Dir}(\alpha)$,
- Jedes Topic $k \in K$ wird durch eine multinominale Topic-Wort-Verteilung ϕ_k repräsentiert, welche aus einer Dirichlet-Verteilung mit Parameter β gezogen wird: $\phi_k \sim \text{Dir}(\beta)$.

Rao

Der klassische Rao-Stirling-Index wird häufig zur Messung von Interdisziplinarität verwendet (siehe Wagner et al., 2011). In diesem Abschnitt werden die drei verschiedenen Dimensionen der Diversität für die textbasierte Variante von Rao diskutiert, d. h. Vielfalt (Variety), Ausgewogenheit (Balance) und Disparität (Disparity).

Varietät (Variety)

Während beim bibliometrischen Rao-Index die Varietät über die Anzahl unterschiedlicher Themenkategorien der Publikation festgelegt ist, wird die thematische Vielfalt auf die Anzahl der latenten Topics bezogen, die vom Benutzer frei wählbar ist. Eine wesentliche Eigenschaft von LDA ist zudem, dass jedes Thema prinzipiell in jedem Dokument vorhanden ist, allerdings zu unterschiedlichen Anteilen. In der Praxis führt eine höhere Anzahl von Themen zwangsläufig zu einer größeren Vielfalt.

Ausgewogenheit (Balance)

Ebenso ist bei einer ausgewogeneren Dokument-Themen-Verteilung mit einer höheren thematischen Diversität zu rechnen. Die Balance-Komponente als Teil des Stirling-Indexes kann wie folgt berechnet werden:

$$\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^K (i \neq j) P(i|d) P(j|d) \quad \forall d: \min^{T(T-1)} \leq B \leq \max^{K(K-1)}$$

wobei $P(i|d)$ die Wahrscheinlichkeit des Themas i in einem Dokument d ist.

Disparität (Disparity)

Die Trennschärfe unterschiedlicher Topics wird in der Regel anhand der Wortwahrscheinlichkeitsverteilungen der Topics berechnet. Insbesondere intrinsische Maße zur Berechnung der Disparität, basierend auf Jensen-Shannon, Hellinger, Jaccard-Distanz

und Cosinus-Ähnlichkeit, die auf den Originaldatensatz angewendet werden, sind hierzu geeignet. Eine systematische Evaluierung verschiedener Ähnlichkeitsmaße für Topic-Paare, die mit LDA generiert wurden, findet sich in Aletras et al. (2014) und Wang et al. (2019). Um die Ähnlichkeitsmatrix $\delta(i, j)$ zwischen den Topics i und j in eine Unähnlichkeitsmatrix zu transformieren, ist eine häufig verwendete Lösung $1 - \delta(i, j)$ und $1/\delta(i, j)$.

Diversitätsmaße

Wir verwenden den Rao-Stirling-Index (RS), um den Grad der Interdisziplinarität für jedes Institut zu messen. Die Rao-Stirling-Diversität ist definiert als

$$RS(d) = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1, (i \neq j)}^K P(i|d) P(j|d) \delta(i, j)$$

Zusätzlich kann die Interdisziplinarität eines Instituts mithilfe der Shannon-Entropie (H) auf Basis der Verteilung über latente Themen für jedes Institut bestimmt werden. Das Maß kombiniert die Dimension Vielfalt und Ausgewogenheit, während es die Disparität ignoriert. Eine hohe Themenentropie signalisiert eine gleichmäßige Verteilung und ein breiteres Spektrum an Themen. Die Shannon-Entropie ist definiert als

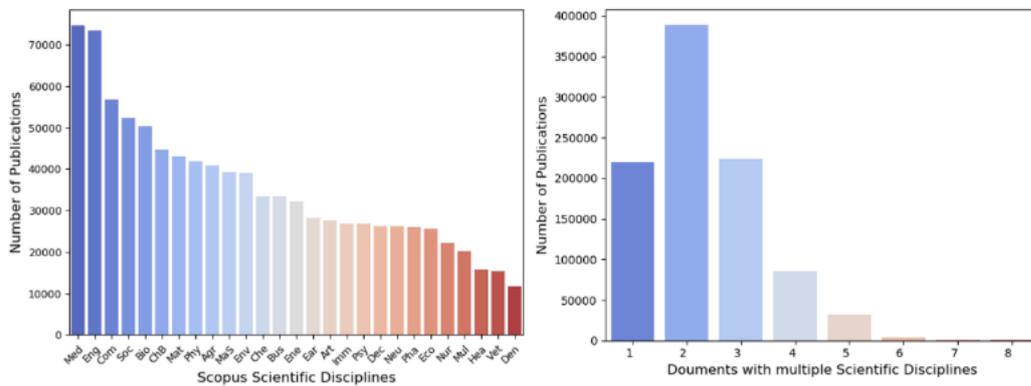
$$H(d) = - \sum_{i=1}^K P(i|d) \ln P(i|d)$$

Datengrundlage

Der dieser Arbeit zugrundeliegende Korpus ist die Datenbank SCOPUS. Das LDA Modell wurde auf drei verschiedenen Korpora trainiert, die sich in ihrer Größe und thematischen Abdeckung wesentlich unterscheiden: *Scopus World* ist eine Kollektion von Abstracts und Titeln für den gesamten Jahrgang 2018, während *Scopus FH* und *Scopus MPG* nur die Publikationen aus den jeweiligen Instituten beinhalten – allerdings über den gesamten Zeitraum von 2010 - 2018.

Aufgrund der Größe von *Scopus World* wird im Vergleich zu *Scopus FH* und *Scopus MPG* eine größere Vielfalt wissenschaftlicher Themen und Forschungsfelder abgedeckt. Zudem wurde beim Sampling des Korpus darauf geachtet, ein Gleichgewicht herzustellen, in dem auch sonst unterrepräsentierte Forschungsfelder wie die Geisteswissenschaften adäquat vertreten sind (siehe Abbildung 26, links). Auf der Publikationsebene wird erkennbar, dass die Mehrzahl der Dokumente mehr als einer Disziplin angehören (durchschnittlich 2,3 Felder/Publication (Abbildung 26, rechts)).

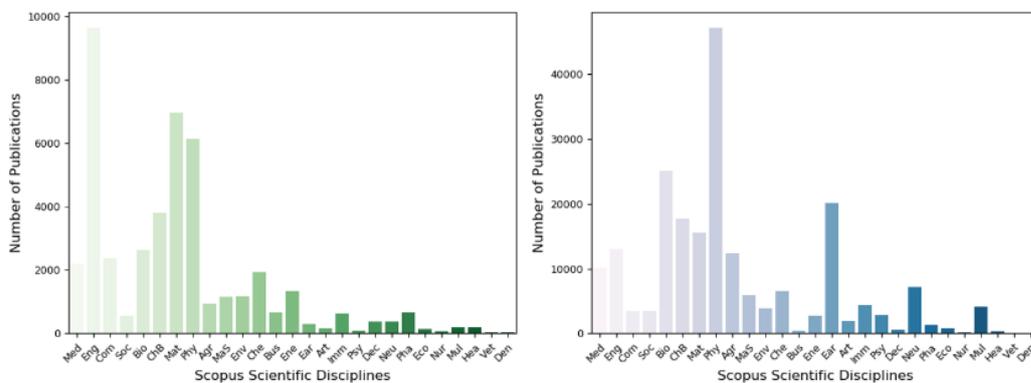
Abbildung 26 Statistik für Scopus-Publikationen – *Scopus World*



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

In Gegensatz zeigen die Forschungsprofile der beiden Institute, dass die Forschung sich auf gewisse Schwerpunkte konzentriert: *Scopus FH* hat einen großen Anteil an Publikationen im Bereich *Engineering*, während *Scopus MPG* viel im Bereich Physik und Astronomie veröffentlicht. Im *Scopus FH* haben 82.41% Abstracts mehr als ein Feld (durchschnittlich 2,47 Felder pro Publikation), während es im *Scopus MPG*, 70.59% sind (durchschnittlich 2,19 Felder pro Publikation) (s. Abbildung 27).

Abbildung 27: Statistik für Scopus FH (links) Scopus MPG (rechts)



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Tabelle 9: Überblicksstatistik Datensatz

<i>Textcorpus</i>	<i>Anzahl Institute</i>	<i>Anzahl Abstracts</i>
Scopus FH 2010-2018 (Scopus FH)	74	19,661
Scopus MPG 2010-2018 (Scopus MPG)	95	111,986
Scopus World 2018 (Scopus World)		517.516

Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Ergebnisse

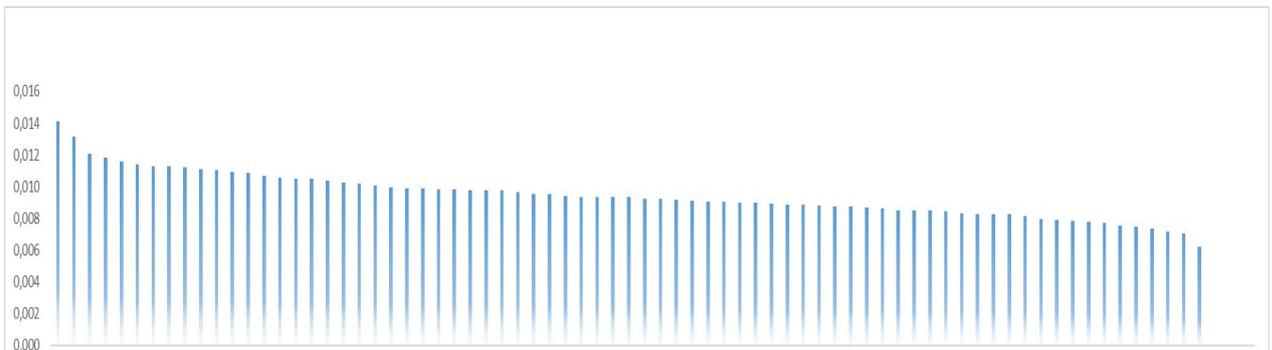
Wir berichten die Ergebnisse basierend auf den oben beschriebenen Methoden. Wir verwenden ein Setting, bei dem zunächst ein LDA Modell auf dem Korpus *Scopus World* trainiert wird, und dann die Wahrscheinlichkeitsverteilungen für *Scopus FH* und *Scopus MPG* berechnet werden. Um einen *institutsspezifischen* Indikator zu erhalten, werden alle Publikationen eines Instituts aggregiert.

Setting

- Anzahl von Themen: $K=200$,
- Hyperparameter $\alpha = 0,01$ /asymmetrisch,
- Hyperparameter $\beta = 0,01$ /symmetrisch,
- Distanzmaß: Hellinger.

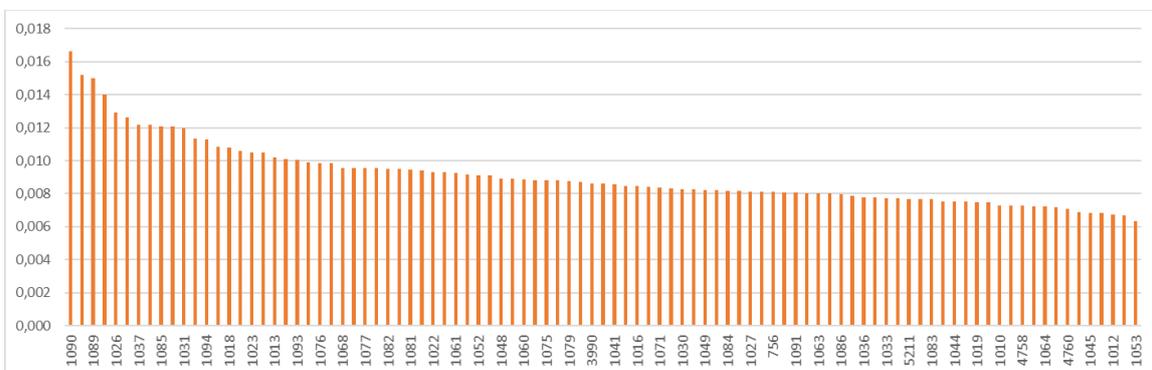
Diese Einstellung bewirkt, dass sich die Topic-Wort-Vektoren auf wenige Wörter konzentrieren und Topics eine hohe Trennschärfe aufweisen und nur wenig Themen in einem Dokument auftauchen (Wallach et al., 2009). Da das Training des LDA Modells auf einem umfangreichen Korpus stattfindet, ist der LDA-Klassifikator wenig anfällig für Overfitting. Ein weiterer Vorteil dieses Vorgehens ist, dass auch Vergleiche des Rao-Indexes zwischen den Instituten möglich werden. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse auch mit anderen Parametrisierungen finden sich in (Zielinski, 2021). Die gesamte Liste der Evaluationswerte befindet sich in Anhang 9.

Abbildung 28: Rao-Index für alle Fraunhofer Institute (LDA Modell, 200 Topics)



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Abbildung 29: Rao-Index für alle MPG Institute (LDA Modell, 200 Topics)



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Der Rao-Index wird für 200 Themen auf der LDA-Ausgabe mit Scopus World als Trainingskorpus berechnet, welche auf Scopus FH und Scopus MPG angewendet wurden.

Wie anhand der Ergebnisse in Abbildung 26 und Abbildung 27 zu erkennen ist, nimmt bei dieser Einstellung der Rao-Index kleine Werte an, die zwischen 0,006 und 0,018 liegen, so dass sich die Werte nur geringfügig unterscheiden.

Diskussion

Ein positiver Aspekt ist, dass das Rao Diversitätsmaß vollautomatisch und unüberwacht aus den Topic-Dokument- und Word-Topic-Verteilungen von LDA gewonnen werden kann. Konkret wird für die Berechnung des Gleichgewichts zwischen Topics die Topic-Dokumenten Matrix und für die Berechnung der Distanz δ zwischen Topics die Wort-Topic Matrix verwendet.

Ein weiterer Vorteil des textbasierten Rao Indexes ist, dass er auf einem Clustering-Verfahren basiert und somit unabhängig von vorhandenen (möglicherweise unvollstän-

digen oder fehlerhaften) Klassifizierungen (wie die ASJC Klassen; siehe auch den Abschnitt oben zu Klassifikation im vorhergehenden Kapitel) ist. Ebenso ist es unabhängig von Zitationen, die die Autoren einer Publikation z.T. willkürlich setzen können, ohne dass diese tatsächlich den eigentlichen Inhalt der Publikation widerspiegeln.

Eine Einschränkung ist jedoch, dass die zugrundeliegenden Verteilungen der Dokumentenkollektion unbekannt sind und eine Variation der Parametereinstellung für die Anzahl der Topics K und der Hyper-Parameter α und β unterschiedliche Topic Modelle generiert (Tang, 2014). Das wirkt sich dann unmittelbar auf den Rao-Index aus. Zudem leidet der textbasierte Rao Diversitätsindikator unter einer geringen Trennschärfe, die auch für den bibliometrisch basierten Rao-Ansatz berichtet wird (siehe Zhou, 2012).

4.4.2 Rao-Stirling-Index – Projektberichte

Datengrundlage

Für das Projekt wurden durch das Fraunhofer IML fünf Projekte als Validierungsgrundlage ausgewählt. Dafür wurden die jeweiligen Projektanträge und die Abschlussberichte verwendet. Um eine methodische Verarbeitung zu ermöglichen, wurden alle Dokumente in die englische Sprache übersetzt.

Im Zuge dessen erfolgte vorab eine Betrachtung der ausgewählten Projekte hinsichtlich ihrer Interdisziplinarität. Dafür wurden ehemalige Projektmitarbeitende als Interviewpartner:innen ausgewählt. Diesen wurden im Vorfeld eines Kurzinterviews das Projekt und die diesem Projekt zugrundeliegenden Definitionen von Interdisziplinarität erläutert. Anschließend wurden die ehemaligen Projektmitarbeitenden gebeten, auf Basis der Definitionen, zu beurteilen, ob das von ihnen mitbearbeitete Projekt ihrer subjektiven Meinung nach, einen interdisziplinären Charakter aufwies. Zusammengefasst wurden von fünf Projekten ein Projekt als sehr disziplinar ("ReMain"), ein Projekt als mittel-disziplinar ("ChemLog") und drei Projekte als wenig interdisziplinär ("Hygis", "Digitalisierung als Dienstleistung", "ResIH") eingestuft.

Die Anwendung des Topic-Models führte zu einem leicht abweichenden Ergebnis. Die Abweichungen ergeben sich dadurch, dass im Rahmen der Ergebnisse des Topic-Models, alle Projekte als wenig interdisziplinär eingestuft worden sind (siehe unten). Die Abweichung kann wie folgt erklärt werden. Eine mögliche Begründung liegt in der unterschiedlichen Messmethode. Im Rahmen des Topicmodels sind die Ergebnisse durch den RAO-Index messbar. Bei den Kurzinterviews wurden die Projektteilnehmenden hingegen um eine Einschätzung hinsichtlich der Interdisziplinarität der Projekte gebeten. Es ist in diesem Zusammenhang zudem nicht auszuschließen, dass bei den Interviewpartner:innen bei der Einschätzung ein falsches Verständnis von Interdisziplinarität

zugrunde lag. Zudem sind die Bewertungen der Interviewteilnehmenden von einer gewissen Subjektivität geprägt. Wenn der/die wissenschaftliche Mitarbeitende meist nur in wenig interdisziplinären Projekten arbeitet, kann bereits ein geringer Anstieg an Interdisziplinarität deutlich stärker wahrgenommen werden. Ein weiterer Punkt der die Abweichung erklären kann ist, dass das Topic-Model sich nur auf Daten der Projektanträge und Abschlussberichte beziehen konnte. Durch den eher monothematischen Charakter dieser Quellen kann dies dazu geführt haben, dass Projekte durch das Topic-Model als weniger interdisziplinär eingestuft worden sind, als dies der Realität und auch dem subjektiven Empfinden der ehemaligen Projektteilnehmenden entsprach.

Tabelle 10: Überblicksstatistik Datensatz

<i>Textcorpus</i>	<i>Anzahl Paragraphen/Abschnitte</i>	<i>Types</i>	<i>Tokens</i>
IML Project Reporte, Volltexte	1.556	6.946	72.046

Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Ergebnisse

Wir berichten die Ergebnisse basierend auf den oben beschriebenen Methoden. Wir verwenden ein Setting, bei dem das LDA Modell auf dem Korpus *Scopus World* trainiert wurde, um dann die Wahrscheinlichkeitsverteilungen für das *IML Corpus* zu berechnen. Für den Indikator werden alle Publikationen eines Projekts aggregiert und das Setting wie zuvor verwendet.

Eine Auflistung der häufigsten Topics findet sich in Tabelle 11.

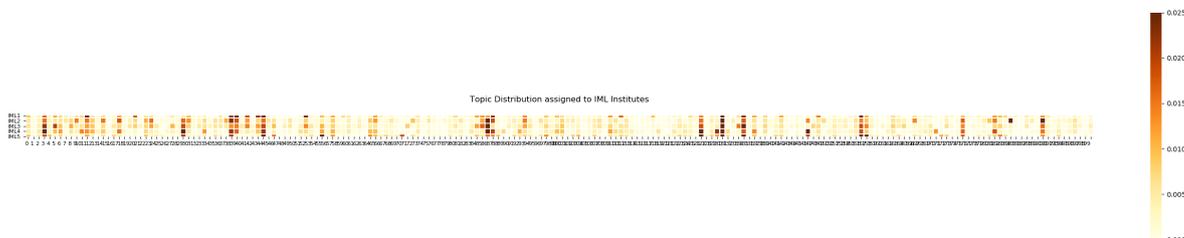
Tabelle 11: Prominente Topics im IML Corpus

Prominenteste Topics im IML Corpus	Anteil im Korpus
Topic 130: effect, increase, influence, decrease, result, study, role, play, investigate, affect, significant, different, lead, impact, important	0.124108
Topic 86: acid, pressure, content, composition, diameter, chemical, pore, compression, solvent, contents, permeability, total, scaffold, different, fatty	0.110775
Topic 3: case, fibre, procedure, report, lesion, undergo, examination, present, perform, surgical, tomography, clinical, tissue, median, scan	0.110249

Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Wie anhand der Abbildung 30 zu erkennen ist, gibt es große Ähnlichkeiten bezüglich der thematischen Schwerpunkte der einzelnen Projekte.

Abbildung 30: Topicverteilung für die 5 IML Projekte (LDA Modell, 200 Topics)



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Dies führt dazu, dass sich die daraus resultierenden Rao-Werte nur geringfügig unterscheiden (siehe Tabelle 12). Bei unterschiedlichen Parametrisierungen des LDA Modells (dh. 100, 150, 200, 250 Topics) nimmt der Rao-Index kleine Werte an, die zwischen 0.2187 und 0.2583 liegen (höhere Werte signalisieren eine höhere Interdisziplinarität).

