

## Studie

**Trends und Technologien in der Photonik bis 2030  
Im Rahmen des Projektes**

**"Photonics Roadmap"  
Zukunftstrends erkennen – Marktchancen nutzen**



## Gliederung

	Seite
1. Einleitung	3
2. Ausgangslage	4
2.1. Marktstruktur und Rahmenbedingungen	4
2.2. Bestandsaufnahme Marktdaten Photonik	5
3. Gesellschaftliche Herausforderungen und Megatrends	9
3.1. Demographischer Wandel / Gesundheit	10
3.2. Intelligente, umweltfreundliche Mobilität / Smart City	11
3.3. Green Economy	12
3.4. Vernetzte Gesellschaft	14
3.5. Nach-Globalisierungszeit	14
3.6. Sicherheit	15
3.7. Weitere Trends	16
3.8. Zusammenfassung der Trendanalyse	17
4. Schlussfolgerungen der Trendanalyse	18
5. Marktprognosen	19
6. Photonische Trends: Anwendungen, Innovationspotentiale und Herausforderungen	23
6.1. Silver Society	
6.1.1. Autonomes oder unterstütztes, teilautonomes Fahren	23
6.1.2. Gesundheitssektor	24
6.2. Digital Health/ Self Tracking	26
6.3. Synthetische Biologie	29
6.4. Greentech/Decarbonisierung	30
6.5. Konnektivität	34
6.6. Mobilität	37
6.7. Smart Citys	40
7. Photonische Innovationsfelder und Zukunftsmärkte	42
7.1. Deutsche Photonikbranche	42
7.2. Regionalspezifische Betrachtung – Rheinland-Pfalz	45
8. Zusammenfassung	52
9. Literaturverzeichnis	53
10. Impressum	55

## 1. Einleitung

Die Studie „Trends und Technologien in der Photonik bis 2030“ bildet die Basis für die Erstellung einer Technologie Roadmap, in der Zukunftstrends und Zielmärkte der kommenden zehn Jahre untersucht und deren technologische Bedarfe bezogen auf die optischen Technologien identifiziert werden sollen.

Diese Photonics Roadmap soll Firmen der Photonikbranche aber auch der Anwenderbranchen als Unterstützung für deren Strategiebildung zur Verfügung stehen, um Marktchancen zu erkennen, F&E-Projekte rechtzeitig abzuleiten und zu planen und sich so Vorsprünge gegenüber Marktbegleitern zu sichern.

Die vorliegende Studie liefert einen umfassenden Überblick über die Zukunftstrends, deren Relevanz für Marktchancen und damit Entwicklungsfelder im Bereich der Photonik. Der Überblickscharakter ermöglicht neue Perspektiven für die Branche, die bei gewohnter branchenüblicher Betrachtungsweise ggf. nicht diskutiert werden würden.

Die vorliegende Studie bezieht einen Prognosezeitraum von bis zu 10 Jahren und bezieht die absehbaren gesellschaftlichen Herausforderungen dieser Zeitspanne ein. Unter Zuhilfenahme externer Quellen wurden Zukunftstrends (Mega- und Subtrends) ermittelt. Die Schnittmenge aus gesellschaftlichen Herausforderungen und Zukunftstrends stellen wirtschaftlich relevante Entwicklungen dar, die für Unternehmen der Photonikindustrie neue Marktchancen eröffnen können.

Einschlägige Literaturquellen und Experteninterviews stellen die Grundlage für die Analyse dar. Die Einschätzung der aktuellen und zukünftigen durch die COVID-19-Pandemie bedingten Veränderungen, die in einschlägigen Literaturquellen noch keinen Niederschlag gefunden haben, bildete einen Aspekt der Experteninterviews. In den verwendeten Quellen wurden meist die Auswirkungen der Corona Pandemie und die damit verbundenen gesellschaftlichen Herausforderungen noch nicht benannt. (Ausnahme: Megatrends 2020 and beyond, Ernest & Young , 2020)

Die ermittelten Technologiefelder wurden in einem mehrstufigen Prozess validiert und verfeinert. Die daraus erzielten Ergebnisse wurden in Hinblick auf die Innovationsfelder und mögliche Zukunftsmärkte für die deutsche Photonikbranche insgesamt und regionspezifisch für die rheinland-pfälzische Photonikbranche im Besonderen betrachtet. Abschließend wurden die zusammengefassten Ergebnisse mit einem externen Experten nochmals diskutiert, angepasst und abschließend in vorliegender Studie dokumentiert.

Anmerkung zur Verwendung der Begriffe „Photonik“ und „Optik“: Der Begriff „Optik“ meint häufig traditionelle Optik (beispielsweise Mikroskope, Ferngläser, Brillenoptik) während „Photonik“ oft die technische Anwendung von Licht meint (beispielsweises Laser, Sensorsysteme). In dieser Studie werden die Begriffe „Optik“ und „Photonik“ sowie deren Ableitungen wie z.B. „Photonik-Branche“ und „Optische Industrie“ synonym verwendet.

## 2. Ausgangslage

Die Photonik ist als Querschnittstechnologie Innovationsmotor für die meisten Hightech-Anwendungen. 2018 konnten die über 1.000 deutschen Unternehmen der optischen Industrie ihren Umsatz um 6,7 Prozent auf über 37,1 Milliarden Euro steigern. Deutschland hat in den Kernbereichen der Photonik eine starke Weltmarktposition mit Anteilen zwischen 10 und 16%. Experten rechnen für die kommenden Jahre mit einem jährlichen Wachstum des Photonik-Weltmarktes von etwa 6 – 8 % Der Erfolg dieser Industrie spiegelt sich auch bei den Beschäftigtenzahlen wieder. Diese konnten in Deutschland 2018 mehr als fünf Prozent auf zirka 138.000 Beschäftigte gesteigert werden<sup>1</sup>

Doch trotz dieser hervorragenden Prognosen bestehen große Risiken für die Unternehmen dieser Branche, wenn sie nicht rechtzeitig auf Zukunftstrends und ein verändertes Umfeld wie es sich jetzt beispielsweise durch die Corona Krise ergeben hat reagieren. Die kleinen und mittleren Unternehmen, denen in Deutschland ca. 90% der Unternehmen der Branche zuzurechnen sind, sind schwerpunktmäßig als Zulieferer tätig und damit von den entsprechenden Anwendermärkten abhängig. Am Beispiel der Automobilindustrie zeigt sich die Abhängigkeit der Branche. Die Automobilindustrie ist aktuell von Absatzeinbrüchen in Folge der Coronakrise, der Umstellung der Verbrennungsmotoren auf Elektromotoren sowie Zollstreitigkeiten betroffen. So lag die Zahl der Pkw-Neuzulassungen in den Ländern der Europäischen Union im Oktober 2020 um 7% unter der des Vorjahres (Deutschland: -3,6 %) <sup>2</sup>

Hinzu kommt der strukturelle Wandel durch die zunehmende Digitalisierung der Arbeitsprozesse in allen Branchen. Die Unternehmen der Photonik-Branche werden sich teilweise nach der Krise neu aufstellen müssen und sich – abhängig von der Situation ihrer Zulieferer und Kunden – auch über neue Geschäftsfelder Gedanken machen müssen.

### 2.1. Marktstruktur und Rahmenbedingungen



Abb. 1: Wertschöpfungskette in der Photonikbranche

<sup>1</sup> Trendreport Photonik, SPECTARIS, 2019/2020

<sup>2</sup> <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/260825/umfrage/monatliche-pkw-neuzulassungen-in-den-laendern-europas/> [Online] / Verf. Statista GmbH.

**Komponenten und Materialien:** hierunter versteht man beispielsweise sog. Optische Gläser (Hersteller z.B. SCHOTT, Heraeus) oder Beschichtungsmaterialien, die in der Photonik benötigt werden und die direkt aus den Materialien resultierenden Produkte wie z.B. Linsen, Prismen, Spiegel.

**Photonische Produkte:** sind Produkte, in denen photonische Komponenten verbaut werden und deren Verwendung direkt die Photonik nutzt, wie beispielsweise Laser, Mikroskope, Kameras oder Teleskope.

**Photonic enabled Produkte:** hier werden photonische Komponenten eingesetzt, um die Funktion des Produktes zu ermöglichen. Dies ist beispielsweise der Fall bei Headup-Displays, Systemen zur Prozesssteuerung, die optische Sensoren verwenden oder Systemen zur industriellen Bildverarbeitung.

**Photonic enabled Services:** viele Dienstleistungen werden nur durch die Nutzung Photonischer Technologien möglich. Dazu gehört beispielsweise die 5G Technologie in der Telekommunikation oder Sensorsysteme, die präventiv technische Probleme von Maschinen an Wartungsdienste melden.

**Marktzahlen Photonische Produkt und photonic enabled Produkte in Anwenderbranchen** in 2018 exemplarisch weltweit:<sup>3</sup>

- **Laser:** der Hauptumsatz wird in der Materialbearbeitung und Halbleiterindustrie (6,16 Mrd. US \$) und in der Telekommunikation (3,82 Mrd. US \$) erzielt.
- **Biophotonik:** findet Verwendung zu 35% in Bildgebenden Verfahren, zu 23% im Bereich der Endoskopie, 13% in der Spektroskopie
- **Augemented und Virtual Reality:** Der Weltmarkt betrug 2016 18 Mrd. US \$, perspektivisch in 2022 165 Mrd. US \$. Die stärksten Use cases liegen in den Bereichen Anatomie und Diagnostik, Online-Handel, Labor- und Feldforschung der Hochschulen, Medizinische Rehabilitation, Videokonferenzen und stationärer Handel.

Die Maßnahmen zur Eindämmung des Coronavirus werden Folgen für die Weltwirtschaft haben, die sich zum jetzigen Zeitpunkt nicht vollständig ermessen lassen. Laut einer Umfrage von SPECTARIS und OptecNet e.V. im April 2020 erwarten über 50% der Unternehmen in der Photonikbranche einen Umsatzrückgang von mehr als 25% gegenüber 2019. 76% konnten bereits im April eine Verschlechterung der Geschäftslage feststellen und 58% eine deutlich gesunkene Nachfrage.

Die tatsächlichen wirtschaftlichen Folgen werden sich wohl erst Ende 2021 konkreter beziffern lassen. Eindeutig ist aber eine starke Abhängigkeit von globalen Lieferketten sowie politischen und sozialen Entwicklungen weltweit.

## 2.2. Bestandsaufnahme Marktdaten Photonik

Die nachfolgende Marktbetrachtung konzentriert sich auf photonische Komponenten, obwohl eine Vielzahl von Unternehmen weitere Elemente der Wertschöpfungskette adressieren (siehe Abb. 1) Als Quelle der Marktzahlen wurden hier der SPIE Industry Report<sup>4</sup> auf der internationalen Ebene, der SPECTARIS Trendreport Photonik 2019/2020<sup>3</sup> und der VDMA Branchenreport 2017 Photonik für Deutschland<sup>5</sup> herangezogen.

<sup>3</sup> Trendreport Photonik SPECTARIS, 2019/2020

<sup>4</sup> SPIE Optics and Photonics Industry Report, 2020

<sup>5</sup> Branchreport 2017, Photonik für Deutschland, VDMA, 2017

- Die weltweiten Umsätze in der Produktion von optischen und photonischen Komponenten lagen 2018 bei 282 Mrd. \$, das entspricht einer jährlichen Wachstumsrate von 2016 – 2018 von 10,6 %. Im Januar 2020 hat die SPIE den weltweiten Umsatz bei photonischen Komponenten auf 328 Mrd. \$ für 2020 geschätzt.

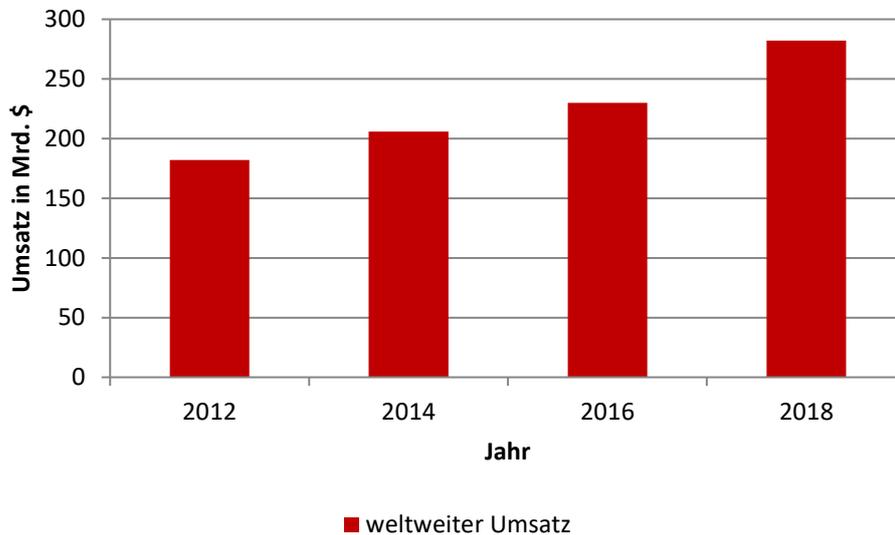


Abb. 2: Weltweiter Umsatz durch photonische Komponenten (Quelle: SPIE Industry Report 2020)

- Optische und photonische Komponenten werden in mehr als 50 Ländern hergestellt.
- Der Weltmarktanteil der photonischen Komponenten der asiatischen Länder, speziell China, steigt. 52% der optischen Komponenten werden in Asien hergestellt, 24% in Europa, 23% in Nordamerika, 1% in der restlichen Welt. Abb. 3 zeigt die Dominanz Asiens in diesem Sektor.

Weltmarktanteil Photonische Komponenten

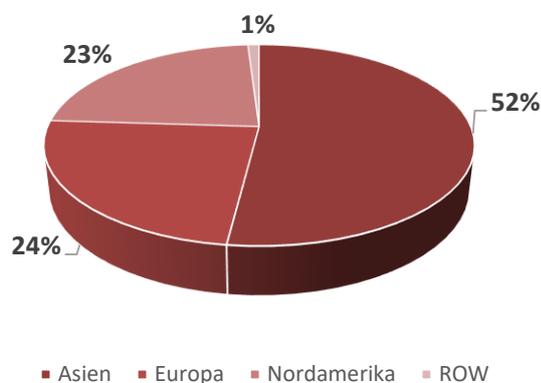


Abb. 3: Regionaler Anteil der Umsätze am Weltmarkt für photonische Komponenten (Quelle: SPIE Industry Report 2020)

- Der Anteil Deutschlands am Weltmarkt betrug 2020 über 5%, womit Deutschland hinter Japan, den USA, China, Korea und Taiwan auf Platz 6 liegt.
- Deutschland hat vor den Niederlanden und Frankreich mit 41% Marktanteil in Europa die Spitzenposition inne.
- Das Wachstum der Firmen, die photonische Komponenten herstellen, liegt seit 2012 über dem BIP.
- Weltweit produzierten in 2018 4.300 Unternehmen in 2018 photonische Komponenten.
  - 75% davon sind kleine und mittlere Unternehmen
  - 73% aller photonischen Komponenten sind von lediglich 2% der Firmen hergestellt worden.

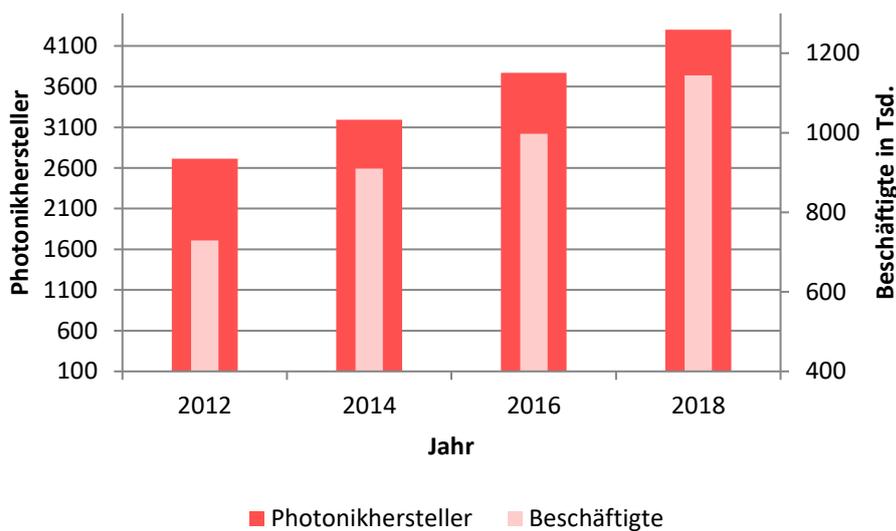


Abb. 4: Entwicklung der Zahl der Unternehmen, die photonische Komponenten herstellen und der Beschäftigten (Quelle: SPIE Industry Report 2020)

- Die weltweiten jährlichen Gewinne, die durch Produkte, die photonische Technologien und Komponenten nutzen („photonics-enabled“), erzielt werden, lagen 2016 bei 1.8 \$ Billionen. Für 2020 werden 2.6 \$ Billionen erwartet (Schätzung vor COVID-19)

- Für Deutschland wird im Detail weiterhin Folgendes aufgeführt:
  - Die Exportquote liegt bei 72% mit steigender Tendenz. Die Hauptabsatzländer sind die USA, China und die Niederlande.
  - In den Anwendungsfeldern Analyse- und Messtechnik, Produktionstechnik, Medizintechnik und Optische Komponenten hat Deutschland einen Anteil am Weltmarkt von 10-16%.
  - Die F&E Quote liegt mit 9% über der anderer forschungsintensiver Branchen in Deutschland.
  - 2018 gab es in Deutschland ca. 1.000 Photonikhersteller mit 138.000 Beschäftigten (ohne Zulieferer)

**Fazit:**

*Die Photonikbranche ist ein starker Weltmarkt mit hohem Wachstumspotential auch in den sogenannten „enabled markets“ (z.B. Consumer & Entertainment, Advanced Manufacturing oder Healthcare) mit dem noch größten Marktanteil im Bereich Consumer & Entertainment. Obwohl KMUs nur etwa 3% des Umsatzes generieren, spielen sie eine wichtige Rolle bei technologischen Innovationen.*

*Deutschland ist der größte Hersteller photonischer Komponenten und Produkte in Europa mit einem starken Fokus auf das Exportgeschäft außerhalb Europas. Der Hauptanteil des Produktionsvolumens entfällt dabei auf die klassischen Bereiche Optische Komponenten & Systems (18%), Analyse- und Messtechnik (22%), Produktionstechnik (15%) und Medizintechnik & Life Sciences (19%). Hier findet sich eine hohe Kompetenz und eine starke Position am Weltmarkt, die für die weitere strategische Ausrichtung genutzt werden können.*

### 3. Gesellschaftliche Herausforderungen und Megatrends

**Gesellschaftliche Herausforderungen** („societal challenges“) beeinflussen Entwicklungen von Märkten – und damit auch den der Photonik – in signifikanter Weise. Darunter sollen hier solche Handlungsfelder verstanden werden, in denen die Wissenschaft fachliche Lösungsbeiträge von besonderer gesellschaftlicher Bedeutung sowie Handlungsoptionen auf der Basis von Wirkungsanalysen bereitstellt. Gesellschaftliche Herausforderungen können bei bestimmten Fragestellungen auch technologische Herausforderungen darstellen. Die Lösung der technologischen Herausforderungen kann helfen, die gesellschaftlichen Herausforderungen anzunehmen und zu bewältigen.<sup>6</sup>

Eine Befragung der Bertelsmannstiftung<sup>7</sup> und des Stifterverbands<sup>8</sup> von 2019 von 7400 in Deutschland ansässigen Unternehmen über Deutschlands größte gesellschaftliche Herausforderungen ergab folgende Themenfelder für wichtiges gesellschaftliches Engagement.

- eine lebenswerte Region gestalten (18 Prozent)
- den demografischen Wandel bewältigen (15 Prozent)
- eine bessere Integration gewährleisten (14 Prozent)
- Armut bekämpfen (13 Prozent)

**Megatrends** stellen Veränderungen dar, die in der Gegenwart bereits eine Rolle spielen, die aber vor allem sehr langfristig die Zukunft bestimmen werden. Der Einfluss der Megatrends bestimmt umfassend alle gesellschaftlichen Ebenen: Wirtschaft und Politik sind betroffen, ebenso Wissenschaft, Technik und Kultur. Megatrends sind globale Phänomene. Auch wenn sie nicht überall gleichzeitig stark ausgeprägt sind, so lassen sie sich doch früher oder später überall auf der Welt beobachten. Sie beeinflussen einander, interagieren mit bestehenden gesellschaftlichen Herausforderungen bzw. werden durch sie wesentlich beeinflusst und bestehen aus einer Vielzahl einzelner Trends, sogenannter Subtrends, die im Umfeld der Megatrends wirken.<sup>9</sup>

Die Abläufe von gesellschaftlichen Herausforderungen und Megatrends sind meist eher langsam und grundlegend, es können aber auch schnelle Umbrüche mit disruptiven Entwicklungen entstehen wie das Beispiel der COVID-19-Pandemie zeigt. Eine frühzeitige Kenntnis und Vorbereitung ist für die Unternehmen eine wichtige Voraussetzung für strategisch vorausschauendes Handeln.

Zur Bewertung potentieller Marktentwicklungen in der Photonik und deren Hauptanwendungsbranchen wurden im Rahmen der Studie die nachfolgenden Quellen herangezogen, wobei die Darstellung teilweise konsolidiert, komprimiert und verdichtet wurde:

- Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III (ProgRess III), Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland, 2020
- Horizon Europe (EU Rahmenprogramm für Forschung und Innovation), Europäische Union, 2020
- „Unternehmen in Deutschland benennen die vier drängendsten gesellschaftlichen Herausforderungen“, Stifterverband, 2019
- „Unternehmen gestalten Regionen“, Bertelsmannstiftung, 2019

<sup>6</sup> LeNa <https://www.nachhaltig-forschen.de>

<sup>7</sup> „Unternehmen gestalten Regionen“, Bertelsmannstiftung

<sup>8</sup> „Unternehmen in Deutschland benennen die vier drängendsten gesellschaftlichen Herausforderungen“, Stifterverband

<sup>9</sup> zukunftsInstitut

- „Die Megatrend-Map“, zukunftsInstitut, 2020
- Studie: „Megatrends 2020 and beyond“, Ernest &Young, In dieser Studie berücksichtigt EY bereits den Einfluss, den die Corona Pandemie auf zukünftige Entwicklungen haben wird.

Bei der Analyse der gesellschaftlichen Herausforderungen und der Mega- und Subtrends wurde deutlich, dass die gesellschaftlichen und technologischen Herausforderungen nicht deutliche getrennt werden können. Lediglich die Gewichtung und Zuordnung einiger Themenkomplexe ist unterschiedlich, so dass sich gleiche Trends unter anderen Überschriften finden können. Aus diesem Grund erfolgt bereits in dieser Darstellung eine Schnittmengenbildung.

### 3.1. Demographischer Wandel / Gesundheit

Die Menschen werden immer älter und bleiben gleichzeitig länger gesund. In Europa sind 2030 mehr als die Hälfte der Menschen über 50. Sie können dann mit einer weiteren Lebenserwartung von rund 40 Jahren rechnen. Ein Drittel der Bevölkerung in den Industriestaaten ist dann bereits 65 und älter.

In Asien wird 2030 mehr als die Hälfte der Bevölkerung über 60 Jahre sein. Dort wird es 2040 mehr über 60-Jährige als unter 15-Jährige geben. In Europa ist das bereits seit 2000 der Fall. Das zukunftsInstitut spricht von der sogenannten „**Silver Society**“.<sup>10</sup> Die „Silver Society“ stellt einen wichtigen Wirtschaftsfaktor dar, der unterschiedliche Bereiche betrifft.

Gleichzeitig werden die Lebensabschnitte flexibler: die vier Komponenten Arbeit, Freizeit, Lernen und Ruhestand sind nicht mehr klar gegeneinander abgrenzbar. Längere Lebenserwartung und geringe Rente führen dazu, dass viele Personen auch im Rentenalter arbeiten. Andere dagegen entscheiden sich für einen frühen Vor-Ruhestand. Lernen beschränkt sich nicht mehr auf Schule, Studium oder Ausbildung sondern wird zur lebenslangen Aufgabe.<sup>11</sup>

Mit selbstständig erworbenem Wissen treten Menschen dem Gesundheitssystem auf Augenhöhe gegenüber und stellen neue Erwartungen an Unternehmen und Infrastrukturen: Gesundheitsbewusste Menschen wollen sich in gesundheitsfördernden Lebenswelten bewegen und fordern dies als neuen Normalzustand ein. Dazu gehört auch die Nutzung der Möglichkeiten digitaler Datenübermittlung im Gesundheitswesen „**Digital health**“ oder „**Self tracking**“.<sup>12</sup> Beim Self tracking werden z.B. über Smartphones oder Fitnessarmbänder Vitalwerte ermittelt, die entweder selbst ausgewertet werden können oder digital dem Arzt übermittelt werden.

Sicherheitskonzepte für die Verwendung dieser Technologien in Haushalt, Mobilität und natürlich bei der Datenübermittlung von Digitalwerten stellen ein Grundgerüst der Anwendungen dar.

Der Bekämpfung von Krankheiten kommt in einer alternden Gesellschaft eine besondere Bedeutung zu. Beispielsweise wurde in Horizon Europe der Kampf gegen den Krebs als eine wichtige Mission identifiziert. Bis 2030 sollen Diagnostik, Prävention und Behandlung entscheidend verbessert werden.<sup>13</sup>

Der vom zukunftsInstitut identifizierte Zukunftstrend „**Synthetische Biologie**“, in dem gentechnologische Methode genutzt werden, um die DNA so zu verändern, dass Zellen maßgeschneiderte Produkte herstellen, spielt bei der Bekämpfung von Krankheiten ebenfalls

<sup>10</sup> zukunftsInstitut

<sup>11</sup> Ernest & Young, 2020

<sup>12</sup> zukunftsInstitut

<sup>13</sup> Horizon Europe

eine große Rolle. Die synthetische Biologie ermöglicht, z.B. individuelle Gentherapien für verschiedene Krankheiten wie Krebs zu entwickeln.<sup>14</sup> Auch die Entwicklung eines COVID-19 Impfstoffs auf m-RNA Basis nutzt gentechnologische Methoden.

Infektionsschutz und Infektionsnachweis sind durch die Corona-Pandemie als wichtige Herausforderungen der Zukunft in den Fokus getreten.

Der demographische Wandel beinhaltet auch den steigenden Einfluss der „**Generation Z**“, die, geboren zwischen 1995 und 2015, neben der alternden Bevölkerung zukünftige Marktentwicklungen wesentlich mit beeinflussen. Dieser Bevölkerungsanteil ist sehr heterogen, abhängig von der betrachteten Region. So gehören beispielsweise in Indien 27% der Bevölkerung dazu, in Europa dagegen nur 16% und in Japan 14%. Trotz aller kulturellen Unterschiede gibt es große Gemeinsamkeiten. Dazu gehört z.B. die „Digitalisierung“. Fast 100% besitzen ein Smartphone und nutzen Soziale Medien. Die Thematik des Klimawandels ist in dieser Generation sehr präsent. Die Corona Pandemie ist ein disruptiver Meilenstein der "Generation Z", da alle Bereiche des aktuellen Lebens und auch der Zukunft dieser Generation betroffen sind: Ausbildung, Studium, soziale Kontakte und Freizeit<sup>15</sup>.

### **Fazit Demographischer Wandel / Gesundheit hinsichtlich photonischer Technologien:**

*Demographischer Wandel und Gesundheit spielen hinsichtlich neuer Märkte für die photonische Produkte eine große Rolle.*

*Für Photonische Technologien gibt es ebenfalls Ansatzpunkte in den Bereichen Mobilität, Konnektivität, Self tracking und Digital Health und natürlich auch in der Medizintechnik.*

### **3.2. Intelligente umweltfreundliche Mobilität /Smart City**

Die Weltbevölkerung nimmt stetig zu und immer mehr Menschen leben in Städten. Staus auf den Straßen, Feinstaubbelastung durch Abgase, überlastete Verkehrssysteme in den Großstädten: die Herausforderungen dieses Trends werden bereits heute mehr als deutlich. Die Weiterentwicklung hin zu einer intelligenten, umweltfreundlichen Mobilität und zu Städten mit einer hohen Lebensqualität unter Nutzung moderner, digitaler Konzepte sind wichtige gesellschaftliche und technologische Herausforderungen.

Technische Innovationen und veränderte Bedürfnisse der Menschen werden zum Motor neuer Formen der Mobilität: vernetzt, digital, postfossil. Mobilität umfasst beispielsweise Autonomes Fahren, E-Mobility und Micromobility. Mit dem Begriff Micromobility ist eine individuelle Massenmobilität gemeint, in der verschiedene Verkehrsmittel miteinander geteilt werden, angepasst an die zu bewältigende Strecke gewählt werden können und sich ergänzen (beispielsweise Car-Sharing, autonome Shuttle-Fahrzeuge, Elektroroller) Auch Flugtaxis können in der Zukunftsstadt eine Rolle spielen. Die Coronakrise hat den Megatrend „**Mobilität**“ extrem stark beeinflusst und verändert – mehr als jeden anderen Megatrend. Öffentlicher Nahverkehr und Carsharing haben beispielsweise zu Gunsten des „Bike Booms“ stark abgenommen und „Keimfreie Mobilität“ hat den Megatrend um einen weiteren Faktor ergänzt.<sup>16</sup>

<sup>14</sup> zukunftsInstitut

<sup>15</sup> Ernest & Young

<sup>16</sup> zukunftsInstitut

Städte sind eine gesellschaftliche Herausforderung der Zukunft. Bereits heute leben mehr Menschen in Städten als in ländlichen Regionen. Der Megatrend „**Urbanisierung**“ fokussiert auf Megacitys, die große Herausforderungen an Infrastruktur, Lebensqualität und Nachhaltigkeit darstellen. Solche Megacitys spielen in Regionen mit stark wachsender Bevölkerung bzw. hoher Bevölkerungsdichte (Asien, Afrika) teilweise eine größere Rolle als in etablierten Industrienationen.

Die Entwicklung hin zur **Smart City** beinhaltet ganzheitliche Lösungen durch miteinander vernetzte Systeme, in der die Bedürfnisse der Bewohner berücksichtigt werden. Der Smart-City-Ansatz sucht, über technologische Insellösungen hinaus, nach intelligenten Systemen, die ganzheitliche Lösungen für verschiedenste Herausforderungen der Stadt bieten und diese durch sinnvolle Vernetzung bewältigen. Smart City umfasst alle intelligenten Lösungen der Daseinsvorsorge, wobei die Spanne von Smart Government über Ambient Assisted Living bis hin zu Smart Grid und Smart Mobility reicht. Eine gut funktionierende Infrastruktur u.a. durch vernetzte Transportmittel, Schonung der Gesundheit durch geringe Abgasbelastung (Megatrend **Decarbonisierung**) und autonom fahrende Fahrzeuge, die allen Verkehrsteilnehmern maximale Sicherheit bieten, gehören zur Smart City.<sup>17</sup> Die Stadt der Zukunft muss außerdem als gesellschaftliche Herausforderung individuelle Entfaltungsmöglichkeiten für seine Bewohner schaffen.

Klimaneutralen „Smart Cities“ wird im Programm Horizon Europe<sup>18</sup> eine hohe Bedeutung zugeordnet und auch das Ressourceneffizienzprogramm „ProgRess III“ der Bundesregierung setzt mit dem Bereich „Mobilität“ einen neuen inhaltlichen Schwerpunkt.<sup>19</sup>

**Fazit Intelligente, umweltfreundliche Mobilität / Smart City hinsichtlich photonischer Technologien:**

*Photonische Technologien können in diesem Zukunftstrend vielfältige Anwendungen finden: beispielsweise beim Autonomen Fahren (Konnektivität), über Beiträge zu technologischen Lösungen zur Ressourceneffizienz fossiler Brennstoffe („Decarbonisierung“) oder Weiterentwicklungen im Bereich der Batterietechnologie, Sensorik und Kamerasysteme in Smart Cities*

### 3.3. Green Economy

Neueste Untersuchungen zeigen, dass sich der Klimawandel deutlich schneller vollzieht als ursprünglich angenommen. Folgen sind u.a. Überschwemmungen, Waldbrände und Dürre. Der Klimawandel ist ein Kernthema der „Generation Z“. Sie ist Entscheider und Käufer der Zukunft und muss mit den Folgen des Klimawandels leben. Um den exponentiell beschleunigten Klimawandel zu verlangsamen bzw. ganz zu stoppen, gibt es verschiedene Möglichkeiten, zu denen Green Economy oder grüne Technologien „Green Tech“ gehören.<sup>20</sup> Hier treffen gesellschaftliche Herausforderungen, die durch den Klimawandel entstehen, wie z.B. Hunger und Armut durch vermehrt auftretende Naturkatastrophen, auf technologische Herausforderungen, um diese negative Entwicklung aufzuhalten.

Das Ziel der **Green Economy** ist eine nachhaltige Wirtschaft, die natürliche Ressourcen schont und die Umwelt weniger belastet. Zur Umsetzung der Green Economy sind neue, „grüne“, Technologien erforderlich, sogenannte „Green Tech“. **„Neo Ökologie“** ist ein Megatrend im Bereich „Green Tech“, der Belastungen für die Umwelt von vornherein zu

<sup>17</sup> zukunftsInstitut

<sup>18</sup> Horizon Europe

<sup>19</sup> Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III (ProgRess III)

<sup>20</sup> Ernest & Young

vermeiden versucht, sie verringert oder bereits entstandene Schäden behebt. Der Einsatz von Green Tech hilft Unternehmen dabei, mit knappen und teurer werdenden Rohstoffen effizienter zu wirtschaften.<sup>21</sup>

Ressourcenschonende Produktion sowohl in der Industrie als auch in der Landwirtschaft, wird durch u.a. vernetzte Systeme, (Internet of Things, Präzisionssensoren etc.) möglich, d.h. auch der im Megatrend "**Konnektivität**" greift in die Umsetzung der Green Economy ein.<sup>22</sup>

Eng mit der Green Economy verbunden ist auch der Zukunftstrend „**Decarbonisierung**“. Bei der Decarbonisierung geht es nicht nur darum, Treibhausgase zu vermeiden, sondern verschiedene technische Wege zu finden, gasförmige Kohlenwasserstoffverbindungen aus der Umgebung zu binden und in verwertbare Produkte umzuwandeln. Eine Rolle hierbei spielen auch „**Mikrobiome**“, also Mikroorganismen, die beispielsweise Kohlenwasserstoffverbindungen zersetzen oder umwandeln. Mikrobiome können auch zur Verbesserung des Bodens beitragen und so den Düngemiteleinsatz reduzieren. Mikroorganismen für den Menschen stärker nutzbar zu machen, ist ein Megatrend.<sup>23</sup>

Der Megatrend Green Economy findet auch Berücksichtigung im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm III (ProgRess III) der Bundesregierung. Neue inhaltliche Akzente gegenüber den Vorgängerprogrammen werden in den Bereichen Kreislaufwirtschaft, Digitalisierung und Mobilität gesetzt. Darüber hinaus werden die Auswirkungen der Ressourcennutzung auf die Emissionen von Treibhausgasen betrachtet. Dieser weite Blickwinkel deckt die engen Zusammenhänge zwischen schonender Ressourcennutzung, funktionierender Kreislaufwirtschaft sowie den politischen Maßnahmen gegen den Klimawandel auf und hilft, Zielkonflikte wie zum Beispiel zwischen Ressourceneffizienzpolitik und Klimapolitik gegebenenfalls zu identifizieren und auszuräumen. ProgRess III benennt insgesamt 118 Maßnahmen und Handlungsoptionen. 27 dieser Maßnahmen sind als prioritär gekennzeichnet, da sie nach Meinung der Bundesregierung einen besonders hohen Beitrag zur Ressourceneffizienz haben oder relativ schnell umgesetzt werden können.<sup>24</sup>

Auf europäischer Ebene findet der Megatrend Green Economy Eingang in das Programm Horizon Europe der Europäischen Union. Hier werden verschiedene Handlungsstränge („Missionen“) definiert, die helfen sollen, die Green Economy zu etablieren. Dazu gehören „Adaptation to climate change including societal transformation“, „Healthy oceans, seas, coastal and inland waters“ sowie „Soil health and food“.<sup>25</sup>

### **Fazit Green Economy / Decarbonisierung hinsichtlich photonischer Technologien:**

*Bei der Umsetzung der Green Economy durch „grüne Technologien“ spielt Photonik eine große Rolle. Sowohl Photonische Komponenten wie optische Sensoren, als auch Photonische Produkte wie Kameras oder „photonic enabled“ Produkte finden hier Einsatzmöglichkeiten.*

*Anwendungspotenzial ergibt sich in den Bereichen Green Tech, Konnektivität und Decarbonisierung.*

<sup>21</sup> zukunftsInstitut

<sup>22</sup> zukunftsInstitut

<sup>23</sup> zukunftsInstitut

<sup>24</sup> Deutschen Ressourceneffizienzprogramm III (ProgRess III)

<sup>25</sup> Horizon Europe

### 3.4. Vernetzte Gesellschaft

Die Digitalisierung führt zu tief greifenden Änderungen sowohl im Informations- und Entscheidungsverhalten des Einzelnen als auch im menschlichen Miteinander und stellt eine gesellschaftliche Herausforderung dar. Smartphones gehören bereits zum Alltag, aber darüber hinaus werden Themen wie beispielsweise Künstliche Intelligenz (KI) oder künstliche Welten (Augmented und Virtual Reality) immer wichtiger.

Das Prinzip der Vernetzung dominiert den gesellschaftlichen Wandel. Zusammengefasst wird dieser Megatrend im Begriff „**Konnektivität**“ In diesen Bereich fallen z.B. 3D Printing, Autonomes Fahren, Big Data, Blockchain, Digital Health oder Augmented Learning. Augmented Learning beinhaltet Lernen in komplett oder teilweise virtuellen Lernumgebungen. Virtual Reality (VR) oder Augmented Reality (AR) werden genutzt, um die Vermittlung von Wissen anschaulicher und lebendiger zu gestalten, um die natürliche Umgebung um zusätzliche Lerninhalte zu erweitern oder zum Zwecke der Übung zukünftige Situationen zu simulieren.<sup>26</sup>

Das zukunftsInstitut wertet die Konnektivität als mächtigsten Megatrend, der zahlreiche Subtrends beinhaltet, die wiederum in vielen anderen Megatrends eine Rolle spielen. Das Prinzip der Vernetzung dominiert laut zukunftsInstitut die Gesellschaft von morgen.

#### **Fazit „Vernetzte Gesellschaft“ hinsichtlich photonischer Technologien:**

*Bezüglich der gesellschaftlichen Herausforderungen, die sich durch immer weiter zunehmende Digitalisierung ergeben, kann die Photonik keinen Beitrag leisten. Der Megatrend „Konnektivität“ stellt allerdings einen sehr großen Wachstumsmarkt dar, auch weil er sich im Querschnitt in zahlreichen anderen Megatrends wiederfindet. Photonische Produkte im Bereich Konnektivität finden vielfältige Einsatzmöglichkeiten.*

### 3.5. Nach - Globalisierungszeit

Die letzten Jahrzehnte durch eine zunehmende Globalisierung und weltweite Verflechtung in vielen Bereichen wie Wirtschaft, Politik, Kultur und auf vielen Ebenen (Individuen, Institutionen, Unternehmen, Staaten) gekennzeichnet. Der Megatrend „**Globalisierung**“ hat internationalen Großkonzernen den Weg geebnet und eine Wertschöpfung unabhängig vom Standort ermöglicht.

Für die kommenden Jahre ist mit einer Gegenbewegung („**Neo-Nationalismus**“) zu rechnen.<sup>27</sup>

Im erwarteten „**Technologischen Kalten Krieg**“ spielen Populismus und Handelskriege, Cyberattacken, Wettrüsten mit Hightech-Waffensystemen und Informationskriege eine entscheidende Rolle – die Zukunft der Kriegsführung findet im Verborgenen statt und ist ein permanenter Kampf, der mit vielen Risiken für multinationale Konzerne verbunden ist. Technologische Entwicklungen werden von vielen Staaten mit dem Ziel vorangetrieben, die nächste Generation technologischer Infrastruktur im Konkurrenzkampf mit anderen Staaten

<sup>26</sup> zukunftsInstitut

<sup>27</sup> zukunftsInstitut

zu dominieren. Für die Unternehmen bedeutet dieser Megatrend, die Sensibilität für Cyberattacken zu verstärken und die Cybersecurity deutlich auszubauen.<sup>28</sup>

Die „Nach-Globalisierungszeit“ ist geprägt von Populismus und Nationalismus. Vorbehalte gegen Migration und Zollgrenzen nehmen weltweit zu mit dem Ergebnis einer stärkeren regionalen Orientierung z.B. bei Waren- und Geldflüssen. Technische Entwicklungen unterstützen die regionale Produktion auch zu wirtschaftlich attraktiven Bedingungen. Beispielsweise können im 3D Druck lokal Produkte und Komponenten hergestellt werden, die vorher von einer globalen Supply Chain abhängig waren. Die Corona Pandemie wird den Regionalisierungstrend weiter verschärfen, weil die Risiken globaler Lieferketten während der Pandemie deutlich geworden sind.<sup>29</sup>

**Fazit „Nach-Globalisierungszeit“ hinsichtlich photonischer Technologien:**

*Die im Trend beinhalteten technologischen Herausforderungen spielen auch in anderen Megatrends eine Rolle (z.B. 3D-Druck, Digitalisierung, Cyber Security). Erforderliche technologische Innovationen können daher nicht primär diesem Trend zugeordnet werden.*

*Bei der Vermarktung Photonischer Produkte auf dem Weltmarkt sollte der Trend allerdings berücksichtigt werden.*

### 3.6. Sicherheit

„Sicherheit“ als Megatrend findet sich im Querschnitt in fast allen anderen Themenkomplexen wieder.

Drei Sicherheitsaspekte sind zu unterscheiden<sup>30</sup>:

- **Datensicherheit:** Die neuen Technologien und die Vernetzung führen zu einem großen Datenaufkommen und Transfer (Big Data). Diese Daten dürfen nicht in falsche Hände geraten oder manipuliert werden können. Cyberkriminalität, Industriespionage, Deepfake, Wahlbeeinflussung – alles dieses sind Folgen mangelnder Datensicherheit oder der Beeinflussung von Daten. Die Datensicherheit ist eine Herausforderung an die IT.
- **Persönliche Sicherheit (körperliche Unversehrtheit)**  
Bei der Nutzung der „Menschen unterstützenden Technologien“ also beispielsweise bei autonom fahrenden Autos oder Roboter-Assistenzsystemen muss die Sicherheit des Menschen an oberster Stelle stehen. Hier gibt es Herausforderungen, bei denen Photonische Technologien (z.B. im Bereich Sensorik) zur Lösung beitragen können.
- **Militärische Sicherheit:** sich verschiebende globale Machtgefüge in der „Nach-Globalisierungszeit“ können zu kriegerischen Auseinandersetzungen führen, die neue Anforderungen an die militärischen Verteidigungssysteme stellen. Photonische Technologien spielen auch eine wichtige Rolle im Bereich Defense. Da in dieser Studie

<sup>28</sup> Ernest & Young

<sup>29</sup> Ernest & Young

<sup>30</sup> Ernest & Young

nur zivile Anwendungen betrachtet werden, wird auf den Bereich Defense nicht weiter eingegangen.

**Fazit „Sicherheit“ hinsichtlich photonischer Technologien:**

*Der heterogene Themenkomplex „Sicherheit“ wird nicht als separater Themenkomplex analysiert, wohl aber punktuell in oben genannten Schwerpunkten Green Economy, Zukunftsstadt und Demographischer Wandel betrachtet.*

### 3.7. Weitere Trends

Sowohl das zukunftsInstitut als auch Ernest & Young haben zahlreiche weitere Trends identifiziert, die in erster Linie gesellschaftlich relevant sind. Auch wenn technologische Entwicklungen hier keine vorrangige Rolle spielen, prägen diese Trends dennoch die Denk- und Verhaltensweisen der Zukunft. Damit sind sie indirekt auch relevant für die Märkte photonischer Produkte. Auszugsweise sind einige Trends aufgeführt.

- **Individualisierung:** als zentrales Kulturprinzip der westlichen Welt berührt er u.a. die Lebensqualität, den Konsum, Diversity, also die Verschiedenartigkeit der Menschen z.B. hinsichtlich Geschlecht, Rasse, Alter und kulturellem Hintergrund.
- **Gender-Shift:** Der Trend veränderter Rollenmuster und aufbrechender Geschlechterstereotype sorgt für einen radikalen Wandel in Wirtschaft und Gesellschaft.
- **New Work:** In Zukunft geht es um die gelungene Symbiose von Leben und Arbeiten.
- **Synthetic media:** Durch kreative Überarbeitung von Audio-, Video- und textbasierten Informationen mit Hilfe digitaler Tools können Kontext und Botschaft auf Datenträgern verändert werden – sogenannte "Deepfakes" entstehen. Durch deren Verbreitung in allen Medien wird das Meinungsbild in vielen Bereichen manipuliert: Wahlen werden beeinflusst, Straftaten wie beispielsweise Betrug erleichtert, die öffentliche Meinung manipuliert.
- **„Ökonomie der persönlichen Verhaltensweisen“:** Immer mehr persönliche Daten werden durch die Nutzung des Internets, von Smartphones oder Social Media erfasst. Die Auswertung liefert Informationen über alle Verhaltensweisen der Nutzer: Kaufverhalten, Hobbys, Ängste, Krankheiten, Motivationen und auch Wertvorstellungen. Die Menschen werden in allen Bereichen transparent. Neue Technologien der Datenübermittlung und Verarbeitung werden eine noch intensivere Datenerfassung ermöglichen. Affektive Computerprogrammierung, mit deren Hilfe Roboter und Computersysteme auf menschliche Emotionen und Verhaltensweisen programmiert werden, führt dazu, dass diese Menschen sowohl "lesen" als auch perfekt imitieren können.
- **Zukunft des Denkens:** Wie werden künstliche Intelligenz, Autonomes Fahren, Fake Videos unser Denken und damit unsere Verhaltensweisen und unseren Konsum beeinflussen? Bereits heute gibt es Suchtverhalten bei der Nutzung von Smartphones, Konzentrationsprobleme, Polarisierung in den Sozialen Medien, Misstrauen gegenüber Medien. Die jüngere Generation hat bereits eine geringere Aufmerksamkeitsspanne, ist aber deutlich besser in der Lage mit digitalen Medien zu lernen.

### 3.8. Zusammenfassung der Trendanalyse

Bei der vom zukunftsInstitut vollzogenen Betrachtungsweise der Mega- und Subtrends zeigt sich, dass einige technologische Subtrends in mehreren Megatrends vertreten sind (In der unten stehenden Tabelle in unterschiedlichen Grüntönen markiert – abhängig von der Häufigkeit des Auftretens in mehreren Megatrends) Dazu gehören Big Data und Digital Health, die jeweils 4 Megatrends als Subtrends mitbestimmen, und Autonomes Fahren, Bike-Boom, Smart Citys, Internet of things sowie Self tracking die jeweils in drei Megatrends eine Rolle spielen.<sup>31</sup> Diese Subtrends können ein großes Potential für Produkte aus dem Bereich Photonik darstellen.

Die Betrachtungsweise von Ernest & Young ist Abbildung 6 dargestellt. Ergänzend zu der reinen Trendbetrachtung werden bei Ernest & Young technologische Voraussetzungen genannt, die für die Umsetzung der Trends erforderlich sind (5G-Technologie, Edge Computing, Präzisionssensoren, neue Batteriegenerationen und Quantencomputing). Photonische Produkte spielen bei der Realisierung der technologischen Voraussetzungen eine wichtige Rolle.

	Megatrends mit technischem Bezug								
	Wissens- kultur	Urba- nisi- erung	Konnekti- vität	Neo- Ökologie	Gesund- heit	New Work	Mobility	Silver Society	Sicherheit
<b>Subtrends mit technischem Bezug</b>									
Augmented Reality	x								
Edutainment	x								
Big Data		x	x		x				x
Bike-Boom		x			x		x		
Healing Architecture		x			x				
Smart Citys		x	x						x
3D Printing			x						
Augmented Learning			x						
Autonomes Fahren			x				x		x
Digital Health			x		x			x	x
Internet of things			x			x			x
Künstliche Intelligenz			x						
Predictive Analytic			x						
Seamless Mobility			x				x		
Self tracking			x		x				x
Smart Devices			x						
E-Mobility				x			x		
Green Tech				x					
Mikromobilität							x		
Universal Design								x	
Trust Technology									x

Tab. 1: Mega- und Subtrends mit technischem Bezug (Quelle: zukunftsInstitut)

<sup>31</sup> zukunftsInstitut

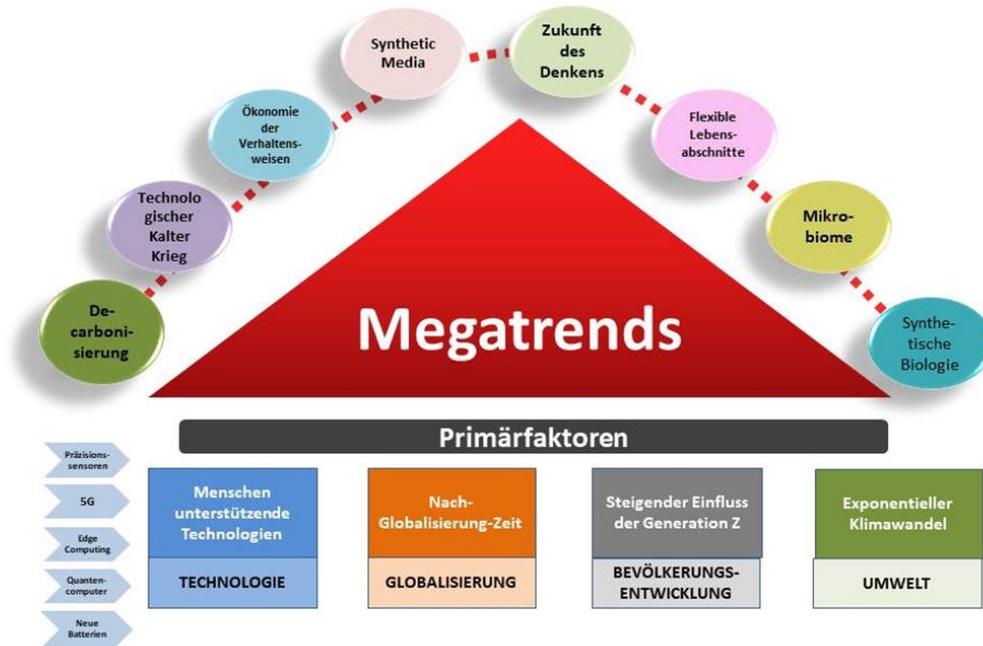


Abb. 5: Primärfaktoren und Megatrends nach Ernest & Young 2020

#### 4. Schlussfolgerungen der Trendanalyse

Wenn man aus den in den unterschiedlichen Quelle benannten gesellschaftlichen Herausforderungen und Trends konsolidiert, ergeben sich drei weitgehend übereinstimmend benannte Themenkomplexe, wobei deren Reihenfolge in der Nennung keine Wertung bedeutet:

- Green Economy
- Intelligenter, umweltfreundlicher Verkehr in der Zukunftsstadt
- Demographischer Wandel / Gesundheit

Diesen Trends können eine Reihe von Untertrends zugeordnet werden, in denen Photonische Technologien eine Anwendung finden können (in Abb. 6 rot dargestellt).



Abb. 6: Schnittmengen Gesellschaftliche Herausforderungen/Mega- und Subtrends. Rot dargestellt sind die Themenkomplexe, bei denen Photonische Technologien Anwendung finden können.

## 5. Marktprognosen

Die ermittelten Trends werden durch die nachfolgenden Marktprognosen näher beleuchtet.

Um das kurz- bis mittelfristige Wachstumspotential für Photonische Technologien beurteilen zu können, wurden verschiedenen Marktstudien u.a. von der SPIE, YOLE Développement und Technavio (im Auftrag von EPIC – European Photonics Industry Consortium) herangezogen. Das Wachstum für den weltweiten Absatzmarkt photonischer Komponenten und „photonic enabled“ Produkten wird bis 2025 positiv bewertet. Wobei zu beachten ist, dass die Auswirkungen der Coronakrise in den Marktstudien noch keine Berücksichtigung fand.

Beispielhaft seien hier die Prognosen für 3D Sensoren, Kameramodule und Scanner im industriellen Bereich als photonische Systeme sowie Fahrassistenzsysteme (ADAS Advanced Drivers Assistant Systems), Head-up-Displays (HUDs), Medizinische Sensoren, kommerzielle Drohnen und Industrielle Automatisierung als Anwendungsgebiete angeführt.

Abgegrenzt von den HUDs, die hauptsächlich in Fahr- und Flugzeugen zu finden sind, sind Head-Mounted Displays (HMD) zu sehen, visuelle Ausgabegeräte, die der Nutzer direkt vor den Augen trägt und die somit einen mobilen Einsatz erlauben. Diese Marktsegmente spielen eine wichtige Rolle in den unter 4. identifizierten Themenkomplexen.

Die Analysen beziehen sich dabei zwar nicht ausschließlich auf den allein mit photonischen Komponenten erzielten Umsatz, lassen aber einen Rückschluss auf die Entwicklung des Marktes zu und damit auch auf das Potential für die Photonikbranche.

## Photonische Produkte in den relevanten Mega- und Subtrends:

	Green Economy	Zukunftsstadt	Demographischer Wandel
Kameramodule			
3D Sensoren			
Machine Vision			
ADAS/HUD			
Industrial Automation			
Kommerzielle Drohnen			
Medizinische Sensorik			
Head Mounted Displays			

Abb. 7: Photonische Produkte in den relevanten Mega- und Subtrends

- **3D Sensoren** finden hauptsächlich (>60%) Einsatz im Bereich Consumer Electronic (Smartphones, Tablets, AR/VR Geräte) gefolgt vom Bereich Automotive und industrieller Automatisierung (autonome Roboter, intelligente Werkzeuge, etc.). Laut Prognose wird sich der Umsatz bei 3D Sensoren bis 2024 mit 20,4 Mrd.\$ gegenüber 2019 nahezu vervierfachen.
- Auch bei den **Kameramodulen** stellen Smartphones mit 82% der verbauten Einheiten im Jahr 2018 den größten Anteil dar, gefolgt von mobilen Endgeräten (Tablets, Laptops) mit 13% und Consumer Electronic (AR/VR Headsets, Action Cams, Smartwatches, etc.). Bis zum Jahr 2024 wird mit einem Zuwachs der jährlichen Produktion auf 8 Mrd. Stück gerechnet und einem Umsatz von 45,7 Mrd. \$.
- **Machine Vision Systeme** sind relevant für die Umsetzung einer automatisierten und effizienten Produktion. Linien-, Flächen und 3D-Scanner dienen der Qualitätskontrolle, der Steigerung der Produktionseffizienz und ermöglichen die Steuerung automatisierter Produktionsroboter.

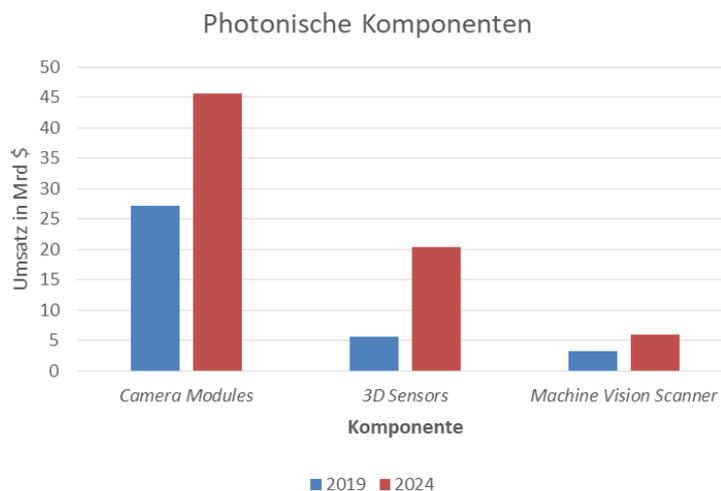


Abb. 8: Umsatzprognose für ausgewählte photonische Komponenten im Jahr 2024

- **ADAS** sind unerlässlich für die Entwicklung hin zu selbstfahrenden Autos und vernetzter Mobilität. Dazu zählen unter anderem Notbremsassistenten, Parkassistenzsysteme, adaptive Scheinwerfer, Fußgängerschutzsysteme, Nachtsichtkameras, etc. Mit einem prognostizierten Marktvolumen von 82,9 Mrd.\$ für ADAS, die auf photonischen Technologien basieren, ist hier einer der größten Märkte für Photonikerhersteller.
- Als eigene Gruppe sind **HUDs** aufgeführt, die sowohl im individuellen Privatverkehr als auch im kommerziellen Verkehr (u.a. Flug- und Schienenverkehr) Einsatz finden. Nicht berücksichtigt wird hier die Entwicklung der militärischen Anwendungen.
- **Head-Mounted-Displays** im Allgemeinen gewinnen u.a. immer weiter an Bedeutung im medizinischen Bereich (z.B. bei Operationen) oder der industriellen Anwendung (z.B. bei Wartung oder Schulungen).
- **Automatisierung** im industriellen Bereich benötigt neben leistungsfähigen IT-Systemen insbesondere umfangreiche **Sensorik**, um Steuerung und Überwachung zu ermöglichen. Aus den allgemeinen Marktdaten lässt sich nur schwer der genaue Anteil bestimmen, der explizit den photonischen Komponenten und Systemen zuzurechnen ist. Allerdings lässt der moderate aber beständige Anstieg des Marktvolumens auf 52,8 Mrd.\$ im Jahr 2024 weiteres Wachstum erwarten.
- Immer weitere Anwendungsfelder entwickeln sich für den Einsatz **kommerzieller Drohnen**. Hier bieten sich zahlreiche Einsatzgebiete z.B. in der Überwachung von Infrastrukturen und Werksanlagen, der Landwirtschaft, im Katastrophenschutz, für Unterhaltungsmedien und den Umweltschutz. Auch wenn der geschätzte weltweite Umsatz für 2024 mit 25,9 Mrd.\$ geringer als in anderen Bereichen ist das prognostizierte Wachstum mit einer CAGR von 36,4% (2019-2024) mit am höchsten.
- Photonische Sensorik in **Medizintechnik und Diagnostik** nimmt immer mehr an Bedeutung zu. Dabei entwickeln sich die Bereiche Krankenhäuser, Arztpraxen und die häusliche Pflege zu wichtigen Märkten. Insbesondere fallen in diesen Bereiche Geräte zur Überwachung von Vitalfunktionen und Bildgebung mit einem vorhergesagten Marktvolumen von 17,8 Mrd.\$ im Jahr 2023. Ein weiterer Bereich, der sich in der Prognose noch nicht wiederfindet sind Point of Care Anwendungen und biophotonische Verfahren in der Diagnostik.

Auch die **Digitalisierung im Gesundheitswesen**, "Digital Health", ist ein großer Wachstumsmarkt. Laut der Roland-Berger-Studie "Future of Health" wird in Deutschland diese Sparte auf 38 Mrd. Euro wachsen. Bis 2025 wird das Marktvolumen für digitale Produkte und Dienstleistungen EU weit bei etwa 155 Mrd. Euro liegen, wobei allerdings USA und China derzeit führend auf diesem Gebiet sind.<sup>32</sup>

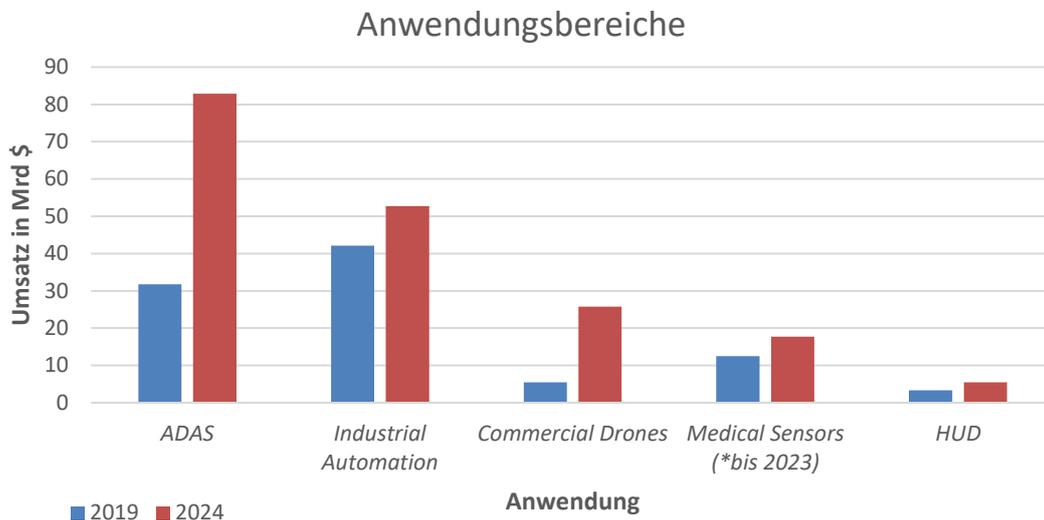


Abb. 9: Umsatzprognose für Anwendungsgebiete, in denen photonisch Komponenten eingesetzt werden für das Jahr 2024.

Eine immer wichtigere Rolle für Marktprognosen spielt auch die **Nachhaltigkeit und Klimafreundlichkeit** der eingesetzten Technologien. Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz müssen zukünftig deutlich stärker als bisher in Einklang gebracht werden, um den Klimawandel entgegenzuwirken und Ressourcen zu schonen. Ein Ziel, das von Politik und Gesellschaft gefördert wird.

Photonik kann und wird hierbei einen deutlichen Beitrag leisten. So liegt laut einer Studie des Fachverbands SPECTARIS das indirekte Klimaschutzpotential durch die Nutzung bisher noch nicht vollumfänglich eingesetzter Photonischer Produkte bei 2,9 Mio. t für ausgewählte Beispiele u.a. in der Photovoltaik, Kommunikation und Beleuchtung.<sup>33</sup>

<sup>32</sup> Future of Health, Roland Berger

<sup>33</sup> „Licht als Schlüssel zur globalen Nachhaltigkeit“, SPECTARIS, Messe München, 2019

## 6. Photonische Trends: Anwendungen, Innovationspotentiale und Herausforderungen

Zu den in Abschnitt 4. identifizierten Schnittmengen aus gesellschaftlichen Trends und Megatrends wurden Experten interviewt mit dem Ziel, die Relevanz für die Photonikindustrie zu überprüfen und möglichst konkrete Innovationsansätze abzuleiten. Die Experteninterviews lieferten dabei wichtige Innovationsthemen für die Zukunft. Ergänzt wurden die Interviews durch eigene Recherchen.

Die Themenkomplexe wurden auf Innovationspotentiale sowie mögliche Einschränkungen bzw. Herausforderungen untersucht und abschließend als Markt für innovative Photonische Produkte bewertet.

Folgende Themenkomplexe, die sich teilweise überschneidend in „Green Economy“, „Zukunftsstadt“ und „Demographischer Wandel/Gesundheit“ wiederfinden (siehe Abb. 6) wurden in der genannten Weise betrachtet:

- Silver Society
- Digital Health
- Self Tracking
- Synthetische Biologie
- Greentech
- Decarbonisierung
- Konnektivität
- Mobilität
- Smart City

### 6.1. Silver Society

- Interviewpartner:  
*Dr. Marc Bovenschulte, VDI/VDE*  
*Dr. Thomas Dietrich, IVAM*
- Eigene Recherche



Bildquelle: Adobe Stock

#### 6.1.1. Autonomes oder unterstütztes, teilautonomes Fahren

Fahrerassistenzsysteme, die es Senioren ermöglichen, trotz körperlicher Einschränkungen weiter mobil zu bleiben, haben ein großes Marktpotential. Hierzu sind Weiterentwicklungen in der Sensorik erforderlich (z.B. LIDAR), Kamerasysteme zur Innen- und Außenüberwachung, gut ablesbare, intelligente, leicht bedienbare, blendfreie Bediendisplays oder Headup Displays, um beispielsweise die Orientierung zu erleichtern und externe Gefahrenquellen sowie gefährdete Personen rechtzeitig und sicher zu erkennen. Durch eine intelligente

Innenraumüberwachung kann die Fahrtüchtigkeit der Passagiere im Auto kontrolliert werden und autonom sicherheitsrelevante Maßnahmen eingeleitet werden.

### **Innovationspotential**

Der aktuelle Stand der Technik ermöglicht ein teilautonomes Fahren, d.h. die Fahrumgebung wird vom Fahrer wahrgenommen und bewertet. Noch ist die volle Aufmerksamkeit und Reaktionsfähigkeit des Fahrers erforderlich. **Hochpräzise Sensoren** sind erforderlich, um eine smarte, „responsive“ Umgebung zu schaffen. Dazu muss präzise eine große Datenmenge erfasst werden, die zu einer digitalen Infrastruktur zusammengesetzt werden kann. Dies gilt auch für die Verarbeitung der Sensordaten aus **Kamerasystemen, Ultraschall-, Laser- und LiDAR-Systemen** (Umfeldererkennung). Hierzu müssen große Datenmengen in Echtzeit verarbeitet werden. Die Weiterentwicklung der **Quantentechnologie** kann hier unterstützen (z.B. durch Quantencomputer), ebenso die **5G Technologie**, die eine schnelle Übertragung großer Datenmengen ermöglicht.

### **Einschränkungen/Herausforderungen**

Auch wenn Fahrzeuge zukünftig deutlich seniorengerechter gestaltet werden können, bleibt die Frage der „**Mikromobilität**“, also beispielsweise die Wege von der Wohnung zum Auto und zurück, vom Auto in den Supermarkt, zum Arzt etc. Die Mobilität der Senioren wird sich möglicherweise trotz des autonomen oder teilautonomen Fahrens nicht signifikant erhöhen, wohl aber die Sicherheit im Straßenverkehr.

### **6.1.2. Gesundheitssektor**

- **Diagnose:** Durch optischen Technologien kann die Diagnose von Infektionskrankheiten deutlich beschleunigt werden, beispielsweise durch XUV-Mikroskopie, neue Methoden der Massenspektroskopie wie Super-resolution Raman Spektroskopie. Raman Spektroskopie verbessert u.a. auch die Möglichkeiten der bildgebenden Tumordiagnostik. Die Weiterentwicklung der innovativen optischen Kohärenztomographie kann eine Vielzahl medizinischer Anwendungen verbessern wie beispielsweise die Oberflächendarstellung (z.B. in der Dermatologie, Zahnheilkunde, Augenheilkunde), die endoskopische Bildgebung, aber auch in vitro Anwendungen wie die Point of Care Diagnostik.
- **Monitoring:** Durch optische Sensoren, die am Körper getragen werden und die vom Patienten und Arzt jederzeit abrufbare Vitalwerte zur Verfügung stellen, könnte eine kontinuierliche Fernüberwachung von Patienten möglich werden und durch ein ergänzend in der Arztpraxis angeschlossenes „Warnsystem“ eine sofortige Reaktion erfolgen. Die Datenübermittlung von Optischen Sensoren direkt an Arzt stellt ein datenschutzrechtliches Problem dar. Dieses könnte technisch beispielsweise durch eine Signalprozessierung auf dem Chip (Privacy by design) gelöst werden. Diese Anwendung spielt auch im Zukunftstrend „Digital Health“ eine große Rolle.

- **Alltag:** Viele Senioren haben Probleme mit dem Tag-Nacht-Rhythmus. Sie schlafen häufig tagsüber, haben nachts hingegen oftmals Durchschlafprobleme. In Pflegeheimen kann dies, zusätzlich den gesundheitlichen Folgen für die Senioren, zu erhöhter Belastung des Pflegepersonals führen. Hier kann **Beleuchtung**, die ein circadianes Licht produziert, den Tag-Nacht Rhythmus unterstützen und auch eine stimmungsaufhellende Wirkung haben.

Verbesserte Kamerasysteme ermöglichen die Innenraumüberwachung der häuslichen Wohnung. Stürze können sofort registriert und gemeldet werden. Exoskelette können Senioren helfen, trotz Kraftminderung durch gesundheitlicher Probleme, ein selbstbestimmtes Leben zu führen, können aber auch Pflegekräfte in Seniorenheimen unterstützen.

### Innovationspotential

*Im „Monitoring“ besteht Innovationspotential bei der Miniaturisierung der photonischen Komponenten und deren Integration in Wearables, beispielsweise Lichtquellen und Detektoren, die nicht zu groß, optimal mit Energie versorgt und gekühlt sind.*

*In der Diagnostik bildet die Weiterentwicklung der Super-resolution Raman Spektroskopie großes Innovationspotential.*

*Innovationen, die zu einer kostengünstigeren Produktion der photonischen Komponenten führen, spielen gerade im Hinblick auf den Sparzwang im Gesundheitswesen eine wichtige Rolle.*

### Einschränkungen/Herausforderungen

*Die generelle Herausforderung bei allen Neuentwicklungen im Bereich der Diagnostik und Medizintechnik ist die **Zulassung der Medizinprodukte** sowie die **Erstattungsfähigkeit** durch die Krankenkassen. Die relevanten Akteure wie Krankenkassen, Pflegekassen, Ärzte und Bundesministerien tauschen sich intensiv dazu aus, trotzdem sind neue, erstattungsfähige Leistungen, die auch den **Datenschutzbestimmungen** entsprechen, nur sehr schwer zu etablieren.*

*Auch die **Akzeptanz durch die Senioren** spielt eine große Rolle. Innenraumüberwachung greift in die Privatsphäre ein und ist damit für viele Senioren nicht akzeptabel.*

### **Bewertung Silver Society als Markt für innovative photonische Produkte:**

*Der Bereich „Autonomes Fahren“ bietet generell große Entwicklungspotentiale und einen großen Absatzmarkt. Innovationen in diesem Bereich müssen aber nicht schwerpunktmäßig auf die Bedürfnisse von Senioren abgestimmt sein, da die Problematik der Mikromobilität eine verstärkte Nutzung von autonomen Fahrzeugen von Senioren unwahrscheinlich macht.*

*Im Gesundheitssektor sind zahlreiche technologische Weiterentwicklungen denkbar. Hier sollten nach Meinung der Experten Innovationen „in der Pipeline“ gehalten werden. Allerdings müssen, bevor signifikante Umsätze erzielt werden können, zunächst das Abrechnungssystem reformiert und datenschutzrechtliche Fragen geklärt werden. Für die Entwicklung von Produkten im Gesundheitssektor, die auf Selbstzahlerbasis im freien Verkauf angeschafft werden können, gilt dies nicht. Hier ist ein großer Absatzmarkt vorhanden.*

## 6.2. Digital Health /Self Tracking

- Interviewpartner:  
*Dr. Cord Schlötelburg*, VDE Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informations-Technik e.V.  
*Ines Manegold*, Digital Health e.V.  
*Erik Jung*, Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration



Bildquelle: Adobe Stock

- Eigene Recherche

Unter Digital Health wird an dieser Stelle eine interdisziplinäre Verbindung von Gesundheit, Gesundheitsfürsorge, Leben und Gesellschaft mit digitalen Medizin- und Gesundheitstechnologien, um die Effizienz der Gesundheitsversorgung zu verbessern und Arzneimittel individueller und wirkungsvoller einsetzen zu können. Dieser Begriff beinhaltet den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien zur Bewältigung der Gesundheitsprobleme von Patienten. Diese Technologien umfassen sowohl Hardware- als auch Softwarelösungen und -dienste, einschließlich Telemedizin, webbasierten Diagnosen, E-Mail, Mobiltelefonie, SMS, tragbaren Geräten und Sensoren zur Fernüberwachung.

Als wichtige Voraussetzung für Innovationen im Bereich „Digital Health“ wird die Vernetzung der gewonnenen Daten, deren Auswertung durch die Nutzung künstlicher Intelligenz und die Vereinheitlichung der Schnittstellen verschiedener Systeme gesehen. Diese Herausforderungen müssen im IT Bereich gelöst werden und werden daher in der Studie nicht vertiefend betrachtet.

- **Robotik:** Als wichtiges Innovationsfeld mit starkem Wachstumsmarkt sehen Experten roboter-assistierte, minimalinvasive Chirurgiesysteme. Roboterassistierte Chirurgie erlaubt minimalinvasive Eingriffe mit hoher Präzision, hochauflösender dreidimensionaler, stabiler Sicht, die vollständige Bewegungsfreiheit im Situs sowie die Filterung des natürlichen Tremors des Operateurs. Innovationspotentiale bieten die Verbesserung der Sensorik der OP-Roboter, die Auswertung der gelieferten Daten durch die Nutzung von Künstlicher Intelligenz, eine Verbesserung der Bildgebung und in der Mess- und Steuertechnik. OP-Roboter müssen auch mit Kamerasystemen ausgestattet werden, die eine Orientierung im Operationssaal ermöglichen, um die Sicherheit des OP-Teams zu gewährleisten. Diese Operationsmethode ist sehr kostenintensiv. In klinischen Studien konnten bislang nur wenige Vorteile dieser Operationsmethode belegt werden. Die Datenlage ist momentan noch „dünn“. Für eine auch nur annäherungsweise Amortisation der Kosten eines chirurgischen Robotersystems müssen möglichst hohe Fallzahlen gewährleistet werden. Unter Berücksichtigung der aktuellen Marktlage könnte es dadurch aber zu unangemessenen, sprich nicht notwendigen Eingriffen kommen.<sup>34</sup>
- Beim **Self Tracking** zeichnen Nutzer mit Hilfe von Sensor-Armbänder (Wearables) oder dem Handy Daten auf, protokollieren so ihre Aktivität und ihre Körperdaten wie beispielsweise Herzfrequenz, EKG, Sauerstoffsättigung und werten diese mit Hilfe von Fitness-Apps und speziellen Tracking Programmen aus. Sie können diese Daten auch dem Arzt für eine Diagnosestellung zur Verfügung stellen.

<sup>34</sup> Dtsch Arztebl 2019; 116(26): A-1278 / B-1053 / C-1041

Self Tracking ist ein Element von „Digital Health“, mit dem besonderen Schwerpunkt der Selbstnutzung und Auswertung von Körperdaten. Da es für Innovationen, die photonische Technologien beinhalten, keine Rolle spielt, wer Daten nutzt, werden hier beide Themenkomplexe gemeinsam betrachtet.

- **Telemedizin:** In der Telemedizin, also der Diagnostik und Therapie unter Überbrückung einer räumlichen und oder zeitlichen Distanz zwischen Arzt und Patient, spielt Self tracking eine große Rolle. Verschiedene Vitalparameter werden vom Wearable (z.B. Funktionsarmband) erfasst und können entweder direkt über eine App ausgewertet und/oder dem Arzt zur Diagnosestellung übermittelt werden. Beispiele hierfür sind:
  - Diagnostik in der Dermatologie: Die Handykamera kann genutzt werden, um auffällige Hautveränderungen im Bild festzuhalten. Entweder wertet eine App diese direkt aus und informiert den Patienten, ob ein Arztbesuch erforderlich ist oder die Daten werden an eine Arztpraxis übermittelt und ein dort installiertes Bildverarbeitungsprogramm unterstützt den Arzt bei der Diagnose. Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz bei der Datenauswertung und dem Abgleich mit vorhandenen Daten zur Verifizierung der Diagnose ist hier denkbar.
  - Auch Hyperspektralanalysen durch Wearables zur frühzeitigen Identifizierung von Hautveränderungen wie Akne oder Kollagenverteilungsstörungen sind ein mögliches Anwendungsfeld photonischer Technologien.
  - Überwachung des Blutglukosewerts bei Diabetikern durch Wearables: Dieses noch nicht etablierte Verfahren bietet ein Innovationsfeld für photonische Technologien. Um Blutglukosewerte durch Wearables zu analysieren, müssen spezielle Quantenkaskadenlaser entwickelt werden, die durch photonische Integrationsverfahren miniaturisiert in Wearables integriert werden können.
  - EEG: Durch Wearables in Form von Kopfbändern ist es möglich, EEGs zu schreiben. Durch Nahfeldinfrarotspektroskopie können Abläufe in der Hirnrinde erfasst werden und damit beispielsweise die Konzentrationsfähigkeit analysiert werden. Einsetzbar ist diese Technik z.B. für die Früherkennung von Demenz, aber auch für deren Therapie. Durch unmittelbares Feedback des Wearables ist es für die Patienten möglich bei Konzentrationsübungen einen direkten Einfluss auf das Gehirn feststellen und so am Erfolg zu lernen. Stoffwechselumsatz und Energieumsatz in den Hirnregionen können ebenfalls durch die Wearables ermittelt werden und bei Abweichungen von Normwerten kann eine Therapie eingeleitet werden.
  - Stoffwechselprobleme: Mit Hilfe von Handys könnten durch Thermographie/Infrarotbildgebung Stoffwechselprobleme detektiert und dem Arzt übermittelt werden, denn Stoffwechselprobleme können zu einer „Temperatursignatur“ auf der Haut führen. Dieses bildgebende Verfahren ist kontaktlos und nicht-invasiv.

### Innovationspotential

Grundsätzlich lassen sich viele bereits in der Medizin etablierte Diagnoseverfahren für Wearables adaptieren. Technologische Voraussetzung sind **Miniaturisierung der photonischen Komponenten** und deren **Integration** in die Wearables.

Entwicklungsbedarf besteht u.a. bei der Komponentenherstellung. So gibt es beispielsweise bereits ein großes Angebot an Infrarotdioden im kurzwelligen Nahinfrarotbereich, nicht dagegen im langwelligen Infrarotbereich, der für die Infrarotbildgebung erforderlich ist.

Die zurzeit erhältlichen Dioden sind teuer und zu groß für die Integration in Handys. Innovationspotential bieten daher **bezahlbare Lichtquellen und Detektoren**, die nicht zu groß, optimal mit Energie versorgt und gekühlt sind. Eine Zusammenarbeit von Optikdesignern, Komponentenherstellern, Integratoren entlang der Wertschöpfungskette und das elektronische Design sind erforderlich, um Innovationen im Bereich Selftracking zu ermöglichen.

### Einschränkungen/Herausforderungen

Es gelten hier die gleichen Einschränkungen wie bereits im Gesundheitssektor unter 6.1.2. genannt: die **Kostenstruktur** und die **Erstattungsfähigkeit durch Krankenkassen** bremsen die Marktchancen genauso wie ungeklärte Fragen des **Datenschutzes**. Besonders bei kostenintensiven Operationsverfahren oder Diagnostik werden Kosten und Nutzen (Vorteile) gegeneinander abgewogen und darum bietet nicht alles, was technisch machbar und wünschenswert ist, auch Marktpotential. Die **Regulierung** ist eine große Hürde bei der Markteinführung. Die Coronapandemie, die zu hohen Kosten im Gesundheitswesen führt, verringert das Budget der Krankenkassen für technisch innovative Produkte zusätzlich.

### Bewertung Digital Health als Markt für innovative photonische Produkte:

In der 2018 von der Unternehmensberatung Roland Berger im Auftrag des Fachverbands SPECTARIS und der Messe Düsseldorf erstellten Studie „Gesundheit 4.0“ wurden mehr als 200 Medizintechnikunternehmen befragt. Die Studie zeigte, dass weniger als 30 Prozent der Medizintechnikunternehmen und Krankenhäuser mehr als 2,5 Prozent ihres Umsatzes in Digitalisierungsprojekte investieren. Zwei Drittel der Teilnehmer stufen die Gesundheitswirtschaft als gering digitalisiert ein und 98 Prozent der befragten Medizintechnikunternehmen wünschen sich mehr Unterstützung von der Politik. Die Unternehmensberatung leitete aus der Studie verschiedene Handlungsempfehlungen ab wie beispielsweise Vereinfachung der Zulassungsprozesse für neue digitale Produkte, Entwicklung schneller und transparenter Prozesse der Kostenerstattung digitaler Produkte und Schaffung eines einheitlichen Datenschutzstandards.

Wearables mit ihren zahlreichen Anwendungspotentialen werden zukünftig eine immer größere Rolle spielen, da die Anschaffung im Privatbereich erfolgt und in einer zunehmend gesundheitsbewussten Gesellschaft für diese Investition Geld ausgegeben wird. D.h. Innovationen in der Miniaturisierung und Photonischen Komponentenintegration bieten ein großes Marktpotential.

Dennoch ist die Schnittstelle zum Arzt ein kritischer Punkt – sowohl, was die Sicherheit der Datenübertragung und den Datenschutz betrifft als auch bezüglich der erforderlichen Kooperation des Arztes. Den Ärzten müssen Abrechnungsmöglichkeiten für Diagnosen und Therapien mit Wearables/Handys zur Verfügung stehen, um ihre Kooperation und Motivation, weitere in der Praxis etablierte Diagnoseverfahren auf Wearables zu adaptieren, zu erhöhen.

### 6.3. Synthetische Biologie

Quelle: Eigenrecherche



Bildquelle: Adobe Stock

Unter synthetischer Biologie wird hier die Nutzung gentechnischer Methoden verstanden, um maßgeschneiderte Veränderungen in der DNA oder RNA von Organismen vorzunehmen und so kontrolliert neuartige biologische Systeme zu schaffen. Sie schafft die Voraussetzungen für die effiziente Herstellung von Produkten, die für die Gesellschaft nützlich sind – etwa neuartige therapeutische Substanzen oder Treibstoff. Aktuelles Beispiel eines Produktes der synthetischen Biologie sind die m-RNA Impfstoffe, die zur Bekämpfung der Corona Pandemie zum Einsatz kommen werden.

Photonische Technologien kommen beispielsweise in der Laborausstattung zum Einsatz, die für die synthetische Biologie erforderlich ist. Thermocycler werden benötigt, um die DNA Menge durch die Polymerase Chain Reaction (PCR) zu vergrößern. Um die Menge der so hergestellten DNA zusätzlich zu quantifizieren, wird die sogenannte Real Time PCR durchgeführt. Diese speziellen Thermocycler sind mit optischen Systemen zur Fluoreszenzanregung und Fluoreszenzmessung ausgestattet, die eine Quantifizierung ermöglichen. Diese Verfahren werden in aktuellen Corona Diagnostik eingesetzt (PCR Tests), sie sind aber auch erforderlich, um die einzelnen Schritte bei der Herstellung der m-RNA Impfstoffe zu kontrollieren.

Um die Geschwindigkeit der Untersuchungen und der Durchführung der Tests zu erhöhen, müssen eine Vielzahl von Reaktionsgefäßen/Tests in hoher Geschwindigkeit abgearbeitet werden. Hierzu sind häufig in großen Laboren vollautomatisierte Geräte im Einsatz. Sie gewährleisten eine reproduzierbare hohe Qualität, schnelle Ergebnisse, reduzieren Kosten und erhöhen die Sicherheit.

#### **Innovationspotential**

*Im Bereich der PCR-Thermocycler haben Verbesserungen der Fluoreszenzanregung und Fluoreszenzmessung Innovationspotential. Sie können zu einer leistungsfähigeren neuen Gerätegeneration führen.*

*Innovationen im Bereich der Sensorik treiben die Automatisierung voran.*

#### **Einschränkungen/Herausforderungen**

*Das langfristige Potential dieses Marktes jenseits der COVID-19- Pandemie ist noch offen.*

*Der Markt befindet sich im stark regulierten Umfeld der Medizinprodukte.*

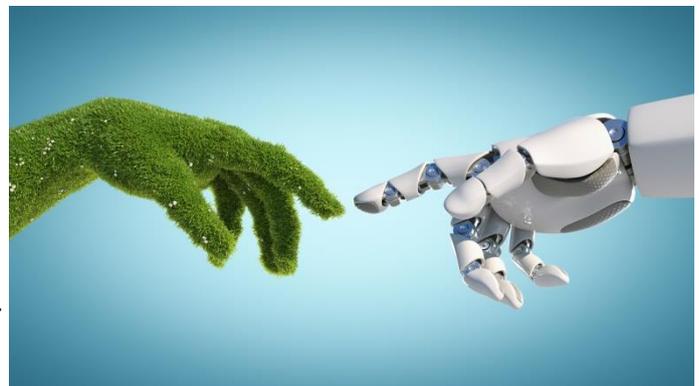
**Bewertung Synthetische Biologie als Markt für innovative photonische Produkte:**

*Durch die Coronapandemie, die Test auf molekulabiologischer Ebene erforderlich macht, die m-RNA Impfstoffentwicklung und dessen Produktion hat die Synthetische Biologie stark an Aufmerksamkeit und Marktpotential gewonnen.*

*Aber auch hier befindet sich der Markt im Umfeld des stark regulierten Bereichs der Medizinprodukte. Damit verbunden sind die bereits dargelegten Markteintrittsschwierigkeiten für neue oder veränderte Produkte, so dass **für die Photonischen Technologien unter den gegebenen Bedingungen kein großes Marktpotential für Innovationen festgestellt werden kann.***

**6.4. Greentech/Decarbonisierung**

- Interviewpartner:  
Dr. Harald Pielartzik, Verband der Chemischen Industrie e.V.  
Prof. Dr.-Ing. Matthias Vette-Steinkamp, AG für umweltgerechte Produktions-Verfahren und industrielle Robotik, Umweltcampus Birkenfeld, Hochschule Trier



Bildquelle: Adobe Stock

- Eigene Recherche

Decarbonisierung bezeichnet die Umstellung der Wirtschaftsweise, speziell der Energiewirtschaft, in Richtung eines niedrigeren Umsatzes von fossilem Kohlenstoff. Das theoretische Ziel ist auf Dauer die Schaffung einer kohlenstofffreien Wirtschaft. Die Decarbonisierung ist ein Bestandteil der Green Technology (Greentech). Daher werden beide Zukunftstrends gemeinsam betrachtet. Die Analysen ergaben verschiedene Anwendungsfelder bzw. -bereich, bei denen photonische Technologien zur Anwendung kommen.

**Urban Mining/Recycling**

- Kunststoffkreislaufwirtschaft: Kunststoffe sind langlebig und biologisch schwer abbaubar. In der Technik werden überwiegend Thermoplaste als Polymere eingesetzt, insbesondere bei kurzlebig verwendeten Materialien. Thermoplaste lassen sich durch Schmelzen und Formen verarbeiten und eignen sich für das effiziente Spritzgießverfahren. Ein erneutes Schmelzen und Formen von gebrauchtem Material wäre ein attraktiver Weg für eine Wiederverwertung. Beim Aufschmelzen und Mischen verschiedener Kunststoffe während des Recyclings entstehen jedoch Materialien von minderer Qualität. Daher ist das Sortieren von Alt-Kunststoffen erforderlich, wobei das Erkennen der unterschiedlichen Materialien der erste und entscheidende Schritt für hochwertiges Recycling-Material ist. Optische Methoden wie Fluoreszenzspektroskopie oder Nahinfrarotspektroskopie sind wegen ihrer hohen Geschwindigkeit und unproblematischen Handhabung attraktiv und bereits im Einsatz. Verbesserungen dieser

Verfahren, besonders deren Digitalisierung (mit der erforderlichen Entwicklung der optischen Sensorik), bieten ein großes Potential für die Photonikindustrie.<sup>35</sup> Diese Verfahren lassen sich auch für die Sortierung von Metallen einsetzen.

- Innovative Technik ist für die Separierung von schwarzem Kunststoff erforderlich, der über das dargestellte Verfahren nur unter Schwierigkeiten und nicht wirtschaftlich zu trennen ist. Genau diese Klasse von Kunststoffen wird jedoch in Zukunft eine immer größere Rolle spielen, da insbesondere bei der Wiederverwertung von Automobilen das Recycling schwarzer Kunststoffe ein Schlüsselfaktor für die Einhaltung der vereinbarten EU-Grenzwerte darstellt. Aktuell ist ein Verfahren in der Entwicklung, das hierzu die Terahertz-Technologie nutzt und von dem eine wirtschaftliche Sortierung schwarzer Kunststoffe im industriellen Maßstab zu erwarten ist.<sup>36</sup>
- Recycling von Elektronikschrott: Alte Mobiltelefone und Leiterplatten können beispielsweise mit laserbasierten Verfahren recycelt werden. In diesen Verfahren werden sie gezielt demontiert und in ihre einzelnen Bestandteile zerlegt und so wertvolle Rohstoffe für die Wiederverwertung in neuer Elektronik gewonnen werden wie Tantal aus Kondensatoren. Das restliche Material wird anschließend den bewährten metallurgischen Prozessen zugeführt. In der Demontageanlage agieren Lasertechnik, Robotik, Visionsysteme und Informationstechnologie in intelligenter Weise zusammen. Eine wichtige Rolle spielen bei diesem Konzept Laserverfahren, die unter anderem Inhaltsstoffe in elektronischen Bauteilen in Echtzeit identifizieren, diese Bauelemente berührungslos entlöten oder ausschneiden. Für das Verfahren spricht, dass sich mit ihm strategisch bedeutsame Wertstoffe mit hoher wirtschaftlicher Bedeutung im industriellen Maßstab effizient recyceln lassen.

### Umweltschutz

- Industrielle Laserreinigung: hierbei wird unerwünschtes Material von einer festen Oberfläche durch Bestrahlen mit einem Laserstrahl abgetragen. Durch die Absorption der Energie des Laserstrahls wird das unerwünschte Material gezielt sehr schnell erhitzt und verdampft rückstandsfrei. Für dieses kostengünstige Verfahren werden keine Reinigungs- oder Lösungsmitteln benötigt.
- Unkrautbekämpfung: Statt durch Herbizide kann Unkraut physikalisch bekämpft werden, indem das Wachstumszentrum der Pflanzen durch Laserstrahlen verödet wird. Auf diese Weise gelangen weniger Herbizide in die Nahrung und ins Grundwasser, Pflanzen entwickeln keine Resistenzen.
- Smart Farming: mit Hilfe der Photonischen Technologien kann die Landwirtschaft effizienter und damit umweltschonender gestaltet werden. Mit optischen Sensoren ausgestattete Drohnen liefern multispektrale Bilder zur Analyse des Pflanzenwachstums. Sowohl Düngemittel als auch Pflanzenschutzmittel können gezielt und dosiert eingesetzt werden. Drohnen können durch Infrarotsensoren auch zur Wilderkennung im Feld beitragen und damit helfen, den Wildbestand zu schützen. Satelliten können durch optische Systeme Felder monitoren und den Landwirten Ernteprognosen liefern.
- Optische Früherkennung von Wald- und Moorbränden auf große Entfernungen durch rotierende Multispektralsensoren.

<sup>35</sup> Wiley Analytical Science

<sup>36</sup> „Black Value – Sortieren schwarzer Kunststoffe im industriellen Maßstab“, Fraunhofer Geschäftsbereich Vision

## CO<sub>2</sub> Reduzierung

- Erneuerbare Energien: Die Photovoltaik als Einsatzgebiet photonischer Technologien bietet ein hohes Innovationspotential auf zahlreichen Ebenen wie beispielsweise der Reinigung großer Photovoltaikoberflächen durch Laser oder Steigerung des Effizienzgrads der Photovoltaikzellen. Windkraftanlagen können mittels optischer 2D- und 3D-Messtechnik überwacht und so Risse in Rotorblättern frühzeitig erkannt werden.
- Energieeffiziente Beleuchtung durch LEDs: Weitere Verbesserungen des Effizienzgrads der LEDs sowie smarte Beleuchtungssysteme zur Nutzungsoptimierung bieten Innovationspotential.
- Senkung des Energiebedarfs in Rechenzentren und bei der Datenübertragung: Der Einsatz von optischer Datenübertragung, die Weiterentwicklung der Silizium-Photonik und der Ausbau der Glasfasernetze senken den Energiebedarf für Rechenzentren und Datenübertragung deutlich und tragen damit zur Decarbonisierung bei.
- Leichtbau: Energiereduzierung ist möglich, wenn neben den herkömmlichen Werkstoffen im Fahrzeug- oder Flugzeugbau Faserverbundwerkstoffe zum Einsatz kommen. Die damit verbundene Gewichtsreduzierung führt zu einer Senkung des Energiebedarfs. Leichtbau spielt eine besonders große Rolle in der Elektromobilität. Die Lasertechnik bietet für die Leichtbautechnik eine Vielzahl technischer Lösungen mit einem hohen Energieeinsparpotenzial und neuen Verfahren für die Reduzierung von Prozesszeiten und die Verkürzung von Prozessketten.
- Weitere CO<sub>2</sub> Einsparungen sind möglich durch die Weiterentwicklung energieeffizienter Displays, optische Kommunikation in 5G Mobilfunknetzen.

(Quelle: „Licht als Schlüssel zur globalen ökologischen Nachhaltigkeit“, *SPECTARIS, Messe München, 2019*)

### **Innovationspotential**

**Prozesssteuerung und Prozesskontrolle** sind wichtige Parameter z.B. beim Recycling, beim Einsatz von Lasern im Leichtbau, in denen optische Sensoren zum Einsatz kommen. Die weitere Digitalisierung und Optimierung der Prozessabläufe stellt u.a. neue Anforderungen an die verwendeten **Sensoren**.

Die Nutzung der **Terahertztechnik** bei der Sortierung schwarzen Kunststoffes bietet ebenfalls ein großes Potential.

Industrielle Laser kommen in vielen der aufgeführten Gebiete zum Einsatz, beispielsweise beim Umweltschutz, erneuerbaren Energien oder Leichtbau.

**Weiterentwicklungen der Laser** sowie die dafür notwendigen Komponenten und Materialien, die beispielsweise die Zerstörschwelle des Materials beeinflussen, der Strahlformung oder Strahldiagnose dienen, sind wichtige Innovationsfelder, ebenso wie **Adaptierung** von vorhandenen Lasersystemen für die genannten Anwendungsbereiche.

### **Einschränkungen/Herausforderungen**

In vielen Firmen, die wenig Berührung zur Photonikbranche haben, existieren große Unsicherheiten bei Nutzung von Lasern. Firmen müssen bei der Verwendung von Lasern einen Laserschutzbeauftragten im Unternehmen vorweisen, der entsprechend ausgebildet und regelmäßig weitergebildet werden muss. Dies schreckt viele Firmen ab. Denkbar wäre beispielsweise Maschinen, die so konstruiert sind, dass die Nutzer gar keinen Kontakt zu den Lasern haben und die Wartung von Experten übernommen wird, so dass ein Laserschutzbeauftragter nicht erforderlich ist.

### **Bewertung Greentech/Decarbonisierung als Markt für innovative photonische Produkte:**

Der gesamte Bereich Greentech/Decarbonisierung bietet für die Branche ein großes Innovations- und Marktpotential. Voraussetzung hierfür ist nach Expertenmeinung eine deutlich verbesserte Kommunikation zwischen der Chemischen Industrie und der Photonikbranche. Die Vernetzung der Branchen, die Adressierung von Herausforderungen in der „richtigen Sprache“ sind Hürden, die zukünftig besser genommen werden müssen, um das gesamte Potential der photonischen Technologien in der Green Technology ausnutzen zu können.

Die genannten Einschränkungen sind weitere Verbesserungsmöglichkeiten, die helfen können, der photonischen Industrie den zukünftig stark wachsenden Markt der Green Technology noch stärker zu erschließen.

## 6.5. Konnektivität

- Interviewpartner:  
*Prof. Dr.-Ing. Christoph Runde,*  
Virtual Dimension Center (VDC)  
*Prof. Dr.-Ing. Verena Nitsch,* Institut für  
Arbeitswissenschaften der RWTH Aachen.
- Eigene Recherche



Bildquelle: Adobe Stock

Die digitale Vernetzung unter Nutzung von Kommunikationstechnologien (Internet of Things IoT) schafft die Voraussetzung für Autonomes Fahren, Augmented Learning, Big Data und nicht zuletzt die Nutzung der Künstlichen Intelligenz (KI). Das zukunftsInstitut bezeichnet den Megatrend „Konnektivität“ als den wirkungsmächtigsten unserer Zeit. Andere Megatrends wie Smart City, Mobilität, Digital Health hängen von den Weiterentwicklungen der Konnektivität ab. Nachfolgend werden solche Anwendungsfelder genannt, bei denen die Nutzung der Photonik eine Voraussetzung für die Funktionalität ist.

- **Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR), Mixed Reality (MR):** In der Virtual Reality nimmt der Nutzer die Realität nicht mehr wahr und erlebt die digitale 3D Welt mit einer VR Brille. Bei Augmented Reality Anwendungen sieht der Nutzer die reale Welt und bekommt zusätzlich Informationen eingeblendet. Dieses kann über ein Smart Phone geschehen, einem Headup Display oder einer AR Brille (z.B. Google Glass). MR verbindet die reale Welt mit virtuellen Umgebungen und lässt so eine neue Umwelt entstehen. Der Nutzer interagiert zeitgleich mit der realen und einer virtuellen Umgebung. Physikalische Objekte der realen Welt haben Einfluss auf digitale Elemente. Die Nutzung dieser Technologie erfordert ein MR-Headset sowie eine besonders hohe Prozessorleistung. Alle drei Technologien finden bereits jetzt Anwendung; in Zukunft ist eine deutlich höhere Nutzung zu erwarten. Anwendungsgebiete sind beispielsweise die Spieleindustrie, OP-Technik, Produktpräsentationen, Immobilienbesichtigung oder die industrielle Wartung von Maschinen (Smart Maintenance). Durch die Nutzung dieser Technologien können räumliche Distanzen überwunden werden: beispielsweise wäre bei der Maschinenwartung keine Anwesenheit eines Experten vor Ort erforderlich, wenn eine Datenbrille die Informationen vom Maschinenstandort an Experten an anderen Orten überträgt und diese wiederum weniger qualifizierten Mitarbeitern vor Ort die notwendigen Arbeitsschritte direkt in die Brille einblenden können. Auch die Konstruktion von Maschine oder Häusern kann über große räumliche Entfernungen mit verschiedenen Experten gemeinsam erfolgen. Denkbar ist auch ein Einsatz im Bildungsumfeld z.B. in virtuellen Klassenzimmern.
- **Mensch-Maschine Interaktion:** das industrielle Arbeitsumfeld kann durch Vernetzung von Maschinen und Sensoren sicherer und benutzerfreundlicher gestaltet werden. Beispielsweise kann die Bedienung von Maschinen durch Gestensteuerung vereinfacht werden oder die Bereichsüberwachung bei Robotereinsatz durch Kameras und Sensoren, die bei gefährlichen Situationen zu einer Abschaltung führen, verbessert werden. Kameras können das Arbeitsumfeld überwachen, durch Gesichtserkennung die Müdigkeit oder die Emotionen der Mitarbeiter erkennen und die Geschwindigkeit der Produktion (z.B. Fließbänder) anpassen.

- Autonomes Fahren ist ein großes Einsatzgebiet der Vernetzung verschiedener Kommunikationsmittel und wird im Bereich Mobilität (siehe Kapitel 6.6) gesondert betrachtet.
- Smart City ist ebenfalls ein eigenes Gebiet, in dem die Vernetzung eine zentrale Rolle spielt. (siehe Kapitel 6.7).

### Innovationspotential

Im Bereich AR, VR und MR gibt es ein hohes Innovationspotential, da die Nutzung zwar immer weiter zunimmt, aber viele Innovationen erforderlich sind, bis ein großer Markt entsteht. Viele Herausforderungen können durch photonische Technologien gelöst werden. Beispielsweise werden eine **höhere Auflösung und ein höherer Kontrast in den Datenbrillen** (Head Mounted Displays) benötigt. Dazu müssen leistungsstärkere OLEDs oder AMOLEDs entwickelt werden, die zu einer Verkleinerung und Gewichtsreduktion der Brillen führen würden. Wünschenswert wäre auch eine Projektion der virtuellen Realität, die statt wie bisher nur für einen Datenbrillenträger erfolgt, für mehrere Nutzer erfolgen würde, die alle die gleiche virtuelle Umgebung in ihren Datenbrillen sehen können. Diese sogenannte **Multiuser-Projektion** erfordert die Entwicklung einer Sensorik, die ein Headtracking ermöglicht, so dass das System erkennt, wenn ein Nutzer den Kopf bewegt oder seine Position im Raum verändert, ohne die Projektion für die anderen Nutzer zu beeinträchtigen. Smart Glasses, die in AR Anwendungen Verwendung finden, können durch holographische Folien, die für mehr Tiefe und den Eindruck von **Dreidimensionalität** sorgen, verbessert werden. Für weitere Verbesserungen spielen die 5G Datenübertragung und die Glasfasernutzung eine große Rolle. Bessere Bilder in hoher Auflösung führen zu einer deutlichen Erhöhung der Datenmenge. Diese kann nicht mehr in den Brillen selbst verarbeitet werden, da das Gewicht der Brillen dann weiter zunehmen würde, sondern kann durch **Cloud Computern** extern verwaltet werden. Der Einsatz von KI kann die Daten vorfiltern und deren Verarbeitung verbessern. Im Bereich der Mensch-Maschine Interaktion bieten **bessere Kamera- und Sensorsysteme** Innovationspotential.

### Einschränkungen/Herausforderungen

Die **Akzeptanz** der Nutzer für AR/VR Anwendungen im industriellen Umfeld ist noch nicht sehr ausgeprägt. Google Glasses war beispielsweise trotz innovativer Technologie kein Markterfolg. Häufig fehlen auch **nachgeschaltete Geschäftsmodelle**, die neben dem Verkauf der „Hardware“ Folgedienstleistungen beinhalten. Ein weiterer Aspekt ist die Handhabung der anfallenden, sehr großen Datenmengen (Big Data). Die Geschwindigkeit der Datenübermittlung und Datenverarbeitung muss deutlich zunehmen, wenn die Zahl der Nutzer ansteigt. Ebenfalls ein herausforderndes Thema bei der Mensch-Maschine Interaktion ist der **Datenschutz**.

**Bewertung Konnektivität als Markt für innovative photonische Produkte:**

Wenn man den Bereich der Konnektivität in allen Anwendungen (VR,AR, Mensch-Maschine Interaktion, Smart City, Mobilität etc) betrachtet, ist der Markt für die neue Produkte, die optische Komponenten enthalten, sehr groß. Photonik ist beispielsweise sowohl in den Displays von Datenbrillen, in Headup Displays von Fahrzeugen, Optische Sensoren, Projektoren oder LED Monitore für AR und VR Darstellungen, Kameras für die Umfeldüberwachung enthalten.

Trotz dieser sehr guten Zukunftsperspektive gibt es auch in diesem Bereich Herausforderungen, die gelöst werden müssen, damit das Marktvolumen deutlich zunehmen kann. Neben der noch nicht ausreichenden Akzeptanz der potentiellen Nutzer für AR/VR Anwendungen im industriellen Umfeld fehlen häufig auch nachgeschaltete Geschäftsmodelle.

Für die deutsche Wirtschaft ist es darüber hinaus wichtig, dass eine Standardisierung im Bereich AR/VR erfolgt. Dies würde die Marktchancen deutscher Firmen erhöhen.

Eine deutliche Zunahme der Nutzung der Produkte in diesem Bereich beinhaltet auch eine deutliche Zunahme der anfallenden Datenmengen.

Die Geschwindigkeit der Datenübermittlung und Datenverarbeitung muss deutlich zunehmen, wenn die die Zahl der Nutzer ansteigt. Hilfreich können hier Fortschritte in der Quantentechnologie sein.

Ein weiterer Aspekt bei der Mensch-Maschine Interaktion ist der Datenschutz. Personalisierte Technik, Rückmeldungen von Kameras über den emotionalen Zustand oder die Müdigkeit der Mitarbeiter sind nach aktueller Gesetzeslage datenschutzrechtlich bedenklich. Bevor diese Systeme auf den Markt kommen, müssen die Fragen des Datenschutzes geklärt sein.

Die aktuelle Corona Pandemie kann als Beschleuniger der AR/VR Anwendungen und der Digitalisierung im weiteren Sinne wirken. Reisen sind beim Einsatz von Smart Maintenance nicht erforderlich. Schulunterricht, der zukünftig von zuhause in virtuellen Klassenräumen stattfinden könnte, hätte sicherlich eine deutlich höhere Akzeptanz und Nutzen für die Schüler als die Nutzung von Videokonferenzen. Auch wenn sich diese Anwendungen bis zum Ende der jetzigen Pandemie noch nicht umsetzen lassen, so ist das Wissen um die Auswirkungen einer Pandemie und damit die Sensibilität für Alternativen zu Präsenzveranstaltungen deutlich gewachsen.

## 6.6. Mobilität

- Interviewpartner:  
*Hinrich Weis*, ITS mobility e.V.  
*Steve Schneider*, IST mobility e.V.
- Eigene Recherche



Bildquelle: Adobe Stock

Die beständig wachsende Mobilität, wandelnde Verkehrskonzepte und zunehmende Urbanisierung ermöglichen individuelle Freiheit, aber stellen auch hohe Anforderungen an die Aufmerksamkeit und Reaktionsfähigkeit der Verkehrsteilnehmer. Fortschrittliche Systeme, die den Fahrer dabei unterstützen, sind bereits in der Anwendung. Sie bieten nicht nur zusätzlichen Komfort, sondern leisten einen wesentlichen Beitrag zur Unfallvermeidung. Allerdings stecken manche der Technologien erst in ihren Anfängen oder sind den gestiegenen Anforderungen noch nicht gewachsen. Die Photonik kann wesentliche Beiträge zu innovativen Lösungen leisten.

### Advanced Drivers Assistance Systems (ADAS):

- Visible und Nahinfrarotkameras zur Fahrerbeobachtung: diese messen beispielsweise die Größe des Fahrers oder Erkennen durch Gesichtsbeobachtung beginnende Müdigkeit und fehlend Aufmerksamkeit.
- Kameras zur Umgebungsbeobachtung: Rückfahrkameras erhöhen die Fahrsicherheit, Kameras zur Verkehrschilderkennung unterstützen die Verkehrssicherheit, können tote Winkel erkennen oder andere Fahrzeuge registrieren.
- LiDAR Systeme: 3D-LiDAR-Sensoren liefern Informationen zur Objekterkennung und Kollisionsvermeidung, indem sie durch hunderttausende Abstandmessungen pro Sekunde ein exaktes 3D-Bild der Fahrzeug- oder Prozessumgebung erzeugen. Die Messungen erfolgen ähnlich wie bei der Geschwindigkeitsmessung per Laserpistole mittels unsichtbarem und augensicherem Laserstrahl, der von der Umgebung reflektiert und vom lichtempfindlichen Empfänger des Sensors detektiert wird. Das optische LiDAR-Verfahren ermöglicht eine höhere Orts- und Tiefenauflösung im Vergleich zu Radar-Sensoren, ist schneller und weniger rechenintensiv als Kameratechnik und ergänzt damit das Sehvermögen autonomer Fahrzeuge. Dabei ist das exakte Zusammenspiel von Laser, Optik und Detektor der Sende- und Empfangseinheit eines LiDAR-Sensors auf Basis von Flash-LiDAR, MEMS- oder Polygonspiegel erforderlich.
- Infrarotsensoren: helfen, im Dunkeln Fußgänger oder Wild zu erkennen.
- Adaptive Scheinwerfer: Adaptives Frontlicht beispielsweise passt sich Fahrbahngegebenheiten, Schlechtwettersituation oder Geschwindigkeit an. Adaptives Kurvenlicht passt sich Kurven und Straßegegebenheiten an und sorgt durch schwenkbare Scheinwerfer für eine bessere Sicht bei Nacht auf kurvigen Strecken. Dieses ist mit Sensoren ausgestattet, die ununterbrochen Geschwindigkeit und Lenkeinschlag erfassen. Daraus wird der Kurvenverlauf berechnet und das

Scheinwerferlicht bewegt sich in die entsprechend notwendige Richtung mit der Folge, dass Hindernisse früher erkannt werden und die der Straßenverlauf besser ausgeleuchtet wird.

- Head-Up-Displays (HUD) Diese Systeme projizieren wichtige Fahrdaten sowie Navi-Anweisungen auf die Frontscheibe und damit ins Sichtfeld des Fahrers. So kann der seinen Kopf oben und den Blick auf der Straße halten. Durch die Integration von Augmented Reality können die HUDs in Zukunft immer mehr Informationen liefern.

### **Fahrzeugumgebung**

- Fahrer- oder Gestenerkennung: Das Öffnen des Autos ist möglich durch die Erkennung des Fahrers oder durch bestimmte Gesten.
- Umgebungsbeleuchtung: LEDs, OLEDs oder Laser können eingesetzt werden, um die Umgebung zu beleuchten, beispielsweise beim Aussteigen. Diffraktive Optiken projizieren Logos der Hersteller (Lichtteppich)

### **Fahrzeuginnenraum**

- Verbesserte Displaytechnik: Entwicklung blendfreier Bediendisplays, die berührungslos gesteuert werden können.
- Interior Beleuchtung: LED, OLED, Optische Fasern und diffraktive Elemente können für die Innenraumbeleuchtung verwendet werden.
- Spektroskopie zur Luftüberwachung im Auto (Kohlenmonoxid und -dioxid, Alkohol)

### **Ressourceneffizienz**

Der Bereich Ressourceneffizienz bildet eine Schnittmenge mit dem Megatrend „Decarbonisierung/ Greentech“ und wird hier unter dem Gesichtspunkt der Mobilität betrachtet.

- Flugzeugtechnik: Mobilität bedeutet nicht nur Automobil. Auch im Flugzeugbau finden Photonische Technologien Einsatz. Mit laserbasierten Verfahren wie dem Laserauftragschweißen oder dem Laser Powder Bed Fusion (LPBF) lassen sich hochqualitative Turbomaschinenbauteile ressourcenschonend reparieren, modifizieren oder additiv fertigen.
- Leichtbau: Im automobilen Leichtbau werden zunehmend Faserverbundstoffe eingesetzt, die mit Lasertechnologie zeitsparend gefertigt werden können. Durch die Gewichtsreduktion der Kraftfahrzeuge wird Treibstoff gespart. Der Leichtbau ist auch durch den Einsatz von 3D Druck Verfahren möglich, mit dessen Hilfe sich sehr komplexe Strukturen fertigen lassen. Einsatz findet dieses Verfahren in der Luft- und Raumfahrt und führt zur Senkung des Energieverbrauchs.

### Innovationspotential

*Innovationspotential bietet beispielsweise eine Verbesserung der **Bildverarbeitungssysteme**, so dass diese zuverlässig unter allen Wetterbedingungen von greller Sonne bis zu Regen, Schnee oder Nebel funktionieren. Bildverarbeitungssysteme bestehen aus einer Kombination hochgenauer Bildverarbeitungs- und Sensorfusions-technologie sowie aus leistungsstarker, für die Computervision optimierter Hardware. Sensoren und Kameras müssen in der Lage sein, mehrere Arten von Merkmalen in der Umgebung des Fahrzeugs mit hoher Genauigkeit zu erkennen, um ein einheitliches, komfortables und sicheres Fahrerlebnis zu ermöglichen*

*Weiteres Innovationspotential stellt die Verbesserung der räumlichen Auflösung der verwendeten Sensoren für ADAS dar, ein großer Dynamikbereich sowie ein weites realisierbares Gesichtsfeld für HUDs, qualifizierte und leistungsstarke Lichtquellen - und das alles bei geringer Größe, langer Lebensdauer und wirtschaftlichen Kosten.*

### Einschränkungen/Herausforderungen

*Es gibt noch zahlreiche Herausforderungen, die gelöst werden müssen. Diese umfassen alle ungewöhnlichen Ereignisse auf der Straße, die ein Fahrer sehen und auf die er reagieren würde: zum Beispiel ein Tier, das unerwartet auf die Straße läuft; andere Fahrzeuge, die die Verkehrsregeln nicht befolgen; Schlaglöcher oder Fußgänger, die die Straße unerwartet überqueren.*

*Juristische Fragestellungen bezüglich der Haftung bei Unfällen müssen ebenfalls geklärt sein, bevor vollautonome Fahrzeuge zum Einsatz kommen können.*

### **Bewertung Mobilität als Markt für innovative photonische Produkte:**

*Da die meisten innovativen Fahrzeugtechnologien, gerade im Bereich des Autonomen Fahrens, photonische Technologien oder Produkte nutzen, ist hier ein sehr großer Markt vorhanden. Der Straßenverkehr ist gerade in Städten sehr komplex und wenig vorsehbar. Nicht alle Verkehrsteilnehmer halten sich an Regeln, häufig kommt es zu unvorhersehbaren Ereignissen. Vollautonome Fahrzeuge müssen auf jede Eventualität zur jeder Zeit reagieren können. Bis dies möglich ist, werden sicher noch viele Jahre vergehen.*

*Beim Autonomen Fahren fallen sehr viele Daten an, die in Echtzeit dezentral verarbeitet werden müssen. Die Datenverarbeitung kann nicht im Fahrzeug selber stattfinden, sondern muss extern mit großer Geschwindigkeit erfolgen. Die Geschwindigkeit und die Sicherheit der Datenübermittlung wird auch eine Frage der Sicherheit des Autonomen Fahrens. Auf der IT Seite gibt es noch viele Entwicklungsaufgaben, um die großen Datenmengen zu handhaben wie beispielsweise Weiterentwicklungen in der 5G Datenübermittlung, Glasfasernetze oder Quantencomputer.*

*Allerdings gibt es auch Hürden nicht-technologischer Art, die überwunden werden müssen. Gerade das Vollautonome Fahren wirft zahlreiche juristische Fragen nach Haftung bei Unfällen auf. Denkbar sind sowohl eine Haftung des Fahrzeugherstellers oder alternativ des Fahrzeughalters. Hier müssen zeitnah verbindliche Regelungen geschaffen werden, um die Einsatzmöglichkeiten und damit die Marktchancen von Fahrzeugen mit einem hohen Autonomiegrad zu verbessern. Fahrerassistenzsysteme, die nur unterstützen, haben dagegen kurz- und mittelfristig ein sehr hohes Innovations- und Marktpotential.*

## 6.7. Smart Citys

- Interviewpartner:  
*Dr. Martin Verlage, KL.digital GmbH*  
*Pedro Roseiro, tice.pt*
- Eigene Recherche



Bildquelle: Adobe Stock

Smart City wird hier als Gesamtheit der Entwicklungskonzepte verstanden, die darauf abzielen, Städte effizienter, technologisch fortschrittlicher, grüner und sozial inklusiver zu gestalten.

Der Megatrend „Smart City“ hängt inhaltlich stark mit den Trends „Mobilität“ und „Decarbonisierung/Greentech“ zusammen. Es gibt zahlreiche Schnittmengen bezüglich der Anwendungen und des Innovationspotentials von und durch photonische Technologien. Hier werden nur die Aspekte dargelegt, die in den anderen, genannten Abschnitten noch nicht thematisiert wurden.

- Verkehrsflussüberwachung: moderne Kameratechnik und Sensortechnik wie LiDAR kann eingesetzt werden, um die Verkehrsströme zu kontrollieren, Ampelschaltungen anzupassen oder den Parksuchverkehr zu leiten.
- Überwachung von Plätzen mit Kameras, die aus Datenschutzgründen nur Situationen aufzeichnen, in denen Straftaten verübt werden.
- Sensorische Überwachung der Erdreichaustrocknung: hiermit könne der Baumbestand und die Grünanlagen der Städte erhalten kontrolliert und Trockenschäden entgegengewirkt werden.
- Innovative Straßenbeleuchtung durch vernetzte LED Leuchten, die bedarfsgerecht geschaltet werden können. Helleres Licht erhöht beispielsweise das Sicherheitsgefühl, ist aber nicht immer erforderlich.
- Überwachung des Bauzustands von Gebäuden durch optische Sensoren und Faseroptik, um Gefährdungen von Personen auszuschließen und eine rechtzeitige Reparatur zu ermöglichen.
- Umweltanalyse: Durch Spektrometer können Wasserzusammensetzung, Luftverschmutzung und klimatischen Bedingungen kontrolliert werden.
- Intelligente Vernetzung von Gebäuden: aufeinander abgestimmte Automationslösungen wie automatisches Fensterschließen bei Regen, zeitgesteuertes Fensterlüften oder energiesparende Nachtauskühlung tragen zur Verbesserung des Raumklimas bei, erhöhen die Sicherheit vor Einbrüchen und reduzieren die Energiebilanz des Gebäudes.

### **Innovationspotential**

*Innovationspotential bieten Verbesserungen in der Sensor- und Kamertechnik sowie in der Bilderkennung. Wichtig für die „vernetzte Stadt“ ist die Möglichkeit, überall Datenübertragung zu gewährleisten. Hierfür kann neben WLAN auch die **Datenübertragung mit Licht** genutzt werden. Dies ist beispielsweise in historischen Gebäuden mit dicken Mauern vorteilhaft oder in Krankenhäusern, wo störende Signale vermieden werden sollen. Die Datenübertragung mit Licht, die sogenannte Visible Light Communication (VLC) nutzt LEDs zur Datenübertragung. Mit Hilfe eines Modulators wird eine Hochleistungs-LED sehr schnell ein- und ausgeschaltet. Diese Lichtimpulse werden von einer Photodiode im Empfängergerät (Laptop, Tablet oder Smartphone) aufgefangen in elektrische Impulse umgewandelt. Eine bidirektionale Übertragung ist auch möglich. Der Upstream der Daten erfolgt zum Beispiel über einen Infrarot-Rückkanal. Mit der VLC-Technologie können Hochgeschwindigkeits-Datenverbindungen bis 3 Gigabit pro Sekunde erreicht werden. Hier besteht Innovationspotential u.a. bei der Verkleinerung der Module zum Senden und Empfangen der Lichtsignale.*

### **Einschränkungen/Herausforderungen**

*Finanzierung der neuen Technologien durch die Städte stellt eine Herausforderung dar.*

### **Bewertung Smart City als Markt für innovative photonische Produkte:**

*Bahnbrechenden Weiterentwicklungen in der Photonik sind nicht erforderlich (ausgenommen VLC), um Smart Cities zu schaffen. Vielmehr müssen wie dargelegt vorhandene Technologien verbessert werden und in den Städten zum Einsatz kommen. Limitiert wird dies nicht durch technologische Lücken, die geschlossen werden müssen. Es ist in erster Linie ein finanzielles Problem, das Entscheidungen für die Vernetzung von Städten verlangsamt. Die Städte haben ein knappes Budget. Vernetzung bedeutet für die Städte Invest, der mittelfristig Kosten spart und die Sicherheit erhöht. Es hängt von der Akzeptanz der neuen Technologien bei den städtischen Entscheidern ab, ob dieser Invest getätigt wird und somit ein größerer Markt für die photonische Produkte in Smart Cities entsteht.*

## 7. Photonische Innovationsfelder und Zukunftsmärkte

Die Innovationspotentiale und Chancen für Photonische Produkte sind im vorherigen Kapitel ausführlich unter Bezug auf verschiedene Zukunftstrends beleuchtet worden.

Die intensive Betrachtung der einzelnen Zukunftstrends machte deutlich, dass die jeweiligen Marktchancen und erforderlichen Innovationen heterogen sind und differenziert betrachtet werden müssen. Einzelne Trends bieten deutlich mehr Potential als andere. Die Wahrscheinlichkeit in Zukunftsmärkten erfolgreich zu sein, hängt u.a. von den bereits vorhandenen technologischen Kompetenzen ab, die auf neue Herausforderungen adaptiert werden müssen, aber auch davon, ob Massenmärkte bedient werden sollen. Um dort erfolgreich zu sein, ist die Frage der Herstellungskosten bzw. Lohnkosten ein erheblicher Faktor.

Die Innovationsfelder und Zukunftsmärkte werden unten stehend zunächst für die deutsche Photonikbranche im Allgemeinen betrachtet und nachfolgend wird auf die im Land Rheinland-Pfalz vorliegenden Gegebenheiten eingegangen.

### 7.1. Deutsche Photonikbranche

Die **größten Potentiale** für die Photonikbranche bieten die Zukunftstrends **Mobilität** und **Greentech**, gefolgt von **Konnektivität** und **Self Tracking**.

Deutlich **weniger Potential** bietet **Smart City** (ohne den Mobilitätsaspekt), da hier aufgrund der finanziellen Aspekte und der bereits vorhandenen innovativen Technologien, die auf ihren Einsatz warten, weder ein großer Markt noch ein großes Innovationspotential bestehen.

**Synthetische Biologie** ist nur ein kleiner Bereich mit einem speziellen Markt, der trotz Corona kein großes Innovationspotential für die Photonischen Technologien darstellt.

**Digital Health** ist ein interessanter Zukunftstrend mit hohem Innovationspotential. Dieses bezieht sich allerdings in erster Linie auf freiverkäufliche Produkte aus dem Bereich Self Tracking, da Fragen der Regulierung und Erstattungsfähigkeit durch die Krankenkasse ebenso wenig geklärt sind wie die Fragen des Datenschutzes.

Die Zukunftstrends Smart City, Digital Health mit Ausnahme des Bereichs Self Tracking und Synthetische Biologie werden daher im Folgenden nicht weiter betrachtet.

#### Mobilität:

Wie in Kapitel 6.6. dargelegt ist das Markt- und Innovationspotential für Photonische Produkte und „photonic enabled“ Produkte sehr groß. Die Marktprognosen in Kapitel 5 bestätigen dies.

Besonders der gesamte Bereich der Fahrerassistenzsysteme entwickelt sich rasant. Eine neue Generation Headup Displays, die Augmented Reality Anwendungen umsetzen kann, hat große Aussichten auf einen Markterfolg.



Bildquelle: Adobe Stock

LiDAR Systeme müssen weiterentwickelt, kompakter und kostengünstiger werden. Kameraoptiken wie sie beispielsweise für Rückfahrkameras benötigt werden, werden aktuell hauptsächlich in großer Stückzahl in Asien produziert. Die Herausforderung ist, die Produktionskosten in Deutschland so weit zu senken, dass die Marktanteile deutscher Hersteller steigen.

Eine Möglichkeit, die Herstellungskosten der im Automotive Bereich verwendeten Produkte zu senken, ist der Einsatz von Kunststoff-Optiken. Diese sind leichter und kostengünstiger als klassische Glaslinsen. Die Verbesserung der Produktionsprozesse z.B. durch Digitalisierung kann auch zu einer Kostenersparnis führen.

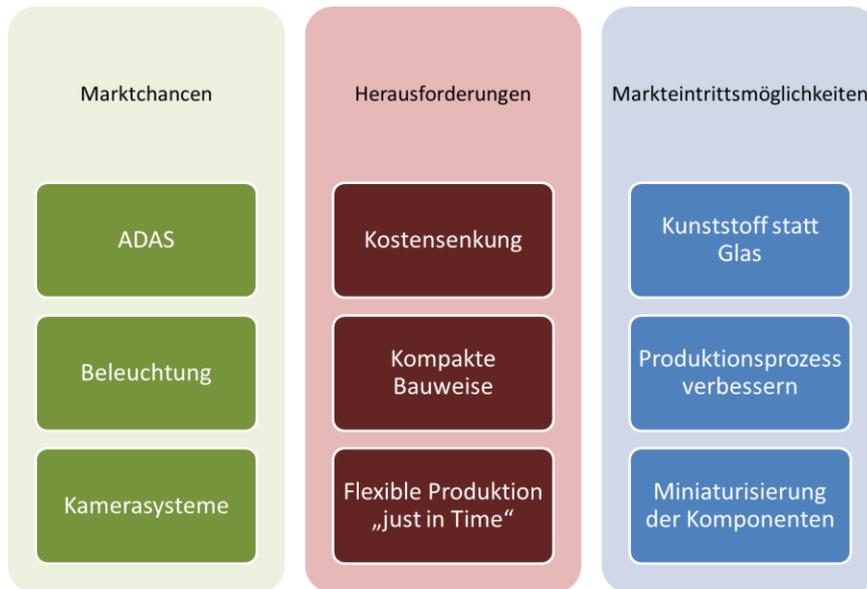


Abb. 10: Marktchancen, Herausforderungen, Markteintrittsmöglichkeiten Mobilität

Die Ertragspotentiale im Bereich Automotive werden beeinflusst von einem hohen Qualifizierungsaufwand, der nötig ist, um als Zulieferer zugelassen zu werden, und einer starren Preisbildung. Zudem sind die Marktchancen im Bereich des Autonomen Fahrens auch von externen Faktoren wie die Handhabung der großen Datenmengen und die Klärung der juristischen Fragen zur Haftung abhängig.

Die Automobilindustrie befindet sich zurzeit in einer Krise und einem Umbruch (siehe Kapitel 2, Ausgangslage Bedingt durch die allgemeine wirtschaftliche Lage ist Zahl der Fahrzeugzulassungen aktuell rückläufig. Die Umsetzung der E-Mobilität gewinnt immer weiter an Bedeutung, möglicherweise auf Kosten der Weiterentwicklung des Autonomen Fahrens und der damit verbundenen Technologien.

## Greentech/Decarbonisierung

Das Umweltbewusstsein, z.B. der schonende Umgang mit Ressourcen durch Recycling oder die Vermeidung von einem übermäßigen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sind Themen, die besonders der „Generation Z“ sehr wichtig sind und die in Zukunft wirtschaftliche Folgen haben werden.



Bildquelle: Adobe Stock

Für die Photonik gibt es wie dargelegt zahlreiche Einsatzmöglichkeiten und Innovationsfelder. Im Gegensatz zu klar abgrenzbaren Technologiefeldern im Bereich Mobilität kommen hier viele verschiedene Technologien zum Einsatz: Spektroskopie, Sensorik zur Prozesskontrolle- und Steuerung, Laser, Kamertechnik für Drohnen, Photovoltaik, Beleuchtung.

Die Einsatzmöglichkeiten und Märkte beginnen sich gerade zu entwickeln und haben bislang kein großes Marktvolumen. Langfristig wird dieser Markt deutlich wachsen und Innovationen zu marktfähigen Produkten mit großen Absatzchancen führen. Wichtig hierfür ist eine branchenübergreifende Kommunikation, d.h. Ingenieure und Landwirte müssen sich mit Experten der Photonikbranche austauschen, um Anforderungen, Möglichkeiten und Grenzen zu diskutieren.



Abb. 11: Marktchancen, Herausforderungen, Markteintrittsmöglichkeiten Greentech/Decarbonisierung

## Konnektivität

Konnektivität ist ein „Querschnittstrend“, der zahlreiche andere Zukunftstrends beeinflusst und bedingt. Produkte aus den Bereichen AR/VR finden sich beispielsweise sowohl in dem Bereich Mobilität als auch in der Medizintechnik. Innovationen finden also verschiedene Märkte. Wichtige Innovationsfelder sind die Miniaturisierung von Bauteilen, um die Datenbrillen leichter zu machen (z.B. auch durch den Einsatz von Kunststoffoptik). Eine kostengünstigere Herstellung von LiDAR Systemen würde die Möglichkeit eines baldigen Markteintritts ebenfalls erhöhen.

## Self Tracking

Dieser Bereich der Consumer Electronic, dem die für das Self Tracking erforderlichen Wearables und Handys zuzuordnen sind, hat bereits jetzt ein hohes Marktpotential, das in Zukunft noch weiter steigen wird, da die Generation Z als 100% digital bezeichnet werden kann. Consumer Electronic hat eine kurze Produktlebenszeit, so dass hohe Umsatzzahlen erzielt werden können, wobei die Produkte selber extrem preiswert sein müssen. Die Produktion findet hauptsächlich in Asien statt, so dass deutsche Unternehmen lediglich als Zulieferer einiger Komponenten in Frage kommen. Um diesen Markt zu erschließen, müssen die erforderlichen Komponenten verkleinert werden, leicht sein und kostengünstig herstellbar sein. Auch hier bietet die Verwendung von Kunststoff-Optiken eine gute Möglichkeit, diese Anforderungen zu erfüllen.

Digital Health mit Produkten beispielsweise des „Point of Care“ fallen dagegen in den Bereich der Medizintechnik. Die Point of Care Diagnostik wird zunehmend an Bedeutung gewinnen, ist aber mit einer durchschnittlichen Zulassungsdauer von sieben Jahren kein schneller Markt. Ergänzt wird dies durch die ausstehende Klärung der Abrechnung über die Krankenkassen. Aus diesen Gründen ist hier momentan kein großes Marktpotential zu erwarten. Diese Einschätzung entspricht damit nicht der Prognose der Roland-Berger-Studie „Future of Health“, nach der diese Sparte stark wachsen wird.

## **7.2. Regionalspezifische Betrachtung – Rheinland-Pfalz**

Quellen:

Kompetenzatlas Lasertechnik, Optence e.V., 2011

Interview *Dr. Johannes L'huillier*, Photonik Zentrum Kaiserslautern

Eigene Recherche

Es konnten 75 Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Hochschulen ermittelt werden, die in Rheinland-Pfalz im Bereich der Photonik tätig oder Anwender photonischer Technologien sind. Sie spiegeln die gesamte Wertschöpfungskette der Optischen Technologien wider.

Diese ermittelten Firmen und Institute lassen sich größtenteils bezüglich ihrer Produkte, verwendeten Technologien oder Forschungsschwerpunkten verschiedenen Megatrends zuordnen.

Allerdings gibt es auch Unternehmen, die photonische Technologien nutzen und von zukünftigen Megatrends in keinem großen Ausmaß berührt werden. Dazu zählen beispielsweise Firmen, die Laser zur Herstellung von Codier- oder Markiersystemen (Domino Deutschland GmbH), Lüftungsbau (AMS GmbH) oder Metallbearbeitung nutzen (Böhmer + Klöckner GmbH). Weiterentwicklungen in diesen Bereichen sind in der Verbesserung der lasergesteuerten Prozesse denkbar, die einen höheren Digitalisierungsgrad beinhalten und damit den Megatrend Konnektivität berühren. Dennoch sind die in dieser Kategorie in der Tab. 2 (grau hinterlegt) aufgeführten Firmen aus dem Bereich Lasertechnik Kunden fertiger Lasersysteme, die die Entwicklung der kommenden 10 Jahre nicht im Bereich Forschung und Entwicklung steuern, sondern durch ihr Kaufverhalten bei Neuanschaffungen beeinflussen sowie durch ihre Bereitschaft, digital gesteuerte Prozesse zu etablieren.

Weiterhin ist in diesem Bereich auch die optischen Messtechnik einzugruppieren, wie beispielsweise die Firma Dr. Heinrich Schneider Messtechnik. Selbst hochinnovative Firmen wie das Startup Unternehmen OptiCal fällt darunter. OptiCal nutzt zur Herstellung seiner Produkte ein 3D Druck Verfahren, wobei der Megatrend Konnektivität berührt wird. Dieses Verfahren ist etabliert und wird bereits genutzt. Durch die identifizierten Megatrends sind hier keine neuen Marktchancen für das Unternehmen unmittelbar zu erwarten. Weiterhin trifft dies auch auf die Zuliefererindustrie zu. Hier sind Firmen wie beispielsweise Robeko oder

Busch Microsystems zu nennen, die nicht unmittelbar durch Innovationen die Megatrends nutzen können. Insgesamt trifft dies auf 21 Firmen aus Rheinland-Pfalz zu (in der unten stehenden Tabelle 2 grau markiert)<sup>37</sup>.

Der Megatrend „**Mobilität**“ bietet zahlreichen in Rheinland-Pfalz ansässigen Firmen ein großes Innovationspotential. Viele von ihnen sind im Commercial Vehicle Cluster organisiert. Unter den Firmen dieser Gruppe sind u.a. Hersteller von Baufahrzeugen, LKWs, Bussen oder Weinbaumaschinen. Zwar sind darunter wiederum viele Kunden, die von Weiterentwicklungen der Zulieferer profitieren, aber auch zahlreiche Firmen, die selbst die Weiterentwicklung von Fahrerassistenzsystemen, Fahrzeugsensorik u.a. vorantreiben. Die Entwicklung hin zum Autonomen Fahren betrifft selbstverständlich neben PKWs auch Nutzfahrzeuge. Auch Weiterentwicklungen in der Fahrzeugbeleuchtung spielen eine große Rolle. Direkt dieser Gruppe zuzuordnen sind 14 Firmen wie beispielsweise ERO GmbH, TRIWO Automotive Testing GmbH oder Daimler Truck.

Darüber hinaus gibt es zahlreiche Firmen, die mehreren Gruppen zuzuordnen sind (18), darunter auch dem Bereich Mobilität. Dazu gehören beispielsweise die Hersteller optischer Komponenten wie Jos. Schneider Optische Werke oder OPC Optics. Die optischen Komponenten finden u.a. Verwendung in Rückfahrkameras, in der Innenraumüberwachung oder in LiDAR Systemen, aber auch im Bereich Greentech z.B. in Kameras von landwirtschaftlich eingesetzten Drohnen, Inspektionssystemen für Sortiersysteme im Recycling Bereich. Eine klare Zuordnung zu einem Innovationsbereich ist bei diesen Firmen nicht möglich. (siehe Tab. 2)

**Greentech** ist ein weiterer Megatrend, der in Rheinland-Pfalz eine große Rolle spielt. 13 Firmen und Institutionen sind unmittelbar diesem Trend und damit diesem Innovationsfeld zuzuordnen. Firmen in dieser Gruppe bieten sehr heterogene Produkte oder Dienstleistungen an, die aber alle von dem Megatrend Greentech berührt sind. Dazu gehören beispielsweise Vergüter von Solarpanels (BTE Bedampfungstechnik), Dichtstoffhersteller (Kömmerling Chemische Fabrik), Hersteller intelligenter Steuerungssysteme (Robot Makers) oder Herstellung von Sortiermaschinen (Tomra Systems GmbH). Auch die energiesparende Beleuchtung von Werbetafeln (Cocotec Light & Design GmbH) ist in dieser Gruppe anzusiedeln. Firmen wie John Deere sind im Bereich „Smart Farming“ aktiv, um in der Landwirtschaft den Einsatz von Düngemitteln oder Unkrautvernichtungsmitteln zu minimieren. Ebenfalls zu nennen ist die BASF, die in den Bereichen Kreislaufwirtschaft/Recycling und Prozesssteuerung wichtiger Anwender photonischer Technologien ist und als Großkunde und Anwender Innovationen in einem hohen Maß vorantreiben kann.

Besonders die Forschungslandschaft in Rheinland-Pfalz ist sehr aktiv im Bereich Greentech. So wird beispielsweise an Hochschule Trier an der Energieeinsparung durch LEDs geforscht, das Leibniz Institut für Verbundwerkstoffe beschäftigt sich mit Leichtbau unter Verwendung der Lasertechnik, das Fraunhofer-Institut für Mikroelektronik und Mikrosysteme hat zahlreiche Geschäftsfelder zu unterschiedlichen Themen der Greentech. Ebenfalls zu nennen ist die Smart Factory in Kaiserslautern, die neben dem Bereich der Konnektivität auch das Innovationsfeld Greentech berührt. Als Cluster ist die Ecoliance Rheinland-Pfalz e.V. aktiv.

Der Megatrend **Synthetische Biologie** wird in Rheinland-Pfalz im Bereich der Photonik durch die Firma Aesku GmbH & Co. KG repräsentiert. Die Mainzer Firma BionTech ein hochinnovatives Unternehmen auf diesem Gebiet, das allerdings nicht unmittelbar der Herstellung photonischer Produkte oder photonischen Anwendungen zuzuordnen ist. Gleiches gilt für die Firma Böhringer Ingelheim, die genauso wie BionTech Kunden beispielsweise von Thermocyclern oder automatisierten Laborsystemen sind und daher die photonischen Innovationen nur sehr indirekt beeinflussen. Das Cluster Ci3 fällt ebenfalls in diesen Bereich.

<sup>37</sup> Kompetenzatlas Lasertechnik, Optence e.V.

Der Megatrend „**Smart City**“ bietet für die Firma Mobotix ein hohes Innovationspotential. Der Hersteller von Kameras zur Outdoor-Umfeldbeobachtung kann von der Vernetzung der Städte und der dadurch erforderlichen Konnektivität werden in Rheinland-Pfalz durch wenige Firmen repräsentiert.

Der Bereich **Konnektivität** findet sich in verschiedenen anderen Megatrends wieder, was eine klare Abgrenzung erschwert. In Rheinland-Pfalz sind 4 Firmen und Forschungseinrichtungen, die im Innovationsfeld Konnektivität aktiv sind. Beispielsweise stellt die Firma Phytec Embedded Systeme her, die in der Automatisierung oder im Bereich Industrie 4.0 Anwendung finden, die Firma IMSTec bietet Automatisierungslösungen für die Qualitätskontrolle u.a. in der Pharmaindustrie an. Forschungseinrichtungen auf diesem Gebiet sind beispielsweise das Fraunhofer-Institut für Experimentelles Softwareengineering IESE, aber die Smart Factory in Kaiserslautern fällt in diesen Bereich, auch wenn sie primär dem Bereich Greentech zugeordnet ist.

Besonders stark repräsentiert sind Firmen oder Institutionen (19), die in mehrere Megatrends involviert sind. Dies wurde bereits in vorangegangenen Abschnitten intensiv diskutiert. In der offene Digitalisierungsallianz Rheinland Pfalz wird beispielsweise an zahlreichenden zukunftsweisenden Themen geforscht wie roboterbasierter Fahrsimulation, laserbasierten Messfahrzeugen, Sensorik, Signalverarbeitung, Bewegungsanalyse und digitalen Gesundheitslösungen

Herauszuheben in diesem Bereich ist besonders die **Lasertechnologie**, die von mehreren Megatrends profitieren kann. Sie findet u.a. im Bereich Greentech zahlreiche Entwicklungsmöglichkeiten und Marktchancen, beispielsweise in der Photovoltaik oder bei Laserverfahren für nachhaltige Energiespeicher. Lasertechnik findet Einsatz bei der Verarbeitung von Verbundwerkstoffen im Leichtbau, in laserbasierten Verfahren in der Flugzeugtechnik zur Herstellung von Turbinen, bei Laserverfahren für Hochleistungsbatterien im Automobilbau, Laserspektroskopie zur Abgasmesstechnik, Laserstrahlreinigen, Vermessung von Metallen beim Recycling durch Laser oder Laserfunktionalisierung von Oberflächen.

Enge Kooperationen gibt es beispielsweise zwischen dem Photonik Zentrum Kaiserslautern und der Smart Factory, in denen die Verknüpfung von Konnektivität und Lasertechnologie hergestellt wird. Laser sollen in der Produktion als softwaregesteuertes, digital einstellbares Werkzeug einsetzbar sein. Auch die Verbindung von Lasertechnologie und Greentech wird in Rheinland-Pfalz vorangetrieben. So gibt es Kooperationen zwischen dem Photonik Zentrum Kaiserslautern und dem Leibniz Institut für Verbundwerkstoffe, um verstärkt Kurzpulslaser und Diodenlaser im Leichtbau einzusetzen. Dieses Verfahren dient der Ressourceneffizienz.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Firmen, Hochschulen und Forschungsinstitute in Rheinland-Pfalz für zahlreiche Megatrends sehr gut aufgestellt sind. Sie sind bereits jetzt innovativ in Bereichen wie Greentech oder Mobilität und können ihr Innovationspotential zukünftig noch ausbauen und kommende Marktchancen nutzen. Dies gilt besonders für die in Rheinland-Pfalz starke Laserindustrie. Um das volle Innovationspotenzial zu nutzen, ist der Austausch über die Landesgrenzen hinweg wichtig. Die Region Aachen, die in den Bereichen Lasertechnik und Digitalisierung ebenfalls sehr gut aufgestellt ist, kann wichtige Kooperationspartner bieten und wichtige neue Impulse in die rheinland-pfälzische Forschungs- und Firmenlandschaft bringen.

Zusammenfassung der Recherche (Tab. 2)

a. Überblick

		Anzahl der Firmen und Institute in RLP
	Mobility	14
	Greentech	14
	Konnektivität	4
	Synthetische Biologie	2
	mehrere Bereiche umfassend	19
	Smart City	1
	kein direkter Zusammenhang zu Megatrends der Photonik	21
	<b>Gesamt</b>	<b>75</b>

b. Detail

<b>Firma / Institut</b>	<b>Produkte</b>	<b>Photonische Technologien - genutzt oder benötigt</b>
<b>Aesku GmbH &amp; Co. KG</b>	Laboraausstattung (auch Mikroskope und optische Messsysteme)	Mikroskopie, Spektroskopie, Sensorik
<b>AMS GmbH</b>	Innenausbau, Lüftungstechnik	Laser zum Schneiden und Beschriften
<b>AndroTec GmbH</b>	Automatisierungstechnik, Industriemesstechnik	lasergestützten Messgeräten zur lokalen Positionsbestimmung
<b>Auro GmbH</b>	funktionelle und produktive Produktveredlung	Laser zur Materialbearbeitung und zum Beschriften
<b>BASF</b>	Chemieprodukte	Recycling, Prozesssteuerung
<b>Bluhm Systeme GmbH</b>	Lasersysteme in Kennzeichnungslösungen	Lasertechnologie
<b>Böhmer+Klöckner GmbH</b>	Metallbau, Maschinenbau	Laser zur Materialbearbeitung
<b>BOMAG</b>	Baufahrzeuge	Fahrzeugfertigung (AM, LM), Fahrzeugsensorik, Fahrzeugbeleuchtung, Assistenzsysteme
<b>BTE Bedampfungstechnik</b>	Optikbeschichtungen	Beschichtungen, Entspiegelungen, Spiegelschichten, Filter
<b>BUSCH Microsystems Consult GmbH</b>	Positioniersysteme	Zulieferer Optikindustrie
<b>CDEuM</b>	Fahrzeug-Design und Kleinstserienfertigung	Fahrzeugsensorik, Fahrzeugbeleuchtung; Entwicklung: Fahrassistenzsysteme, Bildverarbeitung, Autonomes Fahren, Human-Machine-Interface, Assistenzsysteme
<b>Cluster für Individualisierte Immun-Intervention (Ci3) e.V</b>	Netzwerk Medizintechnik	Mikroskopie, Spektroskopie, Sensorik
<b>Cocotec Light &amp; Design GmbH</b>	Beleuchtungslösungen für Werbung	LED, Laser
<b>Coherent Kaiserslautern GmbH</b>	Lasersysteme	Lasertechnologie

<b>Commercial Vehicle Cluster – Nutzfahrzeug GmbH</b>	Netzwerk Nutzfahrzeugeproduktion	
<b>Daimler Truck</b>	LKW und Busse	Fahrzeugfertigung (AM, LM), Fahrzeugsensorik, Fahrzeugbeleuchtung
<b>Demag</b>	Kranfahrzeuge	Fahrzeugfertigung (AM, LM), Fahrzeugsensorik, Sensorik, Assistenzsysteme
<b>DILAS Diodenlaser GmbH</b>	Diodenlaser	Lasertechnologie
<b>Domino Deutschland GmbH</b>	Codier- und Markiersysteme	CO <sub>2</sub> -Laser, Faserlaser, Lasermaterialbearbeitung
<b>Dr. Heinrich Schneider Messtechnik GmbH</b>	Fertigungsmesstechnik	Optische Messtechnik
<b>Dr. Schmitt-ISOTOP</b>	Messtechnik für die Kerntechnik	Lasermesstechnik
<b>Ecoliance Rheinland-Pfalz e. V.</b>	Netzwerk Umwelttechnik	
<b>Electro-Optics Technology GmbH</b>	Photodetektoren, Laserkristalle	Lasertechnik, Photodetektoren
<b>ERO GmbH</b>	Weinbaumaschinen	Fahrzeugfertigung (AM, LM), Fahrzeugsensorik, Fahrzeugbeleuchtung, Assistenzsysteme
<b>FEE GmbH</b>	Hersteller von Laserkristallen	Lasertechnik
<b>Fraunhofer-Institut für Experimentelles Softwareengineering IESE</b>	Software für intelligente Systeme	Software und Lösungen z.B. für Smart Farming, Industrie 4.0
<b>Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM</b>	Forschung	Lasermikrobearbeitung, Optische Spektroskopie, Photometrie
<b>Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM</b>	Analyse und Simulation, Terahertztechnik	Quanten-Optik, Smart Farming, Medizin, Biotechnik
<b>FWB Kunststofftechnik GmbH</b>	LED-Vorsatzoptiken aus Kunststoff	Optiken aus Kunststoff
<b>Gebr. Blum GmbH</b>	Metallbearbeitung	Lasermaterialbearbeitung

<b>General Dynamics European Land Systems</b>	Fahrzeuge	Fahrzeugfertigung (AM, LM), Fahrzeugsensorik, Sensorik, Assistenzsysteme
<b>GL Inspect GmbH</b>	Optischen Vermessung von Reifen	Messtechnik
<b>GL Messtechnik GmbH</b>	Optische Vermessung von Reifen	Messtechnik
<b>Hochschule Trier</b>	Forschung	Forschung zur Energieeinsparung durch LED Technik
<b>HUBER+SUHNER Cube Optics AG</b>	Optische Transceiver, Multiplexer, Faseroptische Sensoren	Faseroptik, Optische Transceiver, Optische Messtechnik,
<b>HYFRA Industriekühlanlagen GmbH</b>	Laserkühler	Lasertechnik
<b>iC-Haus GmbH</b>	Chips: Integrierte Schaltkreise	LiDAR-Technologie
<b>IMSTec</b>	Automatisierungslösungen	Bildverarbeitung, LED-Kontrolle, Lasermarkiersystem
<b>ITK Engineering GmbH</b>	Nutzfahrzeug-Design, Produkt-Design	Entwicklung: Fahrassistenzsysteme, Bildverarbeitung, Sicherheit, Car2X-Kommunikation, Autonomes Fahren, Human-Machine-Interface, Assistenzsysteme
<b>Joachim Richter Systeme und Maschinen GmbH &amp; Co. KG</b>	Lasermarkiersysteme	Lasermaterialbearbeitung

## 8. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Studie war die Ermittlung von Zukunftstrends, die für die Photonischen Technologien relevante Innovationsfelder und Zukunftsmärkte darstellen. Anhand der Analyse von gesellschaftlichen Herausforderungen, Auswertungen verschiedener Mega- und Subtrends, Quellenrecherchen und Experteninterviews wurden die folgenden drei Zukunftstrends als besonders relevant identifiziert, die auch für die in Rheinland-Pfalz ansässigen Akteure von Bedeutung sind:

- Mobilität
- Greentech/Decarbonisierung
- Konnektivität

Diese Themenfelder bieten durchgehend ein großes Innovations- und Marktpotential. Deutlich wurde in der Auswertung aller Quellen, dass es „Das Photonische Superprodukt“ nicht geben wird. Vielmehr geht es um Weiterentwicklung vorhandener Technologien und Produkte. Eine Schlüsselfunktion nimmt die Integration digitaler Fähigkeiten ein. Auch für optische Komponenten, Subsysteme und Systeme gelten die Trends hin zum digitalen Zwilling und der Konnektivität im Sinne des Internet of Things.

Über alle Zukunftstrends hinweg waren die Anforderungen an diese Weiterentwicklungen sehr einheitlich: Miniaturisierung und Kostenreduktion finden sich genauso wieder wie die Vernetzung verschiedener Produkte und Prozesse. Die Photonik-Branche kann sich unter der Annahme dieser Anforderungen und deren Lösung fit für die Zukunft machen.

Ebenfalls wurde der sehr große Einfluss externer Faktoren deutlich, sowohl technologischen als auch politisch-legislativen Ursprungs. Zentrale Voraussetzung für marktfähige Produkte und Innovationen ist die Handhabung großer Datenmengen. Big Data wird zum „Nadelöhr“ der Innovationen, z.B. in den Bereichen Mobilität, Smart City und Konnektivität. Juristische und ethische Fragestellungen beeinflussen Mobilität, Digital Health und andere Zukunftsfelder.

Fragen des IT-Rechts (Schutz, Zugriff, Nutzung) müssen schnell und verbindlich gelöst werden, ebenso Fragen der Haftung beim Autonomen Fahren. Die Zulassungs- und Abrechnungsproblematik beeinträchtigt Innovationen in den Bereichen Silver Society und Digital Health und kann dazu führen, dass Deutschland gegenüber Ländern, die einfachere Gesundheitssysteme haben, in eine schlechtere Position gerät.

Die vorliegende Studie stellt den ersten Schritt zur Erstellung einer „Photonics Road Map“ im Rahmen der Fördermaßnahme des Landes Rheinland Pfalz dar. In einem nächsten Schritt werden in einem Workshop die Themenfelder Mobilität, Greentech, Konnektivität und Self-Tracking/Digital Health durch Impulsvorträge vertieft und anschließend mit Branchenvertretern diskutiert, um konkrete, für die Firmen relevante Themenbereiche zu identifizieren.

Die Ergebnisse aus Studie und Workshop werden in einer Broschüre der Öffentlichkeit vorgestellt.

## 9. Literaturverzeichnis

[Interview] / Befragte Person Dr. Cord Schlötelburg VDE Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnologie e.V.. - telefonisch, 2020.

[Interview] / Befragte Person Dr. Harald Pielartzik Verband der Chemischen Industrie e.V.. - telefonisch, 2020.

[Interview] / Befragte Person Dr. Marc Bovenschulte VDI/VDE. - telefonisch, 2020.

[Interview] / Befragte Person Dr. Martin Verlage KL.digital GmbH.

[Interview] / Befragte Person Dr. Thomas Dietrich IVAM. - telefonisch, 2020.

[Interview] / Befragte Person Erik Jung Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration. - telefonisch, 2020.

[Interview] / Befragte Person Hinrich Weis ITS mobility e.V.. - telefonisch, 2020.

[Interview] / Befragte Person Ines Manegold Digital Health e.V.. - telefonisch, 2020.

[Interview] / Befragte Person L'huillier Dr. Johannes. - telefonisch, 2021.

[Interview] / Befragte Person Pedro Roseiro tice.pt. - telefonisch, 2020.

[Interview] / Befragte Person Prof. Dr.-Ing. Christoph Runde Virtual Dimension Center (VDC). - telefonisch, 2020.

[Interview] / Befragte Person Prof. Dr.-Ing. Matthias Vette-Steinkamp AG für umweltgerechte Produktionsverfahren und industrielle Robotik Umwelt-Campus Birkenfeld, Hochschule Trier. - telefonisch, 2020.

[Interview] / Befragte Person Prof. Dr.-Ing. Verena Nitsch Institut für Arbeitswissenschaften der RWTH Aachen. - telefonisch, 2020.

[Interview] / Befragte Person Steve Schneider ITS mobility e.V.. - telefonisch, 2020.

**" Megatrends 2020 and beyond "**[https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en\\_gl/topics/megatrends/ey-megatrends-2020.pdf](https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/en_gl/topics/megatrends/ey-megatrends-2020.pdf) [Online] / Verf. Ernest & Young. - 2020.

**"Future of Health", Der Aufstieg der Gesundheitsplattformen** [Bericht] / Verf. Roland Berger. - 2020.

**18. „Gesundheit 4.0“, Studie von Roland Berger im Auftrag von Spectar**[https://www.spectaris.de/fileadmin/Infothek/Medizintechnik/Gesundheit\\_4.0\\_Digitalisierung\\_der\\_Gesundheitswirtschaft.pdf](https://www.spectaris.de/fileadmin/Infothek/Medizintechnik/Gesundheit_4.0_Digitalisierung_der_Gesundheitswirtschaft.pdf) [Online] / Verf. Studie "Gesundheit 4.0" Roland Berger im Auftrag von SPECTARIS und Messe Düsseldorf.

**Branchenreport 2017 Photonik für Deutschland** [Buch] / Verf. VDMA. - 2017.

**Brochure "Photonic Technologies for the Automotive Industry"** [Bericht] / Verf. EPIC European Photonic Industry Consortium.

**file:///C:/Users/Reuter/AppData/Local/Temp/unternehmen-benennen-draengendste-gesellschaftliche-herausforderungen-4f450bdf868742f8f3795951f33bcdf65cc9689a.pdf** [Online] / Verf. Bertelsmannstiftung. - 2019.

**Horizon Europe**, [https://ec.europa.eu/info/horizon-europe\\_en](https://ec.europa.eu/info/horizon-europe_en) [Online] / Verf. Union Europäische.

<https://analyticalscience.wiley.com/do/10.1002/gitfach.13420/full/> [Online] / Verf. Science Wiley Analytical.

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/260825/umfrage/monatliche-pkw-neuzulassungen-in-den-laendern-europas/> [Online] / Verf. Statista GmbH.

<https://spie.org/news/2020-optics-and-photonics-industry-report?SSO=1> [Online] / Verf. SPIE Optics and Photonics Industry Report. - 2020.

<https://www.fraunhofer.de/de/forschung/forschungsfelder/kommunikation-wissen/kommunikationssysteme-breitbandkommunikation/visible-light-communication.html> [Online] / Verf. HHI Fraunhofer-Institut für Nachrichtentechnik.

[https://www.stifterverband.org/pressemitteilungen/2019\\_05\\_17\\_unternehmensengagement](https://www.stifterverband.org/pressemitteilungen/2019_05_17_unternehmensengagement) [Online] / Verf. Stifterverband.

<https://www.vision.fraunhofer.de/de/technologien-anwendungen/technologien/terahertz/blackvalue--schwarze-kunststoffe.html> [Online] / Verf. Vision "Black Value - Sortieren schwarzer Kunststoffe im industriellen Maßstab" Fraunhofer Geschäftsbereich.

<https://www.zukunftsinstitut.de/index.php?id=1532> [Online] / Verf. zukunftsInstitut.

**Kompetenzatlas Lasertechnik** [Bericht] / Verf. Optence e.V.. - Wörrstadt, 2011.

**LeNa** <https://www.nachhaltig-forschen.de> [Online] / Verf. Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V., Leibniz-Gemeinschaft.

**Megatrends 2020 and beyond** [Bericht] / Verf. Ernest & Young . - 2020.

### ProgRess III

[https://www.neress.de/fileadmin/media/files/Progress/progress\\_iii\\_programm\\_bf\\_1\\_.pdf](https://www.neress.de/fileadmin/media/files/Progress/progress_iii_programm_bf_1_.pdf) [Online] / Verf. Deutschland Bundesregierung der Bundesrepublik. - 2020.

**Roboterassistierte Chirurgie: Kostenintensiv - bei eher dünner Evidenzlage** [Artikel] // Deutsches Ärzteblatt; 116(26): A-1278 / B - 1053 / C-1041. - 2019.

**Studie "Digitalisierung im Gesundheitswesen: Handeln statt Sondieren"** [Bericht] / Verf. Roland Berger. - 2019.

**Studie "Licht als Schlüssel zur globalen Nachhaltigkeit"** [Bericht] / Verf. SPECTARIS/Messe München. - 2019.

**Trendreport Photonik** [Bericht] / Verf. SPECTARIS. - 2019/2020.

**Impressum:**

Photonics Hub GmbH  
Ober-Saulheimer-Str. 6  
55286 Wörrstadt  
E-Mail: [info@photonics-hub.de](mailto:info@photonics-hub.de)  
Internet: [www.photonics-hub.de](http://www.photonics-hub.de)  
Handelsregister Mainz HRB 48437  
Geschäftsführerin/Redaktion: Daniela Reuter

Photonics Hub GmbH ist die Clustermanagementgesellschaft des Photoniknetzwerks  
Optence e.V.

Mit Unterstützung von

Institut für Innovation und Technik (iit)  
Steinplatz 1  
10623 Berlin

Januar 2021