

KURZ DEFINIERT: Was zeichnet intelligente Materie aus?

Je nach wissenschaftlicher Disziplin werden intelligenter Materie unterschiedliche Besonderheiten zugesprochen. Fünf Wissenschaftler des Sonderforschungsbereichs (SFB) 1459 geben Einblicke in ihr Fachgebiet.



Prof. Dr. Monika Schönhoff (Physikalische Chemie):

Intelligenz beinhaltet, Erfahrungen zu machen und daraus zu lernen. Ähnlich wie der Mensch aus Erfahrungen lernt, stellen wir uns Materialien vor, die gewissermaßen aus einem Erfahrungshorizont heraus reagieren. Das geht weit über responsives Verhalten hinaus, bei dem ein Material über einen einfachen Auslöser zwischen zwei Zuständen hin- und her geschaltet werden kann. Ein solcher Auslöser („Trigger“) kann zum Beispiel Licht oder Temperatur sein. Lernendes Verhalten setzt voraus, dass – aufgrund einer Historie verschiedener Trigger-„Erlebnisse“ – die Reaktion des Materials auf einen Auslöser eine neue, „erlernte“ Reaktion ist. Ein solche Anpassungsfähigkeit zu erreichen, verlangt eine feine Abstimmung auch schwacher molekularer Wechselwirkungen. Dies ist eine große Herausforderung im SFB „Intelligente Materie“.



Prof. Dr. Martin Salinga (Materialphysik):

Beim Design intelligenter Materie lassen wir uns vom Gehirn als natürlichem Vorbild leiten. Damit intelligentes Verhalten entstehen kann, müssen miteinander vernetzte Elemente, die Informationen speichern und verarbeiten können, wechselwirken. Wir erforschen Phasenwechsel-Materialien, die sich durch ihre ungewöhnliche Kombination physikalischer Eigenschaften sehr gut zur Realisierung solcher Elemente eignen. Besonders interessiert uns ihre innere Dynamik, die wir auf unterschiedlichsten Zeitskalen untersuchen. Dabei setzen wir elektrische und optische Charakterisierungsmethoden ein, aber auch spezielle Computersimulationen (Ab-initio-Molekulardynamik-Simulationen). Unsere Forschung könnte dazu beitragen, dass in Zukunft schon in winzigsten, menschengemachten Strukturen intelligentes Verhalten realisierbar wird.



Prof. Dr. Benjamin Risse (Informatik):

Der Begriff der intelligenten Materie kombiniert den naturwissenschaftlich eindeutig definierten Fachterminus „Materie“ mit dem weniger eindeutig definierten Attribut der Intelligenz. In diesem Kontext verstehe ich unter Intelligenz das komplexe Verarbeiten eines Eingangssignals in ein nicht triviales Ausgangssignal. In der Informatik wären diese Signale digitale Daten, welche mittels eines Computers verarbeitet werden. Der SFB 1459 entkoppelt die Idee der Informationsverarbeitung von digitalen Computern, indem theoretisch jede Substanz, die Raum und Masse einnimmt, als Medium für diesen Zweck in Betracht gezogen wird. In meinem Projekt versuchen wir zum Beispiel, Konzepte aus dem maschinellen Lernen auf chemisch-physikalische Systeme zu übertragen, um schnellere und energieeffizientere Informationsverarbeitungsverfahren zu entwickeln.



Antonio Bikić (Philosophie):

Intelligente (unbelebte) Materie ist aus philosophischer Sicht ein „Test“ der Theorie des Funktionalismus. Damit ist gemeint, dass es für intelligente Materie lediglich notwendig ist, auf die gleichen Reize, die auch ein lebendiges, intelligentes System erhalten hat, gleiche oder bessere Reaktionen zurückzugeben. Entscheidend ist jedoch, dass es gleichgültig ist, wie diese Reaktionen realisiert werden. Intelligente Materie wäre also eine Materieform, bei der es belanglos ist, ob sie „lebendig“ ist oder „Subjektivität“ besitzt. Das Ziel ist es, gleiche oder bessere Resultate im Vergleich zu intelligentem Leben zu erzeugen. Menschliche Intelligenz ist oft mit dem Begriff des abstrakten beziehungsweise des vernünftigen Denkens verweben. Die Frage ist, ob intelligente Materie auch fähig wäre, Entscheidungen zu treffen.



Prof. Dr. Bart Jan Ravoo (Organische Chemie), Sprecher des SFB 1459:

Aus der Perspektive der organischen Chemie ist das Molekül das Maß der Dinge. Ist es möglich, durch Selbstorganisation von Molekülen dynamische Materialien zu erzeugen, die auf Signale aus der Umgebung reagieren und ihre Eigenschaften anpassen? Können solche Materialien Information speichern und lernen? Die Natur macht es uns vor! In meiner Gruppe entwickeln Chemikerinnen und Chemiker molekulare Photoschalter, die unter Bestrahlung mit Licht ihre Eigenschaften verändern. Im SFB werden diese Photoschalter mit Polymeren und Nanopartikeln in komplexe Hybridmaterialien integriert, die perspektivisch als lichtgesteuerte Synapsen oder selbstregulierende Hydrogele agieren können. Anwendungen werden sich vermutlich im Bereich von adaptiven Beschichtungen sowie beim neuromorphen Rechnen ergeben.

Lichtshow im Labor

Ein Einblick in die Arbeit der Biochemikerin Seraphine Wegner

Studiert man die Webseiten von Prof. Dr. Seraphine Wegner, Wissenschaftlerin am Institut für Physiologische Chemie und Pathobiochemie an der Medizinischen Fakultät der WWU, stößt man auf englische Begriffe wie „photoswitchable“, „spatiotemporal“ und „tissue engineering“. Für die Biochemikerin und ihr internationales Forscherteam ist das Alltagssprache, der Fachkundige mag sich hingegen fragen, was das zu bedeuten hat.



Seraphine Wegner

Im Gespräch mit einem solchen Laien legt die Wissenschaftlerin allerdings verständlich dar: Sie und ihre Mitarbeiter nutzen Licht (altgriechisch *phōtós*), um (Zell-)Gewebe (*tissue*) örtlich und zeitlich (*spatiotemporal*) zu verändern. Die Arbeitsgruppe ist Teil

des SFB 1459 und legt die Grundlage dafür, lichtensible intelligente Materie zu erzeugen.

Über ihre Arbeitsstätte sagt Seraphine Wegner, dass es sich um ein gewöhnliches Labor handelt. Jedoch gibt es neben den typischen Bunsenbrennern, Kolben und Petrischalen in der Waldeyerstraße 15 – in unmittelbarer Nähe zur Unfallchirurgie des Uniklinikums – auch Ungewöhnliches: Das Labor erstrahlt durch Lichtpaneele, etwa so breit und lang wie ein Laptop und mit einer Vielzahl von LEDs besetzt, in unterschiedlichen Farben. Seraphine Wegner ist fasziniert vom Licht. Sie und ihr Team nutzen aber nicht jede Form von Licht, sondern das des sichtbaren Spektrums. Der Vorteil liegt darin, dass dieses Licht eine hohe



Die Arbeitsgruppe „Light-controlled Systems“ von Prof. Dr. Seraphine Wegner steuert die Zellen mithilfe von verschiedenen Lichtfarben.

Foto: WWU - Peter Leßmann

Biokompatibilität aufweist – anders als etwa UV-Licht, das Zellen schädigen kann. Mithilfe verschiedener Lichtfarben können unterschiedliche Proteine gesteuert werden – einige Proteine etwa durch blaues, andere wiederum durch rotes oder grünes Licht. „Insbesondere der Einsatz von dunkelrotem Licht ist für uns erstrebenswert, da es eine hohe Penetrationskraft besitzt, die vor allem für medizinische Anwendungen unter der Haut nützlich sein kann.“

„Light-controlled Systems“ heißt folglich ihre Arbeitsgruppe, deren zentrales Thema die Photoschaltbarkeit von Zellen und Materialien ist. Das bedeutet, dass die Forscherin-

nen und Forscher Licht als Reiz nutzen, um unterschiedliche Prozesse und Proteine zu aktivieren. Die genetische Grundlage dieser Proteine, also ihre DNA, stammt von Pflanzen, die Licht für die Kontrolle von Stoffwechselprozessen nutzen. Die Forscher passen die DNA an und bauen sie in Kolibakterien ein, die das Protein erzeugen. In einem mehrstufigen Verfahren extrahiert das Team die Proteine und verarbeitet sie zu einem Material, genauer gesagt zu einem Hydrogel. Diese Substanz ist einerseits wasserunlöslich, kann andererseits Wasser binden. Im Labor wird das Hydrogel mit Licht bestrahlt, die Proteine nehmen ihre Arbeit auf, wodurch das Gel beispielsweise von

einem festen in einen flüssigen Zustand wechseln kann.

Ziel ist es, verschiedenartige Proteine zu einem System zu verbinden und mehrere Reize und Reaktionen zu koppeln. „Eine bessere Kontrolle als durch Licht gibt es nicht“, betont die Biochemikerin. „Es ermöglicht eine sehr gute räumliche und zeitliche Steuerung des Materials“. Räumlich etwa könnten gezielt auch kleinste Bereiche angesteuert und so Muster aktiviert werden. In zeitlicher Hinsicht ist Licht ohnehin unschlagbar: Mit Lichtgeschwindigkeit gibt das Team Impulse in das Gel, dauerhaft oder getaktet. Durch Ein- und Ausschalten rufen sie so Zustände gezielt hervor oder stoppen sie. Andere Reize, etwa chemische oder mechanische, sind nicht so zielgenau einsetzbar. „Wir haben durch das Licht die Möglichkeit, die Materie und ihre Eigenschaften zu micromanagen, also mit Mikrometerpräzision zu steuern“, hebt sie die Vorteile hervor. Schrittweise soll das lichtempfindliche Material intelligenter werden, indem es sich an vorherige Reize erinnert oder auf unterschiedliche Reize in Kombination reagiert.

Seraphine Wegner freut sich, im SFB ihre Erfahrungen einbringen und durch die fächerübergreifende Zusammenarbeit Neues entdecken zu können. Nach ihrem Studium in Ankara sowie Studien- und Forschungsaufenthalten in Chicago, Peking, Heidelberg und Mainz ist sie formal gesehen vor allem Chemikerin – allerdings sieht sie sich als eine solche, „die sich für biologische Prozesse interessiert und diese nachbaut“, sagt sie und lacht. „Licht ist die Hauptenergiequelle unseres Lebens“ – und hinter allen biologischen Prozessen stecke Chemie. **ANDRÉ BEDNARZ**

SFB 1459



**INTELLIGENT
MATTER**

Um intelligente Materie herzustellen, ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus unterschiedlichen Bereichen wie Physik, Chemie, Materialwissenschaften, Biologie und Informatik erforderlich. 26 Arbeitsgruppen der WWU Münster, des Max-Planck-Instituts für molekulare Biomedizin und der Universität Twente arbeiten im Sonderforschungsbereich (SFB) 1459 zusammen, um dieses Vorhaben zu realisieren. Dabei untersuchen sie verschiedene Materialklassen: Moleküle, weiche Materialien wie Polymere und Festkörper. Ziel ist es, Materie intelligent zu machen.

Kontakt: Dr. Christina Kriegel (Geschäftsführerin), Tel. 0251/83-34521, E-Mail: ckriegel@uni-muenster.de
> www.uni-muenster.de/SFB1459

Terminhinweis

Das „**First Münster Symposium on Intelligent Matter**“ findet am **22. Juni** ab 9.50 Uhr im Center for Soft Nanoscience (SoN) der WWU Münster statt. Internationale Experten stellen dabei ihre Arbeiten auf diesem Gebiet vor. In einer Postersession erläutern SFB-Angehörige die Fortschritte in ihren Projekten. > go.wwu.de/ai/fko

„Der Energieverbrauch setzt dem digitalen Rechnen Grenzen“

Wilfred G. van der Wiel erklärt, was intelligente Materie mit den Computern von morgen zu tun hat

Er gilt als Pionier auf dem Gebiet des materiellen Lernens: **PROF. DR. WILFRED G. VAN DER WIEL** ist Professor für Nanoelektronik und Direktor des Center for Brain-Inspired Nano Systems (BRAINS) an der Universität Twente. Eine zweite Professur hat er am Physikalischen Institut der WWU Münster. Sein Forschungsinteresse gilt informativeller Elektronik für effiziente Informationsverarbeitung. Mit **CHRISTINA HOPPENBROCK** sprach er über das Potenzial intelligenter Materie und die Zukunft des digitalen Rechnens.

Wenn wir von intelligenter Materie sprechen, stellt sich die Frage: Was bedeutet „Intelligenz“ in diesem Zusammenhang überhaupt?

Für Intelligenz gibt es keine allgemein gültige Definition. Generell kann man sagen: Sie ist das Vermögen, Informationen zu verarbeiten, zu behalten und zu einem späteren

Zeitpunkt und in einem anderen Kontext zu verwenden. Bezogen auf Materie ist es eine minimalistische Definition, die nichts mit Emotionen oder Bewusstsein zu tun hat.



Wilfred G. van der Wiel

Foto: Niklas Arndt

Um zu veranschaulichen, was intelligente Materie ist, können wir Materialien in vier Stufen einteilen. Stufe eins bedeutet: Die Funktionalität ist abhängig von der Struktur des Materials. Ein Beispiel ist eine Brille mit passend geschliffenen Gläsern. Stufe zwei nennen wir „responsiv“ – das Material reagiert auf bestimmte Umweltreize, wie Brillengläser, die sich bei Sonneneinstrahlung dunkel tönen. Stufe drei heißt: Ein Material verarbeitet mehrere Umweltreize gleichzeitig und reagiert je nach

Reizkonstellation unterschiedlich. Ein hypothetisches Beispiel ist eine Brille, deren Gläser sich abhängig von der Sonneneinstrahlung tönen und die ihre Farbe gleichzeitig an die Farbe der Kleidung ihres Trägers anpasst. Erst bei Stufe vier reden wir von Intelligenz – das Material „lernt“ durch Erfahrung. Solch eine Brille müsste zusätzlich zu den genannten Eigenschaften auch noch erkennen, welche Bedürfnisse der Mensch gerade hat – ob man zum Beispiel Auto fährt und in die Ferne schaut oder ein Buch liest. Sie könnte die Sehstärke dann entsprechend anpassen.

Ihr Steckbrief ist innovative Computer-Hardware. Was hat diese mit intelligenter Materie zu tun?

Die traditionelle Computer-Architektur ist für bestimmte Berechnungen gänzlich ungeeignet, zum Beispiel für künstliche Intelligenz (KI). Denn bei KI müssen extrem viele gespeicherte Daten zum Prozessor geführt und

wieder abgespeichert werden – beispielsweise wenn ein Computer darauf trainiert wird, Personen auf Bildern zu erkennen. Wenn Speicher und Prozessor räumlich getrennt sind, kostet das sehr viel Zeit und Energie. Viel effizienter ist ein Netzwerk, das ähnlich arbeitet wie die Nervenzellen im Gehirn und an einem Ort Informationen speichert und verarbeitet. Wir wollen neuartige Computerteile aus intelligenter Materie entwickeln. Das wird ein langer Weg, aber das Gehirn ist ein Beweis dafür, dass es andere Lösungen gibt. Unsere Computerchips arbeiten mit Netzwerken von Nanopartikeln, deren Verhalten durch Moleküle gezielt beeinflusst wird. Solche Chips werden nicht nur schnelleres Rechnen erlauben, sondern auch eine deutlich verbesserte Energieeffizienz haben.

Ihr Ziel ist es, die Grenzen des digitalen Rechnens zu überwinden ...

Ja. Diese Grenzen sind derzeit exakt festgelegt, und zwar durch den Energieverbrauch. Ein Beispiel: Echtes autonomes Fahren im Alltag ist mit der derzeitigen Computertechnologie nicht sehr interessant, da die meiste Energie der Batterie für das Rechnen verbraucht werden soll.

Noch ist intelligente Materie Zukunftsmusik. Was wird sie leisten können?

Vorhersagen zu machen ist schwierig. Unsere Lösungen werden sich vielleicht erst in zehn, fünfzehn Jahren durchsetzen. Aber die Idee, sich mehr am Gehirn zu orientieren, die gibt es bereits und man sieht diesen Trend heute schon in manchen elektronischen Geräten. Ich bin überzeugt, dass sich diese Entwicklung durchsetzen wird. Wir wollen aber gar nicht alles ersetzen. Die digitale Technologie ist heute sehr gut, besonders, wenn Präzision gefragt ist. Wir wollen bestimmte Funktionen verbessern und effizienter machen.