



Abschlussbericht Teilprojekt 1

# Koordinierungs- und Forschungsprojekt

## **Projektverbund**

Umweltverträgliche Anwendungen der Nanotechnologie

## **Auftraggeber**

Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Verbraucherschutz  
Rosenkavalierplatz 2  
81925 München

## **Projektnehmer**

Technische Universität München  
Lehrstuhl für Rohstoff- und Energietechnologie  
Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Mayer  
Bearbeiter: Dipl.-Ing. Wolfgang Krätschmer  
[www.wz-straubing.de](http://www.wz-straubing.de)

## **Berichtszeitraum:**

1. September 2013 bis 31. Oktober 2016



## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>2</b>
<b>1 Zusammenfassung .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Einleitung .....</b>	<b>4</b>
<b>3 Verbundstruktur.....</b>	<b>4</b>
<b>4 Ziele des Projektverbunds .....</b>	<b>6</b>
<b>5 Zusammenfassung der wissenschaftlichen Ergebnisse des Projektverbunds.....</b>	<b>7</b>
<b>6 Organisatorische Aufgaben des Koordinierungsprojekts .....</b>	<b>10</b>
6.1 Projektkoordinierung und -vernetzung.....	11
6.2 Durchführung von Verbundveranstaltungen .....	11
6.3 Öffentlichkeitsarbeit und Außendarstellung .....	13
6.3.1 Internetauftritt.....	13
6.3.2 Videos.....	14
6.3.3 Vorträge vor Fachpublikum .....	16
<b>7 Wissenschaftliche Arbeit des Koordinierungsprojekts .....</b>	<b>16</b>
7.1 Forschungsziele.....	17
7.2 Methodik .....	17
7.3 Bibliometrische Analyse zur Nanotechnologie-Forschung.....	21
7.3.1 Entwicklung in Deutschland .....	21
7.3.2 Entwicklung in Bayern.....	22
7.4 Themenmodellierung .....	25
7.5 Diskussion .....	26
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>28</b>
<b>A1: Veröffentlichungen aus dem Verbund.....</b>	<b>29</b>
<b>A2: Englische Übersetzungen wichtiger Inhalte.....</b>	<b>35</b>
<b>A3: Themenmodellierung – Zuordnung von Ausdrücken zu Themen .....</b>	<b>37</b>

# 1 Zusammenfassung

Der Projektverbund UMWELTnanoTECH wurde 2013 gestartet und erstreckte sich über eine Laufzeit von drei Jahren. Es waren acht bayerische Hochschulen beteiligt. Die insgesamt zehn Teilprojekte gliederten sich in ein Koordinierungsprojekt und neun Forschungsprojekte. Jeweils drei der Forschungsprojekte sind in den thematischen Schwerpunkten Organische Photovoltaik, Energiespeicher und Thermoelektrizität zusammengefasst. Der Verbund hat zahlreiche wissenschaftliche Erkenntnisse erzielt, die in insgesamt über 70 verschiedenen Beiträgen veröffentlicht wurden, davon mehr als 30 wissenschaftliche Originalartikel. Daneben wurden die Ergebnisse bei Vorträgen und Posterausstellungen im Rahmen von Konferenzen sowie in Buchbeiträgen und weiteren Medien der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Die Forschungsprojekte konnten alle ihre gesteckten Ziele erfüllen. Im Schwerpunkt Organische Photovoltaik wurde gezeigt, dass sich leistungsfähige organische Solarzellen auch mit grünen Lösungsmitteln umweltschonend herstellen lassen. Außerdem wurden Fortschritte bei der Stabilisierung nanoskaliger Schichtstrukturen organischer und hybrider organisch-anorganischer Solarzellen erzielt. Im Schwerpunkt Energiespeicher konnten wichtige Alterungsprozesse bei Superkondensatoren identifiziert, und neue nanoförmige Materialien für eine Steigerung der Speicherkapazität hergestellt und charakterisiert werden. Im Schwerpunkt Thermoelektrizität wurden präzise Verfahren zur Messung der thermischen und elektrischen Leitfähigkeit im Nanobereich wesentlich weiterentwickelt. Es wurde demonstriert wie Thermoelektrika mit umweltverträglichen Nanomaterialien drucktechnisch verarbeitet werden können.

Das Koordinierungsprojekt fungierte als Schnittstelle zwischen StMUV und Projektpartnern. Es war zudem betraut mit Organisationsaufgaben, Öffentlichkeitsarbeit und Außendarstellung sowie der Durchführung von Verbundveranstaltungen. Dazu gehörten Kommunikationsaufgaben, die Erstellung von Vorlagen für Berichte, Projektbeschreibungen, Poster und Präsentationen. In den Bereichen Öffentlichkeitsarbeit und Außendarstellung fällt auch die Erstellung und laufende Aktualisierung des Internetauftritts und die Produktion der Verbundvideos. Während der Laufzeit wurden drei öffentliche Verbundveranstaltungen durchgeführt. Der Verbundkoordinator bereitete die Veranstaltungen in Absprache mit dem StMUV vor und führte sie auch durch.

Ziel der wissenschaftlichen Arbeit des Koordinierungsprojekts war die bibliometrische Auswertung der Literatur zu Nanotechnologie. Es wurden bibliographische Angaben von knapp 100.000 Forschungsarbeiten mit deutscher Beteiligung aus dem Zeitraum von 1994 bis 2014 ausgewertet. Die Untersuchungsschwerpunkte waren die geographische Verteilung der Forschung in Deutschland und die automatisierte Kategorisierung der Forschungsinhalte. Dazu wurden die beteiligten Institute geokodiert. Hinsichtlich der Publikationsaktivität sind in Bayern München/Garching, Erlangen und Würzburg führend, in Deutschland Berlin und Dresden. Es wurde gezeigt, dass eine Aufschlüsselung der Forschungsbereiche auf kommunaler Ebene möglich ist und die Ergebnisse plausibel sind. Weiterhin wurde die Forschung an Nanotechnologie durch Themenmodellierung automatisch kategorisiert.

## 2 Einleitung

Der technologische Fortschritt birgt stets Potenziale und Risiken zugleich. Ein verantwortungsvoller Umgang mit neuen Technologien bedeutet, dem Vorsorgeprinzip Rechnung zu tragen und absehbare Risiken bei der Nutzung zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere auch für den immer bedeutender werdenden Bereich der Nanotechnologie.

Der Projektverbund UMWELTnanoTECH wurde 2013 vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz gestartet. Durch Forschung an umweltverträglichen Anwendungen der Nanotechnologie sollten die Chancen dieser neuen Technologie sichtbar gemacht werden. Bayerische Hochschulen bearbeiteten über einen Zeitraum von drei Jahren hinweg zehn anwendungsbezogene Projekte aus den Schwerpunkten „Organische Photovoltaik“, „Energiespeicher“ und „Thermoelektrizität“. Gemeinsam ist allen Projekten, dass umweltverträgliche Materialien in nanoskaligen Größenordnung verwendet oder charakterisiert wurden, um Fortschritte in den jeweiligen Anwendungsbereichen zu erzielen.

So verzichteten beispielsweise organische und die verwandte Hybrid-Photovoltaik auf den großflächigen Einsatz ressourcen- und energieintensiver Materialien und setzten stattdessen auf leicht verfügbare und unbedenkliche Stoffe. Ähnliches gilt für die im Verbund entwickelten Thermoelektrika, die im Gegensatz zu den meisten bisher erforschten Materialsystemen keine toxischen Schwermetalle enthalten. Im Bereich der Energiespeicher wurden kohlenstoffbasierte Komponenten von Superkondensatoren weiterentwickelt und analysiert. All diese Beispiele zeigen, wie Nanotechnologie verantwortungsvoll eingesetzt werden kann.

## 3 Verbundstruktur

Der vom StMUV finanzierte Projektverbund UMWELTnanoTECH besteht aus insgesamt zehn Teilprojekten (siehe Tabelle 1), die sich in ein Koordinierungsprojekt und neun Forschungsprojekte aufteilen. Acht verschiedene bayerische Hochschulen sind daran beteiligt. Thematisch gliedert sich der Verbund wie in Abbildung 1 zu sehen in die drei Schwerpunkte Organische Photovoltaik, Energiespeicher und Thermoelektrizität, wobei jedem Schwerpunkt drei Forschungsprojekte angehören. Zu Beginn der Verbundlaufzeit einigten sich die Projektleiter jedes Schwerpunkts auf einen gemeinsamen Sprecher: Prof. Dr. Vladimir Dyakonov für die Organische Photovoltaik, Prof. Dr. Gerhard Sextl für Energiespeicher und Prof. Dr. Martin S. Brandt für Thermoelektrizität. Für den Gesamtverbund übernahm der Leiter des Koordinierungsprojekts Prof. Dr.-Ing. Wolfgang A. Mayer diese Aufgabe. Alle Sprecher haben die Aufgabe, den Verbund nach außen zu repräsentieren und als Ansprechpartner für Verbundangelegenheiten zu fungieren.

Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Verbraucherschutz 

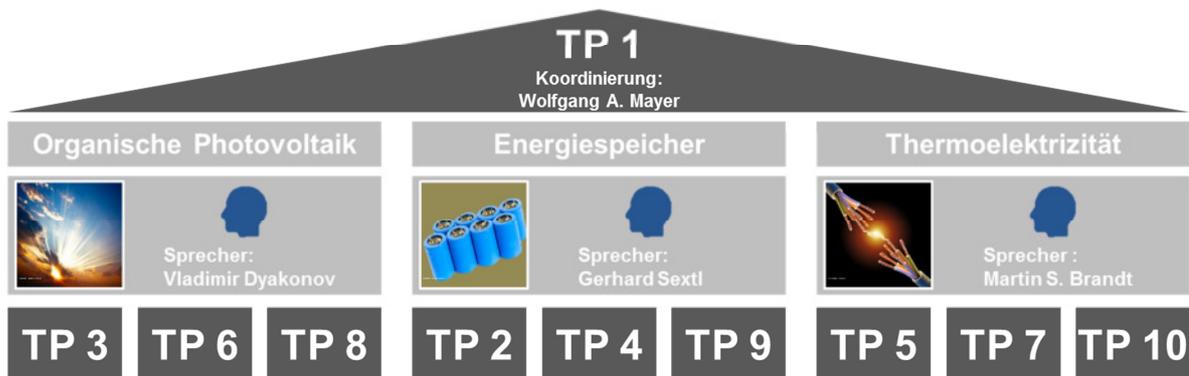


Abbildung 1: Organisationsstruktur des Verbunds UMWELTnanoTECH

**Tabelle 1:** Teilprojekte des Verbunds UMWELTnanoTECH

Projekt	Projektname	Hochschule	Projektleiter
TP 1	Koordinierungs- und Forschungsvorhaben zum Projektverbund „Umweltverträgliche Anwendungen der Nanotechnologie“	Technische Universität München	Prof. Dr.-Ing. Wolfgang A. Mayer
TP 2	Nanostrukturierte Zellkomponenten für reversible Energiespeicher mit verbesserter Lebensdauer	Ostbayerische technische Hochschule Amberg-Weiden	Prof. Dr. Peter Kurzweil
TP 3	Bessere Effizienz und Stabilität organischer Halbleiterschichten	Universität Bayreuth	Prof. Dr. Mukundan Thelakkat
TP 4	Hybridkondensatoren für smart grids und regenerative Energietechnologien	Julius-Maximilians-Universität Würzburg	Prof. Dr. Gerhard Sextl
TP 5	Drucktechnologien zur Herstellung thermoelektrischer Generatoren	Technische Hochschule Nürnberg Georg-Simon-Ohm	Prof. Dr.-Ing. Marcus Reichenberger
TP 6	Nanostrukturen für umweltfreundliche Hybrid-Photovoltaikzellen	Ludwig-Maximilians-Universität München	Prof. Dr. Thomas Bein
TP 7	Nanostrukturierte thermoelektrische Materialien	Technische Universität München	Prof. Dr. Martin S. Brandt
TP 8	Umweltverträgliche hocheffiziente organische Solarzellen	Julius-Maximilians-Universität Würzburg	Prof. Dr. Vladimir Dyakonov
		Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg	Prof. Dr. Christoph J. Brabec
TP 9	Ultraschnelle elektrische Speicher auf Basis von Nanodiamantkompositen	Julius-Maximilians-Universität Würzburg	Prof. Dr. Anke Krüger
TP 10	Optimierung der Analytik nanostrukturierter Schichten	Technische Hochschule Deggendorf	Prof. Dr.-Ing. Günther Benstetter

## 4 Ziele des Projektverbunds

Im Verbund werden innerhalb der drei fachlichen Schwerpunkten Projekte bearbeitet, die jeweils ähnliche Ziele verfolgen. Durch die Zusammenfassung der Projekte unter das gemeinsame Dach des Verbunds erhalten die Forscher bessere Einblicke in die gegenseitigen Forschungsvorhaben und können die eigenen Tätigkeiten ggf. anpassen. Der

Darstellung von Zielen und Ergebnissen der Verbundforschung kann in der Öffentlichkeit mehr Gewicht verliehen werden, als das bei einzelnen Projekten der Fall wäre. Durch die Bündelung verwandter Forschung in einem Verbund ergeben sich folgende Vorteile:

- Stärkung des öffentlichen Bewusstseins für umweltverträgliche Anwendungen der Nanotechnologie
- Beschleunigung der Forschung durch Vernetzung der Projekte und Verbesserung der Zusammenarbeit innerhalb des Projektverbunds, Nutzung von Synergieeffekten
- Einordnung der Forschungsarbeiten im Hinblick auf eine zukunftsfähige Energieversorgung

Die Ergebnisse des Projektverbunds sollen dazu beitragen, umweltverträgliche Anwendungen der Nanotechnologie weiterzuentwickeln.

## **5 Zusammenfassung der wissenschaftlichen Ergebnisse des Projektverbunds**

### **Gesamtbewertung des Projektverbunds**

Die Forschungsprojekte konnten alle ihre gesteckten Ziele erfüllen. Über die Tätigkeiten des Verbunds wurde in mehr als 70 Beiträgen berichtet, darunter über 30 wissenschaftliche Originalartikel in internationalen Fachzeitschriften und über 15 Konferenzbeiträge. Es wurden mehrere Kapitel für Fachbücher verfasst, in die die Erkenntnisse der Projekte eingeflossen sind. Ziele und Ergebnisse der Projekte wurden in knapp 20 nichtwissenschaftlichen Beiträgen und Meldungen im Internet, in Magazinen und Berichten zusammengefasst. In allen Schwerpunkten konnte gezeigt werden, dass die untersuchten nanotechnologischen Anwendungen auch mit Hilfe umweltverträglicherer Verfahren und Materialien realisiert werden können, ohne dadurch entscheidend an Leistungsfähigkeit einzubüßen.

### **Koordinierungsprojekt (TP 1)**

Ziel der wissenschaftlichen Arbeit des Koordinierungsprojekts war die bibliometrische Auswertung der Literatur zu Nanotechnologie. Es wurden bibliographische Angaben von knapp 100.000 Forschungsarbeiten mit deutscher Beteiligung aus dem Zeitraum von 1994 bis 2014 geographisch und inhaltlich ausgewertet. Dazu wurden die beteiligten Institute ausgelesen und geokodiert. Hinsichtlich der Publikationsaktivität sind in Bayern München/Garching, Erlangen und Würzburg führend, in Deutschland Berlin und Dresden. Es wurde gezeigt, dass eine Aufschlüsselung der Forschungsbereiche auf kommunaler Ebene möglich ist und die Ergebnisse plausibel sind.

## **Schwerpunkt Organische Photovoltaik**

### **Bessere Effizienz und Stabilität organischer Halbleiterschichten (TP 3)**

Bei Polymersolarzellen sind zwei verschiedene Polymere miteinander vermischt. Die nanoskalige Morphologie dieser Grenzschicht beeinflusst die Bewegung der Ladungsträger und damit die elektrischen Eigenschaften und den Wirkungsgrad der Solarzelle sehr stark. Um die Mischung der beiden Polymere zu optimieren, wurden im TP 3 Verträglichkeitsvermittler sowie Donor- und auch Akzeptormaterialien entwickelt, die sich aus wässrigen oder alkoholischen Lösungsmitteln verarbeiten lassen. Die Materialien konnten in einem letzten Arbeitsschritt auch in größerem Maßstab hergestellt werden.

### **Nanostrukturen für umweltfreundliche Hybrid-Photovoltaikzellen (TP 6)**

Hybrid-Photovoltaikzellen bestehen aus einer anorganischen Halbleiterkomponente und einer organischen Komponente, die zur Lichtabsorption dient. Beide Komponenten sind miteinander in nanoskaligen Strukturen vernetzt. Perowskit-Solarzellen sind ein neuer Vertreter dieser Klasse von Solarzellen. Im TP 6 konnten durch eine wasserabweisende Oberflächenmodifikation Fortschritte bei der Steigerung der chemischen Langzeitstabilität dieser Solarzellen verzeichnet werden. Es wurde zudem ein Recyclingverfahren entwickelt, mit dem die bleihaltigen Perowskitzellen in die einzelnen Bestandteile zerlegt werden können. Weiterhin wurden im TP 6 neue Materialien zur photokatalytischen Spaltung von Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff entwickelt. Maßgeblich war dabei auch die nanoporöse Struktur des Materials, wodurch die Umwandlungseffizienz erhöht werden konnte.

### **Umweltverträgliche hocheffiziente organische Solarzellen (TP 8)**

Organische Solarzellen können auf flexiblen Substraten durch Rolle-zu-Rolle-Druckverfahren hergestellt werden. Dafür werden nanopartikuläre Halbleitermaterialien in Tinten gelöst und verdruckt. Ziel des TP 8 war die Bestimmung und Vorhersage geeigneter umweltfreundlicher Lösungsmittel für verschiedene Halbleitermaterialien, um daraus druckbare Tinten herzustellen. Es konnten Solarzellen mit vergleichbarem Wirkungsgrad wie mit Hilfe toxischer Lösungsmittel hergestellt werden. Weiterhin wurden zum tieferen Verständnis der Vorgänge innerhalb der Solarzelle deren elektrische Eigenschaften gemessen. Zellen, die mit grünen Lösungsmitteln hergestellt wurden, erreichten dabei ähnliche Ergebnisse wie konventionelle Zellen.

## **Schwerpunkt Energiespeicher**

### **Nanostrukturierte Zellkomponenten für reversible Energiespeicher mit verbesserter Lebensdauer (TP 2)**

Die Speichereigenschaften von Superkondensatoren verschlechtern sich durch Alterung. Ziel des Projekts war es, die verantwortlichen Prozesse zu identifizieren und alternative Nanomaterialien auf ihre Eignung als Aktivmaterialien in Superkondensatoren zu testen. Im TP 2 wurde die Alterung nanostrukturierter Zellkomponenten unter thermischer Beanspruchung und Spannungsüberlast an Modellsystemen und technischen Bauteilen gemessen. Als Ursache von Kapazitätsverlust und Widerstandszunahme wurden die

Degradation der Elektroden und die Zersetzung des Elektrolytsystems nachgewiesen. Langzeitversuche an kommerziell erhältlichen Bauteilen bestätigten die gefundenen Alterungsmechanismen und Zersetzungsprodukte. Anhand des Ausfallverhaltens konnte zwischen Schäden durch Überspannung und thermischer Beanspruchung unterschieden werden. Neue Messmethoden und Indikatoren ermöglichen eine schnellere Abschätzung der Lebensdauer und verlässlichere Bestimmung der nutzbaren Kapazität.

#### **Hybridkondensatoren für smart grids und regenerative Energietechnologien (TP 4)**

Unter Hybridkondensatoren werden elektrochemische Energiespeicher verstanden, die die Vorzüge von Superkondensatoren und Lithium-Ionen-Batterien vereinen. Die Vorteile ergeben sich aus dem jeweils verwendeten Elektrodenmaterial. Der in TP 4 verfolgte Ansatz war, in Kondensatoren verwendeten Aktivkohlenstoff möglichst homogen mit dem Elektrodenmaterial einer Li-Ionen-Batterie zu beschichten. Die Beschichtungen mit den Elektrodenmaterialien  $\text{LiFePO}_4$  (LFP) und  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  (LTO) konnten erfolgreich durchgeführt werden. Dabei zeigte das System mit LTO im Vergleich zur unbeschichteten Referenz eine erhöhte spezifische Speicherkapazität, während ein ähnlicher Effekt für LFP noch nicht nachgewiesen werden konnte.

#### **Ultraschnelle elektrische Speicher auf Basis von Nanodiamantkompositen (TP 9)**

Superkondensatoren besitzen gegenüber Akkumulatoren i. d. R. eine geringere Energiedichte. In TP 9 wurde diesem Problem durch die Modifizierung der Elektroden begegnet. Dazu wurden dem Elektrodenmaterial Nanodiamante und Kohlenstoff-Nanozwiebeln zugesetzt, die die Speicherdichte erhöhen sollen. Es wurde nachgewiesen, dass Nanodiamante in der Elektrodenmatrix elektrochemisch aktiv sind, jedoch konnte bisher die spezifische Kapazität gegenüber Referenzelektroden ohne Nanodiamante nicht erhöht werden. Die weiteren Ergebnisse legten nahe, dass Kohlenstoff-Nanozwiebeln die elektrochemischen Eigenschaften im Vergleich zu Nanodiamanten verbessern können. Als besonders wichtig erschien dabei die Oberflächenbeschaffenheit der Kohlenstoff-Nanozwiebeln.

#### **Schwerpunkt Thermoelektrizität**

##### **Drucktechnologien zur Herstellung thermoelektrischer Generatoren (TP 5)**

Zur kostengünstigen Herstellung thermoelektrischer Generatoren können Druckverfahren eingesetzt werden. Im TP 5 wurden Tinten und Pasten für eine drucktechnische Realisierung von Thermogeneratoren im Bereich der Raumtemperatur untersucht. Dabei erwiesen sich pastöse gegenüber niederviskosen Materialien als aussichtsreicher. Es konnten thermoelektrische Strukturen auf Basis des organischen Halbleiters PEDOT:PSS in Kombination mit nanopartikulärem Silber hergestellt werden. Für den Druck von PEDOT:PSS kam ein Jet-Dispense-Verfahren zum Einsatz, die Silbernanostrukturen wurden mittels Inkjetdruck realisiert. Durch geometrische Optimierungen des thermoelektrischen Generators konnte zudem dessen elektrischen Widerstand optimiert werden. Die Trägerstruktur des Thermogenerators besteht aus Polyimid.

**Nanostrukturierte thermoelektrische Materialien (TP 7)**

Thermoelektrische Generatoren wandeln Wärmeenergie direkt in elektrische Energie. Dazu werden Halbleitermaterialien benötigt, die eine geringe thermische und eine hohe elektrische Leitfähigkeit aufweisen. Die Wärmeleitung kann in diesen Materialien durch Nanostrukturierung beeinflusst werden. Im TP 7 werden statt den zumeist eingesetzten umwelttechnisch bedenklichen Elementen Blei und Tellur die unbedenklichen Materialien Silizium und Germanium als Halbleiternanopartikel verwendet. Bei der notwendigen Dotierung dieser Halbleiter konnte in diesem Projekt auf die Verwendung giftiger Gase verzichtet werden. Stattdessen konnte gezeigt werden, dass eine umweltfreundliche nasschemische Dotierung die gleichen Materialeigenschaften liefern kann. Weiterhin konnte eine schnelle Messmethode zur Bestimmung der thermischen Leitfähigkeit dünner Schichten entwickelt werden.

**Optimierung der Analytik nanostrukturierter Schichten (TP 10)**

Die genaue Kenntnis der thermischen sowie der elektrischen Leitfähigkeit ist für die Entwicklung von Thermogeneratoren unerlässlich. Im TP 10 wurden Verfahren zur Ermittlung dieser Größen für dünne Schichten auf mikro- und makroskopischer Ebene untersucht und entwickelt. Besonderer Fokus lag dabei auf der Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit dünner Schichten auf Basis der Raster-Kraft-Mikroskopie. Es konnte gezeigt werden, dass die elektrische Leitfähigkeit stark von der Topographie der untersuchten Struktur abhängt. In diesem Zuge wurde auch der Einfluss der eingesetzten Rastersonden auf das Messergebnis erforscht. Unterstützend dazu wurde mit der Raster-(Transmissions-)Elektronen-Mikroskopie und Elektronen-Rückstreu-Beugung die Struktur von Germanium Nanopartikeln und gesinterten Nanopartikelschichten untersucht.

**6 Organisatorische Aufgaben des Koordinierungsprojekts**

Vier Arbeitspakete werden im Koordinierungsprojekt abgearbeitet. Dabei geht es um Projektkoordinierung und -vernetzung (AP1), Organisation und Durchführung von Verbundtreffen (AP2), Öffentlichkeitsarbeit und Außendarstellung (AP3) und die Verwertung von Projektergebnissen (AP4). Details zu AP4 werden in Abschnitt 7 ausgeführt. Tabelle 2 zeigt den Zeitplan des Projekts. Die Meilensteine der vier Arbeitspakete wurden ohne Verzögerungen erreicht.

**Tabelle 2:** Zeitplan des Koordinierungsprojekts

ZEITPLAN		Monate												
		3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	40
AP1	Projektkoordinierung und -vernetzung													
AP2	Organisation und Durchführung von Verbundtreffen													
AP3	Öffentlichkeitsarbeit und Außendarstellung													
AP4	Verwertung von Projektergebnissen													

## 6.1 Projektkoordinierung und -vernetzung

Gemäß Arbeitspaket 1 (Projektkoordinierung und –vernetzung) wurden zum Start des Verbunds drei Schwerpunktsprecher ausgewählt. Für den Schwerpunkt Organische Photovoltaik war dies Prof. Dr. Vladimir Dyakonov (Universität Würzburg, TP8), für den Schwerpunkt Energiespeicher Prof. Dr. Gerhard Sextl (Universität Würzburg, TP4) und für den Schwerpunkt Thermoelektrizität Prof. Dr. Martin S. Brandt (Technische Universität München, TP7). Die Schwerpunktsprecher vertraten das jeweilige Forschungsgebiet fachlich und organisierten nach Bedarf selbständig Schwerpunkttreffen zum gegenseitigen Austausch. So wurden beispielsweise im Schwerpunkt Thermoelektrizität bereits mehrere Treffen abgehalten und die Zusammenarbeit so verstärkt.

Das Koordinierungsprojekt diente als Schnittstelle zwischen Projektnehmern und StMUV. Dabei wurden die organisatorischen Vorgaben zusammen mit dem StMUV konkretisiert und an die Projektpartner weitergegeben. Das betraf beispielsweise das Vorgehen bei der Einreichung der Projektunterlagen oder bei Verbundveranstaltungen. Zudem wurden Rückmeldungen der Projektpartner ans StMUV weitergeleitet. Um die Berichterstattung aus den einzelnen Projekten zu vereinheitlichen, wurden für folgende Projektunterlagen Formatvorlagen ausgearbeitet:

- Berichte
- Projektbeschreibungen
- Poster
- Präsentationen

Nach jeweils einem Jahr wurden Zwischenberichte fällig, am Ende der Projektlaufzeit erstellte jedes Projekt einen Abschlussbericht über die gesamte Projektdauer. Zu den Einreichungsterminen der Berichte wurden auch aktualisierte Versionen der Projektbeschreibung, des Posters und der Präsentation eingeholt. Jedes Dokument wurde in seiner Entwurfsform zunächst vom StMUV geprüft und in verbesserter Form eingereicht. Die Entwürfe der Dokumente wurden vom Koordinierungsprojekt entgegengenommen und gesammelt ans StMUV weitergegeben. Für den Austausch der Dokumente und der Verbesserungen wurde ein Online-Speicher eingerichtet.

## 6.2 Durchführung von Verbundveranstaltungen

Die Organisation und Durchführung von Verbundtreffen waren Inhalt des Arbeitspakets 2. Ziel des Projektverbunds war es, auf diesem Weg auch die Öffentlichkeit über die bearbeiteten Themen zu informieren. Am 22. November 2013 wurde im Deutschen Museum in München die öffentlichkeitswirksame Auftaktveranstaltung mit rund 100 Teilnehmern abgehalten. Die Veranstaltung zur Zwischenbilanz fand am 27. Februar 2015 am Wissenschaftszentrum Straubing mit etwa 90 Teilnehmern statt. Unter den Gästen befanden sich jeweils Vertreter aus Politik, Wissenschaft und Wirtschaft. Zu beiden Treffen gab das

StMUV eine Pressemitteilung heraus. Über das Treffen in Straubing wurde auch im Lokalfernsehen berichtet. Tabelle 3 zeigt eine Übersicht über die durchgeführten Veranstaltungen.

**Tabelle 3:** Übersicht über öffentliche Verbundveranstaltungen

Titel	Veranstalter	Ort	Gäste	Datum
Auftaktveranstaltung und Fachtagung	StMUV, TUM	Deutsches Museum München, Museumsinsel 1, München	99	22.11.2013
Zwischenbilanz und Fachtagung	StMUV, TUM	Wissenschaftszentrum Straubing, Schulgasse 16, Straubing	87	27.02.2015
Next Generation Solar Energy Meets Nanotechnology	Bayern Innovativ, StMUV	Heinrich-Lades-Halle, Rathausplatz 1, Erlangen		23.11.2016 – 25.11.2016

Das Koordinierungsprojekt war dabei in Kooperation mit dem StMUV und Bayern Innovativ (nur „Next Generation Solar Energy Meets Nanotechnology“) verantwortlich für:

- Auswahl des Veranstaltungsorts
- Entwurf von Flyern und Programmen
- Einladungen und Anmeldungen
- Miete bzw. Bereitstellung der Räumlichkeiten
- Veranstaltungstechnik
- Catering
- Vorstellung der Verbundvideos
- Podiumsdiskussionen
- Ablauf der Fachtagungen
- Posterausstellung



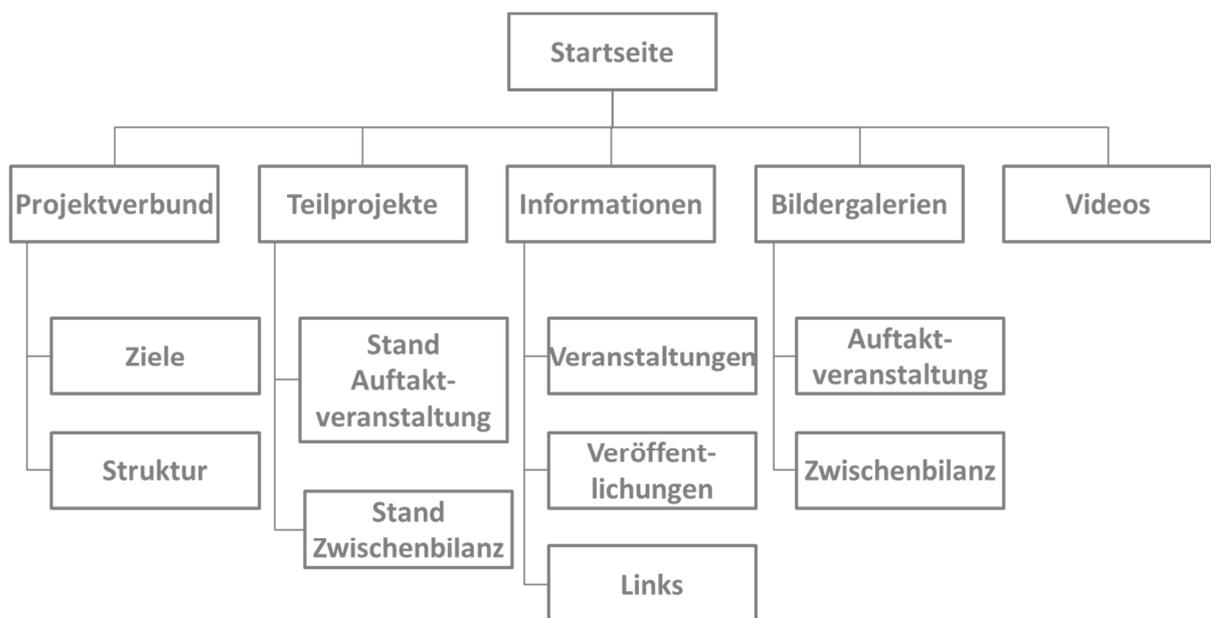
**Abbildung 2:** Gruppenbilder von der Auftaktveranstaltung (links) mit StM Dr. Marcel Huber und von der Zwischenbilanz (rechts) mit StM Ulrike Scharf

## 6.3 Öffentlichkeitsarbeit und Außendarstellung

Arbeitspaket 3 widmete sich der Öffentlichkeitsarbeit und Außendarstellung des Verbunds neben den öffentlichen Verbundtreffen. Dazu gehörten insbesondere der Internetauftritt und die Verbundvideos. Vorträge vor Fachpublikum fielen ebenfalls in diese Kategorie.

### 6.3.1 Internetauftritt

Um die Arbeit des Verbunds einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen, wurde zu Beginn der Verbundlaufzeit ein Internetauftritt unter der URL [www.umwelt-nanotech.de](http://www.umwelt-nanotech.de) angelegt und am Tag der Auftaktveranstaltung freigeschaltet. Dort sind die Eckdaten zum Verbund, wie z. B. Projekte, Mitglieder, Struktur und Forschungsinhalte aufgeführt. Darüber hinaus sind dort aktuelle Informationen wie neue Veröffentlichungen der Projektpartner oder auch Ankündigungen für die Verbundveranstaltungen zu finden. Die Struktur des Internetauftritts ist Abbildung 3 zu entnehmen.



**Abbildung 3:** Struktur des Internetauftritts unter [www.umwelt-nanotech.de](http://www.umwelt-nanotech.de)

Die Seiten sind in deutscher und englischer Sprache verfügbar. Dies gilt nur zum Teil für die Projektunterlagen. Diese sind zum Stand der Auftaktveranstaltung nur auf Deutsch

verfügbar. Zum Stand der Zwischenbilanz gibt es lediglich englische Projektbeschreibungen, die von einem Übersetzungsbüro erstellt wurden. Zur Abschlussveranstaltung sind die Dokumente mit Ausnahme des Abschlussberichts in beiden Sprachen verfügbar.

### 6.3.2 Videos

Für eine verstärkte Präsenz in der Öffentlichkeit wurden professionelle Verbundvideos produziert und zur Zwischenbilanzveranstaltung öffentlich präsentiert. Gleichzeitig wurden sie auch im Internet auf dem Video-Portal YouTube im Kanal des StMUV<sup>1</sup> veröffentlicht. Das Koordinierungsprojekt war dabei zuständig für die Inhalte. Jeder der neun Teilprojektleiter erklärt darin kurz und allgemeinverständlich die wichtigsten Projektinhalte. Dazu werden Bilder aus den Laboren der Projektpartner gezeigt. Dies soll Interessierte weiter an die Thematik heranführen und stellt eine Einladung zum fachlichen Diskurs dar. Es wurden mehrere Angebote eingeholt und hinsichtlich der Leistungsbeschreibung und der Wirtschaftlichkeit geprüft. In Absprache mit dem StMUV und der Videoproduktionsfirma wurde eine Storyline erstellt. Darin wurde festgelegt, welche Länge die Videos in etwa haben sollen, welchem Ablauf sie folgen sollen und welche Art von Bild- und Tonaufnahmen gezeigt werden sollen. Folgende Videos wurden während der Verbundlaufzeit produziert:

**Tabelle 4:** Übersicht über die produzierten Videos

<b>Titel</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Drehorte</b>	<b>beschriebene Teilprojekte</b>
Vorstellungsvideo	Kurze Einführung; Nennung des Verbunds, der Schwerpunkte und der Verbundpartner	-	2 - 10
Schwerpunktvideo Organische Photovoltaik	Vorstellung der Projekte durch die Projektleiter des Schwerpunkts Organische Photovoltaik	Würzburg, München, Bayreuth	3, 6, 8
Schwerpunktvideo Energiespeicher	Vorstellung der Projekte durch die Projektleiter des Schwerpunkts Energiespeicher	Amberg, Würzburg	2, 4, 9
Schwerpunktvideo Thermoelektrizität	Vorstellung der Projekte durch die Projektleiter des Schwerpunkts Thermoelektrizität	Nürnberg, München, Deggendorf	5, 7, 10
Abschlussvideo	Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse durch die Schwerpunktsprecher	Würzburg, München	2 - 10

In Abbildung 4 und Abbildung 5 sind die Abläufe der Schwerpunktvideos und des Abschlussvideos dargestellt. Die Texte der Interviewszenen wurden vom Koordinierungsprojekt erstellt und mit den jeweiligen Projektleitern und

<sup>1</sup> <https://www.youtube.com/user/umweltgesundheit>



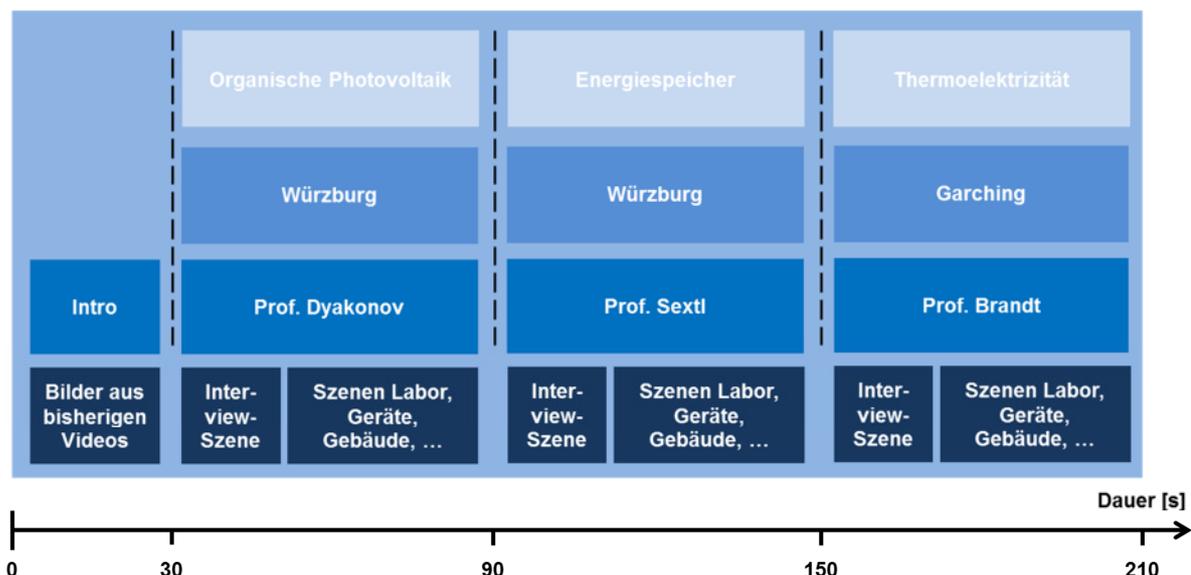


Abbildung 5: Aufbau des Abschlussvideos

### 6.3.3 Vorträge vor Fachpublikum

Zur Vorstellung des Projektverbunds vor Fachpublikum wurden vom Koordinierungsprojekt folgende Vortragstermine wahrgenommen:

Tabelle 5: Vorträge des Koordinierungsprojekts vor Fachpublikum

Titel	Veranstalter	Tagung	Ort	Datum
Bericht über Projektverbund UMWELTnanoTECH	Verband der Chemischen Industrie	Expertendialog Stoffpolitik	Chemieverbandshaus, Innstraße 15, München	16.11.2015
Umweltverträgliche Anwendungen der Nanotechnologie: Der Projektverbund UMWELTnanoTECH	Nanoinitiative Bayern GmbH	Umweltschutz und Sicherheit im industriellen Umgang mit Nanomaterialien	Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, Pfarrstr.3, München	23.09.2015

## 7 Wissenschaftliche Arbeit des Koordinierungsprojekts

Um der raschen Entwicklung der Nanotechnologie folgen zu können, greift man neben traditionellen Informationsquellen wie Reviews und Studien vermehrt auf bibliometrische Methoden zurück. Diese eignen sich ebenfalls für Information Retrieval, insbesondere zur Identifizierung der wegweisenden Literatur. Daraus folgt, dass mit Hilfe bibliometrischer Methoden Entwicklungen dokumentiert werden können, die den Fortschritt beschleunigt haben [1].

In der Bibliometrie werden statistische Verfahren zur Auswertung bibliographischer Daten angewandt [2]. In der vorliegenden Untersuchung werden diese Methoden genutzt, um regionale Forschungsoutputs darzustellen und um einen quantitativen Überblick über die

Forschung im Bereich Nanotechnologie zu geben. Dazu werden Datensätze aus dem Web of Science genutzt, um besonders produktive Standorte zu identifizieren. Die quantitativen Ergebnisse bibliometrischer Methoden sind stets interpretationsbedürftig, da qualitative Merkmale wie die Güte von Forschung oder der wissenschaftliche Nutzen einer Veröffentlichung nicht objektiv beurteilt werden können. Die Anzahl der Zitationen oder der Impact Factor des Journals werden oft als Maß für die Qualität eines Aufsatzes angeführt. Sie können aber lediglich als vereinfachende Näherungen dienen, deren Aussagekraft durch systematische Schwächen der Zitationsdatenbanken geschmälert wird [3].

## 7.1 Forschungsziele

Die Forschung des Koordinierungsprojekts soll über den Stand der Forschung zur Nanotechnologie in Deutschland Aufschluss geben. Der Detailgrad reicht in geographischer Hinsicht hinunter auf Länder- und Städteebene. Dies dient folgenden Zielen:

- Visualisierung der standortbezogenen Forschungsleistungen
- Fachliche Einordnung einzelner Regionen oder Standorte
- Visualisierung der Trends von Forschungsleistung und Forschungsrichtung deutscher und insbesondere bayerischer Standorte
- Auffinden von Erklärungsansätzen für besondere zeitliche Entwicklungen von Forschungsleistungen
- Plausibilitätsprüfung für ausgewählte Standortprofile anhand von online zugänglichen Informationen über ortsansässige Institute und Firmen

## 7.2 Methodik

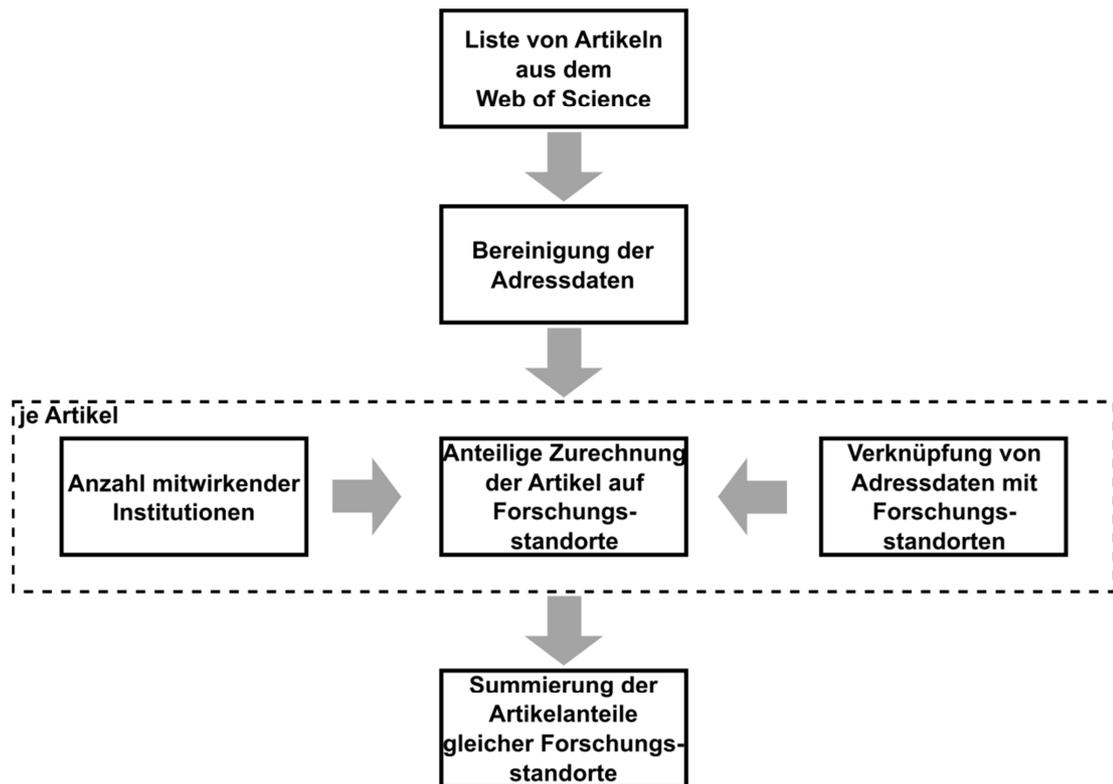
Es werden Daten zu den mit deutscher Beteiligung im Bereich Nanotechnologie veröffentlichten Artikeln erhoben. Grundlage sind die von Thomson Reuters im „Web of Science“ (WoS) bereitgestellten bibliographischen Angaben. Das kostenpflichtige Web of Science gilt als die führende Datenbank für die Katalogisierung wissenschaftlicher Zeitschriften. Es wird geschätzt, dass dennoch weniger als 50 % der weltweit produzierten wissenschaftlichen Artikel im Web of Science gelistet sind. Hauptsächlich sind dort englischsprachige wissenschaftliche Zeitschriften katalogisiert, die in der Regel peer-reviewed sind und daher als qualitativ hochwertig gelten.

Zu den Schwächen von Indikatoren und Datenbanken zählen unter anderem fachliche sowie regionale Verzerrungen. So wird in den Naturwissenschaften in der Regel mehr publiziert und zitiert als in den Geisteswissenschaften, weswegen fachübergreifende Vergleiche oft nicht gültig sind. Ebenso gibt es nationale Unterschiede im Publikationsverhalten. Diese Probleme entfallen durch den projektbedingten Fokus auf das Gebiet der Nanotechnologie und die Beschränkung auf Deutschland. So können valide Vergleiche zwischen deutschen Regionen oder Städten erstellt werden.

Die für diese Analyse verwendeten Daten entstammen dem Zitationsindex „Science Scitation Index Expanded“ (SCI-Expanded, 1945 bis heute) aus der Teildatenbank „Web of Science Core Collection“. Dieser Zitationsindex beinhaltet über 8.300 Zeitschriften aus naturwissenschaftlichen Themengebieten [4]. Um das Gebiet Nanotechnologie einzugrenzen wurde eine von Arora et al. entwickelte Suchabfrage verwendet, die thematisch untergliedert ist und deren einzelne Teile mit Booleschen Operatoren verknüpft werden können [5]. Die Abfrageergebnisse beinhalten wissenschaftliche Erstveröffentlichungen (rund 93 %), Reviews (rund 5 %), Konferenzbeiträge (rund 2 %) sowie sonstige Veröffentlichungsformen.

Das Web of Science indiziert in der Regel keine einzelnen Artikel, sondern die Inhalte von Zeitschriften. Einzelne Zeitschriften können in den Index aufgenommen oder aus ihm entfernt werden. Die erhaltenen Ergebnisse können daher variieren und sollten daher immer unter Angabe des Abfragezeitpunkts der Rohdaten erfolgen. Der Download der Daten erfolgte am 27. Mai 2015.

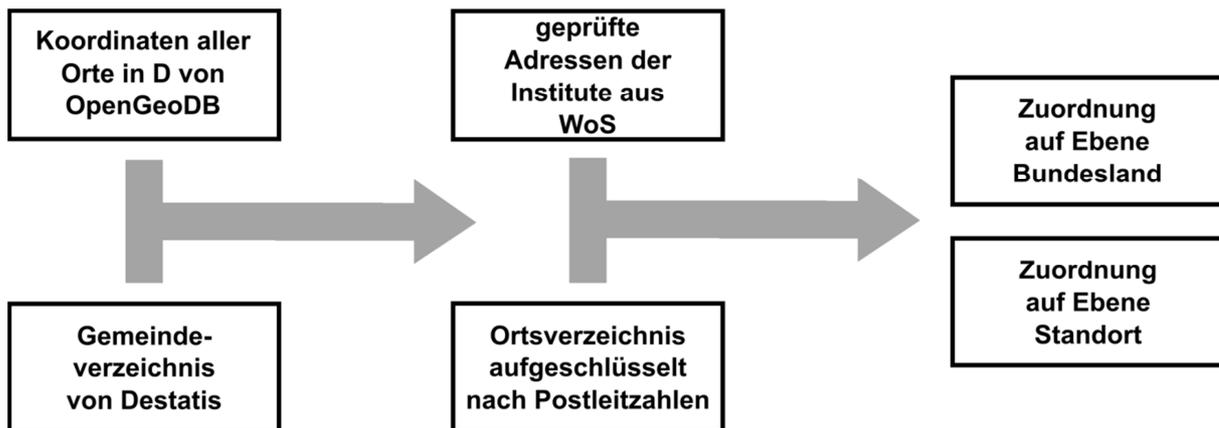
Der Fokus auf Zeitschriften als Indizierungseinheit wirkt sich auch auf die Einordnung der Fachgebietszugehörigkeit aus. Fachgebiete werden für ganze Zeitschriften festgelegt, und jeder darin erschienene Artikel gehört automatisch den der Zeitschrift zugeordneten Kategorien an. Diese Art der Einteilung ist für multidisziplinäre Zeitschriften weniger geeignet als für spezialisierte Zeitschriften. Aus dieser groben Einteilung ergibt sich eine geringe Präzision der Zuordnung, und Artikel der gleichen Kategorie können relativ unterschiedliche Themen behandeln. Als Vorteil ergibt sich jedoch, dass die Kategorien schärfer voneinander abgegrenzt sind. Dies ist auch bei der Zuordnung von Fachgruppen zu Forschungsstandorten zu berücksichtigen. Insgesamt werden im Web of Science über 250 Kategorien benutzt, davon etwa 170 in den Naturwissenschaften.



**Abbildung 6:** Vorgehen bei der Ermittlung der Publikationsaktivität deutscher Forschungsstandorte. Die Analyse der Daten erfolgt automatisiert mit Hilfe eines Python-Skriptes.

Die standortbezogenen Publikationszahlen werden nach dem in Abbildung 6 dargestellten Schema ermittelt. Im Web of Science werden Autoren nur bei Artikeln ab dem Jahr 2008 bestimmten Instituten zugeordnet. Für früher erschienene Publikationen ist keine Möglichkeit gegeben, einzelne Autoren (mit Ausnahme des „reprint authors“) der Autorenliste mit einzelnen Instituten aus den Adressfeldern zu verbinden. Die im ersten Berichtszeitraum praktizierte Zuordnung von Artikelanteilen auf Autorenbasis musste daher durch eine Zuordnung auf Institutsbasis ersetzt werden.

Je Artikel sind zwei Adressfelder in den bibliographischen Einträgen enthalten. Ein Feld mit Bezeichnung „RP“ enthält Namen, Institut und Adresse des „reprint authors“, welcher oft der erst- oder letztgenannte Autor ist. Ein weiteres Feld mit Bezeichnung „C1“ enthält Namen und Adressen aller beteiligten Institute. Nicht immer ist dabei auch die Adresse des „reprint authors“ enthalten. Für die vorliegende Untersuchung wurde die Adresse des „reprint authors“ nur dann als zusätzliche Adresse gewertet, wenn der in „RP“ enthaltene Institutsname, die Postleitzahl und der Ort nicht identisch mit einem Eintrag aus dem regulären Adressfeld „C1“ sind. Aus den beiden Adressfeldern wird zunächst die Gesamtzahl der beteiligten Institute entnommen. Unter der Annahme, dass von jedem Institut der gleiche Beitrag zu einem Artikel beigesteuert wird, wird bei  $n$  Instituten jedem Institut der Anteil  $1/n$  zugewiesen.



**Abbildung 7:** Schema zur Zuordnung von Adressdaten auf den Aggregationsebenen Land und Standort. Die Zuordnung zu Ländern erfolgt mit Hilfe des amtlichen Gemeindegchlüssels (AGS), die Zuordnung zu Standorten durch Abgleich von Ortsnamen und Postleitzahlen.

Für die Auswertung der Daten bezogen auf LLänder werden die Adressdaten aus dem Web of Science mit weiteren, frei zugänglichen Geodaten ergänzt. Die OpenSource-Datenbank OpenGeoDB stellt für nahezu alle Orte und Ortsteile Deutschlands Daten bereit. Zusammen mit dem Gemeindeverzeichnis des Statistischen Bundesamtes erhält man so den amtlichen Gemeindegchlüssel (AGS), Ortsnamen, zugehörige Postleitzahlen und Geokoordinaten einzelner Orte. Über ein nach Postleitzahlen aufgeschlüsselt Ortsverzeichnis werden die Adressdaten aus dem Web of Science einzelnen Standorten zugeordnet. Die ersten beiden Ziffern des achtstelligen AGS geben dabei das Land an. Ein großer Teil des Python-Skripts beschäftigt sich mit der Behandlung von Ausnahmen, die durch fehlerhafte oder unvollständige Eintragungen entstehen oder durch Probleme bei der Behandlung von deutschen Sonderzeichen in einer englischsprachigen Datenbank. Folgende Ausnahmen müssen berücksichtigt werden:

- Behandlung von Umlauten (z. B.: München, Munchen, Muenchen)
- Englische Namen deutscher Orte (z. B.: Munich, Cologne)
- Rechtschreibfehler oder zu lange Ortsnamen für die Eingabemaske (z. B. „Clausthal-Zellerf“ für Clausthal-Zellerfeld)
- Inkorrekte Postleitzahlen (Zahlendreher, vierstellige Postleitzahlen nach dem alten System bei Veröffentlichungen aus den frühen 90er Jahren)
- Suche nach „Germany“ im Adressfeld liefert auch Ergebnisse, die „Germany“ im Institutsnamen haben
- Großempfänger mit eigenen Postleitzahlen (z. B. Universitäten)

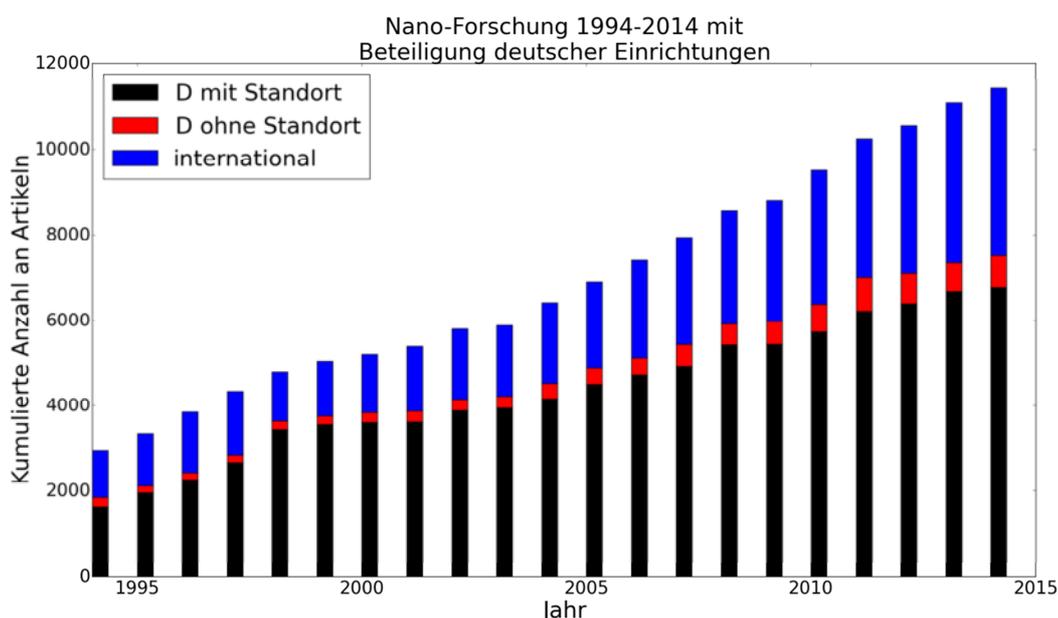
Probleme, die sich aus nicht einheitlicher Schreibweise bei Ortsnamen ergeben, lassen sich relativ einfach beheben, indem alle bekannten Formen auf eine einzige reduziert werden. Die

Behandlung von Ausnahmen bei Postleitzahlen ist schwieriger, da nicht sofort ersichtlich ist, ob es sich um einen Eingabefehler oder eine unbekannte Postleitzahl eines Großempfängers handelt. Im Python-Skript ist daher eine Routine hinterlegt, die von den zu vergleichenden Postleitzahlen aus dem Web of Science und aus dem erstellten Ortsverzeichnis sukzessive die letzte Ziffer abschneidet und wieder vergleicht. Stimmen zumindest die beiden höchsten Ziffern (Postleitregion) der Postleitzahlen überein und sind auch die Ortsnamen identisch, so werden die Datensätze zusammengefasst und die Artikelanteile summiert.

## 7.3 Bibliometrische Analyse zur Nanotechnologie-Forschung

### 7.3.1 Entwicklung in Deutschland

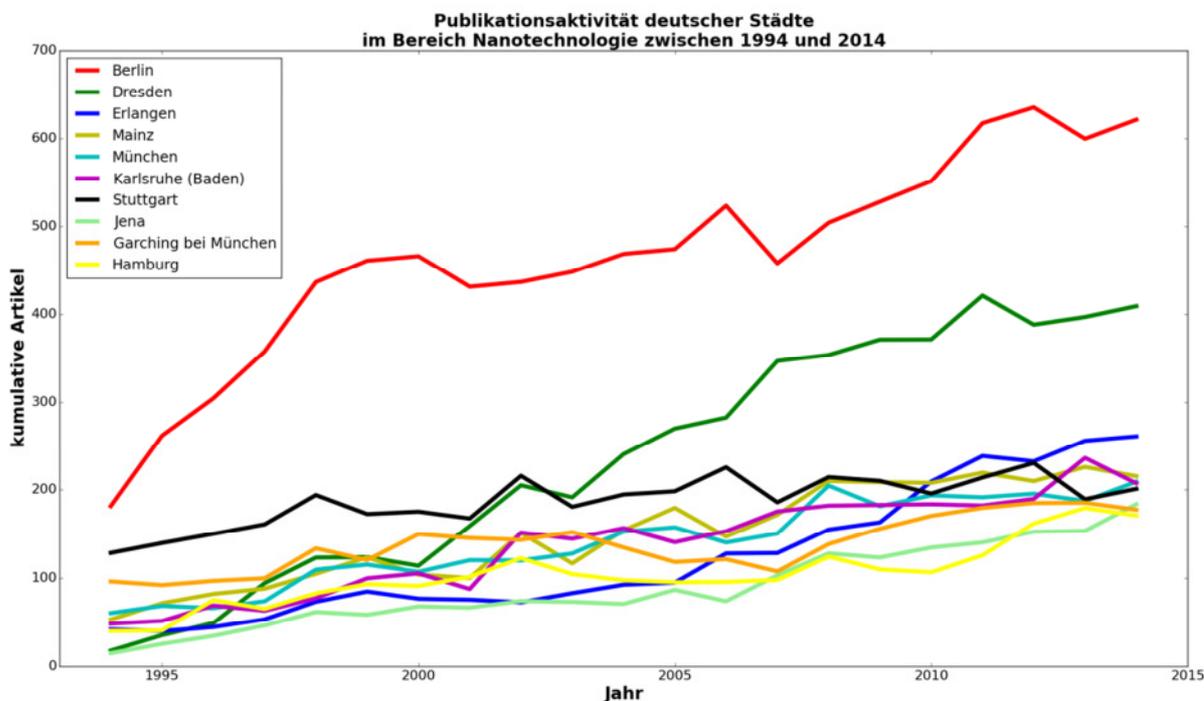
Für den betrachteten Zeitraum von 1994 bis 2014 stieg die Zahl der Veröffentlichungen mit Beteiligung deutscher Standorte im Bereich Nanotechnologie von weniger als 3.000 auf über 11.000 Artikel jährlich. Die Abweichungen der erhaltenen Artikelzahlen gegenüber vorigen Berichtszeiträumen ergeben sich aus Änderungen im Web of Science. Deutschland zählt im internationalen Vergleich seit 20 Jahren zu den Top 5 hinsichtlich einschlägiger Veröffentlichungen [6], [7]. Durch eine veränderte Methodik konnten alle aus dem Web of Science extrahierten Adressen in nationale oder internationale Adressen eingeteilt werden, die Klasse nicht zugeordneter Artikel entfällt daher.



**Abbildung 8:** Anzahl der veröffentlichten Artikel im Bereich Nanotechnologie mit Beteiligung deutscher Institute im Zeitraum von 1994 bis 2014. Die Einteilung zeigt den anteiligen Beitrag nationaler und internationaler Institute. Quelle: Web of Science mit Suchstrategie nach Arora et al [5].

Wie in Abbildung 8 zu sehen ist, kooperieren deutsche Institute und Wissenschaftler häufig mit internationalen Einrichtungen. Von 1994 bis 1997 lag der rechnerische Anteil internationaler Partner an den Veröffentlichungen bei etwa 35 %, ab 1998 nur noch bei 24 %

mit annähernd linearem Anstieg auf 34 % im Jahre 2014. Im Schnitt wird für den gesamten Zeitraum weit über die Hälfte aller Artikel in internationaler Zusammenarbeit geschrieben, und auch hier ist die Tendenz langsam steigend.

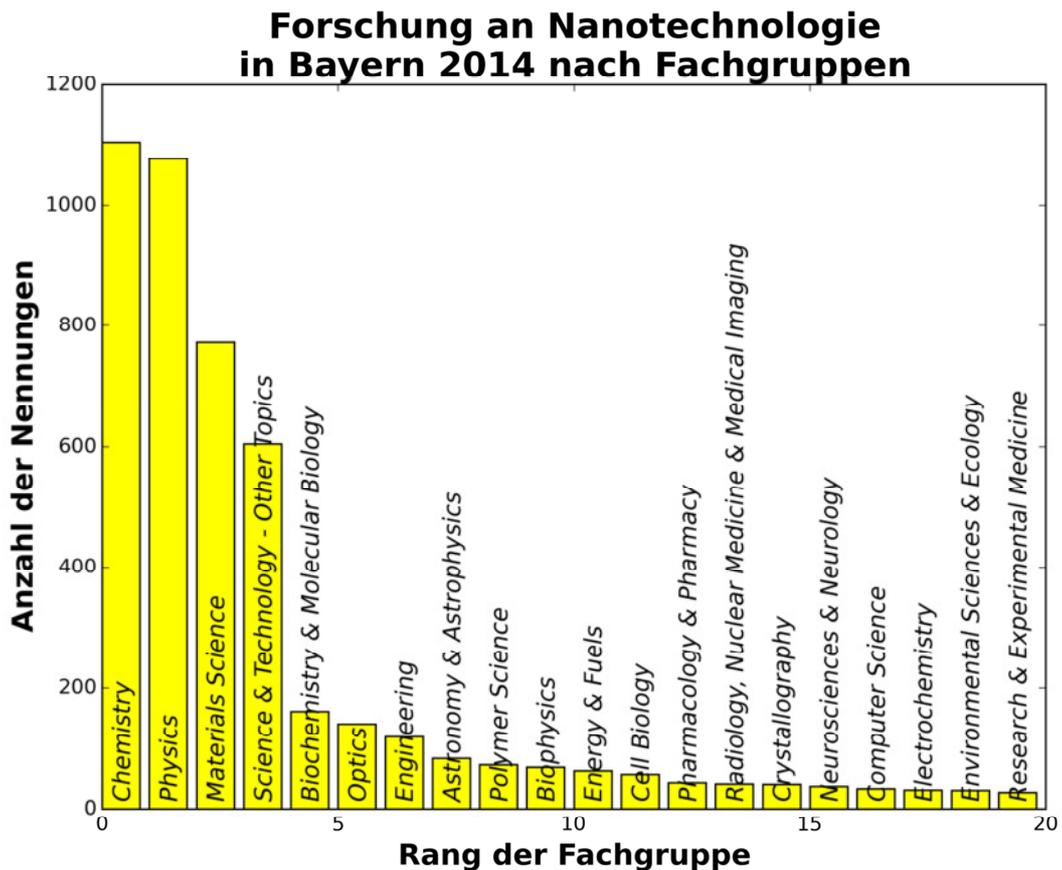


**Abbildung 9:** Verlauf der Publikationsaktivität der führenden zehn deutschen Standorte in den Jahren 1994 bis 2014. Die Artikel sind den Standorten anteilmäßig zugeordnet (fraktionales Zählen). Eigene Berechnungen, Datenquelle: Web of Science.

Abbildung 9 zeigt die zehn produktivsten deutschen Standorte hinsichtlich ihrer Publikationsaktivität im Bereich Nanotechnologie in den vergangenen 20 Jahren. Dabei wurde an Berliner Instituten stets am meisten veröffentlicht. Der inzwischen zweitaktivste Standort Dresden zeigt eine sehr starke Entwicklung seit 1994. Es sind mit Erlangen, München und Garching gleich drei bayerische Standorte in dieser Rangliste vertreten. Fasst man die Publikationsaktivitäten der Stadt München und der Nachbargemeinde Garching zusammen, so liegt die Region auf Augenhöhe mit Dresden und gehört damit zu den drei outputstärksten Gebieten Deutschlands. Der jüngste Anstieg der Publikationszahlen in Erlangen kann vermutlich zum Teil auf die erfolgreiche Teilnahme an der Exzellenzinitiative zurückgeführt werden. So sind dort seit 2006 die „Erlangen Graduate School in Advanced Optical Technologies (SAOT)“ und seit 2007 das Exzellenzcluster „Engineering of Advanced Materials (EAM)“ ansässig. Beide Einrichtungen befassen sich u. a. mit Nanomaterialien und deren Anwendungen.

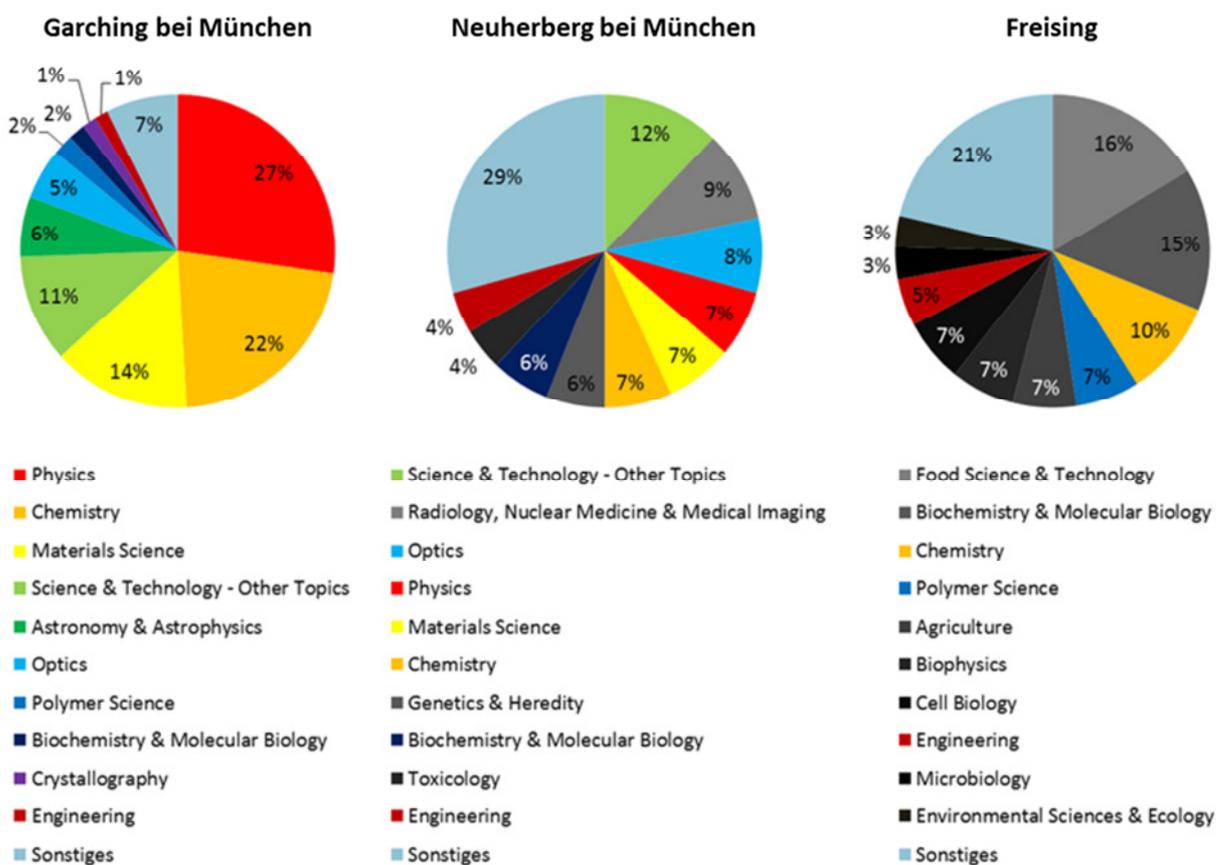
### 7.3.2 Entwicklung in Bayern

Ordnet man die Forschung an Nanotechnologie den zugrunde liegenden Fachgruppen zu, so erscheinen naturwissenschaftlich Fachgruppen wie Physik, Chemie, Materialwissenschaften am häufigsten.



**Abbildung 10:** Einteilung der Forschung an Nanotechnologie in Fachgruppen nach dem im Web of Science verwendeten Schema für das Jahr 2014. Gezeigt sind die 20 am häufigsten zugeordneten Fächer. Mehrfachzuordnungen sind möglich. Eigene Berechnungen, Datenquelle: Web of Science.

Abbildung 10 zeigt eine nach Anzahl der Nennungen geordnete Liste von Fachgebieten, in denen Forschung an Nanotechnologie betrieben wird. Die Darstellung bezieht sich auf Bayern, ist aber für die anderen Länder sehr ähnlich, wobei zumeist die Fachgruppe Physik an erster Stelle steht. In kleineren Ländern können einzelne Forschungseinrichtungen mehr Gewicht besitzen, weshalb deren Forschungsprofil auch das des ganzen Landes prägt. Die Stadtstaaten und deren Hochschulen dienen hierfür als Beispiel.



**Abbildung 11:** Fachprofile ausgewählter bayerischer Standorte. Gezeigt werden die zehn am stärksten vertretenen Fachgruppen je Standort sowie die sonstigen Fachgruppen aggregiert. Das Profil von Garching dient als Referenz. Neu hinzukommende Fächer bei den anderen Profilen erscheinen in Graustufen. Eigene Darstellung, Datenquelle: Web of Science.

Verschiedene bayerische Standortprofile sind in Abbildung 11 zu sehen. Dabei spiegelt das Garchinger Profil den typischen Fall wider, in dem die Fächer Physik, Chemie und Materialwissenschaften führend sind. In den produktivsten 50 deutschen Standorten erscheinen nur zweimal die Materialwissenschaften als führendes Thema, ansonsten dominieren stets physikalische und chemische Themen. Dabei wird in den meisten Fällen an anorganischer Materie geforscht. Die Standorte Neuherberg und Freising zeigen Abweichungen von diesem Muster sowohl in der Reihung als auch in der Zusammenstellung der Fächer. In Neuherberg ist die Forschung neben den weiteren Themen in Wissenschaft und Technik der Radiologie und der medizinischen Diagnostik zugeordnet, wozu auch die Optik als Grundlagenfach gezählt werden kann. Ein weiterer Themenblock lässt sich aus den drei Fächern Genetik, Biochemie und Toxikologie bilden. Die Freisinger Forschung hebt sich noch stärker vom Standardprofil nanotechnologischer Forschung ab. Der Fokus liegt hier auf den Lebenswissenschaften und damit auf der Erforschung organischer Materie.

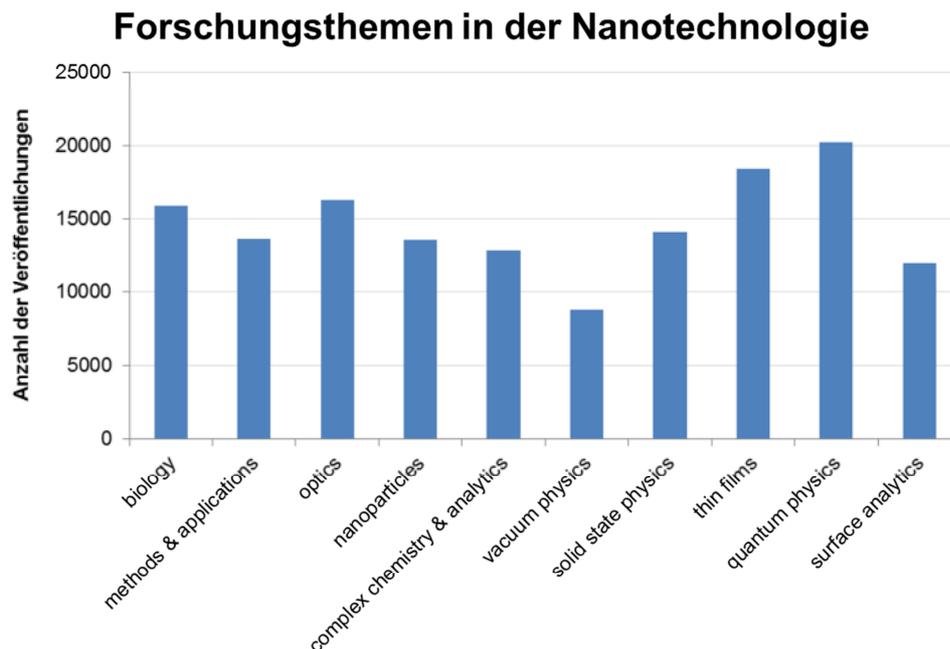
## 7.4 Themenmodellierung

Durch Themenmodellierung versucht man, die thematische Struktur einer Dokumentsammlung zu entdecken. Jedes Dokument soll automatisch mit den darin enthaltenen Themen annotiert werden, um große Dokumentmengen schnell durchsuchen und zusammenfassen zu können. Bei der Themenmodellierung werden Methoden aus den Bereichen Machine Learning und Natural Language Processing verwendet. Im Kern beruhen Themenmodelle auf dem Gedanken, dass ein bestimmtes Thema durch dafür spezifische Ausdrücke beschrieben wird. Dokumente mit gleichem Thema enthalten daher mit hoher Wahrscheinlichkeit auch dieselben Ausdrücke, während sich in Dokumenten mit unterschiedlichen Themen nur relativ selten gleiche Ausdrücke finden werden.

Die Latente Dirichlet Allokation (engl. Latent Dirichlet Allocation, LDA) ist ein weit verbreiteter Ansatz zur Themenmodellierung. Dabei werden in einem iterativen Prozess Ausdrücke so zu Themen zusammengefasst, dass in sich kohärente, aber voneinander abgrenzbare Themen entstehen.[8] LDA ist ein wahrscheinlichkeitsbasierter Ansatz. Das bedeutet, dass jedes Thema in jedem Dokument mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftauchen kann. Ein typisches Dokument beinhaltet in der Praxis jedoch nur wenige Themen. Die Wahrscheinlichkeiten für diese wenigen Themen sind folglich hoch, während die Wahrscheinlichkeiten für alle anderen Themen sehr klein sind. Die Anzahl der zu entdeckenden Themen muss vor dem Start der Berechnungen als Parameter festgelegt werden. Eine typische Dokumentsammlung kann beispielsweise aus einigen Hunderttausend Dokumenten bestehen, die (nach einem Bereinigungsschritt) etwa Zehntausend verschiedene Ausdrücke enthalten können. Je nach Divergenz der Inhalte könnte man daraus bis weit über 100 Themen generieren lassen.

Mit Hilfe dieser Methode wurden in diesem Projekt die in Deutschland am häufigsten untersuchten Themen der Nanotechnologie aus Titeln und Abstracts wissenschaftlicher Veröffentlichungen extrahiert. Für einen groben Überblick über die Forschung an Nanotechnologie wurde eine Themenanzahl von  $n=10$  ausgewählt. Die Zuordnung der Ausdrücke zu den zehn Themen ist in Tabelle 6 im Anhang zu finden. Die Themen müssen nach Durchsicht der wichtigsten Ausdrücke manuell benannt werden. Bei der Interpretation der Ausdrücke und der Benennung der Themen gibt es jedoch großen Spielraum, weswegen die Namen der Themen nur als Anhaltspunkt zu verstehen sind.

Aus Abbildung 12 ist zu entnehmen, dass das Thema „quantum physics“ das im Hinblick auf Veröffentlichungszahlen wichtigste Thema innerhalb der Nanotechnologie ist. Die Themen „thin films“ und „optics“ sind ebenfalls bedeutend, während es zum Thema „vacuum physics“ relativ wenige Veröffentlichungen gibt.



**Abbildung 12:** Verteilung der Forschungsthemen im Bereich Nanotechnologie nach Themenmodellierung durch LDA. Datenquelle: Web of Science

## 7.5 Diskussion

Aufgrund der Datenlage musste die Auswertungsroutine geändert werden. Statt jedem Autor wird nun jedem Institut der gleiche Anteil an der Entstehung eines Artikels zugeordnet. Dadurch können verglichen mit der ursprünglichen Vorgehensweise Verzerrungen auftreten, wenn Publikationen federführend an einem Institut entstanden sind, jedoch noch mehrere weitere Institute aufgeführt werden. Bei der früheren Berechnung auf Autorenbasis wurde dies berücksichtigt, indem Institute, aus denen mehr Autoren beteiligt waren, auch mehr Anteile am Artikel zugerechnet bekamen. Da jedoch kein System existiert, nach dem die tatsächliche Leistung von Personen oder Instituten bei Veröffentlichungen gemessen werden kann, ist eine solche Zuordnung prinzipiell fehlerbehaftet. Je kleiner der Datensatz, desto größer können die Abweichungen im Einzelfall sein. Sollte ein Institut nach der fraktionalen Zählweise der Artikelanteile in der Rangliste der produktivsten Standorte weiter hinten gelistet werden, als dies beim „normal counting“ (alle Autoren/beteiligte Institute eines Artikels erhalten eine Publikation zugewiesen) der Fall wäre, so sind die Ursachen zu ergründen. Eine hohe Kooperationsbereitschaft würde sich demnach negativ auf die errechnete Publikationsaktivität auswirken.

Die Darstellung der Standortprofile gründet auf der im Web of Science vorgenommenen Kategorisierung der Fächer. Diese Einteilung wurde von Thomson Reuters erstellt und ist naturgemäß nicht eindeutig. Sie unterscheidet sich beispielsweise von der „Field of Science and Technology (FOS)“-Klassifizierung der OECD oder auch den Einteilungen der nationalen

und internationalen Patentämter. Eine Validierung der Ergebnisse zu ausgesuchten typischen und insbesondere atypischen Standortprofilen ist daher angebracht.

Der Forschungscampus Garching vereint Institute der Technischen Universität München, der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU), der Max-Planck-Gesellschaft (MPs) und weiterer Einrichtungen. Eine Vielzahl an Lehrstühlen und Arbeitsgruppen der Fakultäten Physik, Chemie, Maschinenwesen etc. befindet sich auf dem Areal [9]. Als Beispiel sei das Walter-Schottky-Institut erwähnt, das sich explizit mit der Forschung an Nanotechnologie befasst. Das gefundene Standortprofil stimmt also mit den Forschungsthemen der vor Ort befindlichen Institute überein. Die beiden atypischen Standortprofile lassen sich ebenfalls durch Überprüfung an den örtlichen Gegebenheiten erklären. So befinden sich in Neuherberg Standorte des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) sowie des Helmholtz-Zentrums München. Laut eigener Darstellung arbeitet das BfS am Schutz vor Schäden durch Strahlung, beispielsweise in der medizinischen Röntgendiagnostik oder beim Thema Radioaktivität [10]. Das Helmholtz-Zentrum betont bei seiner Forschung das Zusammenspiel zwischen Genen und Umweltbedingungen [11]. So lässt sich das Auftauchen der Felder Radiologie, Genetik und Toxikologie im Forschungsprofil erklären. Am Freisinger Campus Weihenstephan befinden sich Einrichtungen der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT) sowie der Technischen Universität München (TUM). An der HSWT wird in Weihenstephan unter anderem an Lebensmitteltechnologie und Landwirtschaft geforscht [12]. Die TUM legt dort den Schwerpunkt auf Biowissenschaften [13]. Auch hier validiert die manuelle Überprüfung im Einzelfall die durch automatische Auswertung erhaltenen Ergebnisse.

Im Gegensatz zur Darstellung der Standortprofile basiert die Einteilung der Themen beim Modellierungsverfahren LDA nicht auf einer hierarchischen Gliederung der Forschungsbereiche. Vielmehr wird deutlich, dass die Ausdrücke durch einen wahrscheinlichkeitsbasierten Ansatz den Themen zugeordnet werden. Am deutlichsten wird dies beim Thema „methods & applications“, aus dessen charakteristischen Ausdrücken keine bestimmte Disziplin ableitbar ist. Da Ausdrücke wie „application“, „use“, „approach“, „method“, „system“ usw. häufig zusammen und auch in vielen Veröffentlichungen auftreten, generiert der Algorithmus daraus ein eigenständiges Thema. Daraus wird klar, dass die Themen nicht zwangsweise in die uns geläufigen wissenschaftlichen Bereiche und deren Unterkategorien eingeteilt werden.

## Literaturverzeichnis

- [1] Garfield, E. (1979): Citation Indexing – its theory and application in science, technology, and humanities. Wiley, New York, 274 Seiten, ISBN 0471025593
- [2] Havemann, F. (2009): Einführung in die Bibliometrie. Gesellschaft für Wissenschaftsforschung, 66 Seiten, ISBN 978-3-934682-46-7
- [3] Egghe, L.; Rousseau, R. (1990): Introduction to informetrics. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, New York, 450 Seiten, ISBN 0444884939
- [4] Thomson Reuters: Web of Science™ Core Collection Help. Internet: [http://images.webofknowledge.com/WOKRS514B4/help/WOS/hp\\_database.html#dsy367-TRS\\_science\\_citation](http://images.webofknowledge.com/WOKRS514B4/help/WOS/hp_database.html#dsy367-TRS_science_citation), aufgerufen am 30.07.2014
- [5] Arora, S. K.; Porter, A. L.; Youtie, J.; Shapira, P.: Capturing new developments in an emerging technology: an updated search strategy for identifying nanotechnology research outputs, *Scientometrics* 95 (2013), 1, pp. 351-370, doi: 10.1007/s11192-012-0903-6
- [6] Kostoff, R. N.; Stump, J. A.; Johnson, D.; Murday, J. S.; Lau, C. G.Y.; Tolles, W. M.: The structure and infrastructure of the global nanotechnology literature. *Journal of Nanoparticle Research* 8 (2006), 3-4, pp 301-321
- [7] Porter, A. L.; Youtie, J.; Shapira, P.; Schoeneck, D. J.: Refining search terms for nanotechnology, *Journal of Nanoparticle Research* 10 (2008), 5, pp 715-728
- [8] Blei, D.M.: Probabilistic Topic Models. *Communications of the ACM* (2012), 55(4), pp. 77-84, doi: 10.1145/2133806.2133826
- [9] Technische Universität München, Corporate Communications Center: Wissenschaft in Garching. Internet: <http://www.forschung-garching.de/>, aufgerufen am 30.07.2015
- [10] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Wir über uns. Internet: [http://www.bfs.de/DE/bfs/wir/wir\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/bfs/wir/wir_node.html), aufgerufen am 30.07.2015
- [11] Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH): Über uns. Internet: <http://www.helmholtz-muenchen.de/ueber-uns/profil/forschungsziele/index.html>, aufgerufen am 30.07.2015
- [12] Hochschule Weihenstephan-Triesdorf: Forschungsprofil. Internet: <http://www.hswt.de/forschung/forschungsprofil.html>, aufgerufen am 30.07.2015
- [13] Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt: Forschungsdepartements. Internet: <http://www.wzw.tum.de/index.php?id=54>, aufgerufen am 30.07.2015

## A1: Veröffentlichungen aus dem Verbund

### Forschungsartikel

TP	Autoren	Titel	Journal	Jahr
6	Hanusch, Fabian C.; Wiesenmayer, Erwin; Mankel, Eric; Binek, Andreas; Angloher, Philipp; Fraunhofer, Christina; Giesbrecht, Nadja; Feckl, Johann M.; Jaegermann, Wolfram; Johrendt, Dirk; Bein, Thomas; Docampo, Pablo	Efficient Planar Heterojunction Perovskite Solar Cells Based on Formamidinium Lead Bromide	JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY LETTERS	2014
6	Docampo, Pablo; Hanusch, Fabian C.; Giesbrecht, Nadja; Angloher, Philipp; Ivanova, Alesja; Bein, Thomas	Influence of the orientation of methylammonium lead iodide perovskite crystals on solar cell performance	APL MATERIALS	2014
6	Fattakhova-Rohlfing, Dina; Zaleska, Adriana; Bein, Thomas	Three-Dimensional Titanium Dioxide Nanomaterials	CHEMICAL REVIEWS	2014
6	Dunn, Halina K.; Feckl, Johann M.; Mueller, Alexander; Fattakhova-Rohlfing, Dina; Morehead, Samuel G.; Roos, Julian; Peter, Laurence M.; Scheu, Christina; Bein, Thomas	Tin doping speeds up hole transfer during light-driven water oxidation at hematite photoanodes	PHYSICAL CHEMISTRY CHEMICAL PHYSICS	2014
7	Stoib, B.; Filser, S.; Stoetzel, J.; Greppmair, A.; Petermann, N.; Wiggers, H.; Schierning, G.; Stutzmann, M.; Brandt, M. S.	Spatially resolved determination of thermal conductivity by Raman spectroscopy	SEMICONDUCTOR SCIENCE AND TECHNOLOGY	2014
6	Sarauli, David; Peters, Kristina; Xu, Chenggang; Schulz, Burkhard; Fattakhova-Rohlfing, Dina; Lisdat, Fred	3D-Electrode Architectures for Enhanced Direct Bioelectrocatalysis of Pyrroloquinoline Quinone-Dependent Glucose Dehydrogenase	ACS APPLIED MATERIALS & INTERFACES	2014
3	Brendel, Johannes C.; Schmidt, Martina M.; Hagen, Gunter; Moos, Ralf; Thelakkat, Mukundan	Controlled Synthesis of Water-Soluble Conjugated Polyelectrolytes Leading to Excellent Hole Transport Mobility	CHEMISTRY OF MATERIALS	2014
7	Stoib, B.; Filser, S.; Petermann, N.; Wiggers, H.; Stutzmann, M.; Brandt, M. S.	Thermal conductivity of mesoporous films measured by Raman spectroscopy	APPLIED PHYSICS LETTERS	2014
6	Peters, Kristina; Zeller, Patrick; Stefanic, Goran; Skoromets, Volodymyr; Nemeč, Hynek; Kuzel, Petr; Fattakhova-Rohlfing, Dina	Water-Dispersible Small Monodisperse Electrically Conducting Antimony Doped Tin Oxide Nanoparticles	CHEMISTRY OF MATERIALS	2015
8	Machui, Florian; Maisch, Philipp; Burgues-Ceballos, Ignasi; Langner, Stefan; Krantz, Johannes; Ameri, Tayebeh; Brabec, Christoph J.	Classification of Additives for Organic Photovoltaic Devices	CHEMPHYSICHEM	2015
6	Ivanova, Alesja; Fominykh, Ksenia; Fattakhova-Rohlfing, Dina; Zeller, Patrick; Doeblinger,	Nanocellulose-Assisted Formation of Porous Hematite Nanostructures	INORGANIC CHEMISTRY	2015

	Markus; Bein, Thomas			
7	Stoib, B.; Greppmair, A.; Petermann, N.; Wiggers, H.; Stutzmann, M.; Brandt, M.S.	Laser-assisted wet-chemical doping of sintered Si and Ge nanoparticle films	ADVANCED ELECTRONIC MATERIALS	2015
2	Kurzweil, Peter; Hildebrand, Andreas; Weiss, Matthias	Accelerated Life Testing of Double-Layer Capacitors: Reliability and Safety under Excess Voltage and Temperature	CHEMELECTROCHE M	2015
2	Kurzweil, Peter; Frenzel, Bernhard; Hildebrand, Andreas	Voltage-Dependent Capacitance, Aging Effects, and Failure Indicators of Double-Layer Capacitors during Lifetime Testing	CHEMELECTROCHE M	2015
6	Binek, Andreas; Hanusch, Fabian C.; Docampo, Pablo; Bein, Thomas	Stabilization of the Trigonal High-Temperature Phase of Formamidinium Lead Iodide	JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY LETTERS	2015
6	Sarauli, David; Wettstein, Christoph; Peters, Kristina; Schulz, Burkhard; Fattakhova-Rohlfing, Dina; Lisdat, Fred	Interaction of Fructose Dehydrogenase with a Sulfonated Polyaniline: Application for Enhanced Bioelectrocatalysis	ACS CATALYSIS	2015
6	Leguy, Aurelien M. A.; Hu, Yinghong; Campoy-Quiles, Mariano; Isabel Alonso, M.; Weber, Oliver J.; Azarhoosh, Pooya; van Schilfgaarde, Mark; Weller, Mark T.; Bein, Thomas; Nelson, Jenny; Docampo, Pablo; Barnes, Piers R. F.	Reversible Hydration of CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbI <sub>3</sub> in Films, Single Crystals, and Solar Cells	CHEMISTRY OF MATERIALS	2015
6	Fominykh, Ksenia; Chernev, Petko; Zaharieva, Ivelina; Sicklinger, Johannes; Stefanic, Goran; Doeblinger, Markus; Mueller, Alexander; Pokharel, Aneil; Boecklein, Sebastian; Scheu, Christina; Bein, Thomas; Fattakhova-Rohlfing, Dina	Iron-Doped Nickel Oxide Nanocrystals as Highly Efficient Electrocatalysts for Alkaline Water Splitting	ACS NANO	2015
6	Kondofersky, Iilina; Dunn, Halina K.; Mueller, Alexander; Mandlmeier, Benjamin; Feckl, Johann M.; Fattakhova-Rohlfing, Dina; Scheu, Christina; Peter, Laurence M.; Bein, Thomas	Electron Collection in Host-Guest Nanostructured Hematite Photoanodes for Water Splitting: The Influence of Scaffold Doping Density	ACS APPLIED MATERIALS & INTERFACES	2015
6	Minar, Norma K.; Docampo, Pablo; Fattakhova-Rohlfing, Dina; Bein, Thomas	Guided in Situ Polymerization of MEH-PPV in Mesoporous Titania Photoanodes	ACS APPLIED MATERIALS & INTERFACES	2015
6	Feckl, Johann M.; Dunn, Halina K.; Zehetmaier, Peter M.; Müller, Alexander; Pendlebury, Stephanie R.; Zeller, Patrick; Fominykh, Ksenia; Kondofersky, Iilina; Doeblinger, Markus; Durrant, James R.; Scheu, Christina; Peter, Laurence; Fattakhova-Rohlfing, Dina; Bein, Thomas	Ultrasmall Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Nanocrystals Strongly Enhance Solar Water Splitting on Mesoporous Hematite	ADVANCED MATERIALS INTERFACES	2015

6	Ivanova, Alesja; Fravventura, Maria C.; Fattakhova-Rohlfing, Dina; Rathousky, Jiri; Movsesyan, Liana; Ganter, Pirmin; Savenije, Tom J.; Bein, Thomas	Nanocellulose-Templated Porous Titania Scaffolds Incorporating Presynthesized Titania Nanocrystals	CHEMISTRY OF MATERIALS	2015
3	Singh, Chetan R.; Li, Cheng; Mueller, Christian J.; Huettner, Sven; Thelakkat, Mukundan	Influence of Electron Extracting Interface Layers in Organic Bulk-Heterojunction Solar Cells	ADVANCED MATERIALS INTERFACES	2016
3	Hufnagel, Martin; Fischer, Matthias; Thum-Albrecht, Thomas; Thelakkat, Mukundan	Influence of Fullerene Grafting Density on Structure, Dynamics, and Charge Transport in P3HT-b-PPC61BM Block Copolymers	MACROMOLECULES	2016
3	Hufnagel, Martin; Thelakkat, Mukundan	Simultaneous Morphological Stability and High Charge Carrier Mobilities in Donor-Acceptor Block Copolymer/PCBM Blends	JOURNAL OF POLYMER SCIENCE PART B-POLYMER PHYSICS	2016
3	Mueller, Christian J.; Klein, Tobias; Gann, Eliot; McNeill, Christopher R.; Thelakkat, Mukundan	Azido-Functionalized Thiophene as a Versatile Building Block To Cross-Link Low-Bandgap Polymers	MACROMOLECULES	2016
7	Greppmair, Anton; Stoib, Benedikt; Saxena, Nitin; Gerstberger, Caroline; Müller-Buschbaum, Peter; Stutzmann, Martin; Brandt, Martin S.	Measurement of the in-plane thermal conductivity by steady-state infrared thermography	arXiv:1608.00995v1 [physics.ins-det]	2016
8	Perea, J. Dario; Langner, Stefan; Salvador, Michael; Kontos, Janos; Jarvas, Gabor; Winkler, Florian; Machui, Florian; Goerling, Andreas; Dallos, Andras; Ameri, Tayebah; Brabec, Christoph J.	Combined Computational Approach Based on Density Functional Theory and Artificial Neural Networks for Predicting The Solubility Parameters of Fullerenes	JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY B	2016
7	Schierning, Gabi; Stoetzel, Julia; Chavez, Ruben; Kessler, Victor; Hall, Joseph; Schmechel, Roland; Schneider, Tom; Petermann, Nils; Wiggers, Hartmut; Angst, Sebastian; Wolf, Dietrich E.; Stoib, Benedikt; Greppmair, Anton; Stutzmann, Martin; Brandt, Martin S.	Silicon-based nanocomposites for thermoelectric application	PHYSICA STATUS SOLIDI A-APPLICATIONS AND MATERIALS SCIENCE	2016
10	Ji, Yanfeng; Hui, Fei; Shi, Yuanyuan; Iglesias, Vanessa; Lewis, David; Niu, Jiebin; Long, Shibing; Liu, Ming; Hofer, Alexander; Frammelsberger, Werner; Benstetter, Guenther; Scheuermann, Andrew; McIntyre, Paul C.; Lanza, Mario	Characterization of the photocurrents generated by the laser of atomic force microscopes	Review of Scientific Instruments	2016
3	Singh, C. R.; Honold, T.; Gujar, T. P.; Retsch, M.; Fery, A.; Karg, M.; Thelakkat, M.	The role of colloidal plasmonic nanostructures in organic solar cells	PHYSICAL CHEMISTRY CHEMICAL PHYSICS	2016

**Konferenzbeiträge**

<b>TP</b>	<b>Autoren</b>	<b>Titel</b>	<b>Konferenz</b>	<b>Jahr</b>	<b>Ort</b>
4	Antalyali, G.; Staab, T. E. M.	Hybrid Capacitors on Smart Grids and Regenerative Energy Technologies	16th Ulm Electrochemical Talks	2016	Ulm
5	Sperr, D.; Grunewald, K.; Reichenberger, M.	Printed thermoelectric structures of PEDOT:PSS	6th Applied Research Conference ARC 2016	2016	Augsburg
5	Grunewald, K.; Bahr, J.; Hofmann, F.; Kravchuk, O.; Reichenberger, M.	Thermoelectric characterization of polymer based printed thermoelectric structures on flexible substrates	8th International Exhibition and Conference for the Printed Electronic Industries	2016	München
7	Greppmair, A.; Gerstberger, S.; Stoib, B.; Saxena, N.; Müller- Buschbaum, P.; Stutzmann, M.; Brandt, M.S.	In-plane thermal conductivity of thin films measured by steady- state infrared thermography	Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)	2016	Regensbu rg
7	Greppmair, A.; Gerstberger, C.; Saxena, N.; Müller- Buschbaum, P.; Brandt, M.S.	Thermal Conductivity of Thin Films Determined via IR Thermography: The Influence of Doping	Gordon Research Conference (GRC) on Defects in Semi- conductors	2016	New London, USA
10	Benstetter, G.; Hofer, A.; Berthold, T.; Greppmair, A.; Brandt, M.S.	Nanoscale characterization of laser-sintered Ge nanoparticle layers	nanoFIS 2016 - Functional Integrated nano Systems	2016	Graz, Österreich
10	Benstetter, G.; Hofer, A.; Berthold, T.; Greppmair, A.; Brandt, M.S.	Nanoscale electrical conductivity of laser- sintered Ge nanoparticle layers	The 8th International Conference On Technological Advances Of Thin Films and Surface Coatings	2016	Singapur
5	Grunewald, Kristina; Bahr, Joachim; Hofmann, Florian; Kravchuk, Oleksandr; Reichenberger, Marcus	Characterization of polymer and silver printed thermoelectric generators		2015	Portland, USA
10	Schiebl, K.	Analysis of SAM layers and nanostructured thermoelectric materials with Atomic Force Microscopy	Applied Research Conference	2015	Nürnberg
10	Benstetter, G.; Hofer, A.; Greppmair, A.; Brandt, M.S.	A review of physical charac-terization methods for nanostructured thermoelectric materials	3rd International Congress on Energy Efficiency and energy Related Materials (ENEFM)	2015	Oludeniz, Türkei

4	Antalyali, G.; Staab, T. E. M; Guntow, U.	Hybrid Capacitors for Smart Grids – Improved Energy Storage	17th International Conference on Positron Annihilation ICPA-17	2015	Wuhan, China
7	Greppmair Anton; Stoib, Benedikt; Petermann, Nils; Wiggers, Hartmut; Stutzmann, Martin; Brandt, Martin S.	Microscopic Infrared Thermography of Meso-Porous Thin Films from Laser- Sintered Group-IV Nanoparticles	MRS Spring Meeting	2015	San Francisco, Kalifornien , USA
10	Schiebl, K.; Hofer, A.; Benstetter, G.	Atomic Force Microscopy analysis of laser-sintered Germanium nanoparticles for thermoelectric applications	3rd International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials	2015	Oludeniz, Türkei
4	Wagener, R.; Guntow, U.; Trapp, V.; Staab, T. E. M.	Influence of separator and activated carbon material choice on a hybrid capacitor system	Fachtagung "Kraftwerk Batterie"	2014	Münster
7	Greppmair, A.; Stoib, B.; Langmann, T.; Petermann, N.; Wiggers, H.; Stutzmann, M.; Brandt, M.S.	Thermoelectric properties of meso- porous thin films from laser-assisted wet- chemically doped group-IV nanoparticles	Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)	2014	Dresden
7	Stoib, B.; Greppmair, A.; Petermann, N.; Wiggers, H.; Stutzmann, M.; Brandt, M.S.	Laser-Assisted Wet- Chemical Doping Applied to Films of Si and Ge Nanoparticles	MRS Spring Meeting	2014	San Francisco, Kalifornien , USA

### Buchbeiträge

TP	Autoren	Titel	Herausgeber	Buchtitel	Jahr
2	Kurzweil, Peter	Electrochemical Double-layer Capacitors	Moseley, Patrick T.; Garche, Jürgen	Electrochemical Energy Storage for Renewable Sources and Grid Balancing	2014
2	Kurzweil, Peter; Dietlmeier, Otto K.	Doppelschichtkonden- satoren	Kurzweil, Peter; Dietlmeier, Otto K.	Elektrochemische Speicher	2015

### Weitere Beiträge

TP	Typ	Titel	Jahr	Erschienen bei
4, 8, 9	Internetmeldung	Nano-Forschung aus Würzburg für die Umwelt	2013	Uni Würzburg
9	Internetmeldung	Diamant als Energiespeicher	2013	Uni Würzburg
1, 7	Internetmeldung	Startschuss für umfassende Forschung an Nanostrukturen	2013	Technische Universität München

10	Internetmeldung	Neuer Projektverbund zur Nanotechnologie	2013	TH Deggendorf
3	Internetmeldung	Diamanten als Energiespeicher	2013	Windkraft Journal
4,8,9	Internetmeldung	Würzburger forschen für die Umwelt	2013	Mainpost
9	Internetmeldung	Superkondensatoren: Nanodiamanten als effiziente Energiespeicher	2013	Der Standard
7	Zusammenfassung	Spatially resolved thermal conductivity mapping	2014	IOP Science
1-10	TUMcampus	Startschuss für Forschung an Nanostrukturen	2014	Technische Universität München
3	Spektrum Universität Bayreuth	UMWELTnanoTECH - Ein bayerischer Projektverbund	2014	Uni Bayreuth
5	Jahresbericht Fakultät EFI	AVT Labor - Generative Produktionsprozesse mittels digitaler Druckverfahren	2014	TH Nürnberg
9	Internetmeldung	Des super condensateurs dopés aux nano-diamants	2014	techniques de l'ingenieur
2	Forschungsbericht	Langzeitstabilität elektrochemischer Speicher unter thermischer Überlast und hoher Spannung: TGA-IR-Studie an Elektrolyt-Systemen	2015	OTH Amberg-Weiden
1-10	IHK Newsletter Energie   Umwelt   Rohstoffe AKTUELL	Nanotechnologie im Freistaat verantwortungsvoll einsetzen	2015	IHK Mittelfranken
6	GIT Labor-Fachzeitschrift	Ultrakleine Nanoteilchen als Katalysatoren für Wasserspaltung	2015	Wiley-VCH, GIT Verlag
1-10	TV-Beitrag	Kurznachrichten	2015	Donau TV
1-10	Zeitungsbericht	Von kleinen Bausteinen und kleinen Schritten	2015	Straubinger Tagblatt
4	Fraunhofer-Magazin weiter.vorn	Leistungsstarke hybride Energiespeicher	2016	Fraunhofer
1-10	Internetmeldung	Scharf: Chancen der Nanotechnologie verantwortungsvoll nutzen	2016	ED-live.de
2	Forschungsbericht	Selbstentladung und Leckstromverhalten elektrochemischer Speicher: Impedanzspektroskopie im Langzeitversuch	2016	OTH Amberg-Weiden
2	Forschungsbericht	Laserstrukturierte Funktionsschichten für elektrochemische Energiespeicher auf Basis redoxaktiver Metalloxide	2016	OTH Amberg-Weiden

### Beiträge in Vorbereitung

TP	Autoren	Typ	Titel	Jahr	Erscheint bei
2	Kurzweil, Peter	Forschungsbericht	Ladezustand von Stromspeichern: Impedanzspektroskopische	2017	OTH Amberg-Weiden

			Kapazitätsbestimmung an Akkumulatoren und Kondensatoren		
10	Benstetter, G.; Hofer, A.; Liu, D.; Frammelsberger, W.; Lanza, M.	Buchbeitrag	Fundamentals of CAFM Operation Modes (in: Conductive Atomic Force Microscopy. Applications in Nanomaterials)	2017	Wiley
8	Perea, J. Dario; Langner, Stefan; Ameri, Tayebbeh; Brabec, Christoph J.	Buchbeitrag	Solubility and Miscibility for Diluted Polymers and their Extension to Organic Semiconductors (in: The Encyclopedia of Physical Organic Chemistry)	2016	Wiley

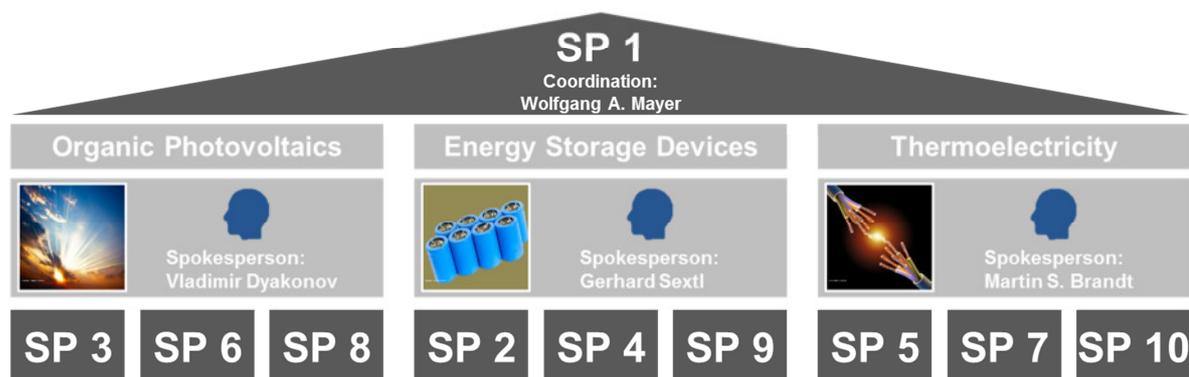
Darüber hinaus werden weitere Beiträge aus mehreren Projekten zur Veröffentlichung vorbereitet.

## A2: Englische Übersetzungen wichtiger Inhalte

### Struktur des Internetauftritts

- ▶ Home (including scrollable news area)
- ▶ Project Association
  - Objectives
  - Structure
- ▶ Subprojects
  - Status at Kick-Off
  - Status at Interim Assessment
- ▶ Information
  - Events
  - Publications
  - Links
- ▶ Image Galleries
  - Kick-Off Event
  - Interim Assessment
- ▶ Videos

### Verbundstruktur

Bavarian State Ministry of the  
Environment and Consumer Protection**Projekttitlel**

Deutsch	Englisch
Koordinierung	Coordination
Organische Photovoltaik	Organic Photovoltaics
Energiespeicher	Energy Storage Devices
Thermoelektrizität	Thermoelectricity
Koordinierungs- und Forschungsvorhaben zum Projektverbund „Umweltverträgliche Anwendungen der Nanotechnologie“	Coordination and research project for the project association "Environmentally compatible applications of nanotechnology"
Bessere Effizienz und Stabilität organischer Halbleiterschichten	Improved efficiency and stability of organic semiconductor layers
Nanostrukturen für umweltfreundliche Hybrid-Photovoltaikzellen	Nanostructures for environmentally friendly hybrid solar cells
Umweltverträgliche hocheffiziente organische Solarzellen	Environmentally friendly, high efficiency organic solar cells
Nanostrukturierte Zellkomponenten für reversible Energiespeicher mit verbesserter Lebensdauer (Superkondensatoren)	Nanostructured cell components for reversible energy storage devices with an improved service life (supercapacitors)
Hybridkondensatoren für smart grids und regenerative Energietechnologien	Hybrid condensers for smart grids and regenerative energy technologies
Ultraschnelle elektrische Speicher auf Basis von Nanodiamantkompositen	Ultra-fast electrical energy storage devices based on nanodiamond composites
Drucktechnologien zur Herstellung thermoelektrischer Generatoren	Printing technologies for thermoelectric generators
Nanostrukturierte thermoelektrische Materialien	Nanostructured thermoelectric materials
Optimierung der Analytik nanostrukturierter Schichten	Optimization of the analytics of nanostructured layers

## A3: Themenmodellierung – Zuordnung von Ausdrücken zu Themen

**Tabelle 6:** Übersicht über die 50 wichtigsten Ausdrücke je Thema des LDA-Modells. Die Ausdrücke sind nach absteigender Wichtigkeit für das Thema sortiert. Die Themen werden nach Durchsicht manuell benannt.

topic 0	topic 1	topic 2	topic 3	topic 4	topic 5	topic 6	topic 7	topic 8	topic 9
biology	methods & applications	optics	nanoparticles	complex chemistry & analytics	vacuum physics	solid state physics	thin films	quantum physics	surface analytics
cells	based	quantum	nanoparticles	complexes	ion	energy	films	quantum	surface
cell	new	optical	polymer	structure	mass	calculations	si	magnetic	surfaces
protein	applications	laser	particles	center	gas	electronic	thin	spin	adsorption
single	used	light	carbon	crystal	high	state	growth	field	layer
molecular	method	electron	size	dot	pressure	molecular	temperature	model	gold
dna	using	emission	properties	reaction	rate	states	film	two	au
proteins	systems	single	poly	two	plasma	electron	ray	dynamics	graphene
gene	high	high	nm	ii	ions	structure	high	phase	microscopy
human	materials	solar	nanotubes	compounds	water	spectra	electron	theory	self
binding	imaging	band	particle	complex	time	experimental	properties	system	metal
expression	methods	dots	using	single	similar	density	phase	one	force
patients	approach	nm	materials	ray	temperature	molecules	layer	states	spectroscopy
two	use	well	high	nmr	low	results	deposition	state	ag
study	detection	field	silica	molecular	conditions	theory	layers	results	substrate
analysis	molecular	current	synthesis	metal	formation	using	diffraction	dimensional	pt
specific	application	dot	different	ligand	diffusion	energies	structure	effects	films
activity	well	charge	prepared	synthesis	species	dynamics	microscopy	systems	formation
results	different	devices	tio2	structures	flow	functional	silicon	time	molecules
genes	system	gaas	shell	groups	observed	transfer	fe	coupling	scanning
using	single	semiconductor	oxide	co	data	cluster	degrees	well	film
membrane	properties	absorption	water	group	using	molecule	grown	effect	interface
different	potential	excitation	core	spectroscopy	results	quantum	nm	order	structure
vitro	design	based	nanoparticle	iii	range	clusters	surface	simulations	atomic

associated	techniques	temperature	process	formation	different	atoms	substrate	interaction	monolayer
cancer	analysis	time	based	ligands	concentration	model	using	show	electrochemical
receptor	drug	efficiency	surface	bis	mu	vibrational	thickness	temperature	monolayers
type	novel	cells	used	molecules	energy	data	annealing	energy	co
beta	developed	energy	coating	solution	measurements	excited	substrates	transport	electrode
may	development	two	microscopy	acid	ms	calculated	strain	transition	pd
also	chemical	zno	solution	fe	radiation	theoretical	deposited	study	different
vivo	resolution	photon	formation	one	measured	two	magnetic	function	electrodes
genetic	fluorescence	voltage	phase	hydrogen	co2	study	observed	scattering	molecular
disease	control	low	matrix	compound	rates	ab	investigated	fields	contact
species	review	photoluminescence	electron	state	spectrometry	spectroscopy	formation	density	layers
showed	data	using	material	angstrom	oxygen	chemical	low	effective	assembled
found	performance	carrier	obtained	mu	carbon	charge	structural	particle	oxidation
tumor	nps	measurements	polymers	coordination	irradiation	bond	samples	also	adsorbed
cellular	information	effect	investigated	degrees	laser	single	amorphous	single	observed
peptide	present	observed	morphology	diffraction	distribution	level	temperatures	behavior	potential
identified	also	structures	composite	solid	higher	band	epitaxial	non	water
tissue	biological	hole	temperature	analysis	model	potential	al	properties	oxygen
studies	time	spectroscopy	pore	new	experiments	initio	grain	approach	two
revealed	research	device	porous	characterized	study	ground	energy	finite	using
one	devices	mode	concentration	interactions	hydrogen	well	spectroscopy	find	oxide
alpha	processes	properties	stability	properties	found	interaction	beam	wave	deposition
acid	recent	show	composites	cl	reaction	dft	cu	experimental	organic
data	allows	exciton	block	reactions	values	excitation	crystalline	lattice	thin
treatment	technique	gap	effect	synthesized	co	found	different	interactions	afm
within	presented	frequency	diameter	structural	two	ev	measurements	numerical	charge
however	important	wavelength	aqueous	form	molecular	absorption	oxide	relaxation	substrates