Tabelle 12: Textbasierter RAO-Index für 5 IML Projekte

IML Projekt	100 Topics	150 Topics	200 Topics	250 Topics	Standard Deviation
ChemLog	0.2526	0.2406	0.2207	0.2172	0.0143
ReMain	0.2528	0.2473	0.2187	0.2204	0.0153
ResIH	0.2524	0.2443	0.2207	0.2198	0.0143
Hygis	0.2583	0.2442	0.2254	0.2234	0.0143
PIEL	0.2543	0.2432	0.2221	0.2196	0.0145

Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Diskussion

Die finale Bewertung, ob der textbasierte Rao-Index (siehe Tabelle 12) mit dem tatsächlichen Ranking der Interdisziplinarität der IML-Projekte übereinstimmt basiert auf der menschlichen Bewertung der Interdisziplinaritäts-Rangfolge der Projekte. Dabei wurden das Projekt ReMain als sehr interdisziplinär eingestuft, während ChemLog als mittelmäßig interdisziplinär und ResIH, Hygis und PIEL als kaum interdisziplinär eingestuft wurden. Diese Differenzierung lässt sich mit dem textbasierten RAO-Index jedoch nicht abbilden. Hier werden alle Projektberichte als ähnlich interdisziplinär eingestuft, eine Unterscheidung auf Basis der RAO-Indexwerte ist nahezu nicht möglich.

Bei den Experimenten stellt sich daher die Frage nach der Generalisierbarkeit des LDA Modells, welches auf Scopus *Abstracts* trainiert wurde und nicht speziell auf *Projektberichte* angepasst wurde. Das Problem bezieht sich auf die Fähigkeit der *Domänenanpassung* (Domain Adaptation), also auf die Frage wie weit ein Algorithmus, der für eine Quelldomäne trainiert wurde, auf eine andere Zieldomäne angewendet werden kann. Da

IML-Projektberichte wesentlich länger und ausführlicher sind als wissenschaftliche Abstracts, ist anzunehmen, dass sich auch deren Merkmalsraum und Wahrscheinlichkeitsverteilungen unterscheiden.

Ein weiterer Nachteil ist, dass die ursprünglichen IML Texte auf Deutsch vorlagen und mithilfe maschineller Übersetzung ins Englisch übersetzt wurden. Eventuelle Fehler, die in diesem Schritt entstanden sind, werden somit auf die höheren Analyseschritte weitergereicht.

Insgesamt bleibt daher also festzuhalten, dass das LDA Modell, das auf den Scopus Abstracts trainiert wurde, nicht 1:1 auf die Projektberichte angewendet werden kann. Hier wäre als zunächst ein größerer Korpus an Projektberichten vonnöten, um auf dieser Basis ein LDA Modell zu erstellen. Mit diesem ließen sich dann etwaige Unterschiede in den Projektberichten besser darstellen.

4.5 Wissenstransfer- und Verwertung als Interdisziplinaritätsindikatoren

Der Transfer von wertvollen FuE-Ergebnissen in die Wirtschaft ist etablierter Bestandteil des Selbstverständnisses der Fraunhofer-Institute. Neben nach außen gerichteten Indikatoren zu Patenten und Projektkooperation können Transfer- und Verwertungsindikatoren deshalb eine weitere gewinnbringende neue Perspektive auf die Interdisziplinarität der Institute auf Technologietransfer und Verwertung ermöglichen. Die Interdisziplinarität der Marktorientierung von Instituten wird im Folgenden mit den drei Transfer- und Verwertungsindikatoren Marken, Technologietransfer-Projekte und Webseiten betrachtet.

Webseiten ermöglichen es den Instituten, ihre angebotenen Leistungen und Produkte optimal und aktuell nach außen zu darzustellen und so das öffentliche Bild zu beeinflussen. Die Domains der Webseiten der Fraunhofer-Institute (Stand 2018) wurden mithilfe eines Crawlers automatisch erfasst. Das wissenschaftliche Profil der Institute ergibt sich aus deren Verknüpfung mit Keywords der Publikationen in Scopus. Nach dem Abruf der Publikationen pro Institut mithilfe einer API aus Scopus und dem Filtern von Duplikaten, resultiert ein individuelles Keyword-Set für jedes Institut. Aus dem Abgleich des Schlagwörter-Set mit jenen der anderen Institute ergibt sich das Ähnlichkeitsprofil. Die autonome Webpräsenz der einzelnen Institute stellt das Selbstverständnis und die eigene Verortung im Markt dar und eignet sich deshalb zum Vergleich der Interdisziplinarität.

Marken schaffen Unterscheidungskriterien zur Abgrenzung gegenüber anonymen Produkten, beeinflussen so direkt Kaufentscheidungen und schützen einzelne Produkte, Produktsortimente oder ganze Unternehmen. (DPMA, 2019). Die für eine Markenmeldung beanspruchten Waren oder Dienstleistungen werden einer Klasse zugeordnet. Die

"Internationale Klassifikation von Waren und Dienstleistungen zur Eintragung von Marken" (NCL), auch "Nizza-Klassifikation" auf den Ort des internationalen Übereinkommens zurückgehend genannt, unterscheidet 45 Klassen, davon 34 Waren- und 11 Dienstleistungsklassen, und dient als einheitliche Grundlage für Markenmeldungen. Beispiele für Klassen sind Chemische Erzeugnisse (1), Pharmazeutische Erzeugnisse (5), Maschinen und Motoren (7), Telekommunikation (38) oder Materialbearbeitung (40) (DPMA, 2021; DPMA, 2019). Die der Marke zugeordneten Klassen geben damit Aufschluss über die Selbstverortung des Produkts bzw. der Dienstleistung. Betrachtet werden 758 Markenmeldungen der einzelnen Fraunhofer-Institute ab 2013 (Stand: Januar 2020). Die Unterschiedlichkeit oder Nähe der angemeldeten Marken verweist somit auf inhaltliche Distanz der Institute im Hinblick auf die Verwertung.

Neben Markenmeldungen stellt auch der Technologietransfer über Ausgründungen ein wichtiges Instrument der Verwertung von FuE-Ergebnissen dar. Die Fraunhofer Days (FDays®) und das Fraunhofer Venture Programm AHEAD als zentrale Plattform zwischen der Fraunhofer-Gesellschaft und (inter)nationalem Entrepreneurship Netzwerk fördern den Transfer in die Wirtschaft mit unternehmerischen Geschäftsmodellen der teilnehmenden Teams und ihrer Projekte (Fraunhofer-Gesellschaft, 2021). Die Projekte lassen sich zu Mega-Trends sowie Makro-Trends der Klassifikation von TRENDONE folgend zuordnen (TRENDONE GmbH, 2021). 16 Mega-Trends splitten sich mit vier bis neun untergeordneten Differenzierungen in insgesamt 106 Makro-Trends auf. So fallen unter den Mega-Trend "Sustainability" beispielsweise die sechs Makro-Trends "Agriculture Innovation", "Circular Economy", "Clean Tech", "Energy Harvesting", "Ethical Consumption" und "Zero Waste". Betrachtet werden die 16 Mega-Trends, neben Sustainability unter anderem Data Era, Artificial Intelligence, Industry 4.0 oder Urbanisation (TRENDONE, 2021). Auf Basis des Innovation Hub bzw. Ideenportals fließen ca. 350 Projekte in die Analyse ein. Interdisziplinarität bildet sich hier durch Adressierung von verschiedenen Mega-Trends durch die Transferprojekte ab.

Für jeden der beschriebenen Transfer- und Verwertungsindikatoren (Marken, Technologietransferprojekte, Webseiten) wurde je eine Ähnlichkeitsmatrix (Jaccard-Distanz) berechnet. Der Jaccard-Koeffizient J beschreibt die Ähnlichkeit bzw. Unterschiedlichkeit zwischen zwei Mengen (A, B) als Wert von 0 bis 1, in diesem Fall von zwei Instituten hinsichtlich ihrer Ähnlichkeit in dem entsprechenden Transfer- und Verwertungsindikator. Die zugrundeliegende Formel

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

beschreibt den Koeffizienten als Relation der Schnitt- und Vereinigungsmenge der beiden Mengen A und B . Je näher der Koeffizient an 1 liegt, desto ähnlicher sind sich die

beiden Mengen bzw. Institute hinsichtlich des jeweiligen Verwertungsindikators (Eckey et al., 2002). Schimke (2016) folgend, lassen sich die Werte in einer Matrix abtragen:

$$\begin{matrix}
 & 1 & j & n \\
 1 & a_{11} & & a_{1n} \\
 i & & a_{ij} & \vdots \\
 n & a_{n1} & \dots & a_{nn}
 \end{matrix}$$

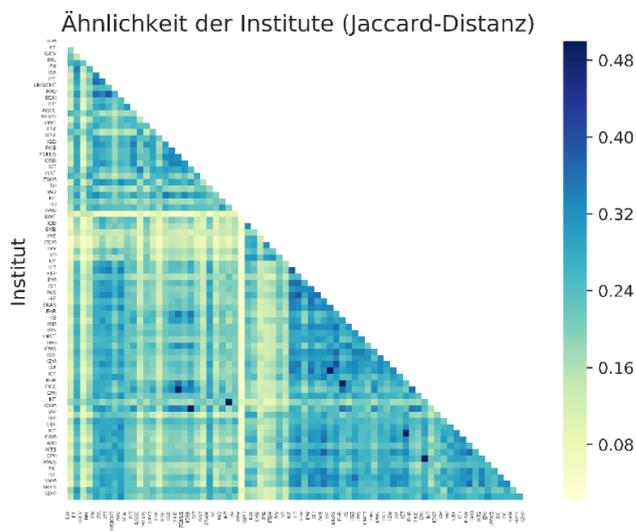
mit $n = 16$ Anzahl Trends für Technologietransferprojekte, $n = 45$ Anzahl Nizza-Klassen für Marken und $n=74$ Webseiten. Ein einzelnes Objekt der Matrix kann beispielsweise im Fall des Verwertungsindikators Technologietransferprojekte beschrieben werden als

$$a_{ij} = \sum_p x_{pij}$$

$x_{pij} = 1$ wenn Trend i **und** Trend j dem Technologietransferprojekt p zugewiesen sind

und entsprechend $x_{pij} = 0$ wenn dies nicht zutreffend ist (Schimke, 2016). Aus der Berechnung der Matrix ergibt sich auch die anschauliche farbliche Darstellung der Institute in ihrer Ähnlichkeit, siehe Abbildung 31. Höhere (dunklere) Werte signalisieren eine größere Ähnlichkeit bezüglich des entsprechenden Indikators.

Abbildung 31: Jaccard-Distanz zur Ähnlichkeitsbestimmung der Institute



Quelle: Berechnungen des Fraunhofer ISI (Datenbasis: Scopus)

Nach Berechnung einer Ähnlichkeitsmatrix (Jaccard-Distanz) für jeden Indikator werden über die einzelnen Profile der Fraunhofer-Institute Mittelwert, Standardabweichung und Varianz berechnet, (d.h. pro Zeile der Abbildung), die später in die Synthese der Indikatoren als IPR3 (Marken), Transfer1 (Transferprojekte) und LDAWeb1 (Webseiten) ein-

gehen. Der berechnete Mittelwert gibt damit die durchschnittliche Ähnlichkeit eines Instituts zu allen anderen Instituten hinsichtlich des jeweiligen Verwertungsindikators an. Die ermittelte Standardabweichung (Varianz) beschreibt die Standardabweichung (Streuung) der Ähnlichkeit eines Instituts zu allen anderen Instituten.

Die Mittelwerte der Jaccard-Distanzen des Indikators Marken erweisen sich im Vergleich zu den Indikatoren Webseiten und Transferprojekte als insgesamt höher, das heißt, die durchschnittliche Ähnlichkeit der Institute zueinander bei Markenmeldungen ist größer als bei Webseiten und größer als bei Transferprojekten (siehe Tabelle 13). Die durchschnittliche Streuung ist für den Indikator Transferprojekte über alle Institute hinweg am größten, gefolgt von Marken und Webseiten. Beispielhaft lässt sich für eines der Institute aus der Tabelle ein relativ (zu den anderen Instituten) hoher Mittelwert der Jaccard-Koeffizienten feststellen, d.h. eine hohe Ähnlichkeit des Instituts zu allen anderen Instituten hinsichtlich der Indikatoren. Ein anderes Institut weist hingegen eine hohe Ähnlichkeit zu allen anderen Instituten hinsichtlich der Marken auf, jedoch eine relativ niedrige Ähnlichkeit der Transferprojekte.

Tabelle 13: Mittelwert und Standardabweichung der Jaccard-Distanz der Transfer- und Verwertungsindikatoren

FhI (anonymisiert)	Mittelwert			Standardabweichung			FhI (anonymisiert)	Mittelwert			Standardabweichung		
	Marken	Webseiten	Transferprojekte	Marken	Webseiten	Transferprojekte		Marken	Webseiten	Transferprojekte	Marken	Webseiten	Transferprojekte
0,43	0,27	0,27	0,14	0,07	0,36	0,35	0,26	0,19	0,08				
0,43	0,24	0,16	0,12	0,07	0,16	0,35	0,18	0,19	0,05				
0,42	0,16		0,12	0,06		0,35		0,19					
0,42	0,24	0,05	0,16	0,06	0,11	0,35	0,27	0,10	0,06	0,22			
0,41	0,26	0,27	0,14	0,08	0,36	0,34		0,11					
0,41	0,27	0,20	0,16	0,06	0,15	0,34	0,22	0,11	0,13	0,05	0,22		
0,40		0,16	0,17		0,20	0,34	0,20	0,12	0,12	0,06	0,21		
0,40	0,14		0,15	0,05		0,34		0,10					
0,40	0,25	0,23	0,14	0,11	0,13	0,34	0,25	0,17	0,13	0,07	0,12		
0,40	0,26	0,13	0,11	0,08	0,21	0,33	0,24	0,13	0,11	0,06	0,21		
0,40	0,23	0,08	0,13	0,06	0,19	0,32	0,23	0,18	0,12	0,05	0,20		
0,40	0,26	0,27	0,14	0,06	0,36	0,32		0,14	0,11		0,12		
0,40	0,22		0,17	0,05		0,32	0,22	0,11	0,14	0,06	0,22		
0,40	0,24	0,19	0,11	0,06	0,22	0,32	0,21	0,14	0,13	0,07	0,13		
0,40			0,11			0,31	0,23	0,24	0,16	0,05	0,21		
0,40			0,19			0,31	0,23	0,19	0,15	0,06	0,14		
0,40	0,25	0,27	0,12	0,06	0,36	0,31	0,24	0,13	0,15	0,08	0,25		
0,39	0,20	0,18	0,14	0,05	0,17	0,30			0,12				
0,39	0,26	0,20	0,13	0,06	0,23	0,30	0,26		0,10	0,08			
0,39	0,26	0,20	0,13	0,05	0,13	0,30	0,22	0,22	0,10	0,06	0,20		
0,39	0,13	0,24	0,11	0,04	0,21	0,30	0,25	0,19	0,10	0,12	0,22		
0,39	0,23	0,13	0,13	0,05	0,25	0,30		0,13	0,12		0,25		
0,39	0,25	0,23	0,14	0,07	0,16	0,29	0,24	0,23	0,13	0,07	0,15		
0,39	0,24	0,06	0,13	0,07	0,11	0,29	0,22	0,27	0,14	0,06	0,36		
0,39	0,25	0,14	0,19	0,06	0,18	0,28			0,13				
0,38	0,23	0,07	0,16	0,06	0,09	0,28	0,21		0,15	0,10			
0,38	0,26	0,15	0,09	0,07	0,18	0,28			0,10				
0,38	0,25	0,08	0,13	0,11	0,19	0,27	0,17	0,03	0,10	0,06	0,08		
0,38	0,26	0,15	0,13	0,08	0,15	0,27			0,09				
0,38	0,07	0,27	0,16	0,03	0,36	0,27			0,12				
0,38	0,17	0,27	0,13	0,05	0,36	0,27	0,24	0,12	0,15	0,05	0,21		
0,38	0,22	0,09	0,15	0,06	0,12	0,25			0,11				
0,38	0,24		0,13	0,11		0,24	0,20	0,16	0,09	0,05	0,19		
0,37			0,15			0,22	0,22	0,26	0,13	0,06	0,11	0,25	
0,37	0,18	0,13	0,13	0,04	0,25	0,18			0,09	0,11	0,25		
0,37	0,25	0,13	0,15	0,05	0,25	0,18	0,18		0,09	0,05	0,19		
0,37	0,26	0,15	0,13	0,07	0,18	0,25			0,06				
0,36			0,13			0,25	0,26	0,20		0,08	0,23		
0,36	0,18	0,13	0,17	0,05	0,25	0,25	0,26		0,11				
0,35		0,08	0,17		0,19	0,25	0,25	0,27		0,08	0,36		
0,35			0,15			0,24			0,06				
0,35	0,25	0,08	0,15			0,15	0,15	0,02		0,05	0,00		
0,35			0,14	0,08	0,18	0,15				0,03			
0,35	0,26	0,27	0,12	0,07	0,36			0,13			0,25		
0,35	0,22		0,13	0,05				0,08			0,18		
0,35								0,27			0,36		

Anmerkung: Tabelle in absteigender Reihenfolge des Mittelwerts des Marken Jaccard-Koeffizienten. Blau kennzeichnet relativ höhere MW bzw. SD Werte im Vergleich zu anderen Instituten (d.h. innerhalb der Spalte), rot niedrigere. Weiße Zellen kennzeichnen fehlende Werte

Quelle: Berechnungen der Fraunhofer ZV (Datenbasis: Scopus, Innovation Hub/Ideenportal, Markenmeldungen, Institutswebseiten)

5 Synthese der Indikatoren – Korrelations- und Faktorenanalyse

Die im vorangegangenen Kapitel vorgeschlagenen und analysierten Indikatoren geben Aufschluss über bestimmte Dimensionen der Interdisziplinarität, etwa im Kooperationsverhalten der Organisationen, der fachlichen Ausrichtung der Mitarbeiter, der Außendarstellung der Institute als auch in ihren forschungs- und Innovationsaktivitäten, gemessen über Publikationen und Patente. Diese Indikatoren vermitteln zwar zunächst ein breit gefächertes Bild. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass viele dieser Indikatoren miteinander korreliert sind und ähnliche Facetten der Interdisziplinarität abbilden. Dies gilt es im vorliegenden Abschnitt zu überprüfen. Zur Gruppierung der einzelnen Indikatoren wird zunächst eine bivariate Korrelationsanalyse der einzelnen Indikatoren untereinander durchgeführt. Daran schließt sich eine Faktorenanalyse an, mit deren Hilfe durch die Gruppierung von Indikatoren latente Konstrukte identifiziert werden können, die unterschiedliche Dimensionen der Interdisziplinarität messen. In einem finalen Schritt werden mehrere Optionen vorgestellt und diskutiert, um auf der Basis der errechneten Faktoren einen "Interdisziplinaritätsindikator" zu generieren.

5.1 Korrelationsanalyse

Die Analyse der Korrelationen zwischen den einzelnen Variablen ist in Tabelle 14 dargestellt. Einige Indikatoren, die im Vorfeld getestet wurden, wurden aufgrund zu niedriger Fallzahlen oder zu großer Ähnlichkeit (bspw. unterschiedliche Durchschnittsberechnungen bei verschiedenen Indikatoren wie Patente oder Beschäftigung) bereits vorab ausgeschlossen. Diese werden innerhalb des Bericht nicht weiter beschrieben. Insgesamt verbleiben sechzehn Indikatoren zur Messung der Interdisziplinarität.

Zur Analyse der Korrelationen zwischen den einzelnen Variablen wurden Rangkorrelationen (Spearman-Korrelationen) verwendet (Tabelle 16). Hierbei werden somit nicht die Werte der Variablen miteinander korreliert, sondern die Ränge, die die Fraunhofer-Institute auf den einzelnen Variablen erreichen. Die auf 5%-Niveau signifikanten Korrelationen sind hervorgehoben. Aus den Rangkorrelationen wird erneut deutlich, dass die bibliometrischen Indikatoren untereinander auf Ebene der Institute nicht sehr stark miteinander korrelieren. Die Ausnahme bildet hier der Indikator "Heterogenität der Referenzlisten der Publikationen" (Bib4), der signifikant, allerdings nicht übermäßig stark, mit den anderen bibliometrischen Indikatoren korreliert. Es zeigt sich zudem eine leichte Korrelation mit der Nennung von Topics in Transferprojekten sowie auf Webseiten.

