

Preise für hervorragende wissenschaftliche Leistungen – elf ausgezeichnete Dissertationen

Preisverleihung 7. Mai 2014 ■ Vereinigung von Freunden der TU Darmstadt e.V.



1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	1
2	Dr. Sebastian Dreher Rechts- und Wirtschaftswissenschaften	2
3	Dr. Franziska Müller Geistes- und Geschichtswissenschaften	4
4	Dr. Carsten Büniger Humanwissenschaften	5
5	Dr.-Ing. Delphine Christin Informatik	7
6	Dr.-Ing. Yong Cheng Elektrotechnik und Informationstechnik	9
7	Dr.-Ing. Alexander Duchmann Maschinenbau	11
8	Dr. Anna-Livia Pfeiffer Architektur	13
9	Dr. Stephan Jacob Ehlen Mathematik	14
10	Dr. Georg Heinze Physik	15
11	Dr. Volker Schmidts Chemie	16
12	Dr.-Ing. Robert Dittmer Material und Geowissenschaften	17

Titel der Dissertation

"Ausgewählte Problemfelder der Marktorientierung: Die Bedeutung von Dienstleistungen und Topmanagern für die Marktorientierung von Unternehmen"

Kurzzusammenfassung

Einleitung: Der Ausgangspunkt der Dissertation ist die Feststellung, dass schnelle Veränderungen in der Umwelt von Unternehmen deren Marktorientierung sowie die darauf aufbauende Entwicklung von Innovationen erschweren. In diesem besonderen Umfeld führen klassische Ansätze der marktorientierten Unternehmensführung oft zu keiner Steigerung der Innovativität und können sogar kontraproduktiv sein. Auf Basis dieser Beobachtung ist es die Zielstellung der Arbeit, Erkenntnisse durch die Betrachtung von Forschungsströmen zu gewinnen, die über die klassische Marktorientierungsliteratur hinausgehen.

Ein zu beobachtendes Problemfeld in der Unternehmenspraxis ist die mangelhafte Fähigkeit von Unternehmen, relevante Informationen über die Bedürfnisse von Kunden zu generieren. Hier kommt es häufig zu Kommunikationsproblemen, so dass Kunden zwar nach ihren Meinungen befragt werden, Unternehmen aus diesen jedoch keine Innovationen entwickeln können. Andererseits ist festzustellen, dass Unternehmen bei dem Angebot von Dienstleistungen einen tiefen Einblick in die Wertschöpfungsprozesse der Kunden bekommen. Um alternative Möglichkeiten der Informationsgenerierung zu identifizieren, wird in der vorgelegten Arbeit eine Dienstleistungsperspektive verwendet, in dem Konzepte und Erkenntnisse aus der Dienstleistungsliteratur aufgezeigt und weiterentwickelt werden.

Ein weiteres Problemfeld in der Unternehmenspraxis stellen Fehler bei der Interpretation von Marktinformationen dar. Gravierende Folgen haben Fehlinterpretationen vor allem dann, wenn diese auf Topmanagementebene geschehen. Der strategische Fehler von Nokia, ehemaliger Marktführer für mobile Endgeräte, das Smartphone mit HD-Touchscreen des Konkurrenten Apple nicht als Gefahr zu werten, hat einen geschätzten Kursverlust von ca. 70% für Nokia zur Folge. Um neue Erkenntnisse, insbesondere über die Rolle der Topmanager bei diesem Sachverhalt zu erlangen, werden bei dieser Fragestellung Elemente der Topmanagementforschung betrachtet. Insgesamt nimmt die vorgelegte Arbeit eine Dienstleistungs- und eine Topmanagerperspektive ein, um Limitationen der aktuellen Marktorientierungsliteratur zu adressieren.

Grundlagen: In Vorbereitung auf die empirischen Studien werden in einem umfassenden Grundlagenteil konzeptionelle und theoretische Grundlagen zur Dienstleistungs- sowie Topmanagementforschung dargelegt. In der Dienstleistungsperspektive erfolgt ein Überblick über die Dienstleistungs- und Dienstleistungsinnovationsforschung. Bei der Betrachtung des Phänomens Service Infusion wird deutlich, dass Dienstleistungen vor allem im Business-to-Business (B2B) Bereich eine große Rolle spielen und sich stark vom Business-to-Consumer Bereich unterscheiden. Aus theoretischer Sicht wird mit der Service-Dominant Logic eine aktuelle Theorie behandelt, die durch ihre Darstellung der Interaktion von Kunde und Unternehmen einen wichtigen Erklärungsbeitrag für die Arbeit liefert. Der Grundlagenteil schließt mit der Erkenntnis, dass bisherige in der Literatur verwendete Begriffe zur Beschreibung der Interaktion zwischen Kunde und Unternehmen inkonsistent und widersprüchlich sind.

Aus einer Topmanagementperspektive werden relevante Arbeiten der Topmanagement- und Marketingforschung aufgezeigt, die sich mit dem Einfluss von Topmanagern auf strategische Entscheidungen beschäftigen. Zentraler theoretischer Ansatz ist die „Upper Echelons“-Theorie. Diese beinhaltet ein detailliertes Modell zur Beschreibung des Entscheidungsverhaltens von Topmanagern, das Rückschlüsse auf die Entstehung von Fehlinterpretationen erlaubt. Selbstkonzepte werden als zentrale

Erklärungsvariable für das Entscheidungsverhalten von Topmanagern identifiziert. Durch einen umfassenden Literaturüberblick werden verschiedene Konstrukte voneinander abgegrenzt und die Überschätzung und Selbstzentrierung von Topmanagern als relevante Untersuchungsvariable für die empirische Untersuchung identifiziert.

Empirische Untersuchung: Den Kern der Dissertation bilden zwei empirische Studien. Die erste empirische Studie der Dissertation untersucht den Einfluss der Individualisierung von Dienstleistungen und klassischen Marktforschungsmethoden auf die Dienstleistungsinnovativität von Unternehmen. Die Studie stützt sich auf Daten von 113 Dienstleistungsanbietern im B2B-Kontext. Entgegen der in der Literatur vielfach postulierten monotonen Effekte, die einer „je mehr ... desto besser“-Logik folgen, belegt eine Regression signifikante nichtmonotone Effekte. Die Ergebnisse der Dissertation zeigen erstmals, dass die Individualisierung von Dienstleistungen ein wichtiger Ansatzpunkt für Unternehmen ist, um Ideen für neue Dienstleistungen zu generieren. Während dieser Effekt lediglich bei hohen Intensitäten rückläufig ist, kann die Verwendung klassischer Marktforschungsmethoden für B2B-Dienstleister insgesamt sogar zu einer Verringerung der Innovativität führen.

Der Einfluss von Topmanagern auf die Innovativität von Unternehmen ist Gegenstand der zweiten empirischen Studie, bei der dyadische und longitudinale Daten von 229 Topmanagern und über 600 ihrer Mitarbeiter genutzt werden. Unter der Einführung des Konstrukts der übersehenen Marktgefahren zeigt ein Strukturgleichungsmodell, dass nicht die mangelnde Ressourcenausstattung eines Unternehmens, sondern die Eigenschaften von Topmanagern zu Fehlern bei der Interpretation von Marktsituationen führen. Die Konsequenz ist eine verringerte Innovativität von Unternehmen. Die Erfassung und Auswertung persönlicher Topmanagereigenschaften in der zweiten Studie belegt, dass die Überschätzung und Selbstzentrierung von Topmanagern für das Übersehen von Marktgefahren verantwortlich ist. Diese Erkenntnis bereichert sowohl die praktische als auch die wissenschaftliche Diskussion in der häufig gefordert wird, dass Unternehmen visionäre und dominante Topmanager brauchen, um innovativ zu sein. Die Dissertation zeigt im Gegensatz, dass Topmanager ihre Markteinschätzungen stärker hinterfragen bzw. Feedback aus ihrem beruflichen Umfeld einholen sollten, um fundierte Markteinschätzungen zu treffen und die Innovativität ihrer Unternehmen zu steigern.

