



SOFT CONTROL

HESSEN



LOEWE

ABSCHLUSSBERICHT



**LOEWE-Schwerpunkt
SOFT CONTROL – Mit Polymeren an Grenzflächen
Funktionen effizient schalten**

Inhalt

- 2 Statement des Koordinators
- 3 Projektinhalte
- 3 Wissenschaftlich-technische Ausgangslage
- 3 Im Rahmen des LOEWE-Projekts erreichte Erkenntnisse und getätigte Entwicklungen
- 4 Erreichte Strukturentwicklung
- 5 Erreichte Bedeutung/Stellung im Themen-/Forschungsfeld
- 6 Wichtigste Meilensteine des Projekts
- 8 Weitere Informationsmöglichkeiten
- 8 Zahlen und Fakten
- 9 Kurzvorstellung der beteiligten Hochschulen und Forschungsinstitute
- 10 Impressum

Kunststoffe erfahren in jüngster Vergangenheit eine enorme Erweiterung: vom Form und Festigkeit gebenden Strukturmaterial hin zu intelligenten, Funktionen tragenden „Weichen Materialien“ mit besonders hoher Wertschöpfung. Innerhalb dieses aktuellen Themengebiets der Polymerwissenschaften war es das Ziel des LOEWE-Schwerpunkts „*Soft Control – Mit Polymeren an Grenzflächen Funktionen effizient schalten*“, am Standort Darmstadt eine leistungsfähige, national und international sichtbare Forschungslandschaft „Weiche Materie“ auf- und konsequent auszubauen. Während der Laufzeit von *Soft Control* entstanden hierbei innerhalb der Technischen Universität (TU) Darmstadt zwischen den Fachbereichen Chemie, Physik, Biologie, Materialwissenschaft und Maschinenbau einerseits und auf der anderen Seite zwischen den Akteuren der TU Darmstadt und der Hochschule Darmstadt sowie dem Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF (Bereich Kunststoffe, ehemaliges Deutsches Kunststoff-Institut, DKI) neue strukturelle und inhaltliche Brücken. Hierbei wurden die wissenschaftlichen Arbeiten in *Soft Control*, welche von neuartigen, schaltbaren Katalysatoren über Licht-sensitive Ionenkanäle bis hin zu funktionalen Papieren für Hightech-Anwendungen reichen, von insgesamt 15 Gruppen und einer eigens für den Forschungsschwerpunkt neu eingerichteten Juniorprofessur durchgeführt. Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten wurden in mehr als 80 Publikationen in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht. Bereits innerhalb der Laufzeit des LOEWE-Schwerpunkts konnte damit der Grundstein für einen Antrag auf Einrichtung eines Sonderforschungsbereiches bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) als Verstetigungsmaßnahme der in *Soft Control* begonnenen Arbeiten auf den Weg gebracht werden.



Professor Dr. Markus Biesalski
Koordinator des LOEWE-Schwerpunkts *Soft Control*
Technische Universität Darmstadt

