

Alwin Kienle hat das Ganze im Blick

Für den Physiker Alwin Kienle naht die Zeit der Ernte. In ein bis zwei Jahren sollen die Ergebnisse seiner grundlagenorientierten Forschung in ein anwendungsnahes Zentrum zur Bestimmung der optischen Eigenschaften von streuenden Medien münden. Der stellvertretende Direktor des Ulmer ILM erhofft sich von diesem optischen Kompetenzzentrum attraktive Lösungen für Branchen wie Pharma, Medizintechnik oder Ernährung.

Seit 1991 beschäftigt sich der heute 43-jährige Württemberger mit der Ausbreitung des Lichts im biologischen Gewebe. Das junge Ulmer An-Institut ILM zeigt starkes Interesse am Promotionsthema des Ulmer Physikers und lässt ihn drei Jahre lang in großer Freiheit forschen. Ein dreimonatiger Aufenthalt am kanadischen Hamilton Regional Cancer Centre bei Prof. Patterson bringt Kienle weit voran, nach der Promotion forscht er dort und an der École Polytechnique Fédérale de Lausanne weiter.

Wieder in Ulm beginnt der DFG-Stipendiat seine Habilitation, die er im Jahr 2000 für das Fach experimentelle Physik zum Thema „Determination of Light Absorption and Scattering in Biological Tissue“ abschließt. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter am ILM wird Kienle rasch Arbeitsgruppenleiter der Gewebeoptik, die jetzt "Material optics and imaging" heißt.

Im Mai 2008 steigt der Physiker zum stellvertretenden Direktor zuständig für den Bereich Forschung auf. Seit Januar 2009 ist Kienle außerplanmäßiger Professor an der Universität Ulm, seine Arbeitsgruppe ist auf inzwischen 16 Mitarbeiter angewachsen. Eigene Forschung muss der leidenschaftliche Forscher mittlerweile in die Abendstunden verschieben.

Die Frage vor allen Fragen: Lichtausbreitung

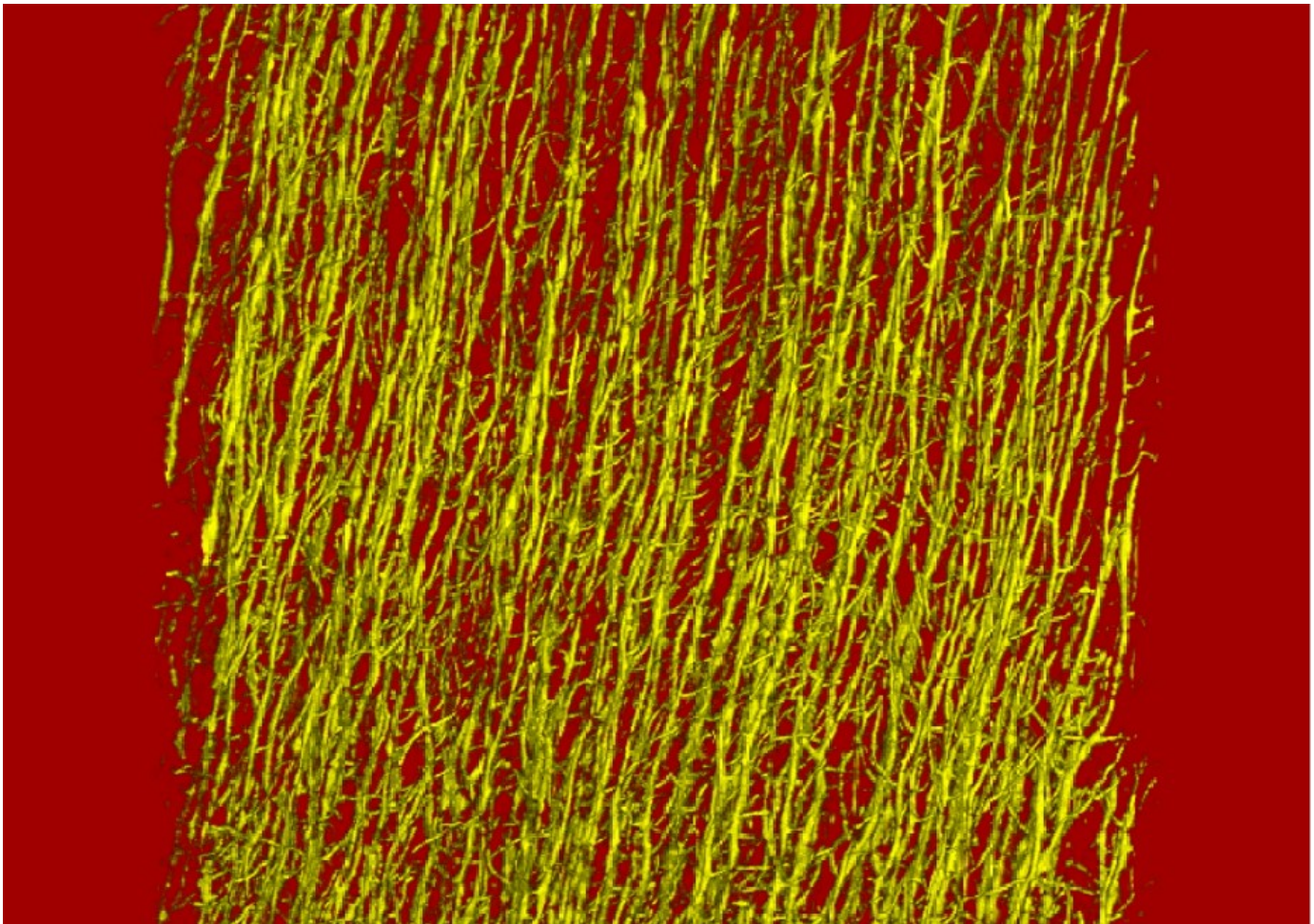


Prof. Dr. Alwin Kienle

Strahlt Licht auf ein Material ein, muss zuerst untersucht werden, wie es sich dort ausbreitet. Da praktisch alle Materialien in der Natur das Licht streuen oder ablenken, muss neben der Absorption auch die Streuung berücksichtigt werden. Mit diesem allgemeinen physikalischen Phänomen beschäftigen sich viele Wissenschaftler.

Im Falle des damals gerade mal fünf Jahre jungen ILM, das damals dem Laser eine große medizinische Zukunft beimaß, war die Frage des Promovenden Kienle von zentraler Bedeutung.

Zur Beschreibung der Lichtausbreitung in streuenden Medien existieren verschiedene Theorien. Die drei wichtigsten sind – mit abnehmender Genauigkeit - die Maxwell-, die Transport- und die



Viele biologische Gewebe wie hier die zylinderförmigen Tubuli im Dentin, dem Zahnbein, weisen gerichtete Strukturen auf.
© ILM

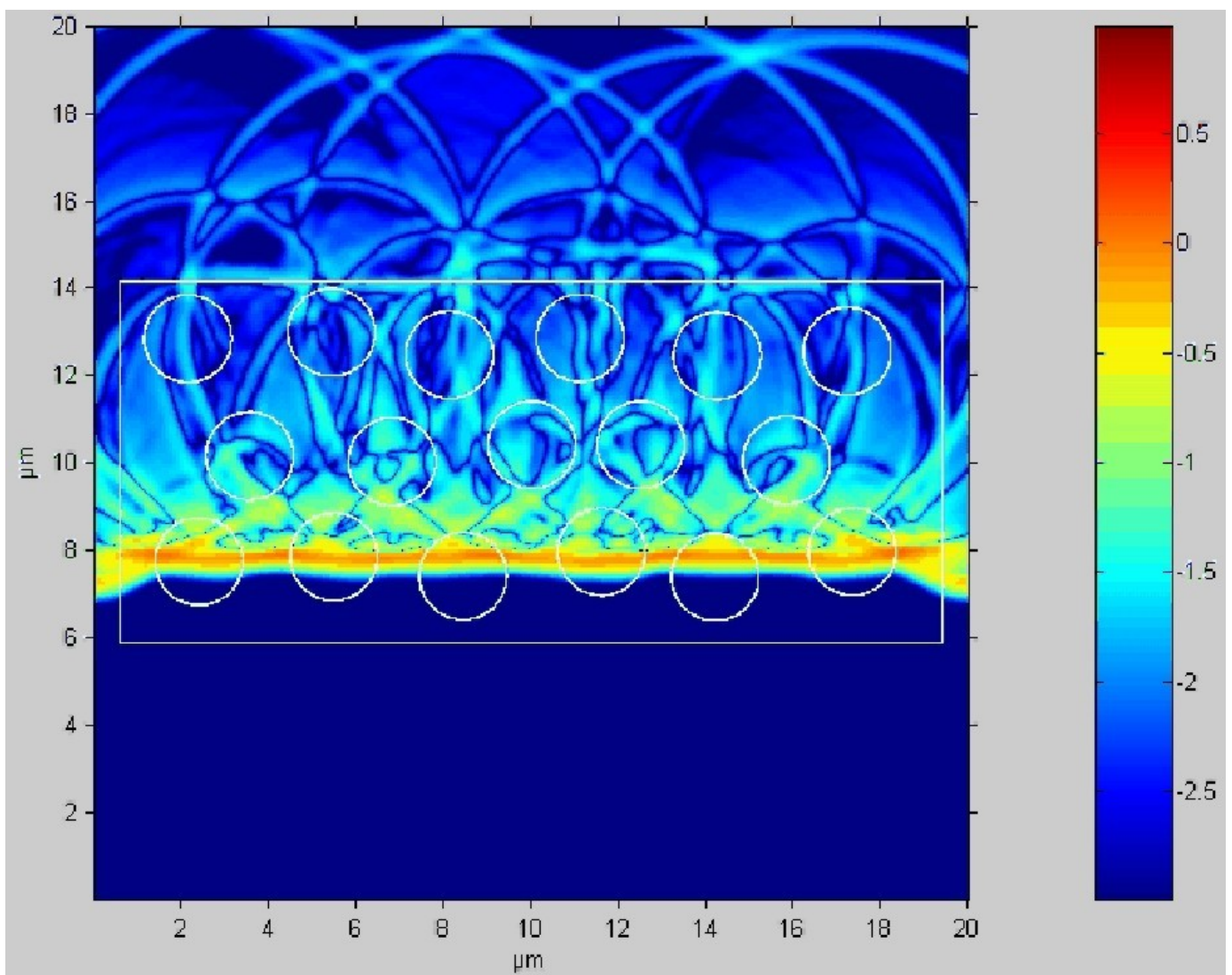
Diffusionstheorie. Für das genaue Verständnis der Mehrfachstreuung muss zuerst die Streuung an den einzelnen Streuern verstanden werden. Diese kann für einfache Geometrien durch Lösung der Maxwellgleichungen exakt beschrieben werden. Für kompliziertere Geometrien werden die Maxwellgleichungen numerisch behandelt.

Ist die Lichtausbreitung in dem betrachteten Medium verstanden, können weitere Effekte wie die Erwärmung des Mediums, die Ablation des Mediums oder photochemische Effekte untersucht werden. Dies geschieht, erläutert Kienle, mit Hilfe von Modellierung und Simulation.

Die Maxwelltheorie, erklärt Alwin Kienle, ist eine mikroskopische Theorie, die die Mikrostruktur des betrachteten Mediums berücksichtigt. Die Transporttheorie ist eine Näherung der Maxwelltheorie. Das Licht wird als aus kleinen Energiepaketen („Photonen“) bestehend betrachtet, die sich quasi zufällig durch das streuende Medium bewegen. Die Diffusionstheorie wiederum ist eine Näherung der Transporttheorie. Sie ist gültig für große Abstände vom Einstrahlungspunkt und vom Rand des streuenden Mediums.

Kienles Ansatz umfasst alle drei Skalen

In der aktuellen Forschung wird die Lichtausbreitung in streuenden Medien fast nur mit Hilfe der Transport- und Diffusionstheorie betrachtet, denn die Lösung der Maxwellgleichungen erfordert einen extrem hohen Rechen- und Speicherbedarf. Außerdem fehlt es an mikroskopischen Modellen und der benötigten optischen Eigenschaften für die streuenden Medien. Effekte wie abhängige Streuung beispielsweise, erklärt Kienle, lassen sich damit nicht beschreiben. Und: bei ausgeprägt



Elektromagnetische Welle während der Ausbreitung durch eine Dentinschicht, die aus zylindrischen Tubuli besteht. Das Bild ist eine FDTD-Simulation, eine Methode zur numerischen Lösung der Maxwell-Gleichungen.

© ILM

gerichtet angeordneten Medien, die der Fachmann anisotrop nennt, versagt die Diffusionstheorie völlig.

Nahezu die Hälfte aller biologischen Gewebearten (Muskeln, Sehnen, Bänder, Nervengewebe, Zahnschmelz) weist aber diese gerichteten Strukturen auf und ist entgegen vorherrschender Meinung anisotrop. Hinweise gab es zwar schon vor zehn Jahren, den Messungen folgten aber keine exakten Lösungen. Dies gelang Kienle vor einigen Jahren am Beispiel des organischen Materials Holz.

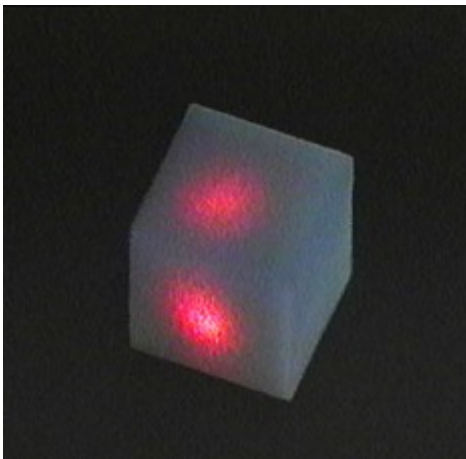
Warum ist blau, was eigentlich rot ist?

Hat man verstanden, wie sich das Licht bei verschiedenen Wellenlängen ausbreitet, versteht man die Farbe aller Gegenstände. Dieser Erkenntnisgewinn hat durchaus praktischen Nutzen, erläutert Kienle. Der Ulmer Physiker untersuchte und erklärte, warum Venen blau sind, wo doch Blut eigentlich rot ist.

Blut ist rot, weil der blaue und grüne Anteil des sichtbaren Lichts stärker als der rote absorbiert wird und so vorwiegend der rote Anteil - nach Streuung im Blut - in das Auge remittiert wird. In der Haut mit Blutgefäß wird das blaue und grüne Licht aufgrund der geringen Eindringtiefe von dem Blutgefäß nicht beeinflusst, wohl aber das rote Licht aufgrund der größeren Eindringtiefe. Dessen Remission wird durch die Absorption im Blutgefäß verkleinert: Das Auge sieht die Komplementärfarbe: blau.

Ausgehend von dieser Erkenntnis stellte Kienle Simulationen und Abschätzungen zu Größe und Tiefe von Blutgefäßen an. So kann er erklären, was jedermann sieht: kleine Blutgefäße an der Oberfläche sind wieder rot wie diejenigen im Auge. Aus der Farbe der Blutgefäße lässt sich prinzipiell abschätzen, in welcher Tiefe sich Blutgefäße befinden, was sich beispielsweise in der Dermatologie beim Einsatz des Lasers anwenden lässt, denn Kienle kann in Abhängigkeit von der Tiefe errechnen, wie die Wellenlänge verändert werden muss, um optimal zu therapieren.

Verstehen, was das Mikroskop zeigt

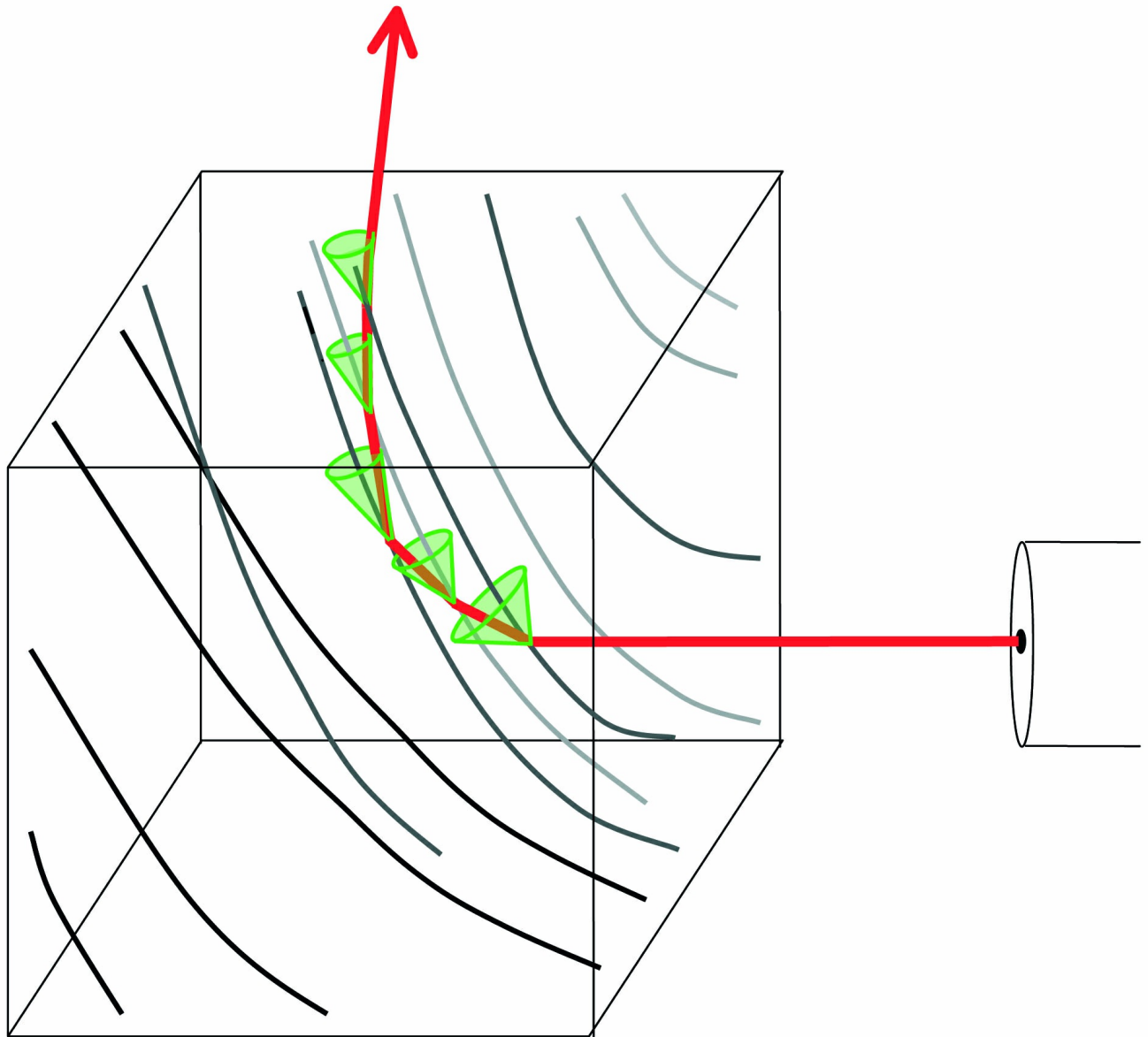


Anisotrope Lichtausbreitung - Senkrechte Einstrahlung auf einen Dentinwürfel: Fast das gesamte Licht wird an einer Seite transmittiert.

© ILM

Kienles ganzheitlicher Ansatz, die Lichtausbreitung im großen, mittleren und kleinen Größenmaßstab mitsamt der Kopplungen auf den einzelnen Ebenen zu untersuchen, ist neu und erfordert erhebliche Rechnerkapazität, wenn die vorgegebene Feinstruktur eines Gewebes in Maxwellgleichungen „gefasst“ wird. Mittelfristig, so Kienles Ziel, lassen sich damit die Bilder verschiedenster Mikroskope verstehen und es wird erklärbar, wie die im Mikroskop sichtbaren Strukturen zustande kommen.

Das kann beträchtliche Auswirkungen haben. So baut ein Doktorand am ILM gerade ein Streulichtmikroskop, womit sich Veränderungen im Nanometerbereich z.B. in Zellen oder Zellorganellen durch spektral oder winkelaufgelöste Messungen bestimmen lassen. Zusammen mit Ingenieuren der Hochschule Reutlingen, die entdeckt haben, dass sich Chromosomen nur durch Streulicht unterscheiden lassen, will Kienle testen, ob sich Änderungen in den Chromosomen auf diese Art messen lassen können. Das würde aufwändige Fluoreszenzmessungen hinausschieben und wäre obendrein viel schneller.



Das Modell zur Erklärung: Durch die Streucharakteristik an den zylindrischen Tubuli wird das Licht bei kleinen Einfallswinkeln zur Zylinderachse kegelförmig fast in Vorwärtsrichtung gestreut. Aufgrund von Vielfachstreuung wird das Licht dann entlang der Tubuli geleitet.

© ILM

Ganzheitlicher Ansatz entlockt Gewebe frühe Diagnosen

Mit dem oben beschriebenen multiskaligen Ansatz lässt sich die Gewebeoptik vom Nanometerbereich, wie für die Frühdiagnose von Gewebeeränderungen (Vorstufen von Krebs) nötig, bis in den Zentimeterbereich untersuchen. Als Beispiel für letzteres wurden in Kienles Arbeitsgruppe Lösungen der Diffusionstheorie für einen vielschichtigen Gewebeaufbau hergeleitet, die momentan in einem EU-Projekt für die nicht-invasive Untersuchung von Gehirnfunktionen verwendet werden.

Für das geplante Zentrum zur Bestimmung der optischen Eigenschaften von streuenden Medien entwickeln jetzt die Ingenieure und Physiker am ILM Apparaturen, in die Kienles Forschungssensenz einfließt. Wer Streuung und Absorption über verschiedene Wellenlängen und –bereiche bestimmen kann, der kann beispielsweise auch die Wirkstoffkonzentration pharmazeutischer Produkte bestimmen oder Verunreinigungen im Verlauf des Herstellungsprozesses schneller und weniger aufwändig erkennen. Mit goniometrischen (winkelaufgelösten) Messungen lassen sich beispielsweise

auch die Abstrahlcharakteristika von Dioden oder anderer Lichtquellen bestimmen.

Viel interdisziplinäre Arbeit steht Alwin Kienle in naher Zukunft bevor, wenn er seine bisherigen Arbeiten fortführt und sie in Anwendungsnähe bringt. Mittlerweile hat der Ulmer Physiker auch zwei Patente zur Wirkstoffbestimmung und Lichtleitung angemeldet, für ihn ein Indiz, dass er allmählich aus der Grundlagenforschung tritt.

Fachbeitrag

22.09.2009

wp

BioRegionUlm

© BIOPRO Baden-Württemberg GmbH