

Abschlussbericht zu Modul 1 und Modul 2 der

**Trendstudie für die
Materials Chain
im Rahmen der
Universitätsallianz (UA) Ruhr**

Düsseldorf, 20.02.2018

Autoren:

Dr. Dirk Holtmannspötter (Ansprechpartner, VDI Technologiezentrum GmbH)¹
Eva Cebulla (VDI Technologiezentrum GmbH)

Dr. Dirk Tunger (Forschungszentrum Jülich)
Andreas Meier (Forschungszentrum Jülich)

¹ Tel.: 0211 62 14-486, Fax: 0211 6214-97-486, holtmannspoetter@vdi.de

Inhaltsverzeichnis

1. Hintergrund und Aufgabenstellung.....	4
2. Modul 1: Bibliometrische und projektbezogene Analyse	5
2.1 Vorgehensweise Modul 1	5
2.2 Vorgehensweise bei der bibliometrischen Analyse (Modul 1).....	5
2.3 Vorgehensweise bei der Analyse von Projektdaten, Zukunftsstudien, Konferenzinformationen und Sekundärliteratur (Modul 1).....	7
2.4 Ergebnis von Modul 1: Longlist von Themenkomplexen	8
3. Modul 2: Korrelation des bisherigen Entwicklungsstands in den Werkstoffwissenschaften.....	14
3.1 Vorgehensweise bei der bibliometrischen Analyse (Modul 2).....	14
3.2 Vorgehensweise bei der Trendanalyse und der fachlich-inhaltlichen Analyse von Projektverbünden und Förderprogrammen (Modul 2)	16
3.3 Ergebnisse: Surfaces and Interfaces (incl. Nano)	18
3.4 Ergebnisse: Nano-2-Giga: Stahl, Beton & Zement	20
3.5 Ergebnisse: Zirkuläre Wertschöpfung und Ressourceneffizienz.....	22
3.6 Ergebnisse: Materialforschung für die Produktion der Zukunft.....	24
3.7 Ergebnisse: Quantification and Prediction in Materials Design.....	26
3.8 Ergebnisse: Materials for Novel Electronics	28
3.9 Ergebnisse des Kreativworkshops	29
3.10 Fazit Modul 2	30
4. Gesamtfazit	31

1. Hintergrund und Aufgabenstellung

Laut Leistungsbeschreibung ist die „Materials Chain“ (MC) ein strategisches und profilbildendes Programm der drei Universitäten im Ruhrgebiet (Duisburg-Essen, Bochum und Dortmund), das unter dem Dach der Universitätsallianz (UA) Ruhr durchgeführt wird.

Ziel der Materials Chain ist die Bündelung der Expertisen im Bereich der Material- und Werkstoffwissenschaften in der Region Ruhr sowie die Stärkung der Kooperationen. Dies gilt sowohl für Kooperationen untereinander, mit externen Forschungseinrichtungen, mit Fachhochschulen als auch mit der Industrie. Mit bereits über 250 Forschergruppen deckt die Materials Chain vom Materialdesign über die Werkstoffherstellung und -veredelung bis hin zur Charakterisierung und Verarbeitung im Produktionsprozess alle Phasen moderner Materialwissenschaften ab. In diesen Bereichen verfügt die Materials Chain nicht nur über ein umfassendes Know-how, sondern zugleich auch über eine exzellente Forschungsinfrastruktur, die von der atomaren Auflösung über die angewandte Materialcharakterisierung bis hin zur Simulation mittels High Performance Computing (HPC) reicht.

Im Rahmen des Profilschwerpunkts Materials Chain sollte eine Trendstudie durchgeführt werden. Ziel war die Identifizierung von

- technologischen und ökonomischen Megatrends (Future and Emerging Technologies),
- großen gesellschaftlichen Herausforderungen
- und Aspekten, die das zukünftige Leben nachhaltig verändern werden.

Der Zeithorizont der Betrachtungen lag dabei auf den kommenden 10 bis 15 Jahren. Die Trends sollten mit den Schlüsselthemen großer staatlicher Forschungs- bzw. Förderprogramme (wie z. B. Horizon 2020, BMBF etc.) im Einklang stehen und zugleich auch aus der regionalen Entwicklung des Ruhrgebiets beziehungsweise aus den Stärken / Kompetenzen der Materials Chain Mitglieder ableitbar sein.

2. Modul 1: Bibliometrische und projektbezogene Analyse

2.1 Vorgehensweise Modul 1

Die prinzipielle Vorgehensweise in Modul 1 basierte auf drei parallelen Suchsäulen und entsprechenden Informationsquellen: 1. Wissenschaftliche Publikationen, 2. Informationen zu öffentlich geförderten Forschungsprojekten sowie 3. Sekundärliteratur, Konferenzprogrammen und Zukunftsstudien.



Abbildung 2.1: Prinzipschaubild der Vorgehensweise Modul 1

2.2 Vorgehensweise bei der bibliometrischen Analyse (Modul 1)

Gegenstand der Untersuchung

Ziel der bibliometrischen Analyse in der Trendstudie war es, quantitative Aussagen zur Entwicklung von Publikationstätigkeit – sowohl innerhalb der MC als auch global – zu geben, die als Stellvertreter-Messgröße für wissenschaftliche Entwicklung angesehen werden kann. Hierbei richtete sich der Fokus auf die Themen, die für die MC und ihre beteiligten Einrichtungen von besonderem Interesse sind, weil sie sich im Themenkomplex von Ingenieur-, Material- und Werkstoffwissenschaften befinden.

Erstellen einer Suchstrategie

Zu Beginn der Trendstudie wurde im Rahmen eines Workshops mit ausgewählten und repräsentativen Mitgliedern aus der MC eine Suchstrategie für die Datenbank Web of Science von Clarivate Analytics entwickelt, die die Grundlage aller Auswertungen in Modul 1 und 2 dieser Studie bildet. Web of Science wurde ausgewählt, weil es sich hier um die verbreitetste multidisziplinäre Datenbank wissenschaftlicher Literatur handelt. Untersuchungszeitraum der Auswertung war der Zeitraum 1991 – 2016, die Auswer-

tung ist eingeschränkt auf die Dokumenttypen Article, Letter, Proceedings Paper und Review als Hauptpublikationsformen wissenschaftlicher Veröffentlichungen. Die Suchstrategie wurde auf dem Suchstrategieworkshop an der UA Ruhr gemeinsam mit dem Koordinationsteam und dem Scientific Board der Materials Chain erstellt, indem Subject Categories aus dem Web of Science auf ihre inhaltliche Relevanz für die Materials Chain geprüft wurden. Folgende Suchanfrage war das Ergebnis dieses Workshops:

((wc=('Crystallography' or 'Materials Science, Biomaterials' or 'Materials Science, Ceramics' or 'Materials Science, Characterization & Testing' or 'Materials Science, Coatings & Films' or 'Materials Science, Composites' or 'Materials Science, Multidisciplinary' or 'Materials Science, Paper & Wood' or 'Materials Science, Textiles' or 'Metallurgy & Metallurgical Engineering' or 'Nanoscience & Nanotechnology' or 'Polymer Science' or 'Physics, Condensed Matter' or 'Cell & Tissue Engineering' or 'Mineralogy' or 'Mining & Mineral Processing' or 'Engineering, Chemical' or 'Engineering, Manufacturing' or 'Engineering, Electrical & Electronic' or 'Engineering, Mechanical' or 'Engineering, Aerospace' or 'Engineering, Civil' or 'Engineering, Biomedical' or 'Chemistry, Physical' or 'Physics, Applied' or 'Computer Science, Interdisciplinary Applications' or 'Statistics & Probability') and py=1991-2016)) AND **DOCUMENT TYPES:** (Article OR Letter OR Proceedings Paper OR Review)

Die so genierte Treffermenge, die im Folgenden auch als „Benchmark“² bezeichnet wird, ist in einer ersten Auswertung in die Identifikation von Zukunftsthemen der Materialforschung eingeflossen (vgl. Abbildung 2.1 oben). Dazu wurden Bubble-Charts (eingeschränkt auf Review-Paper) erstellt und inhaltlich ausgewertet zusammen mit den dazu gehörigen Schlagwortlisten. Außerdem wurden die Titel einer Stichprobe von ca. 500 zufällig ausgewählten Reviews gesichtet.

Longlist von 100 Themenkomplexen

Zu den Themen auf der Longlist von 100 Themenkomplexen (oder einfach Longlist), die im weiteren Projektverlauf erstellt wurde, wurden bibliometrische Auswertungen als Entscheidungsunterstützung angefertigt. Hierzu wurde für jedes Thema dieser Longlist eine Suchanfrage auf Basis von Keywords erstellt und mit der Suchstrategie vom Workshop verbunden. Die Verbindung erfolgte mit bool'schem UND, so dass die Suchbegriffe aus der Suchanfrage ebenso wie die Subject Categories der Suchstrategie gemeinsam in einem Dokument vorkommen müssen.

Erfolgte Auswertungen

Folgende Indikatoren wurden für alle Themen der Longlist dargestellt:

- Publikationszahlen und -anteile am Benchmark (Treffermenge der Suchstrategie vom Workshop) im zeitlichen Verlauf als Diagramm
- Bereits vorhandene Publikationen der Materials Chain zum Thema (ermittelt über DOIs der MC)

² Die Bezeichnung „Benchmark“ soll zum Ausdruck bringen, dass diese Treffermenge die Grundgesamtheit für die bibliometrische Analyse darstellte. Die absolute Anzahl von Publikationen in dieser Grundgesamtheit und die zeitliche Veränderung der Publikationszahlen können als ein natürlicher Vergleichswert für die entsprechenden Werte bei spezifischen Einzelthemen dienen. In diesem Sinne wird das Wort „Benchmark“ im Folgenden an verschiedenen Stellen verwendet.

2.3 Vorgehensweise bei der Analyse von Projektdaten, Zukunftsstudien, Konferenzinformationen und Sekundärliteratur (Modul 1)

Informationen zu öffentlich geförderten Forschungsprojekten

Die hier berücksichtigten Projektdaten stammten aus den folgenden Datenbanken, die zu den wichtigsten Quellen dieser Art gehören:

- DFG GEPRIS: <http://gepris.dfg.de>
- Förderkatalog des Bundes: <http://foerderportal.bund.de>
- EC CORDIS: <http://cordis.europa.eu/>
- NSF Awards Search: <https://www.nsf.gov/awardsearch/>

Bezüglich DFG, EC und NSF konnte auf vorhandene Klassifikationssysteme zurückgegriffen werden, um eine Zuordnung von Projekten zu den Materialwissenschaften zu erreichen. Bei der DFG wurden sämtliche, laufenden koordinierte Programme betrachtet, bei der NSF Projekte aus dem Zeitraum 1990 bis 2016 mit einer Fördersumme von mehr als 1 Million US-Dollar, bei der EC Projekte mit einer Fördersumme von mehr als 2 Millionen Euro. Beim Förderkatalog erfolgte die Projektauswahl anhand der Leistungsplansystematik. Folgende Klassen wurde einbezogen: EB1011, Kristallines Silizium Basismaterial; EB1021, Dünnschichttechnologien Silizium; EB1021, Photovoltaik - amorphes Silizium; EB1022, Dünnschichttechnologien Chalkopyrite; EB1023, Dünnschichttechnologien CdTe; EB1024, Dünnschichttechnologien OPV; EB1028, Dünnschichttechnologien sonstige Materialien/Technologien; EB2013, Werkstofftechnologien; FD2040, Materialeffizienz in rohstoffintensiven Produktionsprozessen; GB8010, Entwicklung und Untersuchung neuartiger Materialien und Herstellungsverfahren; GB8020, Integrationstechnik mit Verbindungshalbleitern (z. B. Quantenstrukturbauelemente); GB8030, Integrierte Schaltungen mit supraleitenden, magnetischen und organischen Materialien ; GB8099, Sonstiges im Bereich neue Materialien und Bauelementstrukturen; GC1030, Neue Materialien und Prozesstechnologien; GC5030, Neue Fertigungs- und AVT-Konzepte und Materialien für leistungselektronische Systeme; IA6020, Werkstoffe/Bauweisen; IA9030, Strukturtechnologie / Werkstoffe; IB3010, Forschung unter Weltraumbedingungen – Materialwissenschaften; KA1310, Nanostrukturmaterialien; KA1320, Nanokomposite; KA1330, Carbon NanoTubes; KB2010, Ressourceneffiziente Werkstoffe; KB2110, Leichtbau; KB2210, Elektromagnetische Werkstoffe; KB2220, Li-Ionen-Batterien; KB2310, Intelligente Werkstoffe; KB2410, Bionische Werkstoffe; KB2510, Schichten und Grenzflächen; KB2610, Virtuelle Werkstoffentwicklung; KB2710, Werkstoffe im Grenzbereich; KB2810, OLED; KB2820, Organische Photovoltaik; KB3010, Neue katalytische Prozessrouten; KB3110, Werkstoffe für Lebenswissenschaften; KB9099, Übrige Aktivitäten und Querschnittsaktivitäten Material- und Werkstoffforschung, Sonstiges; KB9901, Altvorhaben Materialforschung; KB9902, Altvorhaben Werkstoffe für Zukunftstechnologien; L02030, Neue Oberflächenmaterialien und -schichten insbesondere Applikationen; L04010, Supraleitende Materialien; L06010, Elektronische Korrelation und Magnetismus/Magnetoelektronik; L06030, Photonische Kristalle; L07567, Materialentwicklung für Komponenten der physikalischen Technologien; U03051, Erforschung kondensierter Materie – Neutronenstreuung; U03052, Erforschung kondensierter Materie – Synchrotronstrahlen; U03053, Erforschung kondensierter Materie – Teilchenstrahlen; U03054, Erforschung kondensierter Materie – mit anderen Methoden; U03059, Erforschung kondensierter Materie – Sonstiges.

Sekundärliteratur, Konferenzprogramme und Zukunftsstudien

Aus der Suchsäule der Sekundärliteratur, Konferenzprogramme und Zukunftsstudien wurde eine Auswahl an Quellen hoher fachlicher Qualität getroffen, mit dem Ziel unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen eine möglichst große Bandbreite an Perspektiven in der Suche berücksichtigen zu können. Im Einzelnen wurden die folgenden Quellen inhaltlich ausgewertet:

- Science & Nature (redaktionelle Teile der letzten zwei Jahrgänge)
- Technology Review (letzten zwei Jahrgänge)
- VDI nachrichten (letzten zwei Jahrgänge)
- Publikationen der National Academies Press der USA
- Aktuelle Programme folgender Konferenzen:
 - Gordon Research Conferences
 - Materials Research Society – Spring Meeting, Fall Meeting
 - Werkstoffwoche
- Berichte zum BMBF-Foresight-Prozess sowie ausgewählte, weitere Zukunftsstudien und Strategiedokumente

Systematisieren und Zusammenführen

Hinweise auf Zukunftsthemen der Materialwissenschaften aus diesen drei Suchsäulen (1. Wissenschaftliche Publikationen, 2. Informationen zu öffentlich geförderten Forschungsprojekten sowie 3. Sekundärliteratur, Konferenzprogramme und Zukunftsstudien) wurden gesammelt und zusammengeführt. Dazu wurde bei jedem (neuen) Item/Thema geprüft, ob es in der Sammlung bereits vorkommt oder ob ein neues Thema in der Longlist aufgenommen werden muss, die in der finalen Fassung im nachfolgenden Abschnitt 2.4 dargestellt wird.

2.4 Ergebnis von Modul 1: Longlist von Themenkomplexen

1. Materialforschung – grundlagenorientiert

1.1 Adhesion

1.2 Molecular Switches & Motors

1.3 Biomaterialien und bioinspirierte Materialien

1.4 Nanostrukturmaterialien

1.5 Crystal Growth & Assembly

1.6 Surfaces and Interfaces

1.7 Corrosion

1.8 Liquid Crystals

1.9 Chemistry & Physics of Liquids

1.10 Microfluidics

1.11 Emergent Materials

1.12 Nanoporous Materials

1.13 Organometallics

1.14 Photochemistry

1.15 Plasmonics

1.16 Quantum Control of Light & Matter

1.17 Metal-Organic Framework

1.18 Self-Assembly & Supramolecular Chemistry

1.19 Soft Condensed Matter Physics

1.20 Magnetism, magnetic materials

1.21 Superconductivity

1.22 Materialwissenschaften unter Weltraumbedingungen

1.23 Topological & Correlated Matter

1.24 Physical Organic Chemistry

1.25 Metamaterials

1.26 Cutting-edge Catalysts

1.27 Graphen

1.28 Emerging Non-Graphene 2D Materials

1.29 Diamond Electronics and Sensors

1.30 Non-Equilibrium Materials

1.31 Terahertz Materials and Technology

1.32 High-Entropy Alloys

1.33 Allgemeine Verfahren zur Materialverarbeitung

1.34 Thin Films

1.35 Adsorption

1.36 Membranes

1.37 Intermetallics

1.38 Gläser

1.39 Keramik

2. Materialforschung nach Werkstoffgruppen

2.1 Eisenbasis-Legierungen, Stahl

2.1.1 Leichtbau mit Stahl

2.1.2 CO₂-Reduktion in der Stahlproduktion

2.1.3 Stahl, Stahlproduktion

2.2 Nichteisenmetalle

2.2.1 Leichtbau mit Leichtmetallen

2.2.2 Metallische Gläser

2.2.3 Metall-Luft-Batterien

2.3 Keramiken

2.3.1 Wärmedämmschichten in der Kraftwerkstechnik

2.3.2 Zellulare Keramiken

2.4 Glas

2.4.1 Smart Windows

2.5 Polymere/Kunststoffe

2.5.1 Polymere

2.6 Halbleiter

2.6.1 Leistungselektronik für Elektromobilität, Energiespeicher, erneuerbare Energien

2.7 Biowerkstoffe

2.7.1 Massenkunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

2.7.2 Herstellung von Biowerkstoffen in Bioraffinerien

2.7.3 Papier und Holz

2.8 Verbundwerkstoffe

2.8.1 Verbundwerkstoffe für den Leichtbau

2.9 Textile Werkstoffe

2.9.1 Textile Werkstoffe für den Leichtbau

2.10 Funktionsmaterialien

2.10.1 Intelligente Werkstoffe für den Maschinen- und Anlagenbau

2.11 Mineralische Baustoffe

2.11.1 „Grüner“ Beton

2.11.2 Beton und Zement

2.11.3 Mineralien, Erze

3. Material – Analytik, Theorie und Simulation

3.1 Neutron Scattering

3.2 X-Ray Science

3.3 High Magnetic Field Science

3.4 Modern Microscopy

3.5 Teilchenstrahlen

3.6 Mechanisches und thermisches Werkstoffverhalten – Charakterisierung und Vorhersage

3.7 Quantification and Prediction in Materials Design

3.8 Artificial intelligence in material design & Genomic Approaches to Materials Innovation

4. Materialien und technologische Megatrends

4.1 Digitale Transformation – Materialien für die neueste Elektronik

4.2 Polymerelektronik

4.3 Emerging Materials and Technologies for Non-volatile Memories

4.4 Silizium-Photonik

4.5 Quantenkommunikation, Quanteninformationsverarbeitung

4.6 Materials and Devices for Neuromorphic-Engineering and Brain-Inspired Computing

4.7 Industrie 4.0

4.8 3D-Druck & additive Fertigung

4.9 Künstliche Intelligenz in der Materialbearbeitung und der Maschine

4.10 Materialien für die Robotik

4.11 Materialien für die Elektromobilität und autonome Fahrzeuge

4.12 Materials for regenerative medicine or tissue engineering

4.13 Synthetic biology - Biology by Design

4.14 „omics“³ / DNA / Proteine

5. Materialien und gesellschaftliche Megatrends

5.1 Ernährung sichern

³ „omics“ ist eine Sammelbezeichnung für Untersuchungsgegenstände in der Biologie, die auf die Silbe “omics” enden wie beispielsweise: genomics, proteomics, metabolomics usw.

- 5.1.1 Materialforschung zur Sicherung der Welternährung
- 5.2 Gesundheit / demographischer Wandel
 - 5.2.1 Materialien für die Medizintechnik
 - 5.2.2 Beitrag der Materialforschung zur Bewältigung des demographischen Wandels
 - 5.2.3 Materials in Drug Development & Delivery
- 5.3 Wasser und Sanitärversorgung
 - 5.3.1 Materialien für die Wasseraufbereitung
- 5.4 Nachhaltige Energieversorgung
 - 5.4.1 Materials for Carbon Capture
 - 5.4.2 Thermische Wärmespeicher
 - 5.4.3 Hydrogen-Metal-Systems & Hydrogen Economy
 - 5.4.4 Materials for Electrochemical Energy Storage
 - 5.4.5 Solar Cells
 - 5.4.6 Materials for Lighting and Photonics
 - 5.4.7 Thermoelectrics
 - 5.4.8 Erneuerbare Kraftstoffe
- 5.5 Nachhaltiges Wirtschaften / Umweltschutz
 - 5.5.1 Umweltfreundliche Materialien
 - 5.5.2 Ersatz für kritische Rohstoffe
- 5.6 Widerstandsfähige Infrastruktur
 - 5.6.1 Materials for durable Infrastructures
 - 5.6.2 Materials State Awareness and Condition-Based Maintenance Life Cycle Management
 - 5.6.3 Asphalt
- 5.7 Nachhaltige Städte und Siedlungen
 - 5.7.1 Materialien für Sicherheitsanwendungen
- 5.8 Nachhaltige Konsum- und Produktionsweisen
 - 5.8.1 Zirkuläre Wertschöpfung und Kreislaufwirtschaft
 - 5.8.2 Materialinnovationen für Ressourceneffizienz
- 5.9 Klimawandel und Auswirkungen bewältigen
 - 5.9.1 Materialien für die Klimaadaptation
- 5.10 Ozeane erhalten

5.10.1 Mikroplastik im Meer

5.11 Landökosysteme schützen

5.11.1 Materialien zum Schutz von Landökosystemen

Für alle ca. 100 Themen auf dieser Longlist wurden die oben genannten (vgl. Abschnitt 2.2) bibliometrischen Auswertungen durchgeführt. Zusätzlich wurden sämtliche einschlägige, laufende koordinierte DFG-Programme gesichtet und den relevanten Themen zugeordnet. Danach wurden die folgenden Bewertungskennzahlen berücksichtigt: Entwicklungsdynamik des Themas nach absoluten Publikationszahlen und im Bezug zur Entwicklung des Benchmarks, Passfähigkeit zur MC anhand der absoluten Publikationszahlen der MC zum jeweiligen Thema und anhand des Anteils der MC an den Publikationen zum Thema, DFG koordinierte Programme insgesamt und mit MC-Beteiligung sowie Bezug und Relevanz der Themen zu gesellschaftlichen Herausforderungen und technologischen Megatrends.

Auf dieser Basis wurden neun Themen im Rahmen der Ergebnispräsentation von Modul 1 vorgestellt. Diese neun Themen wurden ausgewählt, weil sie nach Einschätzung der Bearbeiter in einem besonderen Maße den Suchkriterien entsprachen: ausgeprägter Bezug zu großen Trends, im Einklang mit Schlüsselthemen großer Förderprogramme, passend zur Region und den Stärken der Materials Chain. In der Diskussion im Zuge der Ergebnispräsentation wurden sechs Themen zur Bearbeitung in Modul 2 ausgewählt, die den an der Diskussion beteiligten MC-Mitgliedern mehrheitlich gemäß der Kriterien am interessantesten erschienen. Gegenüber dem ursprünglichen Vorschlag wurde im Laufe der Diskussion der Zuschnitt einiger Themen erweitert, um nach Vorstellung der Diskutanten relevante Teilaspekte mit aufzunehmen und die Themendefinition abzurunden. In der Summe wurden die folgenden sechs Themen mit den nachfolgend ebenfalls genannten Teilthemen zur Bearbeitung in Modul 2 ausgewählt:

1. Surfaces and Interfaces (1.6) (einschließlich des Teilthemas Ober- und Grenzflächen im Zusammenhang mit Nanostrukturen)
2. Nano-2-Giga: Stahl, Stahlproduktion (2.1.3); Beton & Zement (2.11.2)
3. Zirkuläre Wertschöpfung & Kreislaufwirtschaft (5.8.1) / Materialinnovation für Ressourceneffizienz (5.8.2)
4. Materialforschung für die Produktion der Zukunft (4.7, 4.8, 4.9, 2.10.1, 1.33)
 - 4.7 Industrie 4.0
 - 4.8 3D-Druck & additive Fertigung
 - 4.9 KI in der Materialbearbeitung und der Maschine
 - 2.10.1 Intelligente Werkstoffe für den Maschinen- und Anlagenbau
 - 1.33 Allgemeine Verfahren zur Materialverarbeitung
5. Quantification and Prediction in Materials Design (3.7)
6. Materials for novel electronics: 4.1 - 4.5
 - 4.1 Digitale Transformation – Materialien für die neueste Elektronik

- 4.2 Polymerelektronik
- 4.3 Emerging Materials and Technologies for Nonvolatile Memories
- 4.4 Silizium-Photonik
- 4.5 Quantenkommunikation, Quanteninformationsverarbeitung

3. Modul 2: Korrelation des bisherigen Entwicklungsstands in den Werkstoffwissenschaften

3.1 Vorgehensweise bei der bibliometrischen Analyse (Modul 2)

In Modul 2 war das grundlegende Vorgehen vergleichbar mit Modul 1: Für die sechs Themen, die hier im Mittelpunkt standen, wurde jeweils eine eigene, neue und von Modul 1 abweichende Suchanfrage auf Basis von Keywords erstellt, die dann jeweils mit der Suchstrategie des Workshops verknüpft wurde.

Folgende Suchanfragen wurden im Einzelnen formuliert:

Thema 1 Surfaces and Interfaces (einschließlich des Teilthemas Ober- und Grenzflächen im Zusammenhang mit Nanostrukturen)

TS=(surfac* or interfac* or "grain boundar*" or interlayer or "thin film" or "thin film\$" or "vapo\$ deposition" or "magnetron sputter*" or epitax* or "laser ablation\$" or "thermal spray*" or "plasma spray*" or "spray pyrolysis" or "atomic layer deposition\$" or (monolayer NOT "stem cell\$"))

Thema 2 Nano-2-Giga: Stahl, Stahlproduktion; Beton & Zement

TS=((steel OR steels OR "cast iron" OR concrete OR concretes OR cement OR cements) NOT ("concrete example*" OR "concrete finding*" OR "concrete result*" OR bone\$ OR dental OR medical OR implant\$))

Thema 3 Zirkuläre Wertschöpfung & Kreislaufwirtschaft / Materialinnovation für Ressourceneffizienz

TS=((("circular economy" OR "zero waste" OR "remanufacturing" OR "demanufacturing" OR "recycl*" OR "resource efficien*" OR "material efficien*" OR "resource aware*" OR "resource availability" OR "scarcity of resources" OR "scarce resource\$" OR "resource availability" OR "resource deplet*" OR "deplet* resource\$" OR "deplet* of resource\$" OR "resource sav*" OR "sav* resource*" OR "secondary raw materials" OR "metal recovery" OR "disassembly friendly" OR "inverse manufacturing" OR "shredder residue") NOT ("photorecyc*" OR "photon recyc*" OR "wireless sensor network\$" OR "body area network\$" OR "cognitive radio network\$" OR "multi-domain network\$" OR "body sensor network\$" OR "mobile ad-hoc network\$" OR "terrestrial network\$" OR "software testing" OR "MOSFET" OR "cloud comput*" OR "bandwidth" OR "hospital\$" OR "virtualization" OR "multi\$processor\$" OR "bit recycling" OR "geochronology" OR "volcan*" OR "geodynamic" OR "space science" OR "space mission" OR "proposal evaluation"))

Thema 4 Materialforschung für die Produktion der Zukunft

TS=("industr* 4.0" OR "cyber* physical* syst*" OR "mass* customi\$ation" OR "3D* print*" OR "3D print*" OR "addit* manufact*" OR "addit*manufact*" OR "generat* manufact*" OR "generat*manu-fact*" OR "casting" or "cutting" or "milling" or "sinter*" or "solder*" or "weld*" or "machining" or "polishing" or "molding" OR "electro\$activ*" or "magneto\$strict*" or "self\$heal*" or "self\$clean*" or "electro\$rheolog*" or "magneto\$rheolog*" or "shape\$memor*" or "electro activ*" or "magneto strict*" or "self heal*" or "self clean*" or "electro rheolog*" or "magneto rheolog*" or "shape memor*" OR (("artificial* intellig*" OR "self learn*" OR "machin* learn*") AND ("machining" OR "production" OR "process control")) NOT ts=("bio activ*" OR "bio\$activ*" OR "cutting down")

Thema 5 Quantification and Prediction in Materials Design

ts=(("simulation\$" or "modelling" OR "modeling" OR "multiscal*" or "multi* scale*" OR "ab initio" OR "ab\$init*" OR "densit* function* theor*" OR "molecular dynamics" OR "dislocation dynamics" OR "phase field method" OR "predict* computat*" OR "atomic* force* microscop*" or "chemic* force mi-croscop*" or "scann* tunnel* microscop*" or "scann* probe microscop*" or "transmiss* electron* mi-croscop*" or "scann* electron* microscop*" or "Cryo Electron* Microscop*" or "Cryo* Electron* Mi-croscop*" OR "X-ray photoelectron* spectroscop*" OR "x ray scatter*" or "x ray reflectom*" or "x ray diffract*" or "synchrotron* radiat*") AND ("material\$" OR ("surface\$" NOT ("potential surface\$" OR "electronic state surface\$" OR hypersurface\$ OR "potential energy surface\$")) OR "grain" OR "steel\$" OR "metal\$" OR "deformation\$" OR "polymer\$" OR "dislocation" OR "wire\$" OR "solid" OR "fluid\$" OR "liquid" OR ("media" NOT ("media rich" OR "media streaming" OR "social media")) OR "compo-site\$" OR "nanocomposite\$" OR "nano composite\$" OR "degradation\$" OR "corrosion\$" OR "nanoindentation\$" OR "nano indentation\$" OR "cement" OR "concrete" OR "glass" OR "ceramic\$" OR "magneti*" OR "ferroelectric*" OR "ferro electric*" OR "mechanical* propert*" OR "thermal* propert*" OR "indentation" OR "elastic propert*" OR "electrical propert*" OR "plasticity" OR "fracture" OR "al-loys\$" OR "nanotube\$" OR "nano tube\$" OR "crystal\$" OR "film\$" OR "precipitate\$" OR "defect\$" OR "iron" OR "nanoparticle\$" OR "nano particle\$" OR "nanostructure\$" OR "nano structure\$" OR "micro-structure\$" OR "micro structure\$" OR "semiconductor\$" OR "semi conductor\$" OR "biomaterial\$" OR "bio material\$" OR "condensed matter" OR "superconduct*" OR "super conduct*" OR "casting" or "cut-ting" or "milling" or "solder*" or "weld*" or "machining" or "polishing" or "molding"))) not ts=("mag-netic-rotation spectr*" OR "quantum-defect")

Thema 6 Materials for novel electronics

TS=("nanoelectronic\$" OR "nano electronic\$" OR "carbon nanotube FET\$" OR "graphene FET\$" OR "nanowire FET\$" OR "tunnel FET\$" OR "polymer\$ electronic\$" or "organic* electronic\$" or "flexible electronic\$" OR "printable electronic\$" OR "nonvolatil* memor*" or "spintronic\$" or "spin electronic\$" or "spin\$electronic\$" OR "ferroelectric memory" OR "ferroelectric field effect transistor\$" OR "resistive random access memory" OR "storage class memory" OR "spin FET\$" OR "spin wave device\$" OR "nanomagnetic logic" OR "all spin logic" OR "silicon photonic*" or "silicon* photonic*" or "sili-con*photonic*" OR "quantum communic*" OR "quantum comput*" OR "qubit*" OR "quantum infor-matio*")

Erfolgte Auswertungen

Folgende Auswertungen wurden für jedes Thema einzeln vorgenommen:

- TOP-30 Einrichtungen Deutschland nach Anzahl Publikationen
- TOP-30 Einrichtungen Deutschland nach Zitationsrate
- TOP-5 Einrichtungen Welt nach Anzahl Publikationen
- Auswertungen des Publikationsaufkommens auf Länderebene insgesamt und im zeitlichen Verlauf des Beobachtungszeitraumes
- TOP-20 Veröffentlichungen
- Liste der Materials Chain Publikationen zu diesem Thema

3.2 Vorgehensweise bei der Trendanalyse und der fachlich-inhaltlichen Analyse von Projektverbünden und Förderprogrammen (Modul 2)

Für die sechs ausgewählten Themen wurde eine fachlich-inhaltliche Analyse durchgeführt. In der fachlich-inhaltlichen Analyse fand sowohl eine bottom-up- als auch eine top-down-Perspektive Berücksichtigung. Die bottom-up-Perspektive ging von der Struktur, den Zielen und Meilensteinen der ausgewählten und analysierten großen, aktuellen Projektverbünde aus. Dabei wurden sämtliche einschlägige, laufende koordinierte DFG-Programme ausgewertet, die den ausgewählten Themen zugeordnet wurden. Mit Blick auf die Passfähigkeit zu Förderprogrammen wurden die aktuellsten Entwurfss Fassungen von Arbeitsprogrammen aus den beiden Bereichen „Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology and Advanced Manufacturing and Processing“ (NMBP) und „FET-Proactive“ im europäischen Forschungsrahmenprogramm „Horizon 2020“ berücksichtigt.⁴

Bei der top-down-Perspektive wurden die Themen an den Megatrends und an den globalen Herausforderungen gespiegelt, um so die langfristige und nachhaltige gesellschaftliche Relevanz der Materials Chain Initiative herauszuarbeiten.

Dazu wurde eine Liste von Megatrends und globalen Herausforderungen aufgestellt. Die Liste der technologischen Megatrends orientiert sich an den Ergebnissen von BMBF-Foresight Zyklus II, die in Deutschland zur Zukunftsorientierung im Kontext von Forschung und Innovation als maßgeblich angesehen werden können:

Technologische Megatrends

1. Digitale Transformation
2. Neue Paradigmen der Elektronik
3. Künstliche Intelligenz
4. Robotik

⁴ Bei den ausgewerteten Dokumenten handelt es sich um Entwurfss Fassungen. Bis zur finalen und rechtsgültigen Publikation der Arbeitsprogramme können sich noch Änderungen ergeben. Daher sind die abgegebenen Einschätzungen zu den Fördermöglichkeiten in diesem Sinne ebenfalls als vorläufig zu betrachten.

5. Industrie 4.0
6. 3D-Druck
7. Elektromobilität und autonomes Fahren
8. Nanosysteme
9. Synthetische Biologie
10. Genomik/Proteomik/Metabolomik

Die Liste der gesellschaftlichen Herausforderungen richtet sich nach „Sustainable Development Goals“ der Vereinten Nationen aus, die sich inzwischen zu einer Art weltweitem Konsens über die global relevantesten gesellschaftlichen Herausforderungen entwickelt haben:

Globale Herausforderungen

1. Ernährung
2. Gesundes Leben
3. Demographischer Wandel
4. Wasser und Sanitärversorgung
5. Erneuerbare Energieversorgung
6. Nachhaltige Wirtschaft, Produktion und Konsum
7. Widerstandsfähige Infrastruktur
8. Städte (Urbanisierung, Sicherheit, Mobilität)
9. Klimawandel
10. Ozeane und Landökosysteme schützen

In der Summe wurden also die folgenden Dimensionen der ausgewählten Themen analysiert:

1. Bibliometrie: Dynamik und internationale Positionierung
2. Bibliometrie: Positionierung und Passfähigkeit MC
3. Passfähigkeit – Förderprogramme
4. Bottom-Up – Teilthemen und Zukunftsbezüge
5. Top-Down – Bezüge zu technologischen Megatrends
6. Top-Down – Bezüge zu gesellschaftlichen Herausforderungen

3.3 Ergebnisse: Surfaces and Interfaces (incl. Nano)

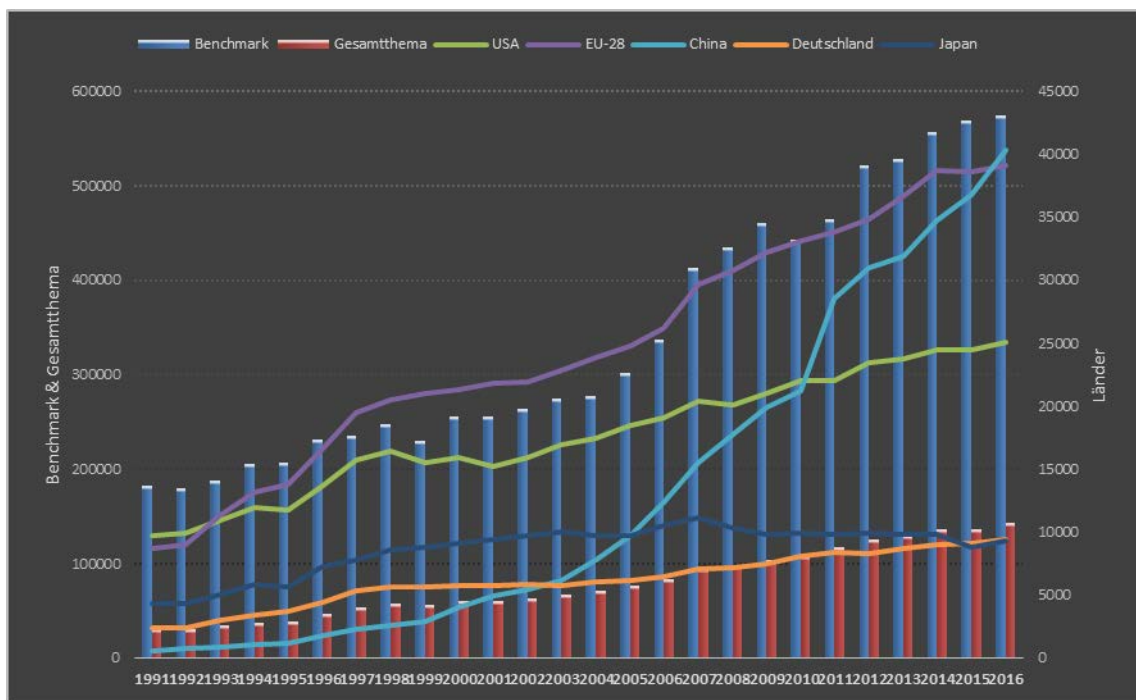


Abbildung 3.3.1: Dynamik und internationale Positionierung Thema 1

Rang		Publikationen			Impact	
		Summe	MC	Anteil MC	Zitationen	Zit.-Rate
1	Karlsruher Institut für Technologie	5054	86	1,7%	46744	9,2
2	Technische Universität Dresden	1915	15	0,8%	18133	9,5
3	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	1851	61	3,3%	14985	8,1
4	Technische Universität München	1728	33	1,9%	16452	9,5
5	Forschungszentrum Jülich GmbH (FZJ)	1696	152	9,0%	15041	8,9
6	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	1675	19	1,1%	16565	9,9
7	Technische Universität Berlin	1273	29	2,3%	12875	10,1
8	Technische Universität Darmstadt	1267	23	1,8%	10637	8,4
9	Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie	1253	33	2,6%	14202	11,3
10	Universität Stuttgart	1111	10	0,9%	7173	6,5
11	Ruhr-Universität Bochum	1041	547	52,5%	9119	8,8
12	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau	843	8	0,9%	6864	8,1
13	Universität Duisburg-Essen	840	604	71,9%	7918	9,4
53	Technische Universität Dortmund	396	198	50,0%	2654	6,7
5 Materials Chain		1718	1718	100,0%	16902	9,8

Tabelle 3.3.1: Positionierung und Passfähigkeit MC Thema 1

Dynamik und internationale Positionierung

Sehr breites Thema, das seit 1999 relativ konstant ca. 25% des Benchmarks umfasst.

Positionierung und Passfähigkeit MC

Das Thema weist den höchsten MC-Output in absoluten Zahlen auf. Daher ist ein Querschnittscharakter als übergreifendes MC-Thema möglich. MC ist in den Top-5 in Deutschland nach Publikationszahlen.

Passfähigkeit – Förderprogramme

Fördermöglichkeiten sind für bestimmte Teilthemen erkennbar.

Zukunftsbezüge und regionale Bezüge

Bezüge zu vielen Megatrends bestehen über die vielfältigen Anwendungen und Anwendungsbranchen. In diesem Sinne ist auch ein Bezug zum Ruhrgebiet möglich.

Mikroorganismen auf technischen Ober- und Grenzflächen

Im Rahmen von Thema 1 besteht mit dem Teilthema „Mikroorganismen auf technischen Ober- und Grenzflächen“ die Möglichkeit, ein „Out-of-the-Box“-Teilthema zu priorisieren.

Dieses Teilthema wird unmittelbar durch Technologietrends getrieben: So haben exponentielle Fortschritte bei der Genom-Sequenzierung verbesserte Analyse-Methoden bereitgestellt. Dies hat mit der Metagenomik als Durchbruchstechnologie in der Mikrobiologie bereits zu einem Boom bei der Erforschung des Mikrobioms der menschlichen Darmflora geführt. Darüber hinaus kann die CRISPR-Cas9-Methode zu einer Durchbruchstechnologie in der Gen-Modifikation von Mikroorganismen werden.

Daraus lässt sich als Schlussfolgerung ableiten, dass hier in der Summe eine Chance entsteht für einen Schub eines Forschungsfeldes, das die Rolle von Mikroorganismen auf technischen Ober- und Grenzflächen untersucht und aus den Erkenntnissen auch technische Anwendungen ableitet wie beispielsweise: katalytische Biofilme,⁵ mikrobielle Brennstoffzellen⁶ oder selbstheilenden Beton.⁷

Es bestünden mögliche Grundlagen-Forschungsfragen in der Untersuchung der Wechselwirkung einer Population von Mikroorganismen (nicht nur in der Form von Biofilmen) mit einem materiellen Substrat und dessen gezielter Gestaltung. Dabei wäre das Ziel das anwendungsorientierte Co-Design von Populationen von Mikroorganismen und materiellen Substraten in der Form von Oberflächen und Grenzflächen.

Die Thematik könnte eine hohe öffentliche Aufmerksamkeit auslösen.⁸

Ein besonderer regionaler Bezug besteht u. a. mit dem Biofilm Centre der Univ. Duisburg-Essen.

Fördermöglichkeiten könnten im Rahmen von FET – FETPROACT-01-2018 im europäischen Forschungsrahmenprogramm „Horizon 2020“: u. a. bei den Themen „Artificial organs, tissues, cells and sub-cellular structures“ sowie „Living technologies“ identifiziert werden.

⁵ http://www.mikat.info/index.php?article_id=198&clang=02

⁶ Carlo Santoro, Catia Arbizzani, Benjamin Erable, Ioannis Ieropoulos: „Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. A review“ Journal of Power Sources, Volume 356, 15 July 2017, Pages 225-244; <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775317304159>

⁷ JONKERS HM ET AL: "Crack repair by concrete immobilized bacteria" PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SELF HEALING MATERIALS, 18. - 20. APRIL 2007; bzw. Patent: EP 2 247 551 81, HEILMITTEL IN MATERIALIEN UND STRUKTUREN AUF ZEMENTBASIS UND HERSTELLUNGSVERFAHREN DAFÜR.

⁸ Vgl. etwa die öffentliche Berichterstattung im Zusammenhang mit Nature (20. Juli 2017): "CRISPR-Cas encoding of a digital movie into the genomes of a population of living bacteria".

3.4 Ergebnisse: Nano-2-Giga: Stahl, Beton & Zement

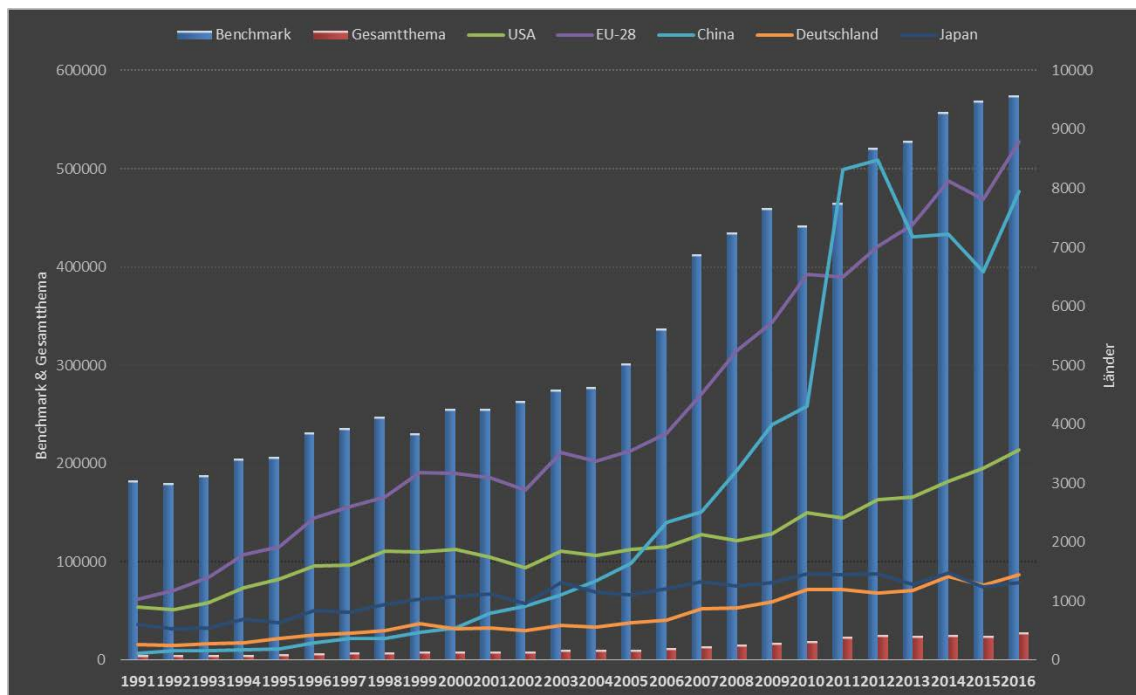


Abbildung 3.4.1: Dynamik und internationale Positionierung Thema 2

Rang		Publikationen			Impact	
		Summe	MC	Anteil MC	Zitationen	Zit.-Rate
1	Karlsruher Institut für Technologie	616	12	2%	3626	5,89
2	Rheinisch-Westfälische Hochschule Aachen	495	30	6%	3563	7,20
3	Technische Universität Bergakademie Freiberg	287	0	0%	1358	4,73
4	Technische Universität Dresden	261	6	2%	1430	5,48
5	Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH	254	142	56%	4111	16,19
6	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung	252	2	1%	1196	4,75
7	Ruhr-Universität Bochum	193	107	55%	1208	6,26
8	Technische Universität München	190	3	2%	1135	5,97
9	Universität Stuttgart	177	0	0%	728	4,11
10	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	157	2	1%	999	6,36
11	Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover	143	6	4%	664	4,64
12	Technische Universität Darmstadt	133	0	0%	578	4,35
13	Technische Universität Dortmund	116	92	79%	654	5,64
26	Universität Duisburg-Essen	60	40	67%	175	2,92
3 Materials Chain		380	380	100%	4371	11,50

Tabelle 3.4.1: Positionierung und Passfähigkeit MC Thema 2

Dynamik und internationale Positionierung

Wachstum der Publikationszahlen stärker als Benchmark bis zum Jahr 2011. Danach weiteres Wachstum aber in etwa wie der Benchmark. Deutschland nach Zahl der Publikationen an Platz 4.

Positionierung und Passfähigkeit MC

MC mit Spitzenposition bei der Zitationsrate in Deutschland, dabei scheint die Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Eisenforschung ausschlaggebend zu sein. Die Kooperationsquote zwischen den drei Universitäten ist bei diesem Thema besonders niedrig.

Passfähigkeit – Förderprogramme

Im Bereich „Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology and Advanced Manufacturing and Processing“ (NMBP) im europäischen Forschungsrahmenprogramm „Horizon 2020“ werden drei sogenannte „Virtual Focus Areas“ benannt:

DT: Digital Transformation

CE: Circular Economy

LC: Low Carbon

Für Thema 2 könnten Fördermöglichkeiten bestehen in Bezug auf das Ziel „low carbon“ und die zugehörige „Virtual Focus Area“.

Zukunftsbezüge und regionale Bezüge

Schwerpunkte sind die Bereiche Energie- und Ressourceneinsparung sowie Klimaschutz.

Bezug von Thema 2 zum Ruhrgebiet ist beim Teilthema Stahl traditionell sehr hoch. Bezüge sind aber auch beim Teilthema Zement gegeben u. a. mit der beobachtbaren Konzentration von Zementwerken östlich des Ruhrgebiets (bspw. in Erwitte).

3.5 Ergebnisse: Zirkuläre Wertschöpfung und Ressourceneffizienz

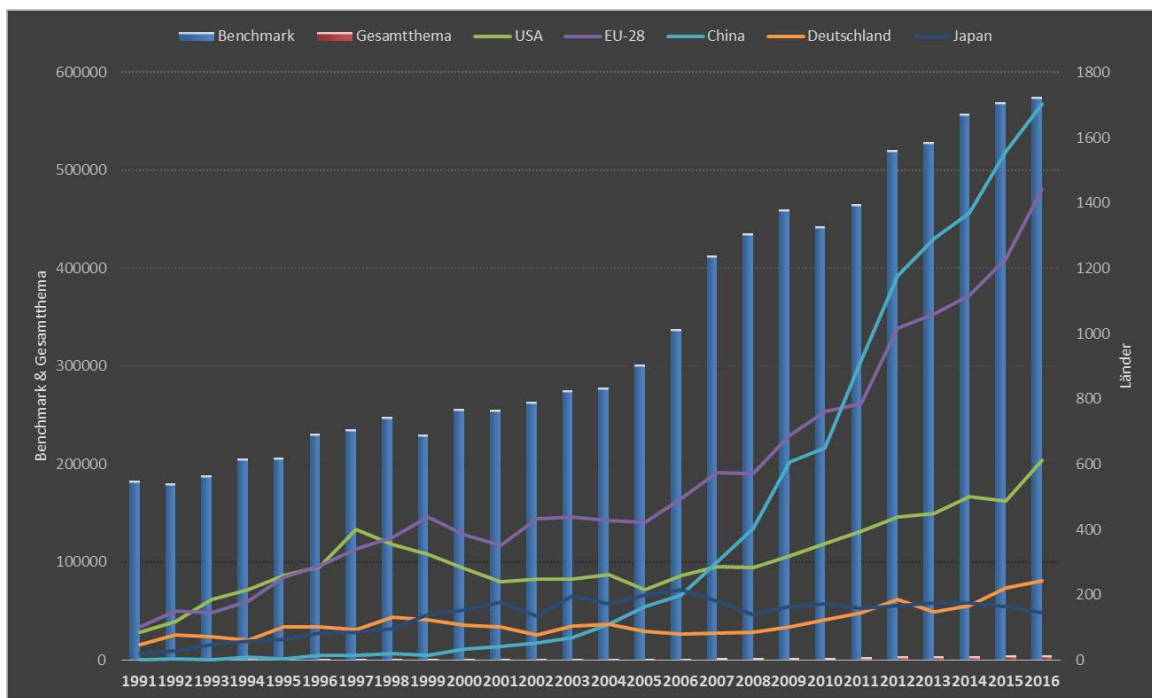


Abbildung 3.5.1: Dynamik und internationale Positionierung Thema 3

Rang		Publikationen			Impact	
		Summe	MC	Anteil MC	Zitationen	Zit.-rate
1	Karlsruher Institut für Technologie	64	0	0%	328	5,13
2	Technische Universität Dortmund	49	11	22%	363	7,41
3	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	48	0	0%	321	6,69
4	Technische Universität Berlin	39	0	0%	280	7,18
5	Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP)	34	0	0%	176	5,18
6	Technische Universität München	34	0	0%	383	11,26
7	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	32	1	3%	397	12,41
8	Universität Stuttgart	28	0	0%	155	5,54
9	Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig	28	0	0%	463	16,54
10	Forschungszentrum Jülich GmbH (FZJ)	24	0	0%	207	8,63
11	Technische Universität Darmstadt	20	0	0%	143	7,15
12	Technische Universität Dresden	18	0	0%	126	7,00
13	Technische Universität Bergakademie Freiberg	15	0	0%	41	2,73
14	Ruhr-Universität Bochum	15	3	20%	83	5,53
27	Universität Duisburg-Essen	9	7	78%	11	1,22
11	Materials Chain	23	23	100%	209	9,09

Tabelle 3.5.1: Positionierung und Passfähigkeit MC Thema 3

Dynamik und internationale Positionierung

Das Wachstum des Themas liegt durchgehend über dem Benchmark bei insgesamt überraschend niedrigen Publikationszahlen. Deutschland liegt nach Zahl der Publikationen an Platz 4

Positionierung und Passfähigkeit MC

MC liegt in der Zitationsrate in den Top-5 von Deutschland. Aufgrund der insgesamt überschaubaren Publikationszahlen, besteht ein gutes Potential, eine Spitzenposition innerhalb von Deutschland aber auch international zu erreichen.

Passfähigkeit – Förderprogramme

Das Thema steht hoch auf der politischen EU-Agenda.

Im Bereich „Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology and Advanced Manufacturing and Processing“ (NMBP) im europäischen Forschungsrahmenprogramm „Horizon 2020“ werden drei sogenannte „Virtual Focus Areas“ benannt:

DT: Digital Transformation

CE: Circular Economy

LC: Low Carbon

Es gibt also eine eigene „Virtual Focus Area“ „Circular Economy“ und entsprechende Fördermöglichkeiten.

Zukunftsbezüge und regionale Bezüge

Bezüge zu den Trends Energie- und Ressourceneinsparung sowie Klimaschutz stehen im Vordergrund. Darüber hinaus gibt es Bezüge zu fast allen technologischen Megatrends in der Form, dass sie zur Realisierung der zirkulären Wertschöpfung genutzt werden könnten.

Das Thema „zirkuläre Wertschöpfung“ kann eine Zukunftsperspektive für das ganze Ruhrgebiet bieten: Dabei lautet die Vision, im Ruhrgebiet analog zum traditionellen Montankomplex moderne verknüpfte, zirkuläre Wertschöpfungsnetze aufzubauen.

Es bestehen auch Querbezüge zum Thema 2, weil Stahl seit langem sehr hohe Recyclingquoten aufweist. Damit kann aufgezeigt werden, dass im Ruhrgebiet schon bei seinem Traditionsthema „Stahl“ ein Werkstoff mit hoher Recyclingquote im Mittelpunkt stand. Insofern kann mit dem Thema „zirkuläre Wertschöpfung“ an Traditionen angeknüpft und Neues, Modernes in Bezug auf andere Material- und Produktklassen aufgebaut werden.

3.6 Ergebnisse: Materialforschung für die Produktion der Zukunft

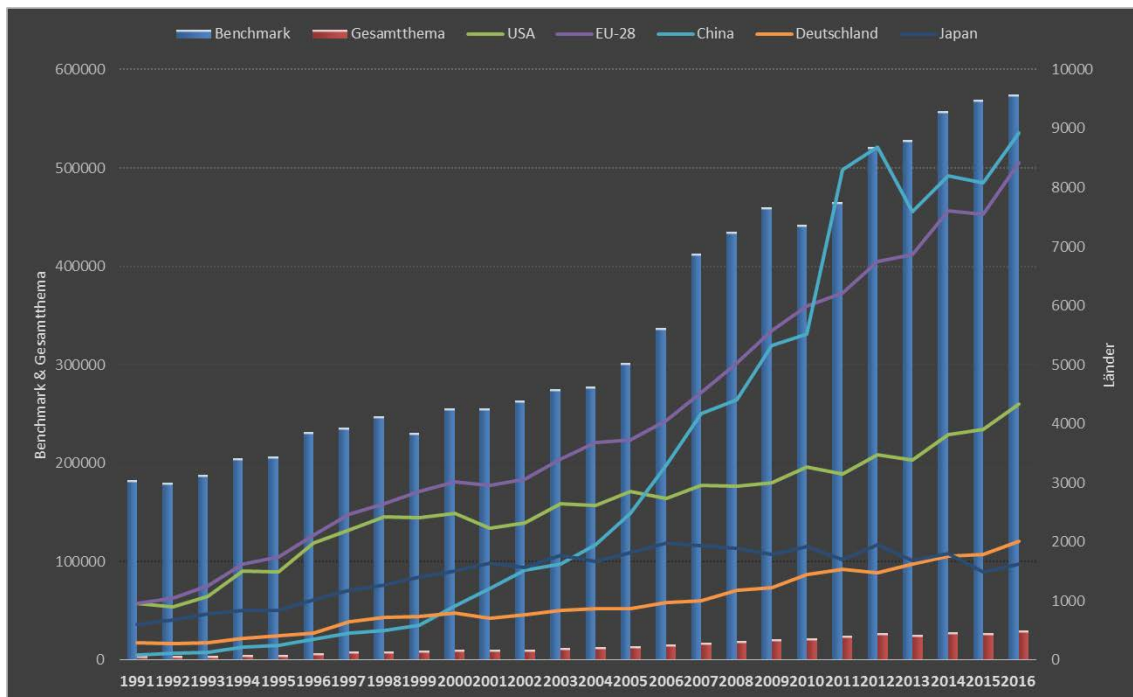


Abbildung 3.6.1: Dynamik und internationale Positionierung Thema 4

Rang		Publikationen			Impact	
		Summe	MC	Anteil MC	Zitationen	Zit.-Rate
1	Karlsruher Institut für Technologie	758	10	1%	5368	7,08
2	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	450	6	1%	3123	6,94
3	Technische Universität Dresden	374	5	1%	3050	8,16
4	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	329	8	2%	2236	6,80
5	Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Materialforschung und Küstenforschung	257	6	2%	2456	9,56
6	Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover	240	10	4%	1376	5,73
7	Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden	215	9	4%	2669	12,41
8	Technische Universität Darmstadt	211	9	4%	2239	10,61
9	Technische Universität München	206	14	7%	1443	7,00
10	Ruhr-Universität Bochum	200	148	74%	1745	8,73
11	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung	199	3	2%	1210	6,08
12	Technische Universität Bergakademie Freiberg	177	5	3%	838	4,73
13	Universität Stuttgart	169	1	1%	706	4,18
14	Universität Duisburg-Essen	160	114	71%	1341	8,38
15	Technische Universität Dortmund	155	128	83%	1132	7,30
3	Materials Chain	436	436	100%	3788	8,69

Tabelle 3.6.1: Positionierung und Passfähigkeit MC Thema 4

Dynamik und internationale Positionierung

Das Wachstum des Themas liegt durchgehend über dem Benchmark. Deutschland liegt nach Zahl der Publikationen an Platz 4.

Positionierung und Passfähigkeit MC

MC ist nach Publikationszahlen unter den Top-3 in Deutschland und weist in dieser Gruppe die höchste Zitationsrate auf.

Passfähigkeit – Förderprogramme

Das Thema Industrie 4.0 steht hoch auf der politischen Agenda in Deutschland; allerdings ist dabei der Materialbezug nicht im Fokus. Es werden gute EU-Fördermöglichkeiten gesehen im Bereich „Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology and Advanced Manufacturing and Processing“ (NMBP) im europäischen Forschungsrahmenprogramm „Horizon 2020“.

Zukunftsbezüge und regionale Bezüge

Industrie 4.0 ist selbst ein technologischer Megatrend. Daneben müssten vielfältige Stoff- und Produktklassen im Einzelnen betrachtet und in ihrer Eignung für die MC näher bewertet werden. Insgesamt besteht aber eine sehr gute Passfähigkeit zur Philosophie der MC mit dem Leitmotiv „Vom Atom zum Bauteil“ und zum Ruhrgebiet als Industriestandort.

3.7 Ergebnisse: Quantification and Prediction in Materials Design

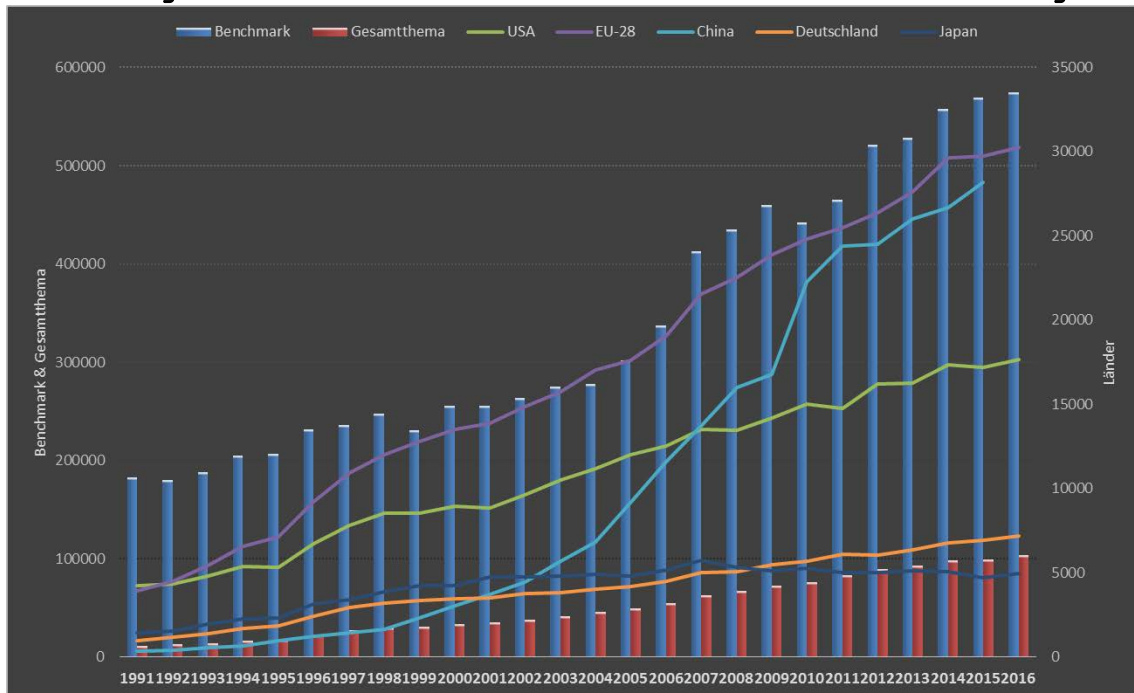


Abbildung 3.7.1: Dynamik und internationale Positionierung Thema 5

Rang	Name	Publikationen			Impact	
		Summe	MC	Anteil MC	Zitationen	Zit.-Rate
1	Karlsruher Institut für Technologie	3684	90	2%	33984	9,22
2	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	1513	68	4%	12732	8,42
3	Technische Universität Dresden	1263	17	1%	10839	8,58
4	Technische Universität München	1261	20	2%	13038	10,34
5	Forschungszentrum Jülich GmbH (FZJ)	1228	82	7%	12463	10,15
6	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	1068	19	2%	10241	9,59
7	Technische Universität Darmstadt	972	14	1%	8286	8,52
8	Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie	890	20	2%	9186	10,32
9	Universität Stuttgart	870	6	1%	6250	7,18
10	Ruhr-Universität Bochum	823	431	52%	7340	8,92
11	Technische Universität Berlin	720	17	2%	6718	9,33
12	Deutsches Elektronen-Synchrotron	678	15	2%	6084	8,97
13	Friedrich-Schiller-Universität Jena	568	12	2%	5164	9,09
14	Universität Duisburg-Essen	560	416	74%	4805	8,58
36	Technische Universität Dortmund	392	249	64%	2859	7,29
3	Materials Chain	1436	1436	100%	14394	10,02

Tabelle 3.7.1: Positionierung und Passfähigkeit MC Thema 5

Dynamik und internationale Positionierung

Das Thema zeigt ein deutlich schnelleres Wachstum als der Benchmark. Seit etwa 2011 ist eine gewisse Sättigung auf einem sehr hohen Niveau von ca. 18% am Benchmark zu beobachten. Deutschland ist nach Zahl der Publikationen auf Platz 4.

Positionierung und Passfähigkeit MC

MC liegt nach Publikationszahlen unter den Top-3 in Deutschland und weist in dieser Gruppe die höchste Zitationsrate auf.

Passfähigkeit – Förderprogramme

Es werden gute EU-Fördermöglichkeiten gesehen im Bereich „Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology and Advanced Manufacturing and Processing“ (NMBP) im europäischen Forschungsrahmenprogramm „Horizon 2020“.

Zukunftsbezüge und regionale Bezüge

Das Thema stellt einen Enabler für alle Materialaspekte im Zusammenhang mit den technologischen Megatrends und gesellschaftlichen Herausforderungen dar.

In vielen DFG-Projektverbünden zu vielen unterschiedlichen Themen wird das Wechselspiel aus Charakterisierung und (skalenübergreifender) Simulation bereits als *die* Herangehensweise in der Materialforschung begriffen und umgesetzt. Insofern stellt sich die Frage, bei welchen Themen für die MC inhaltliche Schwerpunkte gesetzt werden sollen.

3.8 Ergebnisse: Materials for Novel Electronics

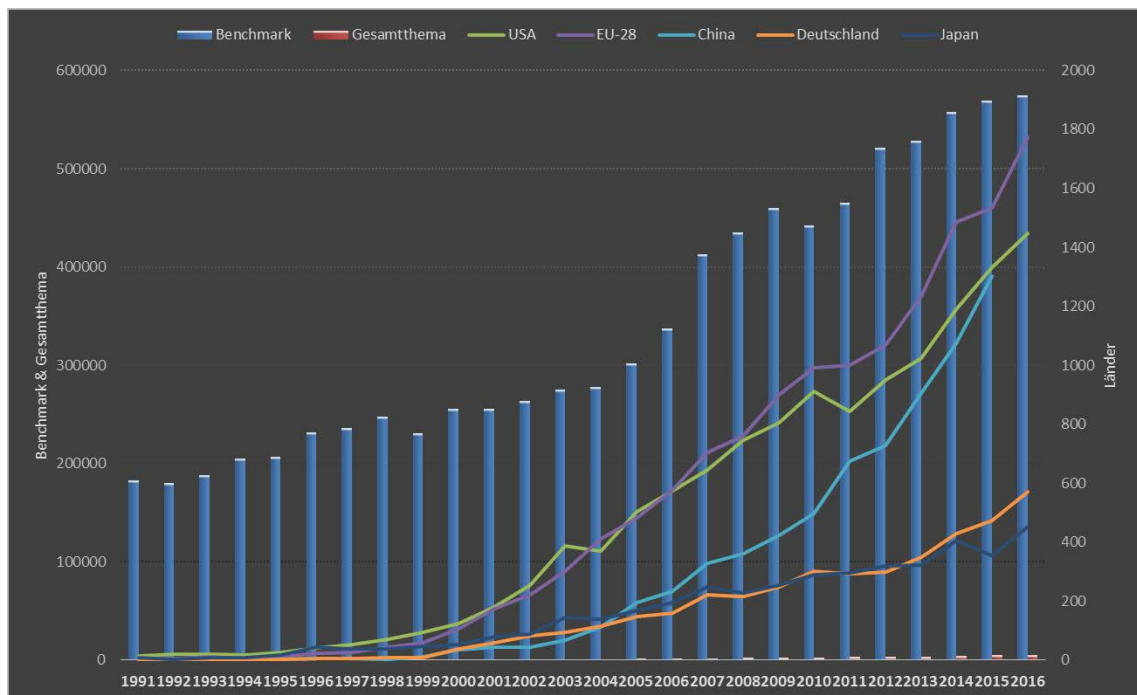


Abbildung 3.8.1: Dynamik und internationale Positionierung Thema 6

Rang		Publikationen			Impact	
		Summe	MC	Anteil MC	Zitationen	Zit.-Rate
1	Karlsruher Institut für Technologie	270	16	6%	3364	12,46
2	Forschungszentrum Jülich GmbH (FZJ)	147	10	7%	1738	11,82
3	Jülich Aachen Research Alliance	128	7	5%	1455	11,37
4	Technische Universität Dresden	110	0	0%	1345	12,23
5	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	110	4	4%	1263	11,48
6	Technische Universität München	94	1	1%	1164	12,38
7	Universität Regensburg	63	0	0%	800	12,70
8	Ruhr-Universität Bochum	63	34	54%	530	8,41
9	Johannes Gutenberg-Universität Mainz	59	0	0%	847	14,36
10	Universität Stuttgart	52	1	2%	1018	19,58
11	Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung Dresden	49	0	0%	343	7,00
12	Technische Universität Darmstadt	48	1	2%	502	10,46
13	Julius-Maximilians-Universität Würzburg	47	3	6%	833	17,72
14	Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	45	0	0%	858	19,07
18	Universität Duisburg-Essen	40	33	83%	344	8,60
44	Technische Universität Dortmund	18	3	17%	201	11,17
7 Materials Chain		72	72	100%	556	7,72

Tabelle 3.8.1: Positionierung und Passfähigkeit MC Thema 6

Dynamik und internationale Positionierung

Thema 6 zeigt ein deutlich schnelleres Wachstum als der Benchmark und zwar anhaltend bis 2016 bei insgesamt moderaten Publikationszahlen.

Positionierung und Passfähigkeit MC

MC liegt nach den Publikationszahlen unter den Top-10 in Deutschland mit vergleichsweise niedriger Zitationsrate. Von allen sechs Themen ist der Anteil an Kooperationen zwischen den drei Universitäten bei diesem Thema mit 7,6 % am höchsten.

Passfähigkeit – Förderprogramme

Es werden Fördermöglichkeiten im Rahmen des Programms „FET-Proactive“ im europäischen Forschungsrahmenprogramm „Horizon 2020“ gesehen.

Zukunftsbezüge und regionale Bezüge

Das Thema „novel electronics“ kann als Enabler für die digitale Transformation in allen Lebensbereichen gesehen werden – insofern besteht ein sehr ausgeprägter Zukunftsbezug, der für viele Teilthemen überzeugend dargestellt werden kann. Ein regionaler Bezug könnte durch unterschiedliche Anwender und Anwenderbranchen möglich sein.

3.9 Ergebnisse des Kreativworkshops

Aus einer übergeordneten Perspektive kann aus der Zahl und den Inhalten der Themenvorschläge im Kreativworkshop die Beobachtung abgeleitet werden, dass die beiden Themenbereiche „Nachhaltigkeit und Ressourceneinsparung“ sowie „Produktion und Fertigung“ für die Workshopteilnehmer eine hohe Bedeutung haben. Diese beiden Themenbereiche stellen insofern natürliche und naheliegende Anknüpfungs- und Verbindungspunkte zwischen den betrachteten materialwissenschaftlichen Themen, gesellschaftlichen Herausforderungen und technologischen Megatrends dar. Sie geben damit auch einen Hinweis darauf, zu welchen Megatrends seitens der Workshopteilnehmer eine natürliche Affinität besteht.

3.10 Fazit Modul 2

	Rang MC P	Rang MC ZR	Bo-Do-Du/E	MC Koop.	Anteil Koop.
Thema 1: Surface, Interface, Nano	5	23	1306	47	3,6%
Thema 2: Stahl, Beton, Zement	3	1 und 2	232	7	3,0%
Thema 3: Zirkuläre Wertschöpfung	11	4	20	1	5,0%
Thema 4: Produktion der Zukunft	3	13	376	14	3,7%
Thema 5: Quantification and Prediction	3	23	1062	36	3,4%
Thema 6: Novel Electronics	7	50	66	5	7,6%
*MC Kooperation = Wenn mind. zwei der drei Unis (Bochum, Dortmund, Duisburg/Essen) beteiligt sind					

Tabelle 3.10.1: Übersicht der sechs Themen und bibliometrischen Indikatoren

Tabelle 3.10.1 stellt die sechs analysierten Themen gegenüber. Verwendet wird der numerische Rang der Themen im direkten Vergleich der führenden deutschen Einrichtungen bezüglich der absoluten Publikationszahlen der MC (Spalte 1: Rang MC P) und der MC-Zitationsraten (Spalte 2: Rang MC ZR). Außerdem wird der Umfang der Kooperationen zwischen den drei an der MC beteiligten Universitäten betrachtet: Dazu wird in Spalte 3 mit der Überschrift „Bo-Do-Du/E“ die Anzahl der Publikationen wiedergegeben, an der mindestens *eine* der drei Unis (Bochum, Dortmund, Duisburg/Essen) beteiligt ist. Spalte 4 „MC Koop.“ gibt die Anzahl der Publikationen mit einer Uni-übergreifenden Kooperation wieder, d. h. die Zahl von Publikationen, an der mindestens *zwei* der drei Unis (Bochum, Dortmund, Duisburg/Essen) beteiligt sind. In Spalte 6 „Anteil Koop.“ wird das Verhältnis dieser beiden Publikationszahlen gebildet und in Prozent angegeben; so beispielsweise in Zeile 1: $47/1306=0,036=3,6\%$.

Je nachdem, welchem Faktor das größte Gewicht beigemessen wird, könnten daraus unterschiedliche Schwerpunktsetzungen abgeleitet werden:

- i) Wenn Impact bzw. Zitationsraten als Maß für wissenschaftliche Exzellenz das höchste Gewicht erhält, so wäre Thema 2 am interessantesten.
- ii) Wenn Themen mit hohen Publikationszahlen die höchste Relevanz eingeräumt würde, sollten die Themen 1, 2, 4 und 5 näher betrachtet werden. Bei diesen Themen rangiert die MC jeweils in den Top-3 bzw. den Top-5 von Deutschland und die Publikationszahlen liegen auch absolut betrachtet recht hoch. Für solche Themen würde sprechen, dass die Möglichkeit einer breiten Beteiligung innerhalb der MC besteht und auch eine gute Sichtbarkeit der MC innerhalb von Deutschland gegeben wäre.
- iii) Wenn eine hohe Kooperationsquote als Anker für eine ausgeprägte Kooperation als besonders wichtig betrachtet werden sollte, würde sich das Augenmerk am ehesten auf Thema 6 richten (bei dem aber die absoluten Publikationszahlen recht niedrig liegen).

4. Gesamtfazit

Handlungsempfehlungen auf Basis dieser Trendstudie unter Einbezug der Vorgängerstudie aus bibliometrischer Sicht

1. Der Anteil der gemeinsamen MC-Publikationen zwischen den Einrichtungen ist sehr gering und liegt im Mittel der sechs untersuchten Themen nur bei etwa 4,5 % der Publikationen. Dieses Ergebnis korrespondiert auch mit den Autorennetzwerken der Vorgängerstudie, die sehr wenig Vernetzung zwischen den Einrichtungen erkennen lassen.
 - Die Vernetzung zwischen den Einrichtungen erhöhen und dies über mehr gemeinsame Veröffentlichungen dokumentieren. Am besten mit einer einheitlichen Affiliation wie z. B. "UA Ruhr, Materials Chain, ..."
2. Der mit den Publikationen erzielte Impact ist nicht in allen Themen optimal. Die MC liegt bei einigen Themen von der Zitationsrate her eher hinten.
 - Bei Themen mit niedrigerem Impact die Publikationsstrategie überdenken, d. h. die Journals überdenken, in denen Veröffentlichungen dieser Themen publiziert wurden und ggf. - soweit thematisch sinnvoll und möglich – auf impactstärkere Journals ausweichen.
3. Internationale Partner haben in der Wissenschaft einen hohen Stellenwert und Studien haben gezeigt, dass der Impact durch sie um ein vielfaches steigt gegenüber Veröffentlichungen ohne oder nur mit rein nationalen Partnern.
 - Überdenken der Internationalisierungsstrategie, d. h. Ausschau halten nach neuen Partner-einrichtungen auf internationaler Ebene aus Ländern, die in den entsprechenden Themen einen hohen Impact erzielen und über strategische Relevanz verfügen.

Gesamtfazit auf Basis dieser Trendstudie aus inhaltlicher Sicht

Das Thema „Zirkuläre Wertschöpfung und Ressourceneffizienz“ erscheint insgesamt die größten Potenziale aufzuweisen, als neues Schwerpunkt- und Leuchtturmthema für die MC zu fungieren.

Wie bereits ausgeführt kann das Thema „zirkuläre Wertschöpfung“ eine Zukunftsperspektive für das ganze Ruhrgebiet bieten: Dabei lautet die Vision, im Ruhrgebiet moderne verknüpfte, zirkuläre Wertschöpfungsnetze aufzubauen, die dem traditionellen Montankomplex vergleichbar sind. Dieser Montan-

komplex war historisch dadurch entstanden, dass bestimmte Abfallprodukte einer Produktion als Ausgangsmaterialien für eine nächste Produktionsstufe genutzt wurden: so wurden etwa Abfallprodukte der Verkokung von Steinkohle wie Teer und Benzol als Ausgangsstoffe für die Chemieindustrie verwendet.

Die Idee wäre nun, daran zu arbeiten, in der Metropole Ruhr einen oder mehrere neuartige und nachhaltige Zirkularkomplexe aufzubauen, bei dem/denen regional eng verwobene Produktions- und Deproduktionsprozesse ineinander greifen und dabei weitgehend ohne primäre Rohstoffentnahme und Abfälle auskommen. Die UA Ruhr/Materials Chain könnte dabei als der Wissensmotor dienen, der die Informationen und das Wissen bereitstellt, wie die einzelnen Materialumformungsschritte funktionieren können.

Es bestehen Querbezüge zum Thema 2 „Nano-2-Giga: Stahl, Beton & Zement“, weil Stahl seit langem sehr hohe Recyclingquoten aufweist. Damit kann aufgezeigt werden, dass im Ruhrgebiet schon bei seinem Traditionsthema „Stahl“ ein Werkstoff mit hoher Recyclingquote im Mittelpunkt stand. Insofern kann mit dem Thema „zirkuläre Wertschöpfung“ an Traditionen angeknüpft und Neues, Modernes in Bezug auf andere Material- und Produktklassen aufgebaut werden.

Ohne weiteres ließe sich auch Thema 4 „Materialforschung für die Produktion der Zukunft“ unter diesem Schirm integrieren in direkter Übereinstimmung mit dem Leitmotiv der MC „Vom Atom zum Bauteil“. Sogar Thema 1 „Surfaces and Interfaces (incl. Nano)“ weist an zentralen Stellen Berührungen mit zirkulärer Wertschöpfung auf, z. B. bei den Themenkomplexen: Oberflächenbehandlung zum Remanufacturing oder Grenzflächeneffekte bei der Disassemblierung von Produkten. Die Kompetenzen der MC beim Thema 5 „Quantification and Prediction in Materials Design“ könnten leicht auf das Thema zirkuläre Wertschöpfung angewendet werden. Die Priorisierung im Kreativworkshop in Richtung „Nachhaltigkeit und Ressourceneinsparung“ sowie „Produktion und Fertigung“ lassen eine inhaltlich hohe Affinität zu den Fragestellungen des Themas „zirkuläre Wertschöpfung“ in der gesamten MC erwarten.

Es bestehen Bezüge zu vielen technologischen Megatrends (z. B. Robotik, künstliche Intelligenz, Industrie 4.0 und Digitalisierung) in der Form, dass sie zur Realisierung der zirkulären Wertschöpfung genutzt werden könnten. Insofern kann das Thema in der Umsetzung sehr modern und zukunftsgerichtet ausgestaltet werden.

Die Tatsache, dass bei dem Thema zirkuläre Wertschöpfung die Publikationszahlen überraschend niedrig liegen, kann als positiver Befund aufgefasst werden, dass nämlich dieses aussichtsreiche Thema bzw. der zugrunde liegende Begriff in der wissenschaftlichen Literatur noch wenig aufgegriffen wurden und damit viel Spielraum für eine Positionierung und hohe Sichtbarkeit der MC eröffnet.

„Out-of-the-Box“-Teilthema „Mikroorganismen auf technischen Ober- und Grenzflächen“

Im Rahmen von Thema 1 „Surfaces and Interfaces (incl. Nano)“ besteht mit dem Teilthema „Mikroorganismen auf technischen Ober- und Grenzflächen“ die Möglichkeit, ein „Out-of-the-Box“-Teilthema zu priorisieren.

Dieses Teilthema wird unmittelbar durch Technologietrends getrieben: So haben exponentielle Fortschritte bei der Genom-Sequenzierung verbesserte Analyse-Methoden bereitgestellt. Dies hat mit der

Metagenomik als Durchbruchstechnologie in der Mikrobiologie bereits zu einem Boom bei der Erforschung des Mikrobioms der menschlichen Darmflora geführt. Darüber hinaus kann die CRISPR-Cas9-Methode zu einer Durchbruchstechnologie in der Gen-Modifikation von Mikroorganismen werden.

Daraus lässt sich als Schlussfolgerung ableiten, dass hier in der Summe eine Chance entsteht für einen Schub eines Forschungsfeldes, das die Rolle von Mikroorganismen auf technischen Ober- und Grenzflächen untersucht und aus den Erkenntnissen auch technische Anwendungen ableitet wie beispielsweise: katalytische Biofilme,⁹ mikrobielle Brennstoffzellen¹⁰ oder selbstheilenden Beton.¹¹

Es bestünden mögliche Grundlagen-Forschungsfragen in der Untersuchung der Wechselwirkung einer Population von Mikroorganismen (nicht nur in der Form von Biofilmen) mit einem materiellen Substrat und dessen gezielter Gestaltung. Dabei wäre das Ziel das anwendungsorientierte Co-Design von Populationen von Mikroorganismen und materiellen Substraten in der Form von Oberflächen und Grenzflächen.

Ein besonderer regionaler Bezug besteht u. a. mit dem Biofilm Centre der Univ. Duisburg-Essen.

⁹ http://www.mikat.info/index.php?article_id=198&clang=02

¹⁰ Carlo Santoroa, Catia Arbizzanib, Benjamin Erablec, Ioannis Ieropoulosd: „Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. A review“ Journal of Power Sources, Volume 356, 15 July 2017, Pages 225-244; <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775317304159>

¹¹ JONKERS HM ET AL: "Crack repair by concrete immobilized bacteria" PROCEEDINGS OF THE FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SELF HEALING MATERIALS, 18. - 20. APRIL 2007; bzw. Patent: EP 2 247 551 81, HEILMITTEL IN MATERIALIEN UND STRUKTUREN AUF ZEMENTBASIS UND HERSTELLUNGSVERFAHREN DAFÜR.