Projekthalte

Wissenschaftlich-technische Ausgangslage

„Weiche Materie“, welche auf externe Stimuli hin ihre Eigenschaften ändert oder eine Funktion ausführt, umfasst ein hochaktuelles Feld der Polymerforschung: „Intelligente Polymere“ sollen auf äußere Stimuli (z. B. Lösungsmittelqualität, Temperatur, pH-Wert, Licht, Chemikalien sowie elektrische oder magnetische Felder) hin dynamisch mit reversiblen Änderungen ihrer Struktur reagieren, die wiederum Veränderungen der physiko-chemischen Eigenschaften zur Folge haben. Besonders interessant ist es, wenn diese responsiven Makromoleküle auf Oberflächen in Form dünner Filme verankert werden. Derartige Polymerfilme können beispielsweise je nach Konstitution, Molmasse, Konformation, Morphologie und Pfordichte der Polymermoleküle eine für Ionen, kleine Moleküle, Oligomere und Polymere mehr oder weniger leicht zu durchdringende Barriere bilden. Liegen hinter einer solchen Barriere aktive Zentren, mit denen diese Verbindungen chemisch reagieren oder spezifische Wechselwirkungen eingehen, so wird die Geschwindigkeit dieser Folgeprozesse unmittelbar von der modulierbaren Erreichbarkeit der Zentren bestimmt. Ebenso können solche Schaltvorgänge auch andere Eigenschaften gezielt, schnell und ortsaufgelöst modulieren, wie z. B. die Grenzflächenenergie, Benetzbarkeit, Haftfähigkeit oder Biofunktionalität. Versteht man die wissenschaftlichen Zusammenhänge, welche diesen Struktur-Eigenschaftsbeziehungen in „intelligenten“, oberflächenverankerten Polymeren zugrunde liegen, so ergeben sich eine Reihe von neuen Anwendungsmöglichkeiten in der Werkstoff- und Materialtechnik, der Katalyse, der (Mikro-)Reaktionstechnik, der Papiertechnologie, der Sensorik sowie der Biologie, Biotechnologie und Medizin.

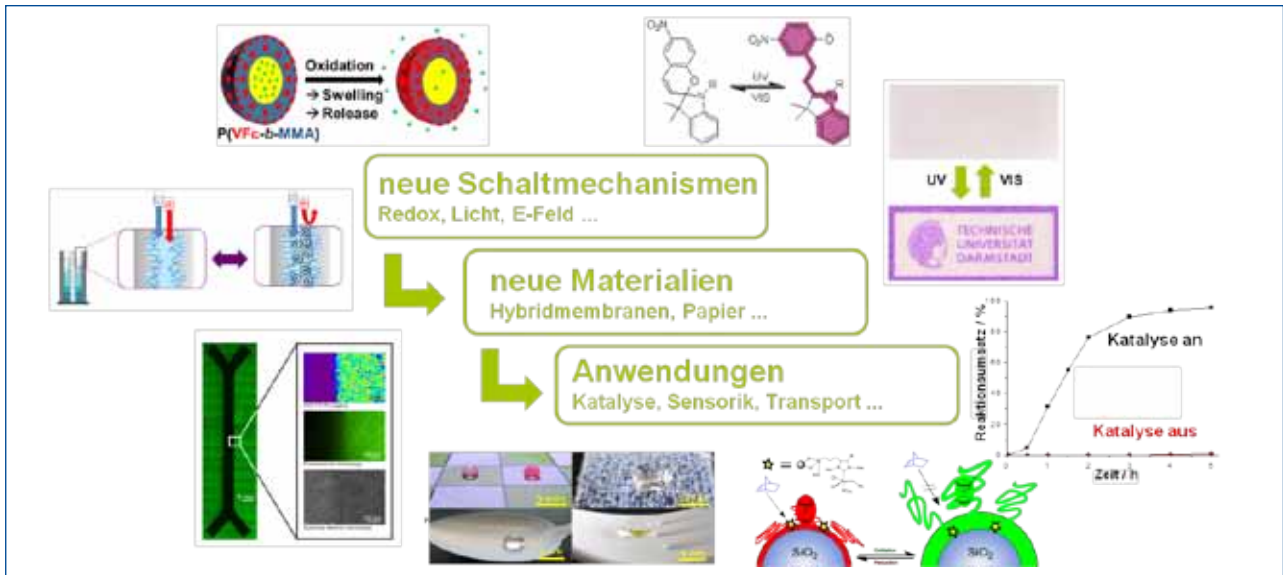
Schaltbare Polymere auf Oberflächen verbinden aktuelle Grundlagenforschung mit einem hohen technologischen Umsetzungspotenzial. Sie spielen bereits in der Mikroelektronik (Displays), in funktionalen Beschichtungen und als Werkstoffe in medizinischen und pharmazeutischen Anwendungen (biokompatible Implantate, kontrollierte Wirkstofffreisetzung) eine

