

Living, Adaptive and Energy-autonomous Materials Systems (livMatS) - Die Vision

Heutige Materialien haben weitgehend **statische** Eigenschaften. So weisen sie beispielsweise bestimmte mechanische, optische und thermische Eigenschaften auf, die sich in der Regel bis auf die unvermeidliche Alterung kaum verändern. Diese Eigenschaften ermöglichen den Einsatz solcher Materialien im Alltag, aber auch unter extremen Bedingungen wie in der Tiefsee, in der Wüste und sogar im Weltraum. Im Gegensatz dazu ist die belebte Natur, von einfachen Zellen bis hin zu ganzen Organismen, alles andere als statisch. Ein Schlüssel zum Überleben für alle Lebewesen ist vielmehr die größtmögliche **Flexibilität**, d.h. die Fähigkeit, sich an Veränderungen in der Umwelt anzupassen und so die Herausforderungen einer manchmal feindlichen Umgebung zu überwinden. Die Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Umweltbedingungen hat jedoch ihren Preis: Jede Anpassung kostet Energie, die in der Natur durch Nahrung oder Sonnenlicht bereitgestellt werden muss.

Unsere Vision ist es, das Beste aus beiden Welten, der biologischen und der technologischen, zu nutzen, um lebende, adaptive, energieautonome Materialsysteme zu entwickeln. Die von livMatS entwickelten Materialsysteme werden ihre Eigenschaften an Veränderungen in ihrer Umgebung anpassen und die dafür benötigte Energie aus dieser Umgebung gewinnen. Sie werden mobil sein und komplexes, adaptives Verhalten zeigen, ohne auf eine externe Energieversorgung angewiesen zu sein. Diese vollkommen neuartigen Eigenschaften können nicht durch ein einziges "Wundermaterial" umgesetzt werden, sondern nur durch das integrierte Zusammenspiel mehrerer Materialkomponenten, wobei die Natur, insbesondere Pflanzen, als wichtige Inspirationsquelle dient. Die Materialsysteme im Sinne von livMatS gehen dabei jedoch über die Biologie hinaus. Sie enthalten keine biologischen Zellen und sind somit nicht auf moderate Temperaturen oder die Verfügbarkeit von Wasser angewiesen. Sie sind im biologischen Sinne nicht lebendig, da sie sich nicht selbst reproduzieren. Abgesehen davon haben sie jedoch viele Merkmale von Lebewesen. Sie sind "vital" in dem Sinne, dass sie energieautark, langlebig, adaptiv und selbstregulierend sind und sich selbst schützen. Sie können auch unter widrigen Bedingungen funktionieren, ohne dass es zu einem Ausfall des kompletten Systems kommt, und haben den "Look and Feel" eines lebenden Systems. Die Vitalität dieser Materialsysteme bricht mit den aktuellen Paradigmen der Materialforschung. Die bisher entwickelten sogenannten "smarten" oder "intelligenten" Materialien können nur in einem eng gesteckten, innerhalb des Materials vorprogrammierten Rahmen auf Veränderungen ihrer Umgebung reagieren oder setzen auf eine ausgeklügelte Infrastruktur mit Motoren, Steuerungselementen und einer externen Energieversorgung. livMatS wird ganz neuartige Konzepte zum Design von Materialsystemen entwickeln, die unterschiedliche Funktionen wie Energiegewinnung, Sensorik, einfache Entscheidungsfindung, Anpassung und Selbstverbesserung innerhalb eines einzigen Systems integrieren. Zeitgleich mit der Entwicklung dieser Materialsysteme reflektiert die Forschung in livMatS die Nachhaltigkeit der Entwicklungsansätze und die gesellschaftlichen Herausforderungen, die sich aus den lebensähnlichen Eigenschaften der Materialsysteme ergeben. Anstatt zuerst die technologische Entwicklung abzuschließen und dann die Auswirkungen auf die Gesellschaft zu analysieren, werden wir Technologie- und Energieentwicklung, Nachhaltigkeitsbewertungen, Verhaltensanalysen, Akzeptanz

und den philosophischen Diskurs über das Zusammenspiel zwischen menschlicher Kontrolle und Autonomie von Systemen eng miteinander verflechten.

Wir stellen uns der Herausforderung - ein einzigartiges Team

Um diese Vision in die Realität umzusetzen, hat *livMatS* ein einzigartiges Team aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern verschiedenster Fachrichtungen zusammengestellt. Das *livMatS*-Team fußt auf den etablierten, forschungsstarken Bereichen Energieforschung, Soft Matter Science ("Geburtsort der Polymerwissenschaft"), Biomimetik und Mikrosystemtechnik der Universität und kombiniert sie mit Nachhaltigkeitsforschung, Verhaltenswissenschaften und Philosophie. *livMatS* greift auf ein trans- und interdisziplinäres Forschungsteam aus sechs verschiedenen Fakultäten zurück, das sich innerhalb einer gemeinsamen thematischen Klammer der Herausforderung aus einer neuartigen, ganzheitlichen Perspektive stellt. In Freiburg verbinden sich die unterschiedlichsten Kompetenzen und Vorarbeiten und eine international einzigartige Kombination von Infrastrukturen zu einem idealen Umfeld. Dazu gehören das IMTEK (Institut für Mikrosystemtechnik; Mikroverfahrenstechnik und Reinraumeinrichtungen), das Freiburger Materialforschungszentrum (FMF, Materialaufbereitung und -charakterisierung) und der Botanische Garten (bioinspirierte Forschung), sowie das neu gegründete *Freiburger Zentrum für Interaktive Materialien und bioinspirierte Technologien* (FIT). Ergänzend dazu kooperiert *livMatS* mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (FhG-ISE), einem der weltweit führenden Institute der Energieforschung, und dem Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik (FhG-IWM). Diese exzellenten F&E-Einrichtungen bieten ein ideales Umfeld für die Entwicklung von Hightech-Materialien und -Geräten von der Grundlagenforschung bis zum Technikum.

Ein weiterer wichtiger Partner für *livMatS* ist das Ökoinstitut e.V., das in der Nachhaltigkeitsanalyse bundesweit und darüber hinaus eine prägende Rolle spielt und Maßstäbe in diesem Bereich setzt. Ein Großteil der hauptverantwortlichen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen in *livMatS* sind aktive Mitglieder des FMF und des FIT und erfolgreich an zahlreichen Verbundforschungsprojekten (TRR 141, TRR 123) und Graduiertenkollegs (GRP "Microenergy Harvesting", IRTG "Soft Matter Science") beteiligt. *livMatS* steht somit sowohl in der Grundlagenforschung als auch im Bereich der Übersetzung in die Anwendung auf den breiten Schultern einer erfolgreichen Zusammenführung von Disziplinen und der Bewältigung interdisziplinärer Herausforderungen. Einzelne Aspekte des Forschungsprogramms von *livMatS* werden auch an anderen Universitäten und Forschungszentren weltweit bearbeitet. Das interdisziplinäre Team mit seinem ganzheitlichen Ansatz bei der Entwicklung lebender Materialsysteme ist jedoch national und international einzigartig.

Von der Vision zur Realität: Das *livMatS* Forschungsprogramm

In den letzten Jahrzehnten hat sich die Materialforschung durch bahnbrechende Forschung zu bioinspirierten Materialien, effizienten Energiesystemen und reaktiven oder selbstheilenden Materialien entscheidend weiterentwickelt. Obwohl in jedem dieser Einzelbereiche beeindruckende Fortschritte erzielt wurden, gibt es kaum Beispiele für die Kombination und Integration dieser verschiedenen Aspekte in einem einzigen Materialsystem. Die oft widersprüchlichen Anforderun-

gen und Funktionsbedingungen einzelner Aspekte des Systems haben die gleichzeitige und erfolgreiche Integration aller Funktionalitäten in ein einziges System bisher verhindert. Um diesen hohen Integrationsgrad zu erreichen, widmen sich in *livMatS* vier eng miteinander verzahnte Forschungsbereich A – D jeweils einer wesentlichen Komponente eines lebenden, adaptiven, energieautonomen Materialsystems.

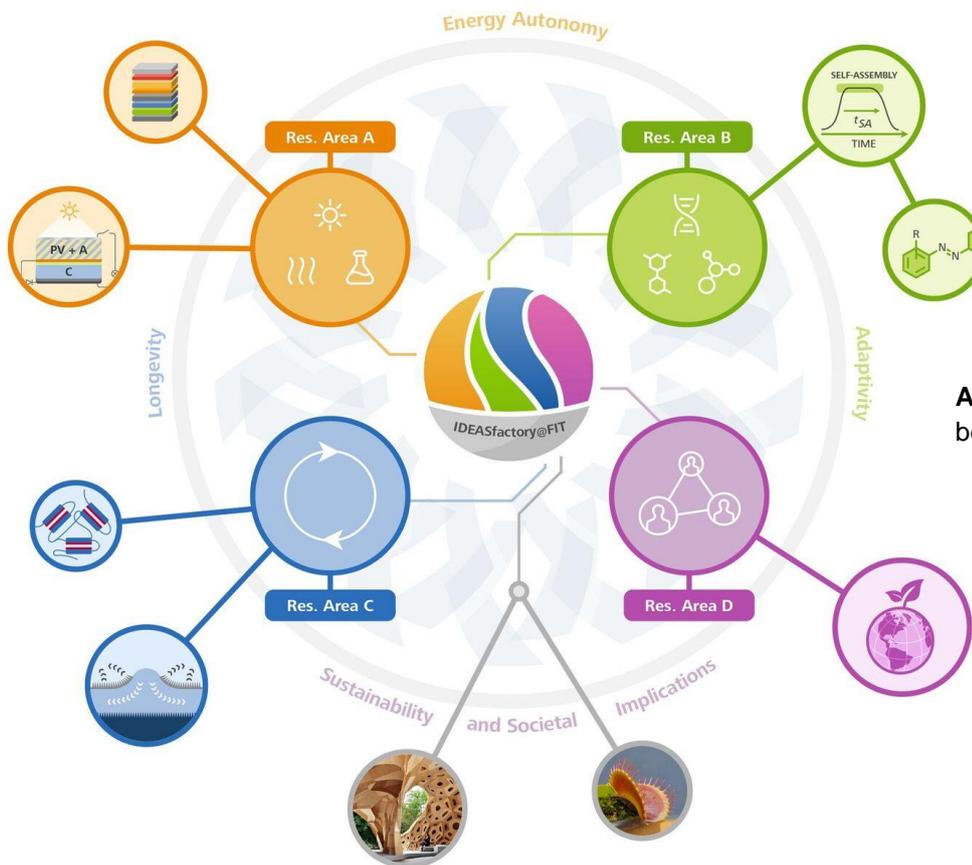


Abb. 1: Forschungsbereiche in *livMatS*

Der **Forschungsbereich A** befasst sich mit der Entwicklung neuartiger und hoch integrierter Systeme zur Energiegewinnung und Energiespeicherung. Licht, Temperaturunterschiede oder Vibrationen werden als Quellen für die Energiegewinnung herangezogen. Die Energie wird entweder direkt genutzt, für die spätere Nutzung gespeichert, oder in mechanische Spannung, chemische Gradienten oder Licht umgewandelt und dann für die Bewegung von Systemteilen oder photochemische Reaktionen genutzt. **Forschungsbereich B** entwickelt neue Konzepte für Adaptivität in Materialsystemen mit komplexen Energielandschaften. Abhängig vom sensorischen Input können unterschiedliche Handlungspfade eingeschlagen, d.h. einfache Entscheidungen getroffen werden. Interne Rückkopplungsschleifen und die Verarbeitung von sensorischem Input aus der Umgebung ermöglichen es solchen Systemen, sich selbst zu regulieren. Diese Art der materialinhärenten, nicht computerchipgesteuerten Informationsverarbeitung wird letztlich den Weg für Materialsysteme ebnen, die ein Gedächtnis und damit die Fähigkeit zu einfachen Formen des "Lernens" und der Selbstverbesserung besitzen. Solch hochkomplexe Systeme sind jedoch recht störungsanfällig. Ziel hier ist es zu vermeiden, dass eine kleine Störung oder eine kleine Beschädigung zum Funktionsverlust des Gesamtsystems führt. Die Langlebigkeit der System steht daher im Zentrum des **Forschungsbereichs C**, der Strategien für das Training stark beanspruchter

Systemteile und die eigenständige Reparatur oder auch das Abwerfen / Ersetzen beschädigter und somit überflüssiger Systemteile entwickelt. Wie auch in den Forschungsbereichen A und B werden lebende Organismen, insbesondere Pflanzen, wichtige Anregungen für diese Strategien liefern, wie z.B. adaptives Wachstum, Selbstreparatur, oder auch das Abwerfen von Blättern und Zweigen. **Forschungsbereich D** befasst sich mit den gesellschaftlichen Herausforderungen, die durch „lebensechte“ Materialsysteme aufgeworfen werden. Die Bedeutung disruptiver Technologien für die Gesellschaft rückt häufig erst nach ihrer Implementierung in den Blick. So verändern z.B. autonome Fahrzeuge oder der Einsatz technischer Expertensysteme anstelle menschlicher Expertinnen und Experten die Gesellschaft bereits heute nachhaltig, während der gesellschaftliche Diskurs zu diesen disruptiven Veränderungen noch in den Anfängen steckt. *livMatS* möchte diesen Diskurs bereits zu Beginn der Forschungs- und Entwicklungsarbeit führen und die Nachhaltigkeit und gesellschaftliche Tragweite quasilebendiger Materialsysteme zeitlich mit ihrer Entwicklung untersuchen. Angestoßen wird dieser Diskurs durch die Integration von Nachhaltigkeitsanalysen sowie philosophische und psychologische Reflexionen. In unterschiedlichen Formaten wird *livMatS* diesen Diskurs aktiv in die Öffentlichkeit und in die Medien tragen.

Um die Forschungsergebnisse in allen vier Forschungsbereichen greifbar zu machen und Leuchttürme für die Aktivitäten des Clusters zu schaffen, wird *livMatS* **drei verschiedene Demonstrationlinien** entwickeln:

1) eine künstliche Venusfliegenfalle, die auf zwei von außen gesetzte Reize reagiert und sich schließt. Sie soll die Anmutung und Funktionalität ihres natürlichen Vorbildes haben, obwohl sie aus rein künstlichen Materialien hergestellt ist; 2) eine autonome weiche Maschine, die das Greifen von Objekten mit den unterschiedlichsten Gewichten und Formen durch materialinhärente Anpassungsvorgänge realisiert und neue Impulse für die Soft-Robotik setzen wird; 3) Materialsysteme, die in Abhängigkeit von Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Lichtverhältnissen ihre Form und Funktion verändern, so z.B. adaptive Gebäudehüllen, Helme, oder Orthesen und Prothesen.

Die Ideasfactory@FIT

Das **FIT-Gebäude**, in dem die **IDEASfactory@FIT** eingerichtet wird, wird die Basis und das Herzstück von *livMatS* sein. In der IDEASfactory sind die Technologieplattformen zum **Multiple Materials Additive Manufacturing** sowie **gemeinsame Büro- und Laborflächen** verortet, die vor allem für die Nachwuchswissenschaftler und Nachwuchswissenschaftlerinnen des Clusters von zentraler Bedeutung sind.

Hier wird ein offenes, vernetztes wissenschaftliches Umfeld geschaffen, das die Kommunikation und Interaktion in einer entspannten Atmosphäre fördert, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus allen vier Forschungsbereichen in engen Kontakt bringt und "die Kaffeemaschine als Katalysator" nutzt. Ziel dieser intensivierten Kommunikation ist es, junge Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen zum Brückenschlag zwischen den Disziplinen und zu Kreativität zu inspirieren – der Quelle aller Innovationen. Die IDEASfactory@FIT besteht zum einen aus einer "Hardware", d.h. den Labors und Büros im FIT-Gebäude, zum anderen aber auch aus einer "Software", wie z.B. Brainstorming Lunches, Brown Bag Lectures, Power Breakfasts und Open Mindmaps.

Verstärkung des Teams und Ausbau des Netzwerks

Auf der Grundlage seines starken Standorts in Freiburg wird *livMatS* sein interdisziplinäres Team mit **drei neuen Professuren** in den Bereichen *Soft Machines - Smart Systems Integration*, *Active Soft Matter* und *Bioinspired Materials Concepts* strategisch verstärken. *livMatS* wird **fünf Nachwuchsgruppen (JRGs)** einrichten. Drei dieser Gruppen werden innerhalb des Forschungsprogramms von *livMatS* offen ausgeschrieben und für die besten Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler eingerichtet, unabhängig von ihrem Fachgebiet. Zwei dieser Gruppen sind Teil des ***Agnes-Pockels-Programms zur Förderung des weiblichen wissenschaftlichen Nachwuchses***.

Das internationale Netzwerk von *livMatS* wird durch drei strategische Partnerschaften mit den Universitäten Straßburg und Tokio sowie dem *National Institute for Materials Research (NIMS)* in Tsukuba ausgebaut. *livMatS* wird eng mit microTec Südwest, einem der größten High-Tech Cluster in Europa, verbunden sein und somit vielfältige Möglichkeiten zur Vernetzung mit der Industrie haben. Weiterhin wird *livMatS* durch die etablierte Zusammenarbeit mit zwei exzellenten Universitäten am Oberrhein, Straßburg und Basel, gestärkt, die Internationalisierung auf engstem Raum ermöglichen. Die Universitäten können bereits auf 20 Jahre der erfolgreichen Kooperation zurückblicken, so z.B. in dem gemeinsamen M.Sc. *Polymer Sciences* oder dem gemeinsamen Graduiertenkolleg IRTG 1642. ***Eucor – The European Campus*** bildet den Rahmen für diese international hochkarätigen Universitäten, in denen mehr als 100.000 Studierende und erstklassige Forschungseinrichtungen dem Cluster eine einzigartige, transnationale Umgebung bieten.

Die Übergabe des Staffelstabs: wissenschaftlicher Nachwuchs und Wissenstransfer in die Gesellschaft

Die Strategien zur Unterstützung von Nachwuchswissenschaftlern und Nachwuchswissenschaftlerinnen in *livMatS* decken alle Karrierestufen vom fortgeschrittenen Bachelor bis hin zur Nachwuchsgruppenleitung ab. Sie fokussieren (a) eine nahtlose Integration der Übergangsphasen zwischen Graduierten-, Promovierenden- und Postdoc-Ebene durch ***Young Researcher Awards*** und ***Booster Grants***, (b) ein ausgewogenes Verhältnis zwischen der Förderung der frühen wissenschaftlichen Selbständigkeit und der Unterstützung durch Peers und erfahrene Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, und (c) eine Erhöhung des Anteils weiblicher Nachwuchskräfte auf mindestens 40% in allen Karrierephasen. Die Nachwuchswissenschaftler und Nachwuchswissenschaftlerinnen profitieren zudem von einem vielfältigen Betreuungs- und Partziptionsangebot: ***Young Researcher Conferences***, das ***Scientific Boot Camp***, das eine Einführung in die Vision von *livMatS*, gute wissenschaftliche Praxis und den sicheren Umgang mit Forschungsdaten umfasst, regelmäßige ***Industrieworkshops*** und das *livMatS Writer's Studio*, das dem wissenschaftlichen Nachwuchs durch Workshops und Schreibberatung helfen soll, bessere Autorinnen und Autoren zu werden und Forschungsergebnisse in hochrangigen Zeitschriften zu veröffentlichen.

Ausgehend von dem Kommunikationskonzept *Learning from nature...in nature* wird *livMatS* neue Formate für die Öffentlichkeitsarbeit entwickeln. Der Botanische Garten der Universität dient hierbei als idealer Einstiegspunkt, um der breiten Öffentlichkeit über scheinbar alltägliche Fragen wie

„Warum ist eine Nuss so hart?“ die Thematik um bioinspirierte Materialien und lebende Materialsysteme näher zu bringen. Dieser Ansatz hat sich schon in der Vergangenheit als erfolgreiche Ansprachemöglichkeit eines breiten Spektrums von Adressaten bewährt, darunter Familien, Schülerinnen und Schüler, Studierende, Lehrer und Lehrerinnen sowie Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger aus Wirtschaft und Politik. Zudem verfügen hauptverantwortliche Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen in *livMatS* über umfangreiche Erfahrung in Projekten, die Wissenschaft und Kunst verbinden. Die gesellschaftlichen Auswirkungen lebender Materialsysteme können so in neuen, partizipativen Diskursformaten wie Cafés Scientifiques, Science Jams, Comic-Art Projekten mit Freiburger Schulen und einer Online-Galerie mit bio-inspirierten Kunstwerken ausgeleuchtet werden.

***livMatS* – die langfristige Perspektive**

Die Einrichtung von *livMatS* als Exzellenzcluster ermöglicht die Grundsteinlegung für ein neues, multidisziplinäres Zentrum für bioinspirierte Materialforschung und Systemintegration mit hoher internationaler Sichtbarkeit an der Universität Freiburg. Das Zentrum wird einen entscheidenden Beitrag zu dem Forschungsprofil *Funktionelle und Bioinspirierte Materialien* der Universität leisten. Die Forschung in *livMatS* wird institutionelle Grenzen überwinden und Brücken zwischen den Ingenieurs-, Natur-, Verhaltens- und Geisteswissenschaften schlagen. Wir erwarten, dass die Forschung in *livMatS* dazu beitragen wird, den Bedürfnissen einer Gesellschaft Rechnung zu tragen, die ganz zentral auf neue Materialien und Systeme angewiesen ist. *livMatS* wird entscheidende Durchbrüche bei der Entwicklung von Materialsystemen anstoßen, die sich nahtlos in ihre Umgebung einpassen, menschliche Bedürfnisse nachhaltig abdecken, und mit sauberer Energie betrieben werden.