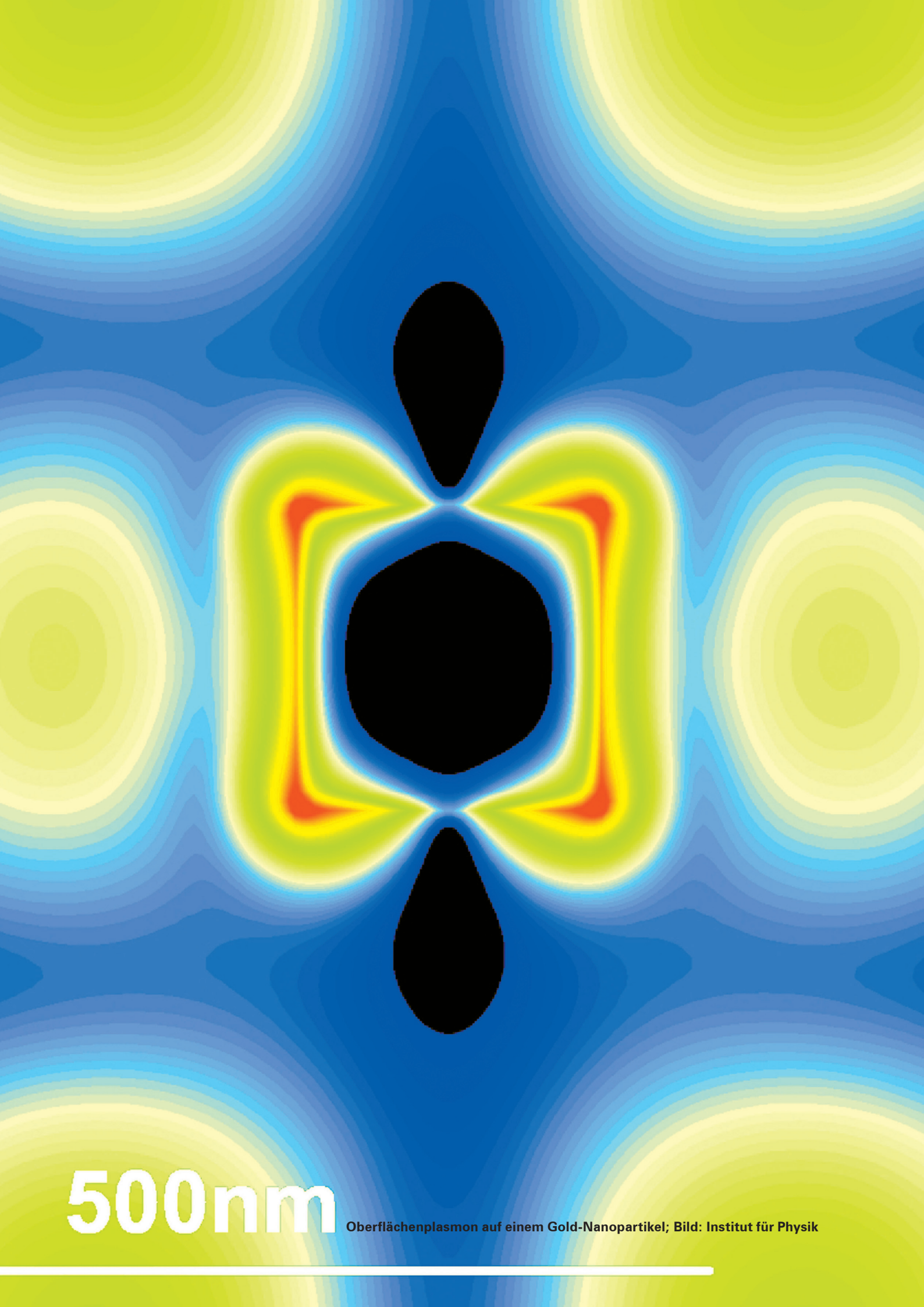


500nm

Oberflächenplasmon auf einem Gold-Nanopartikel; Bild: Institut für Physik

Licht-Blicke in die Zukunft

von Gudrun Pichler

Sie fangen Licht, machen es flach und sperren es in hauchdünne Goldschichten ein. Und dabei sind sie Spitze. Die Grazer ForscherInnen in der Nano-Optik bereiten mit ihren bahnbrechenden Erkenntnissen den Weg für die Datenübertragung mittels Lichttechnologie – sei es in Computerchips oder hoch sensiblen Sensoren. Damit könnten Rechner noch schneller, Autos noch sicherer und medizinische Geräte noch präziser werden.

E-Mail, E-Banking, eCard – was noch vor zehn Jahren auf Briefpapier, Erlag- oder Krankenscheinen festgehalten wurde, nimmt heute den digitalen Weg. Eine Flut von Daten rast gleichsam von einem Ort zum anderen, für den Großteil der Menschheit – einige WissenschafterInnen ausgenommen – unsichtbar. Daten bedienen sich unterschiedlicher Vehikel: Während Computerchips (noch) auf Elektronik setzen, reisen Informationen im Breitband-Internet mit Licht in Glasfaserkabeln und im Wireless LAN erledigen Funkwellen den Transport.

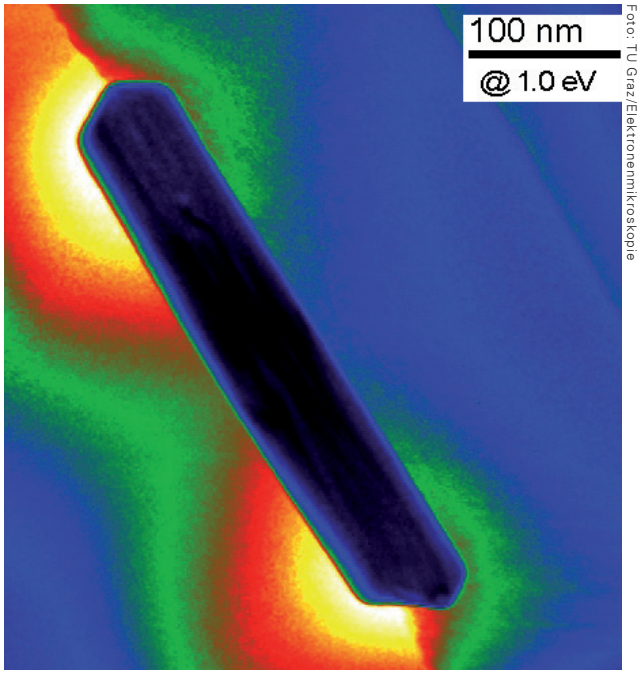


Foto: TU Graz/Elektronenmikroskopie

Erleuchtung im Elektronenmikroskop: verschieden starke Plasmonenfelder (gelb, rot, grün) auf einem Gold-Nanopartikel

Flaches Licht. „Am schnellsten ist das Licht", weiß Ao.Univ.-Prof. Dr. Joachim Krenn, Leiter der Arbeitsgruppe Nano-Optik am Institut für Physik der Karl-Franzens-Universität Graz. Strom könne in puncto Geschwindigkeit und Übertragungsrate nicht mithalten. Ein großer Nachteil des Lichts sei aber, dass es aufgrund seines Wellencharakters relativ viel Platz brauche. „Herkömmliche Bauteile lassen sich kaum kleiner als einen Mikrometer machen", so Krenn. „In Zeiten der Nanotechnologie ist das riesig, ineffizient und für moderne Anwendungen uninteressant."

Doch das Problem kennt eine Lösung: Licht muss zweidimensional, sprich „flach" gemacht werden. Und genau das ist Joachim Krenn und seinem Team, das zu den international führenden ForscherInnengruppen in der Nano-Optik zählt, gelungen. 2003 konnten sie erstmals Licht in der Oberfläche eines hauchdünnen Goldfilms „einsperren". „In diesem Zustand besteht Licht aus Elektronenschwingungen, so genannten Oberflächenplasmonen", erklärt der Physiker.

Damit war der erste Meilenstein auf dem Weg in eine viel versprechende Zukunft der Lichttechnologie gesetzt. Der zweite folgte 2007, als es die Grazer WissenschafterInnen im Forschungsverbund eines von der EU geförderten Exzellenznetzwerkes schafften, zweidimensionales Licht mithilfe eines nanotechnologischen Spiegels entlang einer Goldoberfläche gezielt auszurichten – eine Pionierleistung, die unter anderem im renommierten Wissenschaftsmagazin „Nature Physics" publiziert wurde. Die ForscherInnen schickten „flaches Licht" durch einen 160 Nanometer breiten Spalt in einem Goldfilm. „Normalerweise breitet es sich auf beiden Seiten des Spalts aus. Wird jedoch die Oberfläche auf einer Seite periodisch strukturiert, erzwingt dies eine gerichtete Ausbreitung des Plasmons auf der anderen Seite. Die strukturierte Goldoberfläche reflektiert also

gewissermaßen die Plasmonen wie eine nanotechnologische Variante eines Spiegels“, beschreibt Krenn das Phänomen. „Das war ein Durchbruch und schuf die Basis für weitere Anstrengungen, Licht als optisches Signal entlang hauchdünner Drähte mit einem Durchmesser von wenigen Nanometern weiterzuleiten“, unterstreicht der Physiker die Bedeutung des Forschungserfolgs. Revolutionäre neue Anwendungen der Lichttechnologie wie der optische Chip oder hoch sensible Sensoren in Kraftfahrzeugen, Medizintechnik und Biotechnologie scheinen nun in greifbare Nähe gerückt.

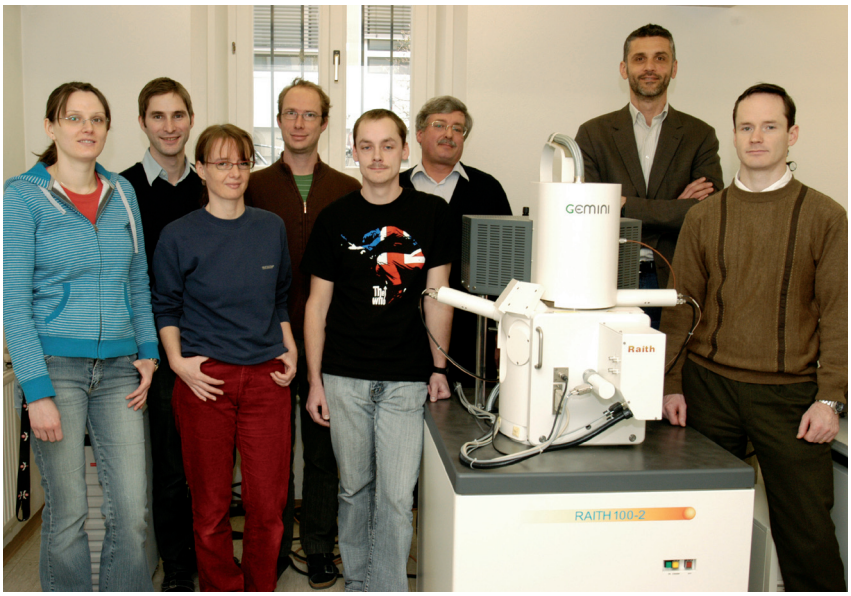


Foto: Pichler

Die Arbeitsgruppe Nano-Optik an der Uni Graz: Nicole Galler, Daniel Koller, Christine Prietl, Harald Ditlbacher, Norbert Reitinger, Alfred Leitner, Joachim Krenn und Andreas Hohenau (v.l.)

Lichtquelle. Die Beschäftigung mit den „ganz kleinen Dingen“ reicht an der Universität Graz bereits zwanzig Jahre zurück. Univ.-Prof. Dr. Franz Aussenegg und Ao.Univ.-Prof. Dr. Alfred Leitner riefen 1990 als Pioniere auf diesem Gebiet das „Erwin Schrödinger Institut für Nanostrukturforschung“ ins Leben. Viele neue Erkenntnisse haben die WissenschafterInnen an der Uni Graz seitdem gewonnen. Gelüftet sind die „kleinen Geheimnisse“ aber noch lange nicht. Das Interesse der Nano-Optik konzentriert sich gegenwärtig vor allem darauf, die Ausbreitung des „flachen Lichts“ an nanostrukturierten Oberflächen zu erforschen und herauszufinden, wie sich die optischen Eigenschaften von Plasmonen nach Wunsch manipulieren lassen, indem man die Nanostrukturen gezielt verändert.

Entscheidend verbessert hat die Forschungsbedingungen eine Entwicklung, die im Herbst 2008 mit einer Veröffentlichung im Wissenschaftsmagazin „Nature Photonics“ international für Aufsehen sorgte. Im Rahmen von NAWI Graz, der strategischen Kooperation von Karl-Franzens-Universität und TU Graz in den Naturwissenschaften, wurde die weltweit erste Leuchtdiode gebaut, die „flaches Licht“ emittiert. Hinter dieser nano-optischen Lichtquelle steht neben den Erkenntnissen der Arbeitsgruppe um Joachim Krenn auch das Know-how von Ao.Univ.-Prof. DI Dr. Emil J.W. List, Leiter des Christian-Doppler-Labors für Neuartige Funktionalisierte Materialien am Institut für Festkörperphysik der TU Graz, und seinem Team. „Es ist uns gelungen, eine miniaturisierte Leuchtdiode aus Kunststoffhalbleitern zu konstruieren, die sich in eine wenige Nanometer dünne Goldoberfläche mit Nanostrukturen integrieren lässt und Oberflächenplasmonen emittiert“, beschreibt Krenn die spektakuläre Erfindung. Durch diese Innovation der „Plastik-Elektronik“ steht der Forschung „flaches Licht“ nun unmittelbar zur Verfügung. Der aufwändige Prozess der Umwandlung fällt weg. „Voraussetzung für die Realisierung der nano-optischen Lichtquelle war die Bündelung von Kompetenzen aus Physik, Chemie und Materialwissenschaften“, betont Krenn.

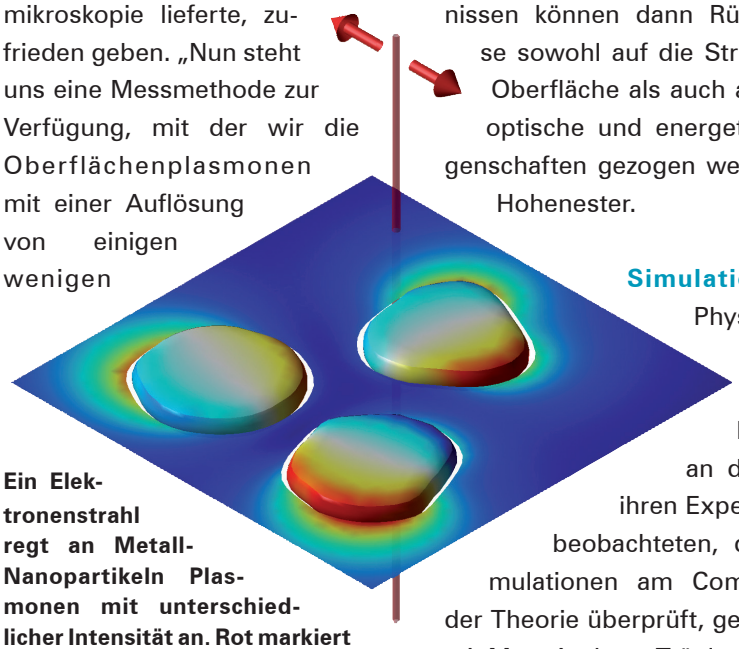
Messmethode. Die Erfolge in der Nano-Optik ziehen also Kreise und geben über die Grenzen der eigenen Disziplin hinaus auch in benachbarten Forschungsgebieten wichtige Impulse für neue Entwicklungen. So auch kürzlich im Bereich der Methoden zur Beobachtung von Nanostrukturen und Oberflächenplasmonen. Wieder einmal schuf NAWI Graz den fruchtbaren Boden für eine Pionierleistung: Das Team um Ao.Univ.-Prof. DI Dr. Ferdinand Hofer vom Institut für Elektronenmikroskopie und Feinstrukturforschung der TU Graz hat in Kooperation mit Ao.Univ.-Prof. Dr. Ulrich Hohenester vom Institut

Foto: Pichler

Ulrich Hohenester hat die im Elektronenmikroskop beobachteten Phänomene am Computer simuliert.

für Physik der Karl-Franzens-Universität eine weltweit neue Methode entwickelt, mit dem Elektronenmikroskop Oberflächenplasmonen im Nanometerbereich sichtbar zu machen. Bisher musste sich die Nano-Optik bei der Analyse der Ausbreitung von ‚flachem Licht' mit einer Auflösung von etwa 50 Nanometern, wie sie die Nahfeldmikroskopie lieferte, zufrieden geben. „Nun steht uns eine Messmethode zur Verfügung, mit der wir die Oberflächenplasmonen mit einer Auflösung von einigen wenigen Nanometern beobachten können", ist Joachim Krenn begeistert. Die Elektronenmikroskope, die den NAWI-Graz-ForscherInnen dafür zur Verfügung stehen, zählen zu den leistungsfähigsten Österreichs. Im Jänner 2009 wurde die bahnbrechende Entwicklung in der Fachzeitschrift „Physical Review B" publiziert.

Ulrich Hohenester verrät das Geheimnis der neuen Methode: „Wenn der Elektronenstrahl des Mikroskops eine wenige Nanometer dünne metallische Probe durchstrahlt, verliert er Energie und erzeugt an der Oberfläche Elektronenschwingungen, also Plasmonen." Deren Intensität ist nicht an allen Stellen gleich und ihre Ausbreitung wird von den Nanostrukturen der Oberfläche beeinflusst. „Das Elektronenfilterungsmikroskop misst, wie sich die Plasmonen verteilen. Aus den Ergebnissen können dann Rückschlüsse sowohl auf die Struktur der Oberfläche als auch auf deren optische und energetische Eigenschaften gezogen werden", so Hohenester.



Ein Elektronenstrahl regt an Metall-Nanopartikeln Plasmonen mit unterschiedlicher Intensität an. Rot markiert die stärkste, Dunkelblau keine Anregung. Simulation: Hohenester

Simulation. Der Physiker hat das, was seine Kollegen an der TU in ihren Experimenten beobachteten, durch Simulationen am Computer in der Theorie überprüft, gemeinsam mit Mag. Andreas Trügler, der dazu seine Dissertation verfasste. „Den rechnerischen Simulationen liegen die Maxwellschen Gleichungen zugrunde", erklärt Hohenester. Sie wurden von James Clark Maxwell zwischen 1861 und 1864 aufgestellt und beschreiben die Erzeugung von elektrischen und magnetischen Feldern durch Ladungen und Ströme sowie deren Wechselwirkungen.

Die Theorie gab dem Experiment recht: Was mit dem Elektronenfilterungsmikroskop beobachtet wird, ist die Verteilung von Oberflächenplasmonen. Die Genauigkeit dieser Messmethode macht den Weg frei für noch tiefere Einblicke. Und diese werden über kurz oder lang zu zukunftweisenden Anwendungen führen. Joachim Krenn leitet neben seiner Arbeit an der Karl-Franzens-Universität auch das Institut für Nanostrukturierte Materialien und Photonik der Joanneum Research Forschungsgesellschaft. Damit schlägt der Wissenschafter selbst eine Brücke von der Grundlagen- zur anwendungsorientierten Forschung.

Ausgezeichnete JungforscherInnen

- MMag. Daniel Koller: Buchbinderpreis 2008 (Buchbinder – Rent a Car)
Nano-Preis 2008 der Erwin Schrödinger Gesellschaft
Koller leistete einen entscheidenden Beitrag zur Realisierung der nano-optischen Lichtquelle.
- Mag. Nicole Galler: Universitätsforschungspreis der Industrie 2007 – Sonderpreis für junge ForscherInnen (IV Steiermark)
Die Physikerin forscht an neuen Bauteilen für optische Wellenleiter.