Implikationen für Wissenschaft und Praxis: Über die Erkenntnisse der empirischen Studien hinaus liefert die vorgelegte Arbeit wertvolle Beiträge für Wissenschaft und Praxis zugleich. Aus wissenschaftlicher Sicht ist festzuhalten, dass Problemfelder der Marktorientierung adressiert werden, die bisher weitestgehend vernachlässigt worden sind. Insbesondere die Untersuchung von B2B-Dienstleistungen ist ein Feld, das bisher zu wenig Anerkennung erhalten hat. Die Betrachtung der Rolle von Topmanagern ist bisher ebenfalls nicht konsequent untersucht worden, stellt aber einen wichtigen Weg dar, um eine stärkere Relevanz wissenschaftlicher Erkenntnisse für die Unternehmenspraxis zu gewährleisten.

Aus Praxissicht wird aufgezeigt, warum altbewährte Methoden der Marktorientierung nicht für turbulente Marktveränderungen geeignet sind und daher durch Unternehmen mit Vorsicht eingesetzt werden sollten. Durch die Betrachtung der Dienstleistungs- und Topmanagementforschung werden alternative Methoden und Ansichten zur Innovationsgenerierung erarbeitet. Insgesamt ist festzustellen, dass Unternehmen durch die Erbringung individualisierter Dienstleistungen innovationsrelevantes Wissen aufbauen können und Führungskräfte sich und ihre eigenen Markteinschätzungen stärker hinterfragen sollten, um langfristig ein überlegenes Produktprogramm ihres Unternehmens sicherzustellen.

Titel der Dissertation

"Gouvernementalität und Normative Macht in den EU-AKP-Beziehungen"

Kurzzusammenfassung

Die Dissertation von Franziska Müller untersucht die Neugestaltung der Beziehungen zwischen der Europäischen Union und der Gruppe der AKP-Staaten; 78 in Afrika, der Karibik und dem Pazifik gelegenen ehemaligen Kolonien der EU-Mitgliedsstaaten. Empirisches Beispiel ist die Southern African Development Community und die seit 2002/2003 laufenden Verhandlungen zu den Economic Partnership Agreements. Analysiert wird,

- wie sich das europäische Selbstverständnis einer "normativen Macht" konstituiert,
- wie die EU dies in der Reorganisation ihrer Außenhandelsbeziehungen zum Ausdruck bringt,
- wie Prozesse des Normtransfers verlaufen, wann und wodurch sie gelingen bzw. scheitern, sowie
- welche Praxen der Normzurückweisung oder hybriden Normaneignung sichtbar werden.

Das theoretische Erkenntnisinteresse gilt dabei einer kritischen Reflexion und Weiterentwicklung der Debatte um „Normative Power Europe“ im Sinne einer poststrukturalistisch und postkolonial inspirierten Governance- und Normenforschung. Die Arbeit kommt zu folgenden Ergebnissen:

- Im Laufe des Verhandlungsprozesses zeichnet sich eine Veränderung des Verhältnisses von EU und AKP-Staaten ab: weg vom Idealtyp des nachkolonialen, bedürftigen, ressourcenreichen Entwicklungsstaats hin zum Idealtyp des scheinbar gleichen Partners.
- Gleichzeitig findet ein Wandel der Regierungsweisen hin zum Modus eines liberalisierten, flexiblen Regierens statt, bei dem die Akteursbeziehungen durch ein Oszillieren zwischen scheinbarer Partnerschaftlichkeit und normativer/diskursiver Hegemonie gekennzeichnet sind.
- Normative Macht wird entlang des Verhandlungsprozesses intensiv genutzt und manifestiert sich als Definitionsmacht über den Verlauf von Integrationsprozessen, sowie darin, Lernprozesse mit dem Ziel einer Normübernahme zu initiieren. Unter dem Primat der Handelsliberalisierung dient normative Macht dazu, strittige Aspekte der Liberalisierungsvorhaben normativ zu unterfüttern und als primär von entwicklungspolitischen Motiven geleitetes Vorhaben zu präsentieren.

Normative Macht ist dabei zusehends umkämpft. Seitens der SADC-Staaten lassen sich Praxen der Normzurückweisung und Kontestation nachweisen. Das Vorhaben eines "fortgeschritten liberalen Regierens", welches tief in die wirtschafts- und handelspolitische Souveränität der AKP-Staaten eingreift, wird zusehends kritisch gesehen und die Rolle der EU als partnerschaftlicher "benign hegemon" ist diskreditiert.

Titel der Dissertation

„Die offene Frage der Mündigkeit. Studien zur Politizität der Bildung“

Kurzzusammenfassung

Wer gegenwärtig in wissenschaftlicher Absicht über Bildung nachdenkt, der bekommt es mit einem irritierenden Phänomen zu tun: Nicht nur ist der mit Bildung bezeichnete Sachverhalt schwierig zu bestimmen, wobei schon die Vorstellung von einem ‚Sachverhalt‘ im Zusammenhang mit Bildung schnell an Grenzen stößt. Irritierend ist vielmehr die enorme Verbreitung, die die Bildungsvokabel ungeachtet dieser Schwierigkeiten gefunden hat. Es scheint nicht wichtig zu sein, ein genaues Verständnis von Bildung zu haben; es reicht der Eindruck, dass Bildung etwas ist, das ‚allen‘ nutzt. Schließlich dient – so möchte man angesichts der vielfältigen öffentlichen Verlautbarungen und wiederkehrenden Debatten in den Medien meinen – Bildung der individuellen Entfaltung ebenso wie dem nationalen Wirtschaftsstandort, der frühkindlichen Entwicklung wie auch einer demokratischen Grundhaltung, den eigenen Aussichten auf dem Arbeitsmarkt wie auch zum Abbau sozialer Ungleichheiten usw. Es spricht also einiges dafür, von einer inhaltlichen Entleerung des Bildungsbegriffs auszugehen: Sofern Bildung in den verschiedensten Zusammenhängen relevant und als Erklärungs- wie Lösungsmuster beansprucht wird, geht dies notwendig einher mit einem Verlust an Bedeutungsschärfe.

Die Dissertation reagiert auf die vielfältigen gesellschaftlichen Beanspruchungen von ‚Bildung‘, indem sie die systematische Perspektive bildungstheoretischer Reflexion herausstellt. Dabei wird eine Argumentationslinie verfolgt, in der die verlorene Bedeutungsschärfe von ‚Bildung‘ gerade nicht anhand bloß idealisierter und normativ vereindeutigter Bildungsvorstellungen zurückzugewinnen gesucht wird. Anstatt akademische Bildungstheorie und gesellschaftliche Bildungsbeanspruchung als zwei getrennte Verwendungsformen des Bildungsbegriffs gegenüber zu stellen, wird Bildungstheorie als Reflexionsform verstanden, die Bildung in sozialen und gesellschaftlichen Zusammenhängen begreift. Bildungsprozesse sind dann nicht jenseits ihrer gesellschaftlichen Beanspruchung angesiedelt, sondern müssen vor dem Hintergrund ihrer sozialen Eingebundenheit und Funktionalität gedacht werden. Gleichzeitig aber sind die in der bildungstheoretischen Tradition mit Bildung verbundenen Konzepte der Subjektwerdung als Bemühung zu verstehen, Subjektivität und die Prozesse ihrer Veränderung unter dem Aspekt zu beschreiben, in dem sie in den Bedingungen sozialer Immanenz nicht aufgehen. Zum genuinen Einsatzpunkt der Bildungstheorie gehört die Frage nach den Denkmöglichkeiten der Freiheit als Unterbrechung verselbständigter Gewohnheiten wie als Überschreitung der Verstrickung in soziale Zwänge. So sind die traditionellen Bezugspunkte der Bildungstheorie – wie Individualität, Autonomie, Selbstbestimmung, Identität, Authentizität usw. – selbst als kritische Kategorien zu verstehen, mit denen die Möglichkeit von subjektiven Distanznahmen und Freiheitsräumen innerhalb der Vergesellschaftungszusammenhänge zu begründen gesucht wird. Damit ist ein spannungsreiches und widersprüchliches Feld angedeutet, das das Bildungsdenken nicht zur Ruhe kommen lässt und aus dem die Notwendigkeit fortwährender Aktualisierung wie systematischer Reflexion resultiert: Wie kann das mit Bildung anvisierte Verhältnis zu den je vorfindlichen sozialen Bedingungen gefasst werden? Wie ist ein solches Verhältnis möglich, wenn Bildung selbst zu einer sozialen Erwartung geworden ist? Die produktive Unruhe des Bildungsdenkens folgt aus der Uneindeutigkeit und Ambivalenz, die das Verhältnis von Bildung und sozialer Ordnung durchzieht.

In der Dissertation wird dieses spannungsreiche Verhältnis von Bildung und Gesellschaft analysiert und systematisch als ‚Politizität‘ von Bildung gefasst. Die heuristische Denkfigur einer politischen Dimension von Bildungsprozessen zielt darauf, die Beziehung von subjektiven Selbstverhältnissen und sozialer Ordnung als zentrales Themenfeld der Bildungstheorie herauszuarbeiten. Geht es also nicht

darum, Bildung als einen freien Entfaltungsprozess jenseits der machtförmigen Verwicklungen der Selbst und Welt Verhältnisse auszulegen, so ist die Politizität der Bildung in jenem Motiv begründet, die Prozesse werdender und sich wandelnder Subjektivität auf die Möglichkeit der Kritik und Reflexion zu befragen. Das politische Moment von Bildung zu fokussieren bedeutet anders gesagt, die soziale Bedingtheit der Subjektwerdung im Hinblick auf Prozesse zu analysieren, in denen ein Verhältnis zu diesen Bedingungen entstehen kann.

Diese Perspektive einer Politizität von Bildung kommt in der Dissertation auf zwei Weisen zum Tragen. Zunächst wird in Form von rekonstruktiven Studien das Verhältnis von Bildung und Politischem untersucht: Anhand von drei metatheoretisch abgrenzbaren Ansätzen zeitgenössischer Bildungsphilosophie wird im ersten Abschnitt der Arbeit herausgearbeitet, wie sich die politische Dimension der Bildung denken lässt, welche inneren Spannungen von Bildung dadurch jeweils in den Blick genommen werden können. Dafür werden untersucht: a) Die Kritische Bildungstheorie Heinz Joachims Heydorns und Gernot Koneffkes, b) die demokratisch spätmoderne Bildungskonzeption Roland Reichenbachs sowie c) das poststrukturalistische Bildungsdenken Alfred Schäfers.

Die daran anschließende, zweite Fokussierung der Politizität von Bildung, die für die Arbeit zugleich titelgebend ist, geht unter dem Begriff der Mündigkeit der Frage nach, wie sich die Problematik eines kritisch reflexiven Gehalts von Bildungsprozessen gegenwärtig konturieren und systematisch fassen lässt. Wenn nicht von einem immer schon unabhängigen, souveränen und in diesem Sinne mündigen Subjekt ausgegangen wird, sondern im Gegenteil die sozialen Konstitutionsbedingungen von Subjektivität ernst genommen werden, wirft der Bezugspunkt ‚Mündigkeit‘ mehr Fragen auf, als er beantwortet: Wie ein solches reflexives Verhältnis gedacht werden kann und worin das kritische Moment besteht, wenn die mit den Urteilen verbundenen Positionierungen nicht in einer außergesellschaftlichen, ‚transzendentalen‘ Vernunft abgesichert werden können, kennzeichnet die Unklarheiten, in die eine aktuelle Bezugnahme auf Mündigkeit notwendig gerät. Statt diese zu umgehen oder auszublenzen werden die im ersten Abschnitt diskutierten Ansätze des Bildungsdenkens als theoretische ‚Werkzeuge‘ verwendet, um einerseits gerade jene Schwierigkeiten des Mündigkeitsmotivs zu fokussieren und zu präzisieren. Auf diese Weise wird der Bezugspunkt ‚Mündigkeit‘ jedoch andererseits nicht nur zum Gegenstand kritischer Auseinandersetzungen. Vielmehr liegt die zentrale Stoßrichtung des zweiten Abschnitts darin, das kritisch reflexive Moment, für das Mündigkeit seit der aufklärerischen Fassung Immanuel Kants steht, neu zu interpretieren und auf den sozialen Ort von Bildung in der Gegenwart zu beziehen.

Insgesamt wird über das Motiv einer Politizität von Bildung nicht nur der spezifische Beitrag systematischer Bildungstheorie für das Verständnis von Bildungsprozessen entwickelt, sondern auch deren aktuelle Relevanz hinsichtlich einer angemessenen Verhältnisbestimmung von Bildung und Demokratie herausgearbeitet.

Titel der Dissertation

"Privacy in Participatory Sensing - User-Controlled Privacy-Preserving Solutions for Mobile Sensing Applications"

Kurzzusammenfassung

Informations- und Kommunikationstechnologie wird als einer der wichtigsten Wegbereiter zur Verbesserung der Lebensqualität in unserer modernen Gesellschaft gesehen. Insbesondere die verstärkte Einbindung der Bürger in die digitale Welt führt zu neuartigen Möglichkeiten der Erfassung und Verarbeitung nutzergenerierter Inhalte. Gleichzeitig trägt der technologische Fortschritt bei Mobiltelefonen dazu bei, dass die Grenzen zwischen physikalischer Umgebung und der virtuellen Welt nach und nach verschwimmen. So können mit Hilfe von in heutigen Mobiltelefonen eingebetteten Sensoren große Datenmengen über die Umgebung der Nutzer gesammelt werden. Die Integration dieser Daten in die digitale Welt kann zur Realisierung der Vision intelligenter Umgebungen genutzt werden. Diese Vision reicht von intelligenten Gebäuden bis hin zu ganzen intelligenten Städten und darüber hinaus. Eine Realisierung solcher intelligenter Umgebungen ermöglicht die Beteiligung von Milliarden von Einwohnern, etwa zur Erfassung von Lärmbelastigungen, und kann so zu einer signifikanten Verbesserung der Lebensqualität aller führen. Die derartige Sammlung von Messwerten in den so genannten partizipativen Sensornetzen kann jedoch die Privatsphäre der Nutzer gefährden, da durch sie sensible Informationen über die Nutzer, z.B. besuchte Orte, preisgegeben werden können. Die Kenntnis solcher Bedrohungen der Privatsphäre kann die Teilnahmebereitschaft der Nutzer negativ beeinflussen und damit sowohl Quantität als auch Qualität der gesammelten Daten mindern. Es ist daher ein adäquater Schutz der Privatsphäre vonnöten, um entsprechende Nutzerbeiträge zu fördern.

In den meisten existierenden partizipativen Sensornetzen werden die Nutzer in Entscheidungen über den Schutz ihrer Privatsphäre nicht einbezogen, trotz des nachweislich individuellen Charakters des Konzepts der Privatsphäre. Stattdessen werden die Entscheidungen hauptsächlich von Anwendungsadministratoren getroffen und können nicht von Benutzern personalisiert oder ihren Präferenzen entsprechend konfiguriert werden. Zudem beruht die Mehrheit vorhandener Ansätze auf einer zentralen Instanz, die für den Schutz der Privatsphäre der Nutzer verantwortlich ist. Diese zentrale Instanz stellt allerdings nicht nur einen "single point of failure" dar, die Nutzer müssen darüber hinaus auch darauf vertrauen, dass von dieser Instanz keine sensiblen Nutzerinformationen an unbefugte Dritte weitergegeben werden.

Um diese Einschränkungen aufzuheben und somit letztendlich die Beteiligung von Nutzern in partizipativen Sensornetzen zu steigern, werden im Rahmen dieser Arbeit drei Lösungen vorgeschlagen, mit welchen die Nutzer ihre Privatsphäre wirksam schützen und die zugrundeliegenden Mechanismen an ihre eigenen Wünsche anpassen können. Darüber hinaus ist der erzielte Schutz der Privatsphäre in den vorgestellten Verfahren unabhängig von der Vertrauenswürdigkeit eines Anwendungsservers. Zunächst wird eine Lösung zur Verschleierung von Bewegungsmustern vorgestellt, in der Nutzer kollaborieren, um ihre Privatsphäre durch den opportunistischen Austausch zeitlich und örtlich annotierter Sensorwerte zu schützen. Durch diesen Vorgang wird die Verbindung zwischen Nutzeridentitäten und gesammelten Sensorwerten aufgehoben, sodass auch Anwendungsadministratoren auf Basis zur Verfügung gestellter Sensorwerte nicht mehr auf besuchte Orte schließen können.

Die Effektivität der vorgeschlagenen Lösung hängt von der Zusammenarbeit aller beteiligten Nutzer ab. Entsprechend werden zusätzliche Mechanismen vorgestellt, mit denen der Kollaborationsgrad von Nutzern bewertet werden kann und bösartige Nutzer identifiziert und gezielt ausgeschlossen werden können. Durch die Verwendung dieser Mechanismen können Nutzer ihre Strategien zum Datenaus-

tausch anhand von Vertrauensbewertungen und ihren individuellen Präferenzen festlegen.

Schließlich wird im Rahmen dieser Arbeit ein Verfahren vorgestellt, das es einem Anwendungsserver ermöglicht, auf Basis periodischer Pseudonyme die Vertrauenswürdigkeit der übertragenen Sensorwerte ohne Gefährdung der Privatsphäre der Nutzer zu beurteilen. Hierzu wird das Konzept der "Reputationsverschleierung" eingeführt, um zu verhindern, dass Anwendungsadministratoren aufeinanderfolgende Pseudonyme durch eine Analyse ihrer Reputationswerte in Verbindung zueinander bringen können. Durch die Verwendung verschiedener Methoden zur Reputationsverschleierung können die Nutzer selbst das Verhältnis zwischen Anonymität und dem Reputationsverlust, der mit einer Reputationsverschleierung einhergeht, auf Basis ihrer persönlichen Präferenzen festlegen.

Für alle vorgestellten Lösungen wird der erreichte Grad des Schutzes der Privatsphäre mittels umfangreicher Simulationen anhand von realistischen Szenarien untersucht. Außerdem wird die Anwendbarkeit der Lösungen durch Anwendung realer Datensätze und prototypischer Implementierungen evaluiert.

Titel der Dissertation

"Joint Downlink Beamforming and Discrete Resource Allocation using Mixed-Integer Programming"

Kurzzusammenfassung

Mehrantennensignalverarbeitung ist als eine der Schlüsseltechnologien für moderne und zukünftige Mobilfunknetze weit verbreitet. Insbesondere das Multiuser Downlink Beamforming (auch bekannt als Space-Division Multiple Access), bei dem mehrere Teilnehmer mit räumlichen Sendestrahlenbündeln (oder Sende-Beams) in derselben Zeit- und Frequenzressource gleichzeitig bedient werden, erreicht eine hohe spektrale Effizienz bei gleichzeitig reduzierter Sendeleistung. Um das Potential von Multiuser Downlink Beamforming in der Praxis nutzbar zu machen, soll der optimale Beamforming-Entwurf gemeinsam mit der Netzwerkressourcenvergabe durchgeführt werden. Aufgrund der Spezifikationen in Mobilfunkstandards und/oder Einschränkungen bei der Implementierung erfordert die Ressourcenvergabe diskrete Entscheidungen wie z.B. die Basisstationszuordnung (BS Zuordnung), das Scheduling der Teilnehmer und die Zugangskontrolle, adaptive Modulation und Kodierung sowie Codebuch-basiertes Beamforming (Vorkodierung).

Diese Dissertation legt den Schwerpunkt auf die gemeinsame Optimierung von Multiuser Downlink Beamforming und diskreter Ressourcenvergabe in modernen zellularen Mobilfunknetzen. Die Probleme, die in dieser Arbeit untersucht werden, beinhalten sowohl kontinuierliche als auch diskrete Entscheidungsvariablen und werden daher als gemischt ganzzahlige Programme (engl. mixed-integer programs, MIPs) formuliert. Ein systematisches MIP-Rahmenwerk wird entwickelt, um die Probleme anzugehen. Es besteht aus den folgenden vier Komponenten: (i) den MIP Formulierungen, die den Ansatz unterstützen, optimale Lösungen mittels kommerzieller Software-Lösern zu berechnen (Leistungsfähigkeits-Benchmarks), (ii) verschiedener analytische Leistungsfähigkeitsuntersuchungen, (iii) der individuellen Anpassung der Verfahren, um die MIP Löser zu beschleunigen, und (iv) heuristische Algorithmen, die insbesondere für den Einsatz in praktischen Anwendungen eine geringe Rechenkomplexität aufweisen.

Zunächst betrachten wir die simultane Optimierung, Netzwerktopologie und Multi-Cell Downlink Beamformings (JNOB) für Coordinated Multi-Point-Übertragung. Ziel ist es, den gesamten Leistungsverbrauch aller BSs zu minimieren und gleichzeitig die Anforderungen an die Service-Qualität (engl. Quality-of-Service, QoS) der mobilen Teilnehmer (MSs) zu gewährleisten. Eine herkömmliche Mixed-Integer Second-Order Cone Program-Formulierung (MISOCP Formulierung) sowie eine erweiterte MISOCP-Formulierung werden entwickelt, die beide das Branch-and-Cut-Verfahren (BnC-Verfahren) unterstützen. Analysen zeigen, dass die erweiterte Formulierung engere kontinuierliche Relaxierungen zulässt (und somit einen geringeren Rechenaufwand), als die der herkömmlichen Formulierung. Es werden darüber hinaus effektive Strategien entwickelt, um das BnC-Verfahren in den Software-Lösern CPLEX für die Anwendung des JNOB-Problems individuell anzupassen. Rechengünstige Inflations- und Deflationsverfahren werden für groß dimensionierte Anwendungen entwickelt. Die Simulationen zeigen, dass unser Entwurf im Ergebnis dünn besetzte Netzwerktopologien und Teil BS-Kooperation hervorbringt.

Wir untersuchen als nächstes die gemeinsame optimierte diskrete Ratenanpassung und das Downlink Beamforming (DRAB), bei dem die Ratenanpassung mittels Modulations- und Kodierungsverfahren-zuweisung (engl. Modulation and Coding, MCS-Zuweisung) erfolgt. Bei diesem Ansatz ist die Teilnehmersauswahl auf natürliche Weise in MCS-Zuweisung eingebettet. Ziel ist es, die maximale Summenrate mit einem Minimum an abgestrahlter BS-Leistung zu erreichen. Wie für das JNOB-

Problem werden eine herkömmliche und eine erweiterte MISOCP-Formulierung entwickelt und anschließend analytische Vergleiche angestellt. Die Analyse führt auch zu effizienten Anpassungsstrategien für das BnC-Verfahren in CPLEX. Wir entwickeln außerdem schnelle Inflations- und Deflationsverfahren für die Anwendung in groß dimensionierten Netzwerken. Unsere numerischen Ergebnisse zeigen, dass die heuristischen Algorithmen Summenraten liefern, die sehr nahe an den optimal möglichen Summenraten liegen.

Wir richten unsere Aufmerksamkeit dann auf den Codebuch-basierten Downlink Beamformer-Entwurf. Codebuch-basiertes Beamforming kommt in den neuesten Mobilfunkstandards zum Einsatz, z.B. in Long Term Evolution Advanced (LTE-A), um die Signalisierung des gewählten Beamformers zu vereinfachen. Wir betrachten als Erstes das herkömmliche Codebuch-basierte Downlink Beamforming-Problem (SCBF-Problem), bei dem die Zuweisung der Precodingvektoren und die Sendeleistung gemeinsam optimiert werden. Ziel ist es, die Gesamtsendeleistung der BS zu minimieren, während die vorgegebenen QoS-Anforderungen der MSs einzuhalten sind. In unserem Ansatz greifen wir auf ein Virtuelles Uplink-Problem (VUL-Problem) zurück, welches mathematisch äquivalent zu dem betrachteten SCBF-Problem ist. Ein individuell angepasstes Potenzverfahren wird entwickelt, um das Optimum des VUL-Problems, und somit das des SCBF-Problems, zu finden. Um die Leistungsfähigkeit des Codebuch-basierten Downlink Beamformings zu verbessern, schlagen wir ein Kanalverzerrungsverfahren vor, das ohne zusätzliche Signalisierung oder Modifizierung der mobilen Empfänger eingesetzt werden kann. Das gemeinsame Codebuchbasierte Downlink Beamforming- und Kanalverzerrungs-Problem (CBCP-Problem) stellt ein nicht-konvexes MIP dar. Ein alternativer Optimierungsalgorithmus und ein alternatives Zulässigkeitsverfahren werden entwickelt, um das CBCP-Problem näherungsweise zu lösen. Die Simulationsergebnisse bestätigen die Effizienz des Kanalverzerrungsschritts. So wird numerisch gezeigt, dass sich mit dem Verfahren eine erhebliche Reduzierung der Gesamtsendeleistung der BS erreichen lässt.

Wir untersuchen zuletzt das robuste Codebuch-basierte Worst-Case Downlink Beamforming, wobei angenommen wird, dass sich die Kanalinformation an der BS lediglich auf geschätzte Kanalkovarianzmatrizen beschränkt. Ähnlich wie bei dem DRAB-Problem ist die Teilnehmerauswahl in die Auswahl der Precodingvektoren eingebettet. In dem robusten Codebuch-basierten Downlink Beamforming und Zugangskontroll-Problem (RCBA-Problem) ist es das Ziel, die maximale Anzahl an ausgewählten MSs bei minimaler Sendeleistung der BS zu erreichen. Wir entwickeln eine konservative Mixed-Integer Linear Program-Approximierung (MILP-Approximierung) des RCBA-Problems, sowie eine exakte MISOCP-Umformulierung. Ferner entwickeln wir ein recheneffizientes Inflationsverfahren für das RCBA-Problem. Unsere Simulationen zeigen, dass die drei Ansätze nahezu die gleiche durchschnittliche Anzahl an zugelassenen MSs erzielen, wobei die BS bei dem MILP-basierten Ansatz dafür jedoch wesentlich mehr Sendeleistung aufwenden muss, als bei den anderen beiden Ansätzen.

Das MIP-Rahmenkonzept, das in dieser Dissertation entwickelt wird, kann auf eine Vielzahl von diskreten Ressourcenvergabe-problemen in Interferenz begrenzten Mobilfunknetzen angewendet werden. Sowohl optimale Leistungsfähigkeits-Benchmarks als auch praxistaugliche Algorithmen mit geringer Komplexität werden in unserem MIP-Rahmenwerk berücksichtigt. Herkömmliche Ansätze haben sich oftmals nicht mit den exakten diskreten Modellen auseinandergesetzt, sondern die diskreten Variablen mit kontinuierlichen angenähert, was zu hochgradig suboptimalen Lösungen oder unzulässigen Probleminstanzen führen kann.

Titel der Dissertation

"Boundary-Layer Stabilization with Dielectric Barrier Discharge Plasma for Free-Flight Application"

Kurzzusammenfassung

Die Reduzierung des Widerstandes an umströmten Körpern beschreibt ein grundlegendes Problem innerhalb der Aerodynamik, an welchem spätestens seit Beginn der kommerziellen Luftfahrt intensiv geforscht wird. Das gesteigerte Bewusstsein für ökologische Zusammenhänge und die schädlichen Auswirkungen des Luftverkehrs auf die Natur führen bei gleichzeitig steigendem Verkehrsaufkommen zu einer Forderung nach immer geringerem Treibstoffkonsum pro zurückgelegtem Kilometer. Die Disziplin der Aerodynamik spielt eine entscheidende Rolle bei der Effizienzsteigerung zukünftiger Verkehrsflugzeuge. Durch die Reduktion des Gesamtströmungswiderstandes moderner Verkehrsflugzeuge von nur 1% ließe sich der weltweite CO₂ Ausstoß um etwa neun Millionen Tonnen jährlich vermindern.

Die gezielte Kontrolle der Strömung um Flügel und Rumpf eines Flugzeuges bietet das Potential für derartige Verbesserungen. Hierzu wird grundlagenorientiert an verschiedenen Methoden geforscht, die entweder aktiv (d.h. unter Aufwendung von Energie) oder passiv (z.B. durch Veränderung der Oberflächenstrukturen wie die sogenannte „Haifischhaut“) zu einer Veränderung des Strömungszustandes führen. In der Regel ist die Umströmung zunächst laminar und schlägt aufgrund eines hydrodynamischen Instabilitätsmechanismus ins turbulente um. Die auftretenden chaotischen Strömungsstrukturen führen zu einer starken Zunahme der Reibung und damit der Widerstandskräfte am Körper. Ein lohnenswerter Ansatz zur Widerstandsreduktion ist daher die Aufrechterhaltung des laminaren Strömungszustandes.

Vielversprechend ist hierbei der Einsatz dielektrischer Barriere Entladungen. Durch Anlegen einer Hochspannung an sogenannte Plasma Aktuatoren werden Luftmoleküle innerhalb der Strömung ionisiert und beschleunigt. Die wandnahen Bereiche der Strömung werden dadurch mit zusätzlicher Energie versorgt und stabilisiert so dass sie länger den laminaren Zustand beibehält. Dadurch wird insgesamt die turbulent umströmte Fläche des Körpers reduziert und der Gesamtwiderstand sinkt.

Die vorliegende Dissertation zeigt erstmals eine erfolgreiche Anwendung dieser Technologie auf einem manntragenden Flugzeug unter atmosphärischen Bedingungen. Ausgehend von simplifizierenden Windkanaluntersuchungen an einer ebenen Platte, welche das Verständnis für das Wirkprinzip der Reibungsreduktion verbessern, erfolgt eine theoretische Betrachtung des erwähnten Instabilitätsmechanismus und des stabilisierenden Einflusses des Plasma Aktuators. Es zeigt sich hier bereits, dass mit steigender Strömungsgeschwindigkeit der Effekt der Strömungskontrolle abnimmt, und dass die korrekte Positionierung des Plasma Aktuators entscheidend für eine effiziente Nutzung der aufgewandten Energie ist.

Hierzu wird eine computergestützte Methode entwickelt, mit deren Hilfe eine Optimierung der Strömungskontrolle möglich wird. Für ein flugfähiges Experiment auf einem zweisitzigen Motorsegler vom Typ Grob G109, welches am Fachgebiet Strömungslehre und Aerodynamik der TU Darmstadt zur Verfügung steht, wird die ideale Position des Plasma Aktuators berechnet. Die Strömungskontrolle setzt demnach bestenfalls dort an, wo der Instabilitätsmechanismus zu einer ersten Anfachung natürlicher Störungen führt und der Umschlag zur Turbulenz seinen Anfang nimmt.

Um ein Flugexperiment durchzuführen ohne die Struktur des Flugzeugs zu beeinträchtigen wird ein sogenannter Flügelhandschuh entwickelt. Dieser entspricht einem hohlem Flügelsegment, besteht aus modernem kohlefaserverstärktem Kunststoff, beinhaltet die notwendige Messtechnik sowie den Plasma Aktuator und wird wie ein Handschuh über den Flügel des Motorseglers gestreift. Mit Hilfe von oberflächenintegrierten Mikrofonen lässt sich der Ort bestimmen, an welchem die Strömung vom laminaren in den turbulenten Zustand umschlägt. Im Rahmen der Messflüge bei Geschwindigkeiten um die 140km/h wird nachgewiesen, dass sich durch einen einzelnen Plasma Aktuator die laminar umströmte Fläche um 3% vergrößern lässt – und das bei einem Energieaufwand, der mit 40W im Bereich einer regulären Glühbirne liegt.

Rechnungen zeigen, dass dadurch der Gesamtwiderstand des Flügelsegments um 1.9% verringert wird, was ein exzellentes Ergebnis darstellt und die Erwartungen an die erste erfolgreiche Machbarkeitsstudie unter realen Flugbedingungen übertrifft. Derzeit werden im Rahmen einer Nachfolge Promotion weitere Flugversuche mit mehreren Plasma Aktuatoren vorbereitet. Sie sollen eine energieeffizientere Anwendung dieser Strömungskontrollmethode bei noch höheren Strömungsgeschwindigkeiten ermöglichen, um die Technologie in Zukunft für die zivile Luftfahrt nutzbar zu machen.

Titel der Dissertation

"Das Ewige Flüchten – Orte und Räume der Ascheaufbewahrung"

Kurzzusammenfassung

Die Studie untersucht die Debatten um die Feuerbestattung seit Mitte des 19. Jahrhunderts, die Entwicklungsgeschichte ihrer Einführung und die damit verbundenen Architekturen im Deutschen Reich seit den 1870er Jahren. Neben der Erfindung einer pietätvollen Apparatur, um die sich zunächst Friedrich Siemens verdient gemacht hatte, mussten neue Trauerrituale und Gebäudetypen geschaffen werden, die die scheinbaren Gegensätze von Trauer und Technik miteinander verbanden.

Die Leitargumente für die Einführung der Kremation lauteten: Hygiene, technischer Fortschritt, Platzerparnis (Zeitalter der Verstädterung) und Selbstbestimmung über den Tod hinaus. Die erste Generation von Krematisten, so nannte sich die Anhänger dieser Reformbewegung, rekrutierte sich folglich vor allem aus dem gehobenen, aufgeklärten (oftmals anti-kirchlichen) Bildungsbürgertum und orientierte sich bei der Rezeption von Beisetzstätte und architektonischer Gebäudehülle vornehmlich an der Baukunst der Antike. Es galt, sich in den Anfangsjahren deutlich von den konservativen Anhängern der Erdbestattung abzuheben, und so war es eine logische Konsequenz, dass die Grabstätten dem Vorbild des antiken Kolumbariums folgten und dem Verstorbenen eine Urnennische in einem vertikal ausgerichteten Kollektivgrabmal vorbehalten war (Egalitätsgedanke). Bald schon wurde dieser Beisetzmodus „im toten Gemäuer“ kritisiert und die nächste Generation orientierte sich an einer anderen „Leitkultur“: Den Germanen und deren angeblicher Naturverbundenheit. Dies bedeutete zwar eine verstärkte Hinwendung zur Erdbestattung der Urne auf dem Urnenhain, führte jedoch nicht zu einem Bruch mit dem antiken Vorbild des Kolumbariums bzw. dessen Neuinterpretation als Urnenhalle. Dies sollte erst unter den Nationalsozialisten geschehen, die die Feuerbestattung stark förderten. Im Zuge dieses Mentalitätswandels – von der Rezeption antiker Architektur hin zum germanischen Bestattungsort in der Erde – etablierte sich in gewissen völkisch gesinnten Kreisen der ungewöhnliche Kult der „Feuerehrung“. Die Anhänger dieses „Seelenkults“ strebten danach, den „Aschenkult“, also das Zurückbleiben eines materiellen Rests, zu überwinden und forderten die „restlose Feuerehrung“ (die in pervertierter Form in den Krematorien der Konzentrationslager Wirklichkeit wurde). Diese Neuausrichtung der Feuerbestattungszeremonie hatte auch Konsequenzen für die Baugestalt der „zivil genutzten“ Krematorien und den Umgang mit „dem letzten Rest“.

Neben den realisierten Bauwerken, die bis 1911 bzw. 1912 nur in Kleinstaaten des Deutschen Reichs errichtet wurden, da die Kremation in Preußen und Bayern zu diesem Zeitpunkt gesetzlich verboten war, wurden in der vorliegenden Studie auch unrealisierte Entwürfe und Konzepte berücksichtigt, die in dem Betrachtungszeitraum von 1849 (Jacob Grimm, Über das Verbrennen von Leichen) bis 1939 (Fritz Schumacher, Handbuch zur Feuerbestattungsarchitektur) unterbreitet wurden. Diese wort- und bildgewaltigen Ideen spiegeln nicht nur das ungeheure Potential an Gedanken und Phantasien dieser Reformbewegung wider, sondern verdeutlichen, dass etliche Ideen zu innovativen Bestattungsriten und Beisetzorten, die in unser gegenwärtiges Bestattungswesen Einzug erhalten haben, bereits vor hundert Jahren vorgelegt wurden (z.B. die Waldbestattung, Aschewiese).

Titel der Dissertation

"CM values of regularized theta lifts"

Kurzzusammenfassung

In der aktuellen Forschung in der Zahlentheorie spielen Modulformen eine zentrale Rolle. Dies sind Funktionen, die besonders viele Symmetrien aufweisen. Insbesondere besitzen sie eine Fourierreiheentwicklung, deren Koeffizienten oft wichtige arithmetische Informationen kodieren. Zum Beispiel treten Darstellungsanzahlen von quadratischen Formen (Carl Jacobi 1829) oder die Anzahlen von Punkten auf elliptischen Kurven (Andrew Wiles 1994) als Koeffizienten auf. Dieser Zusammenhang hat zu vielen tiefen theoretischen Einsichten geführt und ist auch für praktische Anwendungen etwa in der Kryptographie und der Codierungstheorie von großer Relevanz.

In seiner Dissertation befasst sich Stephan Jacob Ehlen mit harmonischen Maaß-Formen, eine neuen, allgemeineren Klasse von Modulformen. Auch wenn einige dieser Funktionen bereits im Jahre 1919 als „Mock-Thetafunktionen“ im letzten Brief des berühmten indischen Mathematikers Srinivasa Ramanujan an Godfrey Hardy erstmalig Erwähnung fanden, ist ihre Bedeutung erst im vergangenen Jahrzehnt besser verstanden worden.

Ehlen zeigt, dass die Koeffizienten gewisser harmonischer Maaß-Formen durch Logarithmen von algebraischen Zahlen gegeben sind, deren Primfaktorisationen durch die Arithmetik von elliptischen Kurven mit komplexer Multiplikation bestimmt sind. Dieser überraschende Zusammenhang liefert sowohl neue Erkenntnisse über spezielle Werte von Borcherds-Produkten, als auch über die Geometrie von speziellen Zykeln auf Shimura-Varietäten.

Titel der Dissertation

"Eine Festplatte für Licht – Kohärente optische Datenspeicherung in Pr³⁺:Y₂SiO₅ "

Kurzzusammenfassung

Licht ist der mit Abstand wichtigste Informationsträger. Der Mensch nimmt nicht nur seine Umwelt überwiegend durch optische Sinneseindrücke wahr, auch die digitale Kommunikation basiert heutzutage ganz entscheidend auf dem Austausch kurzer Lichtimpulse über optische Glasfaserkabel. Obwohl Daten mittlerweile routinemäßig mittels Licht versandt werden, geschieht deren Speicherung und Verarbeitung aber meist noch auf elektronischem Wege. Um Rechenleistung und Datensicherheit zu erhöhen, wird daher auf dem Gebiet der Quanteninformationsverarbeitung aktiv daran geforscht, Verarbeitung und Speicherung der Daten ebenfalls ins optische Regime zu übertragen.

Ziel meiner Promotion war es, einen optischen Speicher für Lichtpulse zu entwickeln, welcher sich für den Einsatz in der Quanteninformationsverarbeitung eignet und die wichtigen Merkmale einer langen Speicherdauer und einer hohen Speicherkapazität miteinander vereint. Dabei kam als Speichermedium ein spezieller, seltenerd-dotierter Kristall (Pr³⁺:Y₂SiO₅) zum Einsatz, welcher sich durch besonders vorteilhafte spektroskopische Eigenschaften sowie eine einfache Handhabung auszeichnet. Zur Speicherung der optischen Informationen wurde der quantenoptische Effekt der elektromagnetisch induzierten Transparenz (EIT) genutzt, welcher mittels einer Kombination von Laserfeldern die Verlangsamung oder sogar das Stoppen von Lichtpulsen ermöglicht.

Um eine lange Speicherdauer zu verwirklichen, mussten diverse Störeinflüsse unterdrückt werden. Dies wurde mit der erstmaligen Kombination mehrerer Techniken erreicht. Externe statische Magnetfelder erlaubten bei optimierter Richtung und Stärke eine deutliche Reduktion der Sensitivität adressierter Ionen gegenüber äußeren Störungen. Durch spezielle Hochfrequenz-Sequenzen zur dynamischen Entkopplung konnte schließlich die Kohärenzzeit des Systems von anfangs 500 ns auf bis zu eine Minute verlängert werden. Eine direkte Anwendung dieser Techniken auf die EIT-getriebene Lichtspeicherung war aber aufgrund der, durch die statischen Magnetfelder deutlich komplexere Energiestruktur des Kristalls, nicht möglich. Daher wurde das Medium basierend auf Techniken der rückkopplungsgesteuerten Pulsformung mittels evolutionärer Algorithmen, präpariert. Durch die Kombination all dieser Techniken konnte ein Lichtpuls über mehr als 40 Sekunden im Kristall „eingefroren“ werden – die längste bislang gemessene EIT-Lichtspeicherdauer überhaupt.

Die Speicherkapazität wurde durch Aufprägen von transversaler Bildinformation auf den zu speichernden Lichtpuls erhöht. Aufgrund der fehlenden Diffusion im Kristall, konnten die Bilder auch noch nach einer Minute klar ausgelesen werden. Dies übertrifft die bislang erreichten Speicherzeiten von Bildern in atomaren Gasen um über sechs Größenordnungen. Zur weiteren Erhöhung der Speicherkapazität wurden dann Multiplexing-Verfahren aus der klassischen Holographie auf die EIT-getriebene Lichtspeicherung angewandt. Sowohl Frequenzmultiplexing, als auch räumlich selektives Winkelmultiplexing konnten demonstriert und erstmals mit der Bildspeicherung kombiniert werden.

Die in meiner Arbeit erzielten Ergebnisse besitzen eine hohe Relevanz im Bereich der hochkapazitiven optischen Quantenspeicher, denen voraussichtlich eine zentrale Rolle in der digitalen Kommunikation des 21. Jahrhunderts zukommen wird.

Titel der Dissertation

"Entwicklung einer Auswertungssoftware zur Anwendung Residualer Dipolarer Kopplungen in der organischen Strukturaufklärung"

Kurzzusammenfassung

Die Dissertation beschreibt neuartige Methoden der Strukturaufklärung kleiner organischer Moleküle mit Hilfe der Kernmagnetischen-Resonanzspektroskopie (NMR-Spektroskopie). Ziel der Untersuchungen ist die Beschreibung des dreidimensionalen Aufbaus der Moleküle und dessen zeitliche Veränderung. Erst durch eine umfassende Beschreibung der molekularen Struktur und Dynamik werden Aussagen über die Funktion der untersuchten Moleküle zugänglich.

Als experimenteller Parameter dienen dabei Residuale Dipolare Kopplungen (RDCs) – eine besondere Form magnetischer Wechselwirkungen zwischen Atomkernen. Messbar werden diese Kopplungen, wenn das zu untersuchende Molekül eine Vorzugsorientierung erfährt, z.B. in einem Flüssigkristall oder einem gestreckten Polymergel. Um aus derartigen Messdaten Informationen über die Struktur und Dynamik der gelösten Moleküle zu gewinnen, bedarf es geeigneter Auswertungsmethoden und -software, die bis dato nicht zugänglich waren.

Im Rahmen der Dissertation wurde eigens eine neue Auswertungssoftware programmiert und auf aktuelle Fragestellungen in der organischen Strukturaufklärung angewendet. Neben der Bestimmung der Relativkonfiguration stereogener Zentren in Naturstoffen liegt das Hauptaugenmerk auf der Beschreibung der Dynamik konformationell flexibler Systeme, die sich der Analyse durch klassische Methoden meist entziehen. Die so entwickelten Modelle zur Beschreibung der Molekülstrukturen können als Ausgangspunkte weiterer Untersuchungen dienen – beispielsweise als Zielstrukturen organischer Synthesechemie, als Modelle bei der Weiterentwicklung homogener Katalysatoren oder als Leitstrukturen in der Pharmaforschung.

Titel der Dissertation

„Lead-Free Piezoceramics – Ergodic and Nonergodic Relaxor Ferroelectrics Based on Bismuth Sodium Titanate“

Kurzzusammenfassung

Es werden eine Reihe von Fragestellungen zu BNT-basierten Relaxor Ferroelektrika erörtert. Die Grundlage bildet ein breiter experimenteller Ansatz einschließlich elektrischer Charakterisierung, Beugungsmethoden, Piezoantwort-Rasterkraftmikroskopie (PFM) und mechanischen Messungen. Um die allgemeine Gültigkeit der Herangehensweise zu überprüfen, werden zwei Materialien untersucht: das Modellsystem $(1-y)(0,94\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2}\text{TiO}_3-0,06\text{BaTiO}_3)-y\text{K}_0.5\text{Na}_0.5\text{NbO}_3$ (BNT-6BT-100yKNN) und das neu entwickelte $(1-y)((1-x)\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2}\text{TiO}_3-x\text{Bi}_{1/2}\text{K}_{1/2}\text{TiO}_3)-y\text{BiZn}_{1/2}\text{Ti}_{1/2}\text{O}_3$ (BNT-100xBKT-100yBZT).

Es wird gezeigt, dass die feldabhängige Polarisation und Dehnung phänomenologische Ähnlichkeiten zu wohlbekanntem Relaxor Ferroelektrika wie PLZT oder PMN aufweisen. Es wird die Hypothese aufgestellt, dass Zusammensetzungen mit $y=0$ nichtergodische Relaxoren sind, die teilweise korrelierte polare Nanoregionen (PNRs) in einer nominell pseudokubischen Matrix enthalten. Diese PNRs sind eine Folge von Zufallsfeldern aufgrund einer gemischten Besetzung des A-Platzes im Perovskitgitter, z.B. Bi^{3+} und Na^+ sowie Ba^{2+} oder K^+ . Diese Unordnung in der Zusammensetzung geht einher mit verstärkten Zufallsfeldern durch die Ladungsunordnung und Zufallsdehnungsfelder, hervorgerufen durch verschiedene Ionenradien. Durch Anlegen eines ausreichend großen elektrischen Feldes wachsen die PNRs zusammen und bilden ferroelektrische Domänen, die die gesamte Probe durchdringen. Damit ist das gepolte Material makroskopisch nahezu ununterscheidbar von gewöhnlichen Ferroelektrika, da sie nun ebenfalls eine schmetterlingsförmige Dehnungshysterese und eine rechteckige Polarisationskurve aufweisen.

Für $y>0$ sind zusätzliche heterovalente Ionen auf die A- und B-Plätze des Gitters eingefügt. Dadurch werden die Zufallsfelder verstärkt, und der Schwellwert des elektrischen Feldes, das zur Ausbildung der langreichweitigen Ordnung notwendig ist, erhöht sich. Ab einem kritischen Wert für y kann keine stabile langreichweitige Ordnung mehr eingestellt werden, und das Material ist schließlich ergodisch. Hohe elektrische Felder können allerdings immer noch ein Wachsen der PNRs bewirken, was sowohl zu hohen elektrostriktiven Koeffizienten als auch zu hohen Maximalwerten bei Polarisation und Dehnung führt. Es kann nach wie vor ein elektrisches Schwellenfeld existieren, bei dem eine reversible Ausbildung von mikroskopischen Domänen einsetzt. Diese Umwandlung spiegelt sich in einem Knick in der $P(E)$ Kurve wider, der auf einen Mechanismenwechsel hindeutet. Die Ausbildung einer ‚instabilen‘ langreichweitigen Ordnung wird beobachtet für BNT-6BT-3KNN, jedoch nicht für BNT-20BKT-4BZT für Felder bis $6 \text{ kV}\cdot\text{mm}^{-1}$. Während im erstgenannten Fall die $S(E)$ und $P(E)$ Kurven sättigen, ist dies für das letztgenannte Material nicht der Fall, so dass die Großsignalkennwerte auch jenseits von $6 \text{ kV}\cdot\text{mm}^{-1}$ rapide ansteigen können. Übersteigt y den kritischen Wert, nehmen P_{max} und S_{max} ab, was auf den verminderten Volumenanteil der elektrisch aktiven polaren Regionen zurückgeführt wird. Folglich wird für höhere y -Werte ein höheres elektrisches Feld benötigt, um die gleiche Polarisation und Dehnung zu erzeugen.

Die feldabhängigen Kleinsignalkennwerte Piezokonstante $d_{33}(E)$ und Permittivität $\epsilon_{r,33}(E)$ unterstützen diese Interpretation. In nichtergodischen Relaxorzusammensetzungen bildet sich durch die Entstehung der ferroelektrischen Domänen und deren Ausrichtung gemäß dem angelegten elektrischen Feld eine stabile Piezoelektrizität. Gleichzeitig wird die Permittivität bei Nullfeld reduziert, da die Domänenwanddichte abnimmt. Zusammensetzungen mit erhöhtem y , auch als ‚inzipiente Piezokera-

miken‘ bezeichnet, zeigen nennenswerte piezoelektrische Koeffizienten nur unter hohen elektrischen Feldern. Für hohe Konzentrationen an heterovalenten Ionen hängt d_{33} schließlich nahezu linear vom elektrischen Feld ab, und die Permittivität ist nahezu feldunabhängig.

Einen tieferen Einblick in die Relaxoreigenschaften bieten Beugungsmethoden. Im Ausgangszustand ist die mittlere Struktur augenscheinlich kubisch, was in der kleinen Größe der PNRs begründet liegt, die noch unter der Kohärenzlänge der XRD bzw. NRD Experimente liegt. Folgerichtig tragen PNRs nicht zu Braggreflexen im Beugungsbild bei und die mittlere Struktur erscheint unpolar, d.h. metrisch kubisch. Für nichtergodische Relaxorzusammensetzungen zeigt sich die feldinduzierte Ausbildung der langreichweitigen Ordnung anhand einer Reflexverbreiterung und einer merklichen Abweichung von der kubischen Symmetrie. Im Fall von BNT-20BKT induziert ein elektrisches Feld $>3,7 \text{ kV}\cdot\text{mm}^{-1}$ tetragonale und rhomboedrische Verzerrungen. Ein geringer Zusatz ($y=0,02$) an BZT erhöht das elektrische Schwellenfeld, weshalb die Reflexverbreiterung erst bei $4,6 \text{ kV}\cdot\text{mm}^{-1}$ einsetzt. Im Gegensatz dazu bleibt das ergodische BNT-20BKT-4BZT pseudokubisch, was darauf hinweist, dass die PNRs wachsen aber zu klein bleiben um detektiert zu werden. Damit sind die Ergebnisse der in situ Röntgenbeugung im Einklang mit den Großsignalmessungen, die ebenfalls das Fehlen ferroelektrischer Domänen nahelegen.

Das Auffinden einer pseudokubischen Struktur in dem unbehandelten Ausgangszustand impliziert die Abwesenheit von Domänen, was durch PFM Messungen bestätigt wird. Es wird gefolgert, dass die PNRs eine Größe unterhalb der lateralen Auflösung des PFMs besitzen, das heißt kleiner als 10 nm. Überdies kann die Ausbildung der langreichweitigen Ordnung, wie sie durch die in situ XRD Messung suggeriert wird, direkt auf mikroskopischer Ebene durch Anlegen einer DC Spannung an die PFM-Spitze festgestellt werden. Ein Schalten der Polarisation kann durch eine Polarisationsumkehr der Spannung realisiert werden. Wie bereits durch die Großsignalmessungen angedeutet, ist die an der Spitze nötige Spannung für das Erzeugen und Schalten der Domänen in hohem Maße abhängig von y , also dem KNN-Gehalt. Höhere y -Werte resultieren in einem höheren Schwellenwert und in einer höheren Schaltspannung. Interessanterweise können lokale Schaltkurven selbst für stark ergodische Relaxoren wie BNT-6BT-18KNN gemessen werden, wenngleich auch nur bei hohen elektrischen Spannungen. Überdies spiegelt sich die Relaxation der Polarisation in einem zeitabhängigen Verlust der Piezoantwort wider, der einer gestreckten Exponentialfunktion gehorcht, was eine breite Verteilung von Relaxationszeiten bestätigt. Diese Verteilung der Relaxationszeiten äußert sich darüberhinaus auch in der Frequenzabhängigkeit der Großsignalkennwerte.

Die pseudokubische Struktur bleibt auch bei hohen Temperaturen bestehen. Entsprechende Röntgen- und Neutronen-Beugungsbilder zeigen lediglich eine Vergrößerung der Gitterparameter aufgrund thermischer Ausdehnung. Nichtlineares Verhalten des temperaturabhängigen Elastizitätsmoduls $Y(T)$ deutet darauf hin, dass strukturelle Änderungen nur auf einem begrenzten, lokalen Maßstab stattfinden. Im Gegensatz zu Phasenumwandlungen in PZT, wo Y in einem engen Temperaturbereich stark zunimmt, sind die Änderungen in $Y(T)$ für die untersuchten bleifreien Materialien klein und erstrecken sich über einen weiten Temperaturbereich von mehreren hundert Grad. Daraus wird geschlossen, dass nur ein Teil des Volumens tatsächlich einer Umwandlung unterliegt. Die PNRs wandeln in eine kubische Hochtemperaturphase um, die einen höheren E-Modul aufweist. Aufgrund der Zufallsfelder variiert die Stabilität der PNRs, was schließlich zu dem breiten Temperaturbereich führt, in dem sich Y nichtlinear verhält. Gleichzeitig weist die Permittivität ein komplexes temperaturabhängiges Verhalten auf. Bei niedrigen Temperaturen weist eine frequenzdispersive Schulter in $\epsilon_{r,33}(T)$ auf eine Verlangsamung der dipolaren Bewegung hin. Dies steht in Zusammenhang mit der Verteilung der Korrelationslänge der PNRs und der damit verknüpften Verteilung von Relaxationszeiten. Ein Maximum bei hohen Temperaturen zeigt eine, wenn auch kleine und invertierte Frequenzabhängigkeit, d.h. höhere Frequenzen führen zu einem niedrigeren Verlustfaktor $\tan\delta$. Erklärungsansätze für den Verlauf der $\epsilon_{r,33}(T)$ Kurven umfassen Alterung, Raumladungsrelaxation oder einen frustrierten

Domänenzustand, bei dem zwei PNR Spezies vorliegen und folglich zwei Relaxationsbereiche existieren. Keine dieser Hypothesen kann derzeit widerlegt werden und es scheint wahrscheinlich, dass alle drei Effekte in gewisser Weise zu dem charakteristischen Temperaturgang der Permittivität beitragen.

Der thermisch-induzierte Entpolungsvorgang wird weiter untersucht, indem in situ $d_{33}(T)$ Messungen mit temperaturabhängigen Second Harmonic Generation (SHG) Messungen verglichen werden. Bei 140 °C ist die Piezoelektrizität von gepoltem, nichtergodischem BNT-20BKT nahezu vollständig verschwunden, während SHG Messungen immer noch eine von null verschiedene Intensität zeigen und damit die Existenz von polarem Restvolumen belegen. Dieses Resultat legt nahe, dass der Entpolungsprozess aus zwei simultanen Beiträgen besteht. Auf der einen Seite setzt eine ‚Randomisierung‘, also eine zufällige Verteilung, der Polarisationsvektoren ein, weshalb folglich sowohl die Nettopolarisation als auch die makroskopische Piezoelektrizität verschwinden. Auf der anderen Seite brechen Domänen in PNRs auf, die bei weiterer Erwärmung weiter schrumpfen. Das bedeutet, dass das polare Volumen mit steigender Temperatur reduziert wird. Folgerichtig kann anhand der von null verschiedenen SHG Intensität gezeigt werden, dass polares Volumen in Form von PNRs nicht nur oberhalb der Depolarisationstemperatur besteht sondern auch im ungepolten und im ergodischen Relaxorzustand.

Beide bleifreien BNT-basierten Materialsysteme zeichnen sich in bestimmten Anwendungsgebieten aus. Unter hohen elektrischen Feldern übertrifft das Dehnungsverhältnis $S_{max} \cdot E_{max}^{-1}$ sogar weiches PZT. Darüberhinaus kann die maximal erzeugbare mechanische Spannung, die sogenannte Blockierspannung, bis zu 60 % höher sein. Sowohl die hohen Dehnungen als auch die hohen Blockierspannungen sind vorteilhaft für Aktoranwendungen. Außerdem stellt die hohe und nahezu temperaturunabhängige Permittivität in BNT-6BT-100KNN mit hohem KNN-Gehalten einen viel versprechenden Ausgangspunkt für die Entwicklung von Hochtemperatur-Kondensatormaterialien dar. Solch ein Kondensator wird zum Beispiel in Automobilanwendungen benötigt, wo Leistungswandler einen Ladungsspeicher für die Leistungsaufbereitung bei hohen Temperaturen benötigen. Diese Art von spezialisierten, angepassten Lösungen wird zukünftig nicht nur in der Lage sein, die Menge an gefährlichen Substanzen in Konsumentenprodukten zu vermindern, sondern auch den Horizont heutiger Technologien zu erweitern.