



# Masterplan Optik und Photonik

Optische Technologien und Mikrosystemtechnik  
in Berlin und Brandenburg



# Inhalt

<b>1</b>	<b>Hintergrund zum Masterplan Cluster Optik und Photonik in Berlin und Brandenburg .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Optische Technologien und Mikrosystemtechnik als Schlüsseltechnologien – Quantentechnologien als neuer treibender Trend .....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>Marktentwicklung .....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>Situation in der Region Berlin Brandenburg und SWOT-Analyse .....</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>Clustermanagement und Netzwerke .....</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>Vision und Ziele .....</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>Handlungsfelder .....</b>	<b>34</b>
7.1	Lasertechnik .....	34
7.2	Lichttechnik .....	38
7.3	Biophotonik und Augenoptik .....	42
7.4	Photonik und Quantentechnologie für Kommunikation und Sensorik .....	46
7.5	Optische Analytik .....	54
7.6	Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik .....	59
<b>8</b>	<b>Schwerpunktthemen und Leitlinien .....</b>	<b>66</b>
8.1	Digitalisierung .....	66
8.2	Reallabore und Testfelder .....	70
8.3	Arbeit 4.0 und Fachkräfte .....	71
8.4	Start-ups und Gründungen .....	73
8.5	Internationalisierung .....	75
8.6	Cross Cluster .....	76
8.7	Open Innovation und Nachhaltigkeit .....	78
<b>9</b>	<b>Fazit und Ausblick .....</b>	<b>82</b>
<b>10</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>86</b>
<b>11</b>	<b>Impressum .....</b>	<b>90</b>





# 1 Hintergrund zum Masterplan

# 1 Hintergrund zum Masterplan Cluster Optik und Photonik in Berlin und Brandenburg

Am 29. Januar 2019 wurde die neue Gemeinsame Innovationsstrategie der Länder Berlin und Brandenburg (innoBB 2025) beschlossen. Sie baut auf der 2011 verabschiedeten innoBB, der ersten länderübergreifenden Innovationsstrategie auf. Unter dem Motto „Excellence in Innovation“ wurde der Innovationsraum für eine dynamische Hauptstadtregion gemeinsam über die Bundeslandgrenzen hinweg gefördert und weiterentwickelt.

Die innoBB 2025 stellt sich neuen Herausforderungen. Die Digitalisierung bietet Chancen für die Bewältigung zentraler gesellschaftlicher Fragestellungen und ermöglicht völlig neue Geschäftsmodelle. Gleichzeitig sehen sich Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber sowie Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer<sup>1</sup> vor großen Herausforderungen in diesem Bereich. Innovationen entstehen heute nicht mehr nur in vertikal integrierten Unternehmen, sondern über Organisations- und Branchengrenzen hinweg. In Berlin und Brandenburg hat sich in den letzten Jahren ein einzigartiges, nicht nur für Start-ups sehr attraktives und sehr produktives Ökosystem herausgebildet. Es bietet Gründerinnen und Gründern nicht nur viele Möglichkeiten, sich zu verwirklichen, sondern auch Wertschöpfung und Arbeitsplätze in der Region zu schaffen und mit hochinnovativen nachhaltigen Produkten und Dienstleistungen Lösungen für gesellschaftliche Herausforderungen bereitzustellen.

Der vorliegende Masterplan des Clusters Optik und Photonik liefert zentrale Beiträge für neue Herausforderungen als auch für die EU-Ziele, intelligentes, nachhaltiges und integratives Wachstum zu generieren. Er beinhaltet eine Schwerpunktsetzung in Handlungsfeldern des Clusters und orientiert sich an den Schwerpunktthemen und Leitlinien der innoBB 2025. Damit bildet er die wesentliche operative Grundlage für das länderübergreifende Clustermanagement der nächsten Jahre. Der Masterplan ist der vierte für das Cluster Optik und Photonik und baut auf dem bisherigen Clusterentwicklungsprozess auf. Wichtige Meilensteine im Cluster Optik und Photonik waren die Gründung des Laserverbunds Berlin-Brandenburg e. V. 1993 sowie die Gründung von OpTecBB e. V. als das Kompetenznetz für Optische Technologien in Berlin und Brandenburg im Jahr 2001. Der im Rahmen des BMBF-Förderprogramms „Optische Technologien“ durchgeführte Netzwerkentwicklungsprozess führte zur Herausbildung von Schwerpunktnetzwerken. In der

Ausarbeitung des Masterplans für die Optischen Technologien und die Mikrosystemtechnik, die im Jahr 2009 erfolgte, konnten die Optischen Technologien und die Mikrosystemtechnik in einem kohärenten Technologiefeld zusammengeführt werden. Im 2014 verabschiedeten und seither verfolgten Masterplan für das Cluster Optik und Photonik wurde die länderübergreifende Vernetzung in den thematischen Handlungsfeldern sowie übergreifenden Themen erfolgreich forciert.

Die Optischen Technologien und die Mikrosystemtechnik sind ein sehr dynamisches Technologiefeld mit kurzen Innovationszyklen, hohen Aufwendungen für Forschung und Entwicklung (F&E) und überdurchschnittlich hohen wirtschaftlichen Wachstumsraten. Neue Themen im Cluster Optik und Photonik bilden sich in den Bereichen Quantentechnologien und Mikroelektronik heraus. Gleichzeitig schreitet im Allgemeinen die Digitalisierung und somit auch in den Unternehmen im Bereich der Optik und Photonik voran und führt zu veränderten Produktionsprozessen und neuen Produkten, was wiederum die Anforderungen an die Mitarbeiter steigert. In der Schnittmenge dieser Bereiche entstehen neue Ideen, die sich im weiteren Verlauf zu wirtschaftlich tragfähigen Produkten und Dienstleistungen entwickeln können. Die übergeordnete Aufgabe in diesem Spannungsfeld besteht darin, einerseits die wissenschaftlich-technologische Kompetenz in der Region weiterzuentwickeln, um langfristig handlungs- und wettbewerbsfähig zu bleiben. Andererseits sind Innovationspotenziale an den Schnittstellen zu anderen, insbesondere Anwenderbranchen zu identifizieren und zu fördern, damit anwendungsbezogene Lösungen entwickelt und in den Markt gebracht werden können.

Mit der Fortschreibung des Masterplans im Cluster Optik und Photonik werden mittel- bis langfristige Innovationsthemen in den Handlungsfeldern mit hoher Relevanz für die Hauptstadtregion benannt. Aufgrund der angesprochenen Dynamik im Cluster Optik und Photonik ist der Masterplan als lebendiges Dokument zu verstehen, das in regelmäßigen Abständen überprüft und aktualisiert wird.

Der Masterplan als strategische Arbeitsgrundlage des Clusters Optik und Photonik in Berlin und Brandenburg fasst die Handlungsschwerpunkte der im Cluster vertretenen Akteure

<sup>1</sup>

Allein aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen im Fortlauf verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten für alle Geschlechter.

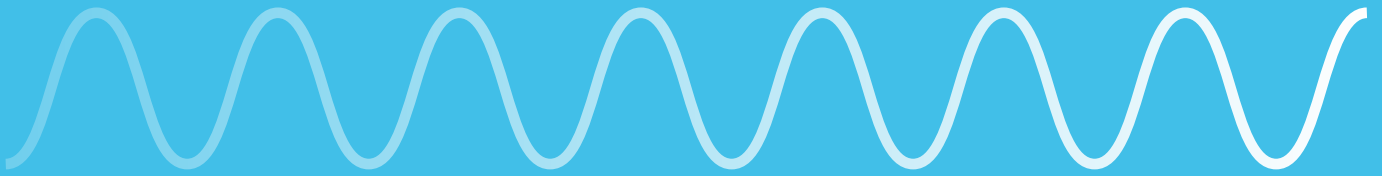
zusammen und reflektiert sie mit Vorschlägen zur Gestaltung und Fokussierung der zukünftigen gemeinsamen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Mit dem Masterplan verfolgen die Clusterakteure aus Wirtschaft und Wissenschaft das Ziel, aktuell und künftig relevante technologische und anwendungsbezogene Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsthemen zu identifizieren, um ein strukturiertes und abgestimmtes Handeln im Rahmen der Gemeinsamen Innovationsstrategie der Länder Berlin und Brandenburg (innoBB 2025) zu ermöglichen.

Der Prozess der Überarbeitung des Masterplans folgte einem partizipativen Ansatz. Die Akteure des Clusters wurden intensiv eingebunden, um gemeinsam inhaltliche und strategische Ziele für das Cluster Optik und Photonik zu identifizieren. Im Zeitraum von November 2018 bis Juni 2019 brachten sich insgesamt 115 verschiedene Personen (davon 50 Vertreter aus Unternehmen, 48 Vertreter aus Forschungseinrichtungen und 17 Vertreter aus anderen Organisationen) in die Herausarbeitung und Diskussion der Masterplanthemen aktiv ein.

Der Masterplan beschreibt somit die gemeinsame Strategie der Clusterakteure und des Clustermanagements sowie der dem Cluster zugehörigen Netzwerke. Aufbauend auf der Identifizierung der heutigen Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken benennt er die gemeinsam identifizierten technologischen und wirtschaftlichen Herausforderungen in der Region und dokumentiert die Ziele zur Weiterentwicklung des Clusters bis 2025.







## **2 Optische Technologien und Mikrosystemtechnik als Schlüsseltechnologien**



## 2 Optische Technologien und Mikrosystemtechnik als Schlüsseltechnologien – Quantentechnologien als neuer treibender Trend

Photonik umschreibt die Technologie der Erzeugung, Verstärkung, Formung, Übertragung, Messung und Nutzbarmachung von Licht und anderen Formen elektromagnetischer Strahlung, deren kleinste physikalische Einheit (Quantum) das Photon ist.

Photonik beinhaltet die Nutzung von Lasern, Optiken, Glasfasern und anderen elektrooptischen Geräten und Instrumenten in diversen anderen Technologiefeldern wie z. B. erneuerbare Energien, Produktionstechnik, Gesundheitswesen, Telekommunikation, Sicherheitstechnologien, (Umwelt-)Analytik, Landwirtschaft, moderne Lichttechnik, Luft- und Raumfahrt sowie Automotive und vielen anderen.

Es zeigt sich, dass viele unser modernes Leben bereits heute kennzeichnende Technologien ohne Photonik und Mikrosystemtechnik nicht möglich sind. Die Photonik ermöglicht weitere Innovationen und Wertschöpfung in vielen Anwendungstechnologiefeldern und Branchen. Hieraus erwächst die besondere strategische Bedeutung der Photonik als sog. „key enabling Technolog“.

Die Weiterentwicklung der lichtbasierten Technologien sowie die Nutzbarmachung dieser Technologien für verschiedenste Anwendungen werden auch künftig einen Schwerpunkt der Forschungs- und Innovationsanstrengungen der Unternehmen und Forschungseinrichtungen im Bereich Photonik bilden. Photonische Komponenten und Systeme sind die Sinnesorgane der Digitalisierung. Das Internet of Things (IoT) ist ohne neue schnelle, breitbandige Datenübertragung (5G), die auf optischer Datenübertragung basiert, nicht möglich. Und auch die intelligent vernetzten Prozesse in einer Industrie 4.0 sind ohne optische Sensorik (z. B. Scanner), optische Datenübertragung oder Bilderkennung inklusive Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) und Verfahren zur Handhabung von Big Data nicht möglich. Die Ziele sind also die Weiterentwicklung der Sinnesorgane zu noch leistungsfähigeren photonischen Komponenten und Systemen sowie die Applikation in neuen Anwendungsbereichen.

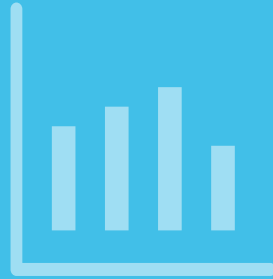
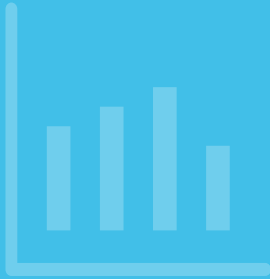
Quantentechnologien sind aktuell in aller Munde. Allerdings basieren die meisten optischen Technologien bereits auf „Quantentechnologien“, nämlich der Technologie der Lichtquanten, der Photonen. Der neue Trend ist vielmehr die sog. zweite Quantenrevolution.

Sie basiert auf der Präparation einzelner Quantenzustände, z. B. von einzelnen Photonen oder Photonenpaaren. Sie können verschränkt sein, also eine Fernbeziehung aufweisen, bei der ein Teilchen seinen Zustand erst dann fixiert, wenn das andere gemessen wird. Das widerspricht unserer Erfahrung, lässt sich aber mathematisch elegant beweisen. Möglich wurde die neue Quantentechnik durch die Entwicklung von extrem präzisen Lasern, hochempfindlicher Messtechnik und hochreinen Materialien, in denen die Photonen erzeugt, gespeichert oder übertragen werden. Zum Beispiel ist die Fähigkeit, einzelne Photonen sicher zu detektieren, eine technische Meisterleistung, durch die die neue Quantentechnologie überhaupt erst möglich wurde.

Das wirtschaftliche Potenzial der neuen Quantentechnologien ist riesig. Die Anwendungen reichen von der Computertechnik bis in die Rüstung, von der Medizintechnik bis in die Baubranche. Entsprechend groß ist auch das politische Interesse an den Quantentechnologien. China hat mit einem milliarden schweren Forschungsprogramm und dem ersten Satelliten zur Übertragung quantenverschlüsselter Signale viel Aufsehen erregt, Europa und Amerika legen jetzt nach. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat in der aktuellen Legislaturperiode 650 Mio. Euro Förderung für „den Übergang der Quantentechnologien von der Grundlagenforschung bis hin zur Vermarktung“ eingeplant. In der EU wurden die Quantentechnologien sogar zum Flaggschiffprojekt ernannt – europaweit sollen in diesem Rahmen über zehn Jahre verschiedene Teilprojekte mit insgesamt 1 Mrd. Euro unterstützt werden. Dabei sollen dauerhaft europäische Exzellenzzentren etabliert werden, die auf ihrem Gebiet weltweit führend sind (SPECTARIS 2019).

Anwendungsfelder	Photonik und Mikrosystemtechnik als notwendige Enabler
Luft- und Raumfahrt	z. B. bildgebende Systeme werden für Test, Analyse und Kontrolle von produzierten Fahrzeugen genutzt
Automotive	z. B. LiDAR „light detection and ranging“ zur Abstandskontrolle oder Head-up Displays und Smart Cameras für Navigation
Landwirtschaft	z. B. optische Fernerkundung sowie Nahfeldüberwachung von Feldern und Feldfrüchten (Feuchtigkeit, Nährstoffe oder Schädlinge)
Medizin	z. B. Photodynamische Therapie, LASIK, nicht invasive Tests
Bauwirtschaft	z. B. Laserscanner für die Digitalisierung von Architektur, Laserabstandsmessungen, Vermessung
Mikroelektronik	z. B. Mikrolithografieprozess zur Herstellung von elektrischen Mikrogeräten, Mikromotoren, MEMS, Halbleiterchips, letztlich Computer, Tablets, Smartphones, Wearables
Energieversorgung	z. B. Photovoltaik
Umweltanalytik	z. B. UV-Doppler-optische Absorptionsspektroskopie zur Überwachung von Luftqualität oder „hyperspectral imaging“ im Recyclingprozess von Plastik
Informationstechnologien	z. B. Photonik für Datenspeicherung (z. B. DVD), ultraschnelles Schalten von Daten und Übertragung von Daten über faseroptische Netzwerke
Sicherheitstechnologien	z. B. DNA scanning, retinal scanning, Identifikation von Gefahrstoffen, optische Überwachung
Produktionstechnologien	z. B. Laserschweißen, -bohren, -schneiden; Präzisionsmessung
Chemie und Biotechnologie	z. B. optische Molekülspektroskopie; Ultrakurzpuls laser für Fluoreszenzspektroskopie
LED-Beleuchtung	z. B. kleine, preiswerte, energieeffiziente und intelligente Halbleiter-Punktlichtquellen





### 3 Marktentwicklung

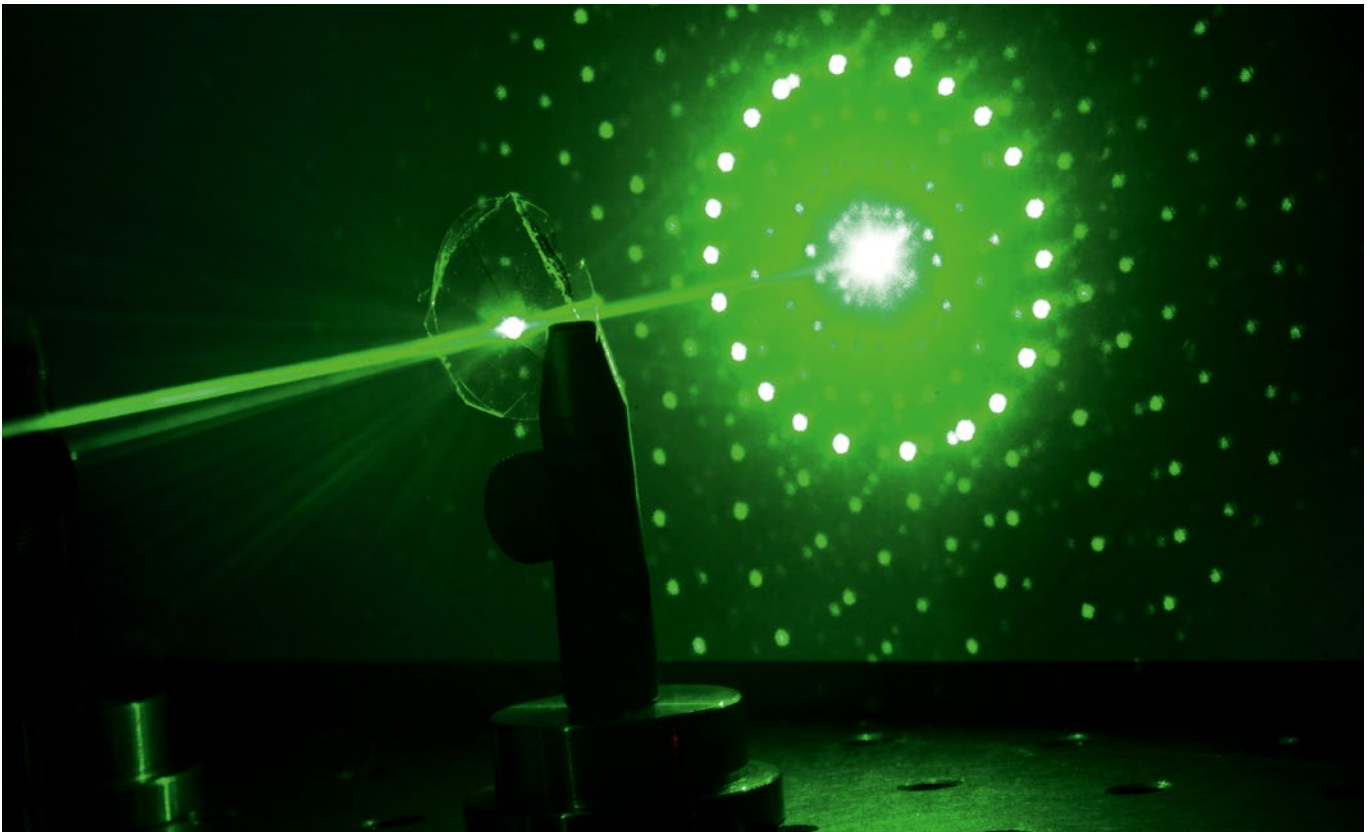
### 3 Marktentwicklung

Die Photonik ist seit vielen Jahren auf einem nachhaltigen globalen Wachstumspfad. Aktuelle Zahlen<sup>2</sup> zeigen, dass die Photonik im weltweiten Maßstab von 228 Mrd. Euro Produktionsvolumen im Jahr 2005 auf 350 Mrd. Euro im Jahr 2011 und daran anschließend auf 447 Mrd. Euro im Jahr 2015 gewachsen ist. Dies entsprach einem jährlichen Wachstum von 2005 auf 2011 von 7,5 % und zwischen 2011 bis 2015 einem durchschnittlichen Wachstum von 6,2 %.

Aktuelle Marktstudien<sup>3</sup> gehen von einem weiteren weltweiten Wachstum zwischen 2017 und 2022 von jährlich durchschnittlich 8,4 % aus. Dies entspräche einem Wachstum des weltweiten Photonik-Produktionsvolumens von 530 Mrd. US-Dollar 2017 auf 796 Mrd. US-Dollar im Jahr 2022. Ob sich diese sehr optimistische Einschätzung tatsächlich bewahrheiten wird, wird sich angesichts der aktuell sich eintrübenden Weltkonjunktur, der Einschränkungen im globalen Freihandel und des Fachkräftemangels zeigen müssen. Jedoch ist mit einem weiteren (ggf. verlangsamten) Wachstum zu rechnen.

Das Produktionsvolumen der europäischen Photonik<sup>4</sup> ist von 42 Mrd. Euro in 2005 auf 65 Mrd. Euro in 2011 gestiegen und wiederum auf 69 Mrd. Euro im Jahr 2015. Im gleichen Zeitraum wuchs insbesondere das chinesische Produktionsvolumen sowohl absolut als auch relativ massiv an. In Europa bleibt Deutschland 2015 der größte Produzent von Photonikgütern (mit ca. 40 % Anteil) sowohl bei der Beschäftigung als auch beim Produktionsvolumen, gefolgt von den Niederlanden mit den zwei Großunternehmen ASML und Philips sowie Frankreich mit einer breiter aufgestellten Photonik-Industrielandschaft.

In der deutschen Photonikbranche sind nach aktuellen Studien<sup>5</sup> ca. 138.000 Beschäftigte in ca. 1.000 Unternehmen (2018) tätig. Der Branchenverband SPECTARIS zählt jedoch nur größere Unternehmen, daher ist von einer deutlich höheren Zahl an Photonikunternehmen in Deutschland, also ca. 2.000 Unternehmen, auszugehen. Die Unternehmen machten 2018 einen Umsatz von ca. 37 Mrd. Euro. Die F&E-Quote liegt bei 9 % und der Exportanteil liegt bei knapp 72 %.



Das Umsatzwachstum lag zwischen 2016 und 2017 bei 12,2 %, zwischen 2017 und 2018 bei 6,7 % und es wird zwischen 2018 und 2019 ein Umsatzwachstum von 6 bis 7 % erwartet. Das Beschäftigungswachstum lag zwischen 2017 und 2018 bei 5,5 % und es wird ein weiteres Wachstum bis 2019 von 5 % erwartet.<sup>6</sup>

Eine Differenzierung der deutschen Photonik nach Produktkategorien zeigt, dass optische Analytik/Messtechnik, photonische Medizintechnik, optische Komponenten sowie photonische Produktionstechnologien sowohl von hohem Wachstum als auch hohem Marktanteil und damit einer sehr starken Position gekennzeichnet sind.

Die hohe Exportquote zeigt, dass Photonik in Deutschland ein internationales Geschäft ist. Aktuelle Erhebungen von SPECTARIS<sup>7</sup> zeigen, dass die Top-5-Zielmärkte für deutsche Photonikexporte 2018 in den USA (4,4 Mrd. Euro), in China (4,1 Mrd. Euro), in den Niederlanden (2,9 Mrd. Euro), in Frankreich (1,9 Mrd. Euro) und in Italien (1,6 Mrd. Euro) liegen.

Dabei ist die Photonikwertschöpfung in Deutschland nicht gleich verteilt. Schwerpunkte liegen in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen und Thüringen, gefolgt von Berlin und Brandenburg.

---

<sup>2</sup> Optech Consulting/Photonics 21, Market Research Study, 24.01.2017

<sup>3</sup> SPECTARIS 2018/MarketsandMarkets

<sup>4</sup> Optech Consulting/Photonics 21, Market Research Study, 24.01.2017

<sup>5</sup> SPECTARIS 2019

<sup>6</sup> SPECTARIS 2019

<sup>7</sup> SPECTARIS 2019







## **4 Situation in der Region Berlin Brandenburg und SWOT-Analyse**

## 4 Situation in der Region Berlin Brandenburg und SWOT-Analyse



© WFBB/Michael Jungblut

Die letzten primär erhobenen Branchenzahlen für die Photonik in Berlin und Brandenburg datieren aus dem Jahr 2011.<sup>8</sup> Hiernach existieren im sog. innovativen Clusterkern in der Hauptstadtregion ca. 400 Unternehmen im Bereich der optischen Technologien und der Mikrosystemtechnik. Darüber hinaus ist die Hauptstadtregion durch eine besondere Dichte an Photonik-Forschungseinrichtungen gekennzeichnet. In Berlin und Brandenburg gibt es entsprechende Forschungsaktivitäten in zehn Universitäten und Fachhochschulen sowie in 26 außeruniversitären Forschungseinrichtungen.

In den Photonik-Unternehmen und -Forschungseinrichtungen der Region waren 2011 ca. 16.600 Menschen beschäftigt. Sie generierten 2011 einen Umsatz von 2,2 Mrd. Euro. Die Umsätze wuchsen bis zu diesem Zeitpunkt mit jährlichen Wachstumsraten zwischen 5 und 8 %, also im bundesdeutschen Durchschnitt. Die Exportquote und F&E-Quote entsprachen der auf deutschem Gesamtniveau. Setzt man das Wachstum in Berlin und Brandenburg mit dem deutschen Wachstum in der Photonikbranche gleich und berücksichtigt man die umfangreichen Restrukturierungen bei einigen wenigen Photonikunternehmen in der Hauptstadtregion in den Jahren seit 2011, so lassen sich Umsatz- und Mitarbeiterzahlen für das Jahr 2017 als Näherung ableiten. Hiernach lägen die Umsätze in der Region bei ca. 2,73 Mrd. Euro und die Beschäftigtenzahl läge bei ca. 20.000 Beschäftigten.

Die Photonikbranche in der Region Berlin Brandenburg ist durch eine sehr große thematische Breite (gerade auch im Vergleich zu anderen Photonikregionen in Deutschland) gekennzeichnet. Wenngleich zahlreiche Produktions- und Forschungsstandorte von großen nationalen und internationalen Photonikunternehmen in der Region liegen (Zeiss, Jenoptik, Trumpf, FISBA, Siemens, Osram, Fielmann, Berliner Glas, First Sensor), wird die Branche nicht von einem oder wenigen großen Playern dominiert. So konnte sich in den letzten fast 30 Jahren eine innovative, nachhaltig aufwachsende und sehr breite Photonikbranche entwickeln. Zahlreiche Photonikunternehmen in der Region sind dem Stadium des Start-ups bzw. Kleinstunternehmens entwachsen. Viele dieser Unternehmen bilden heute das Rückgrat der Berlin Brandenburger Photonik-Branche.

Zahlreiche Unternehmen wurden zudem in den letzten Jahren entweder in der Familie oder anderweitig an die nächste Generation übergeben oder sie wurden von den Gründern an andere, etabliertere nationale und internationale Photonikunternehmen verkauft.

Nicht zuletzt gilt Berlin seit einigen Jahren als Start-up-Hauptstadt in Deutschland und bisweilen gar in Europa. Unternehmensgründungen im Bereich der Photonik und Mikrosystemtechnik sind wegen des bedeutend höheren Kapitalbedarfs bei Hardware-Gründungen vergleichsweise selten. Dennoch entstehen in Berlin und Brandenburg jährlich ca. zehn neue Photonikunternehmen.

In der nachfolgenden SWOT-Analyse werden Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken der Photonik und Mikrosystemtechnik in Berlin und Brandenburg dargestellt.

Stärken	Schwächen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berlin Brandenburg mit seinen zahlreichen Unternehmen und Forschungseinrichtungen ist ein führender Photonik-Standort in Deutschland</li> <li>• Gute Unternehmensstruktur herausgebildet, darunter zahlreiche etablierte Photonik-Unternehmen (50 bis 250 Mitarbeiter)</li> <li>• Breites Anwendungsspektrum der Photonik in Berlin Brandenburg, z. B. Medizin, IKT, Mobilität</li> <li>• Sehr gute Forschungsinfrastruktur, hohe wissenschaftliche Exzellenz, guter akademischer Nachwuchs (Quantität und Qualität) in der Photonik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Universitäre Basis für einzelne Bereiche der Photonik wie Technische Optik, Lasertechnik in Berlin Brandenburg schwach</li> <li>• Teile der Wertschöpfung fehlen in Berlin Brandenburg, z. B. Mikrooptikfertigung, oder im Bereich Maschinenbau nur Komponentenzulieferung, nur wenig Global Player mit Hauptquartier oder großer innovativer Wertschöpfung in der Region</li> <li>• Zunehmender Fachkräftemangel (Wahrnehmung der Photonik beim Nachwuchs schwach ausgeprägt, fehlende Facharbeiter in photonischen Berufen, Nachwuchsmangel Elektronik, gewerbliche Mitarbeiter)</li> <li>• Von Unternehmen wahrgenommene Hürden bei der Zusammenarbeit zwischen Berlin und Brandenburg</li> </ul>

Chancen	Risiken
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau einer „Digital Capital“ mit Photonik als einem wichtigen „enabling driver“</li> <li>• Großes Wachstumspotenzial bei Cross Innovation (bereits vorhanden, aber mit neuen Themen wie intelligenter Mobilität, „digital health“, Industrie 4.0, KI, Smart City, intelligenten vernetzten Sensoren)</li> <li>• Berlin und Brandenburg als Anwender, Kunde, Testfeld (5G, LED-Laufsteg, Diginet), Smart-City-Campus (SAG) oder Berlin Brandenburger Institute der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) als Innovationskern für Firmen und Institute</li> <li>• Viele Softwarefirmen in Berlin (Start-ups, Amazon, ...), Berlin Big Data Center – Vernetzung des Clusters mit Machine Learning sowie renommierten IT-Forschungseinrichtungen wie Hasso-Plattner-Institut Potsdam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlende digitale Infrastruktur hemmt Ansiedlung und Innovation</li> <li>• Schwache Repräsentanz der Berliner und Brandenburger Photonik auf nationaler und europäischer Ebene</li> <li>• In einigen Regionen Brandenburgs ist die Sichtbarkeit der Optik und Photonik gering, damit auch nicht die Entwicklungschancen</li> <li>• Konzentration im politischen Sprachgebrauch auf Softwarethemen (Digitalisierung, IoT, Industrie 4.0, KI, Big Data), innovative Hardware wird oft vergessen</li> </ul>





## 5 Clustermanagement und Netzwerke

## 5 Clustermanagement und Netzwerke

Cluster schaffen in ihrer Funktion als wirtschaftsfördernde Netzwerkstruktur an der Schnittstelle von Produzenten, Zulieferern und Forschungseinrichtungen einen institutionell unterstützenden und leitenden Rahmen zur Sicherung und Weiterentwicklung der Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit der regionalen Wirtschaft.

