

Jahrbuch der
Heinrich-Heine-Universität
Düsseldorf

Heinrich Heine
HEINRICH HEINE
UNIVERSITÄT
DÜSSELDORF

2006/2007

Heinrich Heine

**Jahrbuch der
Heinrich-Heine-Universität
Düsseldorf
2006/2007**

**Jahrbuch der
Heinrich-Heine-Universität
Düsseldorf
2006/2007**

**Herausgegeben vom Rektor
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Univ.-Prof. Dr. Dr. Alfons Labisch**

**Konzeption und Redaktion:
Univ.-Prof. em. Dr. Hans Süßmuth**

© Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf 2007
Einbandgestaltung: Wiedemeier & Martin, Düsseldorf
Titelbild: Schloss Mickeln, Tagungszentrum der Universität
Redaktionsassistentz: Georg Stüttgen
Beratung: Friedrich-K. Unterweg
Satz: Friedhelm Sowa, L^AT_EX
Herstellung: WAZ-Druck GmbH & Co. KG, Duisburg
Gesetzt aus der Adobe Times
ISBN 3-9808514-5-1

Inhalt

Vorwort des Rektors	11
Gedenken	17
Rektorat	19
ANNIKA MORCHNER, RAIMUND SCHIRMEISTER und ALFONS LABISCH (Rektor) Der Corporate-Identity-Prozess an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf	21
ULF PALLME KÖNIG (Kanzler) Grundsätzliche Überlegungen zu Perspektiven der Zentralen Universitäts- verwaltung der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf im Zuge des Hoch- schulfreiheitsgesetzes	29
Medizinische Fakultät	
<i>Dekanat</i>	53
<i>Neu berufene Professorinnen und Professoren</i>	55
BERND NÜRNBERG (Dekan) Chancen und Herausforderungen einer sich wandelnden Hochschulmedizin	63
ANTONIA M. JOUSSEN Wieder lesen können? Möglichkeiten und Grenzen in der Therapie der altersbedingten Makuladegeneration	69
MICHAEL SCHÄDEL-HÖPFNER und JOACHIM WINDOLF Handchirurgie – Ein neues Fachgebiet am Universitätsklinikum Düsseldorf	83
UTE SPIEKERKÖTTER und ERTAN MAYATEPEK Angeborene Störungen der Fettsäureoxidation – Erfolge des Neugeborenen Screenings, Mausmodelle und Pathogenese	93
RÜDIGER E. SCHARF, ANDREA GERHARDT, VOLKER R. STOLDT und RAINER B. ZOTZ Klinische und experimentelle Thromboseforschung – Genetische Deter- minanten, molekulare Mechanismen und therapeutische Strategien bei thrombotischen Komplikationen	105

STEPHAN ROTH, HANS GEORG BENDER, WILFRIED BUDACH, PETER FEINDT, HELMUT ERICH GABBERT, RAINER HAAS, DIETER HÄUSINGER, WOLFRAM TRUDO KNOEFEL, CAROLIN NESTLE-KRÄMLING, HANS-JAKOB STEIGER, JÖRG SCHIPPER und KLAUS-WERNER SCHULTE	
Aktuelle Entwicklungen der interdisziplinären Krebstherapie	127
NORBERT GATTERMANN	
Eröffnung der Universitätstumorambulanz	155
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät	
<i>Dekanat</i>	163
<i>Neu berufene Professorinnen und Professoren</i>	165
PETER WESTHOFF (Dekan)	
Die Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät und die Herausforderungen der Zukunft	179
DETLEV RIESNER	
Infektiöse Moleküle: Viroide und Prionen	183
GEORG GROTH	
Strukturbestimmung von Proteinen als Schlüssel zum molekularen Mechanismus	215
THOMAS J. J. MÜLLER	
Multikomponenten- und Dominoreaktionen in der diversitätsorientierten Organischen Synthese	227
BETTINA M. PAUSE	
Emotionale Kommunikation mittels chemischer Signale	245
Philosophische Fakultät	
<i>Dekanat</i>	255
<i>Neu berufene Professorinnen und Professoren</i>	257
ULRICH VON ALEMANN (Dekan)	
Die Zukunft der Düsseldorfer Geistes- und Sozialwissenschaften: Zwischen Humboldt und Henkel, Heine und Heute	261
DIETRICH BUSSE	
Sprache – Kognition – Kultur	
Der Beitrag einer linguistischen Epistemologie zur Kognitions- und Kulturwissenschaft	267
PETER MATUSSEK	
Stille Blicke. Zur Naturlyrik des ‚vorkritischen‘ Goethe	281

