



Optik der Zukunft

Der Exzellenzcluster PhoenixD an der Leibniz Universität Hannover forscht interdisziplinär an intelligenter, kompakter und adaptiver Optik.

Maike Pfalz

Ohne Licht wären mobile Kommunikation, Satellitennavigation oder Live-Streaming im Internet undenkbar. Hochauflösende Kamerasysteme bilden die Voraussetzung für autonomes Fahren, und Lasertechnik ersetzt bei vielen medizinischen Eingriffen heutzutage das Skalpell. Um Licht künftig für noch mehr Funktionalitäten nutzen zu können, muss man es präzise kontrollieren und manipulieren können, und zwar auf möglichst kleinen Skalen. Bislang werden optische Systeme meist aufwändig auf Glasbasis in kleinteiligen Arbeitsschritten hergestellt. Der Exzellenzcluster PhoenixD (Photonics, Optics, and Engineering – Innovation Across Disciplines) mit Standorten in Hannover und Braunschweig, der seit Anfang 2019 gefördert wird, verfolgt das Ziel, optische Präzisionssysteme schnell und kostengünstig zu realisieren.

Die beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler möchten ein digitalisiertes Fertigungssystem entwickeln – ein sogenanntes Manufacturing Grid –, um individualisierte Produkte herzustellen und eine breite Pa-

lette von Anwendungen zu ermöglichen: So ließe sich in der Landwirtschaft der Einsatz chemischer Unkrautvernichter minimieren, da die neuen Systeme mit ihren Sensoren Unkraut erkennen und gezielt mit Lasern behandeln können. Bislang sind die Systeme dafür noch zu teuer. In der Medizin könnte bei der patientennahen Blutanalyse eine individualisierte Optik zur Diagnostik von Krankheiten dienen.

Der Cluster gliedert sich in vier Forschungsbereiche (**Infokasten**):

■ In „Area S“ geht es um die Optiks simulation und numerische Optik. „Die heutigen Rechenkapazitäten erlauben es, optische Systeme im Vorfeld akkurat zu berechnen“, erläutert Uwe Morgner, Physikprofessor an der Universität Hannover und Sprecher des Clusters. In der Optik gilt es, über verschiedene Größenskalen hinweg zu planen – von der Millimeterskala bis zur Wellenlänge sichtbaren Lichts im Nanometerbereich – und dabei auch äußere Faktoren wie die thermische Ausdehnung, akustische Einflüsse oder die Veränderung spezieller Materialien zu berücksichtigen.

◀ Uwe Morgner (rechts) arbeitet mit seinem Team unter anderem an Lasern zur Materialbearbeitung und an optischer Messtechnik zur Kontrolle von Herstellungsverfahren.

Multiskalen- und Multiphysiksimulationen sollen helfen, optische Systeme immer genauer vorherzusagen, um sie besser designen zu können. „Entsprechende Optimierungsalgorithmen würden dann völlig neue Arten optischer Instrumente erlauben“, betont Morgner.

■ In „Area M“ steht die Herstellung der optischen Systeme, also das Manufacturing, zusammen mit den dafür erforderlichen Materialien und deren Optimierung im Fokus. Dabei geht es um additive Verfahren wie den 3D-Druck, subtraktive Fertigung sowie Beschichtung. Bereits heute ist absehbar, dass 3D-Drucker es künftig erlauben werden, optische Systeme mit hoher Auflösung zu drucken, beispielsweise eine fertig polierte Linse. „Wir gehen fest davon aus, dass sich mit dem 3D-Drucker per Knopfdruck sogar Teile werden herstellen lassen, die heute noch völlig undenkbar sind – wie Metaoberflächen, die Licht fokussieren“, ist Uwe Morgner überzeugt. Auch die subtraktive Fertigung zählt zu den Forschungsthemen des Clusters. Dabei tragen Laser in einem Material die gewünschten Strukturen ab (Mikroablation). Die Forscherinnen und Forscher arbeiten darauf hin, die additiven und subtraktiven Verfahren zusammen mit Methoden der Beschichtung zusammenzuschalten, um eine Art Produktionsstraße für die Fertigung von Präzisionsoptiken aufzubauen.

■ Die „Area F“ widmet sich dem Feedback, um direkt während der Herstellung deren Erfolg in Echtzeit messen zu können. Hierzu entwickeln die beteiligten Forschungsgruppen entsprechende optische Messtechniken weiter, um den Verlauf der Herstellung sehr genau erfassen und entsprechend nachbessern zu können.

■ „Die ‚Area O‘ ist unser Think Tank, in dem wir darüber nachdenken, welche neuen Optiken durch die entwickelten

Methoden möglich werden und welche neuen Anwendungen dies eröffnen könnte“, sagt Morgner. Ziel ist es dabei, einen Paradigmenwechsel in der Optik einzuleiten: von großen und komplexen Freiflächen-Hochleistungsoptiken hin zu intelligenten, kompakten und adaptiven optischen Systemen, hergestellt in einem integrierten Produktionsnetz. Ein solcher Ansatz könnte eine technologische Revolution ähnlich der Einführung integrierter elektrischer Schaltkreise bedeuten. „Die Exzellenzstrategie gibt uns den Atem, solch langfristige Visionen anzugehen“, freut sich Uwe Morgner.

Eine interdisziplinäre Forschungsanstrengung

Um das Thema Optik beziehungsweise Optikfertigung in all dieser Breite erforschen zu können, arbeiten bei PhoenixD Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Maschinenbau, theoretischer und experimenteller Physik, Elektrotechnik, Informatik, Chemie und Mathematik eng zusammen. Die Informatiker, Mathematiker und theoretischen Physiker widmen sich vor allem der Optiks simulation, die Chemiker der Erforschung neuer Materialien und die Experimentalphysiker der Weiterentwicklung der Messtechnik.

„Die Zusammenarbeit zwischen Maschinenbau und Physik hat in Hannover eine sehr lange Tradition und hat beispielsweise 1986 zur Gründung des Laserzentrums geführt“, erklärt Uwe Morgner. Auch in Sonderforschungsbereichen und anderen Exzellenzclustern wurde bereits erfolgreich die Brücke zwischen den einzelnen Disziplinen geschlagen, sodass der Start des Exzellenzclusters im letzten Jahr reibungslos gelungen ist. „Wir sind in Hannover sehr offen gegenüber anderen Disziplinen und schätzen uns gegenseitig“, meint Morgner.

In der breiten Interdisziplinarität sieht Uwe Morgner das Alleinstellungsmerkmal von PhoenixD: „Natürlich gibt es viele Optikstandorte in Deutschland, doch an keinem ar-

Der Exzellenzcluster „PhoenixD“

Beteiligte Institutionen:

Leibniz Universität Hannover (LUH), TU Braunschweig, Laser Zentrum Hannover e. V., Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut), Hannover, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig.

Sprecher: Prof. Dr. Uwe Morgner (LUH), Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Kowalsky (TU BS) und Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer (LUH)

Forschungsbereiche:

Feedback & Metrology (Area F), Optics Manufacturing (Area M)
Future Optics (Area O), Optics Simulation (Area S)

PhoenixD
Photonics · Optics · Engineering
Innovation Across Disciplines



In einen metallischen Werkstoff lassen sich diffraktive Strukturen einprägen.



Sonja Smalian / PhoenixD

Für Promovierende wurde die PhoenixD Research School gegründet. In Seminaren, Vorlesungen und Exkursionen sowie der jährlichen Summer School bilden die Teilnehmenden sich interdisziplinär weiter.

beiten Naturwissenschaftler und Ingenieure gleichwertig und auf Augenhöhe zusammen. Da sind wir einzigartig, auch über Deutschland hinaus.“

Auch mit anderen Exzellenzclustern gibt es Berührungspunkte und gemeinsame Projekte, beispielsweise mit QuantumFrontiers und Hearing4All. „Wir sehen uns dabei aber nicht in Konkurrenz, sondern arbeiten sehr konstruktiv zusammen“, so Morgner.

Ein gemeinsames Dach für den Cluster

Derzeit forschen die einzelnen Gruppen noch verteilt auf zwei verschiedene Städte und in Hannover zudem an unterschiedlichen Standorten. „Im Moment arbeitet jeder an einem Einzelteil unseres großen Puzzles, das wir im Laufe der Jahre zusammensetzen möchten“, sagt Uwe Morgner. Ab dem kommenden Jahr werden dem Cluster neue Räume im Altbau neben dem Hauptgebäude der Hannoveraner Universität zur Verfügung stehen. Darüber hinaus soll ein Neubau beim Wissenschaftsrat beantragt werden, den die beteiligten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ab 2025 oder 2026 beziehen könnten. „Das sogenannte Opticum soll in Marienwerder neben dem Laserzentrum entstehen – also relativ zentral zwischen dem Maschinenbaustandort in Garbsen und dem Rest des Clusters in der Hannoveraner Nordstadt“, erläutert Morgner.

Derzeit beschaffen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erste Großgeräte, die später Teil des geplanten Manufacturing Grids werden sollen. „Hierbei müssen wir ziemlich jonglieren, weil 25 Prozent der Antragssummen gekürzt wurden – das entsprach ziemlich genau den Kosten für den gesamten Gerätepark“, bedauert Morgner. Stattdessen gilt es nun, Bundesmittel dafür zu beantragen. Manche Großgeräte werden erst mit dem Neubau zur Verfügung stehen. In Kürze wird eine Zwei-Photonen-Photopolymerisationsanlage angeschafft, die additive Fertigung mit Submikrometerauflösung ermöglicht. Zudem

stehen innovative Laserquellen für die subtraktive Fertigung und zur Materialprozessierung auf dem Einkaufszettel oder auch Druckmaschinen, um feine optische Strukturen mit Submikrometerauflösung zu schreiben oder feinste Wellenleiter zu drucken, sowie spezielle Beschichtungsanlagen. Neben der Anschaffung neuer Hardware geht es auch darum, eine Software zu entwickeln, mit der sich die neuen Geräte gezielt ansteuern lassen.

Im ersten Jahr der Förderung ist es gelungen, Promotions- und Postdoc-Stellen mit hervorragenden Nachwuchswissenschaftlern und -wissenschaftlerinnen zu besetzen. Einfach war es laut Morgner nicht, exzellente Leute zu finden, weil der Optikmarkt weltweit überdurchschnittlich gut wächst und entsprechenden Nachwuchs sucht. „Aber mit unserem Studiengang Optische Technologien bilden wir seit Jahren den eigenen Nachwuchs aus, das kommt uns jetzt zugute“, freut sich Uwe Morgner.

Darüber hinaus wird es voraussichtlich fünf neue Professuren in Braunschweig und Hannover geben, darunter vorgezogene Neubesetzungen. Da diese aber auch entsprechende Räumlichkeiten benötigen, werden die Besetzungen noch warten müssen, bis dem Cluster mehr Platz zur Verfügung steht.

Stellen für Nachwuchsgruppenleiter wurden keine beantragt, da das deutsche Wissenschaftssystem dafür nicht genügend Auffangpositionen anbietet, so Morgner. „Wir haben uns explizit dagegen entschieden, solche prekären Situationen zu schaffen. Wir bilden unsere Leute für die Industrie aus, damit sie dort Führungspositionen einnehmen können.“

Fertigungsstraße für die Optik

Uwe Morgner arbeitet mit seinem eigenen Team unter anderem an der Materialbearbeitung mit Femtosekundenlasern. Derzeit ist das alles noch Grundlagenforschung, aber in den nächsten Schritten sollen die Methoden automatisiert werden, um später Teil des Manufacturing Grids zu werden. Ganz entscheidend soll der neue Forschungsbau dazu beitragen, dass die einzelnen Gruppen des Clusters im Opticum in ein paar Jahren unter einem gemeinsamen Dach forschen können.

„Unser Ziel ist es, Multiskalenfertigung in einem Netzwerk von Apparaturen zu realisieren mitsamt einer Simulationsabteilung, um jedes Problem der numerischen Optik in endlicher Zeit lösen zu können“, erläutert Uwe Morgner. Die wichtigen Teilziele auf diesem Weg bestehen für ihn darin, möglichst viele disziplinübergreifende Publikationen zu veröffentlichen – zu neuen Materialien, Herstellungsverfahren und neuartigen optischen Modulen. „Das wird uns hoffentlich genug Rückenwind geben für eine weitere Förderperiode.“

Die Exzellenzcluster

In loser Folge stellt das Physik Journal die Cluster der Exzellenzstrategie mit Schwerpunkt in der Physik bzw. starker Beteiligung von Physikerinnen und Physikern vor.