bedeutende Rolle. Blickt man auf den Stand der Literatur zu Beginn der Arbeiten von *Soft Control*, so wird deutlich, dass sich aktuelle Arbeiten auf diesem Gebiet zunehmend Systemen zuwenden, in denen molekulare Schaltmechanismen in dünne Filme an Oberflächen implementiert werden, die auf nicht-klassische externe Stimuli wie z. B. Licht, elektrische oder magnetische Felder reagieren. Im Gegensatz zu Materialien, die auf Temperatur, pH-Wert oder Ionenstärke des Umgebungsmediums hin schalten, unterliegen durch Licht oder elektrisch/magnetisch schaltbare Systeme nicht einer Diffusionslimitierung und können daher auch dort eingesetzt werden, wo eine sehr schnelle und/oder ortsaufgelöste Schaltung erforderlich ist. Letzteres stellte die zentrale wissenschaftliche Herausforderung dar, welche als Klammer die an *Soft Control* teilnehmenden Teilprojekte vereinte.

Im Rahmen des LOEWE-Projekts erreichte Erkenntnisse und getätigte Entwicklungen

Soft Control ist in seinen wissenschaftlichen Arbeiten dem im vorangegangenen Abschnitt ausgeführten, hochaktuellen Trend sowie dem dahinter stehenden Bedarf aus der Praxis gefolgt und hat neuartige Ansätze zu Schaltmechanismen, aber auch zu geschalteten Funktionen und den verwendeten Oberflächen in wissenschaftlichen Grundlagenprojekten beforscht: Polymerfilme an Grenzflächen, wie sie in *Soft Control* erforscht und entwickelt wurden, reagieren bevorzugt auf externe chemische (Redox) Stimuli, auf Licht sowie auf elektrische Felder.

Im Zuge der Umsetzung der wissenschaftlichen Arbeiten in den Teilprojekten wurden diese innerhalb von *Soft Control* in drei Bereiche gegliedert: (i) Katalytisch aktive Systeme, (ii) Protein- und peptidfunktionale Systeme sowie (iii) Molekulare Charakterisierung & Simulation. Durch diese Einteilung konnten innerhalb der einzelnen Teilbereiche, aber auch bereichsübergreifend, eine ganze Reihe von spannenden, neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen gewonnen werden. Highlights im Bereich der wissenschaftlichen Ergebnisse reichen hierbei von der Entwicklung oberflächengebundener Katalysatoren, die sich über eine Deckschicht von Redox-schaltbaren Polymeren aktiv



Highlights aus den Forschungsaktivitäten des LOEWE-Schwerpunkts *Soft Control* reichen von schaltbarer Katalyse an Oberflächen, über Modulation von Ionentransport bis hin zu papierbasierten Sensoren.

in ihrer Funktion modulieren lassen, über Licht-steuerbare Ionenkanäle, welche signifikant schneller den Ionentransport schalten als dies von bisherigen artifiziellen Systemen bekannt ist, bis hin zu porösen anorganischen Substraten, die eine Permelektivität eines Ionenflusses durch eine mesoporöse Matrix erlauben.

Daneben hat sich *Soft Control* im Interesse einer noch deutlicheren Alleinstellung und Nutzung lokal vorhandener Kompetenz zuletzt auch den derzeit starken Trend zu funktionalen papierbasierten Materialien zu eigen gemacht und aktiv auf diesem noch jungen Forschungsgebiet erste vielversprechende Ergebnisse erzielt. Die durch die Forscher in Darmstadt entwickelten und erforschten Papiere sollen in Zukunft beispielsweise als poröse Hybridsysteme den pumpenlosen Transport von Fluiden ermöglichen oder als Biosensoren in der medizinischen Diagnostik neue Möglichkeiten eröffnen. Mit dieser Strategie der Kompetenzerweiterung und Fokussierung auf relevante Zukunftsfelder einerseits und die hochrangige Kommunikation erzielter Ergebnisse in mehr als 80 Publikationen andererseits war *Soft Control* permanent aktiv, um seine Stellung in der nationalen wie internationalen Polymerforschung weiter auszubauen und zum Teil ganz neue Felder auf dem Themengebiet der funktionalen Papiere zu erschließen.

Erreichte Strukturentwicklung

Zu Beginn der Arbeiten von *Soft Control* war Forschungsexpertise an der TU Darmstadt insbesondere in den Bereichen der „harten Materialien“ angesiedelt und bereits national wie international sehr gut sichtbar. Im Bereich der „Weichen Materie“ gab es, insbesondere am Fachbereich Chemie der TU Darmstadt, aber auch vereinzelt in den Fachbereichen Biologie, Physik sowie am Fraunhofer LBF (Bereich Kunststoffe, ehemals DKI), sehr gut ausgewiesenes Know-how. Der LOEWE-Schwerpunkt *Soft Control* hat diese Bereiche durch den Auf- und consequenten Ausbau von neuen strukturellen und inhaltlichen Brücken zwischen den Fachbereichen sowie zwischen den an *Soft Control* teilnehmenden Institutionen zu einer heute über die Grenzen Darmstadts hinaus sichtbaren Forschungslandschaft „weiche Materie“ zusammengeführt. Im Besonderen haben es diese Maßnahmen ermöglicht, dass bereits 2104, also innerhalb der Laufzeit des LOEWE-Schwerpunkts, ein Vorantrag auf Einrichtung eines Sonderforschungsbereiches gestellt werden konnte und ein Vollantrag sich zum jetzigen Zeitpunkt in der Vorbereitung befindet. Ein weiterer, sehr wichtiger Aspekt der Strukturentwicklung für den Forschungsschwerpunkt und die TU Darmstadt war der aktive Aufbau von wissenschaftlichen Nachwuchsgruppen. Allen voran ist hier die in *Soft Control* neu eingerichtete W1-Juniorprofessur „Intelligente Membranen“ zu nennen, aber auch Nachwuchsgruppen im Bereich Polymer- und Papierchemie wurden erfolgreich eingerichtet und haben ihrerseits für eine gesteigerte Sichtbarkeit der Forschung zu „Weicher Materie“ an der TU Darmstadt beigetragen.

Erreichte Bedeutung/Stellung im Themen-/Forschungsfeld

Die Einrichtung von *Soft Control* in 2011 und die im Forschungsschwerpunkt innerhalb des Förderzeitraums von 2011 bis 2014 erfolgreich durchgeführten Arbeiten haben erheblich dazu beigetragen, dass Forschung zu „Weicher Materie“ an der TU Darmstadt nationale wie internationale Sichtbarkeit erlangt hat. Maßgeblich hierfür war die Möglichkeit, mit finanzieller Unterstützung des LOEWE-Programms neue Strukturen und Brücken zwischen den Fachbereichen der TU Darmstadt auf- und auszubauen, die letztlich zu mehr als 80 wissenschaftlichen Veröffentlichungen und deutlich über 100 Einladungen von an *Soft Control* beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern als Vortragende zu internationalen Konferenzen geführt haben. Die Sichtbarkeit wurde ferner durch eine eigens durch *Soft Control* ausgerichtete internationale Konferenz im Jahr 2013 gestärkt, an der international ausgewiesene Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 15 Ländern der Einladung nach Darmstadt gefolgt sind und aktuelle Trends im Themenfeld von *Soft Control* diskutiert wurden. Ein besonderes Highlight und ein Alleinstellungsmerkmal von *Soft Control* und der TU Darmstadt war und ist die Forschung zu „funktionalen Papieren“. Die TU Darmstadt ist eine von zwei deutschen Universitäten, an denen auf diesem Themenfeld aktiv geforscht wird. Gerade durch *Soft Control* konnte die Forschung zu funktionalen Papieren im Hinblick auf gänzlich neue Anwendungen im Bereich der Sensorik und als Mikrofluidik-Device ausgedehnt werden, was der Universität und der Region eine gesteigerte internationale Sichtbarkeit verleihen kann und die Wertschöpfung des „Weichen Materials Papier“ in Zukunft deutlich erhöht.



Doktorand des LOEWE-Schwerpunkts *Soft Control* an der TU Darmstadt bei der Synthese schaltbarer Polymere im Labor.

Wichtigste Meilensteine des Projekts



Im September 2013 fand auf Einladung des LOEWE-Schwerpunkts Soft Control die dreitägige Internationale Konferenz „Soft Control – Switching surface properties with stimuli responsive soft matter“ im Hessischen Staatsarchiv in Darmstadt statt, auf der sich 120 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 15 Ländern austauschten.

Im Vorfeld der Soft Control-Konferenz wurde ein internationaler Doktorandenworkshop mit mehr als 50 Doktorandinnen und Doktoranden, 20 Vorträgen sowie einer Postersession und vielen Diskussionsrunden durchgeführt.



Banner der Internationalen Konferenz „Soft Control – Switching surface properties with stimuli responsive soft matter“ des LOEWE-Schwerpunkts Soft Control vom 22. bis 24. September.



Der Forschungsschwerpunkt Soft Control nahm am Hessentag 2014 in Bensheim mit einem Kinderlabor, einer Posterausstellung und Exponaten zur „Wunderwelt der Kunststofffilme“ teil.



Teilnahme des LOEWE-Schwerpunkts Soft Control am Hessentag 2014 in Bensheim: Eine Zeitung, die im Regen nicht nass wird? Ein künstlicher Opal, der seine Farbe wechselt, sobald er feucht wird? Einfache Papierstreifen, die die aktuelle UV-Belastung des Sonnenlichts anzeigen? Dahinter stecken sehr dünne Kunststofffilme, die auf äußere Reize reagieren und die Eigenschaften ihres Trägermaterials verändern.



Der Koordinator des LOEWE-Schwerpunkts Soft Control Prof. Dr. Markus Biesalski zusammen mit Frau Dörte Flo rack, der Koordinatorin von ProLOEWE (links), und Frau Vanessa Schmidt, Mitglied der Geschäftsführung von Soft Control (rechts), am Gemeinschaftsstand von „Hessen schafft Wissen“ auf dem Hessentag 2014 in Bensheim.



Adolf-Messer-Preis: Preisstifter Senator E. h. Stefan Messer und Preisträgerin Annette Andrieu-Brunsen. Zum Projektstart von Soft Control im Jahr 2011 konnte eine W1-Juniorprofessur „Intelligente Membranen“ ausgeschrieben und mit Frau Dr. Annette Andrieu-Brunsen besetzt werden. Für ihre sehr erfolgreiche Nachwuchsarbeit wurde sie bereits nach drei Jahren ausgezeichnet: Im Dezember 2014 erhielt sie mit dem Adolf-Messer-Preis den höchstdotierten Wissenschaftspreis der TU Darmstadt.

Weitere Informationsmöglichkeiten

- http://www.soft-control.tu-darmstadt.de/loewe/soft_control_menu/index.en.jsp
Projekt-Homepage des LOEWE-Schwerpunkts *Soft Control*
- <http://www.lbf.fraunhofer.de/de/kunststoffe.html>
Das Deutsche Kunststoffinstitut DKI als ehemaliger Projektpartner ist seit Juli 2012 als Bereich Kunststoffe in das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF integriert.
- <https://www.h-da.de/>
Projektpartnerin Hochschule Darmstadt
- http://www.tu-darmstadt.de/vorbeischauen/aktuell/einzelansicht_109056.de.jsp
Adolf-Messer-Preis für *Soft Control*-Juniorprofessur
- <http://www.proloewe.de/hessentag2014>
Teilnahme von *Soft Control* am Hessentag 2014 in Bensheim
- <http://www.proloewe.de/>
Netzwerk der LOEWE-Forschungsvorhaben

Zahlen und Fakten

Förderzeitraum	01.01.2011 – 31.12.2014	Bemerkungen
bis Ende des Förderzeitraums verausgabte LOEWE-Mittel	5.238.640,00 Euro	
bis Ende des Förderzeitraums verausgabte Drittmittel	1.804.637,96 Euro	
eingeworbene Drittmittel	1.952.450,00 Euro	Längste Laufzeit: 2011 – 2014
Anzahl der beteiligten Personen	ProfessorInnen: 15 Wissenschaftliche MitarbeiterInnen: 44 Administrativ-Technische MitarbeiterInnen: 3 Hilfskräfte: 10	
Anzahl an innerhalb des Förderzeitraums abgeschlossenen Promotionen	10	
Anzahl an Veröffentlichungen in Fachzeitschriften innerhalb des Förderzeitraums	88	
Anzahl an Konferenzbeiträgen innerhalb des Förderzeitraums	174	
Anzahl an innerhalb des Förderzeitraums zugeteilten Patenten	keine	

Kurzvorstellung der beteiligten Hochschulen und Forschungsinstitute

Technische Universität Darmstadt

www.tu-darmstadt.de

Die TU Darmstadt zählt zu den führenden Technischen Universitäten in Deutschland. Ihre rund 300 Professorinnen und Professoren, 4.250 wissenschaftlichen und administrativ-technischen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, Auszubildenden und wissenschaftlichen Hilfskräfte sowie 26.000 Studierenden widmen sich entscheidenden Zukunftsfeldern wie Energie, Mobilität, Kommunikation und Information sowie Bauen und Wohnen. Die vielfältigen Disziplinen der Universität konzentrieren sich alle auf Technik – aus der Perspektive der Ingenieur-, Natur-, Geistes- und Gesellschaftswissenschaften – von der Erkenntnis bis zur Anwendung im Alltag.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Hochschule Darmstadt

<https://www.h-da.de/>

Die Hochschule Darmstadt (h_da) ist eine der größten Hochschulen für Angewandte Wissenschaften in Deutschland. Über 50 Bachelor-, Diplom- und Masterstudiengänge mit vielfach selbst wählbaren Schwerpunkten bieten beste Berufsaussichten für ihre gut 15.000 Studierenden. Das Spektrum der Studiengänge reicht von den Ingenieurwissenschaften über Informationstechnologien, Soziale Arbeit, Gesellschaftswissenschaften und Wirtschaft bis hin zu Architektur, Medien und Design. Die angewandte Forschung und Entwicklung an der h_da bereichert die exzellente Lehre und stärkt die Wirtschaftsunternehmen der Region durch Technologie- und Wissenstransfer.



h_da

HOCHSCHULE DARMSTADT
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

www.lbf.fraunhofer.de

Das Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF in Darmstadt steht für innovative Lösungen in der Schwingungstechnik, im Leichtbau, in der Zuverlässigkeit und in der Polymertechnik. Schwerpunkte liegen auf sicherheitsrelevanten Systemen, auf Material- und Komponentenfunktionen sowie auf strukturmechanischen Eigenschaften. Über 500 Mitarbeiter forschen auf mehr als 11.560 Quadratmetern Labor- und Versuchsfläche.



HESSEN



Das Forschungsförderungsprogramm LOEWE ist eine Förderinitiative des Hessischen Ministeriums für Wissenschaft und Kunst.

Impressum

Herausgeber:

Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst
Rheinstraße 23 – 25
65185 Wiesbaden

Inhalt:

LOEWE-Schwerpunkt SOFT CONTROL –
Mit Polymeren an Grenzflächen Funktionen effizient schalten

Redaktion:

LOEWE-Geschäftsstelle im
Hessischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst

Layout:

Christiane Freitag, Idstein

Fotos:

LOEWE-Schwerpunkt SOFT CONTROL –
Mit Polymeren an Grenzflächen Funktionen effizient schalten
Titel, S. 2: Katrin Binner; S. 6 Abb. 3 u. S. 7 Abb. 1: Chris Hartung/TU
Darmstadt; S. 7 Abb. 3: Felipe Fernandes