

STRATEGISCHE AUTONOMIE DER PHOTONIK AM STANDORT DEUTSCHLAND

Abgrenzung, Situationsanalyse und Handlungsoptionen



A joint study by



Herausgeber

SPECTARIS | www.spectaris.de
 Messe München GmbH | www.messe-muenchen.de

Layout und Design

GDE | Kommunikation gestalten | www.gde.de

Bildnachweis

Adobe Stock: Titel, Seiten 6, 8, 9, 10, 11, 12, 16, 17, 18, 40, 41, 44, 46, 47, 58, 63, Rückseite
 iStock (TEMATYS): Seite 33

Haftungsausschluss

Die Informationen und Daten dieser Studie wurden mit größter Sorgfalt erstellt. Sie basieren auf den Angaben der in der Studie genannten Institutionen und weiteren Quellen. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität dieser Angaben können die an der Erstellung der Studie beteiligten Herausgeber und Kooperationspartner, SPECTARIS, TEMATYS und die Messe München GmbH (im folgenden „Projektpartner“ genannt), aber keine Gewähr übernehmen. Eine Haftung durch die Projektpartner wird insoweit nicht übernommen.

Sollten durch die Studie Rechte Dritter verletzt worden sein, so geschah dies ohne Kenntnis und ohne Absicht der Projektpartner. Im Falle der Kenntniserlangung solcher Verstöße werden diese durch die Projektpartner zukünftig aus der Studie entfernt. Für den Inhalt von Gastbeiträgen oder Interviews ist trotz sorgfältiger Prüfung der jeweilige Verfasser verantwortlich. Die Inhalte von Gastbeiträgen und Interviews spiegeln nicht zwangsläufig die Meinung der Projektpartner wider.

Unerlaubte Vervielfältigung der Studie

Die Vervielfältigung der Studie (ganz oder in Auszügen) und die Verwendung der in der Studie enthaltenen Bilder ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung der Herausgeber bzw. der Inhaber der jeweiligen Bildrechte erlaubt. Die Veröffentlichung von Ergebnissen mit Quellenangabe ist nur nach Zustimmung des Herausgebers zulässig.

Idee und Konzept

Mike Bähren, SPECTARIS e. V., Jörg Mayer, SPECTARIS e. V., Anke Odouli, Messe München GmbH, Benoît d’Humières, TEMATYS (Autor), Dr. Wenko Süptitz, SPECTARIS e. V.

Redaktion

Mike Bähren | SPECTARIS e. V.

Edition

1. Auflage | Berlin | Januar 2024



BENOÎT D’HUMIÈRES

ÜBER DEN AUTOR

Benoît d’Humières hat an der École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris (ESPCI Paris – PSL) und an der Universität Sorbonne studiert und ein Diplom in Physik und Chemie. Als Dozent unterrichtete er Marketing für Photonik am Institut d’Optique in Palaiseau. Nach einigen Jahren Forschung an der Universität von Florida wurde er 1991 Innovationsberater. Er ist Experte für Optik, Elektronik und Instrumente für industrielle Anwendungen und Forschung und hat zahlreiche Marketing- und Technologiestudien für Unternehmen jeder Größe und Forschungseinrichtungen durchgeführt.

TEMATYS ist ein unabhängiges, mittelständisches Beratungsunternehmen, das sich auf Studien und Strategien in den Bereichen Optik, Photonik, Sensorik, Bildverarbeitung, Quantentechnologie und deren Märkte spezialisiert hat.

Inhalt

VORWORT DER HERAUSGEBER

Gemeinsam die Souveränität des Hightech-Standorts Deutschland stärken

Jörg Mayer // Geschäftsführer SPECTARIS

4

Messen als Eckpfeiler von Handel und Souveränität

Dr. Reinhard Pfeiffer // Geschäftsführer Messe München

5

EXECUTIVE SUMMARY

6

STRATEGISCHE AUTONOMIE DER PHOTONIK: DEFINITION, SITUATIONSANALYSE, HANDLUNGSOPTIONEN

12

Einleitung

12

Was bedeutet „strategische Souveränität“ für die Photonikindustrie?

13

Souveränität auf staatlicher Ebene

Souveränität auf der Ebene eines Industriesektors wie der Photonik

Die Souveränität der Photonikindustrie: ein großer Gewinn für die Souveränität Deutschlands und der Europäischen Union

16

Strategische Autonomie der deutschen Photonik

18

Grad der strategischen Autonomie der deutschen Photonikindustrie

Stärken und Schwächen der deutschen Photonikindustrie im Hinblick auf ihre Souveränität

Analyse der vorgelagerten Lieferkette

Lösungsansätze zur Stärkung der strategischen Souveränität der deutschen Photonikindustrie

26

Vorschläge der Befragungsteilnehmer

Vorschläge des Studienautors

Photonik im Automobilbau

32

Beispiel Roboterautos: Aufbau von Souveränität ist eine langfristige Strategie

Photonik im Halbleiterbereich

36

Beispiel Photonische integrierte Schaltkreise (PICs): die entscheidende Rolle des Zugangs zu Finanzmitteln

Photonik in der Medizintechnik

40

DIE EUROPÄISCHE PERSPEKTIVE AUF DIE STRATEGISCHE SOUVERÄNITÄT DER PHOTONIKINDUSTRIE

44

Ergebnisse einer Umfrage zur Lieferkette der Photonikindustrie von Photonics21

Empfehlungen für Maßnahmen zur Stärkung der Strategischen Autonomie der europäischen Photonikindustrie

GASTBEITRAG VON DR. HENNING KROLL

48

Strategische Autonomie und technologische Souveränität –
eine Begriffsbestimmung für den Bereich der Photonik

SPECTARIS IM GESPRÄCH

54

Kristalltechnologie zur technologischen Souveränität: Interview mit

Prof. Dr. Thomas Schröder, Direktor des Leibniz-Instituts für Kristallzüchtung (IKZ)

AKTUELLE ENTWICKLUNGEN DER PHOTONIK-LIEFERKETTE:

