

**Hölldobler:** Jedenfalls sollten wir nicht einen Staat wie den Ameisenstaat anstreben. Das wäre entsetzlich langweilig. Ich würde nur in einem Staat leben wollen, in dem meine Individualität geschätzt wird.

**SPIEGEL:** Man braucht ja nicht das ganze Staatswesen zu übernehmen ...

**Hölldobler:** Lehrreich ist auf jeden Fall, dass eine netzwerkartige Arbeitsteilung, bei der Gruppen verschiedener Experten interagieren, außerordentlich effizient ist. Hierarchische Systeme schneiden deutlich schlechter ab – einfach weil sie zu viel Reibung erzeugen. Hierarchien werden ja immer wieder abgesetzt und neu geformt.

**SPIEGEL:** Für die Gestaltung einer Unternehmenskultur kann das ja eine wichtige Lektion sein.

**Hölldobler:** Durchaus. Und noch etwas anderes lehren uns die Ameisen: Überall, wo Sie komplex organisierte Kooperation in der Natur haben, finden Sie stets auch aggressive Diskriminierung von Mitgliedern konkurrierender Systeme.

**SPIEGEL:** Was meinen Sie damit?

**Hölldobler:** Wir Menschen bilden zwar keinen Superorganismus, aber es ist kaum mehr als 10000 Jahre her, dass auch wir, wie die Ameisen, untereinander als Jäger und Sammler in Gruppen um begrenzte Ressourcen konkurriert haben. Ich kann mich noch gut daran erinnern, wie von soziologischer Seite proklamiert wurde, das fremdenfeindliche Verhalten, das in uns schlummert, sei erst mit der Erfindung von Besitz und Landwirtschaft in die Welt gekommen. Im Grunde sei der Mensch ein friedvolles Wesen. Das aber ist Quatsch. Friedfertigkeit wäre evolutionsbiologisch völlig widersinnig. Wir sollten deshalb akzeptieren, dass der Mensch schon im Kindergarten typisches Ingroup/Outgroup-Verhalten zeigt. Das gibt es, und das war einstmal eine sinnvolle Anpassung.

**SPIEGEL:** Wollen Sie damit fremdenfeindliches Verhalten entschuldigen?

**Hölldobler:** Nein, natürlich nicht. Aber mit der xenophoben Veranlagung ist es wie mit den Weisheitszähnen: Man hat sie, auch wenn man sie am liebsten los wäre. Ich glaube, wir achten in der Kindererziehung viel zu wenig darauf, dass das in uns schlummert. Wenn wir das akzeptieren würden, dann könnten wir mit diesem biologischen Erbe viel besser klarkommen.

**SPIEGEL:** Nun gibt es aber auch Ameisenarten wie zum Beispiel die Pharaoameisen, von denen Sie anfangs sprachen. Bei denen bekriegen sich die Kolonien nicht untereinander. Sie haben sich fortentwickelt zur Superkolonie, wo es nur noch Kooperation und Einvernehmen gibt.

**Hölldobler:** Es wäre natürlich toll, wenn es die Menschheit einmal zur globalen Kolonie brächte. Aber ich fürchte, biologisch hat dieses Modell wenig Zukunft.

**SPIEGEL:** Herr Hölldobler, wir danken Ihnen für dieses Gespräch.

MIKROSKOPIE

# Liveschaltung ins Mäusehirn

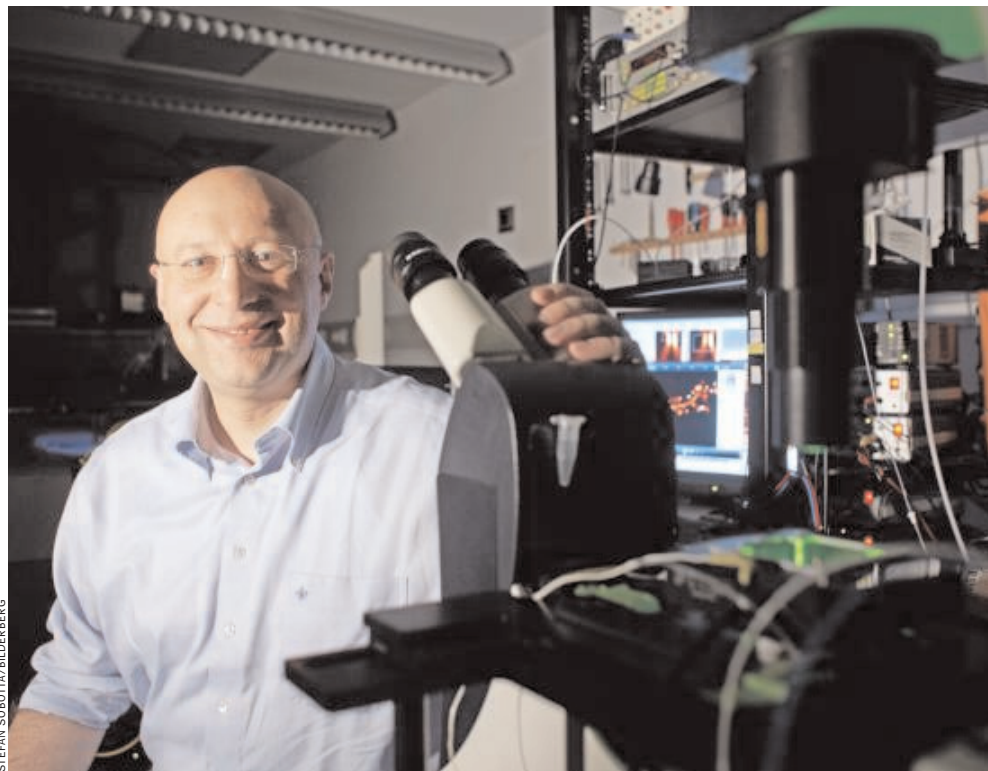
Eine neue Generation hochauflösender Lichtmikroskope revolutioniert die Biologie: Erstmals können die Forscher auch molekulare Strukturen in lebenden Zellen beobachten.

**S**tefan Hell, Direktor am Göttinger Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie, hat zum Geburtstag ein Mikroskop bekommen. Seine knapp fünfjährigen Zwillingssöhne haben es gebastelt, mit einer Taschenlampe als Lichtquelle.

Im Keller seines Instituts steht ein anderes Mikroskop, und darauf ist Hell fast ebenso stolz. Geschützt ist es durch eine Lichtschleuse, die verhindert, dass Besucher unvermittelt hereinplatzen und die

in jedem Physik-Lehrbuch zu finden. Es beschreibt die Grenze optischer Mikroskope: Bei 200 Nanometer Auflösung – das ist ein fünftausendstel Millimeter – ist Schluss. Punkte, die näher zusammenliegen, verschmelzen selbst im leistungsstärksten Lichtmikroskop zu einem verwaschenen Fleck.

Die molekulare Welt im Innern der Zellen, so glaubte man auch noch gut hundert Jahre nach Ernst Abbe, bleibt dem



**Physiker Hell:** Aufbruch in eine neue Ära der Zellbiologie

empfindlichen Messungen stören, denn die brauchen beinahe völlige Dunkelheit.

Es handelt sich um ein sogenanntes Sted-Mikroskop, und Physiker Hell, 47, hat es selbst erfunden. Der besondere Clou: Eigentlich dürfte es dieses Gerät gar nicht geben.

„Ich wollte etwas Cooles machen, womit die Welt nicht rechnet“, erklärt Hell. Schon als Doktorand an der Uni Heidelberg hatte er sich in den Kopf gesetzt, ein scheinbar allgemein geltendes Gesetz der Optik zu überlisten.

Erstmals formuliert im Jahre 1873, ist es unter dem Namen Abbe'sche Theorie fast

Lichtmikroskop damit für immer verborgen. Mit modernen Elektronenmikroskopen kann man zwar sogar 0,1 Nanometer kleine Strukturen sichtbar machen, doch mit solchen Geräten können die Lebenswissenschaftler nur totes Gewebe untersuchen: Elektronenmikroskope funktionieren nur im Vakuum, und die Proben müssen dauerhaft fixiert sein.

Das grundlegende Problem aller optischen Mikroskope ist das Licht: Es schwingt, je nach Farbe, mit einer Wellenlänge von einigen hundert Nanometern. Objekte, die deutlich kleiner sind, bleiben stets unscharf.

Hell beschloss nun, in völliger Finsternis mit einem extrem feinen Lichtstrahl über seine Probe hinwegzustreichen. Punkt für Punkt wollte er sie so zum Leuchten bringen und anschließend aus all diesen Punkten das Mikroskopbild zusammensetzen.

Gelöst hatte er das Dilemma damit allerdings noch nicht. Die Kunst bestand nun darin, einen Scheinwerfer zu bauen, der möglichst punktgenau strahlt. Und auch hier stand Hell die Physik im Wege: Stärker als auf die halbe Wellenlänge lässt sich Licht selbst im besten Laser nicht bündeln.

Und doch ist es dem Forscher gelungen, die Natur zu überlisten: In raffinierter Weise legte er zwei Lichtstrahlen so übereinander, dass der eine die Wirkung des anderen zu einem großen Teil auslöscht (siehe Grafik). So kann Hell inzwischen sogar weniger als zehn Nanometer große Details sichtbar machen.

Vor gut zwei Jahren brachte Leica Microsystems das erste kommerzielle Sted-

teln, bis es ihnen gelungen war, den Nanometerbereich aufzulösen. Der Optik-Konzern Zeiss etwa bietet inzwischen ein Supermikroskop feil, das auf einer etwas anderen Methode beruht, aber ähnlich scharfe Bilder liefert. Eine „neue Ära in der Zellbiologie“ breche nun an, jubelt das Fachblatt „Nature“.

Leibniz-Preis, Deutscher Zukunftspreis, Niedersächsischer Staatspreis: Für sein „Nanoskop“ wurde Stefan Hell mit Auszeichnungen überschüttet. Neun Universitäten weltweit wollten ihn als Professor anwerben, schließlich sogar die Harvard University.

Für ihn selbst aber war der Höhepunkt seiner Forscherkarriere bereits erreicht, längst ehe der Ruhm folgte: „Der beste Moment war der, als ich eines Tages in meiner Wohnung saß und auf einmal wusste, wie Sted funktionieren würde.“

Wäre Hell damals nicht so entschlossen gewesen, die Gesetze der Physik auszu-

thode betreten wir Neuland“, schwärmt Jakobs. Jetzt könne er sogar einzelne Proteine sichtbar machen, die molekularen Werkzeuge der Zellen: „Zum ersten Mal können wir in lebenden Zellen beobachten, wo sich bestimmte Proteine versammeln.“

In den Mitochondrien gibt es bis zu tausend verschiedene Eiweiße. Jakobs will wissen, wie sie sich verändern – etwa bei manchen Krankheiten. Die Friedreich-Ataxie beispielsweise ist eine Erbkrankheit, bei der viel zu wenig von einem bestimmten Mitochondrien-Protein produziert wird. Die Kraftwerke können nicht richtig arbeiten, Nervenbahnen sterben ab. Befehle aus dem Gehirn werden nicht mehr an die Muskeln weitergeleitet, geplante Bewegungen sind kaum mehr möglich. Bei einer anderen Mitochondrien-Krankheit, der Leber-Optikusatrophie, verkümmert der Sehnerv des Auges.

Besonders profitieren die Neurowissenschaften von der neuen Turbomikroskopie. Denn die Synapsen, jene Kontaktstellen, an denen Nervenzellen miteinander kommunizieren und in deren Wandlungsfähigkeit der Schlüssel zu Prozessen wie Lernen und Gedächtnis liegt, sind zu klein, um mittels konventioneller optischer Auflösung ihren Aufbau im Detail zu offenbaren.

„Synapsen liegen genau an der Auflösungsgrenze der bisherigen Lichtmikroskopie“, erklärt der deutsche Neurowissenschaftler Valentin Nägerl, der in Bordeaux mit Hilfe von Hells neuem Superauge die molekularen Grundlagen des Gedächtnisses enträtseln will. Wann und wo bilden sich neue Synapsen, wann verschwinden sie wieder, und welche Rolle spielt das Hüll- und Stützgewebe des Nervensystems, die sogenannte Neuroglia, bei Gedächtnisprozessen?

Nägerl hat eine Vision, die fast ebenso verwegen klingt wie Hells Idee von der Sted-Mikroskopie selbst: Er will künftig nicht nur Hirnzellen in Zellkulturen oder Schnittpräparaten betrachten, sondern mit dem Nanoskop direkt in das Gehirn lebender Mäuse blicken – eine Liveschaltung ins Mäusehirn sozusagen. „Wir können dann sehen, was kleinste Strukturveränderungen im intakten System bewirken“, hofft der Wissenschaftler.

Der Neurophysiologe Silvio Rizzoli vom European Neuroscience Institute in Göttingen traute seinen Augen kaum, als er im Sted-Mikroskop erstmals die Bewegung synaptischer Vesikel in Echtzeit sah, jener winzigen Kügelchen, die mit Botenstoffen gefüllt sind und die Signalübertragung von Zelle zu Zelle vermitteln. „Vorher hat man gedacht, dass die Vesikel schön geordnet zum synaptischen Spalt wandern“, erklärt Rizzoli. „Sie bewegen sich aber vollkommen chaotisch – das hatte niemand erwartet, weil man es bis jetzt einfach nicht sehen konnte.“

JULIA KOCH, JENS LUBBADER

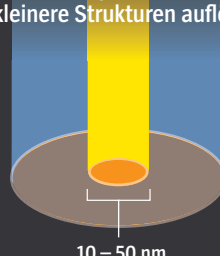
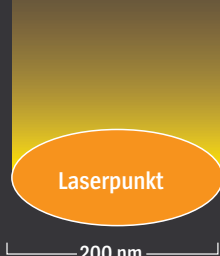
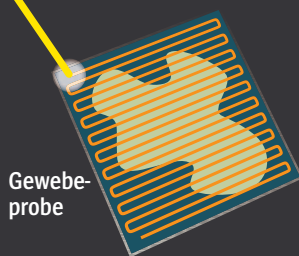
## Die Natur überlistet

Wie es dem Physiker Hell gelang, die optische Auflösung von Mikroskopen zu verbessern

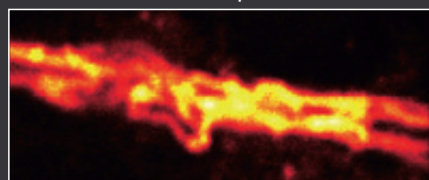
Ein Laserstrahl fährt über ein Objekt und regt fluoreszenzmarkierte Strukturen zum Leuchten an.

Die maximale Auflösung entspricht bisher der halben Wellenlänge des Lichts, rund 200 nm.

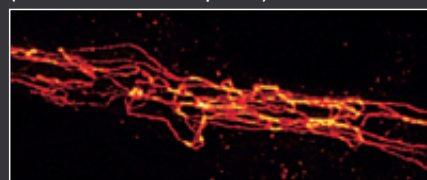
Ein zweiter Laserstrahl liegt ringförmig über dem ersten und hindert die Fluoreszenzmarker am Leuchten. Übrig bleibt nur ein kleiner Lichtpunkt in der Mitte. Das Mikroskop kann daher deutlich kleinere Strukturen auflösen.



Aufnahme eines Zellskeletts durch ein herkömmliches Mikroskop



Sted-Aufnahme (Stimulated Emission Depletion)



Mikroskop auf den Markt. „Das ist unser Flaggschiff-Produkt“, erklärt Stefan Traeger, verantwortlich für den Bereich Life Science bei Leica.

Rund 30 der Supermikroskope verkaufte der Konzern weltweit – bei Stückpreisen von knapp einer Million Euro keine schlechte Bilanz. Sted-Mikroskope der jüngsten Generation erscheinen dagegen fast schon wie Schnäppchen: Sie sind für weniger als eine halbe Million Euro zu haben.

Schnell hat sich Hells Sieg über eine lange anerkannte Grenze der Physik herumgesprochen. Auch andere begannen zu tüf-

tricksen, müsste sein Kollege Stefan Jakobs heute auf manche Erkenntnis verzichten: Wenige Räume von Hell entfernt sitzt der Biologe an seinem Rechner vor Bildern aus dem Innern lebender Zellen.

Jakobs interessiert sich für die Energieversorger von Körperzellen, die sogenannten Mitochondrien. Mit Hilfe des Supermikroskops untersucht er die länglichen Gebilde; mit rund 500 Nanometern ist ihr Durchmesser etwa 140-mal geringer als der eines menschlichen Haars.

Unter normalen Lichtmikroskopen sind die Mini-Kraftwerke nur als strukturlose Flecken zu sehen. „Mit der Sted-Me-