

Zusammenfassungen Projektbereiche:

Ziel dieses Sonderforschungsbereichs ist die Entwicklung einer neuartigen, ungekühlten und unabgeschirmten biomagnetischen Schnittstelle. Über sie sollen im Wesentlichen für medizinische Fragestellungen unidirektional Gehirn- bzw. Herzfunktionen über deren Magnetfelder aufgezeichnet werden. Eine derartige biomagnetische Schnittstelle – realisiert durch neuartige magnetoelektrische Komposite und neue Signalverarbeitungsstrategien – ermöglicht medizinische Anwendungen in der Magnetoenzephalographie (MEG) und Magnetokardiographie (MKG), die bisherige Sensoren nicht gestatten. Grund dafür ist der Verzicht auf Kühlung und die Möglichkeit, die Richtung des Magnetfeldes aufzuzeichnen. Als Perspektive rücken mit dieser Entwicklung aber auch ganz neue visionäre Anwendungsfelder ins Blickfeld, wie Gedankensteuerung von Prothesen, optimiertes Lernen oder die Verwirklichung neuartiger Körperüberwachungsfunktionen. Eine zentrale Rolle in der Qualität der Schnittstelle spielt die Lösung des inversen Problems. Dadurch ist es möglich, von den räumlich verteilten Magnetfeldern auf die zugrundeliegenden Herz- bzw. Hirnströme zu schließen und sie zu lokalisieren, gleichbedeutend mit einer räumlichen Zuordnung von Gehirn- oder Herzfunktionen. Im Vergleich zu elektrischen Messungen (EEG bzw. EKG) bieten magnetische Verfahren trotz des höheren apparativen Aufwands bei dieser Lokalisation wesentliche Vorteile. So versprechen die bessere räumliche Auflösung und die im Magnetfeld enthaltene Richtungsinformation insbesondere die Möglichkeit, auch aus tiefer liegenden Regionen Signale zu detektieren und damit zusätzliche medizinisch relevante Erkenntnisse zu gewinnen. Die Lösbarkeit des inversen Problems selbst hängt von der Verfügbarkeit höchstempfindlicher Magnetfeldsensorarrays zur Detektion der sehr kleinen Magnetfelder ab. Die Amplituden liegen in der Magnetokardiographie im Picotesla-Bereich, in der Magnetoenzephalographie im Femtotesla-Bereich. Diese Magnetfeldsensoren sollen unter Verwendung nanoskaliger magnetoelektrischer Komposite entwickelt werden. Um das Ziel zu erreichen, soll im Sonderforschungsbereich die Spanne von den physikalischen Grundlagen dieser Komposite aus magnetostriktiven und piezoelektrischen Phasen, deren Herstellung als Magnetfeldsensoren, deren Prozessierung in Nano-/Mikrosystemen einschließlich der elektronischen Ansteuerung und Auslesung bis zur Validierung der Sensorsysteme anhand aktueller medizinischer Forschungsprojekte in der Neurologie, Neuropädiatrie und Kardiologie interdisziplinär erforscht werden. Dazu werden ausgewiesene Gruppen aus der Physik, den Materialwissenschaften, der Elektrotechnik und der Medizin der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel unter Einbindung des Fraunhofer-Instituts für Siliziumtechnologie in Itzehoe sowohl in theoretischen als auch in experimentellen Teilprojekten intensiv zusammenarbeiten.

Im **Projektbereich A „Entwicklung von magnetoelektrischen (ME) Kompositen“** sollen verschiedene Ansätze für die Herstellung von ME Verbundwerkstoffen verfolgt werden. Dabei werden sowohl Selbstorganisation im Nanometerbereich, Viellagenabscheidungen und lithographische Methoden zur Erzeugung der Nanokomposite eingesetzt. Die verschiedenen zu untersuchenden 2-2, 1-3, 1-1 und 0-3 Komposite haben dabei unterschiedliche Anforderungen an die beiden Phasen, im Wesentlichen bedingt durch die Prozesskompatibilität bei der Herstellung oder Anforderungen an die Leitfähigkeit der magnetostriktiven Phase. Abhängig von der Elektrodenanordnung sollen insbesondere metallische magnetostriktive Materialien zum Einsatz kommen, die in der Regel über bessere magnetostriktive und weichmagnetische Eigenschaften verfügen als oxidische Ferromagnetika. Andererseits soll – sofern möglich – schwerpunktmäßig Zinkoxyd als piezoelektrische Phase untersucht werden. Die Abgrenzung zwischen den einzelnen Teilprojekten erfolgt über die Art der Komposite, so dass zum einen eine klare Abgrenzung zwischen den Projekten gegeben ist, zum anderen die Projekte in Material- und

Prozessierungsaspekten sowie bei der Charakterisierung eng kooperieren. Im Einzelnen sollen Ansätze verfolgt werden, sowohl horizontale wie vertikale 2-2 Grenzflächen herzustellen. Dabei lassen sich die horizontalen Grenzflächen durch Mehr- bzw. Viellagenabscheidungen erzeugen, während zur Herstellung vertikaler Grenzflächen Selbstorganisation durch Entmischung untersucht werden soll.

Im **Projektbereich B „Eigenschaften von ME Grenzflächen“** soll das für eine Optimierung der Funktion von ME Nanokompositen notwendige grundlegende Verständnis der an den Grenzflächen auftretenden Wechselwirkungsprozesse sowie der strukturellen, elektronischen, magnetischen und dynamischen Eigenschaften auch als Funktion äußerer elektrischer und magnetischer Felder experimentell und theoretisch erarbeitet werden. Eine zentrale Frage stellt die Kopplung zwischen der magnetostriktiven und piezoelektrischen Phase an der Grenzfläche und als Funktion der Distanz zur Grenzfläche und Grenzflächenrauigkeit dar. Wichtige Parameter sind dabei die intrinsischen Schichtspannungen zwischen den beiden Phasen, die elektronische und magnetische Struktur an der Grenzfläche, die Orientierung und Dimension der Grenzflächen in Relation zum Substrat sowie die Volumenanteile der beiden Phasen. Diese Untersuchungen sollen dazu beitragen, Modelle zu entwickeln, welche die aus ersten Arbeiten sichtbare Effektsteigerung von ME Nanokompositen im Vergleich zu ME Verbundwerkstoffen in Makrodimensionen erklären können und damit zur Optimierung der Struktur der ME Nanokomposite beitragen. Für die Experimente werden sowohl in situ präparierte Modellsysteme hergestellt als auch Realstrukturen verwendet, die in den Projekten des Projektbereichs A hergestellt werden. Eine weitgehende Fokussierung erfolgt dabei auf Systeme mit ZnO als piezoelektrischer und metallischen Schichten als magnetostriktiver Phase, so dass für diese Systeme die verschiedenen Untersuchungen aus den Teilprojekten zu einer Gesamtbeschreibung zusammengefasst werden können.

Der **Projektbereich C „Entwicklung von Sensorsystemen“** deckt die systemtechnische Seite des Projekts ab. Dazu gehört sowohl die Modellierung des Sensorsystems, die mikro-/nanotechnische Herstellung und die Entwicklung der elektronischen und digitalen Signalverarbeitung der ME Sensoren und Sensorarrays. In Teilprojekt C1 erfolgt die Modellierung der ME Komposite in Zusammenarbeit mit den Teilbereichen A und B sowie der integrierten ME Sensoren und -Sensorarrays. In Teilprojekt C2 erfolgt die mikro-/nanotechnische Umsetzung der ME Schichtentwicklungen aus dem Projektbereich A unter Berücksichtigung der Modellierungsergebnisse in ME Sensoren. In enger Kooperation mit Teilprojekten C3 und C4, die die elektronische und digitale Signalverarbeitung zum Inhalt haben, sollen zusätzlich Methoden untersucht werden, das Messsignal von den um viele Größenordnungen größeren Störsignalen zu trennen.

Der **Projektbereich D „Anwendungen in der Medizin“** behandelt die Anwendungsaspekte des geplanten Sonderforschungsbereichs in der Medizin. In der ersten Antragsperiode werden vier Projekte bearbeitet, die Lösung des inversen Problems durch multipolunterstützte Abbildungsverfahren, zwei Projekte zur Validierung der ME sensorbasierten Messtechnik in der Neurologie sowie ein Projekt der Kardiologie, das ebenfalls eine Bewertung des Potenzials der Sensoren erlaubt. Die Projekte sind bereits in der Anfangsphase des Sonderforschungsbereichs unverzichtbar, um sicherzustellen, dass maßgebliche Spezifikationen und Anforderungen an die Sensoren von Beginn an berücksichtigt werden. Eine Evaluierung erfolgt in der ersten Antragsphase im Wesentlichen anhand von medizinischen Fragestellungen im Zusammenhang mit Hirn oder Herzschrittmachern. Die repetierenden Signale, die relative großen Feldamplituden sowie die Möglichkeit, in Modellsystemen der Hirn- oder Herzschrittmacher zunächst größere Ströme zu verwenden,

stellen sicher, dass an diesen Demonstratoren schon zu einer frühen Projektphase effektiv gearbeitet werden kann.