58

Ergebnisse einer internationalen Umfrage zur Photonik Supply-Chain

ÜBER UNS

60

Profile der Partner und Herausgeber

Gemeinsam die Souveränität des Hightech-Standorts Deutschland stärken

Jörg Mayer | Geschäftsführer des Deutschen Industrieverbandes SPECTARIS

Die Zukunft des Wirtschaftsstandorts Deutschland hängt maßgeblich vom Erfolg seiner Zukunfts- und Schlüsseltechnologien ab. Nur mit innovativen Produkten und Lösungen kann es gelingen, auch künftig im globalen Wettbewerb zu bestehen. Die massiven Lieferkettenprobleme in den letzten Jahren haben gezeigt, wie empfindlich auch diese Industrien auf Störungen des globalen Handels reagieren. Dabei geht es nicht nur um das Risiko von Lieferausfällen, sondern auch um die Gefahr, dass die Innovationstätigkeit beeinträchtigt wird. Gerade in Zeiten geopolitischer Spannungen, in denen Handelsbeschränkungen zur Stärkung der eigenen Position eingesetzt werden können, ist es wichtig, dass einseitige Abhängigkeiten vermieden werden und das Wissen um komplexe Produkte auf- oder ausgebaut wird. Das gilt umso mehr, wenn diese Produkte spezifischer Rahmenbedingungen bedürfen und wenn Systemzulieferer zu deren Herstellung selbst erhebliche Prozesskompetenzen und sehr spezifisches Produktions-Know-how vorhalten müssen.

Die Photonik ist als Schlüssel- und Enabling-Technologie die Basis fast aller anderen Zukunfts- und Schlüsseltechnologien in Deutschland. Ob Quantencomputer, virtuelle Realität, digitale Infrastruktur, Industrie 5.0, autonome Mobilität, Verteidigung, erneuerbare Energien, moderne Medizintechnik oder Smart Farming: Ohne die Produkte der Photonik geht es nicht.

Damit wir in diesen Anwendungsbereichen souveräner werden, bedarf es eines hohen Levels an strategischer Souveränität in der Photonik, gepaart mit einem funktionierenden Freihandel. Auch der Ausbau von Partnerschaften mit anderen Ländern weltweit kann dabei helfen, vertrauenswürdige und sichere Photonik-Lieferketten zu schaffen.

Zum anderen muss die Wertschöpfung, müssen die Lieferketten am Standort Deutschland und in Europa gestärkt werden. Etwa durch den Ausbau der Forschungsförderungsinstrumente im Bereich Photonik in Deutschland und Europa oder durch eine staatlich unterstützte Vernetzung der

Akteure. SPECTARIS hat etwa die Gründung einer „Forschungsfabrik Photonik“ vorgeschlagen, mit deren Hilfe trotz zunehmender Kapitalintensität im Hightech-Sektor Innovationen aus Forschung und Entwicklung der Photonik in Deutschland weiterhin schnell zu Prototypen und schließlich zu erfolgreichen Serienprodukten entwickelt werden könnten. Die Überlegungen von Photonics21, Anreize für Forschung, Entwicklung und Prototyping von kritischen Photonik-Komponenten in Europa für strategische industrielle Lieferketten zu schaffen, gehen in eine ähnliche Richtung. Auch die Unterstützung von Allianzen zwischen der Photonik und wichtigen Schlüsselindustrien bis hin zur Umsetzung einer europäischen Strategie für kritische photonische Materialien und Komponenten für Schlüsselindustrien und -technologien, um eine photonische Lieferkette in Europa sicherzustellen, kann ein geeignetes Mittel sein. Natürlich müssen aber auch die Rahmenbedingungen stimmen und es muss ein widerstandsfähiges Business-Ökosystem für Photonikunternehmen angestrebt werden, in dessen Klima Innovationen gedeihen können.

Das alles kann aber nur gemeinsam, im engen Schulterchluss der Industrie und Politik, gelingen.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre und hoffe, dass die vielen in dieser Publikation genannten Vorschläge für den Ausbau der strategischen Souveränität der Photonik in Deutschland auf fruchtbaren Boden fallen.



JÖRG MAYER

Geschäftsführer des Deutschen Industrieverbandes SPECTARIS



SPECTARIS

Deutscher Industrieverband für Optik, Photonik, Analysen- und Medizintechnik

Messen als Eckpfeiler von Handel und Souveränität

Dr. Reinhard Pfeiffer | Geschäftsführer der Messe München GmbH

Messen stehen als globale Handelsplätze im Zentrum unserer Wirtschaftsbeziehungen und sind die Eckpfeiler einer dynamischen und vernetzten Welt. Sie sind nicht nur Schauplatz für die Präsentation von Innovationen, Produkten und Dienstleistungen, sie sind auch Plattformen des Austauschs, des Aufbaus neuer Partnerschaften und der Pflege bestehender Kontakte. Hier treffen sich Visionäre mit Gleichgesinnten, Experten mit Innovatoren und Unternehmen mit potenziellen Partnern.

Weltleitmessen wie die LASER World of PHOTONICS spielen dabei eine besondere Rolle. Sie sind der Ort, an dem sich alles um die neuesten Entwicklungen und Innovationen aus einzelnen Industrien dreht. Hier treffen wegweisende Ideen auf zukunftsweisende Technologien, die den Fortschritt in den jeweiligen Branchen – und auch unserer Gesellschaft – vorantreiben. Doch Messen sind mehr als das Schaufenster für Produkte und Dienstleistungen. Sie sind auch Eckpfeiler internationaler Handelsbeziehungen. Der Dialog auf Messen trägt maßgeblich dazu bei, gemeinsam Antworten auf komplexe Fragestellungen zu finden. Der Wissens- und Erfahrungsaustausch schafft die Basis für nachhaltige Kooperationen über Ländergrenzen hinweg. Dies stärkt die internationalen Lieferketten und wirkt sich auch direkt auf die technologische Souveränität eines Landes aus.

Die Messe München feiert 2024 ihr 60-jähriges Bestehen. Als Veranstalterin von 80 Fachmessen weltweit, darunter

elf Weltleitmessen, spielt sie eine zentrale Rolle in der internationalen Handelslandschaft. Das Portfolio umfasst Fachmessen für Investitions- und Konsumgüter ebenso wie für neue Technologien. Zusammen mit unseren Tochtergesellschaften organisieren wir Fachmessen in China, Indien, Brasilien, Südafrika, Türkei, Singapur, Vietnam, Hongkong, Thailand und den USA. Seit 1973 zählt dazu die LASER World of PHOTONICS, die Weltleitmesse der internationalen Laser- und Photonikindustrie. Mit der LASER World of PHOTONICS INDIA und LASER World of PHOTONICS CHINA haben wir in global wachsende Märkte expandiert und tragen damit den Anforderungen der Branche Rechnung. Unser langjähriger Erfolg der Messe München zeigt, dass wir Plattformen schaffen, die nicht nur Unternehmen, sondern auch Nationen zusammenführen.



DR. REINHARD PFEIFFER

Geschäftsführer / CEO
Messe München GmbH



Messe München

Executive Summary



Ausgangssituation

Die Photonikindustrie blieb von den massiven Lieferkettenproblemen in den vergangenen zwei Jahren nicht verschont. 80 % der Teilnehmer einer europäischen Umfrage von Photonics21 berichteten Ende 2022 von großen Problemen in der Lieferkette. Bei fast 90 % war die Lieferfähigkeit eingeschränkt, vor allem aufgrund von Materialengpässen. Es fehlten Mikrochips, photonische Halbleiterbauteile, optische Komponenten wie Glasfasern, optische Linsen, Spiegel, Filter oder LEDs sowie Rohstoffe und Ausrüstung. 53 % der Unternehmen gaben an, dass sie in hohem Maße auf Lieferungen aus China angewiesen sind. 65 % berichteten, dass kritische Güter und Materialien, die für die Produktion benötigt werden, in Europa nicht verfügbar sind. Eine vergleichbare Situation war und ist in Deutschland zu beobachten. Ausgehend von einer SPECTARIS-Umfrage unter deutschen Photonikherstellern im Sommer 2023 stammen durchschnittlich etwa 32 % der für die Produktion bezogenen Waren aus dem Inland, 23 % aus dem europäischen Ausland und 45 % aus dem außereuropäischen Ausland.

Ein Drittel davon entfällt auf China, eines der drei von den Teilnehmern im Rahmen der Befragung genannten TOP-Herkunftsländer außerhalb der EU, aus denen besonders kritische Waren für die Produktion bezogen werden, 14 % entfallen auf Südkorea, 7 % auf Taiwan. Die Umfrageergebnisse zeigen weiter, dass die Unternehmen insbesondere in den Bereichen Mikrochips und elektronische Komponenten, optische Komponenten und Baugruppen, bei speziell für die Photonik relevanten Rohmaterialien (z. B. Poliermittel, Seltene Erden, hochreine Metalle, IR-Materialien), sowie bei Photonic Integrated Circuit (PICs) eine sehr geringe Autonomie aufweisen. Gleichzeitig wird die Relevanz der betroffenen Rohstoffe, Komponenten oder Systeme für das eigene Unternehmen in fast allen Feldern als hoch oder sogar sehr hoch eingestuft. Grund genug, sich intensiver mit dem Thema Strategische Souveränität, das zunehmend die politische Agenda in Europa und Deutschland bestimmt, sowie mit möglichen Handlungsoptionen zur Erhöhung dieser Souveränität auseinanderzusetzen.

Begriffsbestimmung

Eine einheitliche und abschließende Definition oder Verwendung von „technologischer“ oder „strategischer Souveränität“ oder „strategischer Autonomie“ gibt es nicht. Im Rahmen dieser Publikation erfolgt daher eine Begriffsbestimmung, um ein gemeinsames Verständnis zu erlangen. Demnach sind die Begriffe dahingehend wesensgleich, dass sie mit „Autonomie“ und „Souveränität“ aktive, auf Handlungsfähigkeit hin orientierte Konzepte ins Zentrum stellen, anstatt bereits die Abhängigkeit bzw. Zusammenarbeit mit ausländischen Akteuren an sich als potenziell negativ zu werten. In dieser Publikation wird der auf europäischer Ebene benutzte Begriff der „strategischen Autonomie“ verwendet, der zu interpretieren ist als: „die Fähigkeit eines Staates oder eines Staatenverbundes, die für seine Wohlfahrt, Wettbewerbs- und Handlungsfähigkeit als entscheidend erachteten Technologien bereitzustellen und diese ohne einseitige strukturelle Abhängigkeit selbst zu entwickeln oder aus anderen Wirtschaftsräumen zu beziehen.“

Der Ansatz folgt nach Einschätzung des Gastautors Dr. Henning Kroll dem Gedanken, dass globale Austauschbeziehungen und Zulieferketten als unproblematisch zu betrachten sind, solange sich aus ihnen keine Einschränkung der nationalen bzw. branchenspezifischen Handlungs- und Entwicklungsfähigkeit ergibt. Der vielfach belegte Sinn internationaler Arbeitsteilung an sich wird nicht in Abrede gestellt. Zentral für die Bestimmung etwaiger Problemlagen sind daher vor allem drei Aspekte: die Konzentration aktueller Abhängigkeiten, das Ausfallrisiko der aktuell beteiligten Partner sowie ggf. bestehende Möglichkeiten zu ihrer Substitution. Erst wenn eine Abhängigkeit einseitig wird, wird sie potenziell problematisch, und erst wenn sich ein Partner als unmittelbar oder perspektivisch unzuverlässig erweist, ohne dass auf andere Partner ausgewichen werden kann, hat sich eine latente Verwundbarkeit zu einem konkreten Problem entwickelt.

Grad der strategischen Autonomie der deutschen Photonik

Auch wenn die eingangs skizzierten Herausforderungen die Verwundbarkeit der deutschen Photonik aufzeigen, gibt es gute Nachrichten: Die deutliche Mehrheit der Teilnehmer der SPECTARIS-Befragung schätzt den Grad der strategischen Autonomie der deutschen Photonik insgesamt als „mittel“ (47 %) oder sogar „hoch“ (30 %) ein. Im Ländervergleich bewerten 37 % der Befragten die strategische Autonomie der deutschen Photonik als „vergleichbar“ und weitere 37 % als „höher“ oder sogar „viel höher“. Als Länder mit einem überdurchschnittlichen Maß an strategischer Eigenständigkeit werden vor allem die USA und China genannt. Stärken der Photonik in Deutschland sehen die Teilnehmer vor allem in der Zugehörigkeit zur EU als ein größeres Ökosystem, in der Qualität der Forschung, Entwicklung sowie der Ausbildung und den Kooperationen zwischen Unternehmen und Wissenschaftlern sowie zwischen Unternehmen innerhalb Deutschlands und der EU. Auch das

Know-how der Branche, deren Diversifizierung und hohe Anzahl von KMUs werden als Stärken gewertet. Im Branchenvergleich innerhalb Deutschlands bescheinigt Dr. Kroll der Photonik eine gute Ausgangsposition bei Innovationen: Die Abhängigkeit im Technologiebereich, gemessen als Anteil der Patente unter Beteiligung mindestens einer deutschen Erfinderin, die ganz oder unter anderem von einer ausländischen Rechtsperson angemeldet werden, liegt mit etwa 10 % unter dem Durchschnittswert. Nur der Bereich der erneuerbaren Energien weist ein günstigeres Verhältnis aus. Bei der Abhängigkeit im materiellen Bereich hingegen, gemessen als Verhältnis des Imports zu inländischer Produktion, liegt die Photonik über dem Branchendurchschnitt. Technologiefelder wie Industrie 4.0 / Robotik, Mobilität oder Biotechnologie schneiden besser ab.