Interessanterweise korreliert der Indikator, der die Streuung über die Felder einer Publikation misst mit den Ergebnissen der Topic Modelle zur Streuung der Themen über die

Publikationen wie auch die Webseiten. Die Korrelation ist hier nicht übermäßig stark. Es scheint also grundsätzlich Parallelen zu geben, jedoch zeigen die unterschiedlichen Herangehensweisen auch unterschiedliche Ergebnisse. Der Indikator zur Zitierung aus anderen Feldern – also Zitierungen, die eine Publikation von späteren Publikationen erhält (Bib2) – zeigt sich leicht mit den Projektpartnern in Förderprojekten, wie auch mit den von den Webseiten extrahierten Topics korreliert, es scheint also einen Zusammenhang zwischen hochzitierten Veröffentlichungen und der Darstellung der Institute auf Webseiten (LDAWeb1) sowie Einwerbung späterer Projektmittel und/oder Ansprache späterer Projektpartner zu geben (Fkat1 und Fkat2). Dies scheint aber nur für öffentliche, nicht aber private Projektpartner zu gelten.

Bei den beiden Patentindikatoren, die die Streuung der Patente über IPC-Klassen (IPR1) bzw. Wirtschaftszweige (IPR2) misst, zeigt sich eine hohe Korrelation ($>0,6$), weshalb Indikator IPR2 von der weiteren Analyse ausgeschlossen wird. Gleiches gilt für die Indikatoren der Projektpartner des Förderkatalogs. Hier zeigt die Trennung nach öffentlichen (Fkat2) und privaten (Fkat3) Partnern keine starke Differenzierung vom Indikator Fkat1, der diese Trennung ignoriert, das heißt es wird durch die Differenzierung nur unwesentlich mehr Information gewonnen. Fkat2 und Fkat3 werden daher von der weiteren Analyse ausgeschlossen (rot markiert in Tabelle 14). Bei den restlichen Indikatoren zeigen sich keine stärkeren Korrelationen, weshalb alle weiteren Variablen beibehalten werden.

Auf Basis der verbleibenden dreizehn Indikatoren wird nun eine Faktorenanalyse berechnet, um die Variablen zu gruppieren, was auf latente Konstrukte hinter den Variablen schließen lässt, die unterschiedliche Dimensionen der Interdisziplinarität abbilden können.

Tabelle 14: Paarweise Rangkorrelation (Spearman) der untersuchten Variablen

Variable	Bib1	Bib2	Bib3	Bib4	IPR1	IPR2	IPR3	Fkat1	Fkat2	Fkat3	Fkat4	Emp1	Emp2	Transfer1	LDA-Pub3
Durchschnittl. Anzahl Felder (Bib1)	1.000														
Anteil Zit. aus andere Feldern (Bib2)	0.173	1.000													
Anteil Ref. in andere Felder (Bib3)	0.136	-0.026	1.000												
Heterogenität Pub (Bib4)	0.3387*	0.4765*	0.2526*	1.000											
HHI IPC (4-Steller) (IPR1)	0.062	0.036	-0.067	0.074	1.000										
HHI WZ (Top5 exkl.) (IPR2)	-0.019	-0.099	-0.103	0.050	0.6129*	1.000									
Jaccard Marken (IPR3)	0.3136*	-0.018	-0.046	0.020	-0.002	0.048	1.000								
Durchschn. Anzahl Projektpartner (Fkat1)	0.227	0.3290*	0.054	-0.200	-0.021	-0.142	0.242	1.000							
Durchschn. Anzahl Projektpartner öffentl. (Fkat2)	0.171	0.4267*	-0.043	0.203	0.096	-0.108	0.162	0.5643*	1.000						
Durchschn. Anzahl Projektpartner privat (Fkat3)	0.160	0.108	0.094	0.3789*	-0.093	-0.097	0.180	0.8299*	0.008	1.000					
Durchschn. Anzahl LPS-Klassen (Fkat4)	-0.227	-0.138	-0.224	-0.079	-0.218	-0.002	0.098	0.055	-0.086	0.125	1.000				
Durchschn. wiss. MA in allen Studienber. - nach Abschluss (Emp1)	-0.023	0.012	-0.085	0.062	-0.082	-0.070	0.152	0.020	-0.082	0.080	0.2617*	1.000			
HHI MA Studienbereiche - nach Abschluss (Emp2)	0.126	0.078	0.184	-0.036	0.083	-0.001	0.215	0.2437*	0.215	0.146	0.028	0.047	1.000		
Jaccard Transferprojekte (Transfer1)	0.163	0.113	0.030	0.3098*	-0.112	-0.210	0.133	-0.051	0.189	0.207	-0.048	0.095	0.013	1.000	
Streuung über Topics - Publikationen Konfig. 3 (LDAPub1)	0.2786*	-0.029	-0.076	-0.161	0.215	0.081	0.218	0.104	-0.012	0.133	-0.139	-0.041	0.120	0.110	1.000
Streuung über Topics - Jaccard Webseiten (LDAWeb1)	0.2925*	0.2934*	0.195	0.3324*	0.196	-0.028	0.031	-0.101	0.100	0.190	0.3896*	0.2855*	0.104	0.051	0.090

Anmerkung: *=Signifikant auf 5% Signifikanzniveau.

Quelle: Scopus, PATSTAT, EUIPO, BvD - ORBIS, Förderportal des Bundes - Förderkatalog, Fraunhofer-Zentrale, Recherchen und Berechnungen des Fraunhofer ISI.

5.2 Faktorenanalyse

Die Faktorenanalyse dient dazu aus der empirischen Messung einzelner Variablen auf zugrundeliegende latente Variablen oder Faktoren zu schließen. Es wird also versucht, die Variablen auf einzelne Dimensionen zu reduzieren, die zwar selbst als unbeobachtet gelten, jedoch Informationen über sich selbst über ihren Einfluss auf die beobachteten Indikatoren vermitteln. Zur Durchführung der Faktorenanalyse wurden alle dreizehn Indikatoren aus der Korrelationsanalyse verwendet.

Eine Herausforderung bei der Faktorenanalyse ist, dass die Anzahl der zu extrahierenden Faktoren vorab bestimmt werden muss. Eine Entscheidung über die Anzahl der Faktoren kann auf theoretischen Überlegungen fußen. Jedoch hat sich die Regel bewährt, die Anzahl der Faktoren über die "Eigenwerte" aus der Korrelationsmatrix zu bestimmen. Die Eigenwerte geben pro Faktor an, wie viel (zusätzliche) Varianz durch Hinzufügen des Faktors in die Analyse erklärt wird. Sobald die Eigenwerte den Wert "1" unterschreiten ist davon auszugehen, dass nicht mehr genügend Varianz in den Daten durch einen zusätzlichen Faktor erklärt wird. Somit werden so viele Faktoren extrahiert wie es Eigenwerte > 1 gibt. In der vorliegenden Faktorenanalyse liegen die Werte bei fünf Faktoren über 1, weshalb fünf Faktoren extrahiert werden.

Die Ergebnisse der Faktorenanalyse (Faktorladungen) sind in Tabelle 15 dargestellt. Die Faktorladungen bezeichnen die Korrelation zwischen den Indikatoren und dem jeweiligen Faktor. Zur besseren Übersichtlichkeit wurden alle Werte unter $\pm 0,3$ ausgeblendet. Die Faktorladungen zeigen, dass die Indikatoren "Jaccard Marken" (IPR3) und "Streuung über Topics – Jaccard Web" (LDAWEb1) gemeinsam hoch mit einem Faktor korreliert sind, d. h. hoch auf einen Faktor "laden" (Faktor 1). Sie stehen damit gemeinsam für ein latentes Konstrukt, das als "Marktorientierung" der Institute bezeichnet werden kann, da beide Indikatoren, also die Webseiten sowie Markenmeldungen als sehr markt-nahe Indikatoren angesehen werden können. Zeigt sich also hier Interdisziplinarität bei der Streuung der Themen, kann das als Interdisziplinarität in der Marktorientierung der Institute interpretiert werden.

Auf den zweiten Faktor laden besonders der zitierbasierte Bibliometrieindikator "Anteil der Referenzen in der Publikation aus anderen Feldern" (Bib2) sowie die "Durchschnittliche Anzahl der Projektpartner" (Fkat1) und die "Streuung der Mitarbeiter über Studienbereiche" (Emp2). Wie bereits bei den Korrelationsanalysen angedeutet, scheint es sich also hier um einen Indikator zu handeln, der interdisziplinäre Spillovers misst, und zwar einerseits durch die Aufnahme und Generierung von (interdisziplinärem) Wissen – die Zitierung früherer Publikationen deutet darauf hin, dass andere Forscher auf diesem

Wissen aufgebaut haben – und andererseits durch die persönliche interdisziplinäre Zusammenarbeit im beruflichen Alltag im Institut bzw. in Verbundprojekten. Dieser Faktor wird daher mit dem Label "Spillovers/persönlicher Austausch" versehen.

Tabelle 15 Faktorenanalyse der untersuchten Variablen

Variable	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Uniqueness
Durchschnittl. Anzahl Felder (Bib1)				0.8064		0.2158
Anteil Zit. aus andere Feldern (Bib2)		0.7886				0.2675
Anteil Ref. in andere Felder (Bib3)			-0.7672		0.3062	0.2933
Heterogenität Pub (Bib4)			0.7819			0.2482
HHI IPC (4-Steller) (IPR1)					-0.7028	0.412
Jaccard Marken (IPR3)	0.6398			-0.3495		0.3825
Durchschn. Anzahl Projektpartner (Fkat1)		0.7722				0.3175
Durchschn. Anzahl LPS-Klassen (Fkat4)	-0.4687		0.3649	-0.5666		0.2939
Durchschn. wiss. MA in allen Studienber (Emp1)	-0.6341				0.3512	0.4326
HHI MA Studienbereiche - nach Abschluss (Emp2)		0.5754		0.3371		0.4422
Jaccard Transferprojekte (Transfer1)				0.365	0.622	0.3635
Streuung Topics - Pub. Konfig. 3 (LDAPub3)				0.4563	-0.476	0.5378
Streuung über Topics - Jaccard Web (LDAWeb1)	0.7687					0.3191

Anmerkung: Faktorenanalyse auf Basis von "iterated principal factors", Werte nach Varimax-Rotation, alle Werte unter +/- 0,3 wurden ausgeblendet

Quelle: Scopus, PATSTAT, EUIPO, BvD - ORBIS, Förderportal des Bundes - Förderkatalog, Fraunhofer-Zentrale, Recherchen und Berechnungen des Fraunhofer ISI

Auf den dritten Faktor laden die Variablen "Anteil Referenzen in andere Felder (Bib3)" und die "Heterogenität der Referenzlisten" (Bib4). Dieser Indikator ist also eher "rückwärts gerichtet" und betrachtet die Vielfalt der Themenfelder in der wissenschaftlichen Publikation der einzelnen Institute. Dieser Indikator bezieht sich somit stärker auf den Aspekt der Wissensgenerierung, da davon ausgegangen werden kann, dass eine Zitierung früherer Publikationen darauf hindeutet, dass auf früherem Wissen aufgebaut wurde. Der Faktor wird daher mit dem Label "Variety/Wissensgenerierung" versehen.

Im Kontrast hierzu steht der vierte Faktor, auf den die Indikatoren laden, die eine klassische Streuung über Feldergrenzen hinweg indizieren und somit auf Unterschiede in der Feld- und Fächerstruktur hinweisen. Dazu zählen die "Durchschnittliche Anzahl der auf einer Publikation genannten Felder" (Bib1) und die "Streuung der Topics über die Publikationen" (LDAPub3), also beides publikationsspezifische Indikatoren, aber auch die "Durchschnittliche Anzahl der LPS-Klassen" (Fkat4) in Verbundprojekten. Aus diesem Grund wurde dieser Faktor mit dem Label Breite bzw. Streuung über (Technologie-)Felder versehen.

Der fünfte und letzte Faktor indiziert Interdisziplinarität bei Technologien bzw. in deren Anwendung. Dies äußert sich dadurch, dass der Faktor stark auf den beiden Indikatoren "Streuung der Patente über Technologiefelder" (IPR1) und "Streuung der Themen in den Transferprojekten" (Transfer1) lädt; also beides Indikatoren die sich sehr nah an der Technologieentwicklung verorten lassen. Faktor 4 und Faktor 5 lassen sich jedoch nicht scharf voneinander trennen. Auch in Faktor 5 zeigt sich eine Streuung über Feldgrenzen hinweg. Da jedoch die "Eigenwerte" aus der Korrelationsmatrix auf fünf Faktoren schließen lassen, wurden beide Faktoren als getrennte Konstrukte erhalten.

In einem weiteren Schritt wurden die Faktorwerte miteinander korreliert. Die Erwartung hierbei ist, dass die Faktoren nur schwach miteinander korrelieren, da sie unterschiedliche latente Konstrukte messen. Dies ist auch tatsächlich der Fall (Tabelle 16). Die Faktorwerte untereinander korrelieren nur schwach (maximal 0,11 bei Faktor 3 und Faktor 5).

Tabelle 16: Korrelation der Faktoren

Rangkorrelation (Spearman)					
	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5
Faktor 1	1				
Faktor 2	-0.0637	1			
Faktor 3	0.0354	0.0102	1		
Faktor 4	-0.0613	-0.0135	0.0138	1	
Faktor 5	-0.0131	-0.0105	0.1137	-0.0508	1

Quelle: Scopus, PATSTAT, EUIPO, BvD - ORBIS, Förderportal des Bundes - Förderkatalog, Fraunhofer-Zentrale, Recherchen und Berechnungen des Fraunhofer ISI

Im letzten Schritt wurden die Faktorwerte pro Fraunhofer-Institut extrahiert, um die einzelnen Faktorwerte differenziert nach den Fraunhofer-Instituten darstellen zu können. Hier stellt sich allerdings häufig das Problem, dass nicht alle Informationen für jedes Fraunhofer-Institut zur Verfügung stehen. Beispielsweise haben nicht alle Fraunhofer-Institute eine Markenmeldung vorzuweisen, weshalb dies in einer gemeinsamen Berechnung der Faktoren zu vielen so genannten "missing values" führen würde.

Um diesem Problem zu entgehen und auch für weitere Analysen das Prozedere zu vereinfachen, wurden pro Faktor Stellvertretervariablen ausgewählt, die im Folgenden für jedes der Institute dargestellt werden. Pro Faktor wurde der Indikator mit der höchsten Faktorladung ausgewählt. Für spätere Analysen oder zur Replikation der Ergebnisse ist dies allerdings nicht zwingend notwendig, da die Faktorenladungen ja darauf hindeuten, dass mehrere Indikatoren das gleiche zugrundeliegende Konstrukt messen. Somit wäre es also auch möglich, einen anderen Indikator als Stellvertreter des jeweiligen Faktors zu verwenden.

Die Werte des Faktors Märkte/Marktorientierung pro Fraunhofer-Institut sind in Abbildung 32 dargestellt. Hier wurde die Variable LDAWeb1, also die Streuung der Topics über die Webseiten der Fraunhofer-Institute als Stellvertretervariable herangezogen, da dieser Indikator für nahezu alle Institute zur Verfügung steht. Hierbei ist zu beachten, dass die Werte nicht mehr als Werte der einzelnen Indikatoren bewertet werden können. Durch die Faktorenanalyse wurden die Werte auf einen Mittelwert von 0 und eine Standardabweichung von 1 standardisiert. Die Abweichungen zwischen den Instituten sind also als Unterschiede in den Standardabweichungen zu interpretieren. Gleiches gilt für die anderen Faktoren. Als Stellvertretervariable für Faktor 2 wurde der Indikator "Anteil der Referenzen in der Publikation aus anderen Feldern" (Bib2) verwendet, für Faktor 3 "Heterogenität der Referenzlisten der Publikationen" (Bib4), für Faktor 4 "Durchschnittliche Anzahl der auf eine Publikation genannten Felder" (Bib1) und für Faktor 5 "Streuung der Themen in den Transferprojekten" (Transfer1).

Wie in den vorangegangenen Abschnitten wurden wieder einige Institute farblich markiert, um deren Werte auf den verschiedenen Faktoren vergleichen zu können und entsprechende Veränderungen festzustellen. Es wird im Vergleich der Abbildung 32 bis Abbildung 36 relativ schnell deutlich, dass die Werte der einzelnen Institute auf den unterschiedlichen Faktoren stark voneinander abweichen. Anders formuliert wird also deutlich, dass ein Institut, das auf einem der Indikatoren hohe Werte erzielt – auf dieser Dimension also hohe Interdisziplinaritätswerte aufweist – nicht automatisch auch auf anderen Interdisziplinaritätsdimensionen gut abschneidet. Es scheint sogar eher das Gegenteil der Fall. Auch wenn sich zumindest Trends in eine Richtung ableiten lassen scheinen die Institute jedoch ihre Schwerpunkte unterschiedlich zu setzen, was als sinnvolle Strategie angesehen werden kann, da die Optimierung der "Interdisziplinarität" keinen Selbstzweck darstellt, sondern nur als Vehikel dienen kann, um neue Entwicklungen in Forschung und Innovation anzustoßen.

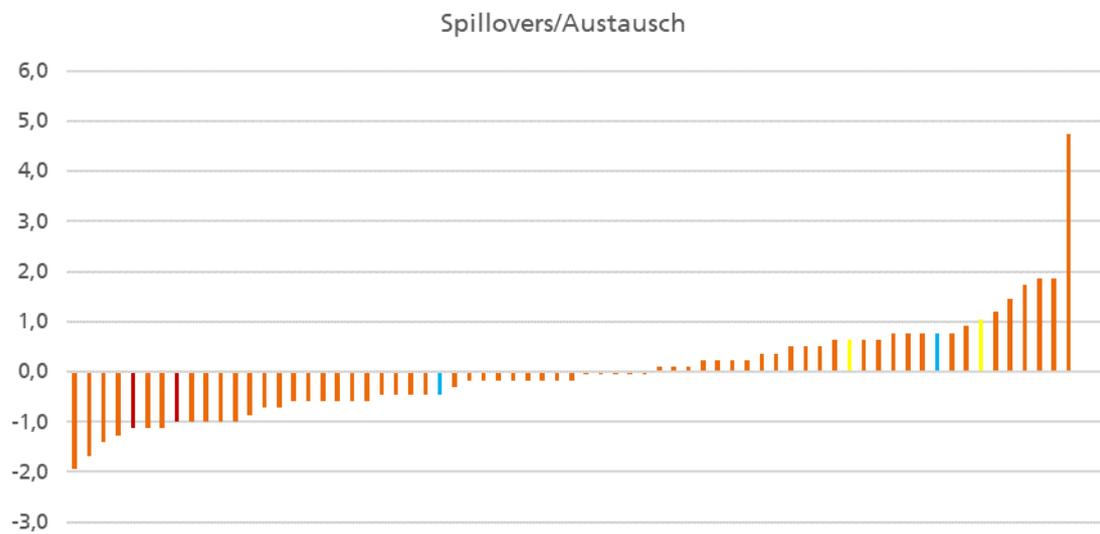
Insgesamt wird also deutlich, dass Interdisziplinarität ein vielfältiges Konstrukt ist, das aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet werden kann. Dabei zeigt sich, dass die Institute nicht auf all diesen Indikatoren Höchstwerte erreichen können.

Abbildung 32: Ranking der Fraunhofer-Institute, Faktor 1 – Märkte/Marktorientierung (anonymisiert)



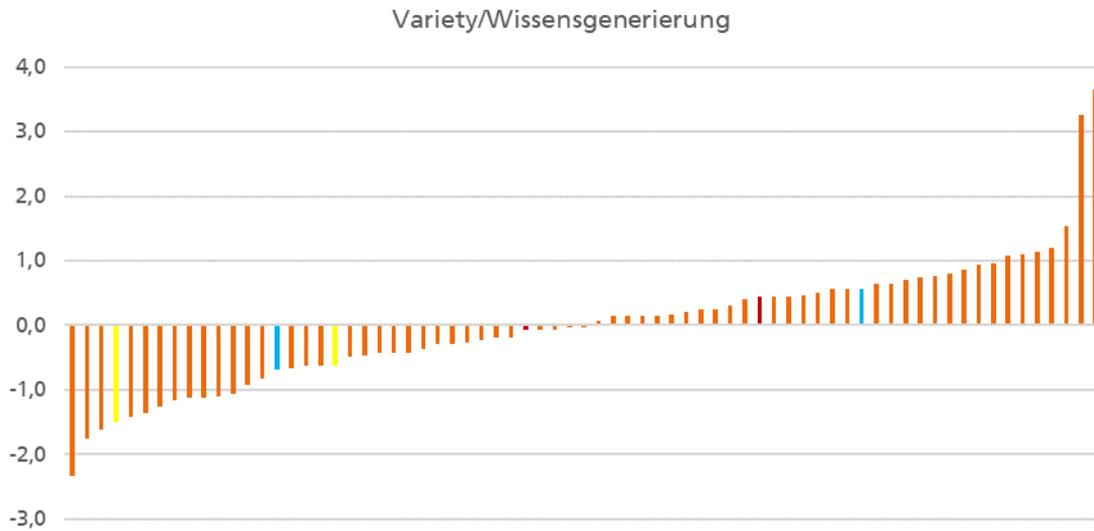
Quelle: Scopus, PATSTAT, EUIPO, BvD - ORBIS, Förderportal des Bundes - Förderkatalog, Fraunhofer-Zentrale, Recherchen und Berechnungen des Fraunhofer ISI

Abbildung 33: Ranking der Fraunhofer-Institute, Faktor 2 – Spillovers/Austausch (anonymisiert)



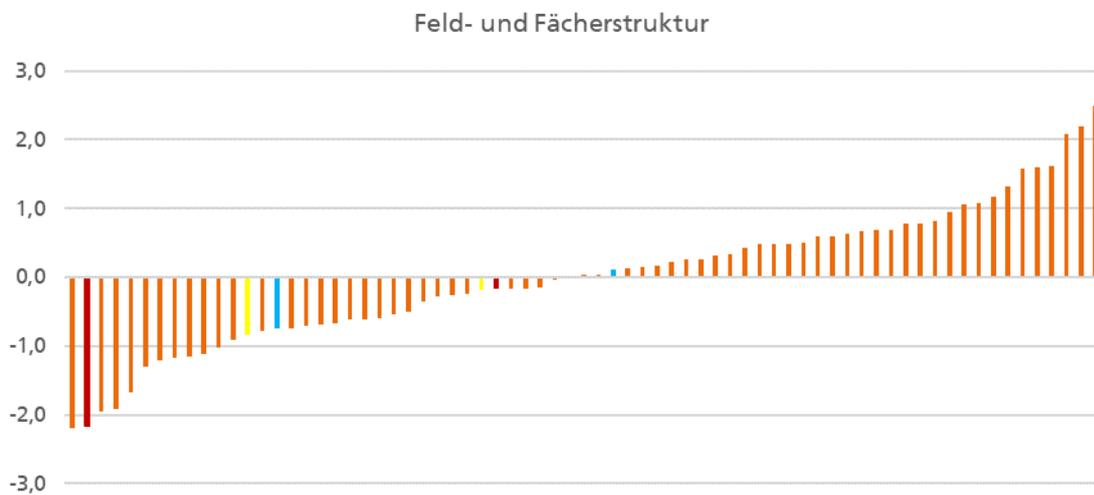
Quelle: Scopus, PATSTAT, EUIPO, BvD - ORBIS, Förderportal des Bundes - Förderkatalog, Fraunhofer-Zentrale, Recherchen und Berechnungen des Fraunhofer ISI

Abbildung 34: Ranking der Fraunhofer-Institute, Faktor 3 – Variety/Wissensgenerierung (anonymisiert)



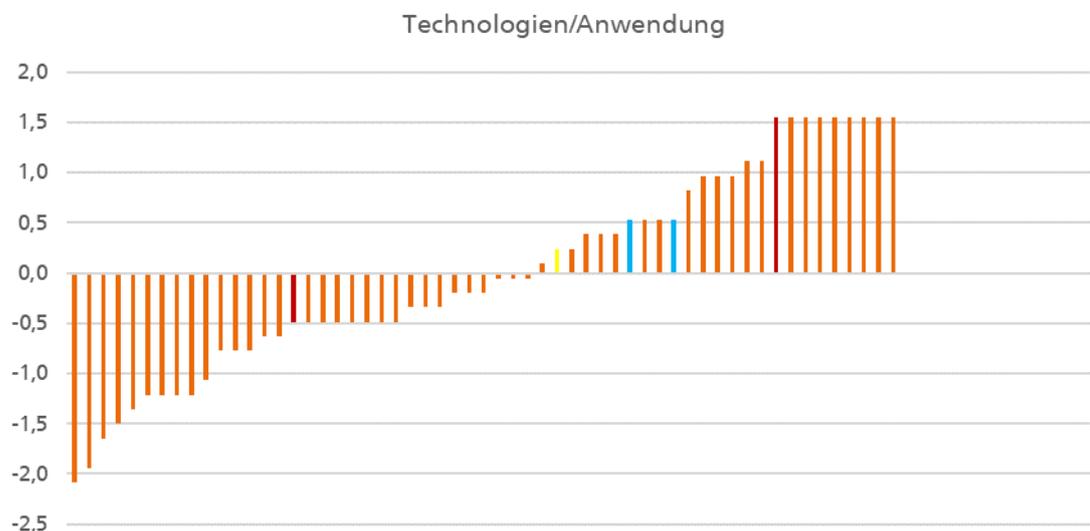
Quelle: Scopus, PATSTAT, EUIPO, BvD - ORBIS, Förderportal des Bundes - Förderkatalog, Fraunhofer-Zentrale, Recherchen und Berechnungen des Fraunhofer ISI

Abbildung 35: Ranking der Fraunhofer-Institute, Faktor 4 – Feld- und Fächerstruktur (anonymisiert)



Quelle: Scopus, PATSTAT, EUIPO, BvD - ORBIS, Förderportal des Bundes - Förderkatalog, Fraunhofer-Zentrale, Recherchen und Berechnungen des Fraunhofer ISI

Abbildung 36: Ranking der Fraunhofer-Institute, Faktor 5 – Technologien/Anwendung (anonymisiert)



Quelle: Scopus, PATSTAT, EUIPO, BvD - ORBIS, Förderportal des Bundes - Förderkatalog, Fraunhofer-Zentrale, Recherchen und Berechnungen des Fraunhofer ISI

5.3 Synthese zu einem Interdisziplinaritätsindikator

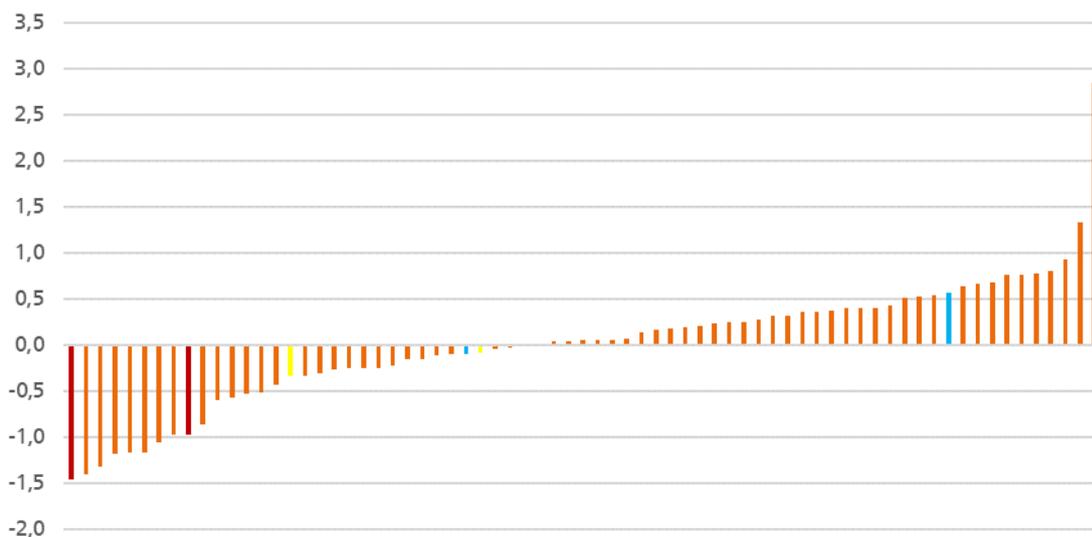
Wie im vorangegangenen Kapitel bereits ausführlich beschrieben, hat das Gesamtkonstrukt "Interdisziplinarität" zahlreiche Facetten, die sich nur bedingt auf einer Maßzahl abbilden lassen. Möchte man jedoch alle verwendeten Indikatoren auf einen gemeinsamen Nenner bringen, so bieten sich mehrere Möglichkeiten an.

Prinzipiell wäre es möglich, alle dreizehn finalen Indikatoren zu standardisieren, so dass sich die Zahlenwerte vergleichen lassen (Mittelwert=0, Standardabweichung=1), und den Mittelwert über alle dreizehn standardisierten Variablen zu bilden. Somit ergibt sich ein Kompositindikator für die "Interdisziplinarität", in den alle dreizehn Indikatoren gleich gewichtet mit eingehen. Dies ist allerdings wegen vieler fehlender Werte einzelner Institute auf einzelnen Variablen nur bedingt möglich und kann zu verzerrten Schätzungen führen, v.a. wenn es bei Instituten nur auf wenigen Variablen Werte gibt. Aus diesem Grund wurde hier ein Kompositindikator über die Stellvertretervariablen in zwei Versionen berechnet. In der ersten Version wurden auch Fälle, bei denen Institut für eine Variable keinen Wert aufweist, in die Analyse mit aufgenommen (Abbildung 37). In der zweiten Version wurden Institute, bei denen auf einer der Stellvertretervariablen fehlende Werte festgestellt wurden, von der Analyse ausgeschlossen (Abbildung 38). Dies ist bei 18 Instituten der Fall, das heißt, dass für 25% der Institute keine Werte berechnet werden können, wenn man fehlende Werte komplett ausschließt.

Insgesamt zeigt sich über beide Methoden hinweg jedoch ein vergleichsweise stabiles Bild, d.h. die Institute die eher im Mittelfeld angesiedelt sind verbleiben eher im Mittelfeld. Das gleiche gilt für die Institute in den oberen und unteren Rängen.

Damit wird also deutlich, dass beide Methoden zu ähnlichen Ergebnissen führen. Die Auswahl der Methode sollte damit davon abhängig gemacht werden, wie viele Daten für die Organisationen zur Verfügung stehen. Bei vollständiger Abdeckung ist ggf. eine Analyse ohne Stellvertreter-Variablen, sondern mit dem vollen Indikatoren-Set möglich. Für eine etwas sparsamere Modellierung scheint die Auswahl von fünf Stellvertretervariablen allerdings sinnvoll. Ob fehlende Werte dann mit einbezogen werden, sollte von Fall zu Fall entschieden werden. Bei sehr vielen missing values auf einzelnen Variablen ist wohl anzuraten eher mit den fehlenden Werten umzugehen und die entsprechenden Einrichtungen aus der Analyse auszuschließen, da man ansonsten in Gefahr läuft, dass sehr wenige Werte die Verteilung stark bestimmen.

Abbildung 37: Ranking der Fraunhofer-Institute, Mittelwert über die Stellvertreter-Variablen, inkl. missing values (standardisiert/anonymisiert)

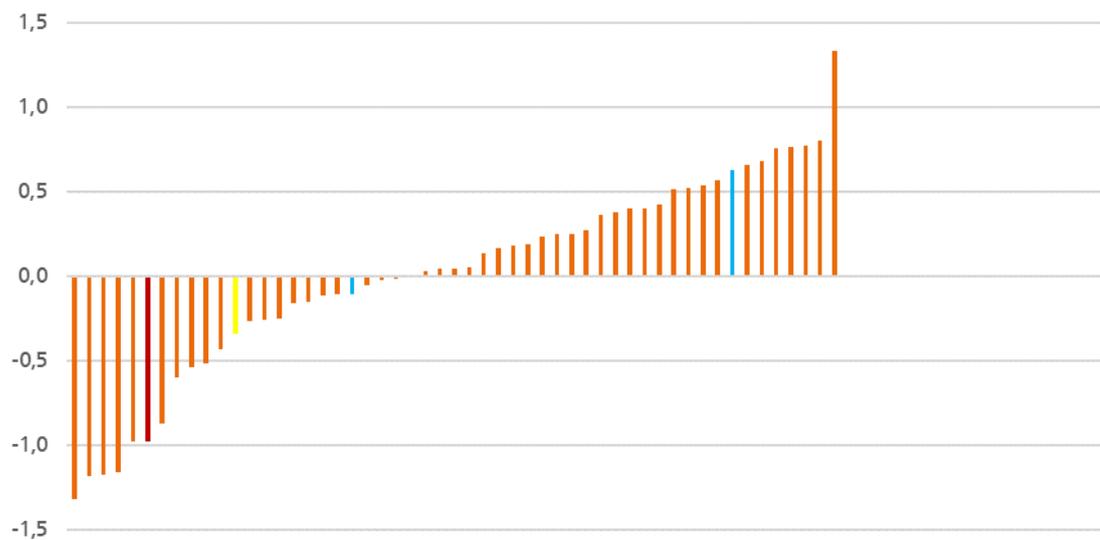


Quelle: Scopus, PATSTAT, BvD - ORBIS, Förderportal des Bundes - Förderkatalog, Fraunhofer-Zentrale, Recherchen und Berechnungen des Fraunhofer ISI

Das Problem bei diesem Kompositindikator ist jedoch, dass die Anzahl der Variablen, die das gleiche Konstrukt messen – das hatte die Faktorenanalyse gezeigt – einen Einfluss auf die Verteilung der Institute haben. Beispielsweise haben Institute, die hohe Werte bei der Interdisziplinarität in Bezug auf die Felder- und Fächerstruktur (Faktor 3) aufweisen, eine größere Chance auch bei diesem Kompositindikator auf einem der oberen Ränge zu landen, da hier viele einzelne Indikatoren für das gleiche Konstrukt stehen.

Um diesem Problem zu entgehen gibt es zwei Möglichkeiten. Die erste Möglichkeit besteht darin, nicht die Mittelwerte über die einzelnen Variablen, sondern die Mittelwerte über die fünf Faktoren pro Fraunhofer-Institut zu bilden (Abbildung 38) und daraus einen Kompositindikator zu erstellen. Eine weitere Möglichkeit ist, pro Faktor eine "Stellvertretervariable" auszuwählen, und zwar diejenige, die am stärksten mit den anderen Indikatoren innerhalb des Faktors korreliert und einen Mittelwert über die fünf ausgewählten Variablen zu berechnen (Abbildung 37). Hierzu wurden entsprechend fünf Variablen für den Kompositindikator ausgewählt, nämlich die "Streuung der Themenfelder über die Webseiten" (LDAWeb1, stellvertretend für Faktor 1), der "Anteil der Zitierungen durch Publikationen aus anderen Feldern" (Bib2, stellvertretend für Faktor 2), die "Heterogenität der zitierten Themenfelder einer Publikation" (Bib4, stellvertretend für Faktor 3), die "Durchschnittliche Anzahl der einer Publikation zugeordneten Themenfelder" (Bib1, stellvertretend für Faktor 4) und die "Streuung der Themenfelder über die internen Transferprojekte" (Transfer1, stellvertretend für Faktor 5)

Abbildung 38: Ranking der Fraunhofer-Institute, Mittelwert über die Stellvertretervariablen, exkl. missing values (standardisiert/anonymisiert)



Quelle: Scopus, PATSTAT, BvD - ORBIS, Förderportal des Bundes - Förderkatalog, Fraunhofer-Zentrale, Recherchen und Berechnungen des Fraunhofer ISI

Bei der Berechnung des Kompositindikators durch Berechnung des Durchschnitts über alle Faktoren ergibt sich ein ähnliches Bild wie beim Mittelwert über alle Variablen.

6 Validierung der Ergebnisse

Die vom Fraunhofer ISI und der Fraunhofer ZV durchgeführten Berechnungen und erarbeiteten Ergebnisse zur Messung der Interdisziplinarität der Fraunhofer-Institute wurde vom Fraunhofer IML anhand von Interviews mit Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unterschiedlicher Fraunhofer-Institute validiert. Befragt wurden Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter mit unterschiedlichen Tätigkeitsschwerpunkten aus insgesamt zehn Instituten. In den Interviews wurden die Zielsetzung des Projekts, die durchgeführten Untersuchungen und Berechnungen sowie die Ergebnisse zur Interdisziplinarität vorgestellt. Darauf aufbauend wurde von den Befragten ein Feedback zur Datenbasis und methodologischen Vorgehensweise zur Messung der Interdisziplinarität erbeten sowie eine Stellungnahme zu den institutsspezifischen Ergebnissen bzw. zur Einordnung des jeweiligen Instituts. Ebenso erfolgte eine Einschätzung zur Eignung der Stellvertreterindikatoren. Konkret wurden die folgenden Fragen an die Interviewpartner herangetragen:

- *Sind die Datenbasis und die methodologische Vorgehensweise aus Ihrer Sicht sinnvoll?*
- *Sind die Ergebnisse der Analysen aus Ihrer Sicht plausibel bzw. ist das Institut richtig eingeordnet?*
- *Können Sie uns Hinweise zur Erklärung der Ergebnisse geben?*
- *Ist der Stellvertreterindikator geeignet, um den Faktor bzw. die Dimension der Interdisziplinarität abzubilden?*

Die Ergebnisse der Validierungsgespräche werden nachfolgend vorgestellt.

6.1 Datenbasis und methodologische Vorgehensweise

Interdisziplinarität wird in der Literatur als mehrdimensionales Konstrukt beschrieben (vgl. dazu Kapitel 2), somit sollte auch die für die Messung der Interdisziplinarität zugrunde liegende Datenbasis eine Mehrdimensionalität aufweisen. Diese Anforderung an die Datenbasis wurde im Projekt folgendermaßen umgesetzt: Datengrundlage bildeten bibliometrische Daten, die im Kontext der Interdisziplinaritätsmessung bereits etabliert sind. Darüber hinaus wurden weitere Daten herangezogen, um die unterschiedlichen Facetten von Interdisziplinarität adäquat abzubilden. Im Ergebnis stand eine Datenbasis, die sowohl auf Wissenschafts- als auch Transferindikatoren fokussiert.

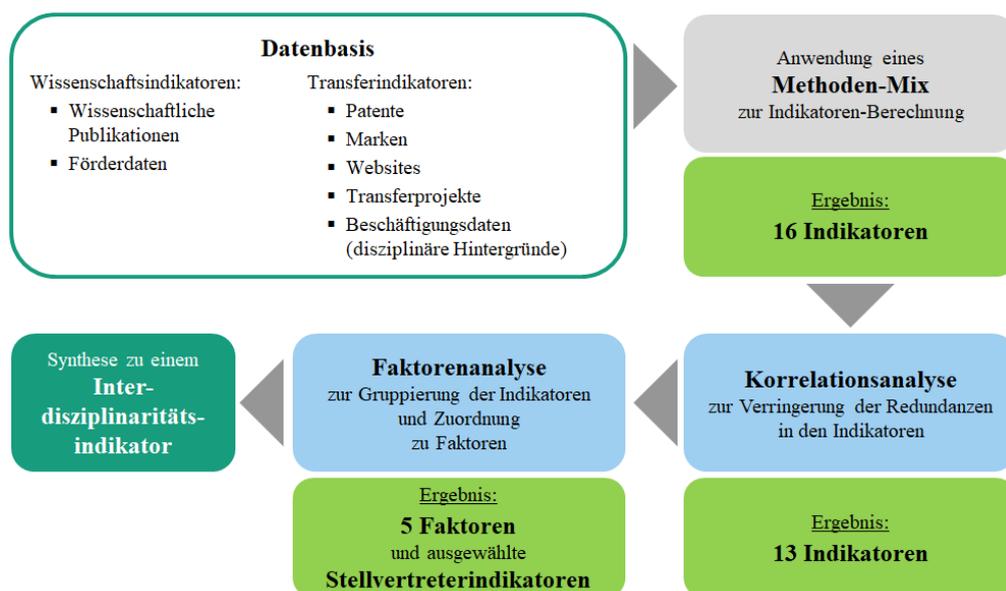
Aus der gewählten Datenbasis wurden mittels eines Methoden-Mix 16 Indikatoren zur Messung der Interdisziplinarität ermittelt. Mithilfe einer Korrelationsanalyse wurden die Zusammenhänge zwischen den Indikatoren überprüft und mögliche Redundanzen aufgedeckt. So wurde die Gesamtheit der Indikatoren von 16 auf 13 reduziert. Auf dieser Basis wurde eine Faktorenanalyse durchgeführt. Damit wurden die Indikatoren gruppiert

und insgesamt fünf Faktoren zugeordnet, welche unterschiedliche Facetten der Interdisziplinarität darstellen. Pro Faktor wurde eine Stellvertretervariable bzw. ein Stellvertreterindikator ausgewählt. Hierbei wurden diejenigen Indikatoren ausgewählt, die den jeweiligen Faktor bestmöglich abbilden können und die für nahezu alle Institute zur Verfügung stehen.

Abschließend wurden die verwendeten Stellvertreterindikatoren auf einen gemeinsamen Nenner gebracht, um das Gesamtkonstrukt Interdisziplinarität auf einer Maßzahl, dem Interdisziplinaritätsindikator, abzubilden.

In der nachfolgenden Abbildung 39 sind die Datenbasis und die methodologische Vorgehensweise für die Messung der Interdisziplinarität übersichtlich zusammengefasst. Detaillierte Informationen zur Datenbasis und zur methodologischen Vorgehensweise finden sich in den vorangegangenen Kapiteln.

Abbildung 39: Datenbasis und methodologische Vorgehensweise für die Messung der Interdisziplinarität



Quelle: eigene Darstellung des Fraunhofer IML.

Allen Befragten (10/10) erschien die den Analysen zugrunde gelegte Datenbasis sowie die methodologische Vorgehensweise schlüssig.

In Bezug auf wissenschaftliche Publikationen wurde von einigen Befragten angemerkt, dass die für die Analysen erfolgte Fokussierung auf hoch-wissenschaftliche, SCOPUS-relevante Publikationen möglicherweise zu eindimensional sein könnte. Auch aus halb- bzw. populär-wissenschaftlichen Publikationen oder Fraunhofer-internen Berichten lässt sich interdisziplinäre Arbeit ableiten und in dem von Fraunhofer adressierten Feld der

anwendungsorientierten Forschung wahrscheinlich genauso gut wie aus hoch-wissenschaftlichen Publikationen. In diesem Zusammenhang ist auch zu berücksichtigen, dass in unterschiedlichen Disziplinen unterschiedliche Publikationstraditionen vorherrschen: Einige Disziplinen veröffentlichen hoch-wissenschaftlich, andere Disziplinen platzieren ihre Themen verstärkt in zielgruppenorientierten bzw. populärwissenschaftlichen Medien. Oft sind im Bereich der Populärwissenschaft verortete Beiträge auch besser geeignet, um potenzielle Kunden anzusprechen. Werden nur hoch-wissenschaftliche Publikationen berücksichtigt, bildet dies die tatsächliche interdisziplinäre Ausrichtung eines Instituts möglicherweise nicht korrekt ab. Die alleinige Betrachtung von hoch-wissenschaftlichen Publikationen könnte für die Max-Planck-Gesellschaft sinnvoll sein.

Ähnlich wurde für die im Bereich der Transferindikatoren verorteten Transferprojekte argumentiert. Es wurde angemerkt, dass neben den hier fokussierten Fraunhofer-internen Projekten innerhalb des AHEAD-Programms weitere Projektformate und Transferkanäle geeignet sind, um Interdisziplinarität zu messen. Im Umfeld der bei Fraunhofer stattfindenden Projektarbeit gibt es vielfältige Transferaktivitäten, die das AHEAD-Programm sinnvoll ergänzen.

Im Zuge der Diskussionen zu den beiden genannten Indikatoren wurde jedoch auch herausgestellt, dass die Berücksichtigung alternativer Publikations- und Projektformate die Vergleichbarkeit der Ergebnisse über alle Institute deutlich erschweren bzw. nahezu unmöglich machen würde und der Fokus auf die gewählten Formate somit nachvollziehbar ist.

Im Kontext der Beschäftigungsdaten wurde darauf hingewiesen, dass der akademische Hintergrund der in einem Institut beschäftigten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter noch nicht viel zur interdisziplinären Arbeit innerhalb des Instituts aussagt. Hier kommt es vielmehr darauf an, wie einzelne Projektteams zusammengesetzt sind und ob die beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auch Aspekte ihrer akademischen Ausbildung einbringen.

Einige der Befragten stellten auch die Bedeutsamkeit der Organisationsstrukturen der Fraunhofer-Institute heraus. Die einzelnen Institute sind unterschiedlich organisiert, einige bspw. über Bereiche/Fachabteilungen/Teams, andere über Geschäftsfelder mit Querschnittsfunktionen, in denen Mitarbeiter:innen aus verschiedenen Fachabteilungen zusammenarbeiten. Insbesondere die Organisation über Geschäftsfelder spricht für eine grundsätzlich interdisziplinäre Arbeitsweise. Zudem haben viele Institute eine universitäre Anbindung und häufig setzen sich Projektteams aus Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Institute und der kooperierenden Lehrstühle zusammen. Für die Bewertung der Interdisziplinarität könnte es somit sinnvoll sein, die den Instituten zugehörigen universitären Einrichtungen mit zu berücksichtigen. Auch wissenschaftliche Abschlussarbeiten und Promotionsarbeiten könnten die Datenbasis sinnvoll ergänzen.

6.2 Faktoren und Stellvertreterindikatoren

Im Ergebnis der Korrelations- bzw. Faktorenanalyse standen fünf Faktoren, die unterschiedliche Facetten bzw. Dimensionen der Interdisziplinarität darstellen. In jedem Faktor wurden Indikatoren zusammengefasst, die einen gewissen Zusammenhang aufweisen. Anschließend wurde für jeden Indikator die sogenannte Faktorladung bestimmt. Diese bezeichnet die Korrelation zwischen einem Faktor und den zugeordneten Indikatoren. Für jeden Faktor wurde ein Indikator mit der höchsten Faktorladung als Stellvertreterindikator ausgewählt. Aufgrund ihrer hohen Faktorladungen können die Stellvertreterindikatoren den jeweiligen Faktor bestmöglich abbilden und dabei Aufwand bei der Datenbeschaffung reduzieren, Vergleichbarkeit auf Grund von breiterer Datenverfügbarkeit erlauben, sowie die Nachvollziehbarkeit erhöhen. Über den Informationsgehalt der Stellvertreterindikatoren konnte die jeweilige Dimension der Interdisziplinarität identifiziert werden.

Der dem ersten Faktor zugehörige Stellvertreterindikator ist die Streuung der Themenfelder über die Instituts-Websites. Dieser Indikator kann als sehr marktnaher Indikator angesehen werden, somit beschreibt der Faktor eins als Dimension für Interdisziplinarität die Marktorientierung der Institute.

Weiterhin wurden drei klassische bibliometrische Indikatoren herangezogen, die auf wissenschaftlichen Publikationen basieren. Diese sind relevant, da sie zu den wichtigsten Outputgrößen von Wissenschaftssystemen zählen. Für die Berechnung der Indikatoren wurde die Datenbank SCOPUS als Datenquelle zugrunde gelegt. In SCOPUS werden den gelisteten Fachzeitschriften Themenfelder zugeordnet, die somit auch für die enthaltenen Publikationen gelten und den Indikatoren als Berechnungsgrundlage dienen.

Der dem zweiten Faktor zugeordnete Stellvertreterindikator ist der Anteil der Zitierungen durch Publikationen aus anderen Themenfeldern. Bei diesem Indikator wird betrachtet, aus welchen Themenfeldern die Publikationen kommen, die die institutseigenen Publikationen zitieren. Annahme ist, dass eine Publikation interdisziplinär ist, wenn sie von Publikationen zitiert wird, die aus anderen Themenfelder stammt als sie selbst. Der Vorteil dieses Indikators liegt darin, dass die Bewertung der Interdisziplinarität nicht durch die Publikation selbst, sondern durch die Nutzer bzw. Leser erfolgt. Da dieser Indikator scheinbar interdisziplinäre Spillovers misst, wurde der zugehörige Faktor 2 mit dem Label Spillovers bzw. Austausch im Kontext von wissenschaftlichen Publikationen versehen.

Der dem dritten Faktor zugeordnete Stellvertreterindikator ist die Heterogenität der zitierten Themenfelder einer Publikation. Dieser Indikator nutzt die Referenzliste der Veröffentlichungen, d.h. eine Veröffentlichung wird als interdisziplinär angesehen, wenn sie

eine heterogene Referenzliste hat, wenn also die Referenzen aus anderen Themenfeldern stammen als die jeweilige Publikation. Dies hat den Vorteil, dass die Inhalte der Publikation selbst genutzt werden können. Der zugehörige Faktor drei wurde daher mit dem Label Variety bzw. Unterschiedlichkeit der Themenfelder im Kontext von wissenschaftlichen Publikationen versehen.

Der dem vierten Faktor zugehörige Stellvertreterindikator ist die durchschnittliche Anzahl der einer Publikation zugeordneten Themenfelder. Annahme ist, dass eine höhere Anzahl der auf einer Publikation genannten Themenfelder für eine größere Interdisziplinarität des Instituts spricht. Der zugehörige Faktor vier wurde demzufolge mit dem Label Breite bzw. Streuung der Themenfelder im Kontext von wissenschaftlichen Publikationen versehen.

Der dem fünften Faktor zugehörige Stellvertreterindikator ist die Streuung der Themenfelder über die Fraunhofer-internen Transferprojekte. Betrachtet wurden hier diejenigen Projekte, die innerhalb des Fraunhofer-internen Transferprogramms AHEAD durchgeführt wurden. Dieser Indikator lässt sich sehr nah an der Technologieentwicklung und-anwendung verorten, somit beschreibt der Faktor fünf als Dimension für Interdisziplinarität die Anwendungsorientierung der Institute.

In der nachfolgenden Abbildung 40 sind die Faktoren bzw. Dimensionen der Interdisziplinarität und die jeweiligen Stellvertreterindikatoren zusammengefasst. Ausführlich ist der Weg zu den Faktoren und Stellvertreterindikatoren über die Korrelations- und Faktorenanalyse im vorangegangenen beschrieben.

Abbildung 40: Faktoren und Stellvertreterindikatoren im Überblick

Faktor	Dimension der Interdisziplinarität	Stellvertreterindikator	Datenbasis
(1)	Marktorientierung	Streuung der Themenfelder über die Websites	Websites
(2)	Spillovers/ Austausch (Publikationen)	Anteil der Zitierungen durch Publikationen aus anderen Themenfeldern	Wissenschaftliche Publikationen
(3)	Variety/ Unterschiedlichkeit der Themenfelder (Publikationen)	Heterogenität der zitierten Themenfelder einer Publikation	
(4)	Breite/ Streuung der Themenfelder (Publikationen)	Durchschnittliche Anzahl der einer Publikation zugeordneten Themenfelder	
(5)	Anwendungsorientierung	Streuung der Themenfelder über die internen Transferprojekte	Interne Transferprojekte
Synthese zu einem Interdisziplinaritätsindikator			

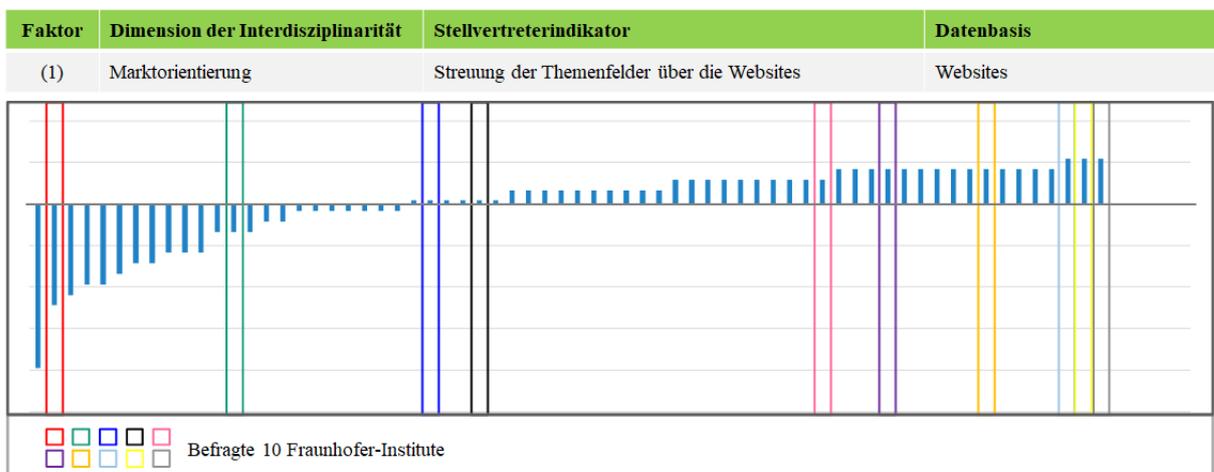
Anmerkung: Im Rahmen der durchgeführten Interviews wurde die Reihenfolge der Faktoren zwei und vier getauscht, da dies für die chronologische Darstellung der Analyseergebnisse sinnvoll erschien.

Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer IML

6.2.1 Faktor 1: Marktorientierung und Stellvertreterindikator 1: Streuung der Themenfelder über die Websites

Die Marktorientierung der Institute als eine Dimension der Interdisziplinarität kennzeichnet den Faktor 1. Der zugehörige Stellvertreterindikator ist die Streuung der Themenfelder über die Websites. Konkret wurde die Vielfalt der Themenfelder auf den einzelnen Instituts-Websites analysiert, wobei die ersten beiden Ebenen der Websites betrachtet wurden. Die nachfolgende Abbildung 41 zeigt die entsprechenden Analyseergebnisse.

Abbildung 41: Faktor 1 Marktorientierung und Stellvertreterindikator 1 Streuung der Themenfelder über die Websites



Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer IML

In der folgenden Tabelle 17 sind die Ergebnisse der Befragung zu Faktor und Stellvertreterindikator 1 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 17: Ergebnisse der Befragung zu Faktor und Stellvertreterindikator 1

Faktor 1: Marktorientierung		
Stellvertreterindikator 1: Streuung der Themenfelder über die Websites		
Sind die Ergebnisse der Analysen plausibel bzw. ist das Institut richtig eingeordnet?		
Ja. (8/10)	Nein. (1/10)	Keine Angabe. (1/10)
Hinweise zur Erklärung der Ergebnisse (Auszug):		
Einordnung Tendenz links:	Einordnung Tendenz rechts:	
<ul style="list-style-type: none"> Das Institut fokussiert wenige Themenfelder und auf diese ist auch die Website konzentriert. 	<ul style="list-style-type: none"> Das Institut bearbeitet viele Themenfelder und adressiert viele Märkte. 	

Faktor 1: Marktorientierung**Stellvertreterindikator 1: Streuung der Themenfelder über die Websites**

<ul style="list-style-type: none"> • Um die Übersichtlichkeit für die Besucher der Website zu bewahren, werden auf der Website nur ausgewählte Themenfelder dargestellt. • Es gibt neben der zentralen Instituts-Website angrenzende bzw. angebundene Websites mit eigenen URLs, auf denen Projekte ihre Themen und Inhalte eigenständig darstellen. • Die Organisationsstruktur des Instituts orientiert sich nicht an potenziellen Märkten. 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Schwerpunktthemen des Instituts betreffen die gesamte Wertschöpfungskette. • Das Institut ist vergleichsweise groß und gemäß Organisationsstruktur werden viele unterschiedliche Themenfelder bearbeitet. • Das Institut ist vergleichsweise klein, die Themenvielfalt ist aber recht groß. • Das Institut möchte möglichst viele aktuelle Themen adressieren. Die Website ist darauf ausgerichtet, diejenigen Märkte anzusprechen, in denen das Institut aktiv tätig sein möchte. • Auch "ältere" Themenfelder werden im Portfolio belassen.
--	---

Ist der Stellvertreterindikator geeignet, um den Faktor als eine Dimension der Interdisziplinarität abzubilden?

Ja. (7/10)	Nein. (3/10)	Keine Angabe. (0/10)
------------	--------------	----------------------

Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer IML

Für die deutliche Mehrheit der Befragten (8/10) erschien das Analyseergebnis in Hinblick auf die Einordnung des jeweiligen Instituts plausibel. Ebenso empfand die Mehrheit der Befragten (7/10) den Stellvertreterindikator Streuung der Themenfelder über die Websites als geeignet, um die Marktorientierung des Instituts abzubilden. Websites werden in diesem Zusammenhang als relevant wahrgenommen, da sie die Kompetenzen der Institute darstellen und potenzielle Märkte bzw. Kunden adressieren.

Kritik an der Eignung des Stellvertreterindikators bezog sich schwerpunktmäßig auf den Zusammenhang Vielfalt der Themenfelder auf den Websites und Interdisziplinarität. Hier wurde angemerkt, dass von der Vielfalt der Themenfelder allein nicht unmittelbar auf die interdisziplinäre Arbeit der Institute geschlossen werden kann. Gibt es zu bestimmten Themenfeldern Arbeitsgruppen oder ähnliches, sind diese in der Regel auf ihre Themenfelder fokussiert und arbeiten möglicherweise nicht themenfeldübergreifend bzw. interdisziplinär. Auch lässt die Vielfalt der Themenfelder keinen unmittelbaren Rückschluss zu, wie viele Märkte letztendlich angesprochen werden. Denkbar sind bspw. folgende Szenarien: Viele Themenfelder auf den Websites für einen spezifischen Markt, viele Themenfelder auf den Websites für viele Märkte oder wenige Themenfelder auf den Websites für viele Märkte. Offen bleibt hier, welches Szenario für Interdisziplinarität spricht. Umgekehrt muss auch betrachtet werden, ob der Markt eine Vielfalt an angebotenen Themen und eine damit einhergehende Interdisziplinarität überhaupt nachfragt.

Weiterhin wurde angemerkt, dass die Größe und das Alter eines Instituts vermutlich einen Einfluss auf die Themenvielfalt haben: Es ist davon auszugehen, dass größere Institute auch eine größere Themenvielfalt aufweisen, wohingegen kleinere oder neuere Institute wahrscheinlich auf eher wenige Themenfelder fokussiert sind. Möglicherweise fehlt es kleinen oder neuen Instituten auch an den erforderlichen Mitarbeiterkapazitäten, um die Themenvielfalt auszubauen und diese auch auf der Website zu bewerben. Alt-ingesessene Institute konzentrieren sich möglicherweise auf die Darstellung ihrer Kernkompetenzen und sind damit auch auf weniger Themenfelder fokussiert.

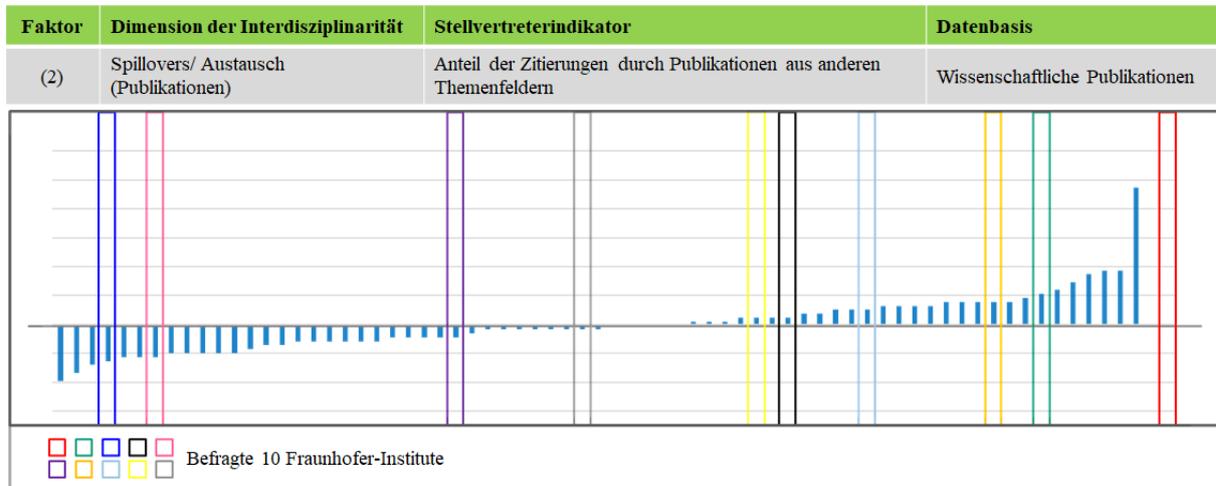
Ebenso wurde die unterschiedliche Websiteorganisation der Institute kritisch betrachtet. Einige Institute stellen zwei, andere Institute stellen mehrere Ebenen dar. Somit werden die Inhalte auch unterschiedlich priorisiert und abgebildet. Je mehr Ebenen auf den Websites dargestellt werden, desto allgemeiner bzw. weniger themenvielfältig wird die Gestaltung der oberen Ebenen vermutlich sein. Auch kann die Website letztendlich nur einen Teil der Themen abbilden, die in den Instituten tatsächlich bearbeitet werden. In der Regel werden auf der Website die Schwerpunktthemen aufgeführt, innerhalb des Instituts werden darüber hinaus jedoch weitere Themen bearbeitet, die nicht auf der Website kommuniziert werden und somit in die Interdisziplinaritätsbetrachtung nicht mit einfließen.

Zudem muss berücksichtigt werden, dass in die Gestaltung der Website auch Marketing-Aspekte miteinfließen, die die Ergebnisse in Bezug auf die Interdisziplinarität beeinflussen können.

6.2.2 Faktor 2: Spillovers/Austausch und Stellvertreterindikator 2: Anteil der Zitierungen durch Publikationen aus anderen Themenfeldern

Der Faktor 2 kennzeichnet interdisziplinäre Spillovers und ist demzufolge mit dem Label Spillovers/ Austausch im Kontext von wissenschaftlichen, SCOPUS-relevanten Publikationen versehen. Der diesem Faktor zugehörige Stellvertreterindikator ist der Anteil der Zitierungen durch Publikationen aus anderen Themenfeldern. Bei diesem Indikator wird betrachtet, welchen Themenfeldern die Publikationen bzw. die entsprechenden Fachzeitschriften zugeordnet sind, die die institutseigenen Publikationen zitieren. Dieser Indikator erscheint im Kontext der Interdisziplinaritätsbetrachtung geeignet, da er die Nutzung der Publikation betrachtet. Annahme ist, dass eine Publikation interdisziplinär ist, wenn sie von Publikationen zitiert wird, die aus anderen Themenfeldern stammt als sie selbst. Die nachfolgende Abbildung 42 zeigt die entsprechenden Analyseergebnisse.

Abbildung 42: Faktor 2 Spillovers/ Austausch und Stellvertreterindikator 2 Anteil der Zitierungen durch Publikationen aus anderen Themenfeldern



Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer IML

In der folgenden Tabelle 18 sind die Ergebnisse der Befragung zu Faktor und Stellvertreterindikator 2 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 18: Ergebnisse der Befragung zu Faktor und Stellvertreterindikator 2

Faktor 2: Spillovers/ Austausch Stellvertreterindikator 2: Anteil der Zitierungen durch Publikationen aus anderen Themenfeldern		
Sind die Ergebnisse der Analysen plausibel bzw. ist das Institut richtig eingeordnet?		
Ja. (6/10)	Nein. (1/10)	Keine Angabe. (3/10)
Hinweise zur Erklärung der Ergebnisse (Auszug):		
Einordnung Tendenz links: <ul style="list-style-type: none"> Das Institut ist sehr fokussiert und publiziert wenig zu Grundlagenthemen, die für andere Institute relevant sein könnten. Wenn das Institut zitiert wird, bewegen sich die entsprechenden Publikationen vermutlich im selben Themenfeld. Die Publikationen, die in SCOPUS von anderen Instituten eingestellt sind und die Publikationen des Instituts mit entsprechendem wissenschaftlichen Background zitieren, bewegen sich vermutlich in demselben thematischen Umfeld. 	Einordnung Tendenz rechts: <ul style="list-style-type: none"> Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Arbeit des Instituts sind relevant für viele andere Bereiche. Im Umkehrschluss zu Faktor 3 kann herausgestellt werden: Wenn in den eigenen wissenschaftlichen Publikationen auf verschiedene Themenfelder verwiesen wird, sind die Publikationen auch relevant für andere Themenfelder. 	

Faktor 2: Spillovers/ Austausch**Stellvertreterindikator 2: Anteil der Zitierungen durch Publikationen aus anderen Themenfeldern**

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Das Institut ist im Bereich hoch-wissenschaftlicher, SCOPUS-relevanter Veröffentlichungen, nicht sehr aktiv. Wer wenig publiziert, wird auch wenig zitiert. | <ul style="list-style-type: none"> Hier kommt möglicherweise die Größe des Instituts und die Ausrichtung an vielen unterschiedlichen Themenfeldern zum Tragen. Da das Institut viele unterschiedliche Themenfelder adressiert, werden die Publikationen vermutlich auch von Publikationen anderer Themenfelder nachgefragt. |
|---|--|

Ist der Stellvertreterindikator geeignet, um den Faktor als eine Dimension der Interdisziplinarität abzubilden?

Ja. (5/10)	Nein. (4/10)	Keine Angabe. (1/10)
------------	--------------	----------------------

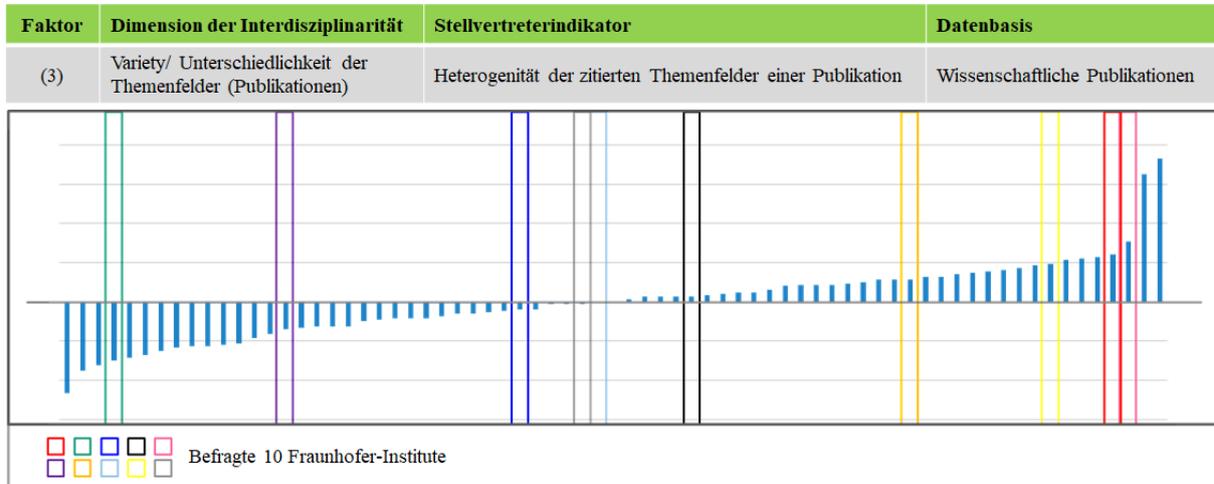
Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer IML

Für die Mehrheit der Befragten (6/10) erschien das Analyseergebnis in Hinblick auf die Einordnung des jeweiligen Instituts plausibel. Jedoch empfand nur die Hälfte der Befragten (5/10) den Stellvertreterindikator Anteil der Zitierungen durch Publikationen aus anderen Themenfeldern als geeignet, um den Faktor 2 als eine Dimension von Interdisziplinarität abzubilden. Diese Wahrnehmung wurde damit begründet, dass aus der Relevanz der Ergebnisse der wissenschaftlichen Arbeit des Instituts für andere Themenfelder nicht unmittelbar abgeleitet werden kann, wie interdisziplinär das Institut selbst arbeitet bzw. ob die Ergebnisse auf interdisziplinärem Weg entstanden sind. Der Indikator liefert vielmehr eine Aussage darüber, wie interdisziplinär andere Institute ausgerichtet sind. Möglicherweise ist in diesem Zusammenhang auch von Bedeutung, ob ein Institut Querschnittsthemen adressiert, die von vielen anderen Themenfeldern nachgefragt werden.

6.2.3 Faktor 3: Variety/Unterschiedlichkeit der Themenfelder und Stellvertreterindikator 3: Heterogenität der zitierten Themenfelder einer Publikation

Der Faktor 3 ist beschrieben mit der Variety/ Unterschiedlichkeit der Themenfelder im Kontext von wissenschaftlichen Publikationen. Der diesem Faktor zugehörige Stellvertreterindikator ist die Heterogenität der zitierten Themenfelder einer Publikation. Bei diesem Indikator wird die Referenzliste der Publikationen betrachtet. Eine Publikation gilt als interdisziplinär, wenn viele ihrer Referenzen aus Themenfeldern außerhalb der der Publikation zugeordneten Themenfelder stammen. Basis ist auch hier die jeweils zugrundeliegende Fachzeitschrift, in der die Publikation erschienen ist. Die nachfolgende Abbildung 43 zeigt die entsprechenden Analyseergebnisse.

Abbildung 43: Faktor 3 Variety/ Unterschiedlichkeit der Themenfelder und Stellvertreterindikator 3 Heterogenität der zitierten Themenfelder einer Publikation



Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer IML

In der folgenden Tabelle 19 sind die Ergebnisse der Befragung zu Faktor und Stellvertreterindikator 3 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 19: Ergebnisse der Befragung zu Faktor und Stellvertreterindikator 3

Faktor 3: Variety/ Unterschiedlichkeit der Themenfelder Stellvertreterindikator 3: Heterogenität der zitierten Themenfelder einer Publikation		
Sind die Ergebnisse der Analysen plausibel bzw. ist das Institut richtig eingeordnet?		
Ja. (7/10)	Nein. (1/10)	Keine Angabe. (2/10)
Hinweise zur Erklärung der Ergebnisse (Auszug):		
Einordnung Tendenz links: <ul style="list-style-type: none"> Die Art von Publikationen, die in SCOPUS eingestellt sind, zitieren in der Regel auch nur aus dem Umfeld des betrachteten Themenfelds. Das Institut ist im Bereich hoch-wissenschaftlicher, SCOPUS-relevanter Veröffentlichungen, nicht sehr aktiv. Somit sind nur wenige Veröffentlichungen die Grundlage für dieses Ergebnis. Diese wenigen Veröffentlichungen sind thematisch fokussiert, somit könnte die Erstellung der Veröffentlichung auch fokussiert erfolgt sein. 	Einordnung Tendenz rechts: <ul style="list-style-type: none"> Das Institut veröffentlicht viele wissenschaftliche Beiträge zu Querschnittsthemen. Diese Themen beinhalten mitunter Aspekte aus unterschiedlichen Disziplinen. Das Institut vereint vornehmlich ingenieurwissenschaftliche, durchaus aber auch andere, Disziplinen, und ist somit auch in den Publikationen thematisch breit aufgestellt. 	

Faktor 3: Variety/ Unterschiedlichkeit der Themenfelder

Stellvertreterindikator 3: Heterogenität der zitierten Themenfelder einer Publikation

Ist der Stellvertreterindikator geeignet, um den Faktor als eine Dimension der Interdisziplinarität abzubilden?

Ja. (7/10)

Nein. (2/10)

Keine Angabe. (1/10)

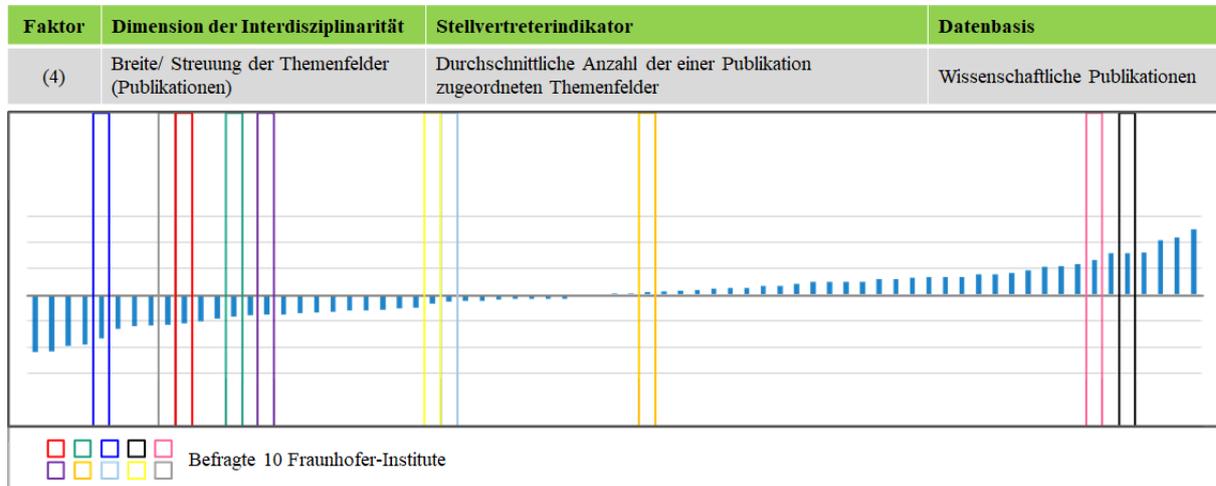
Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer IML

Für die Mehrheit der Befragten (7/10) erschien das Analyseergebnis in Hinblick auf die Einordnung des jeweiligen Instituts plausibel. Ebenso empfand die Mehrheit der Befragten (7/10) den Stellvertreterindikator Heterogenität der zitierten Themenfelder einer Publikation als geeignet, um den Faktor 3 als eine Dimension von Interdisziplinarität abzubilden. Wenn bei der Erstellung einer wissenschaftlichen Publikation über den eigenen Tellerrand hinausgeschaut und aus anderen Themenfeldern zitiert wird, spricht dies für Interdisziplinarität. Positiv wurde hier auch wahrgenommen, dass möglicherweise geschlossen werden kann, dass ein Institut Kompetenzen in unterschiedlichen Themenfeldern hat, wenn der Indikator aufzeigt, dass aus vielen Themenfeldern zitiert wurde.

6.2.4 Faktor 4: Breite/Streuung der Themenfelder und Stellvertreterindikator 4: Durchschnittliche Anzahl der einer Publikation zugeordneten Themenfelder

Die Breite bzw. Streuung der Themenfelder im Kontext von wissenschaftlichen, SCOPUS-relevanten Publikationen kennzeichnet den Faktor 4. Der diesem Faktor zugehörige Stellvertreterindikator ist die durchschnittliche Anzahl der einer Publikation zugeordneten Themenfelder. Konkret wurde die Anzahl der Themenfelder betrachtet, die der zugrundeliegenden Fachzeitschrift zugeordnet sind. Hier besteht die Annahme, dass eine höhere Anzahl der auf einer Publikation bzw. Fachzeitschrift genannten Themenfelder – im Aggregat für das jeweilige Institut – für eine größere Interdisziplinarität spricht. Die nachfolgende Abbildung 44 zeigt die entsprechenden Analyseergebnisse.

Abbildung 44: Faktor 4 Breite/ Streuung der Themenfelder und Stellvertreterindikator 4 Durchschnittliche Anzahl der einer Publikation zugeordneten Themenfelder



Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer IML

In der folgenden Tabelle 20 sind die Ergebnisse der Befragung zu Faktor und Stellvertreterindikator 4 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 20: Ergebnisse der Befragung zu Faktor und Stellvertreterindikator 4

Faktor 4: Breite/ Streuung der Themenfelder		
Stellvertreterindikator 4: Durchschnittliche Anzahl der einer Publikation zugeordneten Themenfelder		
Sind die Ergebnisse der Analysen plausibel bzw. ist das Institut richtig eingeordnet?		
Ja. (9/10)	Nein. (0/10)	Keine Angabe. (1/10)
Hinweise zur Erklärung der Ergebnisse (Auszug):		
Einordnung Tendenz links:	Einordnung Tendenz rechts:	
<ul style="list-style-type: none"> Obwohl das Institut thematisch breit aufgestellt ist, wird nur zu ausgewählten Themenfeldern wissenschaftlich publiziert. In SCOPUS als Datenquelle werden in der Regel nur fachspezifische Publikationen eingestellt, bei denen die Anzahl der zugehörigen Themenfelder eher gering sein wird. Daneben liegt ein weiterer Fokus auf Promotionspublikationen, die tendenziell auch auf wenige Themenfelder fokussiert sind. Andere, populärwissenschaftliche Publikationen, bei denen die Anzahl der zugehörigen Themenfelder 	<ul style="list-style-type: none"> Das Institut hat eine große Bereitschaft, sich auf viele Disziplinen einzulassen, insbesondere bei Querschnittsthemen, die für viele Bereiche relevant sind. Das Institut vereint viele ingenieurwissenschaftliche Disziplinen, die in gemeinsamen Projekten zusammengeführt werden und interdisziplinär zusammenarbeiten. Daher sind die Publikationen auch entsprechend themenvielfältig. 	

Faktor 4: Breite/ Streuung der Themenfelder**Stellvertreterindikator 4: Durchschnittliche Anzahl der einer Publikation zugeordneten Themenfelder**

<p>möglicherweise größer ist, werden in SCOPUS nicht erfasst.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Das Institut ist im Bereich hoch-wissenschaftlicher, SCOPUS-relevanter Veröffentlichungen, nicht sehr aktiv. • Es ist schwierig, interdisziplinär zu veröffentlichen. Viele wissenschaftliche Fachmedien sind häufig eindimensional ausgerichtet bzw. auf bestimmte Themenfelder fokussiert. 	<ul style="list-style-type: none"> • In den Publikationen zeigen sich die wissenschaftlichen Kompetenzen in unterschiedlichen Themenfeldern.
---	---

Ist der Stellvertreterindikator geeignet, um den Faktor als eine Dimension der Interdisziplinarität abzubilden?

Ja. (8/10)	Nein. (2/10)	Keine Angabe. (0/10)
------------	--------------	----------------------

Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer IML

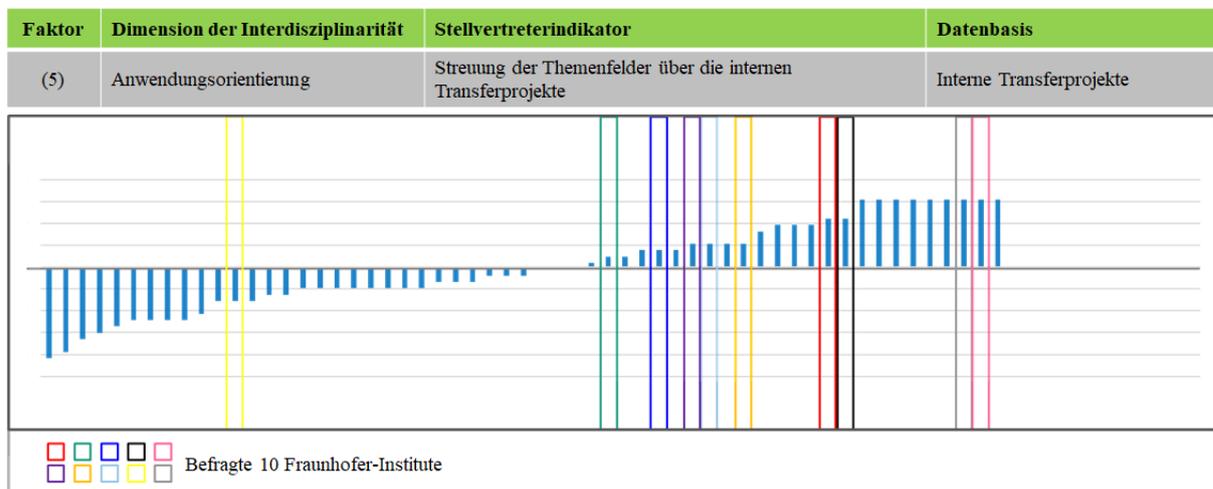
Für die deutliche Mehrheit der Befragten (9/10) erschien das Analyseergebnis in Hinblick auf die Einordnung des jeweiligen Instituts plausibel. Ebenso empfand die deutliche Mehrheit der Befragten (8/10) den Stellvertreterindikator durchschnittliche Anzahl der einer Publikation zugeordneten Themenfelder als geeignet, um den Faktor 4 als eine Dimension von Interdisziplinarität abzubilden. Wissenschaftliche Publikationen werden in diesem Zusammenhang als relevant wahrgenommen, da sie die Ergebnisse der (Projekt-)Arbeit abbilden und damit den wissenschaftlichen Output der Institute repräsentieren.

Kritik an der Eignung des Stellvertreterindikators bezog sich schwerpunktmäßig auf die fehlende Berücksichtigung des Erstellungsprozesses einer wissenschaftlichen Publikation. Sind mehrere Personen aus unterschiedlichen Disziplinen an der Erstellung einer Publikation beteiligt, spricht dies für interdisziplinäre Arbeit. Wenn diese Publikation bei Veröffentlichung in einer Fachzeitschrift jedoch nur einem oder wenigen Themenfeldern zugeordnet wird, lässt dies auf eine geringe interdisziplinäre Ausrichtung schließen. Somit kann das Ergebnis verfälscht werden. In diesem Zusammenhang wurde auch angemerkt, dass viele wissenschaftliche Fachmedien häufig eindimensional ausgerichtet bzw. auf bestimmte Themenfelder fokussiert sind, sodass die eingebundenen Publikationen ebenso nur wenigen Themenfeldern zugeordnet werden. Interdisziplinäre Veröffentlichungen sind somit tendenziell eher schwierig.

6.2.5 Faktor 5: Anwendungsorientierung und Stellvertreterindikator 5: Streuung der Themenfelder über die internen Transferprojekte

Die Anwendungsorientierung der Institute als eine weitere Dimension der Interdisziplinarität kennzeichnet den Faktor 5. Der zugehörige Stellvertreterindikator ist die Streuung der Themenfelder über die internen Transferprojekte im Kontext des AHEAD-Programms. Konkret wurde betrachtet, ob in den Fraunhofer-internen Transferprojekten der einzelnen Institute unterschiedliche Themenfelder betrachtet werden. Die nachfolgende Abbildung 45 zeigt die entsprechenden Analyseergebnisse.

