



ERLANGEN, 24. SEPTEMBER 2025

## Wie dicht ist es im Inneren lebender Zellen?

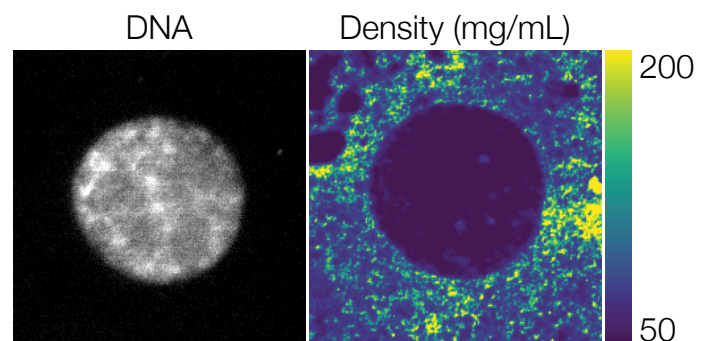
**So wie das Leben in großen Städten pulsiert, gedeiht es auch in den überfüllten Umgebungen innerhalb von Zellen. Das Zellinnere ist dabei dicht gepackt mit Biomolekülen wie Proteinen und Nukleinsäuren. Wie verteilt sich all dieses Material innerhalb einer Zelle? Und was reguliert ihre Verteilung? In einer kürzlich in ›Nature Communications‹ veröffentlichten Studie messen Forscher\*innen die subzellulären Dichten einer Vielzahl von Organismen. Ihr Ziel ist es, biomolekulare Prozesse von Hefezellen bis zu menschlichen Zellen besser zu verstehen.**

### Anders als die meisten Wissenschaftler\*innen meinen würden

Herkömmliche wissenschaftliche Lehrbücher beschreiben den Zellkern als einen Raum, der mit einer beeindruckenden Menge an DNA gewickelt um Histonproteine gefüllt ist. Nun hat ein internationales Forscherteam unter Beteiligung des Max-Planck-Zentrums für Physik und Medizin, Erlangen (MPZPM), des Max-Planck-Instituts für Infektionsbiologie, Berlin (MPIIB) und des Max-Planck-Instituts für die Physik des Lichts, Erlangen (MPL) entdeckt, dass der Zellkern entgegen den Erwartungen weniger dicht ist als das umgebende Zytoplasma. Trotz ihrer reichhaltigen biomolekularen Zusammensetzung enthalten Zellkerne im Vergleich zum gleichen Volumen des umgebenden Zytoplasmas weniger Trockenmasse.

Prof. Simone Reber, MPIIB und Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, erklärt, warum es wichtig ist, zu verstehen, wie dicht zelluläre Umgebungen sind: „Es ist unerlässlich, die ‚reale‘ Umgebung innerhalb von Zellen zu verstehen, da sie die biomolekulare Struktur, Dynamik und Funktion beeinflusst. Die wichtigste Erkenntnis unserer Studie ist, dass verschiedene Spezies zwar in ihrer absoluten intrazellulären Dichte stark variieren. Das Verhältnis zwischen Kern- und Zytoplasmadichte (NC) bleibt jedoch gleich.“

„Obwohl jeder Organismus in seiner biomolekularen Zusammensetzung einzigartig ist, ist es wahrscheinlich, dass die grundlegenden physikalischen Prinzipien des Druckgleichgewichts die Dichte und das Volumen des Zellkerns bestimmen“, erklärt Prof. Vasily Zaburdaev, MPZPM und Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.



Ein Zellkern (Nukleus), der *in vitro* in *Xenopus laevis*-Eiextrakt (afrikanischer Krallenfrosch) rekonstituiert wurde. Das linke Bild zeigt ein Fluoreszenzbild, in dem die DNA angefärbt wurde, und das rechte Bild zeigt eine Dichtekarte desselben Kerns, die mit Hilfe der optischen Diffraktionstomographie (ODT) erstellt wurde.

### Mit Licht die Dichte im Mikromaßstab untersuchen

Wie lässt sich die Dichte in mikroskopisch kleinen Objekten wie einzelnen Zellkompartimenten messen? Wissenschaftler\*innen nutzen dafür Licht. Es ermöglicht nicht nur die Untersuchung von Zellen, sondern auch deren Manipulation. Licht kann Kräfte ausüben, sodass Laserstrahlen an Zellen „ziehen“ und mit einem ›optischen Stretcher‹ deren mechanische Eigenschaften messen können. „Wir hatten zuvor versucht, unseren optischen Stretcher auf Zellkerne anzuwenden, waren jedoch nicht erfolgreich. Die physikalisch plausible, damals aber biologisch nicht nachvollziehbare Erklärung war, dass der Zellkern eine geringere Dichte als das ihn umgebende Ma-

terial hatte“, merkt Prof. Jochen Guck, MPZPM und Direktor am MPL, Erlangen an. Daher entwickelten die Forscher\*innen ein optisches Setup, das optische Beugungstomographie (Optical Diffraction Tomography, ODT) und konfokale Fluoreszenzmikroskopie miteinander kombiniert. So erhalten die Wissenschaftler\*innen eine dreidimensionale Dichteverteilung innerhalb von Zellen mit hoher Auflösung.

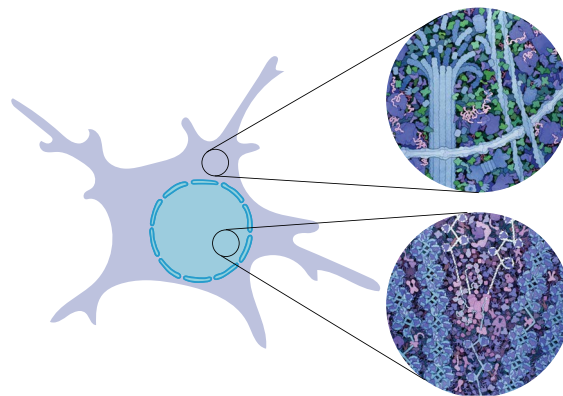
### Dichte als grundlegende Eigenschaft und diagnostischer Indikator

„Während die NC-Dichteverhältnisse von Hefe- bis zu menschlichen Zellen gleichbleiben, sehen wir bei Krankheiten Abweichungen. In Stresssituationen wie dem Altern, also der Seneszenz, werden die Zellkerne dichter als das Zytoplasma. Die Studie weist somit auf die grundlegende Bedeutung der Dichte als Variable hin, die gesunde Zellprozesse bestimmt“, sagt

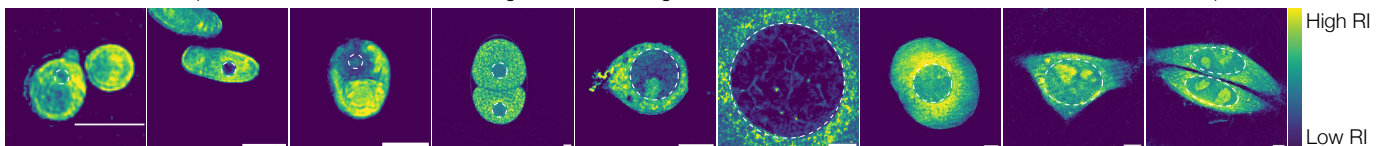
Reber. Die Wissenschaftler\*innen wollen nun verstehen, wie Zellen eine bestimmte intrazelluläre Dichteverteilung aufbauen und aufrechterhalten, um weitere biophysikalische Mechanismen zu entschlüsseln, die im gesunden und im pathologischen Zustand Zellfunktionen regulieren.

### Eine internationale und interdisziplinäre Zusammenarbeit

„Abgesehen davon, dass es eine spannende Frage war, die es zu klären galt, war für mich besonders beeindruckend, wie wir das Fachwissen von Forschenden an verschiedenen Standorten bündeln konnten, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen“, sagt Abin Biswas, Postdoktorand am MPZPM und MPIIB und Erstautor. Tatsächlich war diese Arbeit das Ergebnis einer engen Zusammenarbeit mit internationalen Kollegen vom MPI für Molekulargenetik, MPI für Zellbiologie und dem Albert Einstein College of Medicine in New York.



*S. cerevisiae*   *S. pombe*   *C. reinhardtii*   *C. elegans*   *D. melanogaster*   *X. laevis*   *D. rerio*   *M. musculus*   *H. sapiens*



Scale bar: 5  $\mu$ m

Nuklei verschiedener Organismen haben eine geringere Dichte als das umgebende Zytoplasma. Oben: Illustration des komplexen Innenraums innerhalb des Kerns und des Zytoplasmas (Illustration von David Goodsell). Repräsentative Bilder von Kernen verschiedener Organismen. Der Farbverlauf zeigt die Dichteverteilung von niedrig (blau) bis hoch (gelb).



Prof. Jochen Guck



Prof. Vasily Zaboruaev



Prof. Simone Reber

**Originale Publikation in ›Nature Communications‹**

Biswas, A., Muñoz, O., Kim, K. et al. Conserved nucleocytoplasmic density homeostasis drives cellular organization across eukaryotes. Nat Commun 16, 7597 (2025).

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-025-62605-0>

**Wissenschaftlicher Kontakt:**

Prof. Jochen Guck

Max-Planck-Zentrum für Physik und Medizin /  
Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts  
›Physik der Zelle‹

<https://mpzpm.mpg.de> | [jochen.guck@mpzpm.mpg.de](mailto:jochen.guck@mpzpm.mpg.de)

Prof. Vasily Zaboruaev

Max-Planck-Zentrum für Physik und Medizin  
›Immunophysik‹

FAU Erlangen-Nürnberg

<https://mpzpm.mpg.de> | [vasily.zaboruaev@mpzpm.mpg.de](mailto:vasily.zaboruaev@mpzpm.mpg.de)

Prof. Simone Reber

Max-Planck-Institut für Infektionsbiologie  
Forschungsgruppenleiterin ›Quantitative Biologie‹  
Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

<https://www.mpiib-berlin.mpg.de> | [reber@mpiib-berlin.mpg.de](mailto:reber@mpiib-berlin.mpg.de)

Das **Max-Planck-Zentrum für Physik und Medizin** ist ein gemeinsames Projekt der drei Kooperationspartner Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts (MPL), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) und Universitätsklinikum Erlangen (UKER). Ziel des neuen Forschungszentrums ist die Anwendung von fortschrittlichen Methoden der Experimentalphysik und Mathematik in der biomedizinischen Grundlagenforschung. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der interzellulären Mikroumgebung.

Mehr auf [mpzpm.mpg.de](https://mpzpm.mpg.de).

**Max-Planck-Institut für Infektionsbiologie (MPIIB):** Das 1992 gegründete Max-Planck-Institut für Infektionsbiologie befindet sich auf dem historischen Campus der Berliner Charité. Hier wird untersucht, wie Erreger Krankheiten verursachen und wie ihre Wirte darauf reagieren. Um Antworten auf die grundlegenden Fragen der Infektionsbiologie zu finden, umspannt die Forschung verschiedene Ebenen: Von Atomen, Molekülen, Zellen, Geweben und Organismen bis hin zu klinischen Aspekten und sozialen Zusammenhängen.