Zu den Clusterakteuren gehören im Kern Unternehmen und wissenschaftliche Einrichtungen, flankiert von Kammern, Politik, öffentlicher Verwaltung und weiteren Netzwerken in der Region Berlin Brandenburg. Mit ihnen realisiert das Clustermanagement Veranstaltungsformate (z. B. AG-Treffen, Workshops, Clusterkonferenzen) zum Austausch innerhalb der Branche, branchenübergreifend und international und zur Initiierung kooperativer Projekte.

Das Cluster Optik und Photonik wirkt mit seinen Aktivitäten mittelbar auf viele übergeordnete wirtschaftspolitische und innovationspolitische Rahmenbedingungen ein, die mithilfe diverser Indikatoren erhoben werden (z. B. Unternehmensneansiedlungen, Beschäftigungszahlen etc.). Unmittelbar im Fokus der Clusteraktivitäten stehen die Entwicklung und Anwendung innovativer Technologien, Produkte und Verfahren in den anwendungsorientierten Innovationsfeldern sowie die synergetische Vernetzung der Clusterakteure aus Wirtschaft und Wissenschaft, um entsprechende Innovationskooperationen in ihrer Gründungsphase zu unterstützen.

Das Cluster hat als strategische Stoßrichtung den Anspruch, mit seinen Aktivitäten für den erfolgreichen Auf- und Ausbau vielversprechender regionaler, nationaler und internationaler Kooperations- und Projektstrukturen zu sorgen, dabei die anwendbaren Förderstrukturen des Landes, des Bundes und der EU systematisch zu berücksichtigen und die Kooperationen nachhaltig so zu festigen, dass sie – wo immer möglich – in absehbarer Zeit extern getragen und dort mit eigenständigen Arbeitsstrukturen fortgesetzt werden können.

Das geschieht insbesondere durch:

- die Initiierung von Innovationskooperationen, vor allem bei den identifizierten Handlungsfeldthemen
- die Vernetzung der Kernakteure im Bereich Optik und Photonik in der Region Berlin Brandenburg
- die Förderung des Austauschs zwischen Wissenschaftseinrichtungen und Unternehmen, u. a. durch Wissens- und Technologietransfer
- die Initiierung und Begleitung von Verbundprojekten
- die Weiterentwicklung der Handlungsfelder, Leitlinien und Schwerpunktthemen entsprechend den Innovationspotenzialen
- die regionale, nationale und internationale Stärkung der öffentlichen Wahrnehmung der Optik und Photonik durch Kompetenz- und Standortmarketing
- die Vernetzung mit internationalen Akteuren

Die Akteure im Cluster Optik und Photonik werden vom Clustermanagement entlang der Wertschöpfungsketten gezielt vernetzt und bei der Initiierung von Projekten bereits in der Frühphase, z. B. bei der Bildung von Konsortien bei Projektverbünden, unterstützt. Maßgeblich hierfür sind die mit den Akteuren im Masterplanprozess abgestimmten Handlungsfeldthemen. Gleichzeitig werden neue Trends und Themen flexibel aufgegriffen und im Clusterentwicklungsprozess weiterentwickelt. Damit handelt es sich um einen dynamischen Masterplanprozess und beim Masterplan um ein lebendiges Dokument.

Das Clustermanagement wird gemeinsam getragen von Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH (BPWT), der Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH (WFBB) und dem regionalen Branchennetzwerk/Verband OpTecBB e. V. Die Einbindung von OpTecBB e. V. bildet den Garanten für besondere Akteurs- und Wirtschaftsnähe im Cluster Optik und Photonik.

Das Clustermanagement wird dabei durch ein Ergebnis- und Wirkungsmonitoring (EWM) der innoBB 2025 operativ unterstützt. Das Monitoring dient der Beobachtung des Umsetzungsfortschritts in Bezug auf die im Masterplan gesetzten Ziele auf Basis der von den Clusterakteuren geplanten Projekte und Aktivitäten/Instrumente zur Kooperations- und Projektanbahnung. Es zeigt erreichte Erfolge und Wirkungen auf und identifiziert ebenfalls mögliche Fehlentwicklungen in Bezug auf die geplante Zielerreichung.

Die Effektivität und der Erfolg des Clusters werden im hohen Maße von seiner Struktur bestimmt. Nach außen wird das Cluster Optik und Photonik durch den Clustersprecher repräsentiert. Der Clustersprecher unterstützt in ehrenamtlicher Funktion die inhaltliche Entwicklung und strategische Ausrichtung des Clusters.

Der strategischen und inhaltlichen Ausrichtung des Clusters und der fortlaufenden Verifizierung der zu bearbeitenden Innovationsthemen dienen die regelmäßig stattfindenden OpTecBB e. V. Vorstandssitzungen. Mindestens einmal jährlich findet ein Austausch mit Vertretern von Kammern, Verbänden, Netzwerken und Sozialpartnern und dem Clustermanagement statt. Zur operativen Beratung des Clusters tagen regelmäßig die Steuerungsrunde, der die Geschäftsführungen der beteiligten Wirtschaftsförderungsgesellschaften und des Branchenverbands OpTecBB e. V. und der Clustersprecher angehören, und der Koordinierungskreis, in dem die Vertreter der Wirtschaftsverwaltungen der Länder Berlin und Brandenburg mit dem Clustermanagement organisiert sind.

Das Clustermanagement bedient sich zur Durchführung seiner Aufgabe zeitgemäßer Wirtschaftsförderungsinstrumente, wie z. B. des Innovationsmanagements, des Technologietransfers sowie des Kompetenz- und Standortmarketings. Es unterstützt die Akteure durch gezielte Informationen, u. a. aus Studien, Branchenübersichten sowie auf einer Webplattform ([www.optik-bb.de](http://www.optik-bb.de)). Zu den weiteren Schwerpunkten der Clusterarbeit gehören die Identifizierung und Erschließung von Synergien zwischen den Clustern (Cross Cluster), der Wissens- und Erfahrungsaustausch sowie die Unterstützung bei Themen der Internationalisierung und Fachkräftesicherung.

Eine weitere Grundlage der Clusterarbeit ist das Technologie- und Trendscouting zur Identifizierung relevanter Innovationsthemen und Förderprogramme. Für die Clusterakteure relevante neue Förderprogramme und Ausschreibungen werden zudem im Cluster bekannt gemacht.

Das Clustermanagement fördert und unterstützt damit die Entwicklung und Stärkung des Berliner und Brandenburger Clusters Optik und Photonik, indem es Maßnahmen der Clusterakteure aus Wirtschaft und Wissenschaft, der Politik, der Kammern und Verbände und die Umsetzung der Clusterstrategie koordiniert. Übergeordnetes Ziel und Aufgabe des Clustermanagements ist somit die Weiterentwicklung des Clusters auf strategischer und operativer Ebene als Bestandteil der Gemeinsamen Innovationsstrategie der Länder Berlin und Brandenburg (innoBB 2025).

Jedes der sechs definierten Handlungsfelder besitzt zudem einen Handlungsfeldsprecher. Die Handlungsfeldsprecher sind Vertreter von Unternehmen oder Wissenschaftseinrichtungen aus dem Cluster und repräsentieren die Handlungsfelder innerhalb des Clusters. Fünf der Handlungsfelder werden operativ von OpTecBB e. V. unterstützt. Das Handlungsfeld Lasertechnik wird operativ vom Laserverbund Berlin-Brandenburg e. V., das Handlungsfeld „Biophotonik und Augenoptik“ von der Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH (WFBB) unterstützt.

Im Cluster Optik und Photonik bestehen weiterhin verschiedene Netzwerke, die sich gemeinsam mit den regionalen Wirtschaftsfördereinrichtungen Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH und der Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH (WFBB) am Clusterentwicklungsprozess beteiligen.

### **Optec-Berlin-Brandenburg (OpTecBB e. V.)**

OpTecBB e. V. wurde im Jahr 2000 von Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Universitäten und Verbänden sowie mit Unterstützung der zuständigen Landesministerien Brandenburgs und des Senats von Berlin als Dachnetzwerk für Optische Technologien gegründet. OpTecBB e. V. ist heute mit ca. 115 institutionellen Mitgliedern das größte regionale Netzwerk von Unternehmen und Forschungseinrichtungen in Berlin und Brandenburg im Bereich der Photonik und Mikrosystemtechnik. OpTecBB e. V. ist maßgeblich an der inhaltlichen Ausgestaltung der sechs Handlungsfelder und an der Organisation der Umsetzung beteiligt. OpTecBB e. V. fördert durch seine Vernetzungsaktivitäten den Wissens- und Technologietransfer von der Forschung zu insbesondere den kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) der Region. F&E-Projekte werden initiiert und Kooperationen unterstützt. OpTecBB e. V. organisiert gemeinsame Standortmarketingaktivitäten und Messeauftritte, insbesondere mit dem nationalen Netzwerk der optischen Kompetenznetzwerke OptecNet Deutschland, um für die Unternehmen, die Forschungseinrichtungen und die Region zu werben. OpTecBB e. V. fördert Aktivitäten der Nachwuchssicherung und Aus- und Weiterbildung im Bereich der Optik/Photonik, um die Region auch als Ausbildungsstandort bekannt zu machen und den Fachkräftenachwuchs zu sichern. OpTecBB e. V. unterstützt Gründer im Bereich der Optik/Photonik/ Mikrosystemtechnik und informiert Investoren über die Branche in der Region. OpTecBB e. V. unterstützt insbesondere KMU beim Knüpfen internationaler Kontakte und organisiert im Rahmen von OptecNet Deutschland Messegemeinschaftspräsentationen. Weiterhin ist OpTecBB e. V. auf der europäischen Ebene durch die Mitgliedschaft im European Photonics Industry Consortium (EPIC), Photonics21/Photonics Europe sowie durch die Global Photonics Alliance und die International Optoelectronics Association mit internationalen Photonik Clustern hervorragend vernetzt.

### **Laserverbund Berlin-Brandenburg e. V.**

Der Laserverbund Berlin-Brandenburg e. V. widmet sich seit 1993 der regionalen Förderung der Lasertechnologie. Dazu nutzt der Verbund traditionelle sowie moderne Veranstaltungsformate, um den Austausch zwischen Praktikern und Wissenschaftlern auf den Gebieten der Forschung, Entwicklung und Anwendung zu gestalten. Der Laserverbund verfolgt unmittelbar und ausschließlich gemeinnützige Zwecke. Zurzeit hat der Laserverbund 23 institutionelle und 87 persönliche Mitglieder mit positiver Mitgliederentwicklung. Der Laserverbund hat sich zu dem Ansprechpartner für

Lasertechnik und Laseranwendungen in der Region Berlin Brandenburg entwickelt.

Der Laserverbund Berlin-Brandenburg e. V. bietet: Kontakte zu Experten auf dem Gebiet der Lasertechnik; Seminare und Workshops zu aktuellen Themen der Lasertechnik; Erfahrungsaustausch im Anwendertreffen „Laser in der Materialbearbeitung“; Austausch unter Fachleuten bei regelmäßig durchgeführten Laserstammtischen; ein breites Angebot mit Anbietern von Produkten und Dienstleistungen zur Lasertechnik in der Region Berlin Brandenburg

### **OABB optic alliance brandenburg berlin e. V.**

Die Hauptstadtregion Brandenburg Berlin ist ein traditionsreicher Standort der klassischen Optik/Augenoptik. Im Rahmen des unternehmensgeführten Branchennetzes OABB optic alliance brandenburg berlin e. V. wurde durch Kooperation, Koordination und Bündelung der regionalen Potenziale ein landesweit wirkendes Netzwerk aufgebaut. Ziel ist es, neue Innovationsschnittstellen zwischen Großfirmen, mittelständischen Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen unter Einbeziehung des augenoptischen Handwerks in der Hauptstadtregion zu erschließen. So bildet die Einbeziehung der Augenoptikerinnung des Landes Brandenburg mit ihrem Bildungs- und Technologiezentrum, der TH Brandenburg sowie des Oberstufenzentrums Havelland einen wichtigen Bereich. Hiermit stellt sich das Netzwerk aktiv der Herausforderung des weiteren Ausbaus der Region Brandenburg Berlin als Zentrum der akademischen und beruflichen Aus- und Weiterbildung im Bereich der Augenoptik. Innovation, Kompetenzentwicklung, Internationalisierung, Markterschließung, die Schaffung strategischer Partnerschaften in internationalen Ballungszentren augenoptischer Innovation sowie Branchen- und Standortprofilierung sind dabei Schwerpunkte der Arbeit von OABB optic alliance brandenburg berlin e. V. Die aktuell neun Netzwerkmitglieder verfügen mit ihrem Produkt- und Leistungsfeld über wichtige Kompetenzen in den augenoptischen und augenmedizinischen Technologiefeldern wie Brillenglas, Sonderlinsen, vergrößernde Sehhilfen, Brillenfassungen, augenoptischer Produktionsgerätebau, Werkstatttechnik, Verkaufsraumgestaltung sowie Aus- und Weiterbildung. Somit stellt der Standort mit seiner Vielschichtigkeit, Bündelung und Unternehmenskonzentration eine Komplexität augenoptischer Kompetenz in Deutschland dar und kann zu den modernsten Fertigungsstätten im europäischen Raum gezählt werden.



**Innovation Network for Advanced Materials (INAM) e. V.**

INAM unterstützt die Entwicklung von innovativen und marktfähigen Produkten, die sich auf die Herstellung von funktionalen Materialien sowie Anwendungen und Prozesse mit funktionalen Materialien konzentrieren. Dazu gehören u. a. Entwicklungen aus den Bereichen Sensorik, Wearables, Lichttechnik und optoelektronische Bauelemente oder Photovoltaik. Das Interesse besteht darin, Kompetenzen und Ressourcen zu bündeln, um Innovationen schneller auf den Markt zu bringen. Das Netzwerk mit aktuell 29 Mitgliedern wurde Anfang des Jahres 2016 gegründet. Es operiert als internationaler Verein und hat seinen Sitz in Berlin. Es bietet seinen Mitgliedern eine Reihe von Veranstaltungen wie Workshops, Meet-ups, Members' Dinners und Präsentationen auf diversen Plattformen, um sich Informationen zu beschaffen und Ideen auszutauschen. Die Advanced Materials Competition (AdMaCom) ist ein Accelerator-Programm aus den Bereichen Photonik, Mikro-/Nanoelektronik und neue Materialien, das von INAM jährlich in Berlin organisiert wird. Die internationale Ausrichtung lockt Start-ups aus aller Welt an, sich beim technisch hochwertigen Matchmaking-Mentorship-Programm zu bewerben.

**ANH Berlin – Expertise in der Nachwuchsgewinnung und Fachkräftesicherung**

Das Aus- und Weiterbildungsnetzwerk Hochtechnologie (ANH Berlin) adressiert die Themen Nachwuchsgewinnung und Fachkräftesicherung seit 2007. ANH Berlin obliegt seit 2012 die Koordination für das Thema Bildung/Fachkräftesicherung im regionalen Cluster Optik und Photonik.

Das „Kerngeschäft“ von ANH Berlin ist von Beginn an die Förderung der dualen Ausbildung in der Hochtechnologie mit besonderem Fokus auf die Mikrotechnologie. Angesichts des demografischen Wandels sowie der rasanten technologischen Entwicklung gewinnen vor allem Themen wie die Rekrutierung von Jugendlichen für die Ausbildung und die Berufsorientierung in MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik) und die betriebliche Weiterbildung an Bedeutung. Das Netzwerk hat dafür verlässliche regionale Kontakte aufgebaut und bündelt wichtige Kompetenzen. Ein Garant für die erfolgreiche Arbeit ist die enge Kooperation mit den Berufsschulen, insbesondere dem naturwissenschaftlichen Oberstufenzentrum Lise-Meitner-Schule, das auch den regionalen Ausbildungsverbund Mikrotechnologie Berlin Brandenburg ([www.promano.net](http://www.promano.net)) koordiniert. Darüber hinaus pflegt das

ANH enge Kontakte mit Unternehmen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen, Hochschulen sowie Kammern und Verbänden. Um die Attraktivität und den Bekanntheitsgrad der dualen Ausbildung in der Hochtechnologie zu steigern, arbeiten ANH und Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik (FBH), auch mit Schulen, Bildungseinrichtungen und anderen Initiativen zusammen, die sich dem Thema „Nachwuchsgewinnung in MINT“ widmen. Da die Herausforderungen der Nachwuchsgewinnung nicht an Ländergrenzen enden und der internationale Informations- und Erfahrungsaustausch von großem Nutzen ist, engagiert sich ANH mit verschiedenen Projekten im europäischen Bündnis ECOP (European Centres for Outreach in Photonics).

Zur Verstärkung und zum Ausbau der Strukturen wurde im Mai 2019 der Verein proANH gegründet.

### **Elektronik-Relevante Themen- und Handlungsfelder in der Region Brandenburg - Berlin (ERT-BB)**

Ausgehend von den Technologieentwicklungen in der Halbleiterindustrie, insbesondere der siliziumbasierten Nano- und Mikroelektronik sowie der Photonik, nimmt smarte und innovative Sensorik in ihrer Anwendung eine Schlüsselrolle für das Netzwerk ERT-BB ein. Im 2018 gegründeten GRW-Kooperationsnetzwerk mit aktuell 16 Mitgliedern arbeiten Unternehmen zusammen, die gemeinsam mit wissenschaftlichen Einrichtungen vorhandene Potenziale und Kompetenzen vorrangig in der Region Brandenburg und Berlin vernetzen und so nutzen, dass neue konkrete Anwendungslösungen auf Elektronik-relevanten Themenfeldern entwickelt und Wertschöpfungsketten ausgebaut werden können. Um diese Potenziale für andere Branchen sichtbar zu machen, ist die Netzwerktätigkeit eng in die Clusterentwicklung der nächsten Jahre, insbesondere in die Handlungsfelder „Photonik und Quantentechnologien für Kommunikation und Sensorik“ sowie „Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik“, eingebunden.

Insbesondere integriert ist der Sondermaschinenbau mit Test- und Prüfprozessen in erweiterten Temperaturbereichen als Technologiebegleiter für Halbleiterprozesse (Mikroelektronik und Photonik) und Anwendungsfelder. Hierbei werden völlig neuartige Technologieprozesse und Fertigungsverfahren angestrebt, welche bisher komplizierte Technologien in der Chip- und Sensorfertigung ergänzen bzw. auch ersetzen können. Damit werden Applikationen möglich, die auf integrierten Sensorchiplösungen mit Kombination zur Aktorik, integrierter Auswerteelektronik und Datenübertragung sowie hoher Zuverlässigkeit unter extremen Bedingungen aufbauen. Die Anwendung ist insbesondere auf folgende Schlüsseltechnologien ausgerichtet: Automotive (Motorsteuerung, autonomes Fahren, ...); Automatisierung, Industrie 4.0 (Robotik und Fertigungsüberwachung, Ferndiagnose, -wartung, ...); Medizin; Gesundheit und Life Sciences; Informations- und Kommunikationstechnik, u. a. Drahtlos, Internet of Things (IoT); Sicherheit (Safety und Security). Dabei sind neue Lösungen in der Aufbau- und Verbindungstechnik entscheidend, so z. B. für die Kopplung elektrischer und optischer Signale und die Integration neuer Materialien.

Die bereits bestehenden Kontakte zu den länderübergreifenden Clustern „Silicon Saxony“ in Dresden und „OptoNet“ in Jena werden weiter ausgebaut.



## 6 Vision und Ziele

## 6 Vision und Ziele



© WFBB/Michael Jungblut

Ziel des Clusters Optik und Photonik ist es, in den kommenden Jahren die Position als einer der weltweit führenden Photonik-Standorte insgesamt zu halten, auszuweiten und in weiteren Subthemen zur Weltspitze zu stoßen. Der Erhalt und die Weiterentwicklung der ausgezeichneten Forschungsinfrastruktur als Standortvorteil und regionale Kernkompetenz bilden die Basis der angestrebten Entwicklung. Dies gilt insbesondere für Lasertechnik, Photonik und Quantentechnologie für die Kommunikation und Sensorik, Lichttechnik, Optische Analytik, Biophotonik und Augenoptik sowie Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik. Um diese Ziele zu erreichen, wird die Innovationsfähigkeit der Clusterakteure über projektorientierte Kooperationen von Unternehmen und Forschungseinrichtungen gestärkt und die nationale sowie internationale Sichtbarkeit des Clusters erhöht.

Die Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen im Cluster sowie die Aufrechterhaltung und Verbesserung der wissenschaftlichen und technologischen Exzellenz sind übergeordnete Ziele der Clusterarbeit. Damit verbunden sollen die regionale Wertschöpfung und Beschäftigung im Cluster erhöht werden.

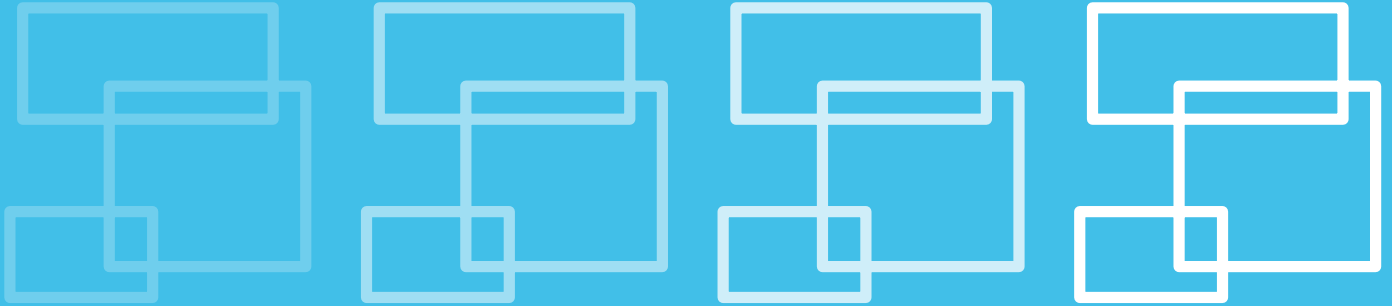
Um die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern soll insbesondere:

- die Innovationsfähigkeit der Clusterakteure gestärkt werden durch die Generierung und Umsetzung von anwendungsorientiertem Wissen. Entwicklungschancen bietet die Ausschöpfung von Open-Innovation- und Cross Cluster-Potenzialen, die sich durch die Rolle der optischen Technologien, Mikroelektronik und der Mikrosystemtechnik als key enabling technologies ergeben. Die große Bandbreite der anderen in der Region Berlin Brandenburg vertretenen Industrie- und Forschungsbereiche einerseits sowie die zunehmende Digitalisierung andererseits eröffnen in dieser Hinsicht vielfältige Möglichkeiten zur Umsetzung von neuen Produkten, Verfahren und Dienstleistungen.
- die Kooperationsfähigkeit von Unternehmen und Forschungseinrichtungen gestärkt werden. Die bereits weit fortgeschrittene Vernetzung der Akteure soll erhalten und kontinuierlich thematisch und unter Einbeziehung neuer Clusterakteure weiterentwickelt werden, um auch neu aufkommende Themen aufzugreifen und einen effizienten Technologietransfer im regionalen wie überregionalen bzw. internationalen Kontext zu ermöglichen.
- die nationale und internationale Sichtbarkeit des Clusters erhöht werden. Durch die erhöhte Sichtbarkeit soll die Wahrnehmung Berlins und Brandenburgs als attraktiver Optik und Photonik Standort in der Fachcommunity gesteigert und die Position der Clusterakteure im internationalen Wettbewerb weiter verbessert werden.

Die Umsetzung dieser Ziele erfolgt durch die Clusterarbeit in den im nächsten Abschnitt dargestellten sechs inhaltlich definierten Handlungsfeldern des Clusters Optik und Photonik. Quer zu diesen Handlungsfeldern liegen Schwerpunktthemen und Leitlinien der innoBB 2025. Die Aktivitäten in den Schwerpunktthemen und Leitlinien reichen in die Handlungsfelder hinein, befördern somit die strukturelle Entwicklung der Handlungsfelder sowie des Gesamtclusters und ermöglichen die Umsetzung der gesteckten Ziele.







## 7 Handlungsfelder

## 7 Handlungsfelder

Die Handlungsfelder des Clusters Optik und Photonik basieren auf den in der Region gewachsenen Kompetenzen der Unternehmen und Forschungseinrichtungen in den optischen Technologien und der Mikrosystemtechnik. Hinzu treten neue Technologietrends im Bereich Quantentechnologien und Mikroelektronik, die in den Handlungsfeldern aufgegriffen werden. Die Handlungsfelder besitzen in Bezug auf Beschäftigung und Umsatz wirtschaftliche Relevanz, folgen sowie gestalten internationale Trends der relevanten Branchen und zeichnen sich durch hohe Wachstumspotenziale aus.

Folgende Handlungsfelder bilden die Säulen des Clusters Optik und Photonik in der Region Berlin und Brandenburg:

- Lasertechnik
- Lichttechnik
- Photonik und Quantentechnologie für Kommunikation und Sensorik
- Optische Analytik
- Biophotonik und Augenoptik
- Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik

Diese Handlungsfelder werden in den folgenden Unterkapiteln beschrieben. Für jedes Handlungsfeld werden besonders relevante Themen hervorgehoben und technologische sowie wirtschaftliche Entwicklungspotenziale genannt, die an die Kompetenzen der Unternehmen und Forschungseinrichtungen in Berlin und Brandenburg anknüpfen. Die Definition der Themen und Identifizierung der Herausforderungen und Ziele sind das Ergebnis eines Abstimmungsprozesses der Clusterakteure in den jeweiligen Handlungsfeldern.

### 7.1 Lasertechnik

Der Laser gilt sowohl in der Industrie wie auch in der Forschung als das vielseitigste Werkzeug. Höchste Präzision, effiziente Produktionsschritte und neueste Erkenntnisse werden mit ihm verbunden und erreicht. Die Entwicklung von Nutzer optimierten Lasersystemen mit höherer Leistung, verbesserter Energieeffizienz und kompakteren Dimensionen katapultierte den technologischen Fortschritt in den letzten 50 Jahren zu neuen, manchmal vorher unvorstellbaren Anwendungen. Heute gibt es kaum einen Industriezweig, für den die Lasertechnik nicht als enabling technology eine Rolle spielen würde. Die Einsatzgebiete von Laserquellen erstrecken sich neben der Materialbearbeitung insbesondere auf Sensorik, Bio-, Medizin- und Umwelttechnologie, Informations- und Kommunikationstechnik, Beleuchtungs- und Displaytechnik sowie Weltraumanwendungen und Sicherheit.

Der deutsche Sondermaschinenbau hat die Vorteile der Lasersysteme als Werkzeug für die Materialbearbeitung früh erkannt. Ob zum Bohren, Abtragen, Schneiden, Schweißen oder zur Strukturierung, das Werkzeug Laser ist aufgrund seiner hervorragenden Skalierbarkeit, was Leistung und Präzision angeht, zunehmend das Mittel der ersten Wahl. Ob Metall, Glas, Keramik, Holz, Halbleitermaterialien oder Verbundwerkstoffe und faserverstärkte Materialien, es gibt immer ein geeignetes Lasersystem, um das Produkt in geeigneter Art zu bearbeiten. Neueste Entwicklungen auf dem Gebiet des Laserauftragsschweißens eröffnen vielversprechende Einsetzbarkeit im rapid manufacturing und rapid prototyping als Weiterentwicklung des stark anwachsenden Marktes der additiven Fertigung (3D-Druck). Dies reduziert Entwicklungskosten und beschleunigt die „time to market“. „Additive manufacturing“ revolutioniert die Reparatur und Ersatzteilherstellung für hochwertige Maschinen durch „spare part on demand“. Im Bereich der Analytik erlaubt der Laser berührungslose Messungen in Echtzeit und ist Kernbestandteil LiDAR-basierter 3D-Sensoren, die auf einen Blick Objekte und Szenarien räumlich erfassen können. Als Präzisionswerkzeug ist er außerdem aus der Halbleiterindustrie nicht wegzudenken. Dort wird durch ultrakurze Laserpulse (Piko- und Femtosekunden) filigran strukturiert oder separiert.

In allen Anwendungsbereichen ist ein starker Trend zum Einsatz von Halbleiter-Diodenlasern zu erkennen. Sie sind energieeffizient und sehr kompakt und können sehr vielseitig und flexibel eingesetzt werden. Ihre Wellenlänge ist



in weiten Bereichen frei einstellbar. Aufgrund dieser Eigenschaften finden sie immer öfter, aufgebaut als sog. Direkt-diodenlaser, Anwendungsfelder in der Materialbearbeitung. Ein noch wichtigeres Anwendungsfeld der Diodenlaser ist ihr Einsatz als Pumpquelle zur Anregung für andere Laserquellen wie z. B. den Faserlasern. Diese Lasersysteme ergänzen den Festkörperlaser zunehmend in immer mehr Bereichen. Der Faserlaser vereint mittlerweile hohe mittlere Leistungen bei guter und nahezu konstanter Strahlqualität. Einher geht eine Steigerung der Prozesseffizienz mit einer Reduzierung der Anschaffungs- und Betriebskosten.

In der Hauptstadtregion sind über 60 Unternehmen auf dem Gebiet der Lasertechnik tätig. Zwölf von ihnen stellen selbst Laser her, die übrigen Firmen sind in vor- oder nachgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette aktiv, mehrheitlich Zulieferer von Komponenten oder Systementwickler. Viele Unternehmen profitieren von der regionalen Forschungskompetenz. Die Forschungseinrichtungen aus Berlin und Brandenburg sind international führend, darunter das Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie, das Institut für Festkörperphysik der TU Berlin und das Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik (FBH) sowie die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). In Brandenburg liegt der wissenschaftliche Schwerpunkt mit der TH Brandenburg, der TH Wildau und der BTU Cottbus-Senftenberg in der angewandten Lasertechnik.

#### **Innovative Materialbearbeitung (mikro/makro, 3D-Druck)**

Die Lasermaterialbearbeitung ist aus der modernen Fertigungstechnik nicht mehr wegzudenken. Dennoch hört die Entwicklung nicht auf und es wird weiter intensiv geforscht und entwickelt. Heute stehen vor allem die Fragen im Raum: Wo ist der Laser kostengünstiger als andere Verfahren? Wo ermöglicht er mehr Leistung bei weniger Materialverbrauch? Und grundsätzlich: Welche neuen Konstruktionen werden nur mit dem Laser möglich? Die Antworten sind vielfältig. Bei Schneid-, Schweiß- und Bohranwendungen hat der Laser schon heute eine starke Position.

Neben diesen Anwendungen gewinnen zunehmend die additiven Fertigungsverfahren an Bedeutung. Seit vielen Jahren ist das Laserpulverauftragsschweißen ein probates Mittel zur Reparatur betriebsbeanspruchter Turbinenbauteile. Das „selective laser melting“ (SLM) ist z. B. in der Prototypenfertigung von Gasturbinenschaufeln und Brennerkomponenten ein wichtiger Hebel zur Reduzierung der

Entwicklungszeiten. Bei einigen Komponenten ist bereits die Herstellung des Serienprodukts durch SLM industrialisiert.

Während die additive, laserbasierte Fertigung bei Großunternehmen schon Einzug in die Produktion gehalten hat, um u. a. Gewichts- und Energieeinsparungen für additiv gefertigte Bauelemente zu realisieren, sind die Einstiegsschwellen bei kleinen und mittleren Produktionsbetrieben noch recht hoch. Ein zentrales Ziel der Arbeit im Handlungsfeld Lasertechnik wird es daher sein, Anbieter und Anwender neuer Materialbearbeitungsverfahren miteinander zu vernetzen und in den fachlichen Austausch zu bringen.

Die Entwicklung und Anwendung der Lasertechnik in der Fertigung erfordern in den Unternehmen bzw. bei deren Mitarbeitern ein hohes Maß an Fachwissen. Daher bedarf es einer sehr guten Lasertechnikausbildung und Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft in Forschungs- und Entwicklungsprojekten, um die industriellen Kapazitäten in der Hauptstadtregion halten zu können. Dieses Feld bzw. diese Zusammenarbeit soll zukünftig noch weiter ausgebaut werden.

Um die Lasermaterialbearbeitung in der Hauptstadtregion nachhaltig weiterzuentwickeln, werden u. a. folgende Forschungs- und Entwicklungsziele verfolgt:

- Laserstrukturierung zur anwendungsorientierten Oberflächenfunktionalisierung
- Prozessverständnis von hochpräzisen und hochintegrierten Lasermikromaterialbearbeitungsanlagen
- Strahlquellen, Strahlführungssysteme, schnelle Ablensysteme und Bearbeitungsköpfe für die laserbasierte Mikro- und Makrobearbeitung
- Laserbearbeitung von nicht metallischen, insbesondere transparenten Werkstoffen
- Additive Laserfertigung in der Serienfertigung

### Laserdioden, Diodenlasersysteme und Lasermaterialien

Laserdioden und Diodenlasersysteme sind brillante und sehr effiziente Lichtquellen für vielfältige Anwendungen in einer großen Zahl von Technologiefeldern, von der Materialbearbeitung über die Kommunikation und Medizintechnik bis zur Präzisionsmesstechnik und Sensorik. Ihre Wellenlängen können vom mittleren und nahen infraroten Spektralbereich bis zum UV-Bereich weitgehend frei eingestellt werden. Mit Forschungsinstituten wie dem Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik (FBH), dem Heinrich-Hertz-Institut, Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik (HHI), dem Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM und dem Leibniz-Institut für High Performance Microelectronics (IHP) sowie vielen weltweit tätigen Firmen wie beispielsweise Trumpf, Jenoptik, Sicoya, Lumics oder eagleyard Photonics ist Berlin Brandenburg eines der europäischen Zentren für die Erforschung, Realisierung und Anwendung dieser Lichtquellen.

Die führende Stellung der Berliner und Brandenburger Unternehmen und Forschungseinrichtungen muss kontinuierlich gesichert und ausgebaut werden. Im Bereich der Forschung ist dies mit der Etablierung der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland, an der FBH, HHI, IZM und IHP wesentlich beteiligt sind, durch das BMBF gut vorbereitet worden. Die Entwicklung dieser gemeinsamen Aktivitäten sollte durch geeignete Maßnahmen im Cluster Optik und Photonik in Berlin und Brandenburg nachhaltig gefördert werden. Hierzu zählt z. B. die Unterstützung einschlägiger Unternehmen, verbesserten Zugang zu neuen Technologien zu finden und sich in der Nähe der Forschungseinrichtungen anzusiedeln oder zu expandieren.

Thematisch wird eine führende Rolle Berlins und Brandenburgs in den folgenden Themenfeldern ausgebaut oder neu etabliert:

- Realisierung von Diodenlasern für die Kommunikation;
- Silizium-Photonik;
- Realisierung von Diodenlasern für die Sensorik und Präzisionsmesstechnik – dies sollte insbesondere im Umfeld des neuen Schwerpunkts  $\mu$ Sensorik an der BTU Cottbus-Senftenberg erfolgen, an dem FBH, IZM und IHP beteiligt sind;

- Realisierung von Diodenlasern für die direkte Materialbearbeitung mit einem Schwerpunkt in Berlin-Adlershof;
- Realisierung von Pumplaserdioden für die nächste Generation von Höchstfeldlasern für ultrakompakte Teilchenbeschleuniger. Diese Beschleuniger werden vielfältige Anwendungen in der Medizin, u. a. in der Tumorbearbeitung, finden. Hier sollte im Umfeld des FBH ein Zentrum für Pumplaserdioden etabliert werden.

Um neuartige Lasersysteme zu entwickeln, sind weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an Lasermaterialien erforderlich. Das Zentrum für Lasermaterialien (ZLM) am Leibniz-Institut für Kristallzüchtung erforscht, qualifiziert und entwickelt innovative Lasermaterialien. Der Fokus liegt dabei in der Grundlagenforschung auf Züchtung von Laserkristallen sowie der spektroskopischen, strukturellen und Lasercharakterisierung von Laserkristallen. Hiervon profitieren wiederum Unternehmen in der Region bei der Entwicklung neuer Komponenten und Laserkonzepte.

Um die führende Rolle der Hauptstadtregion weiter auszubauen, werden folgende Schwerpunkte verfolgt:

- Laserkristalle für diodengepumpte Festkörperlaser mit direkter Emission im sichtbaren Spektralbereich (insbesondere Tb- und Pr-dotierte Fluoridkristalle)
- Züchtung und Charakterisierung hochschmelzender Sesquioxid-Kristalle für hocheffiziente Laser im Dauerstrich- und Kurzpulsbetrieb im nahen und mittleren Infraroten Spektralbereich
- Erforschung neuer Pumpkonzepte von Übergangsmetall-dotierten Kristallen für breitbandig durchstimmbare Laser

### Prozesskontrolle für Lasermaterialbearbeitungsverfahren

Die Industrie befindet sich heute in einem technologischen Umbruch: Die fortschreitende Digitalisierung eröffnet dabei neue Möglichkeiten. So können im Rahmen von Industrie 4.0 Fertigungsprozesse optimiert und komplette Wertschöpfungsketten neu organisiert werden. So werden Produktivitätsgewinne im zweistelligen Bereich möglich. Eine wesentliche Voraussetzung für die Einführung weitgehend

digitalisierter Fertigungsprozesse ist eine stringente Überwachung der Produktionsprozesse. Ein Ziel ist dabei die Kontrolle und Dokumentation jedes Prozesses an jedem einzelnen Werkstück. Das ist eine logische Konsequenz in einer digitalen photonischen Produktion mit Losgrößen bis hinunter zum Einzelstück.

Obwohl der Laser als kontaktfreies Werkzeug hervorragend für digitalisierte Fertigungsprozesse geeignet ist, ist die Prozesskontrolle dabei noch lange nicht auf dem erforderlichen Niveau. Zum Beispiel wird bei Schweißprozessen oft noch vor und nach der Bearbeitung kontrolliert. Zukünftig wird die optische Nahtinspektion in die Bearbeitungsstation integriert. Kameras prüfen dabei die Nahtqualität in der Fügezone mit Methoden der industriellen Bildverarbeitung. Die Messtechnik für die Nahtkontrolle beim Laserschweißen wird kontinuierlich weiterentwickelt. Dafür werden zunehmend Ansätze aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz übernommen. Mit Machine Learning sollen neuartige Systeme lernen, Schweißfehler sicher zu erkennen und die Pseudofehlerrate zu senken. Neben dem Ziel der vollständigen Kontrolle des Schweißprozesses bei allen bearbeiteten Teilen ergibt sich die Möglichkeit, einen geschlossenen Regelkreis zu entwickeln. Das würde erstmals eine automatische Regelung von Laser-Schweißprozessen ermöglichen. Das wiederum wäre ein erheblicher Technologievorsprung gegenüber nationalen und internationalen Wettbewerbern.

Prozesskontrolle heißt im tieferen Sinn, dass man während eines Bearbeitungsschrittes genau sieht, was mit dem Material geschieht. Bislang war das bei den meisten Laserbearbeitungsverfahren schlicht unmöglich. Mit der optischen Kohärenztomografie (OCT) wird es erstmals möglich, mikroskopisch genau und zeitaufgelöst Lasermaterialbearbeitungsvorgänge zu überwachen. Allerdings funktioniert das Verfahren nur auf einem begrenzten Raum und muss daher über das Werkstück geführt werden, was wiederum einen erhöhten technischen Aufwand bedeutet. Das OCT-Verfahren funktioniert in Laboranwendungen bereits sehr gut. Hier geht es jetzt darum, die Technologie für geeignete Anwendungen zu qualifizieren und in die Serienfertigung zu überführen. Das Verfahren befindet sich derzeit in der industriellen Erprobung. Dort zeigt sich ganz klar, dass sowohl die Messtechnik als auch die Methode anwendungsspezifisch weiterentwickelt werden müssen.

Laser mit ultrakurzen Pulsen (UKPs) im Bereich unter 10 Pikosekunden sind noch nicht lange für die Industrie verfügbar. Da sie aber erhebliche Vorteile für die

Materialbearbeitung bieten, arbeiten derzeit mehrere Firmen und zwei große Forschungsverbünde an der Skalierung der vorhandenen UKP-Lasertechnik auf mittlere Leistungen im kW-Bereich. Dabei taucht ein weitgehend unterschätztes Problem auf: Beim Auftreffen des ultrakurzen Laserimpulses auf das Material kann Röntgenstrahlung entstehen. Kürzlich wurde systematisch dargestellt, bei welchen Laserintensitäten und bei welchen Materialien die Röntgenemission über den erlaubten Grenzwerten liegen kann. Aus diesen Erkenntnissen konnten erste Empfehlungen für Arbeitsschutzmaßnahmen abgeleitet werden.

Bei der weiteren Entwicklung des Schutzes vor Röntgenstrahlung aus UKP-Lasersystemen gibt es derzeit zwei Ziele: Einerseits müssen Standards auch für Maschinen mit Leistungen im kW-Bereich erarbeitet werden. Andererseits müssen diese Standards kommuniziert und umgesetzt werden. Um neue Standards für den Strahlenschutz an UKP-Lasern zu regeln, müssen weitere Forschungen durchgeführt werden. Die bisherigen und zukünftigen Ergebnisse müssen in nationale und internationale Standards eingebracht werden. Das erfordert eine intensive Kommunikation in der Branche mit Laserherstellern, Systemintegratoren und Nutzern. Bei ihnen müssen dann die Standards auch implementiert werden. Auch das wird eine weitere breite Debatte in der Community erfordern.

Um die Prozesskontrolle für Lasermaterialbearbeitungsverfahren in der Hauptstadtregion nachhaltig weiterzuentwickeln sind:

- die Inline-Prozesskontrolle beim Laserschweißen als optische Nahtinspektion in die Bearbeitungsstation zu integrieren und die Bilddaten mit Machine Learning auszuwerten und schließlich komplette Regelkreise zu ermöglichen;
- für die Anwendung des OCT-Verfahrens weitere Versuche und vor allem die Sammlung von Applikationsdaten notwendig;
- Strahlenschutz bei UKP-Lasern zu erforschen, Probleme mit Röntgenstrahlung zu kommunizieren und neue Standards im Arbeitsschutz zu etablieren.

## 7.2 Lichttechnik

Die Lichttechnik in der Region Berlin Brandenburg ist geprägt durch eine exzellente wissenschaftliche Basis sowie ein breites anwendungsnahes Know-how. So gibt es neben dem Fachgebiet Lichttechnik der TU Berlin, dem ältesten von insgesamt vier lichttechnischen Fachgebieten an deutschen Universitäten, zahlreiche im Markt hervorragend aufgestellte, innovative Unternehmen. Weltweit führende Messgerätehersteller und Hersteller sowohl von Allgemein- als auch von Spezialleuchten und Sonderkomponenten stellen sich den künftigen Herausforderungen, die sich durch die Verdrängung klassischer Leuchtmittel wie Glüh- und Entladungslampen durch Halbleiterlichtquellen ergeben. Hierbei erfolgt nicht nur eine Substitution alter Leuchtmittel, sondern es entstehen neue Leuchtmittel und Leuchten, die in ihrer Funktionalität stark erweitert sind, vollkommen andere Bauformen zulassen und ergänzende Sensorik integrieren können. Über die Erfüllung der reinen Beleuchtungsaufgabe hinaus können Kundennutzen und Wertschöpfung so gesteigert werden.

Neben der Umsetzung einer spektral, räumlich und zeitlich adaptierbaren Beleuchtung als eigentlicher Herausforderung moderner Lichttechnik eröffnet vor allem die immer weiter zunehmende Digitalisierung völlig neue Anwendungsmöglichkeiten. Dadurch, dass immer größere Datenmengen durch externe oder in Leuchten integrierte Sensoren erfasst, über Netzinfrastruktur übertragen und verarbeitet werden könnten, lassen sich weitere Märkte und Anwendungen erschließen. Besonders

in Smart-City-Kontexten gelten Lichtmasten als zentraler Infrastrukturknotenpunkt für die Übertragung von Daten.

Um die sich bietenden Chancen neuer Marktlösungen passgenauer, intelligenter und vernetzter Beleuchtungssysteme nutzen zu können, ist eine weitere Entwicklung technologischer Grundlagen sowie die Erarbeitung und Einführung flächendeckender Standards – gerade in Bezug auf Sensorschnittstellen, Datenkommunikation und Steuerung – entscheidend.

Weitere lichttechnische Entwicklungen finden sich im Bereich „horticultural lighting“; hier können spezielle Pflanzenleuchten die Produktion von frischen Lebensmitteln in Metropolen vor Ort oder die Anzucht anspruchsvoller medizinischer Pflanzen ermöglichen. Zudem gewinnt die optische Datenübertragung durch Licht (LiFi) an Bedeutung. Hierdurch ist bereits heute eine hochgenaue Positionierung autonomer Kleinstfahrzeuge in Lagerhallen möglich.

Neben der großen Innovationskraft der in der Hauptstadtregion ansässigen etwa 70 lichttechnisch agierenden Unternehmen und Forschungseinrichtungen bieten auch verschiedenste Test- und Experimentierfelder wertvolle Unterstützung für künftige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. So stehen beispielsweise auf dem LED-Laufsteg, einem Forschungs- und Demonstrationsgelände des Fachgebiets Lichttechnik der TU Berlin, spezielle höhenverfahrbare Masten zur Verfügung, mit denen Beleuchtungskonzepte erprobt, entwickelt und getestet werden können.





### Datengesteuerte Beleuchtungslösungen

Die Digitalisierung hält zunehmend Einzug in das Handlungsfeld Lichttechnik. Neben der reinen Beleuchtungsfunktion eines Beleuchtungssystems wird aufgrund des Infrastrukturcharakters auch die Funktion der Datenerhebung relevant. Über eine sensorgestützte Erhebung der Ist-Situation, entsprechende Auswerte-Algorithmen und die gezielte Ansteuerung der Leuchten können Lichtverteilungen immer besser, kontinuierlich und individuell an unterschiedlichste Umgebungsbedingungen und Nutzerbedürfnisse angepasst werden (Weiterentwicklung adressierbarer Beleuchtungslösungen).

Um die fortschreitende Digitalisierung für intelligente, ressourcenschonende und anwenderfreundliche Beleuchtung nutzen zu können, sind passende Sensor- und Steuerungslösungen in Beleuchtungssysteme zu integrieren und für zu definierende Anwendungsfälle auszulegen (Integration von Sensorik, Steuerung und Vernetzung). Hierbei ist nicht nur die Beleuchtung zur Wahrnehmung durch den Menschen relevant, sondern auch die Interaktion mit Sensoren autonomer Systeme. Datengesteuerte Beleuchtungslösungen können beispielsweise folgende Bereiche abdecken:

- Smart Home, Smart City und autonomes Fahren
- „visible light communication“ (VLC)
- Leuchten für den Lichtimmissionsschutz

Vorrangigstes Ziel ist die Erprobung verschiedener Sensor- und Steuerungslösungen, die über das heutige Angebot hinausgehen. Hier anwenderorientierte und zuverlässige Lösungen zu finden, ist entscheidend für den technologischen Vorsprung der lichttechnischen Firmen in Berlin und Brandenburg. Anschließend müssen die Lösungen im Rahmen der verschiedenen Anwendungsfälle validiert werden. Für die Realisierung von individuellen Lichtverteilungen spielen dabei die Möglichkeiten zur Adaptation von Freiformoptiken eine große Rolle.

In einem weiteren Schritt ist auch eine Vernetzung der Beleuchtung mit ganz anderen als lichttechnischen Anwendungen denkbar. Hierbei kann sogar eine Individualisierung der gesamten Wertschöpfungskette erfolgen. Beispielsweise könnten im Kontext Smart City über digitale Lichtmasterpläne sowohl die Planung und Beschaffung als auch der Ersatz und Rückbau von Straßenbeleuchtungsanlagen optimiert werden.

Um eine hohe Akzeptanz datengesteuerter Beleuchtungssysteme zu erzielen, muss nicht nur die technische Anwendbarkeit optimiert sein, die Systeme müssen einfach, kostengünstig und universell einsetzbar sein. Darüber hinaus müssen die Anwendungsmöglichkeiten im ständigen Austausch mit Standardisierungsgremien und ggf. gesetzgebenden Einrichtungen ausgelotet werden.

#### In den nächsten Jahren sollen somit

- spektral, räumlich und zeitlich adaptierbare Beleuchtungslösungen mittels moderner Halbleiterlichtquellen weiterentwickelt werden;
- Sensorik, Steuerung und Vernetzung in Beleuchtungslösungen integriert werden;
- Freiformoptiken weiterentwickelt und für moderne Beleuchtungslösungen zum Einsatz gebracht werden.

### Technologische Lösungen im Kontext von Human Centric Lighting (HCL)

Mit Entdeckung der „intrinsically photosensitive retinal ganglion cells“ im Auge konnte die Wirkung von Licht auf Gesundheit, Leistung und Wohlbefinden nachgewiesen und zum Teil erklärt werden. Künftige Beleuchtungslösungen im Kontext von Human Centric Lighting müssen daher nicht nur visuelle, sondern auch nicht-visuelle Aspekte der vom Auge aufgenommenen Strahlung berücksichtigen und sollen einen weiteren Schwerpunkt der Arbeiten im Handlungsfeld darstellen.

Welche Faktoren und Aspekte hierbei in welchem Ausmaß eine Rolle spielen, ist noch unklar. Denn die bisher durchgeführten Studien zeigen zum Teil widersprüchliche Ergebnisse. Hier gilt es, im Rahmen der lichttechnischen Forschung weitere Untersuchungen durchzuführen, um klare Einflussgrößen herauszufinden und daraus Maßzahlen ableiten zu können. Die Ergebnisse sollen einerseits in verbesserte Beleuchtungskonzepte und Lichtplanungen für Gebäude Einzug halten und andererseits im Produktentwicklungsprozess neuer Leuchten Anwendung finden.

Diverse Arbeitskreise in Berlin und Brandenburg (TU Berlin, OpTecBB e. V., LiTG, Gather around Light, Charité) beschäftigen sich bereits mit den verschiedenen Wechselwirkungen von Photonen auf die Physiologie des Menschen. Ziel ist es, dieses Wissen auszubauen, konkret für ein besseres Wohlbefinden einzusetzen und die entsprechenden Akteure in der Region weiter zu vernetzen.

Konkret sollen zum einen der Einfluss der Expositionsdauer und zum anderen der Einfluss der Lichtrichtung auf Gesundheit, Leistung und Wohlbefinden untersucht werden. Da Tageslicht durch seine hohe Intensität und vielfältige spektrale Zusammensetzung im Allgemeinen als Lichtquelle bevorzugt wird und somit als „Vorbild“ für die Innenraumbeleuchtung dient, sollen weiterhin Sensoren für die orts aufgelöste Charakterisierung von Tageslicht entwickelt und erprobt werden. Schließlich ist im Hinblick auf den demografischen Wandel vor allem die Anwendung von HCL-Lösungen für Senioren ein wichtiger Schwerpunkt. Daher sollen aus den Untersuchungen z. B. Empfehlungen für altersgerechtes Wohnen abgeleitet werden.

#### Zukünftig sollen

- nicht-visuelle Aspekte von Beleuchtung weiter erforscht werden;
- entsprechende Maßzahlen abgeleitet werden;
- die Berücksichtigung von Human Centric Lighting-Aspekten in der Produktgestaltung vorangetrieben werden.

### Beleuchtungslösungen für spezielle Anwendungen

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten im Handlungsfeld Lichttechnik soll auf der Untersuchung und Entwicklung von lichttechnischen Spezialanwendungen liegen, bei denen die Beleuchtungsaufgabe weit über ein reines „Sichtbarmachen“ hinausgeht. Zu nennen sind hier beispielsweise Beleuchtungslösungen für die Medizintechnik, für Verkehr und Logistik, für „vertical farming/horticulture“, für die Landwirtschaft, für multimediale Anwendungen sowie zur Unterstützung von Produktionsprozessen.

Entwickelt werden sollen vor allem spezielle technologische Lösungen, die für Spezialanwendungen in den Ländern Berlin und Brandenburg bedeutend sind, wie Tunnel-, Bahnsignal-, Flughafen- und Unterwasserbeleuchtung, Inspektionsbeleuchtung für „machine vision“, UV-Bestrahlung für spezielle Produktionsprozesse sowie Beleuchtung für medizinische Anwendungen (z. B. Endoskopbeleuchtung).

Die Herausforderungen hierbei bestehen zum einen in der Definition der entsprechenden lichttechnischen Anforderungen und zum anderen darin, die speziellen Gegebenheiten der jeweiligen Einsatzgebiete zu berücksichtigen. Beispielsweise müssen die eingesetzten Leuchtmittel und Leuchten zum Teil extremen Temperaturen, aggressiven Gasen oder hoher Feuchtigkeit standhalten oder sind erheblichen baulichen Einschränkungen, z. B. hinsichtlich Größe oder Form, unterlegen.

Um die sich ständig wandelnde Vielfalt der Spezialanwendungen zu überblicken, muss zeitnah der spezifische Bedarf ermittelt und strukturiert werden. Hierbei liefern die Vielzahl von KMU und Start-ups in der Region sowie das breit aufgestellte Netzwerk über alle Institute und Industriepartner ein gutes Fundament.

#### Zukünftig sollen

- herausfordernde lichttechnische Spezialanwendungen identifiziert und untersucht werden;
- entsprechende Spezialbeleuchtungslösungen entwickelt und in den Markt gebracht werden.

### Beleuchtungssysteme im Anwendungstest

Um entwickelte Beleuchtungslösungen und -systeme zu evaluieren, ist ein Test unter möglichst realen Bedingungen unabdingbar. Für den Bereich der Außenbeleuchtung gibt es hierfür in der Hauptstadtregion verschiedenste Testfelder. Neben der Forschungs- und Demonstrationsstrecke LED-Laufsteg des Fachgebiets Lichttechnik der TU Berlin und dem Testfeld für autonomes Fahren rund um den Ernst-Reuter-Platz sind hier z. B. auch das Gelände der STIC Wirtschaftsfördergesellschaft Märkisch Oderland mbH oder das Testfeld für ökologisch optimierte Beleuchtung im Westhavelland zu nennen.

Um die Potenziale der vorhandenen Testfelder voll ausschöpfen zu können, müssen diese zum einen weiter ausgebaut und zum anderen miteinander vernetzt werden. Auf diese Weise könnten unterschiedliche Testfelder ggf. auch in Kombination für Forschungs- und Entwicklungszwecke eingesetzt werden.

Konkret sollen die vorhandenen Testfelder in Berlin und Brandenburg genau definiert werden, um daran anschließend deren Sichtbarkeit nach außen zu steigern. Parallel wird eine Ausstattung mit modernsten Technologien (z. B. 5G) angestrebt.

Weiterhin soll ein zusätzliches Testfeld aufgebaut werden, um folgende lichttechnische Bereiche abzudecken: Innenraumbeleuchtung, Human Centric Lighting, AgriPhotonik sowie Materialwissenschaft. Hierfür ist der Aufbau eines LED-Himmels geplant.

Schließlich soll getestet werden, inwieweit auch virtuelle Umgebungen (VR/AR) für lichttechnische Untersuchungen und Simulationen geeignet sind.

#### Zukünftig sollen

- Lichttechnik-Testfelder in der Außenbeleuchtung identifiziert, weiter ausgebaut und miteinander vernetzt werden;
- neue Testfelder für weitere lichttechnische Fragestellungen erschlossen werden.

### 7.3 Biophotonik und Augenoptik

Biophotonik ist die allgemeine Bezeichnung für Anwendungen der Photonik in der Biologie. Diese reicht von Mikroorganismen über Pflanzen und Tiere bis zum Menschen und hier insbesondere bis zu Technologien für die medizinische Diagnostik und Therapie.

Im Bereich der Landwirtschaft adressiert die AgriPhotonik optische und photonische Methoden zur Bewertung und Überwachung von Bodenbiologie, Pflanzenwachstum bis zu landwirtschaftlichen Ernteerzeugnissen. Diese sind für eine ausgewogene Ernährung und damit für die Gesundheit der Bevölkerung elementar. Optische bzw. photonisch betriebene Diagnostik und Therapie haben wesentlichen Einfluss auf vielfältige Gesundheitsaspekte von der Ernährung bis zur molekularen Analytik von Genomen.

Die medizinische Optik beschäftigt sich mit den optischen Technologien, die zur Diagnose und Therapie in der Humanmedizin eingesetzt werden. Sie ist u. a. von herausragender Bedeutung für die Augenoptik und Ophthalmologie, also der Teil, der sich direkt mit dem Sehorgan Auge beschäftigt, und ihre Anwendungen. Die Medizinoptik ist für die Region Berlin Brandenburg von besonderer Bedeutung.

#### AgriPhotonik

Insbesondere in Brandenburg spielen Land- und Forstwirtschaft durch die große bewirtschaftete Fläche und die Anzahl an Betrieben eine herausragende wirtschaftliche und zunehmend auch ökologische Rolle. Das Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB) beforscht als national und international agierendes Forschungszentrum die Schnittstelle von biologischen und technischen Systemen mit dem Ziel einer nachhaltigen Intensivierung. Das Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ) betreibt pflanzenwissenschaftliche Grundlagenforschung mit Blick auf Anwendungsmöglichkeiten bei Gemüse- und Zierpflanzen und bei der Nutzung pflanzlicher Biodiversität. Die Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde erforscht z. B. die nachhaltige Produktion und Nutzung von Naturstoffen wie z. B. Holz. Zahlreiche Unternehmen der Optik und Photonik haben das Potenzial, neue Lösungen für „precision farming“ und „precision forestry“ anzubieten. Das Themenfeld AgriPhotonik stellt im Cluster Optik und Photonik einen neuen Bereich dar und hat zum Ziel, die Communities erstmalig und nachhaltig zu vernetzen und neue Lösungsansätze in thematischen Schnittstellen zu diskutieren und neue Produkte zu entwickeln.

Ein Schwerpunkt der Forschung liegt in der Entwicklung und Anwendung von photonischer Sensorik im weiten Spektralbereich zwischen Röntgen, sichtbarem Licht, Infrarot bis hin zu THz-Strahlung. Sie werden für die Zustandserfassungen von Böden und Pflanzen und eine Automatisierung der Datenerhebung (AgriPhotonik) genutzt. Die Verfügbarkeit von Sensordaten zur Abbildung physiologischer Prozesse in der landwirtschaftlichen Produktion und im Gartenbau ermöglicht es, in Echtzeit Informationen über Systemparameter wie Nährstoffversorgung, Pflanzenwachstum, Krankheitsdruck, Schädlingsbefall, klimatische Bedingungen, Wasserbedarf oder Fruchtreife zu erfassen. Diese Online-Analytik ist ein wichtiger Schritt für die individuelle und flexible Prozesssteuerung. Die in situ gewonnenen Informationen müssen in die Entwicklung komplexer physiologischer und physikalischer Modelle einfließen, die dann wiederum eine präzise Steuerung der Produktionsprozesse im Sinne einer nachhaltigen Intensivierung ermöglichen. Für die Entwicklung in Richtung Landwirtschaft 4.0 ist es wichtig, die gesamte Prozesskette zu betrachten. Hierfür werden Datenfusion und Big-Data-Analysen und stromsparende Sensorknoten mit Vor-Ort-Verarbeitung (Edge Nodes) in Betracht gezogen, um On-Farm Research unter den Bedingungen guter fachlicher Praxis zu ermöglichen.

Im Bereich der Forstwirtschaft werden unter dem aktuellen Begriff Forest 4.0 oder auch „precision forestry“ die Digitalisierung und der Einsatz von digitalen Geodaten, Algorithmen und spezifischen Analysemethoden zur automatischen Extraktion verschiedener fachspezifischer Parameter, Indikatoren und weiterer Informationslayer entlang der holzbasierten Wertschöpfungskette nachhaltiger Produktion nachwachsender Rohstoffe subsumiert. Diese Verfahren und Methoden beinhalten moderne digitale Geodaten-Infrastrukturen ebenso wie IT-basierte Prozesse zur automatischen, digitalen Erfassung und Verortung von Informationen innerhalb der Wertschöpfungskette vom produzierenden Wald zum verarbeitenden Werk. Im Rahmen der beginnenden Digitalisierung der Forstwirtschaft umfasst dies u. a. die Verwendung von mobilen Sensoren zur empirischen Datenerfassung in digitalen Punktwolken ebenso wie den Einsatz von Ernterobotern und Drohnen oder automatisierten Systemen sowie autonomes Fahren. Primäres Ziel von „Forest 4.0/precision forestry“ ist es, möglichst viele der bislang analog erfassten Parameter und Indikatoren entlang der Wertschöpfungskette Forst und Holz mittels moderner Sensorik zu erfassen und in digitalen Arbeitsprozessen und Verfahren zu verarbeiten. Mithilfe der Erfassung und Messung von Parametern soll die klassische Trennung zwischen



der biologischen Produktion, d. h. dem Warenlager Wald, und der technischen Produktion (d. h. z. B. dem Sägewerk) aufgehoben und ein medienbruchfreier Datenübergang ermöglicht werden. Beispiele sind hier die bereits bekannten photogrammetrisch-optischen, LiDAR- und Radar-Messverfahren zur Erfassung besonders der forstlich relevanten Parameter ebenso wie die Verwendung von Röntgen- und Tomographieverfahren zur Durchleuchtung des Rohproduktes Holz sowohl im noch lebenden Bestand als auch innerhalb des technischen Verarbeitungsprozesses.

#### Ziele:

- Entwicklung und Anwendung intelligenter photonischer, ggf. vernetzter Sensorik zur Steuerung der landwirtschaftlichen Produktion und im Gartenbau sowie in der Forstwirtschaft

### Medizinoptik

Die medizinische Optik beschäftigt sich mit den optischen Technologien, die zur Diagnose und Therapie in der Humanmedizin eingesetzt werden. Dabei befindet sich die medizinische Optik u. a. in dem Spannungsfeld, einem steigenden altersbedingten Versorgungsbedarf möglichst frühzeitig und präzise mittels optischer Diagnostik zu begegnen und auf dieser Basis über die vielfältigen Therapiemöglichkeiten entscheiden zu können. Multimorbide geriatrische Patienten stellen einen beträchtlichen Anteil dar. In Berlin und Brandenburg ist traditionell eine Vielzahl an wissenschaftlichen Einrichtungen (z. B. Charité, PTB, Beuth Hochschule für Technik, TH Brandenburg) und Unternehmen zu finden, die sich mit der Erforschung, Entwicklung, Produktion, Anwendung und Miniaturisierung medizinischer Geräte beschäftigen.

Der Bereich der medizinischen Optik befindet sich aber in den letzten Jahren in einem Umbruch. Viele Jahrzehnte etablierte Einrichtungen und Unternehmen sind als Ansprechpartner verloren gegangen oder wurden aufgelöst bzw. Akteure haben sich einem Generationswechsel unterzogen. Dafür hat sich ein spezieller Bereich der Medizintechnik, die ophthalmologische Gerätetechnik, in den letzten Jahren stark entwickelt, sodass neue Unternehmen und Forschungsfelder in der Region entstanden sind.

In den nächsten Jahren wird sich das Handlungsfeld auf die Bereiche ophthalmologische Gerätetechnik und Metrologie für die Labordiagnostik konzentrieren und durch weitere Analyse des Handlungsfelds ggf. weitere Themenfelder mit Potenzial hinzunehmen.

Technologisch sind in der ophthalmologischen Gerätetechnik verschiedene Entwicklungstrends festzustellen, wie die Funktionserweiterung, Multifunktionalität, Konnektivität und die Entwicklung mobiler Geräte. Dabei ist vermehrt ein Technologietransfer von der Ophthalmologie in die Optometrie festzustellen. Auch lässt sich die Prüfung der Technologien aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz feststellen. So werden tiefe neuronale Netze zur Analyse von Fundusaufnahmen entwickelt. Die Bildanalyse mit tiefen neuronalen Netzen hat sich durch neue Algorithmen und Rechenleistung in den letzten Jahren stark entwickelt, jedoch ist das Potenzial für die automatisierte Erkennung von krankhaften Veränderungen in Fundusbildern bisher nicht ausgeschöpft. Ein Forschungsschwerpunkt liegt deshalb auf der Ableitung kardiovaskulärer Risikomarker aus Fundusaufnahmen. Diese Erkenntnisse können darüber hinaus genutzt werden, um die Entwicklung mobiler Diagnosesysteme (self tracking) in der Region noch stärker voranzutreiben. Auf einer funktionalen Produktentwicklungsebene wurden in den letzten Jahren in der ophthalmologischen Gerätetechnik enorme Fortschritte erzielt. Diese Entwicklungen, die vornehmlich für den ophthalmologisch-diagnostischen Einsatz anvisiert wurden, bergen ein enormes Potenzial in der Bestimmung und Auswahl von Korrektions- und Kontrollverfahren für Ametropien. Dies erfordert aber eine Evaluation dieser Technologien anhand physikalisch-optischer Augenmodelle und eine Anpassungsentwicklung bezüglich optometrischer Anwendungsanforderungen.

Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Metrologie für die Labordiagnostik. Ziel ist es, die Vergleichbarkeit der Ergebnisse laboratoriumsmedizinischer Untersuchungen zu gewährleisten und zu verbessern. Hierfür werden Forschungsarbeiten zur Entwicklung von Referenzmessverfahren zur Bestimmung von Referenzmesswerten für die gesetzlich vorgeschriebene Qualitätssicherung laboratoriumsmedizinischer Untersuchungen sowie für Hersteller von In-vitro-Diagnostika durchgeführt. Diese Arbeiten fokussieren sich ganz wesentlich auf optisch gestützte durchflusszytometrische und mikroskopische Messverfahren sowie optische Verfahren zur quantitativen Nukleinsäurediagnostik von Zellen und Biomolekülen. Daneben werden optisch-spektroskopische Mess- und Bildgebungsverfahren für die nicht invasive quantitative Bestimmung wichtiger Biomarker (z. B. Hämoglobinkonzentration, Sauerstoffsättigung) im Gewebe sowie zur In-vivo-Darstellung krankheitsbedingter molekularer Veränderungen mithilfe fluoreszenzmarkierter Sonden entwickelt und untersucht.

#### Ziele:

- Evaluierung und Entwicklung KI-basierter und mobiler Diagnosesysteme
- Entwicklung neuer optometrischer Analysemethoden auf der Basis moderner Ophthalmotechnologien
- Entwicklung von optischen Referenzmessverfahren für laboratoriumsmedizinische Untersuchungen sowie für Hersteller von In-vitro-Diagnostika

### Augenoptik

Die Augenoptik ist ein Teil der medizinischen Optik und für die Länder Berlin und Brandenburg von besonderer Bedeutung. Mit der Gründung einer optischen Industrieanstalt in der brandenburgischen Stadt Rathenow legte Johann Heinrich August Duncker im Jahr 1801 den Grundstein für die industrielle Optikfertigung in Deutschland. Zu seinen ersten Produkten gehörten Mikroskope und Brillen.

Heute arbeiten in der augenoptischen Industrie in Berlin und Brandenburg aktuell etwa 1.400 Personen. Weiterhin gibt es ca. 510 Augenoptikerbetriebe in Berlin und ca. 320 in Brandenburg mit schätzungsweise 2.500 Beschäftigten. Hinzu kommen etwa 415 Augenärzte in Kliniken und Praxen (ca. 300 in Berlin und ca. 115 in Brandenburg) mit schätzungsweise 1.250 Beschäftigten. Die Kompetenzfelder reichen dabei von Brillenlinsen, Sonderlinsen, Kontaktlinsen, Intraokularlinsen, Brillenfassungen und -design, vergrößernden Sehhilfen, augenoptischer Werkstatttechnik und Laden-design bis hin zu innovativen Aus- und Weiterbildungskonzepten sowie Vermarktungsstrategien.

Zu den aktuellen Herausforderungen im Bereich der Augenoptik und auch der Ophthalmologie zählt, dem steigenden Bedarf an augenoptischen und augenärztlichen Leistungen mit einer adäquaten Versorgung nachzukommen. Heute werden an die visuelle Leistungsfähigkeit hohe Anforderungen gestellt und diese Anforderungen bestehen bei einer steigenden Lebenserwartung auch noch bis ins hohe Alter. Gleichzeitig nehmen die Prävalenz der Myopie und der altersbedingte Versorgungsbedarf zu. Diesen höheren Anforderungen stehen durch den demographischen Wandel weniger Versorgungsmöglichkeiten gegenüber. Die Engpässe in der Versorgung von Patienten zeigen sich insbesondere in Flächenländern wie dem Bundesland Brandenburg.

Eine andere Herausforderung ist die Veränderung von Berufsbildern bzw. Tätigkeitsbereichen. Der Beruf des Augenarztes und des Augenoptikers sowie die Industrie zur Entwicklung und Produktion von Sehhilfen sind fertigungsorganisatorisch eng miteinander verflochten. So werden bei einer klassischen Brillenversorgung erst die notwendigen Fertigungsdaten durch den Augenoptiker oder Augenarzt bestimmt und die Brillen entsprechend dieser Verordnung individuell angefertigt und angepasst. Diese klassischen Tätigkeitsbereiche verändern sich bei einer gleichzeitigen Zunahme der Diagnose-, Korrektions- und Therapiemöglichkeiten. Dies stellt eine gesamte Branche vor vielfältige

Herausforderungen bezüglich ihrer Aus- und Weiterbildung, Fertigungsorganisation, Fertigungstechnologien und Dienstleistungsangebote.

Aus diesen branchen- und regionsspezifischen Herausforderungen leiten sich folgende Ziele ab: Im Bereich der augenoptischen und ophthalmologischen Versorgung sollen die Qualität und Quantität der Versorgung verbessert und die Optometrie noch stärker flächendeckend etabliert werden. In den technologischen Bereichen sollen die Qualität und Individualität gestärkt werden, um sich im Markt weiter abzuheben.



© WFBB/Michael Jungblut

Zur Umsetzung dieser Ziele ist das Potenzial neuer diagnostischer, wie zum Beispiel optischer Biometer oder Tomographen, und therapeutischer, wie zum Beispiel die lasergestützte Phakoemulsifikation, Verfahren zu evaluieren. Auf dieser Potenzialanalyse aufbauend sind neue Untersuchungs- und Versorgungsmöglichkeiten für optometrische und ophthalmologische Dienstleistungen, wie z. B. ein Refraktionsmonitoring, abzuleiten. Die angebotenen Leistungen müssen insbesondere an die berufsspezifischen und regionalen Anforderungen angepasst sein. Um die Optometrie stärker in der Region zu etablieren, müssen die Chancen dieses Angebots und der technologischen Möglichkeiten bei der Bewältigung der aktuellen Herausforderungen deutlicher herausgearbeitet werden. Des Weiteren muss an einer genaueren Definition des Berufsbilds sowie den Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten gearbeitet werden. Dazu müssen die Bildungseinrichtungen eine engere Kooperation aufbauen. Dieser Prozess kann gezielt durch Konferenzen im Handlungsfeld „Biophotonik und Augenoptik“ begleitet und unterstützt werden.

Auf dem Gebiet der Herstellung von Brillenlinsen werden neue Bearbeitungsverfahren entwickelt, um innovatives Brillenglasdesign zu realisieren. Hierbei gilt es insbesondere zu prüfen, welches Potenzial und welche Grenzen bisher der Brillenoptik fremde Bearbeitungsverfahren, wie das Ultrapräzisionsdrehen und -fräsen, in diesem Anwendungsfeld haben. Des Weiteren sind in diesem Segment die Qualitätssicherung und Digitalisierung von besonderem Interesse. Bezüglich der Digitalisierung unterliegen insbesondere die unternehmensinterne, produktionsbezogene technische Kommunikation sowie die unternehmensexterne, kundenbezogene Auftragskommunikation einem enormen Wandel.

#### Ziele:

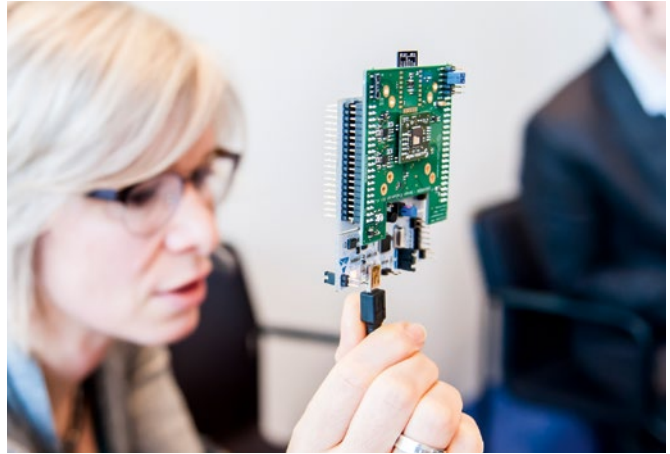
- Verbesserung der Qualität und Quantität der augenoptischen und ophthalmologischen Versorgung durch neue Untersuchungs- und Versorgungsmöglichkeiten
- Stärkere und flächendeckende Etablierung der Optometrie durch eine engere Kooperation der verschiedenen Bildungseinrichtungen
- Entwicklung neuer Bearbeitungsverfahren (Ultrapräzisionsdrehen und -fräsen) für Brillenlinsen

## 7.4 Photonik und Quantentechnologie für Kommunikation und Sensorik

Das übertragene Datenvolumen in den verschiedenen Kommunikationsnetzen wächst jährlich um ein Vielfaches an. Das technologische Fundament dafür sind die elektrischen und optischen Datensender und -empfänger sowie die Glasfasertechnologie. Die Bedeutung optischer Netze, die die benötigten Daten schnell, zuverlässig und sicher transportieren, wird künftig weiter zunehmen. Quantenkryptographie verspricht für Letzteres fundamental neue Lösungen. Berlin Brandenburg wird Stärken im Bereich der (quanten-) optischen und optoelektronischen Bauelemente für die Kommunikation und entsprechende Subsysteme in Vernetzung von Forschung und Industrie weiter ausbauen.

Allgemeine Trends wie IoT und Industrie 4.0 hängen mittelbar und unmittelbar von optischer Kommunikationstechnik in Verbindung mit Sensorik ab. Autonomes Fahren, Smart Cities, Smart Health – all diese Wachstumsmärkte sind auf eine große Vielfalt von Sensoren, oft auch optische Sensoren und die Datenübertragung durch optische Netze inklusive der dazugehörigen elektrooptischen Wandler oder auf freistrahl-optische Verbindungen angewiesen. So sind optische Kommunikationstechnik und verbundene Sensorik Kern einer intelligenten Infrastruktur: Je mehr Alltags- und Arbeitsprozesse auf Daten basieren, desto wichtiger wird die Zuverlässigkeit der Messung und Übertragung ebendieser Daten.

Sensorik ist die Messung von Daten durch Sensoren, die oft auf optischen Technologien basieren. Dies kann vom heute fast schon klassischen Bilderfassungssensor in Kameras bis zur Erfassung von Orts- und Lageinformationen durch optische Fasersensoren reichen. Auch hier versprechen Quantentechnologien neuartige Lösungen für präzise Messtechnik. Wesentlicher Faktor für die Marktakzeptanz sind Technologien für die Systemintegration, um die Kosten zu senken, die Zuverlässigkeit zu erhöhen und den Miniaturisierungsgrad zu steigern. Durch den Transfer von Erkenntnissen aus der Forschung in die Industrie in den Bereichen Quantensensorik, THz-Quellen, Plasmonik und photonische Kristallstrukturen auf der Ebene von photonisch integrierten Chips (PICs) werden neue Sensorsysteme ermöglicht.



© WFBB/David Marschalsky

„Photonik und Quantentechnologie für Kommunikation und Sensorik“ ist in der Hauptstadtregion sehr gut aufgestellt, die Optoelektronik ist hier ein weithin sichtbarer Schwerpunkt. Hier finden sich Weltmarktführer, international bedeutende Forschungsinstitute und hoch innovative junge Unternehmen. In der Region sind global operierende Unternehmen angesiedelt, die in ihren Systemen elektronische und optische Module der neuesten Generation einsetzen und weltweit vertreiben. Ebenso vorhanden sind in der Region Unternehmen, die Subsysteme entwickeln, fertigen und vertreiben bzw. die Schlüsselkomponenten aufbauen. In Forschungseinrichtungen der Region wird Grundlagenforschung bzw. anwendungsorientierte Vorlaufforschung betrieben. Diese Forschung wird von der Industrie durch Beschreibung der Ziele gestützt und über die Standardisierung weltweit synchronisiert. Eine breite industrielle Basis für die Subsysteme und die Sensorik sind KMU in Berlin und Brandenburg.

Da Technologieführerschaft häufig an der Schnittstelle von Wirtschaft und Wissenschaft entsteht, werden im Schwerpunkt „Photonik für Kommunikation und Sensorik (PhoKoS)“ regelmäßige themenspezifische Treffen aller Akteure im Cluster organisiert, die zu einem wechselseitigen Kennenlernen, Vertrauensaufbau und gemeinsamen Projekten und Produkten führen. Im Bereich der Quantentechnologien befinden sich derartige Strukturen im Aufbau.

### Photonische Systemintegration (chipintegriert und hybrid, InP-, GaAs-, GaN-, Si-basiert)

Der Einsatz photonischer und elektronischer Mikrosysteme in Kommunikation und Sensorik ermöglicht Sprunginnovationen. Die Basis dieser Systeme sind elektronisch und photonisch integrierte Schaltkreise – die Kopplung beider auf einem Chip inbegriffen –, die in Berlin und Brandenburg in unterschiedlichen Chipsystemen erforscht, produziert und weiterverarbeitet werden. Mit zunehmender Integration wird eine Verringerung des Platzbedarfs erreicht, bei gleichzeitiger Steigerung der Leistungsfähigkeit und einer Erhöhung der Zuverlässigkeit – so wird die Attraktivität für IoT und Industrie 4.0 erhöht.

Die technologischen Herausforderungen liegen zum einen im Bereich der mikroelektronischen Bauelemente und photonisch integrierten Schaltkreise (PICs) – sowohl monolithisch als auch hybrid- oder heterointegriert –, zum anderen bei der Bereitstellung einer kostengünstigen Aufbau- und Verbindungstechnik. Andersartige physikalische Prinzipien für Photonen statt Elektronen sowie die erhöhten Toleranz- und Zuverlässigkeitsanforderungen bedingen sowohl neue Systemkonzepte als auch neuartige Materialkombinationen und Strukturierungstechniken. Die Automatisierung der Herstellung und Assemblierung von optischen Bauelementen, komplexeren PICs und Systemen steht noch am Beginn ihrer Entwicklung. Das Kosteneinsparungspotenzial auf Systemebene ist dementsprechend hoch.

Berlin Brandenburg ist ein deutschlandweit führender Standort für Firmen und Forschungsinstitute in der Optoelektronik und Siliziumelektronik. Es gibt Firmen und Institute mit langjähriger und weltweit führender Expertise im Bereich der photonischen Komponenten, der Integrationstechnologien, der Aufbau- und Verbindungstechniken, des Packagings und der siliziumbasierten Mikroelektronik. Diese Position soll weiter ausgebaut werden.

Die wesentlichen technischen Ziele sind:

- Entwicklung von optischen Chips mit anwendungsspezifischer Performance, z. B. für höchste Datenraten, bei geringerem Leistungsverbrauch, höchsten Ausgangsleistungen oder schmalbandiger Emission
- Innovative mikro-optische Funktionsstrukturen wie Mikroresonatoren für biophotonische Interaktion und optische Messtechnik; refraktive, dispersive, beugende und plasmonische Elemente, z. B. für Augmented Reality (AR)
- Heterointegration von photonisch integrierten Schaltkreisen (PICs) und elektrooptischen ICs (ePICs) als Kombination unterschiedlicher Siliziumtechnologien mit anderen Halbleitermaterialien (GaAs, InP), Stapeltechniken, photonische 3D-Integration (z. B. für LiDAR)
- Hybride photonische Aufbau- und Verbindungstechniken auf Interposer und Leiterplatten oder anderen Trägern zur Kopplung elektrischer und optischer Signale durch integrierte Wellenleiter, faseroptische Komponenten, Mikrooptiken durch 3D-Druck
- Entwicklung von Systemen mit funktionalen Schnittstellen für Industrieelektronik, Land- und Forstwirtschaft, Bioanalytik, Medizintechnik, Robotik, Kommunikation und quantentechnologische Anwendungen inklusive der notwendigen schnellen und sicheren Datenübertragung
- Kostensenkung bei der Herstellung von optischen und elektronischen Komponenten und Systemen, insbesondere durch Automatisierung der Aufbau- und Verbindungstechnik und Modularisierung (Baukastensysteme)



Für den kommerziellen Erfolg der Akteure sind neben dem Management der Diversität durch den Ausbau der Vernetzung und der Förderung von Synergien entsprechende Anstrengungen erforderlich, um die für die jeweiligen Anwendungen kritischen Volumina zu erreichen. Hierfür ist der konsequente Aufbau von hoch automatisierter Fertigung und Assemblierung von optischen Komponenten und photonischen Systemen notwendig, wodurch nicht nur die Fertigungskosten reduziert werden, sondern insbesondere auch die Qualität und Ausbeute erhöht werden. Ein weiteres Augenmerk liegt auf der konsequenten Verringerung der Einstiegshürde für potenzielle Anwender. Dies geschieht idealerweise durch Angebote wie Multi-Project-Wafer Runs und durch die Bereitstellung ganzer Verwertungsketten wie sie z. B. im „Projekt PolyPhotonics“ Berlin entwickelt werden.



© WFBB/David Marschalsky

### Smarte vernetzte Sensorik und THz-Sensorik

Sensorik ist aus unserem Alltag bereits heute nicht mehr wegzudenken. Laserbasierte Abstands- oder Temperaturmessungen sowie Systeme zur Objekterkennung und Visualisierung sind bereits im Consumer-Markt etabliert. Der Erfolg der optischen Sensorik basiert auf ihren einmaligen Eigenschaften: Sie ist berührungslos, zerstörungsfrei und liefert eine hohe räumliche Auflösung im Vergleich zu konventionellem Radar oder Ultraschall. Die siliziumbasierte Elektronik ist bereits in den Giga- und THz-Bereich vorgestoßen. So lassen sich Objekte mit LiDAR, 3D-Sensorik und Machine Vision lokalisieren und erkennen. Dies ist jedoch nur ein kleiner Teil der Möglichkeiten, die das elektromagnetische Spektrum bietet. Optische Kohärenztomographie

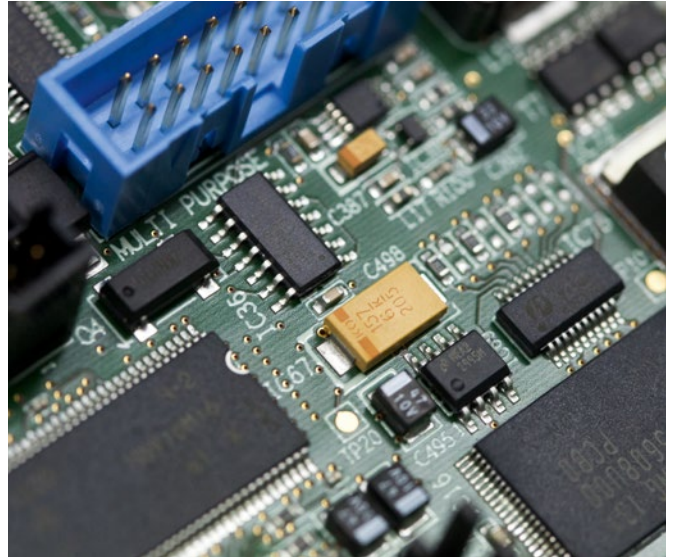
(OCT) und THz-Sensorik erlauben die Durchdringung verschiedener Materialien in Abhängigkeit von der Wellenlänge. So lassen sich tiefenaufgelöste 3D-Bilder für Anwendungen in der Medizintechnik und in der zerstörungsfreien Material- und Bauteilprüfung erstellen. Weiterhin ermöglicht der Einsatz von Lichtwellenleitern das Einbringen optischer Sensorik in das Bauteil selbst (Faser-Bragg-Gitter) und den flexiblen Einsatz in industriellen Prozessen.

Die intelligente Vernetzung einer Vielzahl von Sensoren ist der Schlüssel zur Realisierung von IoT, Industrie 4.0 und autonomem Fahren. Optische Sensoren nehmen durch die berührungslose und zerstörungsfreie Messung mit hoher räumlicher Auflösung eine Schlüsselfunktion ein. Daher liegt die größte Herausforderung der optischen Sensorik in der intelligenten Kombination unterschiedlicher Sensorplattformen zu komplexen Sensornetzwerken. Neben der Miniaturisierung der einzelnen Sensoreinheiten und der mechanischen, optischen und elektronischen Integration der Sensoren ist die Fusion der Sensordaten aus 3D-Sensorik, Abstands- und Temperaturmessung, OCT und THz-Sensorik der Schlüssel für den nächsten Innovationssprung.

In der Region Berlin Brandenburg sind sowohl eine große Zahl junger und innovativer KMU als auch eine Vielzahl etablierter Unternehmen aus dem Bereich der Sensorik ansässig. Zusammen mit den Universitäten und Forschungsinstituten ist die Region einer der innovativsten Orte für smarte Sensorik. Zukünftig soll die Zusammenarbeit zwischen Sensorherstellern, Integrationstechnologie und Datenverarbeitung weiter ausgebaut werden, um die Sensorfusion zu intelligenten und vernetzten kombiniert elektronisch-optischen Systemen zu ermöglichen.

Die wesentlichen technischen Ziele sind:

- Kombination unterschiedlicher Siliziumtechnologien mit anderen Halbleitermaterialien (GaAs, InP, ...) für optische Applikation und Leistungselektronik (GaN und SiC) unter Einsatz von Keramikträgern
- Miniaturisierung und Kombination von Industrial Vision, LiDAR, OCT, THz- und 3D-Sensorik, um modulare Sensorplattformen für die Integration in komplexe Sensornetzwerke zu ermöglichen
- Miniaturisierung der smarten (optischen) Sensorik zur Positionsüberwachung für die Anwendung in Automotive, Industrieautomation, Fertigungsüberwachung und Industrie 4.0
- Integration von THz-Systemen (300 GHz bis 10 THz) in das Portfolio der optischen Sensorik, um Anwendungen zur zerstörungsfreien Prüfung von komplexen Kunststoff-, Keramik- und 3D gedruckten Bauteilen zu ermöglichen. Zusammen mit Computer Vision und 3D-Bildrekonstruktion lässt sich so eine völlig neue zerstörungsfreie Messplattform entwickeln.
- Entwicklung spezieller Fasermaterialien, strukturierter Fasern und Hohlfasern zur Erschließung neuer Anwendungsfelder für die optische Sensorik
- Vernetzung optischer Sensoren zur Ausbildung intelligenter Sensornetzwerke, die sich mithilfe hochbitratiger Kommunikationssysteme mit geringer Latenz (IoT und 5G) zu cyberphysischen Sensorsystemen kombinieren lassen



© WFBB/Till Budde

Diese technischen Ziele sollen durch die Stärkung der Zusammenarbeit von KMU aus Optik und Sensorik untereinander sowie mit den ansässigen Universitäten und Forschungsinstituten ermöglicht werden. Im Bereich der THz-Sensorik ist die Hauptstadtregion in Forschung und Entwicklung exzellent aufgestellt. Zusammen mit der Expertise in der photonischen Integration können so miniaturisierte Sensorsysteme entwickelt und durch innovative Start-ups vermarktet werden.

### Entwicklung hochbitratiger, energieeffizienter dynamischer Kommunikationssysteme

Das Wachstum des Datenverkehrs im Internet ist ungebrochen. Die über Glasfasern im langreichweitigen Datenverkehr transportierte Datenmenge verdoppelt sich etwa alle zwei Jahre. Innerhalb der Großrechenanlagen („Datacenter“), d. h. in der Infrastruktur, die die Cloud bildet, ist das Wachstum sogar noch größer. Mit Industrie 4.0 und 5G werden die optischen und elektrischen Kommunikationssysteme auch immer mehr für die Kommunikation zwischen Maschinen benutzt. Dies bedeutet, dass neue Standards für die Reaktionszeit („Latenz“) realisiert werden müssen – Ziel ist hier 1 bis 10 ms. Als Konsequenz sollte für derartige Anwendungen das nächste Datacenter maximal 70 km entfernt sein. Diese sog. Edge Cloud wird zusätzlich zur bereits bekannten Cloud entstehen und stellt neue Anforderungen auch an die Photonik in Bezug auf Preis und Performance. Im Mobilfunk sorgt 5G für eine um mehrere Größenordnungen erhöhte Leistung und damit auch neue Anforderungen bezüglich der Versorgung von Funkmasten mit Daten. Hier öffnet sich Raum für spezialisierte Bauelemente („Radio-over-Fiber“).

Wesentliche Herausforderungen im Datenweitverkehr sind auf Komponentenebene immer schnellere optoelektronische Wandler, die die Glasfaser immer effizienter ausnutzen, und auf Systemebene die flexible Netzsteuerung, die z. B. mit Methoden der künstlichen Intelligenz/des maschinellen Lernens eine variable und damit immer bessere Auslastung der Netze in unterschiedlichen Szenarien bei immer besserer Versorgungssicherheit gewährleisten.

Im Datacenter ist die größte Herausforderung, die Routerchips der nächsten Generation mit einer Schnittstellendatenmenge von 50 TBit/s anzubinden. Zusätzlich muss die pro übertragenem Bit verbrauchte Energiemenge deutlich sinken. Im Mobilfunk müssen für den Betrieb im Außenbereich geeignete, d. h. robuste Komponenten entwickelt werden.

Die wesentlichen technischen Ziele sind:

- Entwicklung und Herstellung schnellerer optoelektronischer Wandler
- Anwendungen für und Implementierung von künstlicher Intelligenz in photonische Systeme (maschinelles Lernen)
- Softwareentwicklung für KI in selbstregulierenden, toleranten optischen Systeme (Kommunikation und Sensorik)
- Schnittstellen sowie Aufbau- und Verbindungstechnik für die Hardwareintegration

In Berlin und Brandenburg soll dafür

- die bereits vorhandene Expertise im Bereich der photonischen Integration (Leibniz-Institut für High Performance Microelectronics [IHP]/Frankfurt an der Oder, Heinrich-Hertz-Institut, Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik [HHI]/, TU Berlin und BTU Cottbus-Senftenberg) weiter ausgebaut werden und in weiteren Start-ups zur kommerziellen Verwendung geführt werden;
- in der KMU-getriebenen Messtechnik, die den eigentlichen Anwendungen generell zwei bis drei Jahre voraus sein soll, neue Felder erschlossen werden;
- im Rahmen von 5G-Testfeldern der Anschluss von Funkmasten mit neuen optischen Methoden getestet werden;

Schlüssel hierfür ist die gute Koordinierung zwischen Institutionen und KMU, die durch eine Vielzahl von Workshops mit thematischen Schwerpunkten erreicht wird. Weiterhin ist bereits durch niedrigschwellige Angebote (Baukastensysteme, Multi-Project-Wafer Runs) der Aufwand zur Erstellung eines Prototyps deutlich reduziert worden – dies gilt es weiter auszubauen.



## Quantentechnologie

Ein zentrales forschungs- und wirtschaftspolitisches Ziel der europäischen Initiative „Quantum Flagship“ ist es, die wissenschaftliche Führungsrolle Europas im Bereich der Quantentechnologie in eine industrielle Perspektive zu übersetzen und Maßnahmen zu ergreifen, den Technologietransfer und die Kommerzialisierung von Quantentechnologien nachhaltig zu gestalten. Dieser Leitidee folgend wurden verschiedene nationale Programme – insbesondere auch in Deutschland – zur Förderung von anwendungsbezogenen Quantentechnologien initiiert. Die Region Berlin Brandenburg vereint ein einzigartiges Ökosystem aus Wissenschaft und Industrie, sie verzahnt insbesondere ein international sichtbares, forschungsstarkes Netzwerk im Bereich der Optik und Photonik. Miniaturisierte, robuste optische und elektrooptische Komponenten und Systeme zur Erzeugung, Manipulation und Verteilung von funktionalem Licht sind zentraler Baustein („building block“) für sämtliche Anwendungen der Quantentechnologie.

### Miniaturisierte Quantenkryptographiesysteme

Die abhörsichere Datenübertragung in Quantennetzwerken stellt ein zentrales Thema in der aufstrebenden Quantentechnologie dar. Sie basiert auf quantenmechanischen Prinzipien wie dem „No-cloning“-Theorem für Quantenzustände und verwendet einzelne Photonen als Informationseinheiten für die Übertragung von Quantenschlüsseln. Dadurch sind Quantenkryptographie-Protokolle im Gegensatz zu üblichen klassischen Datenübertragungsprotokollen wie beispielsweise dem RSA-Verfahren immun gegenüber „Angriffen“ von zukünftigen Quantencomputern.

Für die Implementierung von Quantenkommunikationsnetzwerken ist es von entscheidender Bedeutung, kompakte und nutzerfreundliche nicht klassische Lichtquellen zu entwickeln, die einzelne Photonen emittieren und auf einfache Weise in die bestehende Glasfaser-Infrastruktur integriert werden können. Äußerst attraktive Ansätze hierzu beruhen auf Halbleiter-Quantenpunkten, Defektzentren in Diamanten und neuerdings auch auf Emissionszentren in neuartigen 2D-Quantenmaterialien. Während die grundlegende Physik dieser Materialien bereits gut bis sehr gut verstanden ist, besteht die große Herausforderung aktuell und zukünftig darin, diese vielversprechenden Ansätze durch Quanten-Engineering in reale Produkte zu überführen, die direkt in (Quanten-) Kommunikationsnetzwerke integriert werden können. Erste Ergebnisse in dieser Richtung beinhalten beispielsweise eine autark operierende, fasergekoppelte Einzelphotonenquelle auf Basis eines Halbleiter-Quantenpunktes.

Darauf aufbauend ist es von eminenter Bedeutung, kurz- bis mittelfristig voll funktionsfähige Quantennetzwerke auf Basis grundlegender Komponenten wie Einzelphotonenquellen und Einzelphotonendetektoren zu implementieren. Hierzu können verschiedene Netzwerkarchitekturen in Betracht gezogen werden. Einfache Ansätze beruhen auf Freistrahl-Punkt-zu-Punkt-Netzwerken, mit denen urbane Quantenkommunikationsstrecken von einigen 100 m bis zu wenigen Kilometern realisiert werden können. Darüber hinausgehend lässt sich Punkt-zu-Punkt-Quantenkommunikation von 10 km bis etwa 100 km über Glasfaser-Strecken implementieren. Weiterführende Konzepte für multipartite und langreichweitige Quantenkommunikation erfordern komplexere Ansätze, die in der Regel auf der quantenmechanischen Verschränkung von Photonen beruhen und Measurement Device Independent Quantum Key Distribution (MDI-QKD), das Quanten-Repeater-Protokoll oder satellitenbasierte Quantenkommunikation umfassen.

Für all diese Entwicklungen und die dafür benötigten Komponenten bildet die Berliner KMU- und Forschungsinfrastruktur eine ausgezeichnete Brutstätte mit exzellentem Entwicklungspotenzial, welches zielgerichtet durch Netzwerkbildung und großvolumige Fördermaßnahmen gefördert werden sollte (bzw. muss).

### Quantensensorik

Die Quantensensorik nutzt die quantenmechanischen Eigenschaften von Photonen und Materie, um physikalische Größen präzisionsspektroskopisch mit bisher unerreichter Empfindlichkeit und/oder Genauigkeit zu messen. Quantensensoren werden eingesetzt z. B. für die sub-Wellenlängen-aufgelöste Vermessung sowohl schwächster als auch stärkster elektrischer und magnetischer Felder, für die inertielle Navigation in Bereichen ohne Zugang zu Satelliten-Navigationssystemen (GNSS), für die Exploration von Bodenschätzen und für die Überwachung des Grundwasserspiegels (Klimamonitoring). Sie ermöglichen in Zukunft auch eine noch genauere und stabilere Realisierung der Zeiteinheit (optische Atomuhr), die für GNSS oder das „high-speed trading“ relevant ist.

Quantensensoren sind komplexe Systeme, deren Technologiereife jedoch in Ansätzen schon im Einsatz außerhalb des Labors und sogar auch im Weltraum demonstriert werden konnte.

Das stellt einen vielversprechenden Ausgangspunkt für einen erfolgreichen Technologietransfer und eine nachhaltige Übersetzung in eine industrielle Perspektive dar. Eine hochwertige Wertschöpfungskette, welche die erforderlichen Komponenten und Fertigungskompetenzen bereitstellen kann, ist hierbei von zentraler Bedeutung. Wegen des Bezugs zur optischen Spektroskopie spielen dabei photonische Komponenten und Systeme (z. B. kohärente Strahlquellen, Modulatoren, optische Empfänger, optomechanische System zur Strahlkonditionierung) eine zentrale Rolle. Eine Nutzung der Quantensensorik außerhalb optischer Labore erfordert die Entwicklung von Konzepten und Technologien, die (1) eine Miniaturisierung hochkomplexer Systeme ausgehend von bestehenden Ansätzen ermöglichen, die (2) einen Einsatz der Quantensensoren auch unter widrigen Umweltbedingungen erlauben und die (3) eine Fertigung unter marktwirtschaftlichen Randbedingungen zulassen. Letzteres geht einher mit einem steigenden Fachkräftebedarf auf dem interdisziplinären Gebiet der Quantentechnologie. Insbesondere auch kleine und mittelständische Unternehmen müssen mit den einschlägigen Hochschulen und Forschungseinrichtungen für Aktivitäten im Bereich der Quantentechnologie in Kontakt gebracht werden.

Die in der Region Berlin Brandenburg ansässigen Forschungseinrichtungen verfügen über alle für eine Industrialisierung der Quantentechnologien notwendigen Technologiekompetenzen. Die ansässigen Hochschulen steuern in ausgewählten Anwendungsbereichen (z. B. Quantenkommunikation, Quantensensorik) die Kompetenz im Bereich der Konzeptentwicklung, Technologievalidierung und Anwendung bei. Durch die bereits über viele Jahre stattfindende regionale Vernetzung zwischen Forschungseinrichtungen und Industrie sind inzwischen in der Region auch KMU ansässig geworden, die einzelne für quantentechnologische Anwendungen relevante Komponenten bereits heute entwickeln und fertigen und damit internationale Sichtbarkeit erlangt haben. Im nationalen Vergleich bietet die Region Berlin Brandenburg damit beste Voraussetzungen für den Aufbau eines regionalen Industrieclusters „Quantenoptische Komponenten und Systeme“ durch den Ausbau der bereits bei den Unternehmen der Region stattfindenden Aktivitäten, insbesondere aber auch durch die Gründung von Unternehmen, die sich auf die Anwendungen der Quantentechnologien fokussieren.

Um das Entstehen eines regionalen Industrieclusters *Quantenoptische Komponenten und Systeme* zu erreichen, müssen die folgenden technischen und strukturellen Maßnahmen ergriffen werden:

- Entwicklung anwendungsspezifischer photonischer Bauelemente (Emitter, Modulatoren, Receiver)
- Entwicklung von Methoden und Technologien (Chip-Level-Integration, Heterointegration, Mikrointegration), die eine Integration umfangreicher, sehr unterschiedlicher photonischer und nicht-photonischer Funktionselemente in einer Komponente mit kleinem Formfaktor ermöglichen; Beispiel: vollständig halbleitertechnologisch realisierte Komponente, die einen Laser, einen Modulator, eine Mikro-Gaszelle und einen Receiver enthält (System-on-a-Chip-Lösungen, hier ein Gaszellen stabilisierter schmalbandiger Laser)
- Automatisierung der (hybriden) Assembly photonischer Komponenten und Systeme mit einer Genauigkeit, die jene der bereits in der Telekommunikation etablierten Verfahren um eine Größenordnung übertrifft ( $\lambda < 100 \text{ nm}$ )
- Für ausgewählte Anwendungsfelder: Realisierung von Proof-of-Concept-Demonstratoren, um eine Validierung sowohl von Konzepten der Quantentechnologien als auch von spezifischen Fertigungstechnologien durch Industrieakteure zu ermöglichen
- Netzwerkbildung: Um eine thematische Steuerung der F&E-Aktivitäten bei den Forschungseinrichtungen zu gewährleisten und einen Know-how-Transfer in die Industrie sicherzustellen, ist eine enge Vernetzung von Partnern aus der Industrie und der universitären und außeruniversitären Forschung zwingend erforderlich.
- Gründung von Quantentechnologie-Start-ups: Noch gibt es nur sehr wenige Industrieakteure, die als zentrales Ziel die Entwicklung z. B. von Quantensensoren verfolgen. Die Region Berlin und Brandenburg stellt bereits heute ein optimales Ökosystem für ein Unternehmen dar, das quantenoptische Systeme für Anwendungen in der Quantensensorik, -netzwerktechnologie oder -kommunikation entwickeln und vermarkten möchte.

## 7.5 Optische Analytik

Moderne optische Analytik bietet und verbessert kontinuierlich Verfahren zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der chemischen Zusammensetzung, Struktur und Morphologie von natürlichen und technisch hergestellten Substanzen sowie des Zustands von Objekten. Die Verfahren stützen sich auf die Nutzung eines breiten Spektralbereichs, vom THz-Bereich, Infrarot- über den sichtbaren und UV-Bereich bis hin zum Röntgenbereich. Dadurch können sehr unterschiedliche und komplementäre Informationsgehalte gewonnen werden. Entsprechend breit ist auch der abgedeckte Empfindlichkeitsbereich, der in Abhängigkeit von der Methode von einer rein qualitativen Fingerprintanalyse von Hauptkomponenten über Struktur- bis hin zur Ultraschallanalytik reicht.

Optische Analytik ist außer in materialwissenschaftlichen Anwendungen auch in verschiedensten physiko-/biochemischen Umgebungen, der zerstörungsfreien Prüfung sowie dem Monitoring von Anlagen anwendbar, hochempfindlich und schnell. Etablierte Verfahren der optischen Analytik werden aufgrund der fortwährend wachsenden Anforderungen in der Technologie und Forschung stetig weiterentwickelt. Zusätzlich werden neue Methoden der nichtlinearen Optik, nichtlinearen Mikroskopie und zeitaufgelösten Spektroskopie anwendungsnah einsetzbar. Aktuell wird optische Analytik insbesondere in der Biotechnologie, Lebensmittelproduktion, Biomedizin, AgriPhotonik, den Materialwissenschaften und der Nanotechnologie eingesetzt.

Neben der hohen Informationsvielfalt und Adaptierbarkeit an verschiedene Prozessumgebungen machen der hohe Automationsgrad und Durchsatz, operando- und in-situ-Messfähigkeit unter industriellen Bedingungen, geringe Kosten und Wartungsaufwand optische Verfahren für die Kontrolle von industriellen Prozessen attraktiv. In diesem Bereich besteht in Berlin Brandenburg eine herausragende Kompetenz.

Durch seinen Zugang zu kleinsten räumlichen und zeitlichen Dimensionen ermöglicht das besondere Werkzeug Licht analytische Anwendungen für die Mikro- und Nanotechnologien. Die zunehmende Komplexität von Strukturen im mikro- und insbesondere im nanoskaligen Bereich sowie die Funktionalität neuer Materialien (Korrelation der Funktionalität mit den zugrunde liegenden physikalischen und chemischen Eigenschaften der Materialien) erfordern verbesserte und innovative Verfahren, die entscheidend für immer kürzer werdende Entwicklungszyklen von Produkten und Prozessen sind. Durch die Möglichkeit ortsempfindlicher Verfahren können hier auch komplexere Materialstrukturen einer Analytik unterzogen werden.

Neuere Entwicklungen betreffen die Leistungsparameter analytischer Methoden, wie Empfindlichkeit, räumliche Auflösung von kleinsten Strukturen bis zu großtechnischen Anlagen, Bildgebung, spektrale Information und Messgeschwindigkeit, sowie komplementäre Messtechniken bis hin zu Hybridmessverfahren.

Das direkte Zusammenwirken von Wissenschaft und Industrie ist dabei von großer Bedeutung. In der Region Berlin Brandenburg existieren gute Voraussetzungen durch die Konzentration von zahlreichen Forschungseinrichtungen und eine hohe Anzahl von Geräteherstellern sowie Anwendern der neuen analytischen Methoden. Die innovative Weiterentwicklung von analytischen Methoden und der dafür notwendigen Instrumentierung wird hier wechselseitig vorangetrieben.

**In-situ-/In-operando-Prozesskontrolle**

Die Präzisionskontrolle von Dünnschichtprozessen weist wegen ihres hohen Innovationspotenzials und der Entwicklung neuer anorganischer, organischer und hybrider Materialstrukturen besondere Relevanz auf. Sie findet sich in der Schlüsseldiagnostik für Nanotechnologien, Halbleitertechnologien und Materialwissenschaft wieder. Dabei ermöglicht sie die beschleunigte Entwicklung innovativer komplexer Materialsysteme.

Die technologischen Herausforderungen liegen dabei in der Weiterentwicklung von Optiken (FIR bis Röntgen), Lichtquellen (Miniaturisierung), Detektoren (Empfindlichkeit, Dynamik), Algorithmen zur Datenauswertung, Bildverarbeitung/Mustererkennung, Miniaturisierung zwecks Implementierung/Anpassung in/an Prozessabläufe und der Optimierung kostengünstiger Systeme für spezifische materialtechnologische Anwendungen.

In der Region sind entlang der gesamten Innovations- und Wertschöpfungskette Komponentenentwickler und Hersteller, starke Forschungspartner, komplementäre Techniken/Methoden an Großgeräten (Synchrotron) verfügbar sowie eine starke potenzielle Anwendergemeinschaft aus den Materialwissenschaften tätig. Vor diesem Hintergrund lassen sich die analytischen Verfahren hinsichtlich Ortsauflösung, Zeitauflösung, Sensitivität und des spektralen Informationsgehalts weiterentwickeln. In-operando-Methoden werden durch die Messung nicht nur des Endzustands, sondern des Verlaufs bei komplexen Prozessen z. B. in der Katalyse, bei Reaktionen an Ober-/Grenzflächen und in biologischen Prozessen neue Erkenntnisse liefern. Dies setzt teilweise voraus, dass in-situ Messtechnik in prozess- bzw. anwendungsspezifisch an die schwierigen Umgebungen angepasst wird. Auch Multiskalenmodellierung wird vorangetrieben werden, um bei der Interpretation der Messdaten zu helfen bzw. die optimalen Prozessbedingungen aus den Experimenten ableiten zu können.

**Weiterentwickelt werden:**

- Optisch Analytische Verfahren (im gesamten Spektralbereich) hinsichtlich Ortsauflösung, Zeitauflösung, Sensitivität und des spektralen Informationsgehalts durch Weiterentwicklung von Optiken, Lichtquellen, Detektoren, Algorithmen zur Datenauswertung, Bildverarbeitung/Mustererkennung
- Optisch analytische Verfahren dahin gehend, dass Sie sie in-situ-/in-operando-Prozesskontrolle ermöglichen, z. B. durch Miniaturisierung zwecks Implementierung/Anpassung in/an Prozessabläufe

### Mehrdimensionale Spektroskopie

Die mehrdimensionale Spektroskopie weist in Berlin Brandenburg ein hohes Innovationspotenzial mit weltweiten Alleinstellungsmerkmalen auf. Sie adressiert z. B. die gesellschaftlichen Herausforderungen des demografischen Wandels und der Gesundheitsversorgung in der medizinischen Diagnostik mit Multiplex-Raman-Spektroskopie oder in der minimalinvasiven Krebsdiagnostik. Weitere Anwendungen finden sich in der Prozessanalytik, Hochdurchsatzanalytik, AgriPhotonik, Oberflächenuntersuchung und Identitätsanalyse von Mineralien.

Die technologischen Herausforderungen liegen in der Beherrschung der komplexen Methode, den aufwendigen optischen Systemen, der mehrdimensionalen Bilddatenverarbeitung und -analyse, der Optimierung kostengünstiger Systeme für medizintechnische und andere Anwendungen bis hin zur Marktreife.

Starke Wachstumsmärkte sind z. B. durch die Nachfrage aus der klinischen Anwendung und von medizintechnischen Unternehmen dokumentiert.

In der Region sind sowohl die Grundlagenforschung (Astrophysik, Fernerkundung) als auch Faseroptik, optische Systeme, Detektortechnologie, Systemintegration, Bilddatenverarbeitung, medizintechnische Unternehmen sowie klinische Anwender stark repräsentiert.

In naher bis mittelfristiger Zukunft werden als Ziele gesehen:

- Weiterentwicklung quantitativer analytischer Verfahren hinsichtlich einer hohen spektralen sowie Orts- und Zeitauflösung
- Entwicklung von Prototypen für spezifische Anwendungen, z. B. für medizinische Anwendungen bzw. für die AgriPhotonik
- Methodenkopplung von komplementären Verfahren

### Hyperspektrale Bildgebung

Hyperspektrale Bildgebung und mehrdimensionale Datenanalyse stellen eine Schlüsseldiagnostik für Nanotechnologien und im Bereich der Medizin dar. Damit ermöglichen sie die Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen z. B. in den Bereichen Gesundheit, Produktsicherheit, Umwelt. Zudem sind sie Enabler für die Wirkstoffforschung, Nanotechnologien und Medizintechnik.

Die technologischen Herausforderungen liegen in den Optiken für kurzwellige Strahlung/Röntgenstrahlung, in Lichtquellen (Miniaturisierung), in Detektoren (Empfindlichkeit, Dynamik), in Algorithmen zur Bildverarbeitung/Mustererkennung für tomographische Techniken sowie in der Miniaturisierung zwecks Implementierung/Anpassung in/an Prozessabläufe. Starke potenzielle Anwender aus den Lebens- und Umweltwissenschaften sowie der AgriPhotonik sind in der Region vorhanden.

Die Weiterentwicklung und Kopplung von Auswertemethoden auch durch Optimierung von Algorithmen, z. B. für den Transfer zu medizinischen und halbleitertechnischen Anwendungen, sind hier wesentliche Ziele.

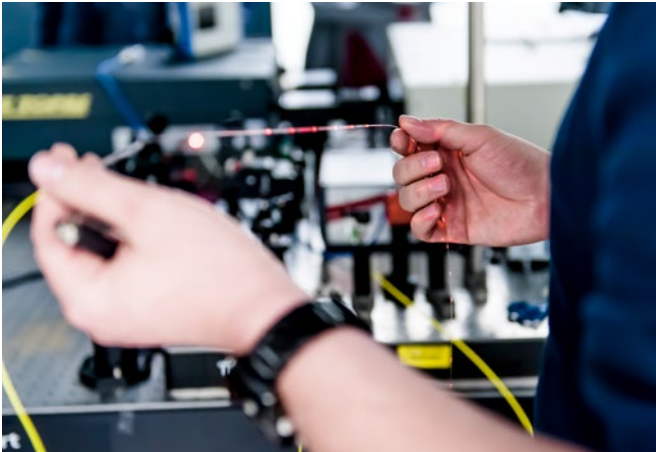
#### Zukünftig sollen

- Optiken für hyperspektrale Bildgebung insbesondere für kurzwellige Strahlung/Röntgenstrahlung,
- miniaturisierte Lichtquellen,
- Detektoren höherer Empfindlichkeit und Dynamik,
- Algorithmen zur Bildverarbeitung und Mustererkennung sowie
- miniaturisierte Systeme zwecks Implementierung/Anpassung in/an Prozessabläufe

entwickelt werden.



## Optische/faseroptische Sensorik



© WFBB/David Marschalsky

Die optische Sensorik und Fasersensorik sind ein Zukunftsmarkt mit großem Entwicklungspotenzial. Einerseits sind punktuelle Sensoren, z. B. für chemische Sensoren auf kleinen Skalen, wichtig, andererseits eignen sich Fasern auch gut für ortsverteilte Messungen von Dehnung, Temperatur oder Vibrationen auf großen Skalen für z. B. Infrastruktur oder technische Anlagen. Nach den bahnbrechenden Erfolgen in der Informations- und Kommunikationstechnologie ist bei der langreichweitigen Fasersensorik mit wesentlich stärkerem Einsatz bei der Überwachung von Gebäuden und Infrastruktur sowie in der Geotechnik zu rechnen.

Aktuelle Herausforderungen der optischen Sensorik liegen u. a. in den Bereichen Gesundheit (optische Diagnostik, POC, Pharmazie), Umwelt (Klima-/Umweltmonitoring, Recycling), Prozesssteuerung und -kontrolle. Hierbei sind insbesondere die optische Diagnostik, chemische Sensorik (in vitro und in vivo), Umwelttechnologien und Prozesstechnik hervorzuheben. Bei ortsverteilten Messungen entlang einer Glasfaser liegen Herausforderungen in performanteren, günstigeren und an Anwendungen angepassten Auslesegeräten und Algorithmen. Über die ortsverteilte Messung von Temperatur und Dehnung hinaus liegen die Anwendungsfelder mit speziellen Fasern aber auch bei Multiparametermessungen von Vibrationen und Schall, Feuchte, radioaktiver Strahlung oder z. B. Magnetfeldern.

In der Region sind mehrere KMU im Bereich Faseroptik (Herstellung, Konfektionierung), das BMBF-Zentrum für Innovationskompetenz innoFSPEC Potsdam sowie die Photonikforschung an mehreren Instituten vertreten. Ein besonders hohes Innovationspotenzial mit Alleinstellung zeigt sich im Bereich der Photonendichtewellen (PDW)-Spektroskopie sowie dem Echtzeit- und Online-Monitoring von Photobioreaktoren für optische Prozessanalysetechnologie (OPAT). Unter anderem am Fraunhofer HHI und an der BAM existieren Gruppen mit dem Fokus faseroptischer Sensoren, die zusammen mit KMU die Anwendung in sicherheitskritischen technischen Anlagen wie z. B. in Batteriespeichern, bei Infrastruktur wie Stromkabeln, Bahnstrecken oder für die seismische Überwachung erschließen.

### Ziele des Feldes in Berlin Brandenburg liegen in der

- methodischen Weiterentwicklung,
- Anwendung auf neue Applikationsfelder,
- Miniaturisierung z. B. mittels photonischer integrierter Schaltkreise als Sensor oder Spektrometer, um Techniken in eine robuste, anwendbare Form zu überführen.

### Machine Learning für optische Analytik

Machine Learning in der optischen Analytik umfasst eine große Breite von Anwendungen, in denen optische Instrumente und Analyseverfahren durch selbstlernende Algorithmen ggf. unter Einbeziehung von Vorwissen verbessert werden. Anwendungen in der Analytik umfassen z. B. die Bestimmung von Stoffgemengen aus komplexen Spektren verschiedener Stoffe. Aber auch intelligente Alarmtrigger, die nicht nur auf Schwellwerten basieren, die Klassifikation von Messwerten oder die schnelle Echtzeit-Datenanalyse sind Einsatzfelder neuronaler Netze in der Analytik.

Aktuelle Herausforderungen liegen in der Erweiterung der Anwendungs- und Einsatzszenarien für maschinelles Lernen in der optischen Analytik und der Schaffung einer Datengrundlage für das Training der Algorithmen. Auch wenn in einigen Bereichen der Optik, insbesondere in der Bildverarbeitung und in selbstfahrenden Autos, maschinelles Lernen hoch entwickelt ist, gibt es doch gerade auch für Nischenanwendungen großes Potenzial beim Einsatz von neuronalen Netzen, da diese heutzutage leicht programmiert werden können und performante Computer-Hardware günstig ist. Das wichtige Problem der Bereitstellung von Trainingsdaten kann auf verschiedene Weise angegangen werden. Einerseits produzieren aktuelle Messverfahren oft große Datenmengen, die bei bekannten Messbedingungen zum Training von Maschinenlernen eingesetzt werden können, und andererseits kann mit simulierten, synthetischen Daten aus physikalischen Modellen ein Training erreicht werden, das dann auf echte Messdaten angewandt werden kann.



© WFBB/David Marschalsky

Die Ziele, die in der optischen Analytik in Berlin Brandenburg durch maschinelles Lernen erreicht werden sollen, sind vielfältig. Maschinelles Lernen eröffnet einerseits völlig neue Anwendungsgebiete von multimodalen Spektren und im Imaging, die traditionellen Algorithmen nicht zugänglich sind.

#### Es sollen

- neuartige Auswertalgorithmen (neuronaler Netze) für hochkomplexe Datenanalyse im Bereich optischer Analytik (gesamter Spektralbereich) entwickelt werden;
- die Verarbeitungsgeschwindigkeit von großen Datenmengen erhöht werden, bedeutsam für z. B. Echtzeitanwendungen;
- neuronale Netze für automatische Echtzeit-Auswertung und Datenfusion verschiedener Sensorensysteme entwickelt werden.

Wichtig ist, dass im Rahmen der optischen Analytik eine Weiterentwicklung maschinellen Lernens im Sinne der Informatik meist nicht nötig ist.

Zur Erreichung der Ziele müssen bei vielen Partnern noch die Grundlagen und das Wissen für die konkrete Umsetzung geschaffen werden, was durch eine Vernetzung und einen Ideenaustausch z. B. in Workshops erreicht werden kann. Weiterhin soll von der Stärke der IT-Industrie in Berlin und Brandenburg profitiert werden, da Schlüsselfirmen auf dem Gebiet des maschinellen Lernens vor Ort forschen und Produkte und Dienstleistungen entwickeln. Hier wurden und werden Kontakte zu Microsoft, Amazon Core AI und Google hergestellt, um bei der Umsetzung dem von Softwaregrößen gesetzten Stand der Technik zu folgen. Durch die Breite von Anwendungsfällen und große Datenmengen in der optischen Analytik ist mit einer starken Zunahme maschinellen Lernens zu rechnen.



## 7.6 Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik

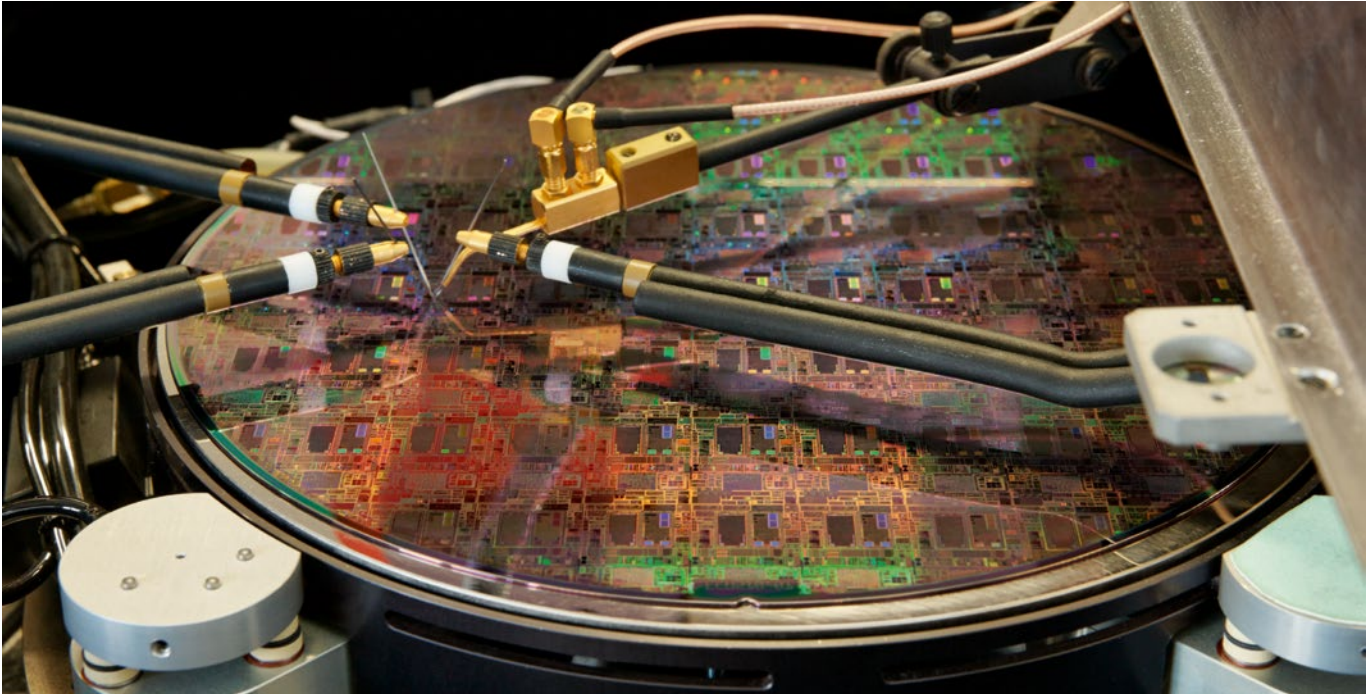
Die Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik sind wesentlicher Innovationsmotor für viele Produkt- und Wirtschaftsbereiche. Neue und steigende Ansprüche an Funktionen und Leistungen können nur durch Systemlösungen und Technologien der Systemintegration erfüllt werden. Ein wesentliches und kennzeichnendes Merkmal der Mikrosystemtechnik ist, dass unterschiedliche Materialien, Komponenten und Technologien auf kleinstem Raum miteinander verknüpft werden. Auf diese Weise können elektrische, mikromechanische, mikrooptische, chemische und bioelektrische Komponenten in einem System vereinigt werden. Insbesondere ist es in der Siliziumtechnologie gelungen, in Bereiche vorzudringen, die früher in der Mikroelektronik als physikalisch nicht realisierbar angesehen wurden. Hinzu kommt die in den letzten Jahren intensiv vorangetriebene Vernetzung der Systeme über neuartige Kommunikationsplattformen und das Internet. Die Einführung des 5G-Standards wird dies noch verstärken. Neben der Vernetzung spielt die Vor-Ort-Datenverarbeitung (Edge Computing und Edge Nodes) unter Nutzung intelligenter Algorithmen eine immer wichtigere Rolle, um in Echtzeit Reaktionen auszulösen und um Datenverkehr und Stromaufnahme zu begrenzen.

Zusammen mit einer fortschrittlichen Integration einzelner Bauteile zu immer komplexeren Systemen entstehen dadurch ganz neuartige Funktionen und Leistungsfähigkeiten – bis hin zu den bereits erwähnten intelligenten Produkten, die unser Leben sicherer, einfacher und bequemer machen. Die Mikrosystemtechnik stellt damit die notwendige Basis dar, um die technischen Systeme zu intelligenten Systemen, sog. Smart Systems, zu machen. Kleiner werdende Systeme und neue Technologien in der Systemintegration ermöglichen steigende Funktionalitäten in einem System und niedrigere Herstellungskosten. Neben der Automobilindustrie, Medizintechnik, Informations- und Kommunikationstechnologie, Industrieelektronik und dem Maschinenbau spielen die Mikrosysteme heute im Internet der Dinge, im Bereich Industrie 4.0, der Bioelektronik, aber auch in der tragbaren Elektronik und im Bereich Smart City und dem Gebäudemanagement eine tragende Rolle. Eine große Herausforderung bei der Entwicklung aktueller Mikrosysteme ist die weitere Reduzierung des Energieverbrauchs in allen Bereichen des Systems.

Die Technologien der Mikrosystemtechnik und die Nutzung der Mikroelektronik besitzen hierbei national und international nach wie vor eine Schlüsselrolle. Die entsprechenden Anwendungen besitzen eine erhebliche Hebelwirkung auf Innovationen und Wertschöpfung in vielen Industrie- und Dienstleistungsbereichen. Sie tragen maßgeblich zu einer Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit in diesen Industrien bei. Die Mikrosystemtechnik und die Mikroelektronik sind jedoch auch eine eigenständige und traditionsreiche Branche, die wichtige Investitions- und Konsumgüter liefert. Neben wenigen großen Unternehmen prägen vor allem kleine und mittelständische Unternehmen, oft von den Eigentümern geführt, diesen Industriebereich.

Die Region Berlin und Brandenburg beheimatet weltweit führende Forschungseinrichtungen und Unternehmen für Systemintegration und Mikrosysteme und gilt als drittstärkster Mikrosystemtechnik-Standort in Deutschland. Durch die hervorragende Vernetzung mit den Anwenderbranchen der Region können Potenziale erschlossen, Innovationen vorangetrieben und über die Industrie in die Anwendung gebracht werden und damit die Entwicklung intelligenter Systeme weiter vorangetrieben werden. Die Mikrosystemtechnik besitzt in Berlin und Brandenburg weltweit einen exzellenten Ruf. Grund sind vor allem die zahlreichen kleinen und mittelständischen Unternehmen und die exzellente Forschungsinfrastruktur in der gesamten Wertschöpfungskette. Die Stärken der Region liegen dabei vor allem in der engen Zusammenarbeit von Forschung und Industrie bei der Entwicklung und industriellen Umsetzung neuer Sensoren und der mikrosystemtechnischen Umsetzung neuer Sensorprinzipien im Halbleiter-, Mikrooptik-, Packaging- und Systembereich.

Eine enge Kooperation mit der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) und hier insbesondere der Berliner und Brandenburger Institute (Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik [FBH]; Leibniz-Institut für High Performance Microelectronics [IHP]; Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik [HHI]; Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration [IZM]) ermöglicht zudem eine weitere Nutzung umfangreicher Forschungskapazitäten und der Pilot- und Kleinserienfertigung, um Zukunftsthemen in den Bereich der Mikroelektronik, Optoelektronik und Mikrosystemtechnik anzugehen.



@ IHP 2009/U. Böttcher

### Hardware-Software-Co-Design

Der Begriff des Hardware-Software-Co-Designs definiert eine zeitgleiche Entwicklung von Hardware- und Softwarekomponenten eines digitalen Systems. Die Hauptidee dieser Designmethode besteht in der Erreichung der Synergie zwischen Hard- und Software, um die modernen eingebetteten Systeme zu optimieren, Gesamtkosten zu minimieren sowie die Markteinführungszeit zu reduzieren. Die Hard- und Softwareentwicklung sind hierbei sehr eng miteinander verflochten, damit sich die unterschiedlichen Eingangsparameter auch mit der Systemsoftware verarbeiten lassen. Das Hardware-Software-Co-Design bringt insbesondere Vorteile bei komplexen und vielfältigen Funktionalitäten.

Ziel beim Aufbau der Mikrosysteme in Verbindung mit der Mikroelektronik ist es, eine Systemhardware für Grundfunktionen zur Verfügung zu stellen und alle spezifischen Funktionalitäten über eine dynamische Hardware-Software-Ebene zu konfigurieren. Für die Hardwareentwicklung entsteht hierbei zunächst ein höherer Aufwand, für das finale System ermöglicht diese Vorgehensweise sehr gute Standardisierungschancen. Es ergeben sich dadurch eine höhere Flexibilität und letztlich niedrigere Kosten. Vorteil ist eine dynamische Anpassung mittels Hardware-Software-Designoptimierung.

Die offenen Forschungsfragen und Hindernisse der Entwicklung der Hardware-Software-Co-Design-Methodik, die in den nächsten Jahren bearbeitet werden sollen, sind:

- die Erhöhung der Komplexität der Hardware und Software
- ihre Aufteilung (Partitioning)
- der Mangel an Standards für die Regulierung der Entwicklungsprozesse
- die damit verbundene Integration der Lösungen von unterschiedlichen Marktteilnehmern
- ihre rechtzeitige Markteinführung

Einen großen Anwendungsbereich stellen hierbei Mikrosysteme mit verteilten Funktionalitäten (z. B. als multifunktionale Systeme) dar. Die aktuelle Entwicklungsrichtung des dynamisch zusammengestellten Chipdesigns (vgl. Chiplets) nutzt diese Design- und Technologieentwicklung aus.

### Tragbare Sensorik und Industriesensorik

Die tragbare Sensorik ist wesentlicher Bestandteil des gesamten Wearable-Bereichs. Neben Kleidung, Schmuck, Prothesen werden damit alle Dinge bzw. Hilfsmittel unterstützt, die sich mittels Mikrosystemtechnik vernetzen lassen. Ein Einsatz derartiger Systeme ist aber auch für messtechnische Zwecke in Bereichen der Umwelt, der Produktion oder der Medizin wahrzunehmen.

Schwerpunkte der Mikrosystemtechnik und Mikroelektronik sind hierbei die weitere Miniaturisierung der Systeme, der Aufbau von Multisensorsystemen z. B. als System-on-Chip oder System-in-Package und schließlich die optimierte Anpassung an die Anwendungsumgebung. So sollen die integrierten Systeme u. a. den Nutzer beim Tragen nicht stören oder gar stigmatisieren. Als Beispiel soll hier ein auf dem Trommelfell sitzendes Hörgerät genannt werden (BMBF-Projekt „Hörkontaktlinse“), das durch seine hoch miniaturisierte Form nicht sichtbar ist.

In den genannten Bereichen spielen optische sowie schall- und ultraschallbasierte Sensoren eine wichtige Rolle. Anwendungen umfassen die Pulsoxiometrie zur nicht invasiven Messung der Sauerstoffsättigung oder die intelligente Kontaktlinse zur Messung von Augendruck, Tränenflüssigkeit und Lidschlag. Auch die Pulsmessung zur Bestimmung von Herzschlag und Stress sowie die Messung des Blutdrucks sind zu erwähnen. Die Ultraschall-Blutdruckmessung durch ein tragbares Pflaster oder die Erfassung der verabreichten Medikamentendosis ist so möglich. Die Messgenauigkeiten stellen hierbei jedoch immer noch eine große Herausforderung dar.

Weitere Mikrosystemanwendungen im Life-Sciences-Bereich ermöglichen Körperzustandsmessungen oder intelligente Trinkflaschen, um festzustellen, ob ausreichend getrunken wurde, aber auch ein Aktivitäts- und Bewegungsmonitoring mittels Smartwatches und Herz-Kreislaufmessungen. Dazu kommen Messsysteme für bestimmte Nutzergruppen, u. a. für Schwangere (Handheld-Spektroskopie zur Sicherstellung der gesunden Ernährung) oder für Personen mit chronischen Lungenerkrankungen (vgl. COPD).

Energieversorgung ist im Bereich der tragbaren Sensorik immer noch ein grundlegendes Problem und bis heute nur suboptimal gelöst. Hierbei sind Low-Power-Systeme oder ein „energy harvesting“ erforderlich, die Energie für eine Woche und länger garantieren oder sogar völlig autonom

arbeiten können. Infolge der weiteren Miniaturisierung gewinnen auch kleinste Batterien u. a. für Implantate im Medizinbereich an Bedeutung.

Unter Industriesensorik mit Systemcharakter sind die Erfassung von Signalen, ihre Verarbeitung, die Informationsweitergabe und die Einbeziehung der Aktorik in industriellen Fertigungsprozessen zu verstehen. Dazu ist eine Weiterentwicklung der Verbindungstechnik zur Kopplung elektrischer und optischer Signale, basierend auf Höchsthäufigkeits-elektronik, Sensorik und Aktorik teilweise als SOC, SOP und MEMS erforderlich und es sind Technologieansätze für neue Anwendungsfelder wie Robotik/Fertigungsautomatisierung sowie schnelle und sichere Datenübertragung möglich, aber auch die Bestückung von LiDAR und Kameramodulen. In diesen Wachstumsmärkten sind sowohl Standardsensoren als auch kundenspezifische Lösungen zu entwickeln und zu produzieren. Bei Sensoren verfügt die Region über spezielle Kompetenzen im Bereich der Fertigung und Anwendung von Drucksensoren. Als Technologiebegleiter stellen der ansässige Sondermaschinenbau, spezialisiert auf Test- und Assembly-Equipment inklusive Steuerung für Frontend-, Backend-Prozesse, und Robotik-Applikationen bei der Umsetzung neuer Entwicklungen in der Produktion einen Standortvorteil dar. Für Anwendungen für Kernmärkte wie Industrieelektronik (Prozessüberwachung), Automotive (Motorsteuerung) und Luft- und Raumfahrt bedeuten erweiterter Temperaturbereich, extreme Umgebungsbedingungen und erhöhte Zuverlässigkeit eine weitere Herausforderung. Dazu liegen langjährige Erfahrungen von in der Region ansässigen Unternehmen vor.

Die Weiterentwicklung in diesem Themenfeld konzentriert sich in den nächsten Jahren auf

- die Miniaturisierung der Systeme,
- den Aufbau von Multisensorsystemen,
- die Verringerung der Energieaufnahme bzw. Verbesserung miniaturisierter Energieversorgungssysteme,
- die optimierte Anpassung an die Anwendungsumgebung.

### Smart City – Mikrosysteme für Anwendungen im mobilen Umfeld der Stadt

Die zunehmende Stadtbevölkerung und die Erhöhung ihrer Mobilität stellen die Städte vor große logistische Herausforderungen. Insbesondere der Bedarf nach zuverlässiger, sicherer und komfortabler Bewegung in der Stadt. Die modernen Städte nutzen die intelligenten Technologien, um die genannten Herausforderungen zu meistern, Kosten zu reduzieren, eine bessere Lebensqualität für die Bewohner zu gewährleisten und damit die Attraktivität zu erhöhen und das Leben gleichzeitig nachhaltiger zu gestalten.

Zu den großen Herausforderungen zählen insbesondere die Optimierung des Nahverkehrs und die Beherrschung der Verkehrsströme, die Digitalisierung von städtischen Abläufen für die Bürger mit der Vernetzung des Kiezes, der Ausbau der Kommunikationsinfrastruktur in der Stadt und die Erfassung von Daten für eine Vielzahl von Dienstleistungen und Umweltdaten u. a. in den Bereichen Müllentsorgung, Abwasser, Grünflächenpflege, Pollenanalyse und Feinstaubmessung. Robustheit gegenüber Umwelteinflüssen sowie Langzeitstabilität von Sensoren sind wesentliche Voraussetzungen, um zuverlässige Informationen über den lokalen Zustand des Umfelds zu erhalten. Moderne Städte erfordern die effiziente Nutzung von Ressourcen, sodass eine effektive Kreislaufwirtschaft entsteht. Ein Beispiel ist die Vermeidung der Verschwendung von Lebensmitteln.

Für die Optimierung des Verkehrs in der Stadt müssen (teil-) autonome Fahrzeuge und die Verkehrsinfrastruktur mit umfangreicher Sensorik ausgerüstet werden (u. a. LiDAR, Kameras, Radar, Ultraschallsensoren). Mögliche Maßnahmen gehen von intelligenten Beleuchtungen (Lichtsteuerung und WiFi), Parkplatzerkennung und -lenkung, Kollisionsvermeidung bis zu smarten Mülltonnen und einer automatisierten Grünflächenpflege (Bewässerung und Düngung). Mit der Einbringung einer großen Anzahl an Mikrosensoren können die Verkehrsströme und Infrastrukturabläufe aktiv in Abhängigkeit von der Anzahl der Fahrzeuge, Baustellen, Lärm, Feinstaub, CO<sub>2</sub> etc. gesteuert und damit der öffentliche und private Verkehr optimiert werden. Die Mikrosysteme ermöglichen hier neben einer Präsenzsensoren für Fahrzeuge auch Partikel-, Lärm- und Lichtmessungen.

Eine ganz andere Möglichkeit besteht im Einsatz von (automatisierten) Drohnen, um neben Verkehrs- und Besucherströmen auch die Umweltparameter zu erfassen.

Portable mobile optische Analytik (z. B. durch Nahinfrarotspektroskopie oder THz-Spektrometer) ermöglicht es, auch den Materialkreislauf in Städten zu optimieren. So kann der Konsument durch portable erschwingliche Messgeräte zur Frischedetektion von Lebensmitteln einen Beitrag zur Vermeidung von Lebensmittelverschwendung leisten. Im Bereich der Mikrosystemtechnik müssen miniaturisierte Sensoren und Multisensoren entwickelt werden, um Pollenkonzentrationen (Infos für Allergiker), Fein- und Feinstaub, Gaskonzentrationen in der Luft (Stickoxide, Kohlenmonoxide, Schwefelgehalte) und Partikel und Mikroplastik im Abwasser zu ermitteln.

#### Ziele sind:

- Verbesserung der Robustheit gegenüber Umwelteinflüssen sowie Langzeitstabilität von Sensoren
- Entwicklung leistungsfähiger Sensoren und vernetzter Sensorsysteme für (teil-)autonome Fahrzeuge und die Verkehrsinfrastruktur (LiDAR, Kameras, Radar, Ultraschallsensoren, Gassensoren, faseroptische Sensoren, IR Sensoren, ...)
- Entwicklung portabler mikro-optischer Analytik (z. B. Nahinfrarotspektroskopie oder THz-Spektrometer) für Materialkreisläufe in Städten



### Mikrosysteme zur Optimierung im Gebäudemanagement

Die Mikrosystem-basierte *intelligente Gebäudeautomation* ist eine der Schlüsselkomponenten des Konzepts der Zukunftsstadt. Die intelligenten Gebäudetechnologien mit einer Vielzahl an Sensoren und Aktoren ermöglichen die Lieferung der Daten sowie die intelligente Steuerung des Prozesses des Gebäudemanagements. Dies geht konform mit Mainstreams wie dem Internet der Dinge oder Industrie 4.0.

Die Verwendung der integrierten Mikrosysteme z. B. in den angepassten Navigations-, Energiemanagement- sowie in Sicherheitssystemen im Gebäude kann sowohl zu enormen Energieeinsparungen führen, die Sicherheit verbessern als auch die Lebensqualität der Nutzer erhöhen. Als Beispiele der Digitalisierung des Gebäudemanagements können Technologien wie die Energieoptimierung für die Beleuchtung, Heizung/Kühlung/Belüftung, Sicherheitsmaßnahmen gegen Einbruch und Diebstahl, wie Bildererkennung, sowie die Notfalldetektion und Steuerung von Besucherströmen angeführt werden. Traditionelle Geschäftsmodelle fallen auseinander (z. B. Beleuchtung). Durch Integration neuer Sensoriklösungen und deren Vernetzung, also durch Digitalisierung, werden völlig neue Geschäftsmodelle ermöglicht.

Die technologischen Herausforderungen dieses Feldes liegen darin, dass die Prozesskette der Digitalisierung der Gebäude nicht eindeutig formuliert wird. Es fehlen die Konzepte zur Planung, Entwicklung, Umsetzung und Reparatur der technischen Gebäudeausstattung. Außerdem muss ein stabiles und sicheres Kommunikationsnetzwerk für die gesamte Kette der Gebäude realisiert werden. Eine weitere Herausforderung ist der Schutz der erhobenen Daten, der noch klar definiert werden muss.

Mikrosystemtechnik-Komponenten sollen zukünftig zum Einsatz kommen in den Bereichen:

- Kommunikation: Ansteuerung von Projektoren; Bildübertragung, miniaturisierte Projektoren; Spatial-Light-Module; LiFi
- Sensoren und Systeme zum Einsatz in kritischen Bereichen, z. B. Küche, Bad, IT- und Versorgungszentralen
- Zugangskontrolle: Optischer Sensor im Türknäuf, smarte Schlüssel; Perimeter, Zustandsüberwachung und Türraumüberwachung
- Fensterschließung bei Unwetterwarnung; Aktuatorssysteme mit mikrosystemtechnischer Ansteuerung und optischen Sensoren
- Gesundheitsüberwachung:
  - Telemedizin: Sensoren (EKG, Blutdruck, ....)
  - Sturzerkennung; Erkennung von Personenbewegung mittels intelligenter Kameras (Mustererkennung z. B. mit MoMiKA), Problem der Privacy-Erkennung
  - Teppich mit Sensoren zur Sturzerkennung
  - Intelligenter Lichtboden





## 8 Schwerpunktthemen und Leitlinien

## 8 Schwerpunktthemen und Leitlinien

Mit der thematischen Weiterentwicklung des Masterplans Optik und Photonik werden die strategischen Ziele der Gemeinsamen Innovationstrategie der Länder Berlin und Brandenburg (innoBB 2025) auf Ebene des Clusters umgesetzt.

Neben der clusterspezifischen Themenfokussierung und neben den technologischen Herausforderungen in den Handlungsfeldern kennzeichnen verbindliche Schwerpunkte die Arbeit im Cluster in den kommenden Jahren:

1. Digitalisierung
2. Reallabore und Testfelder
3. Arbeit 4.0 und Fachkräfte
4. Start-ups und Gründungen

Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft nehmen eine zentrale Rolle bei der Bearbeitung und Weiterentwicklung dieser Themen ein. Hierbei liegt ein wichtiger Fokus auf KMU. Um breit getragene Lösungen zu entwickeln sowie eine erfolgreiche Umsetzung zu gewährleisten, ist jedoch das konstruktive Zusammenwirken verschiedener weiterer Akteure im Cluster, z. B. Verwaltungen sowie Wirtschafts- und Sozialpartner, notwendig.

Hinzu treten die **Leitlinien** der innoBB 2025. Mit ihnen werden Anforderungen an das Handeln der Cluster im Rahmen der innoBB 2025 definiert:

1. Innovation breiter denken
2. Cross Cluster stärken
3. Innovationsprozesse weiter öffnen
4. Nachhaltige Innovation priorisieren
5. Internationaler aufstellen

### 8.1 Digitalisierung

Ohne Licht wären Digitalisierung und Kommunikation undenkbar. Denn die technologische Basis der schnellen Datenübertragung in Glasfasernetzen bilden Photonen. Über 90 % der Informationen werden heute durch die Photonik transportiert.

Photonik und Mikroelektronik gelten weltweit als Schlüsseltechnologien für die Digitalisierung. Durch ihre vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten bei der Übertragung, Speicherung und Verarbeitung von Information verbinden sie so unterschiedliche Bereiche wie die Produktions- und Elektrotechnik, Energie- und Beleuchtungstechnik, Medizin- und Umwelttechnik, Verkehrstechnik sowie Informations- und Kommunikationstechnik. Zukunftsthemen wie 5G, Robotik, Industrie 4.0, Elektromobilität oder auch autonomes Fahren können sich nur durch technologische Innovationen aus der Photonik und Mikroelektronik entfalten.

Die Akteure des Clusters Optik und Photonik in Berlin und Brandenburg leisten mit ihren umfangreichen und tief gehenden Kompetenzen auf den Gebieten der Entwicklung und Fertigung von miniaturisierten optoelektronischen Komponenten, Baugruppen und Systemen einen erheblichen Beitrag zu neuen technologischen Innovationen im Bereich der Digitalisierung. In Projekten entwickeln Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus Berlin und Brandenburg durch clusterübergreifende Zusammenarbeit im Sinne offener Innovationsprozesse u. a. durch die Einbeziehung der Anwenderebene in F&E-Prozesse innovative, intelligente Beleuchtungssysteme für Smart Cities, intelligente Textilien, flexible und vernetzte Produktion für Industrie 4.0 oder auch Licht in der Mobilität und Kommunikationstechnik.

Die Clusterakteure treiben das Thema Digitalisierung seit Jahren durch eine Vielzahl an F&E-Projekten und Initiativen voran.



So steht im Mittelpunkt des BMBF-geförderten Wachstumskerns „PolyPhotonics Berlin“ die Entwicklung einer Wertschöpfungskette zur Herstellung einer neuen Technologieplattform für die optische Datenübertragung. Das Konsortium bestehend aus regionalen Unternehmen und Forschungseinrichtungen will die in dieser Form weltweit noch nicht verfügbare Integrationstechnologie auf Basis eines Chips mit optischen Wellenleitern aus Polymermaterial zur Anwendung in die Medizin- oder Umwelttechnik bringen. Die Technologien sollen in Nachfolgevorhaben zukünftig weiterentwickelt und neue Anwendungsfelder erschlossen werden.

Mit dem LED-Laufsteg werden die vielfältigen Möglichkeiten der LED-Technologie erstmals unter realen Bedingungen mit unterschiedlichen Sehobjekten und Blendquellen demonstriert. Der Laufsteg auf dem Gelände des Deutschen Technikmuseums in Berlin macht innovative LED-Beleuchtung und das Thema Smart Lighting auf vielfältige Weise erlebbar. In fünf verschiedenen Bereichen werden Themen wie Energieeffizienz, Entblendung, Sichtbarkeit, adaptive Beleuchtung, Nutzflächenbeleuchtung, Lichtfarbe sowie Farbwiedergabe abgebildet.

Miniaturisierte Elektronik aus Brandenburg und Berlin setzt national und international wichtige Impulse für hochleistungsfähige, energieeffiziente Produkte. Um die europäische Halbleiter- und Elektronikindustrie im globalen Wettbewerb zu stärken, entstand an elf Instituten des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik und zwei Instituten der Leibniz-Gemeinschaft die standortübergreifende Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD). Ziel ist es, eine neue Qualität der Elektronikforschung am Standort Deutschland zu schaffen und Forschungsdienstleistungen entlang der kompletten Innovationskette aus einer Hand anzubieten. Das Clustermanagement unterstützt auch zukünftig regionale Vorhaben in der Mikroelektronik, um hardwarebasierte Innovationen für die Digitalisierung voranzutreiben.

Das Zentrum für Innovationskompetenz innoFSPEC Potsdam betreibt multidisziplinäre Forschung auf den Gebieten der innovativen faseroptischen Spektroskopie und Sensorik. Entwickelt werden u. a. innovative Technologien für die chemische Prozessanalytik für die Industrie 4.0. Aufgrund einer sehr guten experimentellen Ausstattung ist das Zentrum in viele regionale, nationale und internationale Kooperationen mit akademischen und industriellen Partnern aus der hochmodernen Forschungsinfrastruktur eingebunden und bietet hervorragende Voraussetzungen

für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu Digitalisierungsthemen im Cluster.

Eine zentrale Herausforderung für das Cluster hinsichtlich der Digitalisierung besteht darin, gemeinsam mit potenziellen Nutzern Anwendungsfelder und konkrete Lösungen zu identifizieren und zu entwickeln.

Wichtige Themen sind dabei u. a. Sensorik und Messtechnik, digitale Prozesskontrolle und Prozessanalytik, optische Netzwerktechnik, Quantentechnologie, drahtlose und radarbasierte Lösungen für Industrie 4.0, 5G, Lasertechnik sowie Big Data und künstliche Intelligenz.

Um Innovationen in diesen Themen weiter voranzutreiben, müssen branchenübergreifende Kooperationen noch stärker in den Fokus der Aktivitäten gerückt werden.

Die Digitalisierungsthemen wurden im Rahmen der Clusterkonferenz 2017, der OpTecBB e. V. Networking Days 2018 und der regelmäßig stattfindenden Handlungsfeldtreffen von den Clusterakteuren erarbeitet. Sie werden mit dem Ziel bearbeitet, neue Impulse für die Handlungsfelder zu setzen und das Wachstum branchen- und clusterübergreifend zu stärken. In den einzelnen Kapiteln zu den Handlungsfeldern sind die Ziele ausführlich beschrieben. Im Fokus der Arbeit in den Handlungsfeldern werden stehen:

### Lasertechnik

- Robotik in der Lasermaterialbearbeitung
- Automatisierung in laserbasierten Fertigungsprozessen (Schweißen, Schneiden, Löten)
- KI-Entwicklung in der Lasermaterialbearbeitung (insbesondere Big Data, intelligente Sensoren)
- Weiterentwicklung in der Inline-Prozesskontrolle von Laserfertigungsverfahren (insbesondere Schweißprozesse) durch Integration optischer Nahtinspektion in die Bearbeitungsstation
- Einsatz von Machine Learning, um Schweißfehler sicher zu erkennen und die Pseudofehlerrate zu senken

## Lichttechnik

- Weiterentwicklung adressierbarer Beleuchtungslösungen (sensorgestützte Erhebung der Ist-Situation, Entwicklung entsprechender Auswerte-Algorithmen und gezielte Ansteuerung der Leuchten)
- Integration von Sensorik, Steuerung und Vernetzung in Beleuchtungssysteme (Erschließen neuer Märkte und neuer Anwendungsfelder durch das Verarbeiten von Datenmengen, die durch externe oder in Leuchten integrierte Sensoren erfasst und über Netzinfrastruktur übertragen werden)
- Lichtmasten als zentrale Infrastrukturnotenpunkte für die Übertragung von Daten im Kontext von Smart City nutzen
- Entwicklung technologischer Grundlagen sowie Erarbeitung und Einführung flächendeckender Standards in Bezug auf Sensorschnittstellen, Datenkommunikation und Steuerung zur Nutzung passgenauer, intelligenter und vernetzter Beleuchtungssysteme
- Anwendungsfelder optischer Datenübertragung durch Licht (LiFi) ausbauen
- Weiterentwicklung datengesteuerter Beleuchtungslösungen für Smart Home, Smart City und autonomes Fahren, „visible light communication“ (VLC), Leuchten für den Lichtimmissionsschutz
- Entwicklung digitaler Lichtmasterpläne (Individualisierung der Wertschöpfungsketten)
- Adaptation von Freiformoptiken für individuelle Beleuchtungslösungen

## Biophotonik und Augenoptik

- AgriPhotonik
  - Photonische Sensorik für die Zustandserfassungen von Böden und Pflanzen und Automatisierung der Datenerhebung
  - Online-Analytik für die individuelle und flexible Prozesssteuerung im Präzisionsgartenbau
  - Präzise Steuerung der Produktionsprozesse durch Verarbeitung der in situ gewonnenen Informationen zur Entwicklung komplexer physiologischer und physikalischer Modelle
  - Vorantreiben von „Landwirtschaft 4.0.“: Durchführung von On-Farm Research unter den Bedingungen guter fachlicher Praxis durch Datenfusion, Big-Data-Analysen und stromsparende Sensorknoten mit Vor-Ort-Verarbeitung (Edge Nodes)
- Forest 4.0 („precision forestry“)
  - Erfassung der bislang analog aufgenommenen Parameter und Indikatoren entlang der Wertschöpfungskette Forst und Holz mittels moderner Sensorik und Verarbeitung in digitalen Arbeitsprozessen und Verfahren
  - Einsatz von digitalen Geodaten, Algorithmen und spezifischen Analysemethoden zur automatischen Extraktion verschiedener fachspezifischer Parameter, Indikatoren und weiterer Informationslayer entlang der holzbasierten Wertschöpfungskette nachhaltiger Produktion nachwachsender Rohstoffe
  - Verwendung von mobilen Sensoren zur empirischen Datenerfassung in digitalen Punktwolken
- Medizinoptik und Augenoptik
  - Vorantreiben der Analyse von Fundusbildern mit tiefen neuronalen Netzen und Entwicklung neuer Algorithmen zur automatisierten Erkennung von krankhaften Veränderungen in Fundusbildern
  - Entwicklung KI-basierter und mobiler Diagnosesysteme („self-tracking“)
  - Erprobung und Weiterentwicklung digitaler Produktionstechniken in der Brillenoptik und Vermessung von Gläsern
  - Einführung neuer Informations- und Kommunikationstechnologien für kundenbezogene Aufträge und Produktion in der Brillenoptik

## Photonik und Quantentechnologie für Kommunikation und Sensorik

- Photonische Systemintegration (chipintegriert und hybrid)
- Miniaturisierung der smarten (optischen) Sensorik zur Positionsüberwachung für die Anwendung in Automotive, Industrieautomation, Fertigungsüberwachung und Industrie 4.0, Aerospace und Bio- und Medizintechnik, Umweltsensorik
- Vernetzung optischer Sensoren zur Ausbildung intelligenter Sensornetzwerke, die sich mithilfe hochbitratiger Kommunikationssysteme mit geringer Latenz (IoT und 5G) zu cyberphysischen Sensorsystemen kombinieren lassen
- Miniaturisierte Quantenkryptographiesysteme
- Anwendungen für und Implementierung von künstlicher Intelligenz in photonische Systeme (maschinelles Lernen)
  - Entwicklung hochbitratiger dynamischer Kommunikationssysteme, energieeffizient
  - Softwareentwicklung für KI in selbstregulierenden, toleranten optischen Systeme (Kommunikation und Sensorik)
  - Schnittstellen sowie Aufbau- und Verbindungstechnik für die Hardwareintegration
  - Entwicklung und Herstellung schnellerer optoelektronischer Wandler

## Optische Analytik

- Weiterentwicklung optischer Verfahren in der industriellen Prozessüberwachung/-kontrolle hinsichtlich Ortsauflösung, Zeitauflösung, Sensitivität und des spektralen Informationsgehalts Weiterentwicklung von Optiken, Lichtquellen, Detektoren, Algorithmen zur Datenauswertung, Bildverarbeitung/Mustererkennung
- Vorantreiben der mehrdimensionalen Bilddatenverarbeitung und -analyse durch den Einsatz von KI
- Hyperspektrale Bildgebung
  - Weiterentwicklung und Kopplung von Auswertmethoden und Komponenten
  - Optimierung von Algorithmen, z. B. für den Transfer zu medizinischen und halbleitertechnischen Anwendungen
- Etablieren von performanteren, günstigeren und an Anwendungen angepassten Auslesegeräten und Algorithmen bei ortsverteilten Messungen in der optischen Sensorik entlang einer Glasfaser
- Verbesserung optischer Instrumente und Analyseverfahren durch selbstlernende Algorithmen ggf. unter Einbeziehung von Vorwissen (maschinelles Lernen)
- Erweiterung der Anwendungs- und Einsatzszenarien für maschinelles Lernen in der optischen Analytik und Schaffung einer Datengrundlage für das Training der Algorithmen
- Entwicklung neuronaler Netze für die automatische Echtzeit-Auswertung und Datenfusion verschiedener Sensorsysteme
- Entwicklung neuartiger Auswerte-Algorithmen (neuronaler Netze) für die hochkomplexe Datenanalyse im Bereich optischer Analytik (gesamter Spektralbereich)

## Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik

- Hardware-Software-Co-Design: Einbindung von smarten Mikrosystemen in moderne Kommunikationsplattformen (5G, Wireless, IoT, Industriesensorik)
- Vernetzung der Mikrosysteme über neuartige Kommunikationsplattformen und das Internet
- Vorantreiben der Vor-Ort-Datenverarbeitung (Edge Computing und Edge Nodes) unter Nutzung intelligenter Algorithmen
- Vernetzung von tragbaren Sensoren mittels Mikrosystemtechnik
- Weiterentwicklung der Aufbau- und Verbindungstechnik in der Industriesensorik zur Kopplung elektrischer und optischer Signale, basierend auf Höchstfrequenzelektronik, Sensorik und Aktorik teilweise als SOC, SOP und MEMS zur Erschließung neuer Anwendungsfelder wie Robotik oder Fertigungsautomatisierung
- Entwicklung leistungsfähiger Sensoren und vernetzter Sensorsysteme für (teil-)autonome Fahrzeuge und die Verkehrsinfrastruktur (LiDAR, Kameras, Radar, Ultraschallsensoren, Gassensoren, faseroptische Sensoren, IR Sensoren, ...)
- Digitalisierung des Gebäudemanagements durch Verwendung der integrierten Mikrosysteme, wodurch neue digitale Geschäftsmodelle erschlossen werden
- Datensicherheit, Verschlüsselungstechnologien (hard- u. softwareseitig)
- Smarte Sensorik-Systeme für IoT, CPS, Industrial Monitoring, KI (mit intelligenter Signal- und Messwertaufbereitung, autonome Systeme)
- Lösungen für moderne Kommunikationsinfrastruktur (mit hohen Bandbreiten/Übertragungsraten)

## 8.2 Reallabore und Testfelder

Damit aus neuen Technologien schnell marktfähige Anwendungen werden, braucht es Gelegenheiten, sie in einer anwendungsnahen Umgebung zu testen. Für Entwickler photonischer Komponenten und Systeme können Reallabore und Testfelder als ein geeignetes Umfeld, um ihre innovativen Produkte mit reduziertem kommerziellem Risiko frühzeitig realitätsnah zu erproben und weiterzuentwickeln, ein wichtiger Faktor sein. Anwenderinnen und Anwender erleben Ideen und Prototypen aus erster Hand und können unmittelbar Bewertungen abgeben, die zu Verbesserungen im Vorfeld der kommerziellen Umsetzung führen, und sich mit den Entwicklern auf gemeinsame Normen und Standards verständigen.

In Berlin und Brandenburg bestehen bereits zahlreiche Initiativen zur Etablierung von Reallaboren und Testfeldern im Cluster Optik und Photonik. Hochschulen und Forschungseinrichtungen bilden in der Regel den Nukleus bestehender und geplanter Reallabor- oder Testfeldinitiativen. Sie verfügen meist schon über signifikante Kapazitäten an Forschungs- und Entwicklungsinfrastruktur sowie über das notwendige technische Personal für den Betrieb der Anlagen.

Zu den Pionieren zählt der LED-Laufsteg am Deutschen Technikmuseum in Berlin, eine Initiative der TU Berlin und der BIM Berliner Immobilienmanagement GmbH, wo in Partnerschaft mit Unternehmen aus der Lichttechnik und der Energieversorgung intelligente, adaptive und vernetzte Beleuchtungskonzepte für den öffentlichen Raum erprobt werden.

In Brandenburg entsteht aktuell im Rahmen der „Innovative Hochschule“-Initiative in Potsdam-Golm eine Start-/Land- und Versuchsfläche für Drohnen/UAVs, ein Vorhaben, das vom Cluster Optik und Photonik unterstützt wird. Auch die „Innovative Hochschule“-Initiative Innovation Hub 13 verfolgt u. a. die Realisierung eines Testbeds als geeignetes Instrument für einen effizienteren Wissens- und Technologietransfer zwischen den Hochschulen und den Unternehmen in der Region. Da der Innovation Hub 13 die Aktivitäten der TH Wildau und der BTU Cottbus-Senftenberg vereint, steht hierbei die Vernetzung mehrerer „Testfelder“ über die drei Standorte hinweg im Mittelpunkt. So entsteht eine sinnvolle Kombination aus realem und virtuellem Testfeld, welche einerseits die Kopplung unterschiedlicher wissenschaftlich-technologischer Ressourcen ermöglicht und andererseits den sicheren Datenaustausch zwischen den Partnern im Testbed (digitales Testbed) unterstützt.

Die Brandenburger Hochschulen werden sich verstärkt in den Regionalen Wachstumskernen (RWK) Brandenburgs in Form von Präsenzstellen engagieren. Geplant ist, die Forschungsaktivitäten der Hochschulen auch in der Region sichtbar zu machen und den Zugang zum wissenschaftlich-technologischen Know-how für die Unternehmen zu vereinfachen, wofür Konzepte mobiler, vernetzter Testfelder diskutiert werden.

Mit der Einführung der GRW-Innovationscluster hat die regionale Politik ein passendes Förderinstrument für den Aufbau und Betrieb von Reallaboren und Testfeldern in Verbünden aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen geschaffen. Das Netzwerk 5G Berlin e. V. ist Träger des ersten Berliner GRW-Innovationsclusters und wird von den Clustermanagements Optik und Photonik sowie IMK seit der Gründungsphase begleitet. Zielsetzung sind sowohl die Erprobung der Technologien als auch die Förderung neuer 5G-Anwendungen durch den Aufbau einer 5G-Testfeldinfrastruktur sowie die Eröffnung des 5G-Centers auf dem Campus der TU Berlin und des Fraunhofer HHI.

Neben den genannten Beispielen gibt es eine große Anzahl weiterer Einrichtungen an Universitäten und Forschungseinrichtungen, die interdisziplinären Ansätzen zur Schaffung eines gemeinsamen physischen Umfelds für Entwicklungskooperationen mit der Industrie dienen sollen. Dazu zählen das ViNNLab an der TH Wildau, das IRIS Adlershof, das CINIQ/Smart Data Forum des Fraunhofer HHI oder Start-A-Factory am Fraunhofer IZM. Viele regionale Hochschulen und Forschungseinrichtungen unterhalten sog. Joint Labs in denen komplementäre Expertisen und Infrastrukturkapazitäten gebündelt werden, beispielsweise in Form einer Zusammenarbeit zwischen interdisziplinären oder eher grundlagen- und eher anwendungsorientierten Forschergruppen. Diese Joint Labs, bieten häufig sehr gute Ausgangsbedingungen für die Etablierung von Reallaboren und Testfeldern mit der Wirtschaft.

Ziel des Clustermanagements ist es, Projekte zur Initiierung und Entwicklung von Reallaboren und Testfeldern mit thematischem Bezug zu optischen Technologien und Mikroelektronik und -systemtechnik zu unterstützen, Infrastrukturbedarfe aufseiten der Industrie zu erfassen und in einen Diskurs mit regionalen Trägerinitiativen einzubringen sowie regionale Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft für eine gemeinsame Nutzung der Infrastruktur zu gewinnen.

### 8.3 Arbeit 4.0 und Fachkräfte

Das Cluster Optik und Photonik ist nach wie vor geprägt von innovativen Klein- und Kleinstunternehmen. Die meisten dieser Unternehmen verfügen über keine eigene Personalabteilung und damit über keine langfristig angelegte Qualifizierungs- und Personalentwicklungsstrategie. In den zahlreichen in der Region angesiedelten Forschungseinrichtungen wird akademisches Personal für die Photonik ausgebildet, wobei in klassischen Bereichen der Optik und Lasertechnik inzwischen Lücken entstanden sind. Gleichzeitig bestehen für junge Talente sehr gute Karriereaussichten in den Optischen Technologien und in der Mikrosystemtechnik. Die Wachstumsaussichten der Branche sind nach wie vor überdurchschnittlich gut. Berlin und Potsdam sind für viele Arbeitnehmer ein attraktiver Arbeitsort. Jedoch ist in den letzten Jahren der Wettbewerb um Talente gestiegen und bisweilen wird es für die Unternehmen und Forschungseinrichtungen schwieriger, vor allem gewerblich-technisches Personal zu finden. Zudem ist die Branche bzw. das Technologiefeld Optik und Photonik nach wie vor als attraktiver und zukunftsweisender Arbeitgeber in der Region zu unbekannt (siehe auch SWOT-Analyse).

Nachwuchsförderung und Fachkräftesicherung sind somit in Zeiten des demografischen Wandels und der anstehenden Digitalisierung eine wichtige und herausfordernde Aufgabe. Die dafür erforderlichen sowohl personellen als auch finanziellen Ressourcen sind bei vielen Unternehmen oft nur sehr begrenzt verfügbar. Daher ist es sinnvoll, die Ressourcen zu bündeln und auf bestehendes Know-how und Erfahrungen im Cluster zurückzugreifen. Diese Bündelung erfolgt nunmehr im GRW-Netzwerk proANH e. V. Gemeinsame Aktivitäten, die der Fachkräftesicherung dienen, können somit zum Erhalt und der Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen im Cluster Optik und Photonik beitragen.

Die Koordinierung des Themas Fachkräftesicherung obliegt dem Aus- und Weiterbildungsnetzwerk AHN Berlin bzw. dem Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik (FBH), als Clusterpartnern. Das Clustermanagement und OpTecBB e. V. unterstützen die Aktivitäten im Rahmen des Vereins proANH e. V.

### Akademische Bildung

An den Universitäten und Fachhochschulen der Länder Berlin und Brandenburg werden mehr als 40 Studiengänge mit Bezug zu Photonik und Mikrosystemtechnik entweder als eigenständige BA- oder MA-Studiengänge oder als spezialisierte Module z. B. im Bereich Ingenieurwissenschaften oder in den Naturwissenschaften angeboten. An den Hochschulen (FU Berlin, TU Berlin, HU Berlin, TH Wildau, Universität Potsdam, BTU Cottbus-Senftenberg) sind zahlreiche Lehrstühle und Institute in Forschung und Lehre in den Bereichen Photonik, Quantentechnologie, Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik tätig. Die HU Berlin bietet seit 2017 einen internationalen Master in „Optical Sciences“ an. Hinzu treten die Hochschulen TH Brandenburg, TH Wildau, Beuth Hochschule für Technik und HTW in Berlin mit ihren Angeboten in Optik, Photonik und Mikrosystemtechnik. Die TH Brandenburg und TH Wildau bieten einen gemeinsamen Photonik-MA-Abschluss an. Die TH Brandenburg bietet seit dem Wintersemester 2016/2017 einen Abschluss Bachelor of Engineering in Augenoptik und Optische Gerätetechnik an.

Ein weiterer Aspekt der Fachkräftesicherung ist die Stärkung der Anwendungsnähe in der akademischen Bildung mit Bezug zu den Optischen Technologien und Mikrosystemtechnik. In Berlin und Brandenburg gibt es an den Hochschulen ein vielfältiges Angebot an Praxisvorträgen, Praktika und zusätzlichen Angeboten in den zahlreichen technisch orientierten Studiengängen. Als geeignetes Format zur Förderung des Austauschs von Studierenden mit Wissenschaft und Wirtschaft erscheinen z. B. „Summer Schools“ oder die Formate „Working in Photonics“ und „Students on Tour“. Zur weiteren Erhöhung der Anwendungsnähe in der akademischen Bildung liegen Potenziale insbesondere in den Bereichen: (1) Schaffung von dualen Studiengängen; (2) Transparenz zwischen Bildungsniveaustufen; (3) Sicherstellung des Anwendungsbezugs in der Wissensvermittlung; (4) Flexible Modelle der akademischen Weiterbildung; (5) Internationalisierung der Bildung („incoming & outgoing“).

Um diese Potenziale zu heben und um neue akademische Bildungsangebote zu entwickeln, wird der Diskurs zwischen akademischen Partnern, proANH und Clustermanagement vertieft, Finanzierungsquellen und Ressourcen identifiziert und eine Umsetzung zeitnah herbeigeführt.

### Berufsorientierung und Duale Ausbildung

Nicht nur akademisches sondern auch gut ausgebildetes gewerblich-technisches Personal ist für den wirtschaftlichen Erfolg unabdingbar. So wird zum einen eine Verbesserung der praxisnahen Berufsorientierung angestrebt. Noch haben viele Ausbildungsberufe und Studienfächer im MINT-Bereich einen geringen Bekanntheitsgrad. Sie gelten zudem als schwierig und bei nicht wenigen Jugendlichen als unattraktiv. Durch gezielte Angebote einer praxisnahen Berufsorientierung kann sowohl der Bekanntheitsgrad erhöht als auch das Image der beruflichen Möglichkeiten im Bereich „Optische Technologien, Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik“ verbessert werden. Zum anderen sehen gerade kleine und Kleinunternehmen noch zahlreiche Hürden (wie finanzieller Aufwand, Zeit, personelle Ressourcen für die Ausbildung, Nicht-Abdeckbarkeit aller relevanten Lehrinhalte, ...), die sie davon abhalten, in die berufliche Ausbildung einzusteigen. Firmen, die bereits ausbilden, finden zum Teil immer schwieriger passende Bewerber und es besteht die Gefahr, dass sich diese wieder vom Ausbildungsmarkt zurückziehen. Zur nachhaltigen Erhöhung der Ausbildungsquote sowie zur Steigerung der Attraktivität und Qualität der Ausbildung ist es sinnvoll, Kompetenzen und Erfahrungen auf Clusterebene zu bündeln. Bestehende Instrumente wie z. B. Ausbildungsplatzmanagement und Verbundausbildung können ausgebaut und durch neue Initiativen und Lernortkooperationen ergänzt werden. Für die Nachwuchsgewinnung ist es wichtig, jungen Leuten, aber auch Eltern und Lehrkräften die hochwertige duale Ausbildung in Hightech-Berufen als attraktive Alternative zum Studium aufzuzeigen. Dazu zählt auch die Verbesserung der Durchlässigkeit zwischen den verschiedenen Bildungsebenen.

Im Interesse der Nachwuchsgewinnung und Fachkräftesicherung wird das Aus- und Weiterbildungsnetzwerk Hochtechnologie (ANH) Berlin einerseits Jugendliche, Lehrkräfte, Eltern und Multiplikatoren zu Bildungs- und Karrieremöglichkeiten beraten und andererseits Unternehmen und Institute in allen Fragen der dualen Ausbildung unterstützen. Hierzu werden z. B. Schulklassen und Eltern über Berufsaussichten informiert, Jobmessen besucht und eine Imagekampagne durchgeführt.



### Weiterbildung und Kompetenzmanagement

Durch die Schaffung flexibler und bedarfsorientierter Weiterbildungsstrukturen soll außerdem die kontinuierliche Qualifikation der Beschäftigten im Cluster gefördert werden. So existiert zwar bereits eine Vielzahl von qualitativ hochwertigen Weiterbildungsangeboten, die den Standardbedarf in der fachlichen Qualifizierung (z. B. der Zertifikatskurs „Lasertechnik“, der von der TH Brandenburg angeboten wird, oder Fügetechniken: Schweißen, Löten, Bonden, Kleben, ...) abdecken. Über bestehende Qualifizierungsangebote von Bildungsdienstleistern hinaus haben viele Unternehmen allerdings einen sehr spezifischen, sich rasch verändernden Bedarf. Dieser ist häufig nur für wenige Mitarbeiter oder Einzelpersonen von Interesse. Hier sind nicht nur aktuelle Themen und Fachinhalte gefragt, sondern auch flexible und innovative Lernmethoden und Netzwerkstrukturen. Darüber hinaus benötigt Qualifizierung im Hochtechnologiebereich eine umfangreiche technische Ausstattung mit teuren Geräten und Materialien und ist daher sehr kostenintensiv. Um diese spezifischen Weiterbildungsbedarfe zu adressieren, sollen flexible Strukturen geschaffen werden, die auf der Nutzung der bestehenden Infrastruktur als auch auf das Erfahrungswissen der Mitarbeiter an Forschungseinrichtungen und Hochschulen aufbauen. Eine Organisation in Verbundstrukturen soll die vorhandenen Ressourcen in der Region besser ausschöpfen.

Die länderübergreifende Zusammenarbeit und Abstimmung im Zuge der Fachkräftesicherung in Bezug auf Weiterbildung wird weiter vertieft. Eine zentrale Rolle werden hierbei die Netzwerke proANH e. V. und OpTecBB e. V. mit ihren Angeboten für die Branche einnehmen. Insbesondere spielt auch die „Vermarktung“ des Clusters als hervorragender „Arbeitgeber“ eine wichtige Rolle sowie die Transparenz von Angeboten für Fachkräfte und Unternehmen. Die bereits vielfältigen Angebote (Ausbildung, Weiterbildung, Aufstiegsqualifizierungen, Studiengänge etc.) sollen sowohl für Außenstehende als auch in der Branche Arbeitende besser zugänglich gemacht werden (erste Ansätze bestehen bereits mit dem Bildungsatlas und der Stellenbörse von OpTecBB e. V.). Um lebenslanges Lernen im Cluster Optik und Photonik weiter zu unterstützen, werden Informationen zu Weiterbildungsangeboten in Optik und Photonik zusammengetragen und gebündelt dargestellt. Gegebenenfalls sind neue Angebote zu entwickeln und hinzuzufügen. Die Abstimmung wird zwischen Clusterakteuren, ANH und OpTecBB e. V. sowie dem Clustermanagement erfolgen.

### 8.4 Start-ups und Gründungen

Maßgeblichen Anteil am heutigen wirtschaftlichen Erfolg und der Positionierung als eines der weltweit am stärksten diversifizierten Photonik-Cluster hatte der Gründungsboom der Nachwendezeit. Über 60 der heute erfolgreich am Weltmarkt agierenden Unternehmen aus dem Berlin Brandenburger Optik und Photonik Cluster wurden 1990 und 1991 gegründet. Viele in der Nachwendezeit gegründete Unternehmen wurden zwischenzeitlich übernommen und führten so zu investiven Engagements der Global Player der Optik- und Photonik-Industrie in der Hauptstadtregion, darunter Leoni, Carl Zeiss Meditec, Newport Spectra Physics, II-VI, Bruker oder Toptica.

Bereits damals wurde zunächst damit begonnen, Technologiezentren einzurichten. Das Zentrum für Optik und Photonik in Adlershof zählt zu einem der ältesten und etablierten Technologiezentren. Hier wurden zunächst Start-ups in den 1990er-Jahren angesiedelt und „inkubiert“. Zahlreiche Unternehmen sind heute den Technologiezentren entwachsen und haben eigene Einrichtungen auf dem Campus im Berliner Südosten errichtet. In den 2000er-Jahren wurden insbesondere an den Berliner und Brandenburger Universitäten und Fachhochschulen damit begonnen, Gründungsunterstützungseinrichtungen zu etablieren. Und mit der Rocket Internet Firmenfamilie professionalisierte sich in den 2010er-Jahren die Start-up-Szene in Berlin. Zunehmend große Kapitalzuflüsse in die Berliner Start-up-Szene konnten verzeichnet werden. Berlin zählt nunmehr seit einigen Jahren zu den Start-up-Hotspots in Deutschland und in Europa. Zahlreiche Gründer- und Gründungszentren, Co-Working Spaces, Inkubatoren, Accelerators, Bootcamps und Gründerwettbewerbe sowie differenzierte Fördermöglichkeiten und ein verbesserter Zugang zu privatem Kapital für Gründer bilden heute ein vitales Start-up-Ökosystem in Berlin und Brandenburg.

Start-ups waren und sind ein wichtiger Bestandteil des Innovationsgeschehens im Cluster Optik und Photonik in Berlin und Brandenburg. Sie bilden heute einen leistungsstarken Kern etablierter Unternehmen dieses Clusters. Start-ups treiben heute die digitale Transformation im Cluster voran. Sie denken bestehende Technologien, Produkte und Dienstleistungen neu, stellen Etabliertes kritisch infrage und entwickeln so neue Ideen und Lösungen für die Gesellschaft und für den Markt. Neue Geschäftsmodelle im Bereich Digitalisierung an der Schnittstelle zur Photonik/Mikroelektronik/

Mikrosystemtechnik können in Berlin, Potsdam-Golm und in der Brandenburger Lausitz z. B. in Testfeldern und Reallaboren getestet werden.

Das Gründen und Entwickeln von innovativen dynamischen Hardware-Gründungen bleibt jedoch auch in Berlin und Brandenburg eine immense Herausforderung. Von zentraler Bedeutung ist dabei der Zugang zu Forschungs- und Entwicklungsinfrastruktur. Während Ausgründungen aus Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen, welche die Mehrheit der regionalen Start-ups bilden, meist auf die Infrastruktur ihrer Mutterinstitute zurückgreifen können, müssen andere Start-ups diese Ressourcen einkaufen, was den ohnehin in der Branche hohen initialen Kapitalbedarf weiter erhöht. Der Zugang zu privaten Investoren und öffentlichen Fördergeldern ist daher für Start-ups ein zentraler Faktor für die Entfaltung ihres Potenzials und um zur Innovationsdynamik in einem wissensintensiven Unternehmensumfeld beizutragen.

Durch frühzeitige und gezielte Unterstützungsleistungen durch das Cluster sollen erfolgreich wachsende Start-ups dauerhaft an die Hauptstadtregion gebunden und in die Clusterarbeit einbezogen werden. Das Cluster Optik und Photonik bietet eine ideale Plattform für die Vernetzung zwischen Start-ups, KMU und der etablierten Industrie – gerade auch international. Dadurch soll das regionale Innovationssystem nachhaltig und dynamisch weiterentwickelt werden.

Zielsetzungen des Clustermanagements im Kontext der strategischen Clusterentwicklung sind:

- Ein systematisches Monitoring regionaler Photonik-Start-ups
- Vermittlung von Kontakten in Anwenderbranchen durch Cross Cluster-Initiativen
- Einbindung von Start-ups in Netzwerk- und Clusterstrukturen und -aktivitäten (z. B. durch kostenlose Mitgliedschaften in den ersten Jahren nach Gründung, Abstimmungsrunden, Einbindung in Workshopprogramme, Start-up Challenges, Clusterpublikationen [wie z. B. Clusterreport, Clusternewsletter])
- Etablierung spezifischer Veranstaltungsformate wie z. B. das Start-up-Masterseminar an der TU Berlin (zunächst Lichttechnik/Elektrotechnik, später Maschinenbau, Physik, weitere Disziplinen), Start-up-Graduiertenkurs Photonik in Berlin Brandenburg, Entrepreneurship in Photonics, Photonics Venture Forum
- Aufbau und Entwicklung von Kooperationen mit für die Photonik und Mikroelektronik und -systemtechnik relevanten Accelerators, Inkubatoren und Venture-Akteuren wie dem Innovation Network for Advanced Material und seinem internationalen Start-up Accelerator AdMaCom, Start-A-Factory, FabLab, MotionLab, Drivery, HTGF oder den Venture-Armen von großen Industrieunternehmen wie Trumpf, Zeiss, Osram, Hella, Sony oder LG



## 8.5 Internationalisierung

Optische Technologien, Mikrosystemtechnik und Mikroelektronik sind internationale Branchen bzw. internationale Technologiefelder. Der durchschnittliche Exportanteil am Gesamtumsatz beträgt ca. 70 % im Cluster Optik und Photonik. In Teilbereichen der Photonik, z. B. in der optischen Datenübertragung, liegt die Exportquote bei 90 % und mehr. Die Branche ist gleichzeitig durch viele kleine und Kleinstunternehmen gekennzeichnet. Diese hochinnovativen Unternehmen bedienen bisweilen Nischenmärkte und sind aufgrund der Größe der Nischen oft Weltmarktführer in spezifischen Technologiefeldern. Die vielseitigen Anwendungspotenziale in unterschiedlichen Industrien weltweit sowie die unterschiedlichen internationalen Vernetzungsgrade der Akteure im Cluster implizieren eine ausdifferenzierte Herangehensweise in Fragen der Internationalisierung im Cluster und in den dazugehörigen Branchennetzwerken, mit jeweils unterschiedlicher Schwerpunktsetzung.

Das Thema Internationalisierung besitzt im gesamten Cluster Optik und Photonik eine sehr hohe Bedeutung und wird seit dem Entstehen des Kompetenz- bzw. Zukunftsfelds Optik/Mikrosystemtechnik u. a. vom Netzwerk OpTecBB e. V. oder auch vom Laserverbund Berlin-Brandenburg e. V. länderübergreifend maßgeblich unterstützt und begleitet. Neuere Initiativen wie INAM e. V. sind von vornherein auf internationale Teilnehmer der Start-up-Bootcamps und des Wettbewerbs Advanced Materials Competition ausgerichtet. Weiterhin wird die Aufgabe der Internationalisierung des Clusters und seiner Akteure durch die Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH, die Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH (WFBB), die WISTA sowie das EU-Projekt „Enterprise Europe Network“ gemeinsam mit den Akteuren aus Wirtschaft und Wissenschaft wahrgenommen. Das vom Land Berlin geförderte Pfl-Projekt PHOENIX (plus) unterstützt bei der internationalen Vernetzung auf Clusterebene und beim Aufbau internationaler Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationskooperationen mit strategischen Partnerregionen.

Aktuelle Herausforderungen liegen in der wachsenden Konkurrenz aus Asien und der massiven staatlichen Förderung zentraler Photonik-, Optoelektronik- und Mikroelektronik-Bereichen (insbesondere in China). Unfaire bzw. illegale Geschäftspraktiken wie unzureichend unterbundene Produktpiraterie steigern diese Ungleichgewichte. Hinzu treten Handelsbeschränkungen z. B. durch Strafzölle zwischen den globalen Wirtschaftsblöcken. Nationalismus und

Protektionismus erschweren somit die positive Entwicklung einer exportorientierten Hightech-Branche.

Umso bedeutsamer sind bzw. werden gezielte Unterstützungsleistungen gerade für die kleinen und mittleren Hightech-Unternehmen der Branche.

Grundsätzlich findet die Internationalisierung des Clusters Optik und Photonik auf zwei Ebenen statt: auf Ebene der Clusterakteure und auf Ebene des Clustermanagements. So wird die internationale Entwicklung des Clusters zu einem Teil direkt vom Clustermanagement getrieben, insbesondere im Bereich Messeauftritte und durch die Initiierung und Entwicklung strategischer Partnerschaften mit internationalen Clustern. Darüber hinaus kommen Initiativen zur Internationalisierung sowie ihre konkrete Umsetzung aber vor allem aus der Gruppe der Unternehmen und Forschungseinrichtungen selbst. Sie tragen Anliegen an das Clustermanagement heran, wählen und prägen Inhalte spezifischer Aktivitäten. Übergeordnetes Ziel der Aktivitäten zur Internationalisierung des Clusters sind somit die Erleichterung des Zugangs zu neuen Märkten, wissenschaftlichem Know-how und Innovationen, Fachkräften und Kapital für die Clusterakteure sowie grenzüberschreitende F&E-Projekte.

Die Hauptmärkte liegen in Nordamerika, Asien (insbesondere Japan, China, Taiwan, Korea) sowie Europa (insbesondere Niederlande, Frankreich, UK, Schweiz, Italien, Polen) sowie Israel.

Leitmessen in den Hauptmärkten der Photonik und Mikrosystemtechnik in Nordamerika, Asien und Europa gelten als Ankerpunkte für Internationalisierungsaktivitäten der Clusterakteure und des Clustermanagements. Die Präsenz auf diesen Leitmesen und in den Hauptmärkten soll weiter durch Messegemeinschaftsstände und Förderung von Einzelständen sowie durch flankierende Aktivitäten des Clustermanagements ausgebaut werden. Das Clustermanagement wird strategische Partnerschaften mit internationalen Clustern der Optik und Photonik sowie inhaltlich verknüpften Clustern (Anwendungsbereiche der Optik) weiter ausbauen und stärken und somit den Ressourceneinsatz hebeln. In diesem Zusammenhang spielt der Aufbau strategischer Kooperationen mit internationalen Verbänden und branchenrelevanten internationalen Organisationen eine entscheidende Rolle, um hier an der richtigen Stelle den Zugang zu Schlüsselpersonen zu erlangen. Von besonderer Bedeutung sind hier die OSA, EPIC sowie Photonics21 bzw. Photonics Europe.

Durch die aktive Einbindung Berliner und Brandenburger Akteure in Abstimmungsprozesse auf europäischer Ebene, insbesondere in Photonics21 bzw. Photonics Europe, sollen regionale Themen in Horizon Europe platziert, der europäische Vernetzungsgrad gesteigert und europäische Fördermittel zur Durchführung internationaler Kooperationsprojekte besser genutzt werden. Informationsasymmetrien bei KMU, z. B. hinsichtlich Zielmarktinformationen, Fördermöglichkeiten und Fremdkapitalakquise sollen weiter abgebaut werden. Insbesondere bilaterale F&E-Fördermöglichkeiten auf Bundes- und regionaler Ebene, beispielsweise nach dem Muster der Kooperation Berlin-Brandenburg-Polen, sollen zur Erschließung exogener Potenziale durch Einbindung von internationalen Partnern in forschungs- und entwicklungsorientierte Transfer- und Verbundprojekte beitragen.

Die „Photonik Tage Berlin Brandenburg“ sollen als internationales Aushängeschild der Branche weiter ausgebaut werden. Die Veranstaltung wird jährlich angeboten und international ausgerichtet (englische Sprache). Durch mit internationalen Referenten besetzte Workshops sollen internationale Aussteller und Gäste angezogen werden und so eine Bühne für internationale Vernetzung in Berlin-Adlershof bereitgestellt werden.

## 8.6 Cross Cluster

Innovationen, aus denen Unternehmen nachhaltige Wettbewerbsvorteile ableiten und die sie auch gegen einfaches Kopieren bzw. Lohndumping verteidigen können, finden sich auch im Hochtechnologiebereich häufig an den Schnittstellen zwischen Disziplinen sowie zwischen komplexen technologischen Entwicklungen und ihren konkreten Anwendungen in (Spezial-)Märkten. Photonik und Mikroelektronik sind Schlüsseltechnologien, denen hier eine besondere Bedeutung zukommt, da sie für zahlreiche Innovationen, beispielsweise in den Trendmärkten der Digitalisierung wie Industrie 4.0, Smart Cities oder intelligenter Mobilität maßgeblich sind.

Daher sollen die Schnittstellen zwischen dem Cluster Optik und Photonik und den anderen Clustern der Hauptstadtregion zukünftig noch stärker in den Blick genommen werden. Die Bedeutung von Cross Cluster-Zusammenarbeit für die strategische Clusterentwicklung wird in den kommenden Jahren weiter steigen.

Folgende clusterübergreifende Themen bieten Potenzial für zukünftige Vorhaben des Clusters Optik und Photonik:

Anwendungsfelder	Photonik und Mikrosystemtechnik als notwendige Enabler
Energietechnik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oberflächenstrukturierung und Dünnschichtanalytik in der Photovoltaik</li> <li>• Perowskite</li> <li>• Funktionale Materialien für Energiespeicherung</li> <li>• „energy harvesting“</li> <li>• Structural Monitoring von Windkraftanlagen und Kraftwerken</li> <li>• Optische Gas-Sensorik bzw. Gas-Detektion z. B. für Wasserstoff</li> </ul>
Ernährungswirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Drohnenbasierter) Einsatz optischer Messtechnik in der Landwirtschaft</li> <li>• Optische Prozessanalytik in der Nahrungsmittelproduktion</li> <li>• Lichttechnik in der Pflanzenzucht („plant factories/ horticulture“)</li> </ul>
Gesundheitswirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optische Messtechnik und Analytik in Medizin, Pharma und Biotechnologie (z. B. Endoskopie, Tumordiagnostik, Blutzuckermessverfahren etc.)</li> <li>• Lasertechnik in der Chirurgie; Eye-Tracking in der augenoptischen Chirurgie</li> <li>• Wearables</li> <li>• Optogenetik</li> <li>• Photonik-Anwendungen in E-Health, z. B. Bilderkennung, Bildverarbeitung</li> <li>• Lichttechnik in der Medizin (Lichttherapie, Wirkung von Licht auf den menschlichen Organismus)</li> </ul>

Metall	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lasermaterialbearbeitung (Schweiß- und Fügetechnik, additive Fertigung/ 3D-Druck), Messtechnik</li> </ul>
Tourismus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lichttechnik/Lichtdesign im öffentlichen Raum</li> <li>• Astrotourismus</li> </ul>
IMK	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VR/AR</li> <li>• Glasfaserinfrastruktur für Rechenzentren und 5G; optische Datenübertragungskomponenten; Silizium- und Polymer-Photonik</li> <li>• Displaytechnologie</li> <li>• Sensorik/Kameratechnik für IoT, Smart Home und Sicherheitstechnik</li> <li>• Quantentechnologie/Quantenkommunikationstechnik</li> <li>• 3D Imaging und Messtechnik</li> <li>• Freistrahlkommunikationstechnik</li> </ul>
Verkehr, Mobilität, Logistik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensorik für autonomes Fahren</li> <li>• Kameratechnik/Sensorik für UAVs; Luft- und Raumfahrt</li> <li>• Optische Automatisierungstechnik in Transport und Logistik</li> <li>• Satellitengestützte Kommunikationstechnik</li> <li>• Lichttechnische Anwendungen (z. B. für Automotive)</li> <li>• Signaltechnik</li> </ul>
Clean Technologies	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Green Photonics (Umweltmesstechnik, Energieeffizienz durch Einsatz optischer Technologien, z. B. in der Straßenbeleuchtung)</li> <li>• UV-basierte Wasseraufbereitung/ Desinfektion</li> <li>• Sensorik für Recycling/Kreislaufwirtschaft</li> </ul>
Industrielle Produktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Additive laserbasierte Fertigungsverfahren</li> <li>• Optische Prozesskontrolle/Machine Vision</li> <li>• AR/VR in der Produktion</li> </ul>
Smart Cities	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datengesteuerte Beleuchtungslösungen, Smart Lighting</li> <li>• Lichttechnik und Sensorik für Horticulture/Urban Farming</li> <li>• Mikrosysteme für Anwendungen im mobilen Umfeld der Stadt sowie zur Optimierung im Gebäudemanagement</li> </ul>

## 8.7 Open Innovation und Nachhaltigkeit

Die Öffnung von Innovationsprozessen über die eigenen Organisationsgrenzen hinaus birgt für Unternehmen Vorteile durch Kostenreduktion, Beschleunigung des Markteintritts oder höhere (Produkt-)Diversifizierung, was insbesondere für KMU aufgrund begrenzter Ressourcen ein zentraler Erfolgsfaktor ist. Im Hochtechnologiebereich spielen dabei aus Unternehmenssicht sowohl Kooperationen mit Forschungseinrichtungen als auch mit Anwendern eine entscheidende Rolle. Durch seine mittelständische und forschungsintensive Prägung stellen offene Innovationsprozesse zwischen Industrie und Forschung ein großes ökonomisches Potenzial für die Hauptstadtregion dar.

Im Cluster Optik und Photonik sind offene Innovationsprozesse bereits heute gelebte Praxis. Während einerseits die wettbewerblichen Kräfte auch hier ihre innovative Kraft weiterhin entfalten, stimmen sich die Clusterakteure in vielen Bereichen auch über die Organisations- und Branchengrenzen hinweg ab. Open Innovation wird hier verstanden als Innovationsprozesse, die nicht mehr nur ausschließlich in einzelnen Organisationen stattfinden, sondern Organisationsgrenzen überschreiten. Zudem treten neben technologische Innovationen nicht technische Innovationen, die in geeigneter Kombination mit neuen Technologien ein enormes Potenzial für die Hauptstadtregion generieren können.

Bereits mit Gründung des Laserverbunds Berlin-Brandenburg e. V. in den frühen 1990er-Jahren wurde eine Plattform für den Austausch der Lasercommunity geschaffen. Mit der Gründung von OpTecBB e. V. im Jahr 2000 kamen neue Themenbereiche hinzu. Insbesondere im vorwettbewerblichen Bereich konnten durch strategische Roadmappingprozesse Technologieentwicklungen in der Region gesteuert und Kooperationsprojekte zwecks Transfer von wissenschaftlichen Ergebnissen aus den in der Region zahlreich ansässigen Photonik-Forschungseinrichtungen in die regionale Industrie und KMU durchgeführt werden. Hinzu traten in der Folge auch die Wirtschaftsfördereinrichtungen der Länder Berlin und Brandenburg und im Rahmen der innoBB die Einrichtung eines Clustermanagements, getragen von Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH, Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH (WFBB) und OpTecBB e. V.

In der jüngsten Vergangenheit zeigte sich insbesondere in Berlin verstärkt eine weitere Ausprägung von offenen Innovationsprozessen: Großunternehmen externalisieren Innovationsprozesse über Investitionen in Strukturen, die der Kooperation mit innovativen Start-ups dienen. Auch hier existieren im Cluster Optik und Photonik Veranstaltungsformate und seit 2016, mit der Gründung des Innovation Network for Advanced Materials, Netzwerkstrukturen, die der Förderung von Kooperationen von Start-ups mit Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen dienen. Durch den Netzwerkansatz sollen explizit auch Akteure eingebunden werden, die nicht über ausreichend Ressourcen verfügen, um eigene Strukturen zur Zusammenarbeit mit Start-ups aufzubauen.

Neben diesen Bottom-up-Prozess, der ein hohes Niveau an vertrauensvollen Beziehungen, die für komplexen Wissens- und Technologietransfer in diesem Technologiefeld erforderlich sind, ermöglichte, treten nun neue Prozess- oder Dienstleistungskonzepte und neue Geschäftsmodelle, die in einzigartiger Kombination nachhaltige Wettbewerbsvorteile für die Unternehmen der Hauptstadtregion und damit vielversprechende wirtschaftliche Entwicklungsperspektiven bereithalten.

Das Clustermanagement wird sich weiterhin für den Erhalt und die Entwicklung von strukturellen Voraussetzungen für offene Innovationsprozesse engagieren und insbesondere in den Teilbereichen Cross Cluster-Kooperationen und Nutzung physischer Infrastrukturen wie Reallaboren und Testfeldern Aktivitäten zur Stärkung des Innovationsökosystems in der Hauptstadtregion entfalten.

Wenngleich die meisten Produkte im Cluster Optik und Photonik auf der Komponenten- und Systemebene bzw. im B2B-Bereich bestehen, soll das Augenmerk auch auf Bemühungen im Cluster gerichtet werden (da wo relevant, z. B. im Bereich Beleuchtung), Innovationen und Produkte anwender- und verbraucherfreundlicher zu gestalten und mit entsprechenden Informationen auszustatten.

Auch sollen Innovationen breiter gedacht werden und den sozialen Bereich berücksichtigen. Optische Technologien, Mikrosystemtechnik und Mikroelektronik ermöglichen heute und in Zukunft in vielen Bereichen eine Verbesserung der Lebensumstände der Bevölkerung. Im Bereich der Lichttechnik ermöglichen z. B. Ansätze des Human Centric Lighting eine verbesserte und altersgerechte Beleuchtung. Im Bereich der Biophotonik und Augenoptik ermöglicht z. B. die Entwicklung auf optischer Sensorik basierender kleiner Point-of-Care-Diagnostiksysteme und E-Health-Ansätze die medizinische Versorgung in der Fläche. Im Bereich der Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik ermöglichen z. B. photonisch-sensorische Systeme die verbesserte räumliche Orientierung von Sehbehinderten und somit eine stärkere Teilhabe am öffentlichen Leben.

Optische Technologien, Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik ermöglichen schon heute an entscheidenden Punkten in Industrie und Gesellschaft Ressourceneinsparungen und Schadstoffidentifikation sowie -reduzierung. Nachhaltige Innovationen im Cluster Optik und Photonik nehmen ökonomische, ökologische und soziale Aspekte bei der Technologieentwicklung und Vermarktung sowie bei der Ableitung von neuen Geschäftsmodellen in den Fokus.

Durch den Einsatz optischer Sensorik in der modernen Landwirtschaft können z. B. Pflanzenschutzmittel gezielter ausgebracht und somit die eingesetzten Mengen dramatisch reduziert werden. Neue leistungsfähige elektrooptische Wandler ermöglichen z. B. den Transport gigantischer Datenmengen in kürzester Zeit bei deutlich geringerem Energieverbrauch. Durch Verfahren der optischen Analytik kann z. B. die Luftqualität genauer bestimmt und dadurch gezielt Luftreinhaltemaßnahmen eingeleitet werden. Neue halbleiterbasierte und vernetzte sowie intelligente Leuchten senken z. B. den Energieverbrauch deutlich. Durch laserbasierte Fertigungsverfahren kann z. B. nicht nur energiesparender produziert, sondern auch z. B. durch bionisches Design und laserbasierte 3D-Druckverfahren weniger Material verbaut werden.

Damit tragen auch weiterhin nachhaltige Innovationen aus dem Cluster Optik und Photonik zur Erreichung der übergeordneten Klimaschutzziele der Länder bei und schaffen gleichzeitig neue Märkte für die Unternehmen der Hauptstadtregion.





## 9 Fazit und Ausblick



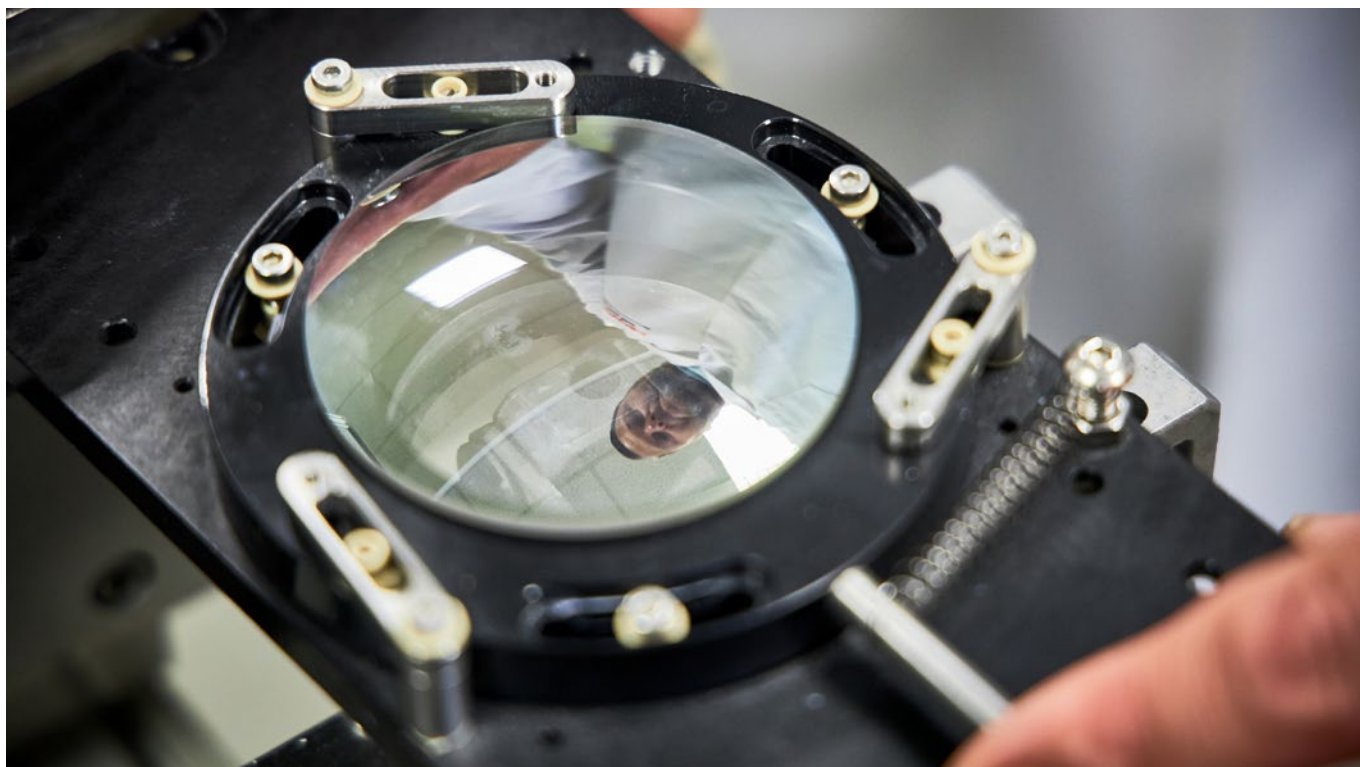
## 9 Fazit und Ausblick

Der heutige Stand des Masterplans ist ein Resultat aus einem bi- und multilateralen Austausch zwischen den Akteuren aus Wirtschaft und Wissenschaft sowie dem Clustermanagement und den Wirtschaftsverwaltungen der Länder Berlin und Brandenburg. Der Masterplan bietet eine Orientierung für die technologischen Entwicklungen in den Handlungsfeldern sowie für zukünftig avisierte Schaufensterprojekte, um deren Innovationsrelevanz einordnen und einschätzen zu können. Zur Stimulierung von Entwicklungs- und Innovationsprojekten kann das Clustermanagement auf dieser Basis wichtige Impulse und Anregungen geben.

Der Masterplan ist als dynamisches Dokument angelegt, das mittel- bis langfristige Handlungsfelder und darin eher kurzfristige, von den Clusterakteuren definierte Themenfelder enthält und in unterschiedlicher Tiefe beschreibt. Die Clusterakteure verfolgen die Erreichung ihrer technologischen Entwicklungsziele grundsätzlich eigenverantwortlich. Ein begleitendes fortwährendes Themen- und Technologiscouting sowie ein regelmäßiges Aktualisieren sind notwendige Aufgaben, um dieses Dokument lebendig zu halten, d. h. die Inhalte und Zuordnungen zeitnah nachzuführen.

Das Clustermanagement wird im Rahmen seiner jährlichen Maßnahmenplanung Top-Themen aus den Themenschwerpunkten der Handlungsfelder auswählen und, entsprechend seinen Kapazitäten, Aktivitäten zur Unterstützung der Clusterakteure bei der Zielerreichung definieren und umsetzen. Mittels des etablierten Cluster- und Wirkungsmonitorings (EWM) wird in regelmäßigen Abständen die Zielerreichung von Projekten erfasst, die direkt oder indirekt durch das Clustermanagement unterstützt wurden.

Für die Weiterführung des partizipativen Prozesses werden die Instrumente des Clustermanagements eingesetzt und weiterentwickelt. Insbesondere die Verankerung des Branchennetzwerks OpTecBB e. V. und seiner Aktivitäten im Clustermanagement sowie die enge Zusammenarbeit mit weiteren regionalen Interessenvertretern tragen nachhaltig dazu bei. Zu den weiteren Instrumenten zählen u. a. die Clusterveranstaltungen, Cross Cluster-Workshops, Service- (Fördermittelberatung) und Informationsangebote des Clustermanagements sowie das Ergebnis- und Wirkungsmonitoring (EMW) der Gemeinsamen Innovationsstrategie 2025 der Länder Berlin und Brandenburg (innoBB 2025).



Insbesondere durch die Schwerpunktthemen und Leitlinien der innoBB 2025 werden fortlaufende Veränderungen erwartet, die den Masterplan künftig maßgeblich beeinflussen können. Die daraus erwachsenden Potenziale können durch die regelmäßige Aktualisierung des Masterplans sichtbar gemacht werden.

Der Masterplan bildet den Rahmen für die Operationalisierung der Aktivitäten im Cluster, die in diesem Dokument nicht alle und nicht in aller Detailtiefe aufgeführt werden. Für die Konkretisierung bestimmter Maßnahmen und Projekte dient der Masterplan als Orientierung.



# 10 Abkürzungsverzeichnis

The image features a solid blue background. In the bottom right corner, there are several thin, white, diagonal lines that intersect and extend towards the right edge of the frame, creating a modern, abstract graphic element.

## 10 Abkürzungsverzeichnis

<b>3D</b>	dreidimensional	<b>FMD</b>	Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland
<b>5G</b>	fünfte Generation – Standard für mobiles Internet und Mobiltelefonie	<b>GaAs</b>	Galliumarsenid
<b>AdMaCom</b>	Advanced Materials Competition	<b>GaN</b>	Galliumnitrid
<b>AG</b>	Arbeitsgruppe	<b>GHz</b>	Gigahertz
<b>ANH</b>	Aus- und Weiterbildungsnetzwerk Hochtechnologie	<b>GNSS</b>	Satelliten-Navigationssystem
<b>BA</b>	Bachelor	<b>GRW</b>	Bund-Länder-Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur“
<b>BAM</b>	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung	<b>HCL</b>	Human Centric Lighting
<b>BMBF</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung	<b>HHI</b>	Heinrich-Hertz-Institut, Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik
<b>BPWT</b>	Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH	<b>HTGF</b>	High-Tech Gründerfonds
<b>BTU</b>	Brandenburgische Technische Universität	<b>HTW</b>	Hochschule für Technik und Wirtschaft
<b>COPD</b>	chronisch obstruktiven Lungenerkrankung	<b>IC</b>	integrierter Schaltkreis
<b>CPS</b>	Cyber-Physical System	<b>IHP</b>	Leibniz-Institut für für innovative Mikroelektronik
<b>DVD</b>	Digital Versatile Disc	<b>IKT</b>	Informations- und Kommunikationstechnologie
<b>ECOP</b>	European Centres for Outreach in Photonics	<b>IMK</b>	IKT, Medien und Kreativwirtschaft
<b>EKG</b>	Elektrokardiogramm	<b>INAM</b>	Innovation Network for Advanced Materials e. V.
<b>EPIC</b>	European Photonics Industry Consortium	<b>innoBB</b>	Gemeinsame Innovationsstrategie der Bundesländer Berlin und Brandenburg
<b>EU</b>	Europäische Union	<b>innoFSPEC</b>	Zentrum für Innovationskompetenz für faseroptische Spektroskopie und Sensorik (innoFSPEC Potsdam)
<b>EWM</b>	Ergebnis- und Wirkungsmonitoring	<b>InP</b>	Indiumphosphid
<b>F&amp;E</b>	Forschung und Entwicklung	<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>FBH</b>	Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik		
<b>FIR</b>	far infrared		

<b>IZM</b>	Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration	<b>PhoKoS</b>	Photonik für Kommunikation und Sensorik
<b>KI</b>	künstliche Intelligenz	<b>PIC</b>	photonisch integrierter Chip
<b>km</b>	Kilometer	<b>POC</b>	Point of Care
<b>KMU</b>	kleine und mittlere Unternehmen	<b>Pr</b>	Praseodym
<b>kW</b>	Kilowatt	<b>PTB</b>	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
<b>LASIK</b>	Laser-in-situ-Keratomileusis	<b>Radar</b>	radio detection and ranging
<b>LED</b>	light-emitting diode	<b>RSA</b>	asymmetrisches kryptografisches Verfahren
<b>LiDAR</b>	light detection and ranging	<b>RWK</b>	Regionaler Wachstumskern
<b>LiFi</b>	light fidelity	<b>Si</b>	Silizium
<b>LITG</b>	Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e. V.	<b>SiC</b>	Siliziumcarbid
<b>MA</b>	Master	<b>SLM</b>	selective laser melting
<b>MEMS</b>	microelectrical and mechanical system	<b>SWOT</b>	SWOT-Analyse (engl. Akronym für Strengths [Stärken], Weaknesses [Schwächen], Opportunities [Chancen] und Threats [Risiken])
<b>MID-QKD</b>	Measurement Device Independent Quantum Key Distribution	<b>Tb</b>	Terbium
<b>MINT</b>	Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik	<b>TH</b>	Technische Hochschule
<b>Mio.</b>	Millionen	<b>THz</b>	Terahertz
<b>Mrd.</b>	Milliarde	<b>TU</b>	Technische Universität
<b>ms</b>	Millisekunde	<b>UAVs</b>	unmanned aerial vehicle
<b>nm</b>	Nanometer	<b>UK</b>	Vereinigtes Königreich von Großbritannien und Nordirland
<b>OCT</b>	optischen Kohärenztomografie	<b>UKP</b>	Ultrakurzpuls
<b>OPAT</b>	optische Prozessanalysetechnologie	<b>USA</b>	United States of America
<b>OSA</b>	Optical Society of America	<b>UV</b>	Ultraviolettstrahlung
<b>PDW</b>	Photonendichtewelle	<b>VLC</b>	visible light communication
<b>Pfi</b>	Programm für Internationalisierung		

<b>VR/AR</b>	Virtual und Augmented Reality
<b>WFBB</b>	Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH
<b>WiFi</b>	WLAN bzw. genauer Zertifizierung durch die Wi-Fi Alliance
<b>ZLM</b>	Zentrum für Lasermaterialien



## 11 Impressum

# 11 Impressum

## **Masterplan Optik und Photonik in der Hauptstadtregion Berlin Brandenburg**

### **Herausgeber**

Clustermanagement Optik und Photonik Berlin Brandenburg  
c/o Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH,  
Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH und  
Optec-Berlin-Brandenburg (OpTecBB e. V.)

### **Autor**

Optec-Berlin-Brandenburg (OpTecBB e. V.)

### **Redaktion**

Clustermanagement Optik und Photonik Berlin Brandenburg  
c/o Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH,  
Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH,  
Optec-Berlin-Brandenburg (OpTecBB e. V.)

### **Redaktionsschluss**

30. September 2019

### **Layout + Grafik**

GDA Gesellschaft für Marketing und Service  
der Deutschen Arbeitgeber mbH

### **Druck**

ARNOLD group

### **Bildnachweis**

Titelbild: Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH



# Unser Ziel: Ihr Erfolg!

Berlin und Brandenburg fördern das Cluster Optik und Photonik durch eine länder-übergreifende Wirtschaftspolitik. Das Clustermanagement erfolgt durch Berlin Partner für Wirtschaft und Technologie GmbH, den Optec-Berlin-Brandenburg (OpTecBB) e. V. sowie die Wirtschaftsförderung Land Brandenburg GmbH.

Unser Ziel ist es, Unternehmen und Wissenschaftseinrichtungen in den Bereichen der Optik und Photonik bei der Ansiedlung oder Weiterentwicklung am Standort umfassend zu unterstützen.

Wir helfen bei:

- **Standortsuche**
- **Förderung und Finanzierung**
- **Technologietransfer und F&E-Kooperationen**
- **Zusammenarbeit in Netzwerken**
- **Mitarbeiterrekrutierung**
- **Internationaler Markterschließung**

Sprechen Sie uns jederzeit gerne an!  
[www.optik-bb.de](http://www.optik-bb.de)

Wirtschaftsförderung  
Brandenburg | **WFBB**

**Wirtschaftsförderung  
Land Brandenburg (WFBB)**  
Babelsberger Straße 21  
14473 Potsdam  
[www.wfbb.de](http://www.wfbb.de)

Ansprechpartnerin:  
Dr. Anne Techen  
Tel.: 0331 730 61-424  
[anne.techen@wfbb.de](mailto:anne.techen@wfbb.de)



**Berlin Partner für Wirtschaft  
und Technologie**  
Fasanenstraße 85  
10623 Berlin  
[www.berlin-partner.de](http://www.berlin-partner.de)

Ansprechpartner:  
Gerrit Rössler  
Tel.: 030 46302456  
[gerrit.roessler@berlin-partner.de](mailto:gerrit.roessler@berlin-partner.de)



**OpTecBB e. V.**  
Rudower Chaussee 25  
12489 Berlin, Germany  
[www.optecbb.de/en](http://www.optecbb.de/en)

Ansprechpartner:  
Dr. Frank Lerch  
Tel.: 030 63921728  
[lerch@optecbb.de](mailto:lerch@optecbb.de)



**EUROPÄISCHE UNION**  
Europäischer Fonds für  
Regionale Entwicklung

Gefördert aus Mitteln der Länder Berlin und Brandenburg, kofinanziert von der Europäischen Union – Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE).