



7.842 Zeichen  
Abdruck honorarfrei  
Beleg wird erbeten

## Bayreuther Forscher entdecken Grundlagen für einen komplett optischen Speicher

### Neue Perspektiven für die Datenspeicherung und Datenverarbeitung

Auf der Suche nach Halbleitermaterialien, welche die Effizienz von Solarzellen deutlich steigern können, hat die Forschung schon seit einigen Jahren ein starkes Interesse an der Materialklasse der Perowskite entwickelt. Im Fokus stehen dabei Metall-Halid-Perowskite, die sowohl organische als auch anorganische Verbindungen enthalten und deshalb als hybride Halbleiter bezeichnet werden. Mit solchen Halbleitern ist es bereits gelungen, in Solarzellen den Anteil der aus Lichtenergie gewonnenen elektrischen Energie auf über 20 Prozent zu erhöhen.

Forscher an der Universität Bayreuth haben nun herausgefunden, dass es sich noch in einer weiteren Hinsicht um vielversprechende Materialien handelt. In einer breiten interdisziplinären Kooperation sind sie zu dem Ergebnis gelangt: Ein aus Methylammonium, Blei und Jod zusammengesetzter Perowskit erfüllt alle Voraussetzungen für einen optischen Speicher, der nach dem Prinzip „schreiben – lesen – löschen“ („write – read – erase“) funktioniert. Dieser Effekt ist zwar nur bei sehr tiefen Temperaturen realisierbar. Gleichwohl ist die Bayreuther Forschungsgruppe zuversichtlich, dass sich auf der Basis der neuen Erkenntnisse ein kostengünstiger Hybridperowskit entwickeln lässt, der bei deutlich höheren Temperaturen als komplett optischer Speicher eingesetzt werden kann. Ein solcher Speicher würde neue Möglichkeiten für die Datenspeicherung und Datenverarbeitung bieten. In der Fachzeitschrift „Advanced Optical Materials“ stellen die Wissenschaftler ihre Entdeckung vor.

### Temperaturabhängige Kristallphasen

Schon länger war bekannt, dass ein Perowskit aus Methylammonium, Blei und Jod bei wechselnden Temperaturen seine Gestalt ändert. Oberhalb von 163 Kelvin (etwa minus 110 Grad Celsius) besitzt er eine tetragonale Kristallstruktur. Mit rechten Winkeln und Kanten,



In einem Laserlabor der Bayreuther Experimentalphysik: Dr. Tanaji P. Gujar, Dipl.-Phys. Fabian Panzer und Dipl.-Phys. Sebastian Baderschneider, die maßgeblich zu den neuen Forschungsergebnissen beigetragen haben, zusammen mit Prof. Dr. Anna Köhler, der Koordinatorin der Studie (v.l.). Foto: Christian Wißler.

die parallel verlaufen oder senkrecht aufeinanderstehen, hat er die Form eines in die Länge gezogenen Würfels und ähnelt insofern einem kurzen, aufrecht stehenden Gebäudepfeiler mit quadratischer Grundfläche. Sobald die Temperatur jedoch weiter absinkt, nimmt der Perowskit eine orthorhombische Kristallstruktur an. Der Pfeiler besitzt dann keine quadratische Grundfläche mehr, sondern eine dieser Kanten ändert geringfügig ihre Länge. Eine solche Strukturänderung wird in der Physik auch als Übergang zwischen zwei Kristallphasen beschrieben. Sie hat, wie die Autoren der neuen Studie jetzt beobachtet haben, Folgen für das Verhalten des Perowskits, wenn er mit Laserlicht bestrahlt wird.

### **Orange oder Rot: Kristallphasen und ihre Superlumineszenz**

Wird ein Kristall einem Laserstrahl ausgesetzt, absorbiert er Lichtenergie. Einige Elektronen wechseln dabei vom Grundzustand in einen höheren Energiezustand. Wenn sie wieder in einen niedrigeren Energiezustand zurückfallen, wird Licht emittiert. Die Wellenlängen dieses Lichts liefern zuverlässige Informationen über die innere Struktur des Kristalls. Ein für die



Forschung besonders interessanter Spezialfall dieses Phänomens ist die Superlumineszenz – auf Englisch: Amplified Spontaneous Emission, kurz: ASE. Hierbei löst ein Laserstrahl Kettenreaktionen aus, bei denen sehr viele Elektronen nahezu zeitgleich in einen hohen Energiezustand versetzt werden. Da die Elektronen dann auch wieder gemeinsam in den Grundzustand zurückfallen, ist das Licht, das dabei ausgesendet wird, dementsprechend intensiv.

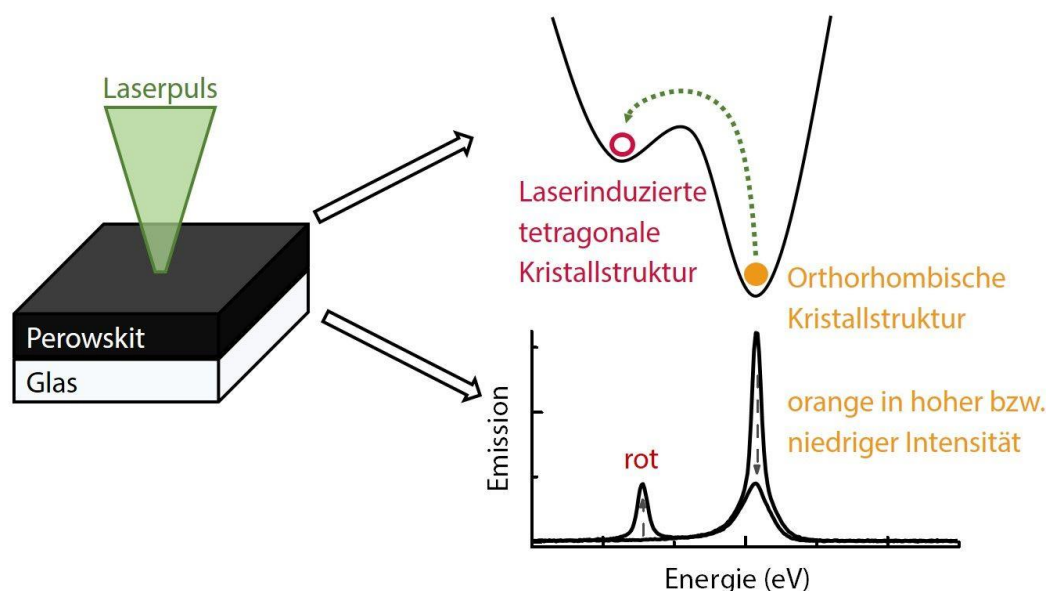
Beim Perowskit aus Methylammonium, Blei und Jod haben die Bayreuther Forscher dieses Phänomen in jeder der beiden Kristallphasen beobachten können. Allerdings ist die Wellenlänge des emittierten Lichts verschieden:

- Wird der Kristall auf unter 163 Kelvin herabgekühlt, kann man eine ASE erzeugen, bei der infolge der etwas ‚unsymmetrischen‘ orthorhombischen Struktur nur orangefarbenes Licht abgegeben wird.
- Bei höheren Temperaturen wird infolge der ‚geradlinigen‘ tetragonalen Struktur nur rotes Licht emittiert, eine ASE mit andersfarbigem Licht ist nicht möglich.

### **Orange und Rot: Zeitgleiche Superlumineszenz auf kleinstem Raum**

Die Pointe der neuen Studie besteht darin, dass es dem Bayreuther Forschungsteam erstmals gelungen ist, beide ASE-Effekte auf kleinstem Raum zu kombinieren. Dafür wurden die Perowskit-Kristallkörner bei kälteren Temperaturen als 163 Kelvin für eine extrem kurze Zeit mit einem feinen, hochenergetischen Laserstrahl ‚beschossen‘. Wo der Laserstrahl auftrifft, und nur dort, tritt ein Phasenübergang ein. Es entstehen winzige, tetragonal strukturierte Inseln innerhalb einer größeren, weiterhin orthorhombisch strukturierten Umgebung. Sie bleiben erhalten, wenn der ‚Laserbeschuss‘ abrupt endet: Die Inseln befinden sich dann wie in einer Schockstarre.

So können die Kristallkörner nun in einen energetischen Zustand versetzt werden, durch den die beiden ASE-Effekte zeitgleich auftreten: Es wird nicht nur orangenes, sondern – räumlich davon klar unterscheidbar – auch rotes Licht abgestrahlt. Damit die Inseln wieder verschwinden, müssen die Kristallkörner einem Temperaturwechsel oder erneut einer kurzen Laserbestrahlung ausgesetzt werden. Erst dann nehmen sie wieder eine einheitliche orthorhombische Struktur an.



Die orthorhombische Kristallstruktur sendet orangefarbenes Licht aus. Dessen Intensität wird vermindert, wenn durch einen Laserpuls eine tetragonale Struktur entsteht, die zusätzlich rotes Licht aussendet. Grafik: Fabian Panzer.

## Auf dem Weg zu einem komplett optischen Speicher

Damit sind im Prinzip alle Voraussetzungen gegeben, um einen komplett optischen Speicher zu entwickeln. Die Erzeugung der tetragonal strukturierten Inseln ist, informationstechnisch betrachtet, ein Schreibprozess („write“). Das Ergebnis wird durch rotes Licht ausgelesen („read“). Es wird gelöscht, wenn die Kristalle in eine durchweg orthorhombische Struktur übergehen („erase“). Vor dem „Schreiben“ und nach dem „Löschen“ kann per ASE nur orangefarbenes, kein rotes Licht erzeugt werden. Auf diese Weise ist es mithilfe des untersuchten Perovskits möglich, eine Vielzahl von Sequenzen zu erzeugen, in denen „0“-Zustände (nur orange) und „1“-Zustände (orange und rot) einander abwechseln. Dies alles geschieht auf einer Fläche von nur wenigen Nanometern.

So eröffnen sich spannende Perspektiven für eine Datenspeicherung und Datenverarbeitung auf rein optischer Grundlage. Das Haupthindernis für industrielle Anwendungen sind allerdings noch die tiefen Temperaturen, bei denen der Wechsel zwischen den beiden Kristallphasen auftritt. Ideal wäre ein Phasenübergang unter normalen Raumtemperaturen. „In den letzten Jahren hat die anwendungsorientierte Erforschung von Hybridperovskiten be-



eindruckende Fortschritte gemacht. Dass auf der Basis unserer neuen Ergebnisse in nicht allzu ferner Zukunft ein Funktionsmaterial entwickelt wird, das den industriellen Anforderungen an einen komplett optischen Speicher gerecht wird – dafür gibt es eine durchaus realistische Chance“, meint die Bayreuther Physikerin Prof. Dr. Anna Köhler, die Koordinatorin der jetzt veröffentlichten Studie.

### **Breite interdisziplinäre Zusammenarbeit, mehrfache Forschungsförderung**

Die Studie ist aus einer breiten interdisziplinären Zusammenarbeit von sechs Forschungsgruppen auf dem Bayreuther Campus hervorgegangen. „Ohne diese Vernetzung von Experimentalphysik, Makromolekularer Chemie, Material- und Ingenieurwissenschaften hätten wir diese spannenden Forschungsergebnisse nicht erzielen können“, meint Fabian Panzer, Physik-Doktorand und Erstautor der Studie. Er gab den entscheidenden Anstoß zu den Laser-Experimenten, die zu den schockstarrten Inseln innerhalb einer andersartigen Kristallstruktur geführt haben.

Die Forschungsarbeiten an der Universität Bayreuth wurden gefördert aus dem DFG-Graduiertenkolleg ‚Fotophysik synthetischer und biologischer multichromophorer Systeme‘, dem DFG-Sonderforschungsbereich ‚Von partikulären Nanosystemen zur Mesotechnologie‘ und einem weiteren DFG-Einzelprojekt. Weitere Förderbeiträge leistete das Forschungsnetzwerk ‚Solar Technologies go Hybrid (SolTech)‘, das vom Bayerischen Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst getragen wird.

### **Veröffentlichung:**

F. Panzer, S. Baderschneider, T. P. Gujar, T. Unger, S. Bagnich, M. Jakoby, H. Bässler, S. Hüttner, J. Köhler, R. Moos, M. Thelakkat, R. Hildner, and A. Köhler,  
Reversible Laser Induced Amplified Spontaneous Emission from Coexisting Tetragonal and Orthorhombic Phases in Hybrid Lead Halide Perovskites,  
Adv. Optical Mater. 2016, DOI: 10.1002/adom.201500765



## Kontakt:

Prof. Dr. Anna Köhler  
Lehrstuhl Experimentalphysik II  
Universität Bayreuth  
95440 Bayreuth  
Tel.: +49 (0)921 55 2600  
E-Mail: [anna.koehler@uni-bayreuth.de](mailto:anna.koehler@uni-bayreuth.de)

## Text und Redaktion:

Christian Wißler M.A.  
Zentrale Servicestelle Presse, Marketing und Kommunikation  
Universität Bayreuth  
Tel.: +49 (0)921 55-5356  
E-Mail: [mediendienst-forschung@uni-bayreuth.de](mailto:mediendienst-forschung@uni-bayreuth.de)

**Abbildungen:** In hoher Auflösung zum Download unter:

[www.uni-bayreuth.de/de/universitaet/presse/pressemitteilungen/2016/078-optischer-speicher](http://www.uni-bayreuth.de/de/universitaet/presse/pressemitteilungen/2016/078-optischer-speicher)



## Kurzporträt der Universität Bayreuth

Die Universität Bayreuth ist eine junge, forschungsorientierte Campus-Universität. Gründungsauftrag der 1975 eröffneten Universität ist die Förderung von interdisziplinärer Forschung und Lehre sowie die Entwicklung von Profil bildenden und Fächer übergreifenden Schwerpunkten. Die Forschungsprogramme und Studienangebote decken die Natur- und Ingenieurwissenschaften, die Rechts- und Wirtschaftswissenschaften sowie die Sprach-, Literatur- und Kulturwissenschaften ab und werden beständig weiterentwickelt.

Gute Betreuungsverhältnisse, hohe Leistungsstandards, Fächer übergreifende Kooperationen und wissenschaftliche Exzellenz führen regelmäßig zu Spitzenplatzierungen in Rankings. Die Universität Bayreuth liegt im weltweiten Times Higher Education (THE)-Ranking ‚150 under 50‘ auf Platz 35 der 150 besten Universitäten, die jünger als 50 Jahre sind.

Seit Jahren nehmen die Afrikastudien der Universität Bayreuth eine internationale Spitzenposition ein; die Bayreuther Internationale Graduiertenschule für Afrikastudien (BIGSAS) ist Teil der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder. Die Hochdruck- und Hochtemperaturforschung innerhalb des Bayerischen Geoinstituts genießt ebenfalls ein weltweit hohes Renommee. Die Polymerforschung hat eine herausragende Position in der deutschen und internationalen Forschungslandschaft. Die Universität Bayreuth verfügt über ein dichtes Netz strategisch ausgewählter, internationaler Hochschulpartnerschaften.

Derzeit sind an der Universität Bayreuth rund 13.500 Studierende in 146 verschiedenen Studiengängen an sechs Fakultäten immatrikuliert. Mit ca. 1.200 wissenschaftlichen Beschäftigten, 232 Professorinnen und Professoren und etwa 900 nicht-wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ist die Universität Bayreuth der größte Arbeitgeber der Region.