Gefahren geringer strategischer Autonomie

Es gibt in der Photonik spezifische Bereiche, in denen die deutschen Photonikhersteller eine sehr geringe Autonomie aufweisen und deren Bedeutung gleichzeitig als hoch oder sogar sehr hoch eingestuft werden (s.o.). Dazu zählen optische Komponenten und Baugruppen, Rohmaterialien, Laserkristalle und PICs Packaging. Einseitige Abhängigkeiten, aus Gründen der Verfügbarkeit oder aus Preisgründen, führen in diesen Feldern zu einem hohen Risiko und möglichen Langzeitfolgen. Das Risiko wurde bei der Begriffsbestimmung benannt: „...wenn eine Abhängigkeit einseitig wird, wird sie potenziell problematisch, und erst wenn sich ein Partner als unmittelbar oder perspektivisch unzuverlässig erweist, ohne dass auf andere Partner ausgewichen werden kann, hat sich eine latente Verwundbarkeit zu einem konkreten Problem entwickelt.“

Einerseits können sich für die Unternehmen im Falle einer konkreten Beeinträchtigung der Lieferketten unmittelbar drastische Konsequenzen ergeben: erhöhte Finanzierungskosten für Vorratshaltung, fehlende Lieferfähigkeit, Einschränkung der Entwicklungstätigkeit, Verteuerung der Produkte, Verlust der Wettbewerbsfähigkeit

und damit der Kunden, Einstellung von Produktlinien, Zusammenbruch des Geschäftsmodells, Existenzgefährdung des Unternehmens.

Daneben kann es massive Auswirkungen auf Anwendungsbereiche der Photonik geben. Beispielsweise könnte es zu einer Beeinträchtigung der medizinischen Forschung oder zu Versorgungslücken im Gesundheitswesen kommen. Oder zu Engpässen in der Analysetechnik und damit in der Wasseranalytik, wodurch die Trinkwasseraufbereitung gefährdet würde. Auch Auswirkungen auf die Produktentwicklung im Bereich Elektromobilität werden für möglich gehalten (z. B. Elektronen- und Röntgenmikroskope zur Entwicklung von effizienten Batteriespeichern). Ohne die Photonik könnte auch die automatisierte Gepäckidentifizierung an allen größeren Flughäfen beeinträchtigt werden. Ein Stillstand in großen, von automatisierten Prozessen gekennzeichneten Produktionsanlagen wird für möglich gehalten (z. B. ganzer Fertigungshallen in der Automobilfertigung). Auch könnte die Lieferfähigkeit von essenziellen Systemen für automatisch laufende Entstickungs- und Entgiftungsanlagen in Großfeuerungsanlagen (z. B. Kraftwerke) und der Chemischen Industrie gefährdet sein.

Unabhängig von einer konkreten Beeinträchtigung gibt es aber eine weitere mögliche Konsequenz eines niedrigen Autonomielevels: der Verlust von Prozesskompetenzen, Produktions-Know-how und damit von Wettbewerbsfähigkeit. Kroll erläutert diesen Zusammenhang wie folgt: „Bei komplexeren Produkten, die spezifischer Rahmenbedingungen bedürfen und zu deren Herstellung Systemzulieferer selbst erhebliche Prozesskompetenzen bzw. sehr spezifisches Produktions-Know-how vorhalten müssen, liegen die Dinge anders. Zulieferer stellen in diesem Zusammenhang nicht allein materielle Güter bereit, sondern haben im Rahmen eines langfristigen Prozesses zentrale Kompetenzen aufgebaut, ohne die spezifische Wertschöpfungsprozesse nicht

realisierbar wären und über die auch die Endproduzenten selbst nicht automatisch verfügen. Diese Kompetenzen sind nicht einfach ersetzbar und eine Diversifizierung damit deutlich erschwert. Eine Rückverlagerung könnte sich anbieten, da es u. U. in jedem Fall im Interesse der Endproduzenten liegt, entsprechende Prozesskompetenzen wieder vor Ort selbst aufzubauen bzw. zumindest im näheren Umfeld verfügbar zu machen. Die Konzentration auf lediglich einen oder sehr wenige Anbieter in diesem Bereich wird somit insbesondere dann problematisch, wenn diese den Maßgaben einer potenziell unfreundlich gesinnten Regierung unterliegen.“

Handlungsoptionen

Aufgrund der genannten Risiken besteht Handlungsbedarf. Im Rahmen dieser Publikation wird ein Maßnahmenbündel präsentiert, das vor allem auf eine Stärkung der Photonik in Deutschland und Europa abzielt. Die Fähigkeit eines Staates oder eines Staatenbundes, „die Technologien bereitzustellen, die er als entscheidend für sein Wohlergehen und seine Wettbewerbsfähigkeit ansieht“, setzt auch nach Einschätzung von TEMATYS eine starke lokale Industrie voraus. Photonics21 schlägt dazu, ausgehend von den Befragungsergebnissen der zitierten Umfrage, folgende Maßnahmen zur Stärkung der strategischen Autonomie der europäischen Photonikindustrie vor:

- **Upstream:** Umsetzung einer europäischen Strategie für kritische photonische Materialien und Komponenten für Schlüsselindustrien und -technologien, um eine photonische Lieferkette in Europa sicherzustellen.
- **Upstream:** Anreize für Forschung, Entwicklung und Prototyping von kritischen Photonik-Komponenten in Europa für strategische industrielle Lieferketten.
- **Aufbau von Partnerschaften** mit „gleichgesinnten“ Ländern weltweit, um vertrauenswürdige und sichere Photonik-Lieferketten zu schaffen.
- **Downstream:** Aufbau strategischer FuE-Allianzen mit strategischen Schlüsselindustrien unter Nutzung einschlägiger EU-Initiativen zur Sicherung der Versorgung mit fortgeschrittenen Photonik-Komponenten und -Systemen in folgenden Bereichen:
 - Hochleistungsrechner und Quantencomputer
 - Erweiterte und virtuelle Realität
 - Europäisches Metaversum
 - Digitale Infrastruktur
 - Industrie 5.0 und Fertigung
 - Automobil und Mobilität
 - Raumfahrt und Verteidigung
 - Erneuerbare Energien
 - Gesundheit
 - Landwirtschaft und Ernährung



TEMATYS ergänzt im Rahmen dieser Publikation weitere Handlungsoptionen:

- Schaffung eines widerstandsfähigen Business-Ökosystems für Photonikunternehmen
- Stärkung der strategischen Souveränität auf der Ebene der Rohstoffe
- Stärkung der strategischen Souveränität auf der Ebene der hergestellten Komponenten

Darunter finden sich Lösungsansätze, welche die Unternehmen selbst vorantreiben können, etwa die Diversifizierung von Lieferketten oder die Bildung von Einkaufskooperationen. Andererseits gibt es Vorschläge, die an die Politik adressiert sind:

Zur Schaffung eines widerstandsfähigen Business-Ökosystems für Photonikunternehmen zählen etwa faire Handelsregeln, Standardisierung, eine lokale finanzielle Unterstützung, Maßnahmen zur Etablierung einer vitalen Kapitulandschaft oder die Unterstützung europäischer Unternehmen bei der Übernahme ausländischer Unternehmen. Dazu zählen aber auch Maßnahmen zur Aufrechterhaltung einer wettbewerbsfähigen Forschung & Entwicklung:

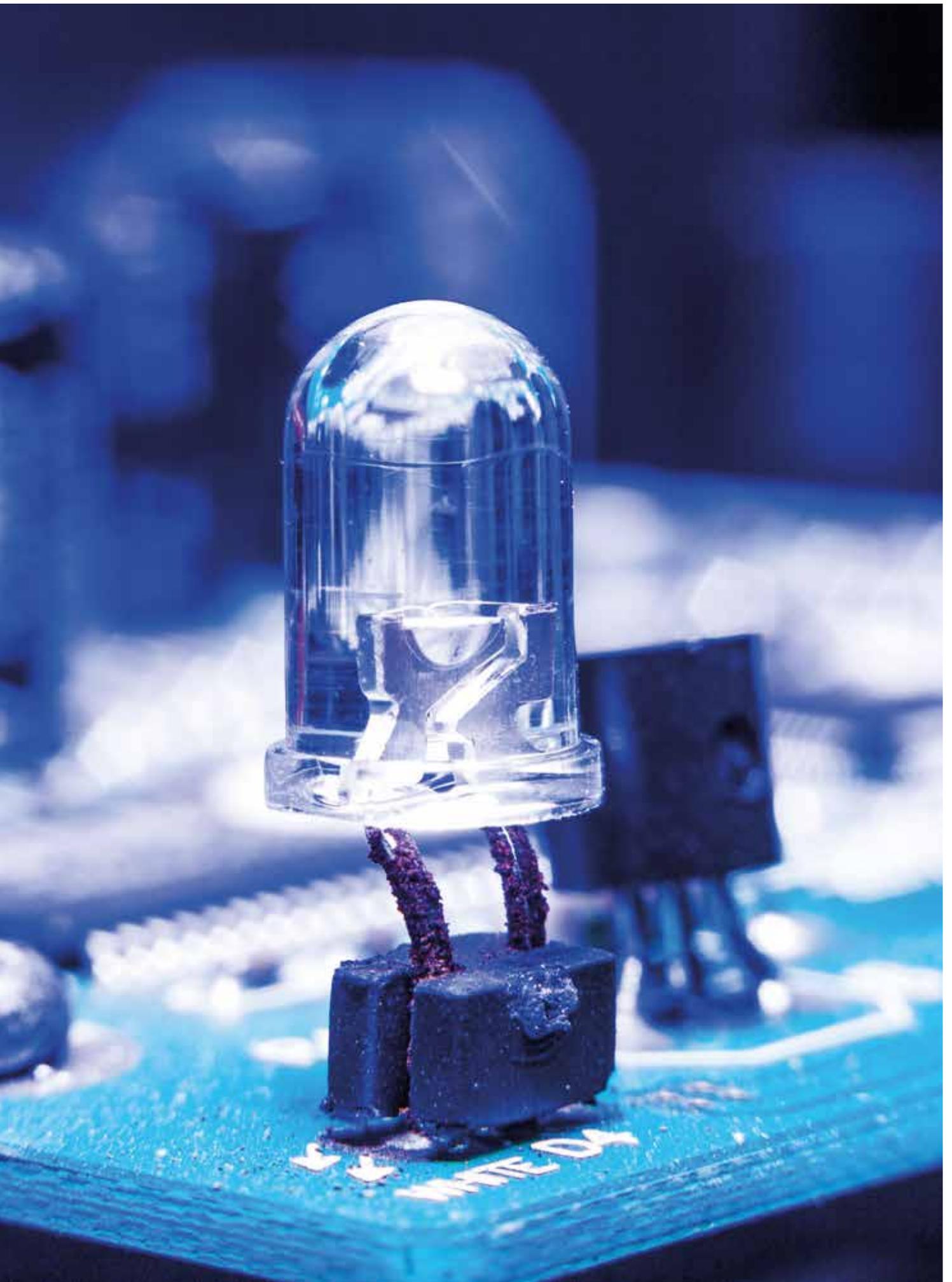
- Förderung der Photonikforschung in Europa
- Klärung der Debatte: „Sollte die Photonik mit der Mikroelektronik zusammengelegt werden?“
- Überzeugung anderer europäischer Länder, Photonik als wichtige Spezialisierung einzuführen
- KETs (key enabling technologies) (insbesondere Photonik) in das nächste Rahmenprogramm (wie H2020) zurückbringen
- Ein IPCEI (Important Project of Common European Interest) für Photonik aufbauen

Zu diesem Maßnahmenbündel zur Stärkung der Forschung & Entwicklung passt auch der von

TEMATYS und SPECTARIS vorgeschlagene Aufbau einer „Forschungsfabrik Photonik“. Mithilfe der Forschungsfabrik sollen trotz zunehmender Kapitalintensität im Hightech-Sektor Innovationen aus Forschung und Entwicklung der Photonik in Deutschland weiterhin schnell zu Prototypen und schließlich zu erfolgreichen Serienprodukten entwickelt werden, indem die technologischen Ressourcen des Landes durch Kooperationen im vorwettbewerblichen Bereich optimal genutzt werden. Forschende KMU sollen in die Lage versetzt werden, teure Investitionen effizient zu nutzen. Dazu benötigen sie starke Partner und einen direkten Zugang zu vorgelagerten Schlüsseltechnologien. Noch fehlen jedoch die finanziellen und rechtlichen Rahmenbedingungen für konsortiale Kooperationen und ausreichend budgetierte Förderprogramme. Ein Beispiel für ein solches Programm ist etwa das US-Förderprogramm „Manufacturing USA“.

Mit Blick auf die Stärkung der strategischen Autonomie auf der Ebene von photonikspezifischen Rohstoffen schlägt TEMATYS die staatliche Unterstützung bei der Entwicklung von Recyclingkanälen vor.

Ein gutes Beispiel, wie strategische Autonomie zurückgewonnen werden kann, schildert Prof. Schröder, Direktor des Leibniz-Institut für Kristallzüchtung (IKZs), in einem Interview in dieser Publikation. Geplant ist der Aufbau eines Zentrums für nichtlineare optische Kristalle mittels tatkräftiger Unterstützung durch Land und Bund. Im Jahr 2023 wurde dazu ein großes Forschungsprogramm namens „Kristalltechnologie zur technologischen Souveränität“ ins Leben gerufen. Die Förderung ermöglicht es, dauerhaft in die Kleinserien-Prototypenentwicklung ausgewählter Kristalle einzusteigen und auch hochpräzise Kristallkomponenten direkt an Anwendungstechnologen zu übergeben. Die Erkenntnisse aus der Anwendung wiederum sollen direkt in die Verbesserung der Materialeigenschaften einfließen.





Strategische Autonomie der Photonik: Definition, Situationsanalyse, Handlungsoptionen

Einleitung

In den 90er Jahren und zu Beginn des neuen Jahrtausends wies die Wirtschaft eine gewisse Stabilität auf und wurde von einer massiven Globalisierung angetrieben. Die Gewissheiten der Vergangenheit sind in den letzten 15 Jahren nach und nach ins Wanken geraten. Langfristige Trends haben die Entwicklung in einer nie zuvor beobachteten Geschwindigkeit verändert: die sichtbaren Folgen des Klimawandels, der Aufstieg Chinas zur Supermacht, die Überalterung vieler OECD-Länder, zunehmende Migrationsströme¹, die massive Digitalisierung der Gesellschaft, verbunden mit der oligopolistischen Dominanz großer digitaler Unternehmen, oder das Aufkommen großer technologischer Umbrüche wie der künstlichen Intelligenz. Diese Trends waren Auslöser oder Folgen von Krisen, deren Auswirkungen gerade durch die Globalisierung hervorgerufen wurden: die Finanzkrise 2007-2008, der ISIS-Krieg in Syrien und im

Irak, COVID-19 und die folgenden Lockdowns, die russische Invasion in der Ukraine und ihre Folgen für den Öl- und Gasmarkt, die Inflation in Europa, um nur einige zu nennen.

Seit einigen Jahren haben Europa und EU-Mitgliedstaaten wie Deutschland die Notwendigkeit erkannt, ihre Autonomie und Anpassungsfähigkeit an unerwartete Ereignisse/Krisen, die Handelswege und Verträge unterbrechen oder verändern können, zu stärken.

2023 hat SPECTARIS auf Anregung seiner Mitgliedsunternehmen eine Untersuchung zur Strategischen Souveränität der deutschen Photonikindustrie bei TEMATYS in Auftrag gegeben. Dieser Bericht fasst die Ergebnisse dieser Untersuchung zusammen.

Was bedeutet „strategische Souveränität“ für die Photonikindustrie?

Souveränität auf staatlicher Ebene

Strategische Souveränität gewinnt in Europa zunehmend an Bedeutung, aber was bedeutet dieses Konzept? In der Europäischen Union bezieht sich „strategische Autonomie“ (oder „offene strategische Autonomie“) auf die Fähigkeit der EU, in strategisch wichtigen Politikbereichen unabhängig zu handeln, d. h. nicht von anderen Ländern abhängig zu sein. Dies kann von der Verteidigungspolitik über die Wirtschaft bis hin zur Wahrung demokratischer Werte² reichen. In Deutschland wird eher der Begriff „strategische Souveränität“ verwendet, aber für viele Experten sind „strategische Autonomie“ und „strategische Souveränität“ gleichbedeutend und austauschbar³.

Strategische Souveränität ist eindeutig ein Konzept mit mehreren Parametern. Heutzutage ist sie jedoch eng mit „technologischer Souveränität“ verbunden:

„Die Fähigkeit eines Staates oder eines Staatenverbundes, die für seine Wohlfahrt, Wettbewerbs- und Handlungsfähigkeit als entscheidend erachteten Technologien bereitzustellen und diese ohne einseitige strukturelle Abhängigkeit selbst zu entwickeln oder aus anderen Wirtschaftsräumen zu beziehen.“

„Das Konzept betont die Kombination aus verlässlichem Zugang zu Technologie oder relevanten Komponenten, die durch die eigene Bereitstellung (eigene Kapazitäten) und durch Beziehungen zu anderen Wirtschaftsregionen (externe Netzwerke) gesichert werden können⁴.“

Und die zitierten Papiere liefern weitere Erklärungen für ihre Vision dessen, was sich hinter „Souveränität“ für Europa und die Mitgliedstaaten verbirgt.

Die „Fähigkeit zur Versorgung“ ist etwas anderes als Autarkie oder vollständige Selbstversorgung. Es ist die Fähigkeit, den Zugang zu wichtigen Gütern oder Dienstleistungen auch im Falle einer unerwarteten Krise zu sichern.

Mehr Souveränität ist nicht das Ende der Globalisierung. Es ist die Anpassung an ihre Auswüchse.

Eine Politik, die auf eine größere Souveränität abzielt, richtet sich nicht gegen einen oder mehrere äußere Staaten.

Souveränität ist ein dynamischer Ansatz, bei dem es um Widerstandsfähigkeit und die Fähigkeit zur Anpassung an Veränderungen oder Gefahren geht:

- Krisen sind immer unerwartet
- Lösungen können nicht erfunden werden, bevor die Krise eintritt...
- ..., aber die Folgen einer Krise lassen sich vorhersehen, indem Schwachstellen und Abhängigkeiten in den Lieferketten ermittelt werden.
- Der Aufbau von Souveränität oder Resilienz hat seinen Preis.

Souveränität auf der Ebene eines Industriesektors wie der Photonik

Die Fähigkeit eines Staates oder eines Staatenbundes, „die Technologien bereitzustellen, die er als entscheidend für sein Wohlergehen und seine Wettbewerbsfähigkeit ansieht“, setzt eine starke lokale Industrie voraus. Und für einen Industriesektor besteht die Souveränität aus **sechs Säulen**:

Wenn 1 € in F&E investiert wird, sind 10 € für die Reifung und 100 € für den Aufbau einer Produktionsanlage, eines Herstellungsverfahrens und einer operativen Vertriebsorganisation erforderlich, die das Produkt weltweit vermarkten kann. Diese Zahlen variieren natürlich für jede Technologie und jedes Produkt, aber sie sind realistische Anhaltspunkte.

1

Die Fähigkeit, qualifizierte, gut ausgebildete und geschulte Menschen einzustellen.

Es geht um die Notwendigkeit eines angemessenen lokalen Bildungs- und Ausbildungssystems, das den lokalen Unternehmen genügend und geeignete Bewerber zur Verfügung stellt. Es ist die Lebensqualität in einem Land, die Talente von außerhalb anziehen kann. Und langfristig die Anpassungsfähigkeit an den demografischen Wandel.

2

Nutzung moderner Infrastrukturen.

Kein Unternehmen kann ohne ein günstiges Ökosystem von Infrastrukturen wettbewerbsfähig sein: Telekommunikation, Dienstleistungen, Sicherheit (einschließlich Cyber-Sicherheit), Verwaltung, Verkehr und Logistik, lokale Einrichtungen und Infrastrukturen.

3

Schutz durch Normen, faire Vorschriften und faire öffentliche Unterstützung.

Schutz durch Normen, faire Vorschriften und faire öffentliche Unterstützung. Zwei Beispiele: Es ist bekannt, dass Dumping die europäische Photovoltaik-Industrie so stark geschwächt hat, dass sie fast ausgestorben ist; faire Regulierung und faire öffentliche Unterstützung. Zweites Beispiel: Künftige Apple-iPhones werden über USB-C angeschlossen, um die neuen Vorschriften der Europäischen Union zu erfüllen. Die Verbraucher werden jedes beliebige Smartphone-Ladegerät für ihr Telefon verwenden können; fairer Standard und faire Regulierung.

4

Zugang zu modernstem Spitzenwissen und Know-how.

Hier geht es um den Zugang zu drei Gemeinschaften:

- Akademiker und Forschungslaboratorien, die hochmodernes Wissen produzieren
- Ein industrielles Ökosystem aus wettbewerbsfähigen Zulieferern, da die Entwicklung eines photonischen Systems die Kombination vieler Kenntnisse und Fähigkeiten erfordert, die intern kaum beherrscht werden können: Photonik, Materialien, Elektronik, Software, Mensch-Maschine-Schnittstelle, Mechanik usw.
- Endnutzer, deren Erfahrung für die Spezifizierung des Marktbedarfs unerlässlich ist.

5

Von funktionierenden Lieferketten profitieren.

Dieser Pfeiler steht im Zusammenhang mit den beiden letzten Punkten von Pfeiler 4. Während es in Säule 4 um den Zugang zu Wissen und Know-how, also zu Menschen geht, geht es hier um den Zugang zu Gütern und Dienstleistungen, sei es im Vorfeld bei den Zulieferern oder im Nachhinein beim Zugang zu den Kunden unter fairen Wettbewerbsregeln.

Welche Kriterien machen die Abhängigkeit von der Lieferung eines Bauteils / Materials zu einem Risiko?

Es gibt drei Kriterien für die Analyse der Abhängigkeit von der Lieferung einer Komponente/eines Materials:

- Die Bedeutung des lokal zu produzierenden Gutes. Für einen Staat oder einen Staatenbund steht die lokale Wirtschaft oder Sicherheit auf dem Spiel, die von dem Gut abhängt, in das das zu liefernde Bauteil/Material integriert ist. Für das Unternehmen, das das Gut herstellt, geht es um den Anteil dieses Gutes an den Einnahmen und um die strategische Position des Unternehmens.
- Die Zuverlässigkeit der Quelle(n). Dies muss auf verschiedenen Ebenen berücksichtigt werden: Staat, Lieferanten und Wettbewerb. Viele Parameter können die Zuverlässigkeit der Quelle beeinflussen: das Herkunftsland und seine Handelspolitik, die Größe und Stärke des Lieferanten, die Kapazität des Wettbewerbs usw.
- Zugänglichkeit einer alternativen Bezugsquelle. Hier wird bewertet, ob es machbar ist, eine neue Bezugsquelle zu finden oder eine neue Bezugsquelle aufzubauen, und wie viel Zeit und Geld es kosten würde, eine neue Bezugsquelle zu finden.

6

Zugang zu Finanzmitteln und Investitionen.

Dieser Pfeiler ist spezifischer für die Industrie, insbesondere für einen Hochtechnologiebereich wie die Photonik. In einem solchen Sektor erfordert Innovation Investitionen in drei Phasen:

- Forschung und Entwicklung zur Schaffung neuer Konzepte und Technologien auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse
- Phase der technologischen Reife, in der Technologieanbieter und frühe Anwender zusammenarbeiten, um das Potenzial neu entwickelter Technologien für neue Anwendungen zu erkunden
- Phase der Industrialisierung: Wenn ein Prototyp seinen Mehrwert bewiesen hat und zu einem Produkt werden kann, werden in der Phase der Industrialisierung die Produktionsprozesse entwickelt und Lieferanten gesucht und validiert, um die Produktion und den Verkauf zu ermöglichen.

Ein Staat oder Staatenbund, der souverän sein möchte, muss vor Ort über ein Netz von Investoren verfügen, die in die von ihm als kritisch angesehenen Technologien investieren können. Andernfalls werden die lokalen Start-ups nicht in der Lage sein, zu wachsen, das Know-how für die Industrialisierung der Produkte zu entwickeln und den Wert des neuen Marktes zu erfassen. Mit anderen Worten: Das Land wird in ein hochqualifiziertes Bildungs- und Forschungssystem investieren, aber die vor Ort ausgebildeten Menschen werden abwandern, um Arbeitsplätze zu suchen, die in ihrer eigenen Region nicht verfügbar sind.

Von den sechs Säulen befassen sich die Säulen 1, 2 und 3 mit dem allgemeinen Ökosystem eines geografischen Gebiets. Unternehmen eines Industriesektors wie der Photonik haben mehr Hebel, um auf die Säulen 4, 5 und 6 einzuwirken: Zugang zu modernster Wissenschaft, Nutzung von funktionierenden Lieferketten und Zugang zu Finanzmitteln. Aus diesem Grund konzentriert sich dieser Bericht auf diese drei Säulen. Für Industrieunternehmen befassen

sich die Säule 4 „Zugang zu modernstem Wissen und Know-how“ und die Säule 6 „Zugang zu Finanzmitteln und Investitionen“ mit langfristigen Fragen und Herausforderungen. Säule 5 „Nutzen von funktionierenden Lieferketten“ ist dagegen ein alltägliches Anliegen.

Nach einer Analyse der strategischen Souveränität der deutschen Photonikindustrie werden einige Lösungen vorgeschlagen, um diese zu stärken.

Die Souveränität der Photonikindustrie: ein großer Gewinn für die Souveränität Deutschlands und der Europäischen Union

Photonik ist entscheidend für die Gegenwart, aber noch wichtiger für die Zukunft

Photonik ist die Wissenschaft von der Nutzung des Lichts zum Wohle der Menschheit. Sie umfasst Technologien zur Erzeugung, Detektion, Messung, Übertragung und Manipulation von Licht im gesamten elektromagnetischen Spektrum, von Infrarotlicht über sichtbares Licht bis hin zu Röntgenstrahlung. Auch wenn es vielen nicht bewusst ist,

spielt die Photonik eine entscheidende Rolle bei der Erfüllung grundlegender Bedürfnisse des täglichen Lebens und bietet ein breites Spektrum an Anwendungen.

Gängige Beispiele für photonische Anwendungen sind Beleuchtung, Brillen, Displays, Kameras, Mikroskope, Glasfasern, Röntgenscanner und Laser. In der Medizin spielt die Photonik eine wichtige Rolle in verschiedenen Geräten und Anlagen, die zur Diagnose und Behandlung von Krankheiten





eingesetzt werden. Laser-Strichcode-Scanner in Einzelhandelsgeschäften sind ein Beispiel dafür, wie die Photonik unser Leben durch Geräte erleichtert, die so allgegenwärtig geworden sind, dass wir sie oft übersehen.

Neben diesen bekannten Anwendungen hat die Photonik das Potenzial, unser Wissen zu erweitern und verschiedene Bereiche zu verändern. Licht ist schnell, präzise und sauber – drei einzigartige und äußerst nützliche Eigenschaften, die die Photonik zu einem wichtigen Mittel machen, um die Grenzen des menschlichen Verständnisses zu erweitern. Die Beobachtung des Universums mit Teleskopen, die Licht aus Milliarden von Lichtjahren Entfernung einfangen, hat unser Verständnis des Universums vertieft.

Darüber hinaus ermöglicht die Photonik die Beobachtung großer Gebiete und revolutioniert damit Bereiche wie die Meteorologie, die Analyse des Klimawandels, die Messung des Meeresspiegels und die Bewertung der Auswirkungen von Waldbränden durch Satellitenaufnahmen. Forscher haben mit Hilfe der Photonik Hypothesen aus den 1980er Jahren in wissenschaftliche Beweise für die globale Erwärmung verwandelt.

Im 21. Jahrhundert steht die Photonik an der Spitze der digitalen Revolution. Immer mehr Rechenzentren setzen auf optische Verbindungen, die den Informationstransport zwischen Servern beschleunigen und gleichzeitig den Energieverbrauch drastisch senken. Auch die Quantenrevolution wäre ohne Photonik undenkbar. Sie hat bereits zu Durchbrüchen geführt wie lasergekühlte Atome für ultrastabile

Uhren, „Zwillingsphotonen“ für die ultrasichere Quantenkryptografie und die Entwicklung der mit Spannung erwarteten Quantencomputer. Darüber hinaus spielt die Photonik eine entscheidende Rolle bei der Dekarbonisierung der Energieversorgung durch den großflächigen Einsatz der Photovoltaik. Photonik, insbesondere Lasertechnologie, ist von entscheidender Bedeutung für die Konzepte von Kernfusionskraftwerken, die weltweit erforscht oder gebaut werden.

Die europäische Photonikforschung und -industrie ist wettbewerbsfähig, hat zahlreiche Neugründungen hervorgebracht und übertrifft viele andere Branchen. Obwohl es sich um einen High-Tech-Sektor handelt, der gut ausgebildete Arbeitskräfte erfordert, besteht er aus vielen Nischen mit relativ kleinen Produktionsmengen, was ihn für kleine und mittlere Unternehmen rentabel macht. Folglich hat die Photonik als einer der am stärksten technologisch geprägten Bereiche einen großen Bedarf an motivierten Technikern und Fachkräften, nicht nur an Doktoranden.

Investitionen in die Photonik kommen nicht nur Europa, sondern auch den Staaten und Regionen zugute. Sie bieten Lösungen für wichtige gesellschaftliche Herausforderungen, unterstützen die Reindustrialisierung Europas und schaffen zahlreiche Arbeitsplätze. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Photonik ein vielseitiges und leistungsfähiges Gebiet ist, das weit über alltägliche Anwendungen hinausgeht und zu wissenschaftlichem Fortschritt, technologischem Fortschritt und Wirtschaftswachstum beiträgt.

Strategische Autonomie der deutschen Photonik



Von Juni bis August 2023 wurde eine Umfrage unter deutschen Photonikunternehmen (SPECTARIS-Mitglieder und Nicht-Mitglieder) durