

Foresight-Prozess – Im Auftrag des BMBF

Bericht

Zukunftsfelder neuen Zuschnitts

Auszug

Zukunftsfähige Energielösungen

Zukunftsfähige Energielösungen

Die Forschung zu Bereitstellung und effizienter Nutzung von Energie wird in Deutschland mit hoher Priorität betrieben.

Im Rahmen des BMBF-Foresight wurden zwei Ansatzpunkte benannt, die noch über die aktuell bestehenden Aktivitäten hinausweisen:

1. methodisch unterstützte Langfristkoordination der energierelevanten Beiträge aus verschiedenen nicht unmittelbar mit Energie befassten Forschungsfeldern (Energiekonzert) und
2. Ausloten neuer Pfade für die Nutzung von Mikro-Energie aus der Umgebung zum Betrieb mobiler Geräte (Mikro-Energie aus der Umgebung).

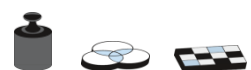
Während (1) »das Energiekonzert« ein Handlungsfeld der Forschungscoordination darstellt und große Energiemengen betrifft, ist bei (2) »Mikro-Energie aus der Umgebung gewinnen« intensive Forschung aus verschiedenen Bereichen gefragt. Mikro-Energie aus der Umgebung zu gewinnen ist kein reines Energiethema: Es handelt sich um so geringe Energiemengen, dass diese für die Energieexperten irrelevant sind und auch im Energiekonzert keine Rolle spielen. Mikro-Energie aus der Umgebung zu gewinnen ist ein Forschungs- und Innovationsthema, das besonders die Mikroelektronik betrifft. Entsprechend ist das Forschungsthema im Zukunftsfeld Informations- und Kommunikationstechnologie aufgekommen.

Im Folgenden werden die beiden Felder vorgestellt.

1.1 Handlungsfeld Energiekonzert

Abgestimmte Forschungsvielfalt für zukunftsfähige Energielandschaften

Vorbemerkung: Das Energiekonzert ist – abgesehen von methodischen Aspekten – kein Forschungsfeld im eigentlichen Sinne, sondern ein Handlungsfeld für die Forschungscoordination. Aufgrund der von allen beteiligten Expertinnen und Experten immer wieder betonten Dringlichkeit der Herausforderung wird es jedoch vom BMBF-Foresight-Prozess als Gebiet für forschungsfeldübergreifende Aktivitäten (Ziel 2) vorgeschlagen und hier zusammen mit den Zukunftsfeldern neuen Zuschnitts dokumentiert.



Ziel des Energiekonzerts ist eine frühzeitige strategische Bündelung von Beiträgen verschiedener Forschungsfelder für die zukunftsfähige Erzeugung und Nutzung von Energie. Dazu schlagen wir eine zukunftsgerichtete strukturierte Beobachtung der Forschungslandschaft vor. Integrierte Szenarioanalysen und ein »Meta-Roadmapping« sollen helfen, Synergien und Inkonsistenzen zu identifizieren, und auf Chancen durch punktuelle strategische Bündelungen hinweisen. Aus unserer Sicht verweisen die Foresight-Ergebnisse auf folgende Felder für einen solchen energiebezogenen »Strategieabgleich«:

- Materialwissenschaften/ Nanotechnologie/ Elektromobilität
- Energieeffiziente Produktionstechnik/ Bioproduktion
- Intelligentes Haus/ Photonik

Das Feld kann auf aktuellen Aktivitäten des BMBF zur systemorientierten Energieforschung (BMBF 2008: Grundlagenforschung Energie 2020+. S. 20ff) aufsetzen.

1.1.1 Energiekonzert Motivation

Die Sicherung einer bezahlbaren, sicheren und klimaverträglichen Energieversorgung ist eine der zentralen globalen Herausforderungen und damit ein herausragender Zukunftsleitmarkt mit hoher Relevanz für Wirtschaft und Lebensqualität sowie hoher Ausstrahlkraft in zahlreiche Forschungsfelder hinein. Dabei sind zukunftsfähige, abgestimmte Lösungen für Erzeugung, Verteilung und Nutzung gleichermaßen bedeutend. Viele unterschiedliche Forschungsarbeiten außerhalb der unmittelbaren Energieforschung können hier erhebliche Beiträge leisten. Dies bestätigt die Online-Expertenbefragung des BMBF-Foresight-Prozesses eindrucksvoll. In beinahe jedem Zukunftsfeld wurden Forschungsthemen mit Energiebezug als besonders zukunftsrelevant herausgestellt (vgl. Abbildung 1).

Dabei verfolgt jedes Forschungsfeld eine eigene »Roadmap« und hat bestimmte Energielandschaften – d. h. zukünftige Formen der Erzeugung und Nutzung von Energie – im Blick. Solche Energielandschaften sind jedoch ebenfalls in einem dynamischen Wandel begriffen. Sowohl Energienutzung als auch Energieerzeugung verändern sich durch neue technologische und organisatorische Konzepte in Bereichen wie Mobilität, Siedlungsbau, Landwirtschaft, Information und Kommunikation, Produktion sowie nicht zuletzt der Energieerzeugung selbst. Derartige Dynamiken sind für das Innovationsgeschehen charakteristisch und werden in der Regel durch Marktmechanismen und andere gesellschaftliche Selektionsprozesse vermittelt.



<p>Biotechnologie zur Bereitstellung von Energie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gebiet mit 2. höchster Relevanz im Feld Biotechnologie und Lebenswissenschaften, höchste Relevanz für Wirtschaft, Lebensqualität und Technologie <p>Energie- und Ressourceneffizienz in der industriellen Produktion</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wichtigstes Gebiet und 1. Platz in allen Relevanzkategorien im Feld Industrielle Produktionssysteme <p>Energieverbrauchsoptimierte und energieautarke Produktionsstätten</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2. wichtigste Forschungsaufgabe im Feld Industrielle Produktionssysteme <p>IKT für dezentral organisierte Energieversorgungssysteme hoher Effizienz</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wichtigste Forschungsaufgabe des Feldes Informations- und Kommunikationstechnik <p>Energiegewinnung aus der Umgebung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausgewähltes Zukunftsthema mit Langfristrelevanz im Feld Informations- und Kommunikationstechnik <p>Ressourcen schonendes rohstoffeffizientes Wirtschaften</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wichtigstes Gebiet im Feld Umweltschutz und nachhaltige Entwicklung und der gesamten Befragung <p>Energieerzeugung durch Photonik</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wichtigste Forschungsaufgabe des Feldes Optische Technologien <p>Nanomaterialien zur Energieerschließung/-umwandlung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wichtigste Forschungsaufgabe des Feldes Nanotechnologie <p>Neue Dämmmaterialien</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wichtigste Forschungsaufgabe des Feldes Mensch Leben Raum <p>Materialsysteme für eine neue Generation von Energiespeichern und Beschichtungsmaterialien für die kostengünstige Gewinnung solarer Energie</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die zwei wichtigsten Forschungsaufgaben des Feldes Materialien

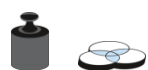
Abbildung 1: Bewertung von Zukunftsthemen mit Energiebezug in der Online-Befragung des BMBF-Foresight-Prozesses (Auszug)

Der Bereich der Energieforschung nimmt jedoch wegen der extremen Langfristigkeit der Innovationszyklen und des hohen übergeordneten gesellschaftlichen Interesses an einer klimaverträglichen und sicheren Energieversorgung eine Sonderstellung ein. Es ist daher aus unserer Sicht notwendig, auch über die direkte Energieforschung hinaus, den Prozess, in dem sich optimale Energieeffizienz-Passungen verschiedener Technologien und Konzepte herauskristallisieren, durch geeignete Maßnahmen zu flankieren, ohne die Vielfalt der Lösungsangebote, die von der Forschung generiert werden, zu beschränken.

1.1.2 Energiekonzert Ansatz

Das Handlungsfeld »Energiekonzert« zielt darauf ab, Potenziale für eine strategische Bündelung verschiedener Akteure der Forschungslandschaft im Hinblick auf zukunftsfähige Energieszenarien frühzeitig zu erschließen.

In einem ersten Schritt erfordert das »Energiekonzert« eine systematische Beobachtung der verschiedenen auf Energieeffizienz gerichteten Forschungsbeiträge und der assoziierten zukünftigen Energielandschaften (»Roadmap-Screening«). In einem zweiten Schritt können die verschiedenen Zielvorstellungen verglichen und verschiedenen denkbaren Umfeldszenarien gegenübergestellt werden. Integrierte soziotechnische Szenarioanalysen und feldübergreifendes »Meta-Roadmapping« können eingesetzt werden, um Synergiepotenziale aufzudecken und Chancen durch punktuelle strategische Bündelung von Forschungsanstrengungen zu identifizieren.



In einem weiteren Schritt ist es denkbar, dass an diesen Stellen flankierende, koordinierende oder gemeinsame Forschungsprojekte über mehrere Technologiefelder hinweg auf den Weg gebracht werden. Ein solcher Prozess könnte durch ein entsprechendes Forschungsprojekt angestoßen werden, müsste dann aber in einem Dialog der beteiligten Disziplinen und Akteure weitergeführt werden, um schließlich in dezidierten Schnittstellenforschungsprojekten zu münden.

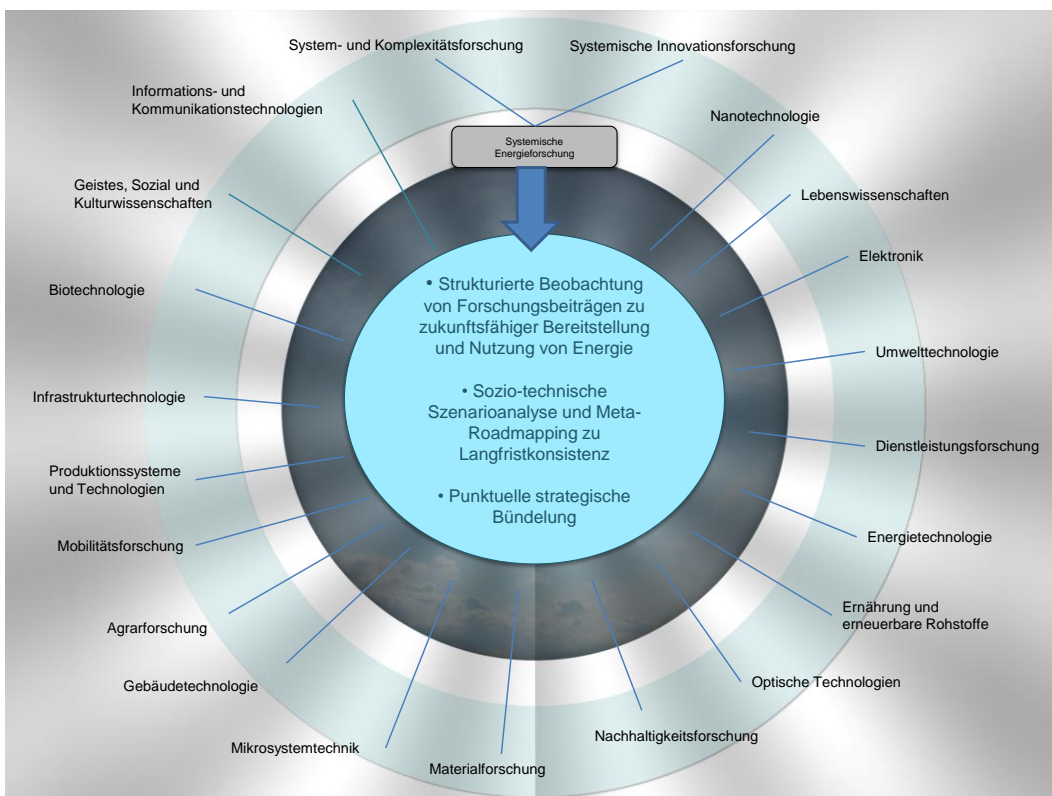


Abbildung 2: Struktur des Energiekonzerts

Das »Energiekonzert« kann an aktuell im BMBF verfolgte Ansätze systemorientierter Forschung aufsetzen (BMBF 2008: Grundlagenforschung Energie 2020+, S. 20ff). Integrierte Forschungsinitiativen wie die »energieeffiziente Stadt« weisen in die hier aufgezeigte Richtung. Das Energiekonzert umfasst jedoch einen erweiterten Beobachtungsradius und greift die Beiträge der einzelnen Forschungsfelder schon in einem Frühstadium auf (vgl. Abbildung 2). Des Weiteren können Instrumente wie qualitative und quantitative Szenarioanalysen maßgebliche Beiträge zur Koordination der Langfristperspektiven leisten.



1.1.3 Potenzielle Akteure im Energiekonzert

Für das Energiekonzert sind **alle** Forschungs- und Innovationsfelder potenziell relevant. Dabei sind gezielt Akteure aus Forschungspolitik und Forschungseinrichtungen einzubeziehen, die mit strategischer Langfristausrichtung ihres Bereiches befasst sind, etwa im Rahmen von Aktivitäten wie der Innovationsallianz »Lithium Ionen Batterie LIB 2015«, dem Förderprogramm »Werkstoffinnovationen für Industrie und Gesellschaft – WING« und der Förderinitiative »Solar-energie-technik der nächsten Generation«. Eine umfassende Identifikation der relevanten Aktivitäten und Akteure für die Orchestrierung des Energiekonzerts wäre die erste Aufgabe des Handlungsfeldes.

1.2 Forschungsfeld Mikro-Energie aus der Umgebung gewinnen

Wir benutzen täglich bewusst oder unbewusst eine Vielzahl unterschiedlicher Geräte, die Energie benötigen. Die Geräte selbst werden immer kleiner (Miniaturisierung) und in Systeme integriert, einige – in Form von Implantaten – sogar in den Menschen. Immer mehr dieser Anwendungen sollen autonom, dezentral oder mobil ablaufen, ohne Stromnetz und möglichst auch ohne Batterien. Die Nutzung von Mikro-Energie direkt aus der Umgebung ist daher in vielen Fällen Voraussetzung für neuartige Anwendungen und dezentrale Systeme.

Beispiele hierfür können eine dauerhafte Stromversorgung von Herzschrittmachern sein, die permanente mobile Messung und Übertragung von Körperfunktionen wie Herzfrequenz und Blutdruck, autonome verteilte Sensorsysteme mit Monitoring-Funktionen etc. Die Innovationspotenziale für mobile Geräte, die wenig Energie benötigen, sind noch lange nicht ausgereizt und scheinen eine wesentliche Voraussetzung für Entwicklungen wie das »Internet der Dinge« oder »Ambient Intelligence« zu sein.

Die Technologien zur Nutzung von »Energiequellen« wie mechanische Energie aus Schwingungen oder Luftbewegungen, thermische Energie aus Abwärme, Reibungswärme oder Körperwärme, Einstrahlung von Sonnen- oder Kunstlicht, elektromagnetische Energie von Transformatoren oder Energie aus chemischen und biologischen Prozessen können als »Enabler« für innovative Mikroelektronik-Anwendungen dienen, die sonst überhaupt nicht möglich erscheinen. Wie dies geschehen kann und in welchen Fällen es ökonomisch und ökologisch sinnvoll ist, bleibt zu erforschen. Zudem erfordert die Nutzung derartiger Mikro-Energiequellen entsprechende Anwendungen, die mit geringen Energiemengen überhaupt arbeiten können.



1.2.1 Warum Mikro-Energie?

Der allgemeine wissenschaftlich-technische Fortschritt führt zur Entwicklung und Verbreitung von immer neuen technischen Anwendungen, die bestehende Geräte ersetzen, ergänzen oder aber völlig neue Einsatzgebiete erschließen. Der Fortschritt ist u. a. durch zwei zentrale und miteinander verbundene Trends gekennzeichnet: die Miniaturisierung und die zunehmende Integration von Funktionen. Auf diese Weise ist es möglich, immer neue Gegenstände in den Rang von »intelligenten Produkten« zu heben: Viele dieser Produkte können ihre Umwelt in ausgewählten Parametern erkennen und in Grenzen (eigenständig) auf Änderungen reagieren (acatech 2009a). Zudem agieren verschiedene Geräte zunehmend im Verbund und kommunizieren miteinander, um sich aufeinander abzustimmen; dies geht weit über »klassische« IKT-Anwendungen hinaus und betrifft auch reguläre Alltagsgegenstände.

All diese Prozesse benötigen Energie, im Regelfall elektrischen Strom. Die bestehenden Versorgungskonzepte für die genannten Anwendungen gehen gegenwärtig davon aus, dass entweder ein Zugang zum Stromnetz besteht oder aber leistungsfähige Energiespeicher (Primärbatterien, Akkus) zur Verfügung stehen. Trotz vergleichsweise hoher Leistungsdichten sind die bestehenden Lösungen im Hinblick auf Verfügbarkeit und Standzeit oftmals unbefriedigend und/ oder teuer.

Die fortschreitende Technisierung der Umwelt und die gleichzeitige Notwendigkeit dauerhafter und mobiler Verfügbarkeit von Energie auch außerhalb entsprechender Infrastrukturen macht es daher erforderlich, neuartige Konzepte der Energieversorgung zu entwickeln. Die hier angesprochenen Technologien und Innovationen können nur eine kleine Lücke füllen. Innerhalb eines Energiekonzerts würde dieses Zukunftsfeld »verschwinden«, weil es nicht von der Energiemenge, sondern von den Anforderungen her gedacht wird. Entstanden ist das anfänglich nur als kleines »Zukunftsthema« angesehene Feld in den Informations- und Kommunikationstechnologien. Es kann – wenn kreativ weiter verfolgt – jedoch große Auswirkungen haben und bekommt damit den Charakter eines »Zukunftsfeldes«.

Zur Anwendung können eine Vielzahl von »Energiequellen« wie die oben schon erwähnte mechanische Energie aus Schwingungen oder Luftbewegungen, thermische Energie aus Abwärme, Reibungswärme oder Körperwärme, Strahlung von Sonnen- oder Kunstlicht, elektromagnetische Energie von Transformatoren oder Energie aus chemischen und biologischen Prozessen kommen. Hiermit werden Energiemengen bereitgestellt, die etwa denen von Knopfzellen-Batterien entsprechen, aber nicht ausgetauscht werden müssen. Entsprechend können ihre Stromentstehungskosten pro Kilowattstunde im drei- bis vierstelligen Eurobereich liegen. Hierfür werden überwiegend neue Materialkombinati-



onen benötigt, um neue Anwendungen im Mikroelektronikbereich zu ermöglichen. Neben diesen vielfältigen Arten von Energiewandlern benötigt ein solches Energieversorgungssystem auch Speicher und Managementsysteme, um jederzeit die erforderliche Energiemenge in der erforderlichen Stromstärke, Spannung und Frequenz zur Verfügung stellen zu können.

1.2.2 Ausgangssituation im Zukunftsfeld heute (2009)

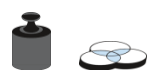
Für die Nutzung von Mikro-Energie aus der Umgebung stehen verschiedene und auch schon in der Praxis erprobte Technologien zur Verfügung, die hinsichtlich ihrer Energiebilanz und Effizienz für jede Anwendung jeweils eigenständig betrachtet werden müssen:

- photovoltaische Generatoren, bei denen die direkte photovoltaische Energiewandlung auf Basis verschiedener Solarzell-Prinzipien erfolgt,
- piezoelektrische Generatoren, die mittels spezieller Piezokristalle mechanische in elektrische Energie umwandeln,
- thermoelektrische Generatoren, die elektrische Spannung durch Temperaturunterschiede bei zwei verschiedenen Metallen erzeugen (Seebeck-Effekt),
- elektromagnetische Generatoren, bei denen die elektromagnetische Energiewandlung nach dem bekannten Dynamoprinzip erfolgt,
- kapazitive und elektrostatische Generatoren nutzen kapazitative oder elektrostatische Ladungen in einem elektrischen Feld zur Elektrizitätsgewinnung,
- Mikro-Brennstoffzellen (Energiewandler, die einen spezifischen Energieträger wie Wasserstoff, Methanol oder Glukose benötigen) und
- thermomechanische Generatoren, die im Unterschied zu thermoelektrischen Generatoren mechanische Zwischenenergie erzeugen, die über einen weiteren Wandlungsschritt in elektrische Energie überführt werden muss.

Die meisten Studien und Veranstaltung laufen unter der Überschrift des »Energy Harvesting« (z. B. Bartsch et al. 2007; Chalasani/ Conrad 2008; Fleischhauer et al. 2007; Studie von Frost & Sullivan 2007; Kloub et al. 2008; König 2009; Maurath et al. 2008; Müller et al. 2009 und 2008; Paradiso/ Starner 2005; Spreemann/ Becker 2008; Spreemann et al. 2006; Ugan/ Reindl 2008).

Erfolg versprechende Forschungsarbeiten laufen gegenwärtig auf dem Gebiet mikromechanischer Systeme, bei denen über eine piezoelektrische¹ Schicht Vib-

¹ Bei piezoelektrischen Materialien bewirkt Verformung eine elektrischen Spannung (und umgekehrt).



rationsenergie in elektrische Energie umgewandelt wird. Anwendbar sind solche Systeme beispielsweise als Energieversorgung für Sensoren in Flugzeugen, Fahrzeugen oder vibrierenden Industrieanlagen. Diese piezoelektrischen Systeme liefern bis zu $60 \mu\text{W}$ und sind damit in der Lage, einfache Sensoren in Fahrzeugen, wie z. B. Reifendrucksensoren im Auto, mit Energie zu versorgen. In der weiteren Entwicklung kommt es darauf an, neue piezoelektrische Materialien zu finden, die bei den im Einzelfall vorliegenden Schwingungsfrequenzen und Beschleunigungen die erforderlichen Strom- und Spannungsparameter liefern.

Weitere aussichtsreiche Arbeiten erfolgen im Bereich der Thermoelektrik (siehe auch König 2009), bei der mittels des Seebeck-Effekts Strom aus Temperaturdifferenzen erzeugt wird. Große Aufmerksamkeit findet derzeit der so genannte ZT-Wert, der die Effizienz von thermoelektrischen Materialien beschreibt (Umwandlung von Wärme in Strom). In den letzten 15 Jahren konnte der ZT-Wert von 1 auf 2,4 verbessert werden. Weitere Verbesserungen werden erwartet. Allerdings ist die Effizienz des Materials nicht allein ausschlaggebend für den Wirkungsgrad eines thermoelektrischen Generators. Ebenso wichtig ist der Temperaturbereich, in dem der ZT-Wert sein Maximum erreicht. Ein Fortschritt für die Thermoelektrik wäre es daher, ein Material zu entwickeln, welches über einen großen Temperaturbereich seinen ZT-Wert konstant hält, auch wenn er nur relativ gering ist. Aktuell sind circa 30 verschiedene Materialien im Gespräch, die thermoelektrisch interessant sind. Aus dieser Menge sollen einige wenige Materialien ausgewählt und deren Entwicklung dann intensiv betrieben werden. Ein weiteres Forschungsziel muss aus Sicht von Experten und Themenkoordinatoren die Senkung des Modulpreises sein, der heute aufgrund der Materialkosten, vor allem aber aufgrund der hohen Fertigungskosten in Verbindung mit den geringen Wirkungsgraden der Stromerzeugung viele Anwendungen noch unwirtschaftlich macht.

Im Bereich der Photovoltaik konzentrieren sich die Forschungsarbeiten zum einen auf hohe Wirkungsgrade und zum anderen auf niedrige Herstellkosten. Von beiden Entwicklungen kann die Mikro-Energiegewinnung direkt profitieren. Ähnlich sieht es bei den Brennstoffzellen aus, die jedoch noch auf den technologischen Durchbruch warten.

Fortschritte zeichnen sich auch bei der Speicherung und dem Energiemanagement der Systeme ab, ohne die eine Energiegewinnung aus der Umgebung nicht praktisch nutzbar ist.

1.2.3 Langfristperspektive des Zukunftsfeldes

In der Vergangenheit wurden Energiethemen vor allem unter dem Gesichtspunkt der Stromerzeugung in energiewirtschaftlich relevanten Dimensionen be-



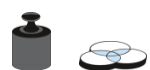
trachtet, weniger unter dem Aspekt der Mikro-Stromversorgung. Gegenwärtig sind die technischen Probleme noch deutlich zu groß und die Energieträgerpreise deutlich zu niedrig, als dass von Seiten der Stromversorger ein Interesse an dem Thema bestehen würde.



Abbildung 3: Zukünftige Forschungsthemen und Anwendungspotenziale im Zukunftsfeld »Mikro-Energie aus der Umgebung«

Aus wirtschaftlichem Interesse verfolgt die Automobilindustrie das Thema der thermoelektrischen Stromerzeugung, da die Nutzung der Wärme der Motorabgase zur Bordstromversorgung die »Lichtmaschine« mit ihrem schlechten Systemwirkungsgrad ersetzen und etwa 1 Liter Treibstoff pro 100 km und entsprechend CO₂-Emissionen einsparen könnte. Sollten die Entwicklungen in Richtung Elektroantrieb erfolgreich werden, entfielen die PKW-Industrie als möglicher Treiber. Bei hohen Treibstoffpreisen oder strengen CO₂-Grenzwerten könnte diese Technik jedoch für LKWs und Schiffe interessant werden. Allerdings treibt die Industrie bisher nicht die Materialentwicklung voran, sondern setzt überwiegend auf klassische Materialkombinationen.

Der Einsatz zur Stromversorgung von Mobiltelefonen, MP3-Playern (später: MP5-Playern) oder gar Laptops dürfte aus physikalischen, aber auch betriebswirtschaftlichen Gründen nur auf lange Frist möglich sein. Eine solche Perspek-



tive ist nur dann realistisch, wenn die Geräte wesentlich weniger Energie verbrauchen als heute. Interessante Massenmärkte könnten neben der oben bereits genannten Stromversorgung von Sensoren beim Ersatz von Batterien in der Medizintechnik liegen, wie z. B. bei Herz- oder Hirnschrittmachern, bei denen ein Austausch bisher mit einer Operation verbunden ist.

Die Hauptnachfrage nach Mikro-Energie aus der Umgebung kommt aus mikro-systemtechnischen Anwendungen. Während zentrale Fragen der Fertigung und Systemintegration dort gelöst sind, stellt die Energieversorgung dezentraler und verteilter Mikrosysteme beim heutigen Stand der Technik ein weitgehend ungelöstes Problem dar.

Der Forschungsbedarf zur Realisierung eines »Micro Energy Harvesting« ist vielfach stark interdisziplinär und bisher in seiner gesamten Dimension und Vernetzung kaum erfasst. Das »Kraftwerk im Mikrosystem« muss nicht nur Energie liefern. Es muss zusätzlich spezifischen und vielfältigen Gegebenheiten des verteilten Systems genügen. Eine dem Applikationsort angepasste Größe und Funktion des Energiewandlers, eine hohe Konversionseffizienz, vollständige Wartungsfreiheit und die möglichst direkte Umsetzung in die gewünschte Energieform sind weitere Forderungen, die zu erfüllen sind. Die unterschiedlichen Zeitprofile von Energiewandlung und -verbrauch verlangen den Einsatz effizienter Zwischenspeicher. Elektrische Wandlungsmechanismen erzeugen häufig Spannungs- und Stromniveaus, die nicht mit den entsprechenden Niveaus des Verbrauchers harmonieren. Dies erfordert bisher kaum vorhandene elektronische Wandler, die eine optimale Energietransformation zwischen Quelle und Last durchführen. Nicht zuletzt besteht Bedarf nach möglichst einfachen und kostengünstigen Methoden zur Fertigung und Systemintegration von Mikrosystem und »Energy Harvesting«.

Als Konkurrenztechnologie für die Mikro-Stromerzeugung könnte sich für einige Anwendungen relativ schnell die Elektrizitätsübertragung mittels elektromagnetischer Resonanz durchsetzen, wie sie zurzeit am MIT entwickelt wird und erste kommerzielle Anwendungen in den nächsten Jahren erwarten lässt. Während die hierbei entstehende elektromagnetische Strahlung bei Anwendungen im Bereich von einigen Watt Leistung noch Probleme bereitet, dürfte sie im Milli- und Mikrowattbereich vernachlässigbar sein.



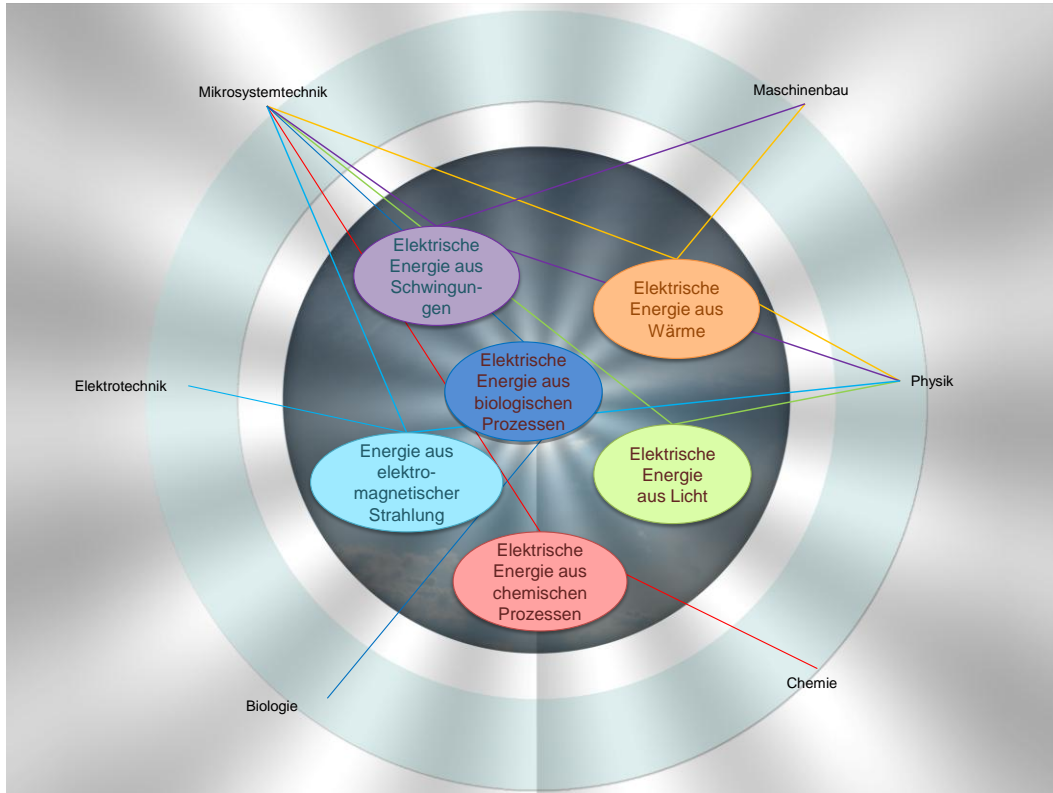


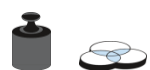
Abbildung 4: Zukünftig beteiligte Forschungsrichtungen

1.2.4 Warum ist das Zukunftsfeld relevant?

Mikro-Stromerzeugung wird auch weiterhin ein relevantes Grundlagen-Forschungsthema bleiben, ihre kommerziellen Anwendungsfelder könnten zu ganz neuen Mikrosystemtechnik-Anwendungen führen.

Wenn ein »Internet der Dinge« realisiert wird und auch »Ambient Intelligence« in den Haushalten Einzug hält, werden viele Geräte über Mikro-Energie gesteuert werden müssen, weil keine direkten Stromzugänge möglich sind. Dann wird entweder eine drahtlose Stromübertragung ohne negative Auswirkungen notwendig werden oder die direkte Nutzung der Energie aus der Umgebung.

Bei Implantaten, insbesondere lebensnotwendigen wie Herzschrittmachern, würde sich eine gesteigerte Lebensqualität ergeben, denn Operationen zum Wechsel der Batterien würden unnötig. Viele andere Anwendungen wie Sensoren, Messgeräte vor Ort, Ampelschaltungen, mobile elektronische Geräte wären einfach nur »praktisch« – und würden, wenn technisch lösbar, ihren Markt finden.



1.2.5 Akteure im Innovationssystem heute

Die Forschung für die Mikro-Energiegewinnung aus der Umgebung erfordert einen ausgeprägten interdisziplinären und systemischen Ansatz. Beispiel für die erforderliche stark vernetzte Zusammenarbeit scheint das »Center for Energy Harvesting Materials and Systems« (CEHMS) zu sein, welches auf allen Gebieten der Mikroenergietechnik forscht. Es ist eine Kooperation von 14 Instituten der Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, der Clemson University, Clemson S.C. sowie der University of Texas, Dallas. Darüber hinaus kooperiert es mit dem »Center for Intelligent Material Systems and Structures« (CIMSS) und dem »Center for Embedded Systems for Critical Applications« (CESCA).

Einen ähnlich breiten Ansatz verfolgt das Graduiertenkolleg »Micro Energy Harvesting«, das vom Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK) sowie vom Freiburger Materialforschungszentrum (FMF), beides Einrichtungen der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, getragen wird. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (FhG-ISE) ist assoziierter Partner des Graduiertenkollegs. Modellierung, Design und Optimierung verschiedener Wandlungsmechanismen stellen dort den zentralen Kern der Forschungsarbeiten zum Energy Harvesting dar. Die Materialforschung trägt mit der Entwicklung neuer Werkstoffe zu Wandlungsmechanismen und Speichermethoden bei. Die Anpassung unterschiedlicher Spannungs- und Stromniveaus sowie das effiziente Management der Systemenergie bilden Schwerpunkte der Forschung im Energiemanagement. Forschungen zu Fertigung, Systemintegration und Applikationsbetrachtungen begleiten diese Arbeiten.

Im Bereich der Umwandlung von Schwingungsenergie in Elektrizität forschen mehrere akademische und industrielle Gruppen wie das Imperial College, London, das MIT, Boston, das Georgia Institute of Technology in Atlanta, die University of California, Berkeley, die Southampton University und die University of Singapore.

Auch im Bereich der Thermoelektrik sind zahlreiche Institute und Gruppen aktiv. In Deutschland ist hier das Forschungsprogramm »Nanostrukturierte Thermoelektrika« zu nennen, welches von der Universität Hamburg geleitet wird. Es besteht aus 45 Arbeitsgruppen, die unter anderem Forschung im Bereich der Thermoelektrik betreiben. Sechs Forschungsinstitute und sechs Firmen haben sich zur Deutschen Thermoelektrik Gesellschaft zusammengeschlossen; auch international gibt es eine entsprechende Vereinigung.



1.2.6 Empfehlungen

Getrieben durch die starke Nachfrage nach einer möglichst unbegrenzten und mobilen Energieversorgung für neue Technologien wie RFID, GPS, Mobilfunk, mobiler Unterhaltung sowie Gesundheitssystemen für eine alternde Bevölkerung ist in der Analyse eine deutliche Zunahme in den Forschungsaktivitäten im Bereich des Energy Harvesting festzustellen. Flankiert wird dies durch die Entwicklungen in der Mikrosystemtechnik und der Nanotechnologie, welche beitragen, die notwendigen Voraussetzungen für Fortschritte in der Gewinnung von Mikro-Energie aus der Umgebung zu schaffen.

Die Vielfalt der Umwandlungsprinzipien erschwert zwar die Forschung, bietet aber den Vorteil, für spezielle Anwendungsfälle geeignete Technologien verfügbar zu haben. Daher sollte nach Auffassung der Themenkoordinatoren diese Vielfalt unterstützt werden. Nicht vernachlässigt werden darf die Materialforschung für die Energieumwandlung und -speicherung, sowie die Systemtechnik für das Gesamtsystem einschließlich der Anwendung.

Die im Bereich der Forschung für die Mikro-Energiegewinnung aus der Umgebung tätigen etablierten Institute sollten dieser Einschätzung nach entsprechend gestärkt und neue Forschungsgruppen ermutigt werden. Neben der staatlich finanzierten Grundlagenforschung sollten die Institute Anreize für Kooperationen mit der Industrie für anwendungsorientierte Forschung erhalten.

Angesichts der starken internationalen Aktivitäten ist eine intensivere Förderung der Vernetzung im Bereich der Mikroenergiegewinnung relevanten Forschungsgruppen und -disziplinen sinnvoll, um Deutschlands Position auf dem zukunftssträchtigen Gebiet der Mikrosystemtechnik zu halten und weiter auszubauen. Ein strategischer Dialog bietet sich nach Auffassung der Themenkoordinatoren an, der die sehr unterschiedlichen Akteure zusammenbringt und in kreativer Weise neue Ideen zur Energiegewinnung diskutieren lässt. Danach erst sollten Wege erarbeitet und festgelegt werden, wie diese umzusetzen sind. Dazu könnte ein Programm gehören oder auch ein nationales Netzwerk der Akteure mit klar definierten Innovationsallianzen für einzelne Ansätze.

