

AGENDA PHOTONIK

Update 2016

Trends, Herausforderungen, Chancen

innovation
point-of-care challenge
3D-camera transformation
internet deep learning
new rules digital light
cobots smart city adapting
photonics
connected digital light
artificial intelligence
paradigm mobility
augmented reality

new business models
disrupting car2X
partners smart home speed
virtual reality
networks new competitors
interface 3D-printing
intelligent light integrated systems
nano-camera new mindset IoT
consumer
autonomous driving
gesture control change big data
market-entry-mechanism
industry 4.0 touchscreen 4.0
human machine interface

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Impressum

Herausgeber:

VDI Technologiezentrum GmbH

VDI-Platz 1

40468 Düsseldorf

Verantwortlich für den Inhalt:

Der Programmausschuss für das BMBF-Förderprogramm Photonik Forschung Deutschland, vertreten durch die Sprecher

Dr.-Ing. E.h. Peter Leibinger, TRUMPF GmbH + Co. KG

Prof. Dr. Andreas Tünnermann, Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

Redaktion: VDI Technologiezentrum GmbH

Gestaltung & Umsetzung: ecosense – media & communication, Köln

Druckerei: Bonifatius GmbH, Paderborn

Titelfoto: OSRAM GmbH, München

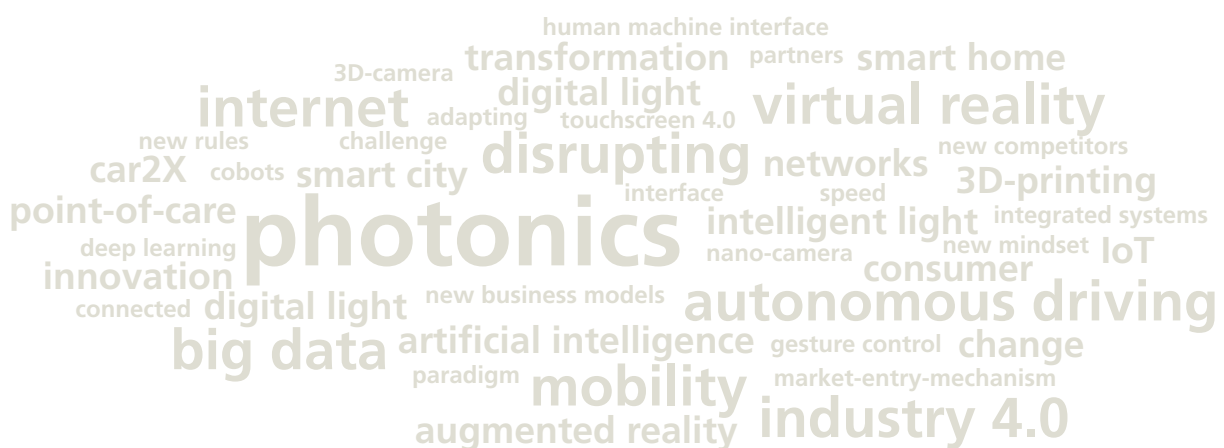
Düsseldorf, Dezember 2016

AGENDA PHOTONIK 2020

Update 2016

Der Programmausschuss für
das BMBF-Förderprogramm
Photonik Forschung
Deutschland

DEZEMBER 2016



FÜR DIE DEUTSCHE PHOTONIK-BRANCHE

DER PROGRAMMAUSSCHUSS PHOTONIK

Dr. Frank Fischer	Bosch Sensortec GmbH
Dr. Christoph Glingener	ADVA Optical Networking SE
Dr. Klaus-M. Irion	KARL STORZ GmbH & Co. KG
Volker Krause	Laserline GmbH
Prof. Dr. Gisela Lanza	Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Dr.-Ing. E.h. Peter Leibinger	TRUMPF GmbH + Co. KG
Dr. Ilka Luck	PICON Solar GmbH
Prof. Dr. Jürgen Popp	Leibniz-Institut für Photonische Technologien e. V.
Prof. Dr. Eva Schwenzfeier-Hellkamp	Fachhochschule Bielefeld
Dr. Ulrich Simon	Carl Zeiss AG
Prof. Dr. Andreas Tünnermann	Fraunhofer IOF
Prof. Dr. Klaus-Dieter Weltmann	Leibniz- Institut für Plasmaforschung und Technologie e. V.
Dietmar Zembrot	TRILUX GmbH & Co. KG



Peter Leibinger



Andreas Tünnermann

Digitalisierung, Disruption, Open Innovation – eine Branche im Aufbruch

Seit 2012 fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit seinem Programm „Photonik Forschung Deutschland“ vorwettbewerbliche Forschungsprojekte in der Photonik und bildet damit eine zentrale Säule in der F&E-Landschaft der Photonik-Branche in Deutschland. Die Inhalte des Programms basieren auf der „Agenda Photonik 2020“, einer Forschungsroadmap der Photonik-Branche, die 2010 in einem BMBF-geförderten Strategieprozess von Stakeholdern aus Wirtschaft und Wissenschaft gemeinsam erarbeitet wurde.

Doch seit Formulierung der Agenda und Start des Förderprogramms ist viel passiert. Das Thema Digitalisierung ist heute allgegenwärtig, vom sozialen Umfeld bis in die industrielle Produktion. Die Welt ist vernetzt, Information überall und für jeden verfügbar. Forschung und Entwicklung finden heute nicht mehr nur bei den Experten im Labor statt, Innovationen entstehen häufig interdisziplinär und funktionsübergreifend. Wertschöpfungsketten werden zunehmend global, traditionelle Branchen durch neue Player und Geschäftsmodelle aufgemischt.

Etwa zur Halbzeit des Programms haben wir die Forschungsagenda daher einer Überprüfung unterzogen: Welche Themen sind heute weiterhin aktuell? Wo müssen wir nachsteuern? In einem offenen Prozess mit rund 300 Teilnehmern, die Hälfte aus den Anwenderbranchen der Photonik, haben wir die Herausforderungen für die kommenden Jahre formuliert: von Mobilität und autonomem Fahren bis zu Smart Home und Smart City, von Consumer bis Industrie 4.0, vom Laserexperten bis zum Maker. Das Fazit in aller Kürze: Photonik ist zentraler Enabler und „Game-Changer“ der Digitalisierung, denn sie ist durch ihre einzigartige Eigenschaft als Werkzeug, Sensor oder bei der visuellen Kommunikation jeweils ein Schlüsselfaktor für die Umsetzung des digitalen Wandels.

Die Chancen sind enorm, die Aufgaben vielfältiger denn je. Die deutsche Photonik-Branche ist bereit, die Herausforderungen anzunehmen: den digitalen Wandel vom Fahrersitz gestalten und nicht nur als Mitfahrer – mit einer eng verzahnten F&E-Landschaft aus Wirtschaft und Wissenschaft, und mit neuen Partnern jenseits der Photonik von den Informationstechnologien bis in die Quantenwelt. Gemeinsam arbeiten wir daran, Technologieführerschaft und Wachstum langfristig zu sichern, die Rolle der Photonik in Deutschland als Schlüsseltechnologie zu bewahren und weiter auszubauen.

Für den Programmausschuss Photonik

Dr.-Ing. E.h. Peter Leibinger
Geschäftsführender Gesellschafter
TRUMPF GmbH + Co. KG

Prof. Dr. Andreas Tünnermann
Leiter des Fraunhofer-Instituts für
Angewandte Optik und Feinmechanik IOF



CODE OF A LIGHT

photronics
change
partners
internet
adapting
networks
new computers
touchscreen 4.0
continuous driving
challenge
new mindset
disrupting
industry 4.0
consumer
connected
speed
mobility
interface
new tubes
3D-printing
innovation
paradigm
digital light
new business model

CODE.n

new.New
Festival
2016

Innovate. Disrupt. Participate.

CODE

1 ZUR EINLEITUNG

Im Januar 2012 startete das Förderprogramm „Photonik Forschung Deutschland“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Es beschreibt die Strategie der Bundesregierung zur Unterstützung der Photonik-Forschung über den Zeitraum von zehn Jahren. Das Programm entstand als Reaktion der Bundesregierung auf den Strategieprozess „Photonik 2020“. Getragen von zahlreichen Stakeholdern aus Industrie und Forschung wurde in diesem Prozess die „Agenda Photonik 2020“ der deutschen Photonik-Branche erarbeitet. Erklärtes Ziel: die Stärkung der Innovationskraft der Unternehmen für den gemeinsamen Aufbruch von Wirtschaft, Wissenschaft und Politik in die Photonik.

Als Ergebnis aus dem Dialog mit der Fach-Community wurden fünf Handlungsfelder identifiziert, welche die Roadmap der Community und die Eckpunkte des Förderprogramms markieren:

- Photonik in Wachstumsmärkten nutzen
- Integrierte photonische Systemtechnologie aufbauen
- Photonische Prozessketten realisieren
- Die Basis der Photonik ausbauen – photonische Komponenten und Systeme
- Emerging Technologies – das Frühbeet der Photonik bestellen

Das Photonik-Programm wurde bewusst als lernender offener Handlungsrahmen angelegt, der in einem kontinuierlichen Dialog mit der Fachwelt weiterentwickelt und umgesetzt wird. Das Programm unterstützt die Ziele der Branche und stellt zugleich sicher, dass Bedarfe und staatliche Aufgaben berücksichtigt werden.

Aber nicht nur in Deutschland wurde das große innovative Potenzial der Photonik erkannt. Mit Bezug auf die deutschen Aktivitäten fand 2012/2013 in den USA unter Führung der National Academy of Sciences ein vergleichbarer Prozess statt. In der Folge wurde 2015 ein „Integrated Photonics Hub“ mit einem Volumen von 600

Foto linke Seite: Auftakt zum Photonik Strategie Forum auf dem CODE_n new.New Festival 2016 in Karlsruhe. Bild: VDI Technologiezentrum, Michael M. Roth / MicialMedia

Millionen US-Dollar errichtet. Weitere Innovation Hubs in den USA adressieren die – laserbasierte – additive Fertigung. Auch in Asien (China, Südkorea) ist die politische Unterstützung der Photonik noch einmal deutlich gewachsen. Neben verschiedenen Anwendungen zielen die politischen Initiativen weltweit stark auf die „integrierte“ Photonik – komplexe, miniaturisierte photonische Bauelemente wie in der Elektronik – als Enabler für die digitale Transformation.

Vor dem Hintergrund der hohen Dynamik in Forschung und internationalem Wettbewerb hat die Branche die deutsche Agenda nun für die zweite Hälfte der Programmlaufzeit (2017 bis 2021) in einem Update-Agendaprozess überprüft und nachgesteuert: Was wurde erreicht, wo gibt es Neues? Wo liegen die Prioritäten für die kommenden Jahre?

DIE AUSGANGSLAGE – DIE PHOTONIK IN DEUTSCHLAND 2016

Die Photonik zählt zu den wichtigsten Wachstums- und Zukunftsbranchen der deutschen Wirtschaft. Als Innovationstreiber und Basis für die Entwicklung und Herstellung der Produkte zahlreicher anderer Branchen beeinflusst sie zudem einen großen Anteil der über sieben Millionen Arbeitsplätze des produzierenden Gewerbes. Der Branchenreport Photonik sagt für die Schlüsseltechnologie bis 2020 einen Weltmarkt von 615 Milliarden Euro vorher – mit guten Wachstumsaussichten für die heimischen Photonik-Unternehmen: Nach einem Produktionsvolumen von rund 31 Milliarden Euro in 2015 wird für 2020 eine Zielmarke von 44 Milliarden Euro pro-

gnostiziert. Die Branche wirtschaftet mit einem hohen Exportanteil: Die Exportquote liegt mit 66 % weit über der des verarbeitenden Gewerbes (2015: 46,8 %). Auch die F&E-Quote der Photonik liegt mit konstant 9-10 % weit über dem Durchschnitt der verarbeitenden Industrie (ca. 4 %). Das BMBF hat in den letzten fünf Jahren ca. 500 Millionen Euro für Forschung und Entwicklung im vorwettbewerblichen Bereich zur Verfügung gestellt. Die Branche hat fast das Dreißigfache in Forschung und Entwicklung investiert – insgesamt rund 14 Milliarden Euro.¹

Deutschland ist in Forschung und industrieller Anwendung bei optischen Komponenten und Systemen international führend. Den Paradigmenwechsel zu Festkörperlichtquellen und optischen Halbleiter-Bauelementen hat die Branche erfolgreich gestaltet. Jetzt richten sich die Aktivitäten verstärkt auf noch umfassendere, integrierte photonische Systeme und Prozessketten. Das Photonik-Programm schafft dazu die nötigen Netzwerke von Wirtschaft und Wissenschaft. Im Einzelnen:

- Mit F&E-Verbundprojekten und der Leitmarktinitiative (innovative Beschaffung über Kommunen) wurde die LED aus der Grundlagenforschung in die Anwendung gebracht. Deutschland wurde zum Leitmarkt, die deutsche Industrie zum internationalen Leitanbieter anspruchsvoller LED-Beleuchtungssysteme – ein wichtiger Beitrag zur Energieeffizienz.
- Die Innovationsallianz Photovoltaik – im Photonik-Programm initiiert und gemeinsam mit dem BMWi umgesetzt – hat den Schulterschluss zwischen Herstellern und Ausrüstern (BSW/VDMA) erreicht und u. a. bewirkt, dass deutsche Unternehmen, vor allem in der Systemtechnik und im Anlagenbau, nach der globalen Konsolidierung heute mit innovativen Produkten und Verfahren am wachsenden Weltmarkt erfolgreich teilhaben.

- Für die Lebenswissenschaften/Medizintechnik stehen heute neue optische Verfahren der Bildgebung in der Markteinführung, die es ermöglichen, Erkrankungen frühzeitig zu erkennen und in ihren Ursachen – erstmals bis auf die Ebene molekularer Lebensvorgänge – zu verstehen.
- Bei der generativen Fertigung hat das Photonik-Programm zu der heutigen Führungsposition deutscher Anbieter bei industrietauglichen Verfahren (Metall, Keramik, Hochpräzision) entscheidend beigetragen.
- Halbleiterlaser und photonische Halbleiter-Bauelemente aus den Verbundprojekten des Photonik-Programms sind heute Treiber der Digitalisierung – Diodenlaser, LEDs, Faseroptik, Sensoren.
- Die Verfügbarkeit kostengünstiger Photonik-Bauelemente und -systeme eröffnet neue Möglichkeiten der Anwendung in Bildung und Mittelstand. Das Photonik-Programm hat mit der Make-Light-Initiative eine aktive Mitarbeit der Do-It-Yourself- und Maker-Szene erreicht, aus der aktuell neue Impulse für Innovation von Gründern bis zu (Groß-) Unternehmen entstehen.

Um den Erfolg des Förderprogramms sicherzustellen, wurden flankierend zur Projektförderung Voraussetzungen geschaffen, um F&E-Ergebnisse schnell umzusetzen und neue Impulse in das Innovationsgeschehen einzubringen. So zielten die innovationsunterstützenden Maßnahmen darauf, eine koordinierte Branchenarbeit aufzubauen, im Dialog mit der Öffentlichkeit die Sichtbarkeit der Photonik zu erhöhen und den Nachwuchs von morgen zu sichern.

Die Ergebnisse des Photonik-Programms haben ihren Niederschlag auch in diversen Auszeichnungen für Zuwendungsempfänger und Förderprojekte gefunden:

- Nobelpreis 2014 (Stefan Hell, STED-Mikroskopie)
- Deutscher Zukunftspreis 2011 (TU Dresden, NovaLED, Heliatek, organische Elektronik), 2013 (Bosch, FSU Jena, Fraunhofer IOF, Trumpf, Ultrakurzpulslaser)

¹ Photonik Branchenreport 2014, AG Marktforschung Photonik; SPECTARIS; Destatis

■ Innovationspreis der Deutschen Wirtschaft 2012 (ibidi, Biophotonik), 2014 (Abberior, Ausgründung S. Hell), 2016 (Schott, biegsames Glas für Optik und organische Elektronik)

GROSSE HERAUSFORDERUNGEN FÜR DIE ZUKUNFT

DIGITALE DISRUPTION UND NEUE PLAYER, GLOBALISIERUNG UND NEUE GESCHÄFTSMODELLE

Deutschland ist als einer der weltweit führenden Innovationsstandorte technologisch und wirtschaftlich hervorragend aufgestellt. Doch insbesondere vor dem Hintergrund des digitalen Wandels verschärft sich der globale Innovationswettbewerb. Neue Wettbewerber drängen auf die internationalen Märkte. Unternehmen sind heute bei der Wahl ihrer Standorte flexibler denn je, ihre Wertschöpfungsketten werden internationaler, komplexer und vernetzter.

Klassische, diskrete Bauelemente werden von hoch integrierten photonischen Technologien abgelöst; auf der Basis photonischer Verfahren entstehen neue Fertigungsketten; die mittelständische Leuchtenindustrie erfährt den Paradigmenwechsel vom Komponentenhersteller zum Dienstleister für vernetzte Systemlösungen. Es gilt, diesen Wandel zu gestalten, die Photonik-Branche für Zukunftsaufgaben und Wachstumsmärkte optimal aufzustellen, die notwendigen Kräfte zu bündeln, kleine Unternehmen und den Mittelstand zu stärken und Wachstum zu finanzieren.

Die Herausforderungen sind groß. Aus der Digitalisierung von Technologien, Produktionsumgebungen und Arbeitswelt folgen neue Geschäftsmodelle und Netzwerke. Aus der zunehmenden Internationalisierung resultiert die Frage nach künftigen Anteilen an Wertschöpfungsketten. Das Wachstum auch in Zukunftsmärkten braucht eine

agile Start-up-Szene und einen starken Mittelstand. Die Dynamik des Innovationsgeschehens verlangt es, Innovationsprozesse künftig stärker über die Unternehmensgrenzen hinaus zu gestalten. Hier muss sich die Photonik behaupten, ihre starke Position erhalten und ausbauen. Dafür gilt es, neue technologische Ansätze zeitnah in Innovationen zu überführen, den Schulterschluss mit Anwenderindustrien zu vollziehen und neue Partner im Innovationsprozess für die Photonik zu gewinnen.

Aktuell verändert die digitale Transformation Märkte, Mensch, Umwelt und Gesellschaft. Technologien wie Social Media, Cloud Computing und künstliche Intelligenz, immer kürzere Innovationszyklen und der Trend hin zu flexibler Fertigung und individualisierten Produkten zwingen Unternehmen, ihre Geschäftsmodelle grundlegend zu überdenken. Die Blaupause dieses Wandels umfasst digitale Messdaten, Automatisierung in zunehmend autonomen Systemen, Wertschöpfung in dynamischen Netzwerken und digitalen Kundenzugang, verbunden mit Transparenz und neuen Dienstleistungen.

Die Photonik ist eine Schlüsseltechnologie dieses digitalen Wandels.

Die photonbasierte Erfassung von Information mittels Sensorik oder Kameras schafft wichtige Datengrundlagen – sei es für die Überwachung und Steuerung der Produktion, das autonome Agieren von Robotern und Fahrzeugen oder die persönliche Gesundheitsvorsorge. Die visuelle Darstellung von Information ist der zentrale Baustein zur Unterstützung des Menschen im komplexen Umfeld – im Operationssaal, im Straßenverkehr oder bei der Durchführung von Fertigungs- oder Wartungsarbeiten; und in der Produktion erlauben Lasersysteme das hochautomatisierte und flexible Trennen, Fügen oder Strukturieren von Bauteilen ebenso wie den kompletten Aufbau von Gegenständen mittels additiver Fertigung.

Die Photonik-Branche in Deutschland ist stark positioniert. Sie hat alle Chancen, den digitalen Wandel vom Fahrersitz aus zu gestalten. Das verlangt, die Schnittstellen zwischen der Photonik und anderen Technologien zu

besetzen, Geschäftsmodelle neu zu denken und Partnerschaften jenseits des bisherigen Beziehungsgefüges auf- und auszubauen.

DIE AGENDA PHOTONIK 2020 UND DAS FÖRDERPROGRAMM PHOTONIK FORSCHUNG DEUTSCHLAND

EINE LERNENDE FORSCHUNGS-ROADMAP AUF DEM PRÜFSTAND

Es gilt, den Wandel im Innovationsgeschehen genau in den Blick zu nehmen, die Herausforderungen zu meistern, die Chancen zu ergreifen. Zur Laufzeitmitte des Photonik-Programms hat die deutsche Photonik-Community daher unter der Führung des Programmausschusses ihre Forschungsagenda auf den Prüfstand gestellt.

Um sich neuen Partnern stärker zu öffnen, wurde für das Update der Agenda Photonik 2020 ein zweistufiger Strategieprozess gewählt. BMBF und Programmausschuss identifizierten zunächst gemeinsam sechs Themenkomplexe mit hoher Dynamik in Technologie und Markt:

- Connected Light – Intelligente Beleuchtungslösungen von Smart Home bis Smart City
- Consumer Photonics – Photonik für Verbrauchermärkte
- Mensch-Maschine-Produktion – Flexible und vernetzte Produktion für Industrie 4.0
- Photonische Gesundheitstechnologien – Lebenswissenschaften und Umweltanalytik
- Licht und Mobilität – Photonik im Fahrzeug
- Light Connects – Photonik für Information und Kommunikation

*Bild rechte Seite: Intelligente Straßenbeleuchtung in der Smart City.
Bild: Continental Automotive GmbH*

Zu diesen Themenkomplexen wurden in einem ersten Schritt im Frühjahr 2016 dezentrale Workshops mit insgesamt rund 200 Teilnehmern durchgeführt – organisiert und moderiert von Themenpaten aus dem Programmausschuss. Hierbei wurde das Teilnehmerfeld über die Photonik-Fach-Community hinaus erweitert, durch das Einbinden von Anwendern, Technik- und Wirtschaftsjournalisten, interdisziplinären Forschungsrichtungen, Banken- und Kapitalwelt bis hin zu kreativen Bewegungen wie der Maker-Szene.

Im zweiten Schritt wurden die Zwischenergebnisse aus diesen Workshops im Herbst 2016 im Rahmen des Photonik Strategie Forums auf dem CODE_n new.New Festival in Karlsruhe in einem größeren, offenen Plenum zur Diskussion gestellt. CODE_n ist im Kern ein internationales Start-up- und Innovationsfestival, das 2016 unter dem Motto „Unveiling Digital Disruption“ dem Schwerpunkt Photonik gewidmet war.

Kontinuierlich begleitet wurde der Strategieprozess durch eine offene, geschützte und moderierte Online-Plattform, wo die Diskussionen mittels Web-2.0-Tools interaktiv begleitet, kommentiert und ergänzt werden konnten.

Die Ergebnisse des Strategieprozesses werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt.

2 CONNECTED LIGHT – INTELLIGENTE BELEUCH- TUNGSLÖSUNGEN VON SMART HOME BIS SMART CITY





Bild links: Visual light communication (VLC).

Bild: istockphoto.com/OJO_Images/edit: Fraunhofer HHI

Foto rechts: LED „Pixelwand“ zur Simulation unterschiedlicher Tageslichtstimmungen in den Østbanehallen in Oslo. Bild: OSRAM GmbH

MEHR ALS „NUR“ ENERGIE-EFFIZIENZ

Halbleiterlichtquellen haben sich innerhalb von wenigen Jahren in nahezu allen Bereichen der technischen und dekorativen Beleuchtung durchgesetzt. Wesentlicher Treiber hierfür war und ist das enorme Einsparpotenzial der Energie, welche für die Lichterzeugung aufgewendet werden muss. Gegenwärtig erzielen LEDs Lichtausbeuten von bis zu 200 lm/W (Lumen pro Watt) im Labor und über 100 lm/W in der (Massen-) Produktion, was die Möglichkeiten traditioneller Lichtquellen deutlich übersteigt.

LED-Lichtquellen zeichnen sich durch lange Lebensdauern bis zu 50.000 Stunden aus und machen den Austausch von Lichtquellen und anderen Komponenten nahezu obsolet. Neue Finanzierungs- und Fördermodelle geben Kaufanreize und haben in den vergangenen Jahren dazu geführt, dass der LED trotz höherer Kosten bei der Erstinstallation mittlerweile in fünf von zehn Fällen der Vorzug vor traditionellen Lichtquellen gegeben wird. Steigende Produktionsvolumina der LED und zunehmender Wettbewerbsdruck schlagen sich in der Beleuchtungsbranche mit einem Preisverfall von bis zu 20 % pro Jahr nieder. Dennoch ist aufgrund der traditionell langen Nutzungsdauer von Beleuchtungsinstallationen die Durchdringung im Bestand gegenwärtig sehr gering, so dass noch erhebliche Wachstumschancen bestehen. Da die Halbleiterlichtquelle aber nur einen Teil der Leuchte darstellt, sind diese Marktchancen und Einsparpotenziale nur zu realisieren, wenn auch die Lichtsteuerung und -verteilung mit gedacht wird. Ziel muss es werden, das geforderte Licht mit der richtigen Qualität dort zu erzeugen, wo es tatsächlich benötigt wird.

Die Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen von Wechselwirkungen zwischen Beleuchtung, Materialien und Biologie lassen immer deutlicher erkennen, dass eine nachhaltige Beleuchtung sich nicht nur durch normgerechte Beleuchtungsparameter und die Erfüllung einer Sehaufgabe definiert, sondern auch nicht-visuelle Belange berücksichtigen muss, wie etwa Sicherheitsempfinden, Wohlfühlatmosphäre und ein ansprechendes Design. Darüber hinaus wird z. B. die Kopplung der inneren Uhr des Menschen mit dem natürlichen Tag-Nacht-Zyklus durch das Licht bestimmt; ein ausgeprägter Schlaf-Wach-Rhythmus kann durch Licht gefördert werden und ist eine Voraussetzung für mehr Gesundheit, Wohlbefinden und Sicherheit in Berufsleben und Alltag. Für die Umsetzung einer derartigen Beleuchtung, im Allgemeinen unter dem Begriff „Human Centric Lighting“ (HCL) zusammengefasst, sind intelligente Lichtsteuerungssysteme erforderlich, die an die individuellen Bedürfnisse angepasst werden können.

Darüber hinaus ermöglicht die erweiterte Funktionalität der Beleuchtung auch die Erschließung neuer Anwendungsfelder: in der Beleuchtung selbst z. B. durch Gestensteuerung, Sprachsteuerung oder aktivitätsabhängige Beleuchtung, aber auch durch Kombination mit anderen Technologien, wie z. B. integrierten Sensoren zur Messung von Temperatur oder Luftqualität. Sichtbares Licht kann zudem zur Datenübertragung genutzt werden, z. B. zur Übertragung hoher Datenraten oder zur Ortung in Gebäuden. Die Branche steht daher in einem Paradigmenwechsel vom effizienten Produkt zu einem sehr viel leistungsfähigeren System, das am Markt zu neuen Geschäfts- und Servicemodellen führen wird. Als Beispiele:

- Straßenbeleuchtungsanlagen können heute miteinander vernetzt werden und bieten Lichtmanagementsysteme, die Energiemonitoring und Wartungsservices für die kommunalen Betreiber ermöglichen. Durch adaptive Beleuchtung, z. B. individuelle Dimmprofile, dynamische Lichtverteilungen oder konsequente Anwendung des Kriteriums „Visibility“ mit der Verknüpfung an mögliche Höchstgeschwindig-



Foto oben: Intelligente Straßenbeleuchtung. Bild: OSRAM GmbH

keiten, können zusätzliche Einsparpotenziale erreicht werden. Zukünftig sollen vernetzte Straßenleuchten auch weitere neue Services ermöglichen, die über die reine Beleuchtung hinausgehen können, wie z. B. Parkraum- oder Verkehrsmanagement oder die Netzversorgung. Damit wird die Beleuchtungsinfrastruktur zum wesentlichen Baustein einer Smart City.

- Für die Innenbeleuchtung wurden zunächst intelligente, lokal begrenzte Lichtsteuerungssysteme für einzelne Arbeitsplätze oder Räume entwickelt. Die Vernetzung der Systeme untereinander sowie zu anderen Gebäudesystemen befindet sich noch in den Anfängen. Perspektivisch ist aber auch hier die Beleuchtung wesentlicher Schlüssel des Smart Home.

Technische Voraussetzungen für vernetzte Beleuchtungsanlagen befinden sich vielfach noch im Aufbau. So existieren gegenwärtig noch keine etablierten Verfahren, nach denen z. B. eine HCL-fähige Beleuchtung geplant werden kann. Völlig ungeklärt ist ebenfalls, welche Verfahren der Vernetzung für die Beleuchtung am vorteilhaftesten sind, weshalb aktuell proprietäre Lösungen und heterogene Technologien dominieren. So werden etwa für die Vernetzung von Lichtpunkten und Beleuchtungsanlagen mit dem Betreiber/Anwender mehrere Technologien (Power over Ethernet, Powerline, WiFi, Integration bestehender Bussysteme etc.) parallel betrachtet.

DIE DEUTSCHE POSITION

Anfangen von der Entwicklung und Produktion von Halbleiterlichtquellen über Sensoren, elektronische Komponenten zum Betrieb und zur Vernetzung von Beleuchtungsanlagen bis hin zu komplexen Softwarelösungen (Cloudanbindung, Big-Data-Plattformen, Smart-Data-Berechnung, geräteunabhängige Bedienoberflächen) können alle Bereiche der relevanten Technologie- und Wertschöpfungsketten in Deutschland abgedeckt werden.

Deutschland bietet mit seiner bereits bestehenden digitalen Infrastruktur sowie der technisch geprägten Forschungs-, Ausbildungs- und Industrielandschaft in einem europäischen High-Tech-Umfeld gute Voraussetzungen für die Implementierung intelligenter Beleuchtung und deren Vernetzung mit anderen Partnern, z. B. aus der Informationstechnik (Kommunikations-IT, Business-IT), der Sensortechnik, der Gebäudeplanung, Gebäudemanagement, kommunalen Institutionen, Installation und vielen anderen.

DER WEG ZU DEN BELEUCHTUNGSLÖSUNGEN VON MORGEN

BEDARFE VERSTEHEN, SYSTEME VERNETZEN, BENUTZERSCHNITTSTELLEN REVOLUTIONIEREN

Für die flächendeckende Einführung intelligenter Beleuchtung müssen technologische Grundlagen erschlossen bzw. teilweise entwickelt werden; intuitive Bedienkonzepte müssen entworfen, aber auch Lichtbedürfnisse besser verstanden werden. All dies erfordert die Integration von Sensoren, entsprechender Ansteuermöglichkeiten, Datenkommunikation und -verarbeitung. Hier fehlt es heute an einheitlichen Schnittstellen, Protokollen, aber auch an einfachen Bedienoberflächen. Intelligente Lichtlösungen müssen mit Sensorik, Steuerung und Kommunikationstechnologien verknüpft und durch interdisziplinäre Forschung verifiziert werden. Auch die einzelnen Komponenten, wie die optische Sensorik oder Bilderkennung, werden an ihre Grenzen geführt; hier sind z. B. das sichere, anonyme Erkennen bzw. Zählen von Personen

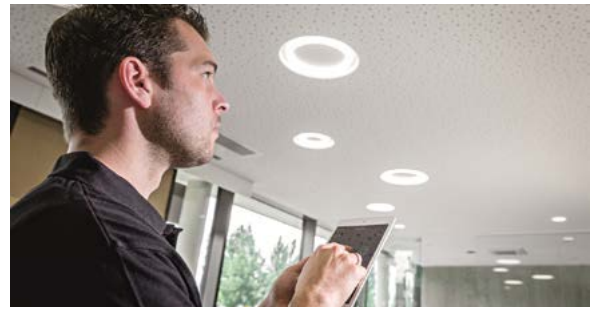
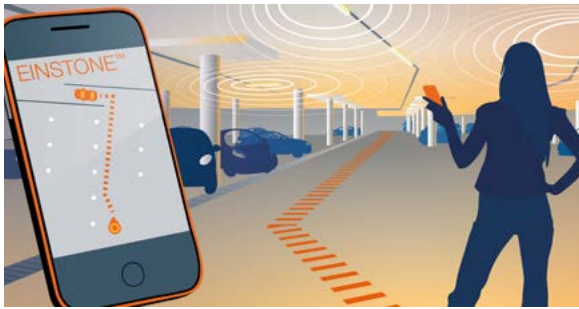


Bild links: Kombination von Beleuchtung, Navigation und Parkraummanagement. Bild: OSRAM GmbH

Foto rechts: LED-Beleuchtung im Smart Home. Bild: TRILUX GmbH & Co. KG

oder Fahrzeugen, die Erkennung und Interpretation von Intentionen anhand von Verhalten und Gesten oder das Erkennen von Notsituationen zu nennen.

Um daraus wirtschaftlich relevante Geschäftsmodelle abzuleiten, müssen sich neue Geschäftsideen stärker nach den gesellschaftlichen Bedarfen richten:

- Wenn z. B. eine Beleuchtungsanlage regelmäßig über aktuelle Energieverbräuche, Dimmlevel, Schaltvorgänge und Ausfälle informieren soll (Fernwartung), sind nicht nur technische Voraussetzungen zu schaffen (Auslesen der Anlagenzustände), sondern es müssen auch Realisierungsaufwendungen im Vorhinein abgeschätzt und in ein entsprechendes Geschäftsmodell übersetzt werden, um dem Endverbraucher bzw. Anlagenbetreiber Informationen und Optimierungsvorschläge in Bezug auf die Beleuchtung zugänglich zu machen.
- Durch Tracking von Personen durch die Sensorik des Beleuchtungssystems werden dem Kunden Optimierungsvorschläge zum Energieverbrauch oder zur Raumnutzung gemacht. Unklar hierbei ist noch, wie das Gesamtsystem vor Missbrauch geschützt werden kann, wie exakt solche Systeme mit heute verfügbaren Sensoren funktionieren und welche neuen Geschäftsbeziehungen aufgebaut werden müssen.

Dabei ist die intelligente Beleuchtung mittlerweile im Fokus unterschiedlichster Industriezweige: Automobilhersteller zeigen LED-Straßenleuchten als Stromtankstelle; Anbieter von Unterhaltungselektronik verkaufen „smart LED bulbs“; Konsortien aus Mobilfunkanbietern, Automobilisten und Energieversorgern stellen vernetzte und intelligente Straßenbeleuchtung vor. Neben der klassischen Lichtindustrie drängen unterschiedlichste Player aus den Bereichen Smart Home, Netzinfrastruktur und Service Provider, Energie, Heim- und Gebäudeautomation sowie große IT-Firmen in den Markt.

Organische LED (OLED) konnten sich bislang nicht in der Allgemeinbeleuchtung etablieren, da hierfür noch keine wirtschaftlichen Produktvorteile herausgearbeitet werden konnten. Nichtsdestotrotz können OLED als Halbleiterlichtquellen ebenfalls problemlos in intelligente vernetzte Lichtsysteme integriert werden. Auch Laserquellen, die bereits Einzug in Automobilbeleuchtung und Entertainment halten, könnten für Zwecke der Allgemeinbeleuchtung genutzt werden.

Die Nutzung von LED zur digitalen Informationsübertragung mittels Licht (VLC: visual light communication) erfordert noch umfangreiche Grundlagenforschung, da neue technische Konzepte erarbeitet werden müssen. Hierbei muss auch beachtet werden, dass sich keine Nachteile für die eigentlichen Beleuchtungsaufgaben ergeben dürfen.

HANDLUNGS- UND FORSCHUNGSBEDARF

Neben der Frage, wie wirtschaftlich relevante Geschäftsmodelle aussehen müssen, stehen in den kommenden Jahren Fragestellungen zu folgenden wissenschaftlich-technischen Themen im Vordergrund:



Fernsteuerung und Fernwartung durch Webservices mit Fokus auf Großkunden der Beleuchtungsindustrie (Kommunen, Flughäfen, Einzelhandelsketten etc.)
Verbesserte, robuste und kostengünstige Sensoren für die Lichtsteuerung (z. B. Präsenz, Bewegung, Tageslicht, Temperatur)
Verknüpfung mit Sensorik über die Lichtsteuerung hinaus (z. B. Gassensorik, Radar zur Parkraumüberwachung, Infrarot, Videosensoren etc.)
Integration von Sensoren auf Leuchten- und Komponentenebene
Selbstkonfigurierende Beleuchtungsinstallationen
Neue Sensorfunktionen und (anonymisierte) Bilderkennung
Dokumentierte und offene Schnittstellen mit standardisierten Inhalten
Akzeptanz (Wahrnehmungspsychologie, Raumwirkung etc.)
Evaluierung der Kennzahl Sichtbarkeit bzw. „Tarnwahrscheinlichkeit“ und Implementierung in die gängige Simulationssoftware; Innovative Lichtplanung nach Sichtbarkeiten und nicht mehr nach Helligkeiten, inkl. dem Nachweis der Planungswerte
„Smart-Poles“ für die Außenbeleuchtung, inkl. Systemarchitektur und Schnittstellen
Digitale Souveränität für Bürger, Datensicherheit, Privacy
Untersuchung spektraler Zusammensetzungen für neue Beleuchtungskonzepte wie HCL, medizinische Anwendungen, Tier- und Pflanzenbeleuchtung (urban farming)

Die Anbindung von Beleuchtungssystemen an das „Internet of Things“ erfordert internationale Abstimmung auch über die EU hinaus. Die Nutzung bereits standardisierter Protokolle (http, tcp, udp) muss forciert werden. Offene, dokumentierte Schnittstellen (APIs) für vernetzte Beleuchtungssysteme müssen geschaffen werden, um Licht auch mit anderen Gewerken zu verbinden. Standards für die Berücksichtigung individueller Bedürfnisse durch HCL sind auf europäischer Ebene zu erarbeiten. Deutschland nimmt hier eine Vorreiterrolle ein und hat bereits Vornormen erarbeitet.

Die Abstimmung mit anderen Arbeitsgruppen im Programmausschuss für die Photonik-Förderung des BMBF, aber auch mit anderen Ministerien, wie dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur oder dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit müssen weiter ausgebaut werden, um Doppelarbeiten zu vermeiden und Synergien zu nutzen.

Um die Implementierung vernetzter Beleuchtung in Deutschland zu beschleunigen und wirtschaftliche Risiken der beteiligten Industriezweige zu minimieren, bietet die Projektförderung des BMBF gute Möglichkeiten zur Unterstützung: Durch industrielle Verbundprojekte, Innovationsallianzen, Pilotprojekte oder Leitmarktinitiativen können Leuchtturmprojekte mit großer Strahlkraft geplant und umgesetzt werden. Wünschenswert wäre hier ergänzend die Möglichkeit zu „Fast-Track-Projekten“ (Projekte mit verkürzter Beantragung und Laufzeit), um den kurzen Entwicklungszyklen bei konsumernahen Produkten und Anwendungen entgegenzutreten.

3 CONSUMER PHOTONICS – PHOTONIK FÜR VERBRAU- CHERMÄRKTE





SPEZIALTECHNIK AUF DEM WEG IN DEN ALLTAG

Die klassischen Geschäftsmodelle der deutschen Photonik spielten sich bislang überwiegend im B2B-Umfeld ab. In den letzten Jahren ist hier allerdings ein Wandel zu beobachten: Vom Smartphone bis in die virtuelle Realität, vom Smart Home bis zur Heimrobotik, egal ob auf IFA, CES oder CeBit – bei nahezu allen zentralen Trendthemen der Konsumerelektronik spielen photonische Technologien eine wegweisende Rolle. Sie dienen in zunehmendem Maß auch unmittelbar dem Verbraucher. So spielen immer wieder neue Displaytechnologien eine wichtige Rolle nicht nur für Fernseher, Mobiltelefone und Computer, sondern auch für z. B. Autos und Waschmaschinen. Hinzu kommt eine Vielzahl von Einsatzgebieten der optischen Sensorik für Gesundheit, Sport und Fitness, die Heimrobotik oder auch das Smart Home. Klassische Hobbies wie die Fotografie oder die Astronomie profitieren ebenso von den immerwährenden Fortschritten im Bereich der Optik. Auch jenseits der reinen Unterhaltung spielt die Photonik eine nicht wegzudenkende Rolle für unseren Alltag. Sehhilfen etwa scheinen selbstverständlich und sind doch ein Schwerpunkt der technologischen Entwicklung. Neue Anwendungen der „Consumer Photonics“ wirken dann ihrerseits auch in Bereiche zurück, die zuvor industrietauglichen, deutlich teureren und in deutlich geringeren Stückzahlen verkauften Photonik-Anwendungen vorbehalten waren.

So divers die Einzelbeispiele auch sind: charakteristisch für alle ist folgende Technologiekette:

Foto linke Seite: Innovative Bedienkonzepte durch miniaturisierte Laserprojektoren. Bild: Bosch Sensortec GmbH

Bild oben: Integrierte photonische Sensorik für Konsumeranwendungen. Bild: Fraunhofer IPMS

Alle vier Blöcke müssen dabei ganzheitlich gedacht werden. Jeder der einzelnen vier Bereiche hat aber auch seine spezifischen Einzeltechnologien mit den entsprechenden Herausforderungen. Im Bereich der Datenerfassung spielen die (3D-)Sensorik sowie innovative Kameras bzw. Multikamerasysteme eine wichtige Rolle. Für Verbraucherprodukte entstehen dabei ein enormer Preisdruck sowie häufig der Bedarf an kompakten energiesparenden Lösungen. Diese Rahmenbedingungen gehen in aller Regel mit einem ungenaueren Messsignal einher als teure, große und professionelle Aufbauten liefern könnten. Um dennoch eine adäquate Funktionalität wie die Identifikation eines Objekts oder die genaue Bestimmung einer Entfernung zu erzielen, steigen die Anforderungen an die Datenverarbeitung. Gelingt die Kompensation von Messgenauigkeit durch Algorithmen, dann könnten Kosumerlösungen auch ihren Weg in professionelle Anwendungen finden. Immer effizientere Algorithmen, eine Zugänglichkeit zu hoher Rechenleistung (z. B. mittels Cloud-Computing) sowie eine enge Verzahnung zur Datenerfassung einerseits und zur Visualisierung andererseits machen dies möglich. Die Visualisierung der er-





Foto links: Vom Insektenauge inspirierte Miniaturkamera mit 1 Million Pixel Auflösung und sehr hoher Tiefenschärfe. Bild: Fraunhofer IOF



Foto rechts: Virtual und Augmented Reality sind vielversprechende Ansätze für die Mensch-Maschine-Schnittstelle in Smart Home und Industrie 4.0. Bild: Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

hobenen und verarbeiteten Daten erfolgt in aller Regel mittels eines Displays bzw. einer Projektionstechnologie. Lösungen wie OLEDs, Mikro-LEDs, Quantenpunkten oder auch Laserprojektionssystemen kommt dabei eine wichtige Bedeutung zu. Die Systeme sollten möglichst flach und idealerweise flexibel sein, einen großen Farbraum abdecken und eine gute Auflösung haben, was insbesondere bei Near-to-Eye-Anwendungen eine enorme Herausforderung darstellt. Zuletzt muss die Bedienbarkeit der Technologie über eine möglichst einfache Mensch-Maschine-Schnittstelle gewährleistet werden. Häufig spielt auch hierbei die Technologie zur Datenerfassung (z. B. Gestenerkennung) und Visualisierung (z. B. Touch-Display) oder auch deren Kombination in einer projizierten „mixed reality“ eine wichtige Rolle. Hier wird das Wechselspiel der vier einzelnen Blöcke besonders deutlich.

DIE AUSGANGSLAGE IN DEUTSCHLAND

STÄRKEN BEI SCHLÜSSELKOMPONENTEN, NACHHOLBEDARF IN STÜCKZAHLEN

Deutsche Unternehmen sind gut darin, qualitativ hochwertige und hochpreisige Komponenten bis hin zu Gesamtsystemen und Anlagen zu entwickeln. Der deutsche Anlagenbau schreibt mit einem prognostizierten Gesamtumsatz in Höhe von rund 225 Milliarden Euro im Jahr 2016 erneut Rekordumsätze.² Deutschland hat

führendes Know-how bei kompakten Strahlquellen (z. B. VCSEL, Mikro-LED) oder auch in vielen Teilbereichen der optischen Sensorik. So finden sich beispielsweise Sensoren, Materialien oder LEDs deutscher Hersteller in nahezu jedem Smartphone. Für ein integriertes Gesamtsystem im Bereich der Consumer Photonics (in hohen Stückzahlen) fehlen allerdings wesentliche erforderliche Technologien (z. B. die integrierte Mikrooptik und miniaturisierte Elektronik) sowie zum Teil die Montagetechniken für eine Hochvolumenfertigung. Letztlich liegt dies auch an den enormen Initialkosten, die entsprechende Fabriken mit sich bringen. Der Aufbau von relevanten Produktionskapazitäten für z. B. OLEDs oder CPUs verschlingt typischerweise mehrere Milliarden Euro.

Die Herangehensweise deutscher Unternehmen zielt in aller Regel stärker auf B2B-Geschäfte ab. Durch den perfektionistischen Ansatz werden deutsche Autos, Anlagen und auch chemische Erzeugnisse weltweit geschätzt. Dieser Ansatz ist allerdings aufgrund der längeren Entwicklungszeiten häufig nicht kompatibel mit typischen Innovationszyklen im Konsumermarkt und der dafür typischen „Time-to-Market“ einer neuen Technologie oder Produktgeneration. Eine Konsequenz der Ausrichtung deutscher Firmen ist ebenso, dass Lösungsansätze häufig von der Technologie getrieben werden und nicht vom Anwendungsfall. Aus Letzterem resultierende Geschäftsmodelle und Innovationen werden von großen Firmen oft gar nicht betrachtet.

DIE HERAUSFORDERUNGEN

STÄRKEN STÄRKEN, DENKWEISEN ÖFFNEN, GLOBAL VERNETZEN

Wie dargestellt fällt es aus unterschiedlichen Gründen schwer, die Wertschöpfungskette im Konsumermarkt vollständig innerhalb Deutschlands abzubilden. Um international dennoch einen wichtigen Teil der Wertschöpfungskette einzunehmen, müssen strategische Koopera-

² Branchenreport – Maschinenbau, Statista, 2016

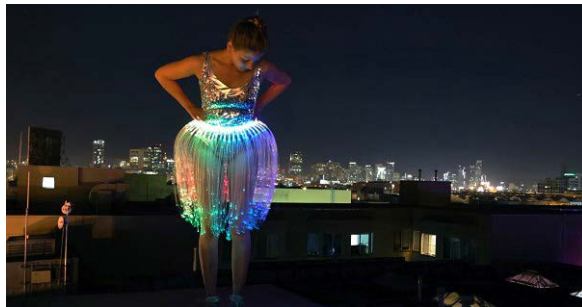


Foto oben: Photonik in der Mode- und Kreativwelt. Der „Jellyfish Skirt“ von Lina Wassong. Bild: Lina Wassong

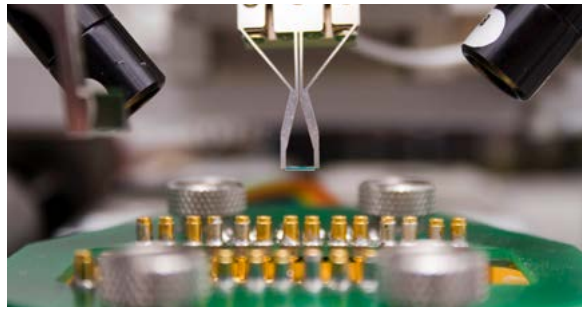
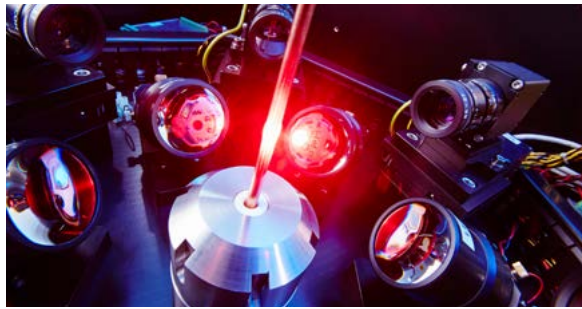
tionen mit asiatischen und amerikanischen Unternehmen eingegangen werden. Zudem sollten spezifische Technologieschwerpunkte mit Zukunftspotenzial gefördert werden. Hierzu gehören unter anderem kompakte Lichtquellen (z. B. Micro-LED, Laser), die Sensorik (insbesondere 3D-Bildgebung und multimodale Ansätze), neuartige Mikro- und 3D-Display- sowie Projektionstechnologien.

Letztlich müssen aber auch Chancen erkannt werden, innovative Technologieansätze aus dem Industrieumfeld in Anwendungen für Konsumenten zu transferieren. Da dazu in aller Regel mehrere unterschiedliche Partner beteiligt sein müssen (z. B. Hardware-, Software- und Dienstleistungsunternehmen) ist eine größere Offenheit in einem frühen Entwicklungsstadium nötig. Dies kann z. B. durch spezifische Partnerschaften oder auch gemeinsame Spin-Offs erfolgen. Start-ups haben ein besonderes Potenzial, um völlig neuartige Anwendungsfälle zu kreieren. Daher sollten sie frühzeitig Zugang zu Hardware-Entwicklungsplattformen, Software Development Kits und offenen Programmierschnittstellen erhalten.

Ein in Deutschland häufig nicht hinreichend berücksichtigter Aspekt ist die „User Experience“ (UX, Nutzererfahrung, Nutzungserlebnis). Für den Erfolg eines Produktes auf dem Konsumermarkt ist es unerlässlich, dass es dem Verbraucher leicht fällt, eine Technologie zufriedenstellend zu nutzen. Dies gilt ganz besonders für den Freizeit- und Unterhaltungssektor. Es gilt, das Thema User Experience künftig verstärkt schon von Beginn an bei der Entwicklung zu berücksichtigen und in der akademischen und technischen Ausbildung stärker zu verankern. Geeignete Formate könnten beispielsweise Summer Schools in Design Thinking oder auch die Einrichtung von Laboren zum einfachen Erstellen von Demonstratoren und Prototypen sein. Hierbei könnten auch Kooperationsmodelle mit offenen Werkstätten wie Fablabs und Makerspaces ein geeignetes Werkzeug darstellen.

4 MENSCH-MASCHINE-PRODUKTION – FLEXIBLE UND VERNETZTE PRODUKTION FÜR INDUSTRIE 4.0





DEN WANDEL DER PRODUKTION GESTALTEN

Die Produktion befindet sich im Wandel zu einer größeren Anpassungsfähigkeit. Es werden kostengünstige technische Lösungen für eine kundenindividuelle Produktion gesucht. Bereits heute werden in Produktionsprozessen durch Fertigungsanlagen und die Auftragssteuerung immense Datenmengen generiert. Die individualisierte Produktion führt zu einer zunehmenden Komplexität, die ein Handhaben und Interpretieren dieser Datenmengen erschwert. Neben anpassungsfähigen Fertigungsanlagen muss eine intelligente Datenerfassung und -auswertung den Menschen bei der Beherrschung dieser Komplexität unterstützen. Das übergeordnete Ziel der Produktion ist eine ressourceneffiziente Herstellung individualisierter Serienprodukte in globalen Netzwerken und der Umgang mit Unsicherheit und Dynamik durch robuste Produktionssysteme (Industrie 4.0).

Wenn starre Fertigungsanlagen weder den individuellen Kundenbedürfnissen noch der volatilen Produktionsumgebung Rechnung tragen, ist zu erwarten, dass Serienprodukte in Zukunft weiter aus Deutschland abwandern werden. Die Digitalisierung bietet dem deutschen Maschinen- und Anlagenbau die Chance, eine kostengünstige Produktion zu ermöglichen, bei der der Mensch in der Produktentstehung und Fertigungsüberwachung bzw. -kontrolle im Mittelpunkt steht. So ließe sich die Produktion bei zunehmender Komplexität mit Hilfe von intelligenten digitalen Datenanalysen und hochqualifizierten Mitarbeitern in Produktentwicklung und Produktion weiterhin – und idealerweise auch wieder zunehmend – am Standort Deutschland bewältigen. Als eine Schlüsseltechnologie wird die additive Fertigung mit „digitaler“ Produktentstehung und Fertigung gesehen, welche insbesondere für die Märkte Automobilbau, Energie, Luft- und Raumfahrt, Werkzeug- und Formenbau, Rohmaterial- und Halbzeugherzeugung sowie Medizintechnik Relevanz besitzen kann.

Foto linke Seite: Mensch-Maschine-Kollaboration in der Industrie 4.0. Bild: ABB AG

Foto links: Online-Erfassung von Oberflächendefekten auf Drähten bei bis zu 30 m/sec. Bild: Fraunhofer IPM/Wuttke

Foto rechts: Automatisierte Aufbau- und Verbindungstechnik. Bild: ficonTEC Service GmbH

Die deutsche Industrie besitzt ihre Stärken in der Datenerfassung (Sensorik) sowie in der Maschinen-, Anlagen- und Systemtechnik (z. B. Aktorik). Der Bereich der Datenauswertung liegt überwiegend in der Hand ausländischer Unternehmen, insbesondere aus den USA, wie z. B. die Aktivitäten der großen Internetkonzerne im Bereich des autonomen Fahrens zeigen. Aufgrund der technologisch fortgeschrittenen Produkte der deutschen Firmen (z. B. Fabrikausrüstung) werden viele Produkte anderer Anbieter weltweit erst ermöglicht. Die deutsche Industrie wird so zum Zulieferer degradiert und verliert den wichtigen direkten Kontakt zum Endkunden und Anwender. Wichtige Impulse für das Aufspüren von neuen Trends und die Entwicklung neuer Produkte gehen dadurch verloren.

Die Basisentwicklung eines Produktes und die Herstellung der einzelnen Komponenten für Produktionsmaschinen finden aktuell (noch) in Deutschland statt, die Kunden befinden sich häufig im Ausland. Die abschließende Produktentwicklung passiert allerdings mehr und mehr beim Kunden, wodurch der Status Deutschlands als starke Exportnation zunehmend infrage gestellt wird. Schlüsseltechnologien werden heute häufig nicht mehr in Deutschland oder Europa, sondern verstärkt in Asien entwickelt. Hier sind besonders die Beleuchtungstechnik, die Display- und die Batterietechnologie (besonders für die Elektromobilität) zu nennen.

Es gilt deshalb, die vorhandenen technologischen Stärken zu sichern und zu erweitern. Die aktuelle Technologieführerschaft speist sich aus einer starken und gut aufgestellten Forschungslandschaft (Grundlagenforschung und angewandte Forschung) sowie der Zusammenarbeit von forschenden Institutionen und der Industrie. Deutschland

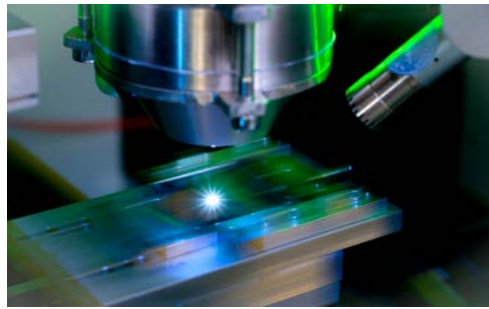


Foto links: Sichere physische Mensch-Roboter-Interaktion durch Arbeitsraumüberwachung mittels 3D-Sensorik. Bild: indigo Werbefotografie Manfred Zentsch © Fraunhofer IOSB

Foto rechts: Versuchsaufbau zur Laserablation. Bild: wbk Institut für Produktionstechnik

besitzt darüber hinaus eine Vielzahl notwendiger Experten in zahlreichen photonischen Technologien (z. B. additive Fertigung, Plasmatechnologie, Sensorik etc.).

Das Know-how der deutschen Unternehmen in oben genannten Gebieten wird durch die Expertise von Institutionen der Bereiche Materialien und Prozesse sowie IT und deren ganzheitlicher Betrachtung unterstützt. Trotz Schwächen im Bereich der Datenauswertung existieren in Deutschland – vornehmlich im Mittelstand – zahlreiche Schlüsselunternehmen, die sich mit der Zusammenführung inhomogener Daten oder der Anbindung an höher gelagerte Cloud-Systeme beschäftigen. Darüber hinaus befinden sich bereits starke Anbieter von Daten-Lösungen im Unternehmensumfeld in Deutschland. Diese Disziplinen gilt es künftig noch stärker mit den Sensorik-, Aktorik- und Fertigungsunternehmen zu vernetzen.

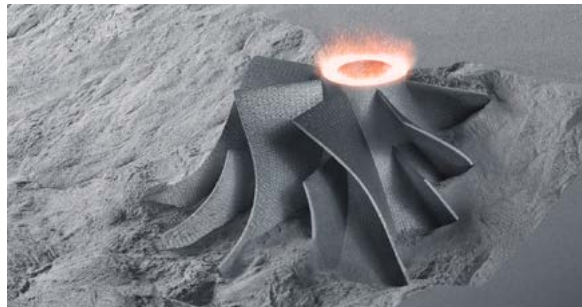
Im internationalen Vergleich ist die deutsche Wirtschaft in Bezug auf inkrementelle Entwicklungen weiterhin führend. Gänzlich disruptive Innovationen wurden hingegen in den letzten Jahren nicht konsequent angestrebt und umgesetzt. Deutschland reagiert eher, anstatt proaktiv zu agieren; Risikobereitschaft ist in Deutschland nicht sehr ausgeprägt.

PROZESSE UND SCHNITTSTELLEN ÖFFNEN, INNOVATION DURCH STANDARDS BESCHLEUNIGEN

Zukünftig könnten Wertschöpfungsketten vermehrt durch übergeordnete, virtuelle Plattformen erweitert werden, die für die Kunden einen zusätzlichen Nutzen generieren und so neue Geschäftsmodelle ermöglichen. Maschinen könnten selbständig Daten austauschen, ein Feedback wäre schneller und genauer, da die Datenbasis breiter ist.

Die Wertschöpfung durch Technologieführerschaft sowie die Produktion kann nur dann langfristig in Deutschland gehalten und ausgebaut werden, wenn höhere Entwicklungsgeschwindigkeiten, höhere Grade an Vernetzung und Zusammenarbeit sowie mehr Standardisierung erreicht werden. Sowohl die Offenlegung von Schnittstellen und Prozessdetails als auch die weitere Vernetzung entlang der Wertschöpfungsketten bis hin zu Endanwendern und Kunden können dabei zu neuen Geschäftsmodellen führen und spiegeln sich in Begriffen wie Open Source, Co-Creation und Mass-Customization wider.

Angesichts der Globalisierung ist es für die deutschen Hightech-Anbieter der Photonik zwingend notwendig, mit Herstellern und Unternehmen im Ausland, insbesondere in den USA und Asien, zu kooperieren, um die Produktentwicklung möglichst früh mit innovativen Lösungen zu begleiten. Erste virtuelle Plattformen erleichtern diese Kooperation. In Deutschland werden Mitarbeiter aus diesen Herkunftsländern als Mittler gebraucht, die das dortige Know-how in die deutsche Sprache und die dortige Kultur in Produktanforderungen übersetzen. Mit den führenden Ländern wie China und Korea sind Freihandelsabkommen und Visaabkommen bedeutsam für einen freien Waren- und Personenverkehr.



HANDLUNGS- UND FORSCHUNGSBEDARF

Konkreter Handlungsbedarf wird besonders bei folgenden Themen gesehen:

Entwicklung anpassungsfähiger Systeme; modulare Designs, die sich je nach Bedarf, d. h. Stückzahl, Variantenanzahl, Kosten etc. anpassen lassen; Baukastensysteme; Vollständige softwaretechnische Beschreibungen der Produktionsprozesse mit klar definierten Schnittstellen aller Module

Erweiterung der Simulationskompetenz zu einzelnen technologischen Prozessen und Materialien auf die gesamte Produktions- bzw. Prozesskette; digitalisierte Systeme und prozessübergreifende Regelschleifen innerhalb modularer Ansätze zur Erhöhung der Prozessstabilität; selbständiges maschinelles Lernen und einheitliche Softwareschnittstellen; hierzu auch Normungsprozesse und Vereinheitlichung von Schnittstellen

Entwicklung selbstlernender, adaptiver und autonom arbeitender Anlagen; bessere Vernetzung mit der Softwareindustrie; dazu Bereitstellung von relevanten Datensätzen für die Simulation aus aktuellen Sensordaten statt aus Datenarchiven

Entwicklung von angepassten Mensch-Maschine-Schnittstellen, z. B. Augmented-Reality-Lösungen, mit deren Hilfe sich die verschiedensten Interaktionen wie Einlernen, Bedienen, Adaptieren und Warten unterstützen lassen

Erforschung von Systemen zur Unterstützung von Produktionsmitarbeitern in teilautomatisierten Prozessen, wie z. B. „Cobots“

Erforschung von Sensoren und Messsystemen zur Datenerfassung; Integration der Beleuchtung als Bestandteil der Signalverarbeitung; Erhöhung der Auflösung und Erweiterung des Frequenzbereichs bis in das ferne Infrarot- und Terahertz-Regime zu niedrigen Kosten; Integrierte Systeme mit Chip, Datenanalyse und „Optik on Board“; sensornahe Datenauswertung; Sensorfusion

Foto links: Ergonomische und intuitive Benutzerschnittstellen für die Industrie 4.0. Bild: TRUMPF Gruppe

Foto rechts: Additive Manufacturing. Bild: TRUMPF Gruppe

RAHMENBEDINGUNGEN FÜR INNOVATIONEN SCHAFFEN

Neben den Voraussetzungen für die automatisierte technische Bewertung anpassungsfähiger Produktionssysteme existieren nach wie vor methodische Hemmnisse in der wirtschaftlichen Bewertung von Anpassungsfähigkeit, Wandlungsfähigkeit und Flexibilität. Das klassische Controlling auf Herstellkostenbasis berücksichtigt nur teilweise Opportunitäten wie etwa Bedarfsschwankungen. Flexible Produktionssysteme werden deshalb meist als zu teuer und nicht wirtschaftlich bewertet. Eine Förderung der Entwicklung neuer ergänzender Bewertungsverfahren unter Betrachtung des gesamten Lebenszyklus einer Technologie könnte hier den Markteintritt der neuen flexiblen Produktionssysteme entsprechend beschleunigen.

Hinsichtlich öffentlich geförderter Projekte wird empfohlen, die Vernetzung der Partner in Ausschreibung und Bewertung mindestens so stark zu gewichten wie die fachlichen Aspekte. Damit der Nutzen photonischer Technologie auch in Deutschland wirksam wird, ist eine Führungsrolle bei deren Anwendung erforderlich. Hierzu sind große industriegeführte Projekte zur Integration neuer Technologien wie beispielsweise der additiven Fertigung in bestehende Produktionsprozesse starker Industriezweige wie dem Anlagen- oder Fahrzeugbau anzustreben. Diese sollten im Idealfall innerhalb einer größeren, gut sichtbaren Initiative von staatlicher Seite, beispielsweise in Form öffentlich-privater Partnerschaften, unterstützt werden.

Mitarbeiter und Maschinen müssen künftig noch effizienter zusammenarbeiten. Der Erfolg digitalisierter und anpassungsfähiger Systeme hängt auch wesentlich von der jeweiligen Kompetenz des Mitarbeiters ab. Politik

und Industrie sind gefragt, neue Ausbildungsberufe zu schaffen und bestehende dahingehend anzupassen, dass der Umgang mit den neuen Technologien und der zunehmenden Komplexität ermöglicht wird. Letztere wird zudem nur durch Assistenzsysteme beherrschbar sein, welche auf die Bedürfnisse des Mitarbeiters zugeschnitten sind. Mitarbeiter wiederum müssen für die neuen veränderungsfähigen Prozesse und IT-Systeme durch die Unternehmen geschult bzw. weitergebildet werden. Es ist außerdem wichtig, neue Standards für die sichere Mensch-Maschine-Kollaboration zu definieren: Sicherheitsrelevante Sensoren und Systeme werden zu definierende Sicherheitszertifikate erfüllen müssen.

Als wichtige Herausforderung für das Gelingen disruptiver Innovationen wird außerdem die Finanzierung von Start-ups gesehen. Hier sollen, insbesondere durch die Industrie, neue Finanzierungskonzepte erarbeitet werden. Dies können beispielsweise temporäre Joint Ventures (JV) für gemeinschaftliche Entwicklungsprojekte, Inkubatoren wie auch Corporate Venture Konstrukte sein.

Schutz vor Produktpiraterie ist für anpassungsfähige Produktionssysteme noch problematischer als für konventionelle. Hier sind neue Technologien und Modelle zur Identifikation von gefälschten Produkten zu erarbeiten. Neben dem technischen Aspekt sind hier insbesondere die rechtlichen Rahmenbedingungen im internationalen Umfeld zu verbessern.

Bild rechte Seite: Die Digitalisierung des Operationssaals. Bild: KARL STORZ GmbH & Co. KG

5 PHOTONISCHE GESUNDHEITSTECHNOLOGIEN – LEBENSWISSENSCHAFTEN UND UMWELTANALYTIK





Foto links: Kombination von Photonik und Mikrofluidik für Point-of-Care-Anwendungen. Bild: Leibniz-IPHT / Sven Döring



Foto rechts: Integrierte Systeme die schnelle und wirtschaftliche Diagnostik. Bild: Leibniz-IPHT / Sven Döring

BIOPHOTONIK

TECHNOLOGIETREIBER UND ENABLER IN EINEM GROSSEN UND HART UMKÄMPFTEN MARKT

Die Medizin- und Biotechnologie sind dynamische, hoch innovative und exportorientierte Branchen. Durchschnittlich investieren die forschenden Medizintechnik-Unternehmen derzeit rund 9 % ihres Umsatzes in Forschung und Entwicklung.³ Die Medizintechnologie verzeichnet weltweit Zuwachsraten von rund 5 % jährlich⁴ und wird national und international ein starker Wachstumsmarkt bleiben.

Die Gesundheitssysteme werden in den kommenden Jahren mit einem steigenden und zugleich veränderten Bedarf an Leistungen konfrontiert. Der Fortschritt auf dem Gebiet der Medizintechnik ermöglicht die Behandlung von Krankheitsbildern, die vor zehn oder zwanzig Jahren nicht oder nur mit hohem Aufwand und geringem Erfolg behandelt werden konnten. Alters- bzw. lebensstilbedingte Krankheiten nehmen zu. Außerdem können durch innovative, schonendere Verfahren immer mehr Operationen an immer älteren Patienten durchgeführt werden. Globaler Handel und Tourismus sowie Migrationsbewegungen begünstigen die schnelle Verbreitung von Infektionen wie Resistenzen. Daher sind neue Versorgungskonzepte ebenso erforderlich wie neue Verfahren und Produkte und eine engere Verzahnung von Prävention, Diagnostik, Therapie und Nachsorge. Individuelle Behandlungspläne werden an Bedeutung gewinnen, da-

mit die Gesundheitsversorgung zielgerichteter, einfacher, schneller und kostengünstiger wird.

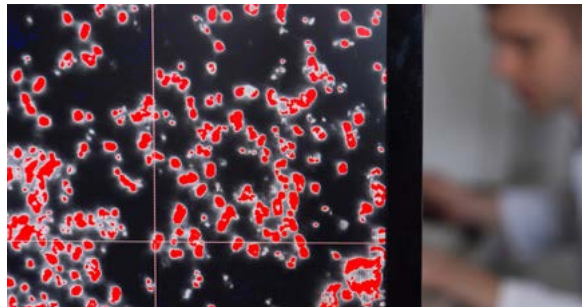
Die Gesundheitstechnologien sind auf eine breite wissenschaftliche Basis aus Medizin, Biologie, Optik, Physik, Elektrotechnik, Informatik, Feinmechanik, Pharmazie und Chemie angewiesen, die sich in ihrer Forschungsarbeit am Bedarf der Endanwender ausrichtet und von vornherein applikations- und marktorientiert ist. Vor allem die photonischen Gesundheitstechnologien können in vielen Bereichen nachhaltige Lösungen anbieten, durch neue Produkte und Dienstleistungen Trends setzen und nicht nur mit dem Markt wachsen, sondern ihn auch antreiben.⁵ Die Biophotonik stellt einen zunehmend wichtigen Anteil der Medizin- und Biotechnologie dar. Neben der fortbestehenden Nachfrage nach effizienten diagnostischen und therapieunterstützenden optischen Verfahren in der Patientenversorgung besteht ein großer Bedarf an neuen, robusten und sensitiven opto-analytischen Verfahren für das klinisch-chemische Labor, die Lebensmittelchemie und die Umwelttechnik sowie an neuen Techniken zur Hygienesicherung und Dekontamination lebenswichtiger Systeme.

Der Weltmarkt für Photonik im Medizintechnik- bzw. Lifescience-Bereich wird sich von 45 Milliarden Euro auf ca. 86 Milliarden Euro erhöhen.⁵ Der Anteil der Biophotonik an der deutschen Inlandsproduktion wird mit 16 % in 2011 und ca. 19 % im Jahr 2020 überproportional steigen.¹ In der Medizintechnik stehen hinsichtlich der Photonik die diagnostisch und therapeutisch unterstützenden Bildgebungsverfahren im Vordergrund. Der In-vitro-Diagnostikmarkt zeigt stabiles Wachstum (Wachstumsrate 2010 - 2020: ca. 6,6 %);⁴ der Point-of-Care-Diagnostikmarkt wächst überdurchschnittlich (Wachstumsrate 2010 - 2020: ca. 8,0 %).⁴

³ Branchenbericht Medizintechnologie 2016, BVMed, 2016

⁴ Innovationsimpulse in der Gesundheitswirtschaft, BMWi, 2011

⁵ Biophotonik – Zukunftsmarkt für Deutschland, A.T. Kearney, 2013



SPITZENFORSCHUNG AUS DEUTSCHLAND

Biophotonik aus Deutschland steht heute weltweit mit an der Spitze. Innovationen in der deutschen Biophotonik zeichnen sich dadurch aus, dass Anwender früh in den Entwicklungsprozess eingebunden werden, was hohen Anwendernutzen und gute Markterfolge sichert. Die Grundlagenforschung in den analysierten Bereichen in Deutschland ist heute sehr stark. Universitäten, Forschungseinrichtungen, Ärzte sowie Unternehmen aus verschiedenen Bereichen arbeiten eng zusammen. Dennoch bestehen signifikante Innovations- und Investitionshemmnisse: Derzeit ist die Weiterentwicklung von Erkenntnissen der Grundlagenforschung zu einem konkreten nachhaltigen Produkt nicht optimal. Es fehlen Strategien, besonders auch langfristige Förderinstrumente bzw. Finanzierungsmodelle, mit denen neue und innovative Technologien erfolgreicher zur Marktreife geführt werden können. Länder wie die USA oder Südkorea sind hier oft einen Schritt voraus.⁵ Zudem steigt die Bedeutung der regulatorischen Faktoren (Zulassung nach Medizinproduktegesetz inkl. klinischer Evaluation bzw. klinischer Studien) durch die Verschärfung der Rechtsetzung auf EU-Ebene (z. B. IVD-Richtlinie). Ebenso wirken gesellschaftliche Fragen und Rahmenbedingungen (Akzeptanz neuer Gesundheitstechnologien, Technologiefolgenabschätzung, Aufnahme in die Leistungskataloge von Krankenkassen u. v. m.) auf die Translation von Innovationen ein.

SYSTEMLÖSUNGEN, INTEGRATION, POINT-OF-CARE

Krankenhäuser und Ärzte fordern für die sanfte Chirurgie und Therapie zunehmend integrierte Systeme, um die Effizienz zu steigern. So ist z. B. in der minimal invasiven Chirurgie die Umstellung auf voll-integrierte Operationsäle ein wichtiger Trend. Hier sollen möglichst alle Systeme,

Foto links: Einsatz kalter Plasmen in der Biophotonik. Bild: INP Greifswald e.V.

Foto rechts: Kombination biophotonischer Bildgebung mit modernen Methoden der Bildverarbeitung und Mustererkennung. Bild: Infecto-Gnostics/Europäische Kommission

me, vom Operationstisch bis hin zu den optisch bildgebenden Systemen wie Endoskope und Mikroskope, in ein Gesamtsystem integriert werden.

Innovationstreiber in der In-vitro-Diagnostik sind vor allem Unternehmen, die z. B. molekulare Sonden entwickeln. Für das Auslesen der mitunter sehr spezifischen Untersuchungsergebnisse kann oft auf bestehende Technologien und Verfahren zurückgegriffen werden. Gerade im Bereich der Onkologie werden neue molekulare Sonden entwickelt, um Diagnosen spezifischer stellen und Therapien besser an den Patienten anpassen zu können. Im Bereich der Label-freien Methoden bedürfen mobile Point-of-Care-Geräte mit hoher Benutzerfreundlichkeit und Spezifikationen wie hoher Empfindlichkeit, Spezifität und Genauigkeit, hoher Zuverlässigkeit und Kosteneffizienz weiterer intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeit.

Die wachsende Mobilität fördert die Ausbreitung von Infektionskrankheiten. Pandemien und Antibiotikaresistenzen (z. B. multi-resistente (Krankenhaus-) Keime) sind bereits heute eine kritische Bedrohung. Für die Diagnostik sind herkömmliche Techniken wie die Kultivierung der Erreger und ihre Identifizierung mit Hilfe der Polymerase-Kettenreaktionen (PCR) oft zu langsam oder nicht zuverlässig genug. Diese Techniken können durch photonische Methoden sinnvoll ergänzt werden, die in puncto Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit eine deutliche Steigerung erlauben. Damit können sie potenziell den gezielten Einsatz von Wirkstoffen ermöglichen und die Verwendung von Breitband-Antibiotika reduzieren helfen. Wenn resistente Bakterien auftreten, bieten gezielte photodynamische Therapien eine mögliche Lösung, vor allem, da ihre Wirkungsweise nicht das Auftreten weiterer Resis-

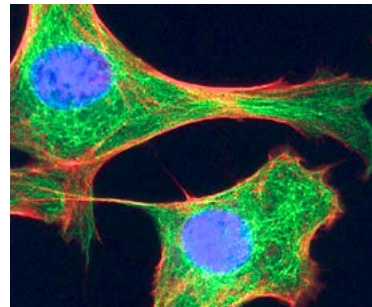
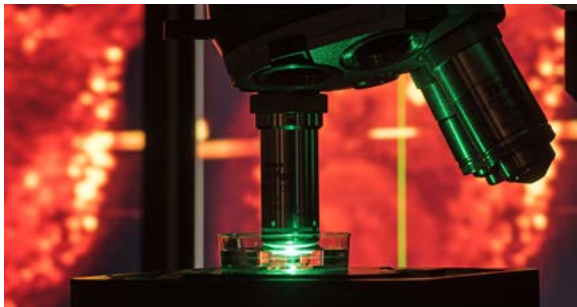


Foto links: Automatisiertes Screening mit modernen Methoden der Mikroskopie und Spektroskopie. Bild: InfectoGnostics/Europäische Kommission

Foto rechts: Mit unterschiedlichen Farben zur Beleuchtung kann in der konfokalen Laser-Mikroskopie vielen Krankheiten nachgespürt werden. Bild: TOPTICA Photonics AG

tenzen fördert. Im Bereich Dekontamination von lebenden und toten Oberflächen sowie Wasser (Beseitigung von Arzneimittelrückständen) und Luft (Keimreduktion) ergeben sich neue Ansätze zum Einsatz photonischer Verfahren, z. B. kalter Plasmen, UV-Licht oder Laser.

Photonische Technologien haben in den vergangenen Jahren ihr Potenzial bewiesen, Probleme in den Bereichen Prävention, Diagnostik, Therapie und Monitoring nachhaltig zu lösen. Die Photonik bildet schon heute vielfach die Grundlage für medizinische Diagnose- und Therapieverfahren, beispielsweise in der hochauflösenden Mikroskopie, der Endoskopie oder der Laserchirurgie. Ihre gesellschaftliche Bedeutung ist nach wie vor groß.

Die Aussagen zu den einzelnen biophotonischen Technologien in der Agenda Photonik 2020 gelten zukünftig weiterhin. Wie eingangs ausgeführt, wird die wirtschaftliche Bedeutung der Photonik in den Lebenswissenschaften in den kommenden Jahren zunehmen. Dies kann allerdings nur abgesichert werden, wenn dem konkreten Forschungsbedarf auf zentralen Handlungsfeldern nachgekommen werden kann. Allerdings sind hierfür gewisse strukturelle und technologisch inhaltliche Refokussierungen auf neue Themenfelder erforderlich: Die zweite Phase des Photonik-Programms sollte sich primär auf die Bedarfe, die sogenannten User-Needs, fokussieren sowie auf die frühzeitige Validierung und Evaluation neuer Kombinationsverfahren.

Technologisch ist die Integration neuartiger IT-Entwicklungstrends anzustreben. Insbesondere sind zielführende Big-/Smart-Data-Ansätze in Verbindung mit photonischen Messtechniken umzusetzen. Außerdem sollte ein Schwerpunkt auf neuartigen Systemlösungen liegen.

Durch neue Kombinationen von photonischen Einzeltechnologien, aber auch durch die erstmalige Kombination von biophotonischen Technologien mit anderen Mikrotechnologien, wie z. B. der Mikrosystemtechnik, der Mikrofluidik bzw. der Nanotechnologie, lässt sich weiterer Mehrwert erschließen. Neu und notwendig wäre auch die Einbindung ergonomischer Mensch-Maschine-Schnittstellen sowie der intelligenten Aktorik.

Konkreter F&E-Bedarf wird aktuell bei folgenden Themen gesehen:

Produkte und Prozesse in Bildgebung und Diagnostik

Hybridsysteme aus makro- und mikroskopischen Verfahren für die Intravital-Diagnostik bzw. die interoperative Gewebediskriminierung

Bildgebende Verfahren mit einem Fokus auf der multimodalen sowie funktionalen 3D-Visualisierung

Auf Spektroskopie- und photonischen Bildgebungstechnologien basierende korrelative Omics-Analysen für therapeutische Entscheidungen im Sinne einer personalisierten Medizin

Aufbau von Referenzdatenbanken und Durchführung (prä-) klinischer Studien für das quantitative Therapie-Monitoring mittels photonischer Lösungen

Grundlegende Arbeiten im Bereich der Bioverträglichkeit/ Patientenverträglichkeit (Licht-Zell-Wechselwirkung)

Neue photonische Therapieverfahren

Therapieunterstützende Echtzeit-Diagnoseverfahren, die dem Chirurgen eine Entscheidungshilfe während der Operation geben, z. B. bei der Unterscheidung von malignem und benignem Gewebe

Kombination einzelner Techniken zur interoperablen optischen Gewebecharakterisierung mit geeigneten photonischen Therapieverfahren, z. B. Kombination verschiedener Bildgebungstechniken mit dem Ziel, neben der sogenannten qualitativen therapiegestützten Endoskopie und/oder Mikroskopie auch eine quantitative Endo- bzw. Exovisualisierung zu entwickeln, an die die photonische Therapieunterstützung anschließen kann, sowie die Evaluation der Kombinationsverfahren mittels digitaler Smart Data Analysen

Mensch-Maschine-Interfaces auf photonischer Basis für die Therapieunterstützung und die intuitive ergonomische Interaktion

Visuelle 3D-Wahrnehmung und therapieunterstützende Bildfusion sowie deren Übertragung auf OP-angepasste Erfassungs-, Darstellungs- und Therapiesysteme

Photonische Gewebemodulationssysteme (z. B. über Laser- oder Plasmaanregung) zum Gewebeverbinden, zur Präzisionschirurgie und zur Gewebestimulation

Analytischen Verfahren für Medizin und Biotechnologie

Fluoreszenzspektroskopie (z. B. für die Vor-Ort-Diagnostik) mit dem Schwerpunkt auf hochsensitive Methoden zur Testung von Urin oder Atemgasen, bei der entweder nur geringe Mengen an Proben oder die zu detektierenden Marker nur in geringer Menge zur Verfügung stehen

Online-Monitoring mittels schneller und Label-freier optischer Verfahren zur direkten Patientenüberwachung und der therapeutischen Verlaufskontrolle

Photonische Technologien für die Hygiene und Prophylaxe

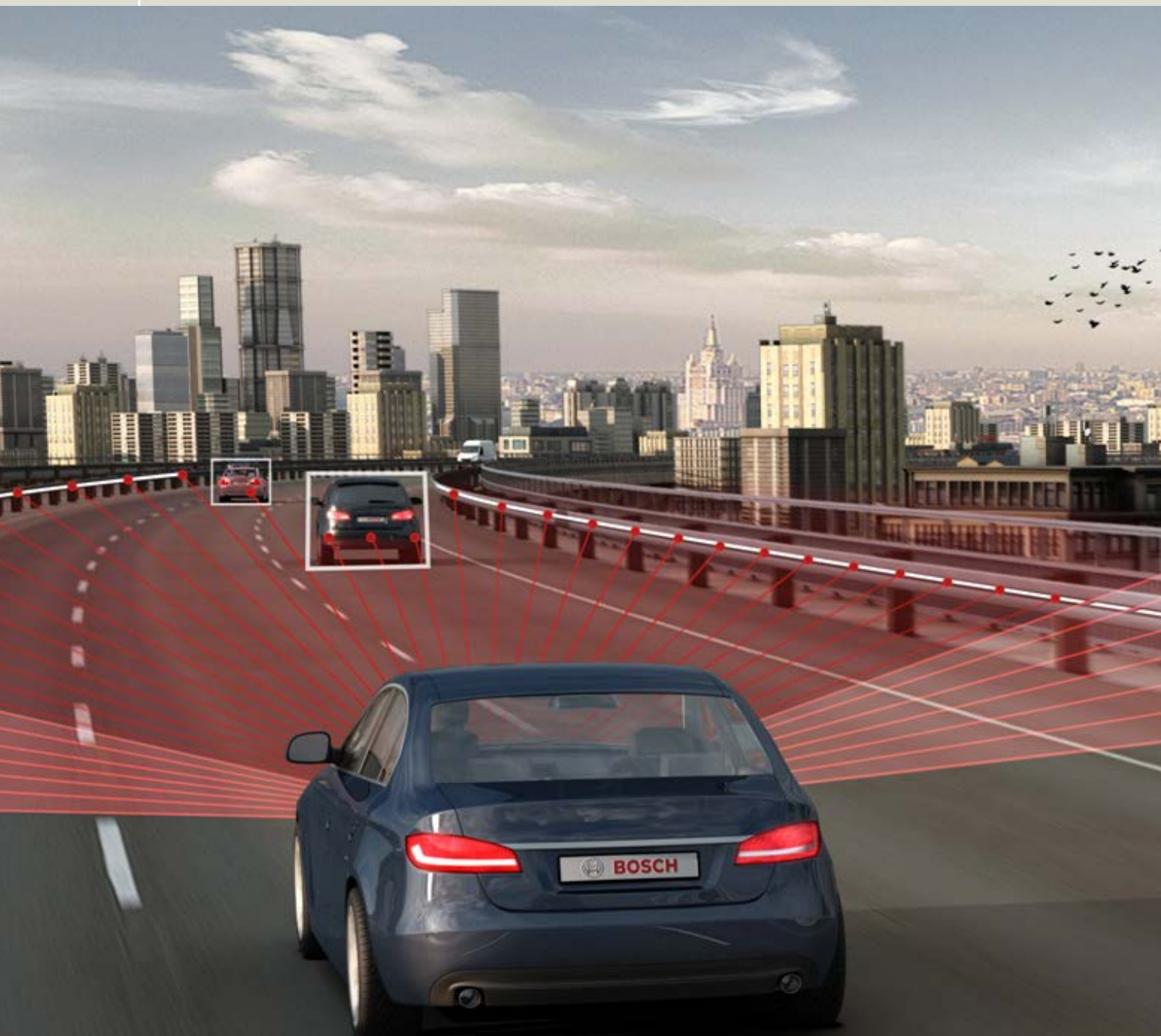
Vertiefung des Verständnisses der Wechselwirkung nicht-thermischer Plasmen mit Bakterien, Viren, Sporen und pathogenen Eiweißverbindungen (Prionen) sowie zu mikrobiologisch aktiven Oberflächen durch Strukturierung, Funktionalisierung und Beschichtung

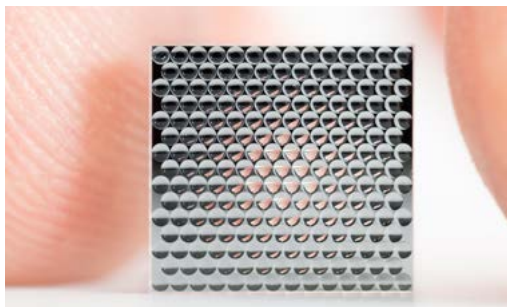
Nicht-thermische Plasmen und weitere photonische Technologien für die Behandlung weiterer Krankheitsbilder zusätzlich zur Wundheilung; photonische Technologien als alternative Dekontaminations- und Sterilisationsverfahren für eine verbesserte Hygiene in Gesundheitsbereich und Lebensmittelsicherheit

Methoden zum Nachweis der Wirksamkeit photonischer Technologien als alleinige oder unterstützende Verfahren

Photonische Prozesse für die Abluft- und Wasseranalyse und -reinigung und für die Detektion von Partikeln und Mikroorganismen

6 LICHT UND MOBILITÄT – PHOTONIK IM FAHRZEUG





6

INNOVATIVE MOBILITÄTS- LÖSUNGEN UND TRENDS IM „MOBILITÄTSLAND NR. 1“

Mobilität zählt zu einem der Grundbedürfnisse unserer heutigen Gesellschaft. So liegt der Anteil mobiler Personen pro Tag bei rund 92 % der deutschen Gesamtbevölkerung.⁶ Mehr als die Hälfte der zurückgelegten Wege werden dabei mit einem Pkw zurückgelegt,⁷ gemessen an der Verkehrsleistung aller Beförderungsmittel ergibt dies rund 80 %.

Deutschland gilt dabei als „Mobilitätsland Nr. 1“⁶ und nimmt vor allem bei Innovationen im Premiumsegment eine Führungsrolle ein. Rund 800.000 Beschäftigte generierten 2015 einen Gesamtumsatz von 404 Milliarden Euro und fertigten allein in Deutschland circa 5,7 Millionen Personenkraftfahrzeuge.⁸ Deutsche Hersteller fokussieren auf technologisch innovative Mobilitätslösungen. Sie profitieren dabei maßgeblich von der traditionell exzellenten Vernetzung von Wissenschaft und Wirtschaft.

Durch die technologischen Entwicklungen der vergangenen Jahrzehnte ist das Auto schon jetzt weit mehr als ein Beförderungsmittel. Die Digitalisierung führt zu einer zunehmenden Integration digitaler Medien und Assistenzsysteme sowie weiterer Funktionalitäten. Eine Vielzahl von Sensoren erfassen Abstände, Fahrzeugzustand und die Umgebung des Autos. Sie erhöhen nicht nur den Komfort des Fahrers, sondern sorgen mit ihrer Funktionsvielfalt zu einer deutlichen Erhöhung der Verkehrssicherheit.

Aktuell werden erhebliche Ressourcen und Kapazitäten für die Entwicklung von autonomen Fahrzeugen aufge-

*Bild linke Seite: Intelligente Sensorik für das autonome Fahren.
Bild: Bosch*

Foto links: Moderne LED-Scheinwerfertechnologie erlaubt eine homogene und gleichzeitig blendfreie Ausleuchtung der Straße. Bild: Daimler

Foto rechts: Am Fraunhofer IOF entwickelter Arrayprojektor für den BMW „Welcome-Light-Carpet“. Bild: Fraunhofer IOF

wendet. Automobilhersteller investieren in diesem Bereich gegenwärtig rund 11 Milliarden US-Dollar pro Jahr in F&E.⁹ Prognosen der Boston Consulting Group gehen davon aus, dass im Jahre 2035 rund 25 % der verkauften Autos teil- oder vollautonom fahren können, wobei das Marktvolumen mit rund 77 Milliarden US-Dollar beziffert wird.¹⁰ Dieses Marktsegment ist daher hoch relevant, und jeder technische Vorsprung, der am Markt platziert werden kann, ist von höchstem gesamtwirtschaftlichem Nutzen.

Im Bereich der Antriebskonzepte verzeichnen vor allem elektrisch betriebene Fahrzeuge eine starke Marktdynamik und bilden damit einen weiteren technologischen Trend. Es besteht ein wachsender Bedarf an Antriebstechniken mit minimaler (lokaler) Emission von Schadstoffen und Treibhausgasen sowie an Mobilitätslösungen für den urbanen Raum. Auf technologischer Ebene wird die Entwicklung von der zunehmenden Digitalisierung und Vernetzung technischer Systeme und der schnellen Realisierung alternativer Antriebskonzepte getrieben. Eine Vielzahl von neuen Unternehmen greift diese dynamische Situation auf und versucht, in der eher konservativen Automobilbranche Marktanteile zu gewinnen.

⁶ Verkehr und Mobilität in Deutschland – Daten und Fakten kompakt, BMVI, 2015

⁷ Deutsches Mobilitätspanel (MOP) – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung Bericht 2014/2015: Alltagsmobilität und Verkehrswesen, Institut für Verkehrswesen, KIT

⁸ Jahreszahlen, Verband der Automobilindustrie, 2016

⁹ Driver Assistance to Driverless Cars, Autelligence Limited, 2013

¹⁰ Revolution in the Driver's Seat: The Road to Autonomous Vehicles, Boston Consulting Group (BCG), 2015



Foto links: Kompakte Optiken ermöglichen Fahrer-Assistenzsysteme im Automotive-Bereich. Bild: Fraunhofer IOF

Bild rechts: Projizierte Bedienelemente im Auto. Bild: OSRAM GmbH

VISIONEN & HERAUSFORDERUNGEN

Basierend auf diesen Trends lassen sich die folgenden Herausforderungen für den Einsatz photonischer Technologien ableiten:

Car2Human-Kommunikation: Definierte optische Signale ermöglichen die direkte und intuitive Kommunikation von Fahrzeugen mit anderen Verkehrsteilnehmern. Diese können sicher erkennen, dass ein Fahrzeug autonom fährt und dass es sie wahrgenommen hat; sie können dessen nächste Schritte verlässlich antizipieren und sich entsprechend sicher und vertrauensvoll im Verkehrsraum bewegen. In kritischen Situationen erlauben Gesten- und Handzeichen, das Fahrzeug zu stoppen. Dazu müssen photonische Technologien das Fahrzeugumfeld erfassen und eine sichere Mensch- und Objekterkennung ermöglichen. Diese sog. „Car2Human“-Interaktion steigert die Akzeptanz und ermöglicht die breite Einführung von teil- und hochautonomen Fahrzeugen und ihre reibungslose Integration in den Verkehrsfluss – auch in Bezug auf die Verkehrssituation in den sich entwickelnden Megastädten des 21. Jahrhundert. Die dreidimensionale Erfassung von Aktivitäten des Fahrers ist die Grundlage für zukünftige Fahrerassistenzsysteme, insbesondere bei teilautonomen Fahrzeugen. Durch die intuitive Interaktion, z. B. basierend auf der Interpretation von Gesten, kann er sich auf seine primären Aufgaben konzentrieren und damit die Sicherheit verbessern. Die Bildinformationen von multimodalen Sensorsuiten werden dem Fahrer intuitiv und leicht verständlich dargestellt.

Licht nach Maß: Photonische Systeme ermöglichen die vollständige Anpassung bzw. Konditionierung der Innen- und Außenraumbeleuchtung von Fahrzeugen. Je nach

persönlichen Vorlieben, Alter, Verkehrssituation (Verkehrsdichte, Fahrzeugabstände) oder Umgebungslicht lässt sich die Innenraumbeleuchtung gezielt anpassen – ideal zum Arbeiten oder Relaxen der eigenen Fahrer beim autonomen Fahren und zum Adaptieren der anderen umgebenden Verkehrsteilnehmer. Frontscheinwerfer sind vollständig adaptive Systeme und erlauben mit ihren blendfreien Eigenschaften die optimale Straßenausleuchtung, insbesondere in schwierigen Situationen wie Kurven oder Kreuzungsbereichen. Zusätzlich reagieren sowohl Heck- als auch Frontscheinwerfer auf Umwelt- oder Sichtbedingung, auf andere Verkehrsteilnehmer (durch Car-to-Car-Kommunikation) sowie die momentane Verkehrssituation und passen ihre spektralen Eigenschaften, Ausleuchtungsbereich und Leuchtintensitäten dynamisch an.

Green Cars in Green Cities: Mit Hilfe von intelligenter Stadtbeleuchtung (Straßenbeleuchtung und Ampelsignal-Technik) kommunizieren und regeln Infrastruktur und Fahrzeuge derartig, dass die Lichtverschmutzung auf ein Minimum reduziert werden kann. Die Effizienz aller Beleuchtungselemente und Scheinwerfer erlaubt, die Reichweite von Elektroautos – insbesondere bei Nachtfahrten – deutlich zu erhöhen und so Ressourcen zu schonen.

FORSCHUNGSBEDARF UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Die deutsche Automobiltechnik ist traditionell geprägt durch eine strategische Zusammenarbeit der Automobilhersteller und Zulieferer in gewachsenen Strukturen von der vorwettbewerblichen Forschungsarbeit bis hin zur Fertigung und Implementierung von Innovationen, sodass sich sowohl Market-Pull- wie Technology-Push-Entwicklungen finden lassen.

Risiken ergeben sich vor allem durch die sich abzeichnenden wettbewerblichen Veränderungen. So wird es neben den etablierten Automobilherstellern auch Mobili-



tätsanbieter ohne jegliche Fertigungsinfrastruktur geben. Es zeichnet sich ab, dass diese mittel- bis langfristig Fahrzeugkonzepte für die zukünftige Mobilität entwickeln und vermarkten. Dabei werden Trends wie E-Mobility, autonomes Fahren oder IoT besetzt. Die Nutzung von digitalen Informationen erhält mehr und mehr Einzug in den klassischen Automobilmarkt. Vor diesem Hintergrund ist es möglich, dass Chancen und Potenziale zu spät erkannt oder nicht genutzt werden, sollten solche Veränderungen nicht auch in der Entwicklungsinfrastruktur gespiegelt werden.

Auch in Zukunft stellt die Verbundforschung das wichtigste Förderinstrument dar. Empfehlenswert ist eine Ausweitung hinsichtlich interdisziplinärer Fragestellungen, vor allem im Bereich der Akzeptanzforschung und der nutzerzentrierten Technologieentwicklung (human-centered technologies).

Basierend auf den identifizierten Trends sowie den daraus abgeleiteten Herausforderungen und Visionen lassen sich folgende detaillierte Forschungsbedarfe und Handlungsempfehlungen benennen:

Lighting/Illumination: Im Bereich der Fahrzeugbeleuchtung treffen soziale Trends (z. B. höherer Kommunikationsbedarf zwischen verschiedenen Verkehrsmodalitäten), technische Entwicklungen (LED- bzw. Laser-Licht, pixelbasierte Ansätze wie DMD, LCD und Mikrooptiken, OLED-Heckleuchten, o. Ä.) und gestiegene Anforderungen an Industriedesign (das Auto als individuelle Ausdrucksform) zusammen und generieren ein Zusammenwirken von Market Pull und Technology Push. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, innovative Forschung direkt in marktrelevante Innovationen umzusetzen: Mittels photonischer Innovationen werden – speziell autonome – Fahrzeuge zu kommunikativen Verkehrsteilnehmern, welche Informationen und Intentionen sowohl Insassen als auch Personen in der Umgebung klar und intuitiv mitteilen können.

Interior Lighting – das wandelbare Cockpit: Lösungen im Innenraum zielen darauf ab, Fahrern und Passagieren re-

Foto links: LED-Lichtquelle mit 1.024 einzeln ansteuerbaren Punkten für moderne Matrixscheinwerfertechnologie. Bild: OSRAM GmbH

Bild rechts: Photonische Sensorik zur Erkennung von Gefahrensituationen beim autonomen Fahren. Bild: OSRAM Opto Semiconductors GmbH

levante Informationen über die Umwelt situationsabhängig darzustellen. In autonomen Fahrzeugen verwischen photonische Lösungen im Innenraum die Grenze zwischen Fahrzeug, Lebens- und Arbeitswelten. Das Auto wird – flexibel angepasst an Bedarf und Bedürfnisse der Insassen – zum rollenden Büro und Wohnzimmer. Eine derartige Flexibilität erfordert technische Lösungen hinsichtlich einer Einstellbarkeit der lichttechnischen Größen über einen weiten Bereich (z. B. Helligkeit, Farbe, Farbwiedergabe), eine intelligente Steuerung für automatisierte Lichtszenarien und eine intuitive Bedienbarkeit.

Exterior Lighting – klare Linien, klare Absichten: Zukünftige Lösungen zur Beleuchtung des Außenraums dienen auch kommunikativen Aufgaben. Sie kommunizieren in einer individualisierten Weise das Selbstbild der Fahrzeuginsassen in Form des Designs der beleuchtenden Elemente und des Lichtfelds. Herausforderungen gelten vor allem der Etablierung von Toolkits, der Einführung individualisierter Designlösungen in den Herstellungsprozess und der Etablierung dynamischer Designs für die Beleuchtung. Beleuchtungslösungen nehmen eine zentrale Rolle in der Car2Human-Kommunikation ein. Flexible Ansätze nutzen hier den Verkehrsraum als Projektionsfläche für Symbole, welche Intention und Zustand des Fahrzeugs klar kommunizieren. Gleichzeitig dient die Fahrzeugoberfläche als Kommunikationsmedium. Neuartige Wiedergabekonzepte wie beispielsweise holografische Elemente schaffen zusätzliche Freiheitsgrade in der Informationsdarstellung.

Effizienz – Zero Emission: Energiebedarf und Gewicht der Beleuchtungslösungen müssen so gering wie möglich gehalten werden, um den Gesamtenergieverbrauch zu minimieren. Neben dem Einsatz von Lichtquellen mit per-

se großer Effizienz sollen hier intelligente Beleuchtungslösungen zum Einsatz kommen, welche Beleuchtungsmenge und Abstrahlwinkel situationsgerecht ansteuern können. Dies fördert auch die Reduzierung der allgemeinen Lichtemission, erhöht die Privatsphäre und steigert die Akzeptanz für photonische Innovationen.

Sensorik: Trend- und bedarfsgerechte Sensorik soll Informationen über Fahrzeugumfeld und -zustand sowie Passagiere bzw. Fahrer (Biometrie) liefern. Für Sensorsysteme zur Beobachtung des Fahrzeugumfelds sind die Erweiterung der „Sehfähigkeit“ bestehender Systeme hin zur Detektion der dritten Dimension und die Entwicklung neuer Kamerakonzepte, welche bestehende Begrenzungen überwinden, essentiell. Denkbar sind beispielsweise modellbasierte 3D-Schätzung in Monokameras, neue Konzepte für Stereokameras, aber auch aktive Sensoren wie beispielsweise Time-of-Flight-Systeme auf Infrarotbasis oder gepulste oder strahlgeführte LiDAR-Konzepte. Sensorsysteme zur Beobachtung von Passagieren und Fahrer sollen die Interaktion mit dem Fahrzeug erleichtern und eine unsichtbare sowie sichere Zugangskontrolle zum Fahrzeug erlauben. Die Erfassung des Fahrzeugzustands ist sowohl für die Minimierung des Ressourcenverbrauchs als auch in Zusammenhang zur sog. „Preventive Maintenance“ zu sehen. Anwendungsübergreifende Herausforderungen bestehen in Bezug auf Umweltbedingungen, Lebensdauer und Zuverlässigkeit.

Regularien/Standards/Akzeptanz: Vor allem Fragestellungen der Car2Human-Kommunikation ziehen soziale Herausforderungen nach sich. Die Einführung von Symbolik sowie aufmerksamkeitslenkender Elemente im Innenraum würde stark von globalen Standards profitieren. Globale, verlässliche Standards können wiederum dazu beitragen, die Wahrnehmung autonomer Fahrzeuge von der unberechenbaren Maschine hin zum verlässlichen Partner im Straßenverkehr zu wandeln. Darüber hinaus sind Fragestellungen der Akzeptanz bei Sensoren im Fahrzeuginnenraum sowie Standards für augensichere Sensorik von zentraler Bedeutung.

*Bild rechte Seite: Photonik als Enabler der Digitalisierung.
Bild: iStock.com/Maxiphoto*

7 LIGHT CONNECTS – PHOTONIK FÜR INFORMATION UND KOMMUNIKATION





Bild links: Optical Wireless Communication (OWC) bietet das Potenzial, Beleuchtung und Datenübertragung zu kombinieren. Bild: Fraunhofer IPMS

Foto rechts: Moderne Glasfasern ermöglichen höchste Datenübertragungsraten. Bild: TOPTICA Photonics AG

PHOTONIK ALS RÜCKGRAT DER INFORMATIONS- UND WISSENSGESELLSCHAFT

Photonische Kommunikationsnetze bilden das Rückgrat unserer modernen Informations- und Wissensgesellschaft. Wie auch in der Breitbandstrategie der Bundesregierung formuliert, sind die flächendeckende Versorgung mit leistungsfähigen Breitbandanschlüssen und der Aufbau von Hochleistungsnetzen wichtige Voraussetzungen für wirtschaftliches Wachstum, mehr Beschäftigung und steigenden Wohlstand. Ein nachhaltiger Glasfaserausbau und kontinuierliche Netzinnovation sind erforderlich, um ein kosten- und energieeffizientes Bandbreitenwachstum zu ermöglichen.

Die Standardisierung der fünften Mobilfunkgeneration hat gerade begonnen. Gegenüber aktueller 4G-Technik soll 5G ein tausendfaches Datenvolumen pro Fläche, eine tausendfache Gerätedichte, eine hundertfache Nutzerdatenrate und ein Fünftel der Latenzzeit erlauben. Diese Ziele sind nur mit einem Multitechnologieansatz unter massiver Verwendung kleinerer Zellgrößen und photonischer Netztechnik erreichbar.

Die weltweite Menge digital gespeicherter Daten wächst mit einer Rate von 50 % pro Jahr und hat Ende 2015 8 Zettabyte erreicht.¹¹ Diese Daten bergen ein enormes Potenzial für die Schaffung neuer Dienste, Produkte und Lösungen, wenn sie sicher und flexibel zur Verfügung gestellt, verarbeitet und analysiert werden können. Im Jahr 2016 werden 90 % des weltweiten Internetver-

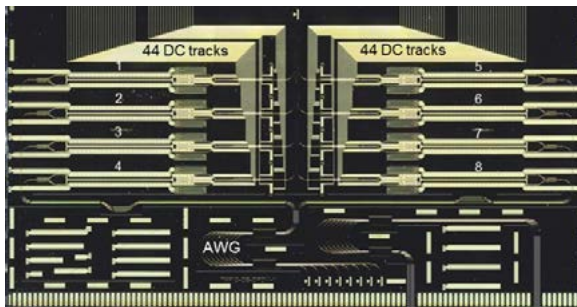
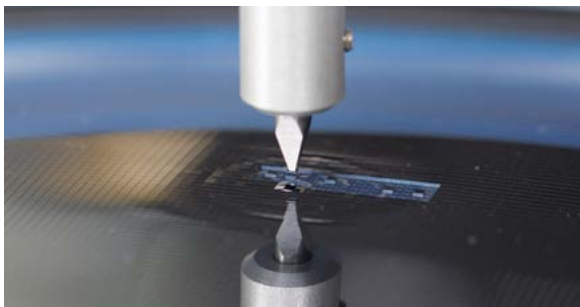
kehrs Datenzentren passieren¹² und machen diese zum Herz unserer globalen ITK-Infrastruktur. Neben Mega-Datenzentren rücken auch als Datenzentren fungierende Vermittlungsstellen und Micro-Datenzentren am Netzrand in den Fokus des Interesses. Als Folge steigt die relative Bedeutung der kurzreichweitigen (<2 km) optischen Datenübertragung rapide. Mittlerweile kann eine Internet-Suchanfrage (Größe etwa 1 kB), die mit einer bildhaltigen Seite beantwortet wird (etwa 50 kB), einen Rechenzentrums-internen Datenverkehr von 1-2 MB verursachen. Für diesen Datenverkehr muss die Bandbreite der Verbindungen von heute 100 auf 400, dann 800 GB/s gesteigert werden. Energie- und Platzbedarf sind zu minimieren.

Das Thema Optical Wireless Communication (OWC) erfreut sich aktuell neuer Beliebtheit. Im sichtbaren Lichtbereich bietet Visible Light Communication (VLC) die Möglichkeit, drahtlos und interferenzfrei in einem un-lizenzierten Frequenzband von mehreren 100 THz zu kommunizieren. VLC lässt sich mit der LED-Technik in Leuchten, Hinweistafeln, Straßenlaternen, Ampeln, Fahrzeugen u. ä. integrieren, um so neue Dienste anzubieten oder vorhandene Dienste zu ersetzen. OWC wird auch im Bereich von High-Altitude Platforms diskutiert, stratosphärischen Kommunikationsplattformen, bei denen Netzwerke aus Ballons, Luftschiffen oder Drohnen verwendet werden, um großflächige Gebiete mit funkbasierter Breitbandkonnektivität zu versorgen.

Heute kommunizieren im Internet hauptsächlich Menschen mit Menschen. Schlechte Latenz des Übertragungsnetzes führt hier zu Komfortverlust. In Industrie-4.0-Szenarien werden Maschinen mit Maschinen mit wesentlichen höheren Anforderungen an die Latenz kommunizieren (<10 ms). Ein schlechtes Netz kann hier massive Nachteile für deutsche Kernbranchen im internationalen Wettbewerb bedeuten.

¹¹ Digital Universe Study, IDC, 2012

¹² Global Cloud Index, Cisco, 2016



Die photonische Integration als generelle Schlüsseltechnologie hat sich wesentlich schneller entwickelt als vorhergesagt. Ein Beleg dafür ist das American Institute für Manufacturing (AIM) Photonic in den USA, eine mit über 600 Millionen US-Dollar geförderte Maßnahme zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der nationalen Produktion gegenüber Niedrigkostenländern im Bereich der Silizium- und Indiumphosphid basierten Integration. In Europa wurde mit der institutionenübergreifenden Zusammenarbeit bei der Integration deutlich früher begonnen. Daher gibt es in der EU heute ein funktionierendes Ökosystem von Foundries (InP, Silizium) und Designhäusern, die mit Multiprojektwafern potenziellen Anwendern einen wesentlich leichteren Einstieg ermöglichen.

Mit dem im Rahmen der EU-Förderung entstandenen Foundry-Prozess konnten im Bereich der Sensorik viele neue Anwendungen photonisch integriert werden, z. B. Sender für die Terahertz-Erzeugung oder Ausleseseinheiten für Faser-Bragg-Gitter zur räumlich verteilten Temperatur- oder Dehnungsmessung. Die technologischen Fortschritte in der Halbleiterlaser- und Quantentechnologie eröffnen weitere neue Anwendungen in Quantenmesstechnik, Biophotonik und zerstörungsfreier Prüfung.

WIRTSCHAFTLICHE UND GESELLSCHAFTLICHE BEDEUTUNG

Der globale Markt für optische Netztechnik-Hardware (ohne Zugangsnetze) betrug 2015 ca. 15 Milliarden US-Dollar.¹³ Optische Zugangsnetze sowie optische Komponenten (einschließlich Transceivern und Interconnects) machten 2015 jeweils weitere 5 Milliarden US-Dollar aus, so dass der gesamte Markt im Bereich der optischen Kommunikation ein Volumen von mehr als 25 Milliarden US-Dollar hat. Nach der Photonics21 Leverage Study

Foto links: Automatisierte Waferprozessierung. Bild: ficonTEC Service GmbH

Foto rechts: Integrierter photonischer Schaltkreis (Modulator). Bild: Fraunhofer HHI

ist die photonische Kommunikationstechnik mittelbar für einen Gesamtmarkt von 350 Milliarden US-Dollar und 700.000 Jobs in Europa verantwortlich, wobei Deutschland einer der Kernmärkte in Europa ist.

Auf der Betreiberseite haben sich neben den klassischen Netzbetreibern (CSP: Communication Service Provider) die Inhalteanbieter (ICP: Internet Content Provider) als wichtige Nutzergruppe etabliert. Sie finanzieren den Netzausbau weitgehend mit Erlösen aus Werbung und Inhalten, arbeiten mit kürzeren Investitionszyklen als klassische Netzbetreiber und nutzen ihre Marktposition, um bedarfsgetriebene Produkte für ihre spezifischen Anforderungen entwickeln zu lassen. Während der ICP-Sektor größtenteils von amerikanischen Firmen dominiert wird, gibt es bei Cloud Providern auch viele nationale Anbieter, die mit ihrem Ansatz dem gesteigerten Sicherheits- und Datenschutzbedürfnis deutscher Kunden Rechnung tragen. In allen Nutzergruppen werden „White Box“-Modelle und offene Systeme als Alternativen zu herstellerspezifischen Netzlösungen diskutiert, die eine schnellere Innovation und Softwareintegration ermöglichen.

Die klassische Trennung zwischen System- und Komponentenherstellern wird zunehmend von einem Modell abgelöst, bei dem Systemhersteller den üblichen Komponentenkauf durch Eigenentwicklungen und Entwicklungspartnerschaften ergänzen und so Raum für neue Geschäftsmodelle schaffen. Entscheidungen erfolgen oftmals projektgebunden und berücksichtigen neben den Kosten die Zeit bis zur Markteinführung und die Möglichkeiten zur Produktdifferenzierung.

Auf Ebene der Komponentenhersteller für Massenmarktkomponenten gibt es eine Vielzahl von asiatischen Anbietern, die niedrige Lohnkosten als Wettbewerbsvorteil

¹³ Infonetics

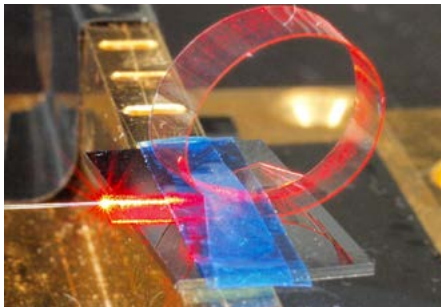


Foto links: Flexible und miniaturisierte optische Verbindung.
Bild: Fraunhofer HHI

Bild rechts: Die Photonik ist das Rückgrat der modernen ITK-Infrastruktur. Bild: OSRAM GmbH

zu nutzen versuchen. Zudem hat eine weitere Konsolidierung stattgefunden. Fusionen hat es nicht nur zwischen optischen, sondern auch zwischen optischen und elektronischen Komponentenherstellern gegeben, die damit Treiber für eine schnellere Integration zwischen Optik und Elektronik werden können.

Für elektronisch integrierte Schaltkreise gibt es seit etwa 40 Jahren eine funktionierende Trennung von Design und Prozess. Diese wurde in den letzten Jahren auch für die InP-basierte photonische Integration entwickelt. Dadurch haben sich neue Geschäftsmodelle wie Design (ohne Technologiekenntnis) und Foundry (auch ohne Designfähigkeiten) entwickelt. Open-Foundry-Modelle eröffnen insbesondere KMU das Potenzial, „Fabless“-Ansätze wie im klassischen ASIC-Bereich auch in der Photonik anzuwenden und damit als Technologielieferant auftreten zu können, ohne in eine eigene Fertigung investieren zu müssen. Die Lizenzierung von IP ist für Institute und kleinere Firmen eine Möglichkeit, Design-Know-how zu kommerzialisieren. Auf Chip-Ebene erleichtern Design-Kits diesen Schritt, in denen IP-Blöcke den mitgelieferten Komponentenbibliotheken hinzugefügt und von Designern benutzt werden können, ohne dass ihr Innenleben offengelegt werden muss.

DIE DEUTSCHE POSITION

Deutschland verfügt bei den photonischen Kommunikationsnetzen und der photonischen Integration über eine ausgezeichnete industrielle und akademische Basis: Neben weltweit führenden Netzbetreibern gibt es eine Vielzahl von großen und mittelständischen Unternehmen, die unmittelbar von neuen Lösungen profitieren können.

Rund 50 Firmen sowie 20 Universitäten und Forschungseinrichtungen beschäftigen sich in Deutschland mit der photonischen Kommunikationstechnik. Es stehen Foundries für die Prototypen- und Kleinserienfertigung von InP, Silizium-Photonik und Hochgeschwindigkeitselektronik auf Silizium-Germanium-Basis zur Verfügung.

In Regionen wie Asien wird der Technologietransfer von der Forschung in neue Produkte, auch durch staatliche Förderung, weitaus konsequenter und strategischer betrieben als in Europa. Die industrielle Landschaft im Bereich der photonischen Kommunikationstechnik in Europa und in Deutschland ist eher kleinteilig und verteilt, was ein gemeinsames Auftreten und das Sprechen mit einer Stimme erschwert und die Vernetzung mit der akademischen Welt einschränkt. Gleiches gilt für die Förderung, die sehr divers und oft unterkritisch ist. Erfreulich ist, dass sich heute in Deutschland auch Start-ups mit der photonischen Kommunikationstechnik beschäftigen. Im internationalen Vergleich ist allerdings die Zahl der Neu- und Ausgründungen erheblich geringer.

HANDLUNGS- UND FORSCHUNGSBEDARF, RAHMENBEDINGUNGEN FÜR INNOVATION

Das unverminderte Bandbreitenwachstum erfordert innovative photonische Kommunikationslösungen in allen Netzbereichen. Skalierbare Ansätze sind erforderlich, die eine flexible Nutzung von Ressourcen ermöglichen und den Energieverbrauch reduzieren.



Photonische Kommunikationstechnik:

Disruptive Ansätze für Kernnetze hoher Kapazität, wie neue Fasertypen, neue Netzwerk- und Knotenarchitekturen

Kosten- und performance-optimierte Technologien für Metro-/Zugangsnetze und Datenzentren

Optische Kommunikation für neue Anwendungsfelder, wie VLC oder OWC als Glasfaserersatz

Big Data für intelligente und selbstoptimierende Netze

Photonische Integration für die Kommunikationstechnik und Sensorik:

3D-Integration und Kombination heterogener Materialsysteme mittels hybrider Integrationstechnologien; Graphen-basierte Komponenten und InP-basierte Lichtquellen für die Si-Photonik; Kointegration von Optik und Elektronik; Photonische Systemintegration auf Leiterplattenebene (backplane und linecard); Integriert optische Verbindungstechnik auf Panel-Level für die Si-Photonik (Dünnglas und Polymer); Unterstützende Simulation- und Design-Tools; Nachhaltigkeitsaspekte

Optische Verfahren und Integrationstechnologien in der Sensorik, z. B. Point-of-Care-Diagnostik, THz-Quellen für Gas- und Stoffanalyse, miniaturisierte 3D-Faser-Bragg-Interrogatoren zur räumlichen Lageerkennung in Medizin und Industrie

Quantenmesstechnik

LED-basierte Kommunikation (VLC), z. B. zwischen Laternen für 5G-Fronthauling

Spezielle Fasern für Kommunikation und Sensorik

Je nach Handlungsfeld sind Netzbetreiber, Content Provider, Datenzentren etc. als Anwendungspartner zu berücksichtigen. Partner auf der Systemseite können auch dann die Anwendungsanforderungen in Forschungsprojekten einbringen, wenn die eigentlichen Anwender nicht direkt in Projekten partizipieren können oder wollen. Eine Expertise im Bereich der Aufbau-, Verbindungs- und Koppeltechnik ist zwingend erforderlich, wenn neue Komponenten oder photonisch integrierte Schaltungen entwickelt werden. Für eine erfolgreiche spätere Kom-

merzialisierung sollten das Co-Design von Optik und Elektronik sowie das „Design for Manufacturing and Assembly“ und „Design for Testing“ frühzeitig betrachtet werden.

Je höher der Integrations- und Automatisierungsgrad, desto mehr steckt die Wertschöpfung in Entwicklung, Fertigung und Test auf Halbleiterebene, und umso weniger lohnintensive Arbeiten sind erforderlich, die heute eine Fertigung an Standorten im Ausland erzwingen. Unter einer solchen Prämisse ließe sich ein Großteil der Technologie- und Wertschöpfungsketten in Deutschland und, falls nötig, durch Hinzunahme einzelner Partner aus der EU abdecken. Projekte mit bestimmten Anwendergruppen wie ICP erfordern eine Einbeziehung ausländischer Partner. Auf der Foundry-Ebene stehen nicht alle wichtigen Prozesstechnologien in Deutschland oder Europa zur Verfügung. Darüber hinaus fehlen bei einigen offenen Foundries Aussagen zur kommerziellen Nutzung über den Prototypenbau oder eine Kleinserienproduktion hinaus. In beiden Fällen kann deshalb ein Rückgriff auf externe Foundry-Partner erforderlich sein.

Eine Innovationsförderung für längerfristig angelegte und damit risikoreiche Projekte ist nicht nur für KMU eine Notwendigkeit. Für einen derart schnellen Markt wie den der photonischen Kommunikationstechnik sollten Beantragungs- und Entscheidungszyklen weiter verkürzt werden. In der EU hilft ACTPHAST potenziellen Anwendern, die Einstiegshürden in die photonische Integration zu senken. Ein vergleichbares Projekt innerhalb eines existierenden oder neuen Förderinstruments wäre auch auf nationaler Ebene denkbar und sinnvoll.

Die Finanzierung von Start-ups sollte durch steuerliche Anreize gefördert und der Zugang zu Risikokapital erleichtert werden. Für Forschungsinstitute sollte eine Förderung von Vorlaufthemen auch ohne aktive Industriebeteiligung ermöglicht werden (LOI hinreichend). Kofinanzierung von Foundry-Services, insbesondere für KMU, zur Absenkung der Einstiegshürden und zur Gewinnung von Neukunden wäre wünschenswert.

8 WAS IN DEN KOMMENDEN JAHREN WICHTIG IST

Die Photonik ist eine wichtige Schlüsseltechnologie für den Innovationsstandort Deutschland. Sie liefert als Querschnittstechnologie Lösungen für die Märkte von morgen. Mehr denn je wird die Photonik zum zentralen Treiber der Digitalisierung. Lithografie, optische Kommunikationstechnik und optische Messtechnik waren hier bislang bereits das Rückgrat „im Hintergrund“. Der anstehende Wandel hin zu integrierten photonischen (Mikro-)Systemen sowie die Verknüpfung mit schnellen und mächtigen Werkzeugen der elektronischen Bildverarbeitung machen die Photonik nun in immer mehr Märkten auch zur strategischen Technik in Produkten und Prozessen, von der Steuerung (z. B. Gestensteuerung, Mikrodisplays) über die Datenerfassung (Sensorik) und Datenverarbeitung (computational imaging) bis zur Produktion („3D-Druck“ / additive Fertigung, online-Qualitätsmessung, Laserbearbeitung).

Die Kernthemen und zentralen Aussagen der Agenda Photonik 2020 sind damit nach wie vor gültig. Die Branche steht zu ihrer Roadmap. Jedoch kommen neue Aufgaben für die nächsten Jahre hinzu – Querschnittsthemen, die nahezu alle Anwendungsbereiche der Photonik betreffen:

- Integration photonischer Einzeltechnologien zu integrierten photonischen („Chip“-) Systemen; photonische (3D-) Mikointegration, Wafer-Level-Optik, Silizium-Photonik, Standards, Foundries und Finanzierungsmodelle.
- Digitale Optik für Anwendungen von Medizin bis Industrie 4.0; optische Bild- und Umfelderkennung, sensorische Datenauswertung, -speicherung und Aufbereitung für den Nutzer. Forschungsthemen sind hier u. a. optische Sensorik ohne Latenzzeit, 3D-Vision, multimodale Bildgebung, computational imaging, Programmier- und Messdatenplattformen, Nutzerschnittstellen.
- Technologien, integrierte Systeme und Standards für neue photonische Mensch-Maschine-Schnittstellen

(Gesten-, Blicksteuerung, Nahfelddisplays, 3D-Displays).

- Anwendungsorientiertes Design optischer Systeme; Programmierplattformen z. B. für die additive Fertigung, „Design Thinking“, Zusammenarbeit mit Makern, offene/gemeinsame Innovationsprozesse mit Anwendungsbranchen.

All diese Herausforderungen umfassen weit mehr als Anwendungsentwicklungen. Es geht um die Bereitstellung einer grundlegenden Technologiebasis für künftige Systemlösungen – mit enormer Bedeutung für die flexible Produktion, die Medizin- und Umwelttechnik und für vernetzte Infrastrukturen.

Das Photonik-Programm des BMBF fördert industrielle Verbundforschung an den Grenzen von Wissenschaft und Technik. Was Anwendungsbreite und Entwicklungsstand betrifft, ist die Photonik heute die bedeutendste Quantentechnologie. Die industrielle Führungsrolle in diesem Bereich kann Deutschland nur halten, wenn das BMBF-Programm auch künftig den Brückenschlag von der Quanten- in die Produktwelt unterstützt. Die Photonik-Branche setzt darauf, dieses erfolgreiche Public-Private-Partnership-Modell mit der Bundesregierung in den nächsten fünf Jahren fortzusetzen.

Die Aufgaben in Forschung und Entwicklung sind immens, und die Weichen im internationalen Wettbewerb werden jetzt gestellt. Um hier erfolgreich zu sein, brauchen wir Netzwerke von Wissenschaft und Wirtschaft, vom Start-up bis zum Großkonzern, von Fach-Know-how bis Maker. Die Photonik-Branche ist bereit, sich diesen Herausforderungen zu stellen, in Forschung und Entwicklung zu investieren und Arbeitsplätze in Deutschland zu schaffen.

ANHANG

Strategieworkshops April 2016 – Arbeitsgruppen und Sprecher

Connected Light – Intelligente Beleuchtungslösungen von Smart Home bis Smart City

26. April 2016, Frankfurt

- Prof. Dr. Eva Schwenzfeier-Hellkamp, Fachhochschule Bielefeld
- Dietmar Zembrot, TRILUX GmbH & Co. KG

Consumer Photonics – Photonik für Verbrauchermärkte

21. April 2016, Stuttgart

- Dr. Frank Fischer, Bosch Sensortec GmbH
- Dr. Michael Geisler, Solayer GmbH
- Dr. Ulrich Simon, Carl Zeiss AG

Mensch-Maschine-Produktion – Flexible und vernetzte Produktion für Industrie 4.0

7. April 2016, Ditzingen

- Prof. Dr. Gisela Lanza, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Dr. Ilka Luck, PICON Solar GmbH
- Dr. Hartmut Zefferer, TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH

Photonische Gesundheitstechnologien – Lebenswissenschaften und Umweltanalytik

6. April 2016, Berlin

- Dr. Klaus-M. Irion, KARL STORZ GmbH & Co. KG
- Prof. Dr. Jürgen Popp, Leibniz-Institut für Photonische Technologien e.V.
- Prof. Dr. Klaus-Dieter Weltmann, Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V.

Licht und Mobilität – Photonik im Fahrzeug

19./20. April 2016, Jena

- Dr. Wolfgang Huhn, AUDI AG
- Prof. Dr. Andreas Tünnermann, Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

Light Connects – Photonik für Information und Kommunikation

18. April 2016, Berlin

- Dr. Christoph Glingener, ADVA Optical Networking SE
- Prof. Dr. Martin Schell, Fraunhofer Heinrich-Hertz-Institut

Die Akteure: A.T. Kearney GmbH • abariscan GmbH • ADVA Optical Networking SE • AIXTRON SE • AMO Automatisierung Messtechnik Optik GmbH • Arkadien Finanz GmbH • AUDI AG • Automotive Lighting Reutlingen GmbH • B. Braun Melsungen AG • bayern photonics e.V. • Beiersdorf AG • Berliner Glas KGaA • Berthold Leibinger Stiftung GmbH • BLINK GmbH • BMW AG • Bosch Sensortec GmbH • Bosch Smart Home GmbH • BSH Hausgeräte GmbH • Carl Zeiss AG • Charité – Universitätsmedizin Berlin • Chromasens GmbH • CINOGY GmbH • Coherent LaserSystems GmbH & Co. KG • Concept Laser GmbH • Continental Automotive GmbH • Coriant GmbH • Daimler AG • Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG • EDL Rethschulte GmbH • Edmund Optics GmbH • Elmos Semiconductor AG • Ernst-Abbe-Hochschule Jena • Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald • F&K Delvotec Bondtechnik GmbH • Fachhochschule Bielefeld • Fachhochschule Südwestfalen • ficonTEC Service GmbH • Finisar Germany GmbH • First Sensor AG • FOC-fibre optical components GmbH • Forschungscampus Digital Photonic Production • FRANK OPTIC PRODUCTS GmbH • Fraunhofer HHI • Fraunhofer IGB • Fraunhofer ILT • Fraunhofer IOF • Fraunhofer IOSB • Fraunhofer IPM • Fraunhofer IPMS • Fraunhofer IST • Fraunhofer IVV • Fraunhofer IZM • Fraunhofer UMSICHT • Friedrich-Schiller-Universität Jena • GOLDBECK Nord GmbH • Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover • GRINTECH GmbH • HB Technologies AG • Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf • Heise Medien GmbH • HELLA Aglaia Mobile Vision GmbH • HELLA KGaA Hueck & Co. • Helmut-Schmidt-Universität • Hochschule Aalen • Hochschule für Telekommunikation Leipzig • HUBER+SUHNER Cube Optics AG • HygCen Germany GmbH • InfectoGnostics Forschungscampus Jena e. V. • Infineon Technologies AG • ISRA VISION AG • ITZ Innovations- und Technologiezentrum GmbH • Jabil Optics Germany GmbH • jack be nimble • JenLab GmbH • JENOPTIK AG • Johannes Gutenberg-Universität Mainz • Julius-Maximilians-Universität Würzburg • Kappa optronics GmbH • Kardorff Ingenieure Lichtplanung GmbH • KARL STORZ GmbH & Co. KG • Karlsruher Institut für Technologie • KIANA Systems GmbH • Klinikum der Technischen Universität München • Kompetenznetz Industrielle Plasma-Oberflächentechnik e. V. • KraussMaffei Technologies GmbH • Landesmesse Stuttgart GmbH • Laser Zentrum Hannover e. V. • Laserline GmbH • LASOS Lasertechnik GmbH • Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATP) • Leibniz-Institut für Photonische Technologien e.V. (IPHT) • Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. (INP) • Leica Microsystems GmbH • LIMO Lissotschenko Mikrooptik GmbH • LPKF Laser & Electronics AG • Mahr GmbH • Merck KGaA • Messe München GmbH • Metrilus GmbH • MG Vacuum Processes • mineway GmbH • MÖLLER-WEDEL GmbH & Co. KG • MTU Aero Engines AG • nanoplus Nanosystems and Technologies GmbH • Neuland.digital • Nokia Solutions and Networks GmbH & Co. KG • opsysconsult • Optec-Berlin-Brandenburg e.V. • Optence e.V. • OSHINO LAMPS GmbH • OSRAM GmbH • OSRAM Licht AG • OSRAM Opto Semiconductors GmbH • Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg • Philips GmbH • Philips Photonics • PhotonicNet GmbH • Photonik-Zentrum Kaiserslautern e.V. • Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG • PICON Solar GmbH • Pilz GmbH & Co. KG • Pioneer Medical Devices AG • Polytec GmbH • Precitec GmbH & Co. KG • Ranovus GmbH • rap.ID Particle Systems GmbH • Raytrix GmbH • R-Biopharm AG • RE'FLEKT GmbH • Robert Bosch GmbH • RWTH Aachen • SAP SE • Schaeffler Technologies AG & Co. KG • SICK AG • Sicoya GmbH • Siemens AG • Sill Optics GmbH & Co. KG • Sirona Dental Systems GmbH • SPECTARIS e.V. • Technische Hochschule Köln • Technische Universität Berlin • Technische Universität Darmstadt • Technische Universität Dortmund • Technische Universität Dresden • Technische Universität Kaiserslautern • Technische Universität München • Technische Universität Wien • TOPTICA Photonics AG • TRILUX GmbH & Co. KG • Trumpf GmbH + Co. KG • TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH • T-Systems Multimedia Solutions GmbH • Universität des Saarlandes • Universität Erlangen-Nürnberg • Universität Freiburg • Universität Greifswald • Universität Heidelberg • Universität München • Universität Münster • Universität Osnabrück • Universität Stuttgart • Universität Tübingen • Universität Ulm • Universitätsklinikum Carl Gustav Carus Dresden • Universitätsklinikum Saarland • Universitätsklinikum Tübingen • VC Ventures GmbH • Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. • VITA Zahnfabrik • VITRONIC GmbH • VON ARDENNE GmbH • Vossloh-Schwabe Deutschland GmbH • WITec Wissenschaftliche Instrumente und Technologie GmbH • WITTENSTEIN SE • ZEISS Vision Science Lab • Z-LASER Optoelektronik GmbH • ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.