

Schwerpunkt Laser : Siegeszug der Lichttechnologie

Autor(en): **Morel, Philippe / Lehmann, Steffi**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Horizonte : Schweizer Forschungsmagazin**

Band (Jahr): **22 (2010)**

Heft 86

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-968265>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Mehr als Science-Fiction: Berühmt geworden durch die magischen «Star Wars» Lichtschwerter, prägt die Lasertechnologie heute unseren Alltag – beispielsweise in einem Wasserpumpwerk. Bild: Thomas Erasing / Half/Keyframe

Nichts liess den Siegeszug erkennen, welcher der Lasertechnologie bevorstand, als vor 50 Jahren ein amerikanischer Tüftler namens Theodore Maiman einen roten Lichtstrahl aus einem Rubin hervorzauberte. Maiman selbst hielt seine Erfindung für eine «stille Lösung, für die allerdings noch ein Problem gefunden werden müsse».

Tatsächlich erwiesen sich die militärischen Probleme, welche die Medien in den Anfangszeiten des Lasers mitten im Kalten Krieg beschworen, als ungeeignet. Die damals prophezeiten «Todesblitze aus Laserkanonen sind bis heute ausgeblieben. Im militärischen Bereich schuldet der Laser immer noch seinen Nützlichkeitsbeweis – trotz milliardenschweren Investitionen in das «Star Wars»-Programm der Reagan-Ära. Und auch die mächtigen Lichtschwerter der mächtigen Jedi-Ritter gibt es bisher nur in Science-Fiction-Filmen.

Im zivilen Leben hingegen haben die gebündelten Lichtstrahlen unseren Alltag durchdrungen. Wie vielfältig die Anwendungen heute sind, zeigen wir in diesem Schwerpunkt bildlich an einzelnen Beispielen. Und ausführlicher schildern wir, wo Laser in der Forschung neue Perspektiven eröffnet. So verbessert Laserlicht die Wetterprognosen, und es wird hoffentlich bald helfen, Krankheiten wie die rheumatoide Arthritis zu heilen. [or](#)

Siegeszug der Lichttechnologie



Ein Laser erkundet die Atmosphäre

Die aerologische Station von MeteoSchweiz in Payerne setzt ausser Wetterballonen auch einen optischen Radar ein. Als ein isländischer Vulkan in diesem Frühjahr Asche spuckte, leistete das High-Tech-Gerät einen Sondereinsatz.

VON PHILIPPE MOREL

Oberhalb der Broye-Ebene führt ein schmaler Landwirtschaftsweg zu einem Gebäude, das inmitten merkwürdiger, geheimnisvoller Instrumente steht: zur aerologischen Station von Payerne. Die Station bildet das Nervenzentrum von MeteoSchweiz, die hier ihre gesamten meteorologischen Oberflächendaten und Werte zur Atmosphäre sammelt.

Das Abenteuer begann in den vierziger Jahren, und auf Payerne fiel die Wahl nicht zufällig. Meteorologische Daten galten damals als strategisch wichtig, und die Wetterballone mit den Informationen aus der Atmosphäre sollten unbedingt auf Schweizer Gebiet niedergehen. Studien ergaben, dass Payerne aufgrund der vorherrschenden Winde diese Anforderung am besten erfüllt. 70 Jahre später bestätigen die Statistiken dies.

Im Rhythmus der Ballone

Noch heute bestimmen die Ballonsonden den Lebensrhythmus der Station. Diese gehört zum Messnetz der Weltorganisation für Meteorologie, das rund 700 Stationen umfasst. Zweimal pro Tag lassen diese Stationen um null und zwölf Uhr mitteleuropäischer Zeit gleichzeitig eine Ballonsonde steigen. Die Wind-, Druck-, Temperatur- und Feuchtigkeitsprofile, die von den Ballonen bis über 30000 Meter Höhe gemessen werden, liefern die Grundinformationen für Wetterprognosen auf der ganzen Welt.

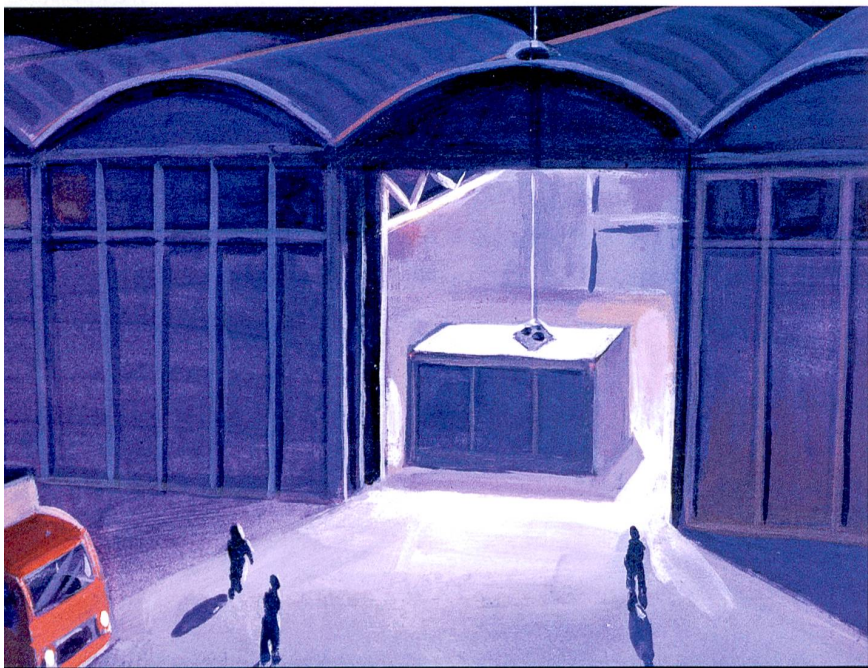
Für Bertrand Calpini, Leiter der Station, «erfüllen diese Ballone ihre Aufgabe gut, sie sind aber nicht in der Lage, konstant Messungen zur Atmosphäre zu liefern». Aber es gibt für dieses Problem eine Lösung: In einem Hangar am Rand der Station steht ein



Urs Fritterer/Keystone

Geschwindigkeit

Sogenannte Laserpistolen messen mit kurzen Infrarot-Lichtpulsen, die von Skifahrern auf der Piste zurückgestrahlt werden, deren Geschwindigkeit. Seit Mitte der 90er Jahre kommt dieselbe Technik auch zur Überwachung des Strassenverkehrs zum Einsatz. Daher gilt heute – zum Leidwesen einiger Autofahrer – eine tiefere Toleranzgrenze bei Geschwindigkeitsüberschreitungen.



Der Radar im Hangar: Das Gerät im Container sendet kurze Laserimpulse in die Atmosphäre. Von dort wird ein Teil des Lichts reflektiert und auf dem Dach des Radars (ganz rechts) in ein elektrisches Signal umgewandelt. So lässt sich der Gehalt an Wasserdampf und Aerosolen in der Luft genau bestimmen. Illustration: Andreas Gefé

Lidar-System (LIght Detection And Ranging), ein Lichtradargerät, das ein Team der ETH Lausanne unter Hubert van den Bergh und Valentin Simeonov für MeteoSchweiz entwickelt hat. Der Radar kam im August 2008 nach Payerne und ist vom experimentellen zum voll einsatzfähigen Instrument gereift. Tag und Nacht liefert er alle 30 Minuten Profile über den Wasserdampf- und den Aerosolgehalt der Atmosphäre über Payerne. Mit diesen Daten lassen sich die Modelle ständig anpassen und die Prognosen verbessern.

Im Innern des Hangars erklärt Valentin Simeonov, derzeit Verantwortlicher der Gruppe Lidar an der ETH Lausanne, wie dieser funktioniert: «Der Radar schickt sehr kurze Laserimpulse in die Atmosphäre. Die Moleküle und Partikel in der Atmosphäre interagieren mit diesem Lichtstrahl. Ein winziger Teil des Strahls wird zum Boden zurückgeworfen, wo ein Teleskop ihn auffängt und einem Lichtdetektor zuführt. Das vom Lichtdetektor erzeugte elektrische Signal kann dann ausgewertet werden.»

Licht prallt auf Materie

Dieses Laserlicht trägt Informationen über die Materie, mit der es zusammengetroffen ist. Die einfachste Interaktion wird als elastisch bezeichnet: Wenn ein Photon auf einen Partikel oder ein Molekül trifft, prallt es daran ab wie ein Ball von einer Mauer. Aus der bekannten Geschwindigkeit des Lichts und der Zeit, die zwischen Aussendung und Rückkehr des Lichtstrahls verstreicht, lässt sich die Entfernung des Partikels oder Moleküls berechnen. Der Vibrations-Raman-Effekt (benannt nach Sir Chandrasekhara

Venkata Raman, dem indischen Entdecker dieses Effekts) beschreibt eine weitere Interaktion: Das Licht und das getroffene Molekül tauschen Energie aus, wodurch sich die Wellenlänge des Lichts verändert. Die Veränderung hängt dabei von der Art des getroffenen Moleküls ab: Dieses hat dem Licht sozusagen seinen Stempel aufgedrückt. Da Stickstoff in der Atmosphäre in einer konstanten Konzentration vorkommt, lässt sich aus den Intensitäten des zurückgeworfenen Lichts bei den für Wasser bzw. Stickstoff charakteristischen Wellenlängen der Wasserdampfgehalt in verschiedenen Höhen feststellen. Weitere Interaktionen wie der Rotations-Raman-Effekt oder der Doppler-Effekt geben Aufschluss über Temperatur- oder Windprofile.

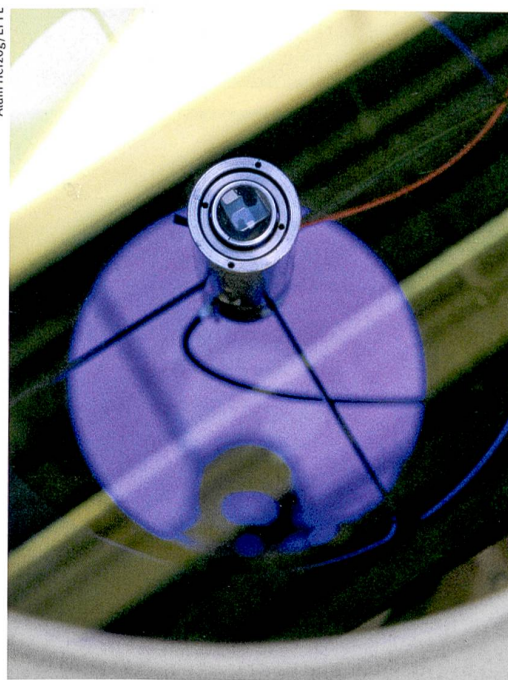
Wetterprognose der Zukunft

Weshalb also kommen überhaupt noch Ballonsonden zum Einsatz? Die Antwort von Bertrand Calpini ist klar: «Erstens handelt es sich bei unserem Lidar-System um einen Prototypen, und es ist nicht realistisch, dass jede aerologische Station mit einem solchen Gerät ausgerüstet wird. Zweitens funktionieren die Ballone bei jedem Wetter, und sie steigen bis auf über 30000 Meter auf.»

Ein Lidar-Laser dagegen ist bei einer niedrigen Wolkendecke nicht benutzbar, und die gelieferten Daten beschränken sich auf die ersten zehn Kilometer der Atmosphäre. Heute ist das aktuelle System nur während 50 Prozent der Zeit einsatzfähig. Doch der Leiter der aerologischen Station in Payerne ist überzeugt: «Die Lidar-Technologie ist zweifellos ein Schritt hin zur Meteorologie von morgen.» ■



Phil Morel



Alain Herzog/EPFL



DLR.de

Aschewolke über der Schweiz lokalisiert

Donnerstag, 15. April 2010: Der Vulkan unter dem isländischen Eyjafjöll-Gletscher beginnt, Asche in die Atmosphäre zu spucken. Im Laufe der folgenden Stunden werden die Lufträume über Europa einer nach dem andern geschlossen. Sofort legen sich die Teams von Bertrand Calpini und Valentin Simeonov auf die Lauer, um die berühmte Aschewolke mit dem Lidar-System ins Visier zu nehmen. «Die Zivilluftfahrtbehörden wollten unbedingt Daten über diese unsichtbare Wolke – vor allem über Höhe, Dicke und Konzentration ihrer Asche»,

erklärt Bertrand Calpini, der Leiter der aerologischen Station in Payerne. **Freitag, 16. April 2010, 23 Uhr:** Das Lidar-System registriert die Ankunft der Wolke vertikal über Payerne in 6500 Meter Höhe. Der Laser verfolgt, wie sie in der Atmosphäre langsam absinkt und dann verschwindet. Diese wichtigen Informationen werden dem Bundesamt für Zivilluftfahrt übermittelt. Da ihr Lidar-System eigentlich nicht zur Untersuchung einer solchen Wolke entwickelt wurde, sind Valentin Simeonov und Bertrand Calpini besonders stolz über den erfolgreichen Ein-

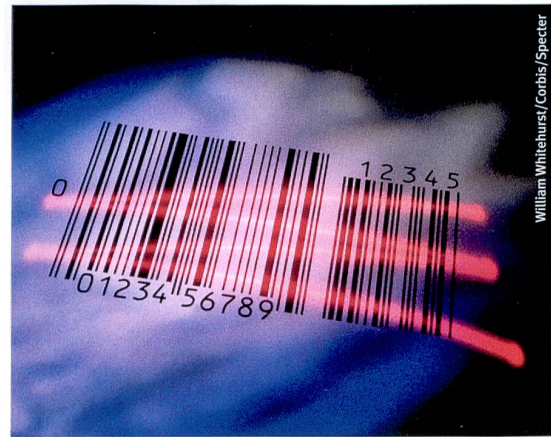
satz und die verheissungsvollen Möglichkeiten, die sich damit eröffnen. Der Leiter der Station dämpft jedoch den Enthusiasmus etwas: «Dieses Gerät ist kein Forschungsinstrument. Wollen wir bei einem nächsten Ausbruch professionelle Daten liefern, müssen wir sicherstellen, dass wir sie zuverlässig sammeln und interpretieren können. Diesmal haben uns Zufall, Begeisterung und guter Wille hervorragende Ergebnisse beschert. Es steht jedoch punkto Sicherheit und Finanzierung enorm viel auf dem Spiel, daher reicht Improvisation nicht aus.»



Vom Durchblick zum Lichtblick

Biologen durchleuchten Mäuse mit Laserstrahlen und machen so bisher verborgene molekulare und zelluläre Prozesse sichtbar. Gleichzeitig entwickeln sie auf diese Weise neue Therapieformen – zum Beispiel für die rheumatoide Arthritis.

VON STEFFI LEHMANN



William Whitehurst/Corbis/Specter

Einkaufen

Es piepst und piepst ohne Unterlass. Eine rasche Handbewegung über den am Kassentisch installierten Laser – und schon ist der Strichcode gescannt. Aus der Sequenz von schwach reflektierenden, mehr oder weniger breiten schwarzen Streifen und stärker reflektierenden, hellen Lücken schliesst das System, welches Produkt zu welchem Preis in den Einkaufskorb wandert.

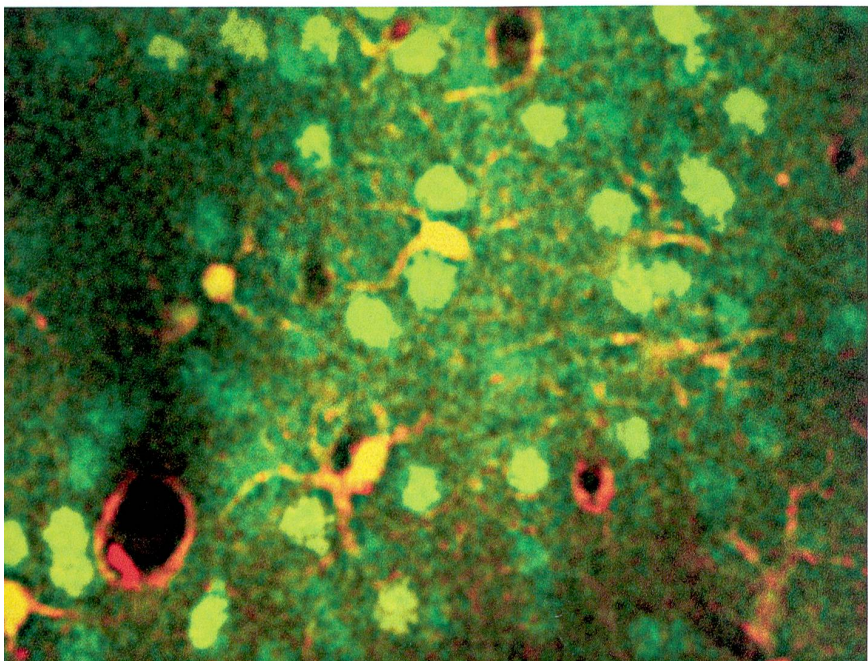
Wir begegnen ihm überall. Oft bleibt er dabei jedoch unbemerkt. Im Büro am Drucker, an der Kasse im Supermarkt, in der Disco, auf der Baustelle vor dem Haus. In den 50 Jahren seit seiner Erfindung ist der Laser Teil unseres Alltags geworden.

Aber auch von der modernen biomedizinischen Forschung ist er nicht mehr wegzudenken. Denn hier hat der Laser nicht nur zu neuen therapeutischen Möglichkeiten wie der Korrektur von Kurzsichtigkeit geführt. «Er ist auch für die Grundlagenforschung unabdingbar, ja geradezu essenziell», sagt Fritjof Helmchen, Professor für Neurophysiologie an der Universität und der ETH in Zürich.

Mit seinem Team untersucht er, wie Nervenzellen miteinander kommunizieren, wenn sie äussere Reize verarbeiten.

Neuronen beim «Feuern» zusehen

Für ihre Experimente nutzen Helmchen und seine Mitarbeiter fluoreszente Farbstoffe, die in einer bestimmten Farbe leuchten, wenn man sie mit sichtbarem oder infrarotem Licht bestrahlt. Helmchens Farbstoffe leuchten zudem um ein Vielfaches heller, wenn sie an Kalziumionen binden, die jeweils in eine Nervenzelle einströmen, wenn sie durch einen Reiz aktiviert wird. Mit einem Zwei-Photonen-Mikroskop verfolgen die Forscher diese Intensitätsänderungen in Echtzeit und schauen sozusagen einzelnen Neuronen im intakten Gehirn beim «Feuern» zu.



Zellen bei der Arbeit: Fluoreszente Farbstoffe und infrarotes Laserlicht ermöglichen es, die Aktivität von Zellen im Mäusehirn sichtbar zu machen. Die aktiven Zellen leuchten grün. Bilder: Alexander Tsiaras/SPL/Keystone; www.hifo.uzh.ch

Ermöglicht hat dies der Laser: denn die Zwei-Photonen-Mikroskopie, die als einzige Mikroskopietechnik auch Einblicke in die tieferen Schichten der Hirnrinde gewährt, nutzt infrarotes Laserlicht, um das Gewebe zu durchdringen und die Farbstoffe anzuregen.

In ihren Studien setzen Helmchen und sein Team Versuchstiere äusseren Sinnesreizen aus. Zum Beispiel stimulieren sie die Schnurrhaare, ein für Mäuse wichtiges Sinnesorgan, indem sie diese leicht biegen. Das führt zur Aktivierung bestimmter Gruppen von Nervenzellen in der Grosshirnrinde, welche die Forscher nun genau lokalisieren können. «Zu verstehen, wie solche neuronalen Netzwerke im gesunden Gehirn funktionieren», so Helmchen, «wird es uns erleichtern, den Ursachen von Fehlfunktionen der Hirnaktivität in verschiedenen Krankheiten nachzugehen.»

Auch Markus Rudin, Professor für molekulare Bildgebung an der Universität und der ETH in Zürich, macht Gebrauch von Lasern und fluoreszenten Farbstoffen, um verborgene biologische Prozesse sichtbar zu machen. Ihn interessieren die molekularen Veränderungen, die einer Krankheit zugrunde liegen.

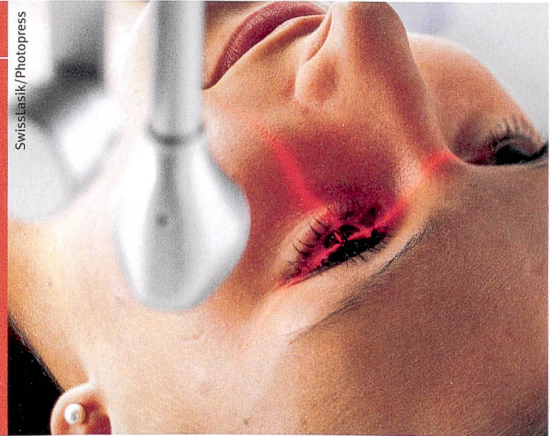
Alzheimer-Plaques im Visier

Einer der Farbstoffe, die Rudin und sein Team verwenden, bindet spezifisch an die sogenannten Plaques, Proteinablagerungen, die sich im Gehirn von Alzheimer-Patienten ansammeln und die Funktion von Nervenzellen stören. Die Forschenden injizieren diesen Farbstoff in gentechnisch veränderte Mäuse, die an Alzheimer erkranken. Wenn sie die Tiere mit rotem Laserlicht bestrahlen, beginnt der Farbstoff zu leuchten und macht die Plaques sichtbar.

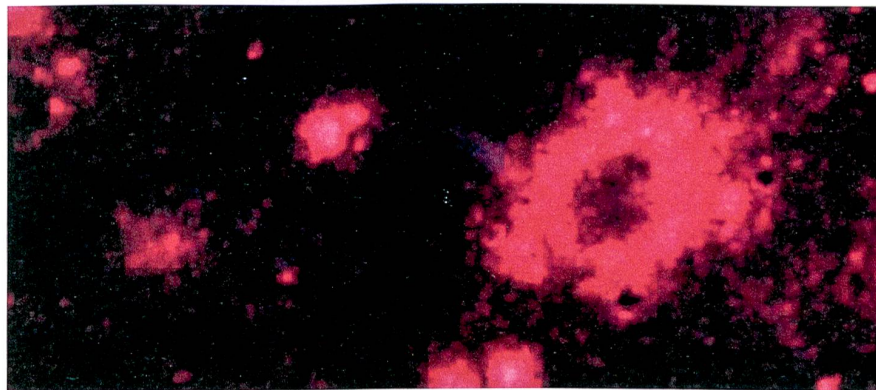
Rudin und seine Mitarbeiter können so die molekularen Veränderungen im Gehirn von Alzheimer-Mäusen über Wochen und Monate verfolgen. Und gleichzeitig neue Behandlungsmethoden testen. Beispielsweise hat Rudins Team gezeigt, dass ein Antikörper, der an die Proteinablagerungen von Alzheimer-Patienten bindet, schliesslich zu deren Zerstörung führt: Die Gehirne von Alzheimer-Mäusen, die über mehrere Wochen mit dem Antikörper

Augenchirurgie

In der Medizin haben sich Laser in den letzten zwanzig Jahren zum Lichtblick für fahsichtige Brillenträgerinnen oder Kontaktlinsenträger entwickelt. Indem der Laser hauchdünne Hornhautschichten abträgt, korrigiert er die Brechkraft des Auges und verbessert das Sehvermögen.



Swisslaserik/Photopress



Internet

Der Kernbereich des Internets, das sogenannte Backbone-Netzwerk, besteht schon seit zwanzig Jahren aus Glasfaserkabeln. Jetzt erobern diese Kabel zusehends die letzte Meile zu den Haushaltanschlüssen in den Städten. Verschiedenfarbiges Laserlicht erhöht die Bandbreite und sorgt dafür, dass jede noch so belanglose E-Mail in Lichtgeschwindigkeit durchs Internet flitzt.



Shutterstock.com/Nolfi/Keystone



Mehr wissen über Alzheimer: Das Laserlicht zeigt im Mikroskopbild krankhafte Proteinablagerungen (oben und Mitte, rot eingefärbt) im Gehirn der Versuchsmaus (unten). Bilder: www.biomed.ee.ethz.ch; Peter Lauth



Arthritis lindern: Die fotodynamische Therapie nutzt Laserlicht, um in entzündeten Gelenken Zellen abzutöten. Im Tierversuch erfolgreich, könnte diese Behandlung künftig auch bei Menschen zur Anwendung kommen. Bild: CNRI/SPL/Keystone

sind jedoch resistent gegen diese Behandlungsart. Bei ihnen müssen Ärzte das entzündete Gewebe mit einem chirurgischen Eingriff oder durch Bestrahlung entfernen. Das sind Behandlungen mit gefährlichen Nebenwirkungen, die sich nicht beliebig oft wiederholen lassen.

Neuer Therapieansatz

Für solche Patienten haben Nathalie Busso, wissenschaftliche Mitarbeiterin des Universitätsspitals in Lausanne, und Norbert Lange vom Institut für pharmazeutische Wissenschaften an der Universität Genf eine alternative Therapieform gesucht und sie gefunden in der sogenannten Fotodynamischen Therapie. Diese Methode nutzt Laserlicht, um eine chemische Reaktion auszulösen zwischen einer an sich harmlosen Substanz, die Patienten ins Blut gespritzt wird, und Sauerstoff, der im Gewebe vorhanden ist. In der Folge entstehen giftige Sauerstoffverbindungen, welche die Zellen in ihrer unmittelbaren Umgebung abtöten. Um zu verhindern, dass diese Gifte an einem falschen Ort im Körper entstehen, haben Busso und Lange mehrere Moleküle der Substanz durch Eiweisse miteinander verknüpft. Solange die Moleküle verbunden sind, können sie nicht durch Licht aktiviert werden. Nur in den betroffenen Gelenken aktiviert die Entzündungsreaktion passende Proteasen, molekulare Scheren, welche die Eiweisse zerschneiden und die Substanz dadurch lichtempfindlich machen. Gezielt werden so ausschliesslich Zellen in den entzündeten Gelenken eliminiert.

«Diese Therapie ist sehr spezifisch und sollte keine weiteren Nebenwirkungen verursachen», meint Lange optimistisch. Zusammen mit Busso hat er die neue Behandlungsmethode in gentechnisch veränderten Mäusen, die unter rheumatoider Arthritis leiden, erstmals getestet – mit Erfolg.

So hoffen die beiden, dass der Laser, neben seinen vielen anderen Aufgaben, bald auch das Schicksal von Arthritispatienten verbessern wird. ■



Schweissen

Das hochenergetische Licht von Lasern, wie sie beispielsweise die Automobilindustrie verwendet, kann Werkstoffe sauber verschweissen. Optische Linsen richten das Licht auf den Brennpunkt, wo es Kunststoffe und Metalle über den Schmelzpunkt erhitzt.

behandelt wurden, leuchteten nämlich weniger stark.

Obschon rotes oder infrarotes Laserlicht die Schädeldecke von Mäusen durchdringen kann, funktioniert das nicht bei Menschen. Viel zu dick sind unsere Haut und Schädelknochen. Deshalb ist die klinische Anwendung beim Menschen vorerst nicht möglich. Den Sprung zur klinischen Anwendung schaffen könnte dagegen eine neue Therapieform für Patienten mit rheumatoider Arthritis, einer Autoimmunkrankheit. Sie verursacht Entzündungen in den Gelenken, insbesondere in der inneren Schicht der Gelenkkapsel. Dabei kommt es zu einer krebsartigen Ausdehnung des Gewebes in der Kapsel, die das Gelenk zerstört. In der Mehrheit der Fälle bringen entzündungshemmende Medikamente die Symptome unter Kontrolle. 30 Prozent der Patienten