Abbildung 45: Faktor 5 Anwendungsorientierung und Stellvertreterindikator 5 Streuung der Themenfelder über die internen Transferprojekte



Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer IML

In der folgenden Tabelle 21 sind die Ergebnisse der Befragung zu Faktor und Stellvertreterindikator 5 zusammenfassend dargestellt

Tabelle 21: Ergebnisse der Befragung zu Faktor und Stellvertreterindikator 5

Faktor 5: Anwendungsorientierung		
Stellvertreterindikator 5: Streuung der Themenfelder über die internen Transferprojekte		
Sind die Ergebnisse der Analysen plausibel bzw. ist das Institut richtig eingeordnet?		
Ja. (8/10)	Nein. (0/10)	Keine Angabe. (2/10)

Faktor 5: Anwendungsorientierung**Stellvertreterindikator 5: Streuung der Themenfelder über die internen Transferprojekte****Hinweise zur Erklärung der Ergebnisse (Auszug):**

Einordnung Tendenz links:	Einordnung Tendenz rechts:
<ul style="list-style-type: none"> Das AHEAD-Programm ist bekannt, es kann jedoch nicht eingeschätzt werden, wie intensiv das Programm im Institut genutzt wird. Da das Programm noch recht jung ist, wird es offensichtlich noch nicht voll umfänglich genutzt. 	<ul style="list-style-type: none"> Das Institut ist im Bereich des AHEAD-Programms aktiv. Das AHEAD-Programm ist relativ neu und die Arbeit in dem Programm beginnt gerade erst. Wenn in dem AHEAD-Programm aktiv gearbeitet wird, wird sich die Position möglicherweise (noch) weiter nach rechts verschieben. Das Institut ist im Bereich der Fraunhofer-internen Transferprojekte sehr aktiv. Die entsprechenden Programme werden im Institut aktiv kommuniziert und über das Team der Geschäftsfeldentwicklung begleitet, um die Teilnahme der Fachbereiche an den Programmen zu forcieren.

Ist der Stellvertreterindikator geeignet, um den Faktor als eine Dimension der Interdisziplinarität abzubilden?

Ja. (6/10)	Nein. (2/10)	Keine Angabe. (2/10)
------------	--------------	----------------------

Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer IML

Für die deutliche Mehrheit der Befragten (8/10) erschien das Analyseergebnis in Hinblick auf die Einordnung des jeweiligen Instituts plausibel. Ebenso empfand die Mehrheit der Befragten (6/10) den Stellvertreterindikator Streuung der Themenfelder über die internen Transferprojekte als geeignet, um den Faktor 5 als eine Dimension von Interdisziplinarität abzubilden. Transferprojekte werden in diesem Zusammenhang als relevant wahrgenommen, da sie die Anwendungsorientierung der Institute abbilden. Insbesondere für wissenschaftliche Institutionen ist es wichtig, Ergebnisse der Forschungsarbeit in die Praxis zu transferieren und Themen aktiv in bestimmten Märkten zu positionieren. Wenn eine Lösung in den Transfer gebracht wird und wenn in Transferprojekten viele Themenfelder adressiert werden, spricht dies für Interdisziplinarität.

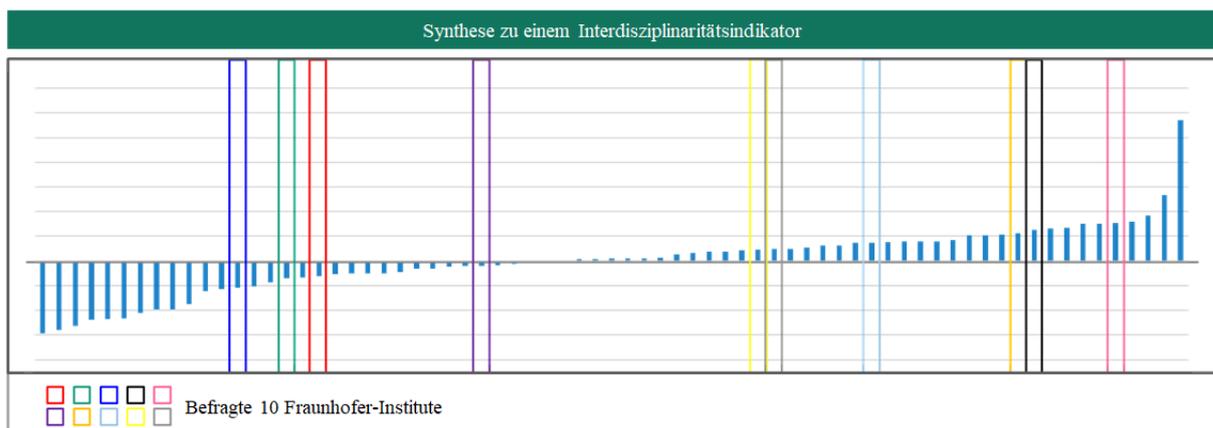
Kritik an der Eignung des Stellvertreterindikators bezog sich schwerpunktmäßig auf den fokussierten Blickwinkel. Neben den hier betrachteten Fraunhofer-internen Transferprojekten gibt es weitere wichtige Transferkanäle, deren Anwendung unterstützt und gefördert werden sollte. Die Erfahrung zeigt, dass es eine Herausforderung sein kann, erforshtes Wissen in die Praxis zu transferieren. Wichtig ist für die Fraunhofer-Institute eine Art Vertriebsfunktion, um auf die Forschungsarbeit und die Ergebnisse aufmerksam

zu machen und Märkte und Kunden aktiv anzusprechen. Die Steigerung des Bekanntheitsgrades und die Nutzung anderer Transferkanäle ist somit ebenso wichtig wie die Fraunhofer-internen Mechanismen. Viele Institute sind in Transferbereichen außerhalb der Fraunhofer-internen Programme sehr aktiv (vergleiche hierzu auch die Anmerkungen zur Datenbasis).

6.2.6 Validierung der Synthese zu einem Interdisziplinaritätsindikator

Die Stellvertreterindikatoren wurden abschließend auf einen gemeinsamen Nenner gebracht, um das Gesamtkonstrukt Interdisziplinarität auf einer Maßzahl, dem Interdisziplinaritätsindikator, abzubilden. Die nachfolgende Abbildung 46 zeigt die zusammenfassenden Ergebnisse.

Abbildung 46: Zusammenfassung der Stellvertreterindikatoren zu einem Interdisziplinaritätsindikator



Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer IML

An dieser Stelle wurde von den Befragten ein Feedback zu einem zusammenfassenden Interdisziplinaritätsindikator erbeten. Die Mehrheit (6/10) konnte die Einordnung des jeweiligen Instituts nicht konkret einschätzen und äußerte zu einer zusammenfassenden Darstellung der einzelnen Stellvertreterindikatoren in einem Gesamtindex Bedenken. Ein Gesamtindex wurde als zu eindimensional angesehen. Es ist wichtig zu wissen, welche Dimensionen bzw. Aspekte der Interdisziplinarität zusammengeführt werden, insbesondere vor dem Hintergrund, dass die einzelnen Institute möglicherweise unterschiedliche Schwerpunkte für ihre interdisziplinäre Arbeit setzen. Die fünf Faktoren bzw. Stellvertreterindikatoren sind nicht für alle Institute gleichermaßen relevant. Eine Vergleichbarkeit über alle Institute hinweg erzielen zu wollen wurde somit eher kritisch bewertet.

In der folgenden Tabelle 22 sind die Ergebnisse der Befragung zum Interdisziplinaritätsindikator zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 22: Ergebnisse der Befragung zum zusammenfassenden Interdisziplinaritätsindikator

Interdisziplinaritätsindikator		
<i>Sind die Ergebnisse der Analysen plausibel bzw. ist das Institut richtig eingeordnet? Stellt der Gesamtindex "Interdisziplinarität" das Institut korrekt dar?</i>		
Ja. (4/10)	Nein. (2/10)	Keine Angabe. (4/10)
Anmerkungen zur Einschätzung (Auszug):		
<ul style="list-style-type: none"> • Da erkenntlich ist, dass das Institut eine gewisse Interdisziplinarität aufweist, ist die Einordnung mit Tendenz rechts grundsätzlich korrekt. • Interdisziplinäre Arbeit passiert im Institut, somit ist die Einschätzung, dass das Institut mit Tendenz rechts richtig positioniert ist. 	<ul style="list-style-type: none"> • Subjektiv betrachtet sollte das Institut tendenziell weiter rechts eingeordnet sein. • Subjektiv betrachtet könnte das Institut tendenziell weiter rechts positioniert sein, wobei sich die Unterschiede in der Abstufung marginal darstellen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Die Bewertung der Einordnung des Instituts fällt schwer, da der Vergleich zu den anderen Instituten fehlt. • Für die Einschätzung der eigenen Position wäre auch die Kenntnis der Positionierung der anderen Institute bzw. der "Ausreißer" von Bedeutung.

Quelle: Eigene Darstellung des Fraunhofer IML

6.2.7 Fazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das im Projekt erarbeitete Konzept zur Messung der Interdisziplinarität erfolgreich validiert werden konnte.

Die fünf Faktoren und die zugehörigen Stellvertreterindikatoren fokussieren aus Sicht der Befragten wichtige Bereiche im Wirkungskreis von Fraunhofer, in denen Interdisziplinarität verortet werden kann: Die Instituts-Websites stellen die Kernkompetenzen dar und adressieren konkrete Märkte und Kunden, die SCOPUS-relevanten Publikationen zeigen die wissenschaftlichen und methodischen Kompetenzen auf und die Fraunhofer-internen Transferprojekte stehen für die anwendungs- und praxisorientierte Projektarbeit der Institute. Zusammengenommen werden hiermit unterschiedliche und im Fraunhofer-Kontext bedeutsame Dimensionen der Interdisziplinarität abgebildet.

Zu drei Punkten wurden von den Befragten folgende Anmerkungen an das Projektteam herangetragen:

- Bezogen auf die Eignung des Faktors und Stellvertreterindicators 2 für die Interdisziplinaritätsmessung war die Einschätzung der Befragten ausgeglichen. Nach Wahrnehmung der Befragten liefert dieser Indikator eher eine Aussage darüber, wie interdisziplinär andere Institute ausgerichtet sind. Die vom Projektteam zugrunde gelegte Annahme, eine Publikation sei interdisziplinär, wenn sie von Publikationen aus anderen Themenfeldern zitiert wird, wurde somit nicht mehrheitlich bekräftigt.
- Bezogen auf den Interdisziplinaritätsindikator wurde von der Mehrzahl der Befragten angemerkt, dass bei der Darstellung der Interdisziplinarität auf einer zusammenfassenden Maßzahl der mehrdimensionale Charakter des erarbeiteten Konzepts nicht deutlich wird. Es sollte ersichtlich sein, welche Dimensionen bzw. Aspekte der Interdisziplinarität betrachtet werden und ebenso sollte erkennbar sein, welche Schwerpunkte die einzelnen Institute für ihre interdisziplinäre Arbeit setzen.
- Bezogen auf die Aussagekraft bzw. praktische Relevanz der Interdisziplinarität für Fraunhofer bzw. einzelne Institute und ebenso für die Vergleichbarkeit der Institute sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden: Ist interdisziplinäre Arbeit im Fraunhofer-Kontext immer sinnvoll und wünschenswert? Sind die Forschungsfelder der einzelnen Institute interdisziplinär ausgerichtet bzw. ist interdisziplinäre Arbeit überhaupt möglich? Kann die Interdisziplinarität die Fraunhofer-Wissenschaftsindikatoren möglicherweise sinnvoll ergänzen? Die Positionierung der einzelnen Institute sollte also immer im Kontext der jeweiligen strategischen Ausrichtung und der fokussierten Forschungsfelder betrachtet werden.
- Als Ausblick für weitere Forschungstätigkeiten kann herausgestellt werden, dass das im Projekt erarbeitete Konzept zur Messung der Interdisziplinarität für Fraunhofer bedeutsame Dimensionen der Interdisziplinarität fokussiert, es darüber hinaus jedoch weitere Dimensionen gibt, die für bestimmte Institute im Kontext der Messung der interdisziplinären Arbeit ebenso relevant sind und die hier verwendeten sinnvoll ergänzen könnten.

7 Zusammenfassung und Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, wie Interdisziplinarität am Beispiel der angewandten Forschung gemessen werden kann. Die Synthese der Indikatoren in Kapitel 5.3 hat dabei gezeigt, dass eine Variable zur Messung der Interdisziplinarität nicht ausreicht, sondern dass in der Tat verschiedene Betrachtungsrichtungen integriert werden sollten. Dies entspricht auch der Vermutung, dass sich Interdisziplinarität derzeit in gängigen Publikationsindikatoren des wissenschaftlichen Outputs nicht hinreichend widerspiegelt. Dies war auch der Grund, weshalb in dieser Untersuchung von Anfang an ein breiterer Zugang gesucht wurde, der nicht nur Outputmaße auf der Grundlage bibliometrischer Daten berücksichtigt, sondern auch Inputmaße (Abschlüsse der Beschäftigten) und alternative Outputindikatoren (Patent-, Kooperations-, Projektdaten). Bei der qualitativen Validierung des Gesamtindikators wurde die Mehrdimensionalität des Konstrukts betont und die damit einhergehende differenzierte Erfassung angemahnt. Dies ist auch das Ergebnis der Literaturstudie. Aufgrund der Mehrdimensionalität des Konstrukts "Interdisziplinarität" müssen unterschiedliche Perspektiven eingenommen werden, um Interdisziplinarität adäquat abbilden zu können. Bibliometrische Daten, wie auch Patente, enthalten durchaus Informationen zu Interdisziplinarität, weshalb sie auch in dieser Studie eine starke Anwendung finden.

Hinsichtlich der Nachvollziehbarkeit und effektiven Erhebung von Indikatoren zur Messung der Interdisziplinarität wird empfohlen, Stellvertretervariablen aus den ermittelten Betrachtungsrichtungen zu verwenden. Zwar sind die alternativen Vorgehensweisen über eine Faktorenanalyse oder die Berechnung eines Kompositindikators aus allen verfügbaren Einzelindikatoren ebenfalls möglich und haben ihre Vorteile. Die Nachvollziehbarkeit und die damit verbundene Steuerungsmöglichkeit durch die Institute überwiegen hier jedoch gegenüber einer statistischen Reichweite oder Machbarkeit. Außerdem haben sich zwischen den Faktoren und den ausgewählten Einzelindikatoren durchaus derart hohe Korrelationen ergeben, dass diese als sehr gute Repräsentation der relevanten Dimensionen angesehen werden können. Diese wurde durch die qualitative Validierung der Indikatoren bestätigt.

Grenzen der Studie

Die Studie zeigt, dass sich angewandte Forschung in vielen Fällen durch Interdisziplinarität kennzeichnen lässt. Setzt man die Ergebnisse in Relation zu den Analysen der Max-Planck-Gesellschaft, so zeigen sich jedoch eindeutige Parallelen zwischen grundlagen- und anwendungsorientierter Forschung. Auch in den Analysen, die von der Max-Planck-Gesellschaft durchgeführt wurden, zeigt sich, dass bibliometrische Auswertungen methodisch gut handhabbare Kenngrößen zur Analyse der Interdisziplinarität darstellen.

Jedoch wurde auch hier auf unterschiedliche Kenngrößen gesetzt, um der Mehrdimensionalität der Interdisziplinarität Rechnung zu tragen. Besonders Ergebnisse die auf Basis der disziplinären Hintergründe des Personals der Institute scheinen hier gut einsetzbar. Jedoch wurde auch hier auf das Problem des großen Einflusses der gewählten Fachklassifikation eingegangen, weshalb hier Vereinheitlichungen für interdisziplinäre Forschungsfelder, wie sie in den Analysen Kerndatensatz Forschung (Stiller et al., 2021) entwickelt wurden, erstrebenswert sind.

Insgesamt liefern die Ergebnisse der vorliegenden Studie keine Aussage darüber, in wie fern sich Interdisziplinarität zur Messung der wissenschaftlichen Leistung eignet, d. h. ob mehr Interdisziplinarität in allen Bereichen und Projekten der Forschung immer auch der höchsten wissenschaftlichen Leistung entspricht. Denn sofern Interdisziplinarität für eine Art Bewertung herangezogen wird, so stellt sich immer die Frage, wie das Management die zu beurteilende Leistung verbessern kann. Es lässt sich aber aus der empirischen Literatur ableiten, dass die Interdisziplinarität vieler Fragestellungen in den letzten Jahren größer geworden ist und dass interdisziplinäre Papier zumindest eine größere Sichtbarkeit in der Wissenschaft erreichen – gemessen über Zitierungen – als nicht oder weniger interdisziplinäre Veröffentlichungen. Auch lässt sich mutmaßen, dass mit Themen wie Industrie 4.0, Digitalisierung oder auch den großen gesellschaftlichen Herausforderungen denen beispielsweise mit der Bioökonomie oder Energiewende begegnet wird, nicht nur der Bedarf, sondern sogar die Notwendigkeit von interdisziplinärem Arbeiten und interdisziplinären Perspektiven zunimmt.

8 Literatur

- Aletras, N., & Stevenson, M. (2014). Measuring the similarity between automatically generated topics. In Proceedings of the 14th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, volume 2: Short Papers (pp. 22-27).
- Bache, K., Newman, D., & Smyth, P. (2013). Text-based measures of document diversity. In Proceedings of the 19th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining (pp. 23-31).
- Blei, D. M., Ng, A. Y., & Jordan, M. I. (2003). Latent dirichlet allocation. *Journal of machine Learning research*, 3(Jan), pp. 993-1022.
- BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung (2016): Bundesbericht Forschung und Innovation 2016, BMBF: Berlin.
- Boyack, K.W.; Patek, M.; Ungar, L.H.; Yoon, P.; Klavans, R. (2014): Classification of individual articles from all of science by research level. In: *Journal of Informetrics* 8 (1), S. 1–12. DOI: 10.1016/j.joi.2013.10.005.
- Chen, S., Qiu, J., Arsenault, C., Larivière, V. (2021). Exploring the interdisciplinarity patterns of highly cited papers. *Journal of Informetrics*, 15(1).
- D'Este, P., Llopis, O., Rentocchini, F., Yegros, A. (2019). The relationship between interdisciplinarity and distinct modes of university-industry interaction. *Research Policy*, 48(9).
- Deutsches Patent- und Markenamt (DPMA) (2019). Marken. Eine Informationsbroschüre zum Markenschutz. https://www.dpma.de/docs/dpma/veroeffentlichungen/broschueren/bro_marken_dt.pdf (abgerufen am 1.7.2021).
- Deutsches Patent- und Markenamt (DPMA) (2021). Marken. Klassifikation von Nizza. https://www.dpma.de/marken/klassifikation/waren_dienstleistungen/nizza/index.html (abgerufen am 1.7.2021).
- DFG (2013): Fachübergreifende Begutachtung: Strukturwirkung und Fördererfolg Eine Exploration auf Basis von Neuanträgen in der DFG-Einzelförderung (2005 bis 2010), (zweite maßgeblich grafisch überarbeitete Fassung vom Februar 2018), DFG: Bonn; https://www.dfg.de/download/pdf/dfg_im_profil/geschaeftsstelle/publikationen/bericht_fachuebergreifende_begutachtung.pdf
- Donner, P. (2017): Research Level-Daten für die Bibliometriedatenbanken (DZHW), Kompetenzzentrum Bibliometrie, mimeo.

- Eckey, H.-F., Kosfeld, R., & Rengers, M. (2002). *Multivariate Statistik*. Gabler.
- Fraunhofer-Gesellschaft (2021). AHEAD. Fraunhofer Venture. AHEAD. <https://www.ahead.fraunhofer.de/en.html> (abgerufen am 1.7.2021).
- Gehrke, B.; Cordes, A.; John, K.; Frietsch, R.; Michels, C.; Neuhäusler, P.; Pohlmann, T.; Ohnemus, J.; Rammer, C. (2014): Informations- und Kommunikationstechnologien in Deutschland und im internationalen Vergleich - ausgewählte Innovationssindikatoren, Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 11-2014, Berlin: Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI).
- Grupp, H.; Schmoch, U.; Hinze, S. (2001): International Alignment and Scientific Regards as Macro-Indicators for International Comparisons of Publications. In: *Scientometrics* 51 (2), S. 359–380.
- Hernández, J.M., & Dorta-González, P., 2020. Interdisciplinarity metric based on the co-citation network. *Mathematics* 8(4).
- Jensen, P.; Lutkouskaya, K. (2014): The many dimensions of laboratories' interdisciplinarity, *Scientometrics*, 98, 619-631.
- Klein, J.T. (1990). *Interdisciplinarity: History, theory, and practice*. Detroit: Wayne State Univ. Press, pp. 331.
- Kwon, S.; Porter, A.L.; Youtie, J. (2016): Navigating the innovation trajectories of technology by combining specialization score analyses for publications and patents: graphene and nano-enabled drug delivery, *Scientometrics*, 106, 1057-1071.
- Larivière, V./Gingras, Y. (2010): On the relationship between interdisciplinarity and scientific impact, *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61, 126-131.
- Leydesdorff, L., Wagner, C.S., & Bornmann, L. (2019). Interdisciplinarity as diversity in citation patterns among journals: Rao-Stirling diversity, relative variety, and the Gini coefficient. *Journal of Informetrics*, 13(1), pp. 255–269.
- Michels, C., & Schmoch, U., 2012. The growth of science and database coverage. *Scientometrics*, 93(3), pp. 831–846.
- Mugabushaka, A.-M., Kyriakou, A., & Papazoglou, T. (2016). Bibliometric indicators of interdisciplinarity: The potential of the Leinster-Cobbold diversity indices to study disciplinary diversity. *Scientometrics*, 107, pp. 593–607.

- Nagaoka, S., & Kwon, H.U. (2006). The incidence of cross-licensing: A theory and new evidence on the firm and contract level determinants. *Research Policy*, 35, pp. 1347–1361.
- Nichols, L. (2014): A topic model approach to measuring interdisciplinarity at the National Science Foundation, *Scientometrics*, 100, 741-754.
- Okamura, K., (2019). Interdisciplinarity revisited: evidence for research impact and dynamism. *Palgrave Communications* 5(1).
- Rafols, I., & Meyer, M. (2010). Diversity and network coherence as indicators of interdisciplinarity: Case studies in bionanoscience. *Scientometrics* 82(2), pp. 263–287.
- Roessner, D.; Porter, A.L.; Nersessian, N.J.; Carley, S. (2009): Validating indicators of interdisciplinarity: linking bibliometric measures to studies of engineering research labs, *Scientometrics*, 94, S. 439–468, DOI 10.1007/s11192-012-0872-9
- Schimke, A. (2016). (Un-)related variety in patent strategy: Patenty. Manuskript.
- Schmoch, U., & Hinze, S. (2004). Opening the Black Box, In: Moed, H.F., Glänzel, W., & Schmoch, U. (Hrsg.) (2004). *Handbook of Qualitative Science and Technology Research*. The Use of Publication and Patent Statistics in Studies of S&T Systems. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 215–235.
- Shafique, M. (2013). Thinking inside the box? Intellectual structure of the knowledge base of innovation research (1988-2008). *Strategic Management Journal*, 34(1), pp. 62–93.
- Small, H. (2010). Maps of science as interdisciplinary discourse: Co-citation contexts and the role of analogy. *Scientometrics* ,83, pp. 835–849.
- Steele, T.; Stier, J. (2000): The impact of interdisciplinary research in the environmental sciences: a forestry case study, *Journal of the American Society for Information Science*, 51, 476-484.
- Stiller, J., Trkulja, V., Biesenbender, S., & Petras, V. (2021). *Entwicklung einer Klassifikation für interdisziplinäre Forschungsfelder im Rahmen des Kerndatensatz Forschung. Projektdokumentation*. Deutsches Zentrum für Hochschul- und Wissenschaftsforschung GmbH; Humboldt-Universität zu Berlin, p. 24. (accessed 21 June 2021).
- Stirling, A. (2007): A general framework for analysing diversity in science, technology and society, *Journal of the Royal Society Interface*, 4, S. 707-719.

- Tang, J., Meng, Z., Nguyen, X., Mei, Q., & Zhang, M. (2014). Understanding the limiting factors of topic modeling via posterior contraction analysis. In *International Conference on Machine Learning* (pp. 190-198).
- TRENDONE GmbH (2021). Mega-Trends. <https://www.trendexplorer.com/de/trends/> (abgerufen am 1.7.2021).
- Uddin, S., Imam, T., & Mozumdar, M. (2021). Research interdisciplinarity: STEM versus non-STEM. *Scientometrics*, 126(1), pp. 603–618.
- van den Besselaar, P.; Heimeriks, G. (2001): Disciplinary, Multidisciplinary, Interdisciplinary - Concepts and Indicators. Sydney, Australia: Paper for the 8th conference on Scientometrics and Informetrics - ISSI2001, July 16-20, 2001.
- Vugteveen, P.; Lenders, R.; Van den Besselaar, P. (2014): The dynamics of interdisciplinary research fields: the case of river research, *Scientometrics*, 100:73–96, DOI 10.1007/s11192-014-1286-7.
- Wagner, C.S., Roessner, J.D., Bobb, K., Klein, J.T., Boyack, K.W., Keyton, J., Rafols, I., & Börner, K. (2011). Approaches to understanding and measuring interdisciplinary scientific research (IDR): A review of the literature. *Journal of informetrics*, 5(1), pp. 14-26.
- Wallach, H.; Mimno, D.; McCallum, A. (2009). Rethinking LDA: Why priors matter. *Advances in neural information processing systems*, In: Proceedings of NIPS, 22, pp. 1973–1981
- Wang, K., Sha, C., Wang, X., & Zhou, A. (2014). Based on citation diversity to explore influential papers for interdisciplinarity. In *Asia-Pacific Web Conference* (pp. 343-354). Springer, Cham.
- Wang, Q.; Schneider, J.W. (2020). Consistency and validity of interdisciplinarity measures. *Quantitative Science Studies*, 1(1), pp. 239-263.
- Yau, C.K., Porter, A., Newman, N., & Suominen, A. (2014). Clustering scientific documents with topic modeling, *Scientometrics*, 100(3), pp. 767-786.
- Yegros-Yegros, A.; Rafols, I.; D'Este, P. (2015). Does Interdisciplinary Research Lead to Higher Citation Impact? The Different Effect of Proximal and Distal Interdisciplinarity. *Plos One*, 10(8), e0135095.

- Zhang, L.; Rousseau, R.; Glänzel, W. (2016). Diversity of references as an indicator of the interdisciplinarity of journals: Taking similarity between subject fields into account. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 67(5), pp. 1257-1265.
- Zhou, Q.; Rousseau, R.; Yang, L.; Yue, T.; Yang, G. (2012). A general framework for describing diversity within systems and similarity between systems with applications in informetrics. *Scientometrics*, 93(3), pp. 787-812.
- Zielinski, A. (2021): Impact of Model Settings on the Text-based Rao Diversity Index. ISSI Conference, Leuven.

9 Anhang

Tabelle 23: Übersicht über die verwendeten Klassifikationen

ISI EFI 2010		Scopus 2-Steller (ASJC2)		Scopus 4-Steller (ASJC)	
Code	Beschreibung	Code	Beschreibung	Code	Beschreibung
ISI_EFI2010-F01	Electrical engineering	10XX	Multidisciplinary	1000	Multidisciplinary
ISI_EFI2010-F02	Computers	11XX	Agricultural and Biological Sciences	1100	Agricultural and Biological Sciences (all)
ISI_EFI2010-F03	Optics	12XX	Arts and Humanities	1101	Agricultural and Biological Sciences (miscellaneous)
ISI_EFI2010-F04	Measuring, control	13XX	Biochemistry, Genetics and Molecular Biology	1102	Agromony and Crop Science
ISI_EFI2010-F05	Medical engineering	14XX	Biology	1103	Animal Science and Zoology
ISI_EFI2010-F06	Nuclear technology	15XX	Business, Management and Accounting	1104	Aquatic Science
ISI_EFI2010-F07	Organic chemistry	16XX	Chemical Engineering	1105	Ecology, Evolution, Behavior and Systematics
ISI_EFI2010-F08	Polymers	17XX	Chemistry	1106	Food Science
ISI_EFI2010-F09	Pharmacy	18XX	Computer Science	1107	Forestry
ISI_EFI2010-F10	Biotechnology	19XX	Decision Sciences	1108	Horticulture
ISI_EFI2010-F11	Food, nutrition	20XX	Earth and Planetary Sciences	1109	Insect Science
ISI_EFI2010-F12	Basic chemistry	21XX	Economics, Econometrics and Finance	1110	Plant Science
ISI_EFI2010-F13	Chemical engineering	22XX	Energy	1111	Soil Science
ISI_EFI2010-F14	Materials research	23XX	Engineering	1200	Arts and Humanities (all)
ISI_EFI2010-F15	Specific engineering	24XX	Environmental Science	1201	Arts and Humanities (miscellaneous)
ISI_EFI2010-F16	Mechanical engineering	25XX	Immunology and Microbiology	1202	History
ISI_EFI2010-F17	*deprecated*	26XX	Materials Science	1203	Language and Linguistics
ISI_EFI2010-F18	*deprecated*	27XX	Mathematics	1204	Archeology (arts and humanities)
ISI_EFI2010-F19	Physics	28XX	Medicine	1205	Classics
ISI_EFI2010-F20	Medicine	29XX	Neuroscience	1206	Conservation
ISI_EFI2010-F21	Biology	30XX	Nursing	1207	History and Philosophy of Science
ISI_EFI2010-F22	Ecology, climate	31XX	Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics	1208	Literature and Literary Theory
ISI_EFI2010-F23	Mathematics	32XX	Physics and Astronomy	1209	Museology
ISI_EFI2010-F24	Geosciences	33XX	Psychology	1210	Music
ISI_EFI2010-F25	Multidisciplinary	34XX	Social Sciences	1211	Philosophy
ISI_EFI2010-F26	Other	35XX	Veterinary	1212	Religious Studies
ISI_EFI2010-F30	Social Sciences, Economics	36XX	Dentistry	1213	Visual Arts and Performing Arts
ISI_EFI2010-F31	Social Sciences, Other		Health Professions	1300	Biochemistry, Genetics and Molecular Biology (all)
ISI_EFI2010-F32	Humanities			1301	Biochemistry, Genetics and Molecular Biology (miscellaneous)
ISI_EFI2010-F00	Not classified			1302	Aging
				1303	Biochemistry
				1304	Biophysics
				1305	Biotechnology
				1306	Cancer Research
				1307	Cell Biology
				1308	Clinical Biochemistry
				1309	Developmental Biology
				1310	Endocrinology
				1311	Genetics
				1312	Molecular Biology
				1313	Molecular Medicine
				1314	Physiology
				1315	Structural Biology
				1400	Business, Management and Accounting (all)
				1401	Business, Management and Accounting (miscellaneous)
				1402	Accounting
				1403	Business and International Management
				1404	Management Information Systems
				1405	Management of Technology and Innovation
				1406	Marketing
				1407	Organizational Behavior and Human Resource Management
				1408	Strategy and Management
				1409	Tourism, Leisure and Hospitality Management
				1410	Industrial Relations
				1500	Chemical Engineering (all)
				1501	Chemical Engineering (miscellaneous)
				1502	Bioengineering
				1503	Catalysis
				1504	Chemical Health and Safety
				1505	Colloid and Surface Chemistry
				1506	Filtration and Separation
				1507	Fluid Flow and Transfer Processes
				1508	Process Chemistry and Technology
				1600	Chemistry (all)
				1601	Chemistry (miscellaneous)
				1602	Analytical Chemistry
				1603	Electrochemistry
				1604	Inorganic Chemistry
				1605	Organic Chemistry
				1606	Physical and Theoretical Chemistry
				1607	
				1700	
				1701	
				1702	
				1703	

				1704	Spectroscopy
				1705	Computer Science (all)
				1706	Computer Science (miscellaneous)
				1707	Artificial Intelligence
				1708	Computational Theory and Mathematics
				1709	Computer Graphics and Computer-Aided Design
				1710	Computer Networks and Communications
				1711	Computer Science Applications
				1712	Computer Vision and Pattern Recognition
				1800	Hardware and Architecture
				1801	Human-Computer Interaction
				1802	Information Systems
				1803	Signal Processing
				1804	Software
				1900	Decision Sciences (all)
				1901	Decision Sciences (miscellaneous)
				1902	Information Systems and Management
				1903	Management Science and Operations Research
				1904	Statistics, Probability and Uncertainty
				1905	Earth and Planetary Sciences (all)
				1906	Earth and Planetary Sciences (miscellaneous)
				1907	Atmospheric Science
				1908	Computers in Earth Sciences
				1909	Earth-Surface Processes
				1910	Economic Geology
				1911	Geochemistry and Petrology
				1912	Geology
				1913	Geophysics
				2000	Geotechnical Engineering and Engineering Geology
				2001	Oceanography
				2002	Paleontology
				2100	Space and Planetary Science
				2101	Stratigraphy
				2102	Economics, Econometrics and Finance (all)
				2103	Economics, Econometrics and Finance (miscellaneous)
				2104	Economics and Econometrics
				2105	Finance
				2200	Energy (all)
				2201	Energy (miscellaneous)
				2202	Energy Engineering and Power Technology
				2203	Fuel Technology
				2204	Nuclear Energy and Engineering
				2205	Renewable Energy, Sustainability and the Environment
				2206	Engineering (all)
				2207	Engineering (miscellaneous)
				2208	Aerospace Engineering
				2209	Automotive Engineering
				2210	Biomedical Engineering
				2211	Civil and Structural Engineering
				2212	Computational Mechanics
				2213	Control and Systems Engineering
				2214	Electrical and Electronic Engineering
				2215	Industrial and Manufacturing Engineering
				2216	Mechanical Engineering
				2300	Mechanics of Materials
				2301	Ocean Engineering
				2302	Safety, Risk, Reliability and Quality
				2303	Media Technology
				2304	Building and Construction
				2305	Architecture
				2306	Environmental Science (all)
				2307	Environmental Science (miscellaneous)
				2308	Ecological Modeling
				2309	Ecology
				2310	Environmental Chemistry
				2311	Environmental Engineering
				2312	Global and Planetary Change
				2400	Health, Toxicology and Mutagenesis
				2401	Management, Monitoring, Policy and Law
				2402	Nature and Landscape Conservation
				2403	Pollution
				2404	Waste Management and Disposal
				2405	Water Science and Technology
				2500	Immunology and Microbiology (all)
				2501	Immunology and Microbiology (miscellaneous)
				2502	Applied Microbiology and Biotechnology
				2503	Immunology
				2504	Microbiology
				2505	Parasitology
				2506	Virology
				2507	Materials Science (all)
				2508	Materials Science (miscellaneous)
				2600	Biomaterials
				2601	Ceramics and Composites
				2602	Electronic, Optical and Magnetic Materials
				2603	Materials Chemistry
				2604	Metals and Alloys
				2605	Polymers and Plastics
				2606	Surfaces, Coatings and Films
				2607	Mathematics (all)
				2608	

				2609	Mathematics (miscellaneous)
				2610	Algebra and Number Theory
				2611	Analysis
				2612	Applied Mathematics
				2613	Computational Mathematics
				2614	Control and Optimization
				2700	Discrete Mathematics and Combinatorics
				2701	Geometry and Topology
				2702	Logic
				2703	Mathematical Physics
				2704	Modeling and Simulation
				2705	Numerical Analysis
				2706	Statistics and Probability
				2707	Theoretical Computer Science
				2708	Medicine (all)
				2709	Medicine (miscellaneous)
				2710	Anatomy
				2711	Anesthesiology and Pain Medicine
				2712	Biochemistry (medical)
				2713	Cardiology and Cardiovascular Medicine
				2714	Critical Care and Intensive Care Medicine
				2715	Complementary and Alternative Medicine
				2716	Dermatology
				2717	Drug Guides
				2718	Embryology
				2719	Emergency Medicine
				2720	Endocrinology, Diabetes and Metabolism
				2721	Epidemiology
				2722	Family Practice
				2723	Gastroenterology
				2724	Genetics (clinical)
				2725	Geriatrics and Gerontology
				2726	Health Informatics
				2727	Health Policy
				2728	Hematology
				2729	Hepatology
				2730	Histology
				2731	Immunology and Allergy
				2732	Internal Medicine
				2733	Infectious Diseases
				2734	Microbiology (medical)
				2735	Nephrology
				2736	Neurology (clinical)
				2737	Obstetrics and Gynecology
				2738	Oncology
				2739	Ophthalmology
				2740	Orthopedics and Sports Medicine
				2741	Otorhinolaryngology
				2742	Pathology and Forensic Medicine
				2743	Pediatrics, Perinatology and Child Health
				2744	Pharmacology (medical)
				2745	Physiology (medical)
				2746	Psychiatry and Mental Health
				2747	Public Health, Environmental and Occupational Health
				2748	Health
				2800	Pulmonary and Respiratory Medicine
				2801	Radiology, Nuclear Medicine and Imaging
				2802	Rehabilitation
				2803	Reproductive Medicine
				2804	Reviews and References (medical)
				2805	Rheumatology
				2806	Surgery
				2807	Transplantation
				2808	Urology
				2809	Neuroscience (all)
				2900	Neuroscience (miscellaneous)
				2901	Behavioral Neuroscience
				2902	Biological Psychiatry
				2903	Cellular and Molecular Neuroscience
				2904	Cognitive Neuroscience
				2905	Developmental Neuroscience
				2906	Endocrine and Autonomic Systems
				2907	Neurology
				2908	Sensory Systems
				2909	Nursing (all)
				2910	Nursing (miscellaneous)
				2911	Advanced and Specialized Nursing
				2912	Assessment and Diagnosis
				2913	Care Planning
				2914	Community and Home Care
				2915	Critical Care Nursing
				2916	Emergency Nursing
				2917	Fundamentals and Skills
				2918	Gerontology
				2919	Issues, Ethics and Legal Aspects
				2920	Leadership and Management
				2921	LPN and LVN
				2922	Maternity and Midwifery
				2923	Medical and Surgical Nursing
				3000	Nurse Assisting
				3001	Nutrition and Dietetics
				3002	Oncology (nursing)
				3003	Pathophysiology

				3004	Pediatrics
				3005	Pharmacology (nursing)
				3100	Psychiatric Mental Health
				3101	Research and Theory
				3102	Review and Exam Preparation
				3103	Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics
				3104	(all)
				3105	Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics
				3106	(miscellaneous)
				3107	Drug Discovery
				3108	Pharmaceutical Science
				3109	Pharmacology
				3110	Toxicology
				3200	Physics and Astronomy (all)
				3201	Physics and Astronomy (miscellaneous)
				3202	Acoustics and Ultrasonics
				3203	Astronomy and Astrophysics
				3204	Condensed Matter Physics
				3205	Instrumentation
				3206	Nuclear and High Energy Physics
				3207	Atomic and Molecular Physics, and Optics
				3300	Radiation
				3301	Statistical and Nonlinear Physics
				3302	Surfaces and Interfaces
				3303	Psychology (all)
				3304	Psychology (miscellaneous)
				3305	Applied Psychology
				3306	Clinical Psychology
				3307	Developmental and Educational Psychology
				3308	Experimental and Cognitive Psychology
				3309	Neuropsychology and Physiological Psychology
				3310	Social Psychology
				3311	Social Sciences (all)
				3312	Social Sciences (miscellaneous)
				3313	Archeology
				3314	Development
				3315	Education
				3316	Geography, Planning and Development
				3317	Health (social science)
				3318	Human Factors and Ergonomics
				3319	Law
				3320	Library and Information Sciences
				3321	Linguistics and Language
				3322	Safety Research
				3400	Sociology and Political Science
				3401	Transportation
				3402	Anthropology
				3403	Communication
				3404	Cultural Studies
				3500	Demography
				3501	Gender Studies
				3502	Life-span and Life-course Studies
				3503	Political Science and International Relations
				3504	Public Administration
				3505	Urban Studies
				3506	Veterinary (all)
				3600	Veterinary (miscellaneous)
				3601	Equine
				3602	Food Animals
				3603	Small Animals
				3604	Dentistry (all)
				3605	Dentistry (miscellaneous)
				3606	Dental Assisting
				3607	Dental Hygiene
				3608	Oral Surgery
				3609	Orthodontics
				3610	Periodontics
				3611	Health Professions (all)
				3612	Health Professions (miscellaneous)
				3613	Chiropractics
				3614	Complementary and Manual Therapy
				3615	Emergency Medical Services
				3616	Health Information Management
					Medical Assisting and Transcription
					Medical Laboratory Technology
					Medical Terminology
					Occupational Therapy
					Optometry
					Pharmacy
					Physical Therapy, Sports Therapy and Rehabilitation
					Podiatry
					Radiological and Ultrasound Technology
					Respiratory Care
					Speech and Hearing