GERHARD VOWE	
Mediatisierung? Mediendemokratie? Mediokratie?	
Ein theoretischer Ansatz auf dem Prüfstand	295
PETER H. HARTMANN und INGA HÖHNE	
Freizeitmuster und soziale Strukturen in Düsseldorf –	
Ein Weg zur Bestimmung neuer Zielgruppen.....	311
RALPH WEISS	
Nach dem „Deutschen Sommermärchen“ zurück im alltäglichen Politik-	
verdruss – Wie Medien politische Stimmungslagen beeinflussen und von	
welchen Kontexten der Medieneinfluss abhängt	333
Gastbeitrag	
ULRICH VON ALEMANN	
Vorwort zum Gastbeitrag von Lothar Schröder	349
LOTHAR SCHRÖDER	
Heinrich Heine: „Die Pragueise“ (1824) oder:	
Rekonstruktion eines spektakulären Handschriftenfonds	351
Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät	
<i>Dekanat</i>	361
<i>Neu berufene Professorinnen und Professoren</i>	363
CHRISTOPH J. BÖRNER (Dekan)	
Strategische Positionierung und Profilierung von Universitäten	
und Fakultäten aus betriebswirtschaftlicher Sicht	365
H. JÖRG THIEME	
Soziale Marktwirtschaft – Denkfehler oder Gestaltungsdefekte?	381
GUIDO FÖRSTER	
Steuerliche Probleme bei der Abfindung von Pensionszusagen an	
Gesellschafter-Geschäftsführer einer GmbH	391
Juristische Fakultät	
<i>Dekanat</i>	407
<i>Neu berufene Professorinnen und Professoren</i>	409
JOHANNES DIETLEIN (Dekan)	
Die Düsseldorf Law School – Innovation im Zeichen des Hochschulfrei-	
heitsgesetzes	413
DIRK OLZEN	
Das Dr. med. Micheline Radzyner-Institut für Rechtsfragen der Medizin....	419

KARSTEN ALTENHAIN und MICHAEL HAIMERL Die Praxis der Urteilsabsprachen in Wirtschaftsstrafverfahren – Ergebnisse eines drittmittelfinanzierten juristischen Forschungsprojekts	421
DIRK LOOSCHELDERS und LOTHAR MICHAEL Zur Gründung eines Instituts für Versicherungsrecht	437
JOHANNES DIETLEIN Interessenkonflikte bei der Besetzung von Sparkassengremien	443
Gesellschaft von Freunden und Förderern der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf e.V.	
OTHMAR KALTHOFF Jahresbericht 2006	469
Forscherverbünde der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf	
ANDREA VON HÜLSEN-ESCH, MONIKA GOMILLE, HENRIETTE HERWIG, CHRISTOPH AUF DER HORST, HANS-GEORG POTT, JOHANNES SIEGRIST und JÖRG VÖGELE Kulturelle Variationen und Repräsentationen des Alter(n)s	473
Nachwuchsforschergruppen an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf	
ANNETTE M. SCHMIDT Magnetoaktive weiche Materie – Von der Kombination magnetischer Zwerge mit flexiblen Kettenmolekülen	491
Institute an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf	
<i>Das Düsseldorfer Institut für Außen- und Sicherheitspolitik</i>	
RALPH ALEXANDER LORZ und RAINER WINKLER Das Düsseldorfer Institut für Außen- und Sicherheitspolitik – Ein unabhängiges interdisziplinäres Forum an der Heinrich-Heine-Universität	505
<i>Institut „Moderne im Rheinland“</i>	
GERTRUDE CEPL-KAUFMANN Der „Arbeitskreis zur Erforschung der Moderne im Rheinland“ als An-Institut an der Heinrich-Heine-Universität	515
Kooperationen der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf	
<i>Konfuzius-Institut Düsseldorf</i>	
PETER HACHENBERG und LI XUETAO Das Konfuzius-Institut Düsseldorf an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf e.V. – Gründung, Programm und Perspektiven	533

Ausgründungen aus der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

KARL-ERICH JAEGER, WERNER HUMMEL und THORSTEN EGGERT evocatal GmbH – Eine neue Biotech-Firma aus der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf	545
--	-----

Zentrale Einrichtungen der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Universitäts- und Landesbibliothek

IRMGARD SIEBERT Die Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf als Teil der Landesbibliotheksstruktur in Nordrhein-Westfalen	555
---	-----

Zentrum für Informations- und Medientechnologie

STEPHAN OLBRICH und SEBASTIAN MANTEN Hochleistungsrechnen und parallele Programmierung: Service für sowie Gegenstand von Forschung und Lehre	575
--	-----

Geschichte der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

MAX PLASSMANN <i>Public Private Partnership</i> in der Nachkriegszeit – Das Rheinisch-Westfälische Institut für Übermikroskopie und die Medizinische Akademie Düsseldorf	593
---	-----

Forum Kunst

ANDREA VON HÜLSEN-ESCH Zum Sterben schön! Alter, Totentanz und Sterbekunst von 1500 bis heute – Eine Ausstellungsreihe in Nordrhein-Westfalen von September 2006 bis April 2007	605
--	-----

Chronik der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

ROLF WILLHARDT Chronik 2006/2007	635
---	-----

Campus-Orientierungsplan	653
---------------------------------------	-----

Daten und Abbildungen aus dem Zahlenspiegel der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf	659
--	-----

Autorinnen und Autoren	673
-------------------------------------	-----

ANNETTE M. SCHMIDT

Magnetoaktive weiche Materie – Von der Kombination magnetischer Zwerge mit flexiblen Kettenmolekülen

Die Arbeitsgruppe „Nanostrukturierte Hybridmaterialien“

Die rasante Entwicklung der Nanotechnologie in den letzten Jahren ist kaum zu übersehen und hat mittlerweile auch in Alltagsprodukten wie Sonnencremes, Lacken und Reinigungsmitteln Einzug gehalten. Der Begriff leitet sich vom griechischen *nanos* (der Zwerg) ab und umfasst Materialien, die auf kleinsten Strukturen im Nanometerbereich (1 nm = ein Millionstel Millimeter) basieren. Objekte dieser Größe sind für den Menschen selbst mit den stärksten Lichtmikroskopen nicht sichtbar.

Nanostrukturierte Materialien weisen spezielle Eigenschaften auf, die einerseits auf die hohe spezifische Oberfläche (Grenzfläche) und andererseits auf die Zwischenstellung der Komponenten zwischen molekularen Materialien und Feststoffen zurückzuführen sind.¹ In diesem Größenbereich nehmen komplexe anorganische und organische Werkstoffe die mechanischen, elektrischen, magnetischen und chemischen Eigenschaften an, die wir aus der Makrowelt kennen. In diesem Übergangsbereich zwischen atomarem bzw. molekularem Verhalten und kollektiven Eigenschaften der Komponenten existieren ungewöhnliche Eigenschaften und Eigenschaftskombinationen, und es eröffnen sich neue Perspektiven für Anwendungen in Medizin und Technik.

Das wachsende Interesse einer interdisziplinär ausgerichteten wissenschaftlichen Gemeinschaft an der Erforschung von Nanopartikeln mit magnetischen Eigenschaften² ist auf ihren Superparamagnetismus,³ ihre magnetorheologischen und optischen Eigenschaften und ihre magnetische Erwärmbarkeit zurückzuführen. So lassen sich magnetische Nanopartikel mit Hilfe moderater äußerer Felder manipulieren, ihre Position und Bewegung kann mit Hilfe magnetischer und optischer Methoden erfasst werden, und sie ermöglichen die Erzeugung von Wärmeenergie lokal in der Partikelumgebung.⁴

Diese Eigenschaften lassen sich in interessanter und sinnvoller Weise mit denen von Polymeren verbinden, die sich durch ihre flexible molekulare Kettenstruktur und eine hohe chemische Vielfalt auszeichnen. Sie können dabei eine Hülle um die Kerne bilden und so zur Stabilisierung, Modifizierung oder Funktionalisierung der Partikel beitragen, oder in Form einer dreidimensional vernetzten Matrix ein Gel oder einen Verbund um die Partikel erzeugen. Solche Materialien werden als Hybridmaterialien bezeichnet („hybrid“ = von zweierlei Herkunft).

Zur Arbeitsgruppe gehören zurzeit sieben Mitarbeiter, darunter fünf Doktoranden und zwei Diplomanden: Thorsten Gelbrich, Natalia Frickel, Celin Gürler, Andreas Kaiser,

¹ Vgl. Fendler (1996: 1616).

² Vgl. Berkovsky und Bashtovoy (1996) sowie Blums (1997).

³ Vgl. Néel (1964).

⁴ Vgl. Zahn (2001: 73).

Gernot Marten, Renate Messing und Moritz Winkler. Unsere Forschungsarbeiten in diesem Bereich werden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Emmy-Noether-Programms über einen Zeitraum von fünf Jahren gefördert. Dabei entstehen durch die Kombination von magnetischen Nanopartikeln mit maßgeschneiderten Polymerhüllen neuartige, durch äußere Einflüsse schaltbare Systeme, in denen die thermischen und magnetischen Eigenschaften der Hybride wechselseitig voneinander abhängen.⁵

Die Erforschung dieser Zusammenhänge ist sowohl von grundlagenwissenschaftlichem Interesse als auch für vielseitige Anwendungen attraktiv. Die Polymerhülle ermöglicht dabei die Einführung funktioneller Gruppen, die eine Anbindung biologischer Spezies oder von katalytisch aktiven Systemen erlauben. Ein weiterer wichtiger Schwerpunkt der Arbeiten liegt in der Entwicklung geordneter Nanostrukturen mit Anwendungspotenzial im Bereich der Sensor- und Aktuormaterialien.

Magnetische Kern-Schale-Partikel

Die Anknüpfung von endgebundenen Polymerketten auf der Oberfläche von Nanopartikeln (s. Abb. 1a) führt zur Bildung einer zusätzlichen Grenzphase, die einerseits die Löslichkeit der Partikel in unterschiedlichen Medien bestimmt und außerdem die Einführung weiterer Funktionalitäten ermöglicht. Dazu werden die Kerne zunächst auf der Oberfläche funktionalisiert, um anschließend eine oberflächeninitiierte Polymerisation durchzuführen. Dadurch entsteht ein Mantel aus einzelnen Polymerarmen. Der Vorteil der Methode ist die definierte Architektur der entstehenden Partikel, die durch eine hohe Pfropfungsdichte der linearen Ketten gekennzeichnet ist. Folge ist eine effektive sterische kolloidale Stabilisierung der Partikel in guten Lösungsmitteln für die Polymerhülle ohne Zugabe eines Stabilisators. Durch eine geeignete Wahl der Monomere sind die Eigenschaften über einen weiten Bereich einstellbar.

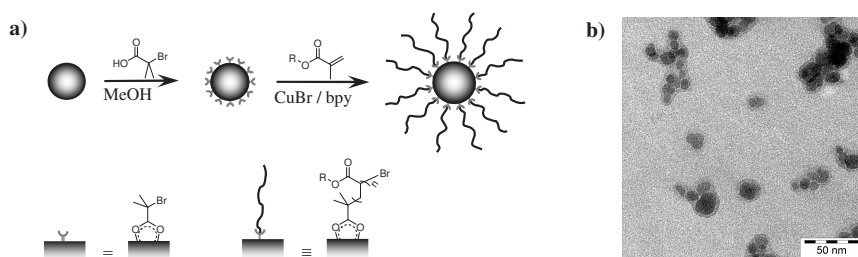


Abb. 1: a) Darstellung von Kern-Schale-Partikeln durch oberflächeninitiierte Polymerisation; b) TEM-Aufnahme von Fe_3O_4 @PMEMA-Polymerbürstenpartikeln. Es ist eine kontrastierende Polymerhülle um die einzelnen Partikel zu erkennen.

Die Funktionalisierung der Partikeloberfläche erfolgt dabei durch die Chemisorption von Carbonsäuren oder Organosiloxanen mit einer geeigneten Initiatorfunktionalität (s. Abb. 1a). Als Polymerisationsmechanismen eignen sich kontrollierte radikalische Mecha-

⁵ Vgl. Schmidt (2007: 953).

nismen wie ATRP⁶ und die ringöffnende Polymerisation (ROP)⁷ von Lactonen. Transmissionselektronenmikroskopische Aufnahmen (TEM-Aufnahmen) bestätigen die Kern-Schale-Architektur der Partikel (s. Abb. 1b). Der Durchmesser, den die Partikel in den Dispersionen annehmen, lässt sich dabei über die Armlänge der Polymerketten in der Hülle einstellen.⁸ Bei Verwendung superparamagnetischer Kerne entstehen so genannte Ferrofluide mit Partikelgehalten von bis zu fünf Massenprozent, die sich durch Permanentmagneten bewegen lassen.

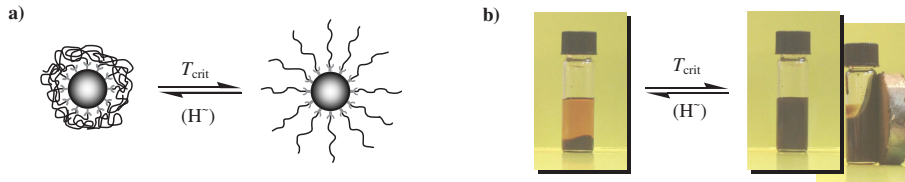


Abb. 2: a) Schematische Darstellung der thermoreversiblen Dispergierbarkeit von Polymerbürstenpartikeln. Durch die Erwärmung über die Übergangstemperatur T_{trans} erfolgt eine deutlich verstärkte Solvataion der Polymerarme, die dadurch reversibel expandieren und als sterische Stabilisatoren in Partikeldispersionen dienen können. b) Unterhalb T_{trans} formen die Hybridpartikel in Methanol Agglomerate und bilden einen Niederschlag, während oberhalb T_{trans} eine stabile Dispersion gebildet wird, die sich von einem Permanentmagneten bewegen lässt.

Durch Einbringen der magnetischen Kern-Schale-Partikel in ein Lösemittel, das für das Hüllmaterial ein temperaturabhängiges Lösungsverhalten zeigt, entstehen thermoreversibel stabilisierte Dispersionen (s. Abb. 2).⁹ Die reversible Agglomeration kann auf einen Quell- bzw. Kollabierungsvorgang an der Übergangstemperatur in der Partikelhülle zurückgeführt werden. In verdünnten Dispersionen kann die Volumenexpansion der Polymerhülle mit Hilfe optischer Streumethoden verfolgt werden. Bei Überschreiten einer kritischen Konzentration wird in einem der untersuchten Systeme eine reversible Gelierung der Dispersion beobachtet.

Magnetische Nanopartikel in biomedizinischen Anwendungen

Magnetische Nanopartikel (MNPs), insbesondere aus den bioverträglichen Eisenoxiden (Fe_3O_4 oder $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), spielen in der aktuellen Entwicklung neuartiger Diagnostika und Therapeutika eine wichtige Rolle.¹⁰ Sie kommen sowohl in *in vivo* als auch *in vitro* zum Einsatz und dienen dem Nachweis oder der magnetischen Abtrennung von biologischen Spezies wie Proteinen, Nucleinsäuren¹¹ oder Zellen.¹² Außerdem stellen sie ein neuartiges Kontrastmittel für das *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) dar. Therapeutische Anwen-

⁶ Vgl. Gelbrich *et al.* (2006a: 3469) sowie Kaiser *et al.* (2006: S2563).

⁷ Vgl. Schmidt (2005a: 93).

⁸ Vgl. Gelbrich *et al.* (2006b: 1).

⁹ Vgl. Kaiser und Schmidt (im Druck).

¹⁰ Vgl. Andrä (1998).

¹¹ Vgl. Krizova *et al.* (2005: 247).

¹² Vgl. Molday und MacKenzie (1982: 353).

dungen findet man etwa beim *Magnetic Drug Targeting*, wobei die magnetischen Eigenschaften der Partikel für eine Konzentration der gebundenen Wirkstoffe am Erkrankungsherd (etwa einem Tumor) über einen äußeren Permanentmagneten ausgenutzt werden.¹³

Bei der *Magnetic Fluid Hyperthermia* handelt es sich um ein therapeutisches Verfahren, bei dem superparamagnetische Partikel in den Tumor injiziert werden, um anschließend durch ein äußeres magnetisches Wechselfeld im kHz-Bereich eine lokale, auf die Tumoregion beschränkte Erwärmung des Gewebes zu erreichen. Die beobachtete Temperaturerhöhung ist auf die effektive magnetische Erwärmbarkeit der Partikel durch Relaxationsprozesse zurückzuführen und ist geeignet, das Wachstum von Tumoren zu verlangsamen bzw. diese zu schädigen oder zu zerstören.

Unsere Arbeiten im Bereich von MNPs für bioverwandte Anwendungen zielen auf die Entwicklung multifunktionaler Partikel (s. Abb. 4a), die gleichzeitig eine magnetische Abtrennung, den Nachweis und eine gezielte magnetische Erwärmung markierter biorelevanter Verbindungen und Zellen erlauben. Durch die Belegung der Polymerbürstenpartikel mit Biotin, Enzymen oder Antikörpern entstehen biologisch aktive, responsive MNPs. Solche Materialien sind für die spezifische Markierung von Proteinen oder Zellen mit magnetischen Partikeln von Interesse.

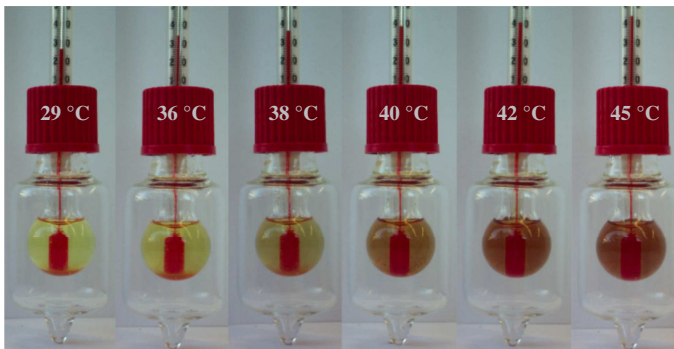


Abb. 3: Feldinduzierter Farbumschlag durch die Freisetzung eines Modellfarbstoffs aus beladenen magnetischen Kern-Schale-Partikeln unter Einfluss eines Hochfrequenzfelds

Auch für die gezielte Freisetzung von Wirkstoffen „auf Knopfdruck“ in einer bestimmten Körperregion sind die entwickelten Materialien interessant. So konnten wir zeigen, dass es möglich ist, durch einen thermischen Effekt in der Partikelhülle die Freisetzung eines Farbstoffs durch ein äußeres magnetisches Wechselfeld auszulösen. Zwischen 36 °C und 40 °C zeigt die Dispersion einen deutlichen Farbumschlag, der auf die Freisetzung des Farbstoffs zurückgeführt wird (s. Abb. 3). Dieses Ergebnis kann als *proof of concept* für die mögliche Wirkstofffreisetzung aus Polymerbürstenpartikeln gewertet werden. Aktuelle Arbeiten befassen sich mit der Übertragung dieser Ergebnisse auf wässrige Systeme und mit der chemischen Funktionalisierung der Polymerhülle zur Anbindung biologisch aktiver Komponenten.

¹³ Vgl. Alexiou *et al.* (2000: 6641).

Stimulisensitive Reaktionssysteme

Neben der Biomedizin kommen MNPs wegen ihrer magnetischen Manipulierbarkeit und dem superparamagnetischen Verhalten auch in vielen anderen Bereichen zum Einsatz, wie etwa als Flüssigdichtung in rotierenden Systemen, als Stoßdämpfer und in Kühlvorrichtungen für Lautsprechermembranen. Die magnetische Erwärmbarkeit der Kerne wird außerdem in Klebstoffformulierungen eingesetzt, die über äußere Magnetwechselfelder aktiviert werden können. Aktuelle Untersuchungen beschäftigen sich mit der Entwicklung von Nanomotoren und -aktuatoren.

Bei der Verwendung nanoskaliger magnetischer Katalysatoren in chemischen Reaktionen macht man sich vor allem die magnetische Abtrennbarkeit der Reagenzien zunutze. Sie ermöglichen jedoch darüber hinaus eine Steuerung der katalytischen Aktivität über eine Erwärmung der Kerne im magnetischen Wechselfeld. Im Rahmen unserer Arbeiten werden Systeme entwickelt, die die Steuerung von chemischen Reaktionen über äußere Magnetfelder erlauben.

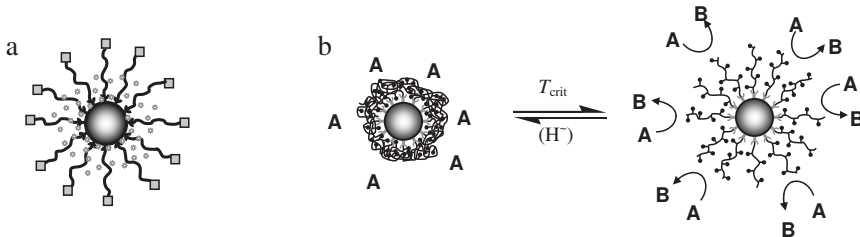


Abb. 4: a) Multifunktionaler magnetischer Hybridpartikel. □: Biofunktionale Linkergruppen, *: Wirkstoff; b) magnetoresponsives Reaktionssystem

Das Prinzip ist in Abb. 4b gezeigt. Es basiert auf einem kritischen Lösungsübergang der Polymerhülle im umgebenden Medium. Durch die Wärmeenergie, die von den Kernen im magnetischen Wechselfeld an die Umgebung abgegeben wird, gehen die Polymerketten der Hülle von einem schlecht solvatisierten Zustand in einen gut solvatisierten Zustand über.¹⁴ Damit werden die in den Ketten vorhandenen funktionellen Gruppen für die im Medium vorhandenen Reaktionspartner zugänglich und können so als Reaktionsstarter, Reagenz oder Katalysator aktiv werden. Die beschriebenen magnetosensitiven Reaktionssysteme eröffnen die Möglichkeit, die Reaktionstemperatur und die Aktivität katalytischer Gruppen über äußere Magnetfelder zu manipulieren und können zur Entwicklung schaltbarer, leicht abtrennbarer und wiederherstellbarer Katalysatoren und Reagenzien beitragen.

Nanostrukturierte magnetische Polymerfilme, -gele und -composits

Die Inkorporation von MNPs in makroskopische Gele führt zu magnetoresponsiven Gelen, die auch als Ferrogele bezeichnet werden.¹⁵ Hier werden Polymermatrizes verwendet, die

¹⁴ Vgl. Schmidt (2005b: 5).

¹⁵ Vgl. Zrínyi *et al.* (2002).

im gequollenen Zustand eine hochflexible Umgebung für die Partikel bilden. Unter Einfluss eines externen statischen Magnetfelds kommt es zur Ausrichtung der magnetischen Momente und zur Ausbildung einer makroskopischen Magnetisierung, wobei sich das Gel entlang der magnetischen Feldlinien orientiert. Durch die interpartikulären Anziehungskräfte kann bei ausreichenden Feldstärken eine deutliche Kontraktion des Gels beobachtet werden. Für die Grundlagenforschung ist die Kombination von Elastizität und magnetischen Eigenschaften von großem Interesse.¹⁶

Bei Verwendung monodisperser Kerne ist es möglich, geordnete magnetische Strukturen im Material zu erzeugen.¹⁷ Geordnete magnetische Nanostrukturen haben in den letzten Jahren aufgrund ihres Anwendungspotenzials in magnetischen Speichermedien, elektronischen Bausteinen und für die biologische Markierung und molekulare Erkennung eine große Beachtung erfahren. Die Entwicklung einfacher und möglichst templatfreier Verfahren für die Herstellung geordneter Nanostrukturen ist daher von großem Interesse.

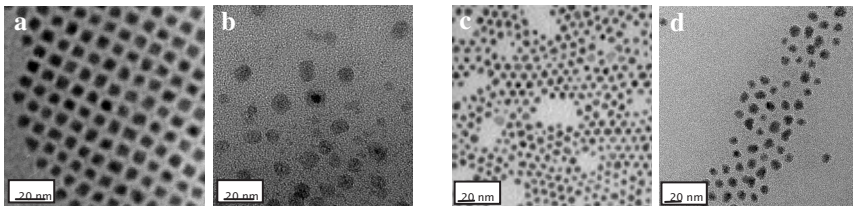


Abb. 5: TEM-Aufnahmen von a) und b) Fe-Würfel; c) und d) Co-Partikeln ohne (a,c) respektive mit (b,d) oberflächengefropfter Polymerhülle

Die Darstellung von Kern-Schale-Partikeln ist durch oberflächeninitiierte Polymerisationsverfahren auf monodisperse metallische MNPs aus Eisen/Platin, Eisenwürfel und Cobalt-Nanopartikel möglich. Die Partikel werden durch die Zersetzung von Metallkomplexen in organischen Medien erhalten und fallen im Vergleich zu den verwendeten Magnetitpartikeln mit einer sehr engen Größenverteilung an (s. Abb. 5).

Die Einführung der Polymerhülle (Abb. 6) bietet durch die maßgeschneiderten Eigenschaften bezüglich ihrer Dicke, Polarität und Architektur eine Möglichkeit zur Erzeugung periodisch geordneter Partikelassays mit zwei- oder dreidimensionaler Gestalt und variablem Partikelabstand. Von solchen geordneten zwei- oder dreidimensionalen Partikelstrukturen, in denen der Abstand der magnetischen Kerne voneinander und damit die Gitterkonstanten des Kolloidkristalls über die Polymerhülle steuerbar sind, wird erwartet, dass sie ungewöhnliche und anisotrope magnetische Eigenschaften aufweisen.

Hydrogele

Durch das Einbringen magnetischer Nanopartikel in wasserbasierte Gele (Hydrogele), die in Abhängigkeit von der Temperatur eine plötzliche drastische Volumenänderung aufweisen, entstehen Materialien, die ihre äußere Gestalt unter Einfluss eines magnetischen Feldes ändern können.

¹⁶ Vgl. Raikher *et al.* (2004: 031402).

¹⁷ Vgl. Zhang *et al.* (2003).

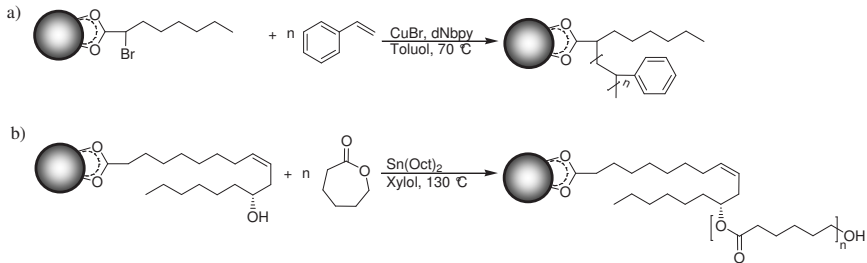


Abb. 6: Oberflächeninitiierte Polymerisation von a) Styrol mit 2-Bromooctansäure-funktionalisierten MNPs mittels ATRP und von b) ϵ -Caprolacton mit Ricinolsäure-funktionalisierten Partikeln durch ringöffnende Polymerisation (ROP)

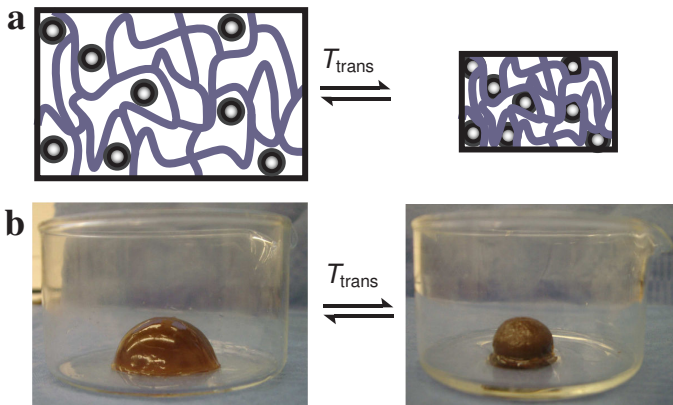


Abb. 7: Thermischer Volumenübergang in magnetosensitiven Hydrogelen

Das Prinzip ist in Abbildung 7 gezeigt. Die flexiblen Polymerfäden, die das vernetzte Grundgerüst bilden, in das die Nanopartikel eingebunden sind, zeigen bei verschiedenen Temperaturen eine unterschiedlich starke Tendenz, sich zusammenzuziehen und dabei eine mehr oder weniger große Menge Wasser aufzunehmen oder abzugeben. Die Materialien zeigen daher eine deutliche Schrumpfung beim Überschreiten der Übergangstemperatur, die bei Verwendung von Poly(N-isopropylacrylamid) (PNiPAAm) bei etwa 32 °C liegt. Durch den Einbau der magnetosensitiven Nanopartikel lässt sich dieser Effekt durch Anlegen eines äußeren Magnetfelds und die damit verbundene lokale Wärmeentwicklung auslösen. Durch die Kombination verschiedener analytischer Methoden werden Informationen zu Einzelheiten des Volumenübergangs in solchen Gelen und zu den Mechanismen der Wärmeübertragung auf der Nanometerskala erhalten.

Magnetoresponsive Polymercomposits

Die Kombination magnetisch erwärmbare Magnetitpartikel mit thermoresponsiven Polymeren hat sich weiterhin für die Herstellung von polymeren Formgedächtnismaterialien

als sinnvoll erwiesen, die sich im elektromagnetischen Wechselfeld aktivieren lassen (s. Abb. 8).¹⁸ In diesen Materialien besteht die Matrix aus teilkristallinen Elastomeren, die nach einer Verformung bei erhöhter Temperatur auf Raumtemperatur abgekühlt und dabei sozusagen in dieser Verformung eingefroren werden. Durch eine erneute Erwärmung wird diese vorübergehende Fixierung gelöst, und das Probenstück geht in seinen ursprünglichen Zustand zurück. Die Kombination mit magnetischen Nanopartikeln erweitert den Effekt um die Möglichkeit einer magnetischen Aktivierung. Dabei wird die magnetische Erwärmbarkeit der Kerne mit Hilfe eines magnetischen Wechselfelds ausgenutzt, um die notwendige thermische Energie für den Formgedächtnisübergang zu generieren.

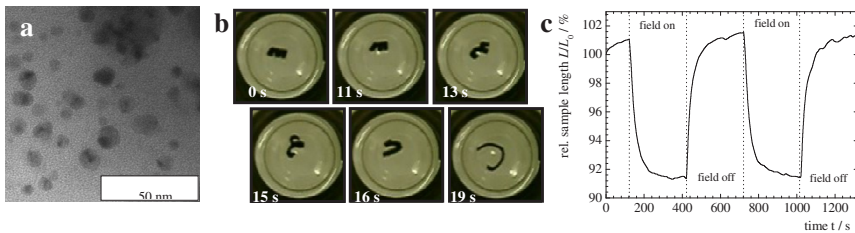


Abb. 8: a) TEM-Aufnahme von Fe₃O₄-Nanopartikeln eingebettet in ein Formgedächtnispolymer; b) magnetisch aktivierter Formübergang; c) reversible Längenkontraktion in magnetoaktiven flüssigkristallinen Elastomeren

Unter Verwendung von flüssigkristallinen Bausteinen in der Gelmatrix gelangt man zu Materialien, die eine reversible Längenänderung durch Erwärmung oder Abkühlung erfahren. Auch hier lässt sich unter Verwendung geeignet modifizierter Nanopartikel eine Aktivierung der Kontraktion durch die Verwendung äußerer Magnetfelder berührungslos erreichen.

Zusammenfassend wird erwartet, dass die Ergebnisse dieser Arbeiten zu einer neuen Klasse von stimulisensitiven Materialien beitragen, die sowohl für die Untersuchung der fundamentalen Eigenschaften magnetoaktiver weicher Materie sowie von Aspekten des Nanomagnetismus von Bedeutung sind und darüber hinaus Potenzial für unterschiedliche Anwendungen im Sensor- oder Aktuatorbereich sowie für die Datenspeicherung aufweisen.

Literatur

- ALEXIOU, C., W. ARNOLD, R. J. KLEIN, F. G. PARAK, P. HULIN, C. BERGEMANN, W. ERHARDT, S. WAGENPFEIL und A. S. LÜBBE (2000). „Locoregional Cancer Treatment with Magnetic Drug Targeting“, *Cancer Research* 60, 6641.
- ANDRÄ, W. (1998), in: W. ANDRÄ und H. NOWAK (Hrsg.). *Magnetism in Medicine*. Weinheim.
- BERKOVSKY, B. M. und V. BASHTOVOY (1996). *Magnetic Fluids and Applications Handbook*. New York.
- BLUMS, E., A. CEBERS und M. M. MAIROV (1997). *Magnetic Fluids*. Berlin.

¹⁸ Vgl. Schmidt (2006: 1168).

- FENDLER, J. (1996). „Self-Assembled Nanostructured Materials“, *Chemistry of Materials* 8, 1616–1624.
- GELBRICH, T., M. FEYEN und A. M. SCHMIDT (2006a). „Magnetic Thermoresponsive Core-Shell Nanoparticles“, *Macromolecules* 39, 3469–3472.
- GELBRICH, T., M. FEYEN und A. M. SCHMIDT (2006b). „Magnetic Polymer Brushes: Towards Tailor-Made Stabilization of Magnetic Fluids by Surface-Initiated Polymerization“, *Zeitschrift für Physikalische Chemie* 220, 1–9.
- KAISER, A., T. GELBRICH und A. M. SCHMIDT (2006). „Thermosensitive magnetic fluids“, *Journal of Physics: Condensed Matter* 18, S2563–S2580.
- KAISER, A. und A. M. SCHMIDT (im Druck). „Phase Behaviour of Polystyrene Brush-coated Nanoparticles in Cyclohexane“, *Journal of Physical Chemistry C*.
- KRIZOVA, J., A. SPANOVA, B. RITTICH und D. HORAK (2005). „Magnetic hydrophilic methacrylate-based polymer microspheres for genomic DNA isolation“, *Journal of Chromatography A* 1064, 247.
- MOLDAY, R. S. und D. MACKENZIE (1982). „Immunospecific ferromagnetic iron-dextran reagents for the labeling and magnetic separation of cells“, *Journal of Immunological Methods* 52, 353–367.
- NÉEL, M. L. (1964), in: C. J. PORTER (Hrsg.). *Progress in Low Temperature Physics*. Bd. 1. Amsterdam.
- RAIKHER, Y. L., V. V. RUSAKOV, W. T. COFFEY und Y. P. KALMYKOV (2004). „Dynamic susceptibilities of an assembly of dipolar particles in an elastic environment“, *Physical Revue E*, 63, 031402.
- SCHMIDT, A. M. (2005a). „The Synthesis of Magnetic Core-Shell Nanoparticles by Surface-Initiated Ring-Opening Polymerization of ϵ -Caprolactone“, *Macromol. Rapid. Commun.* 26, 93.
- SCHMIDT, A. M. (2005b). „Induction heating of novel thermoresponsive ferrofluids“, *J. Magnetism Magn. Mater.* 289C, 5.
- SCHMIDT, A. M. (2006). „Electromagnetic Activation of Shape Memory Polymer Networks Containing Magnetic Nanoparticles“, *Macromolecular Rapid Communications* 27, 1168–1172.
- SCHMIDT, A. M. (2007). „Thermoresponsive magnetic colloids“, *Colloid and Polymer Science* 285, 953.
- ZAHN, M. (2001). „Magnetic fluid and nanoparticle applications to nanotechnology“, *Journal of Nanoparticle Research* 3, 73–78.
- ZHANG, J. Z., Z. L. WANG, J. JU, S. CHEN und G. Y. LIU (2003). *Self-Assembled Nanostructures*. New York.
- ZRÍNYI, M., D. SZABÓ, G. FILIPCSEI und J. FEHÉR (2002), in: Y. OSADA und A. R. KHOKHLOV (Hrsg.). *Polymer Gels and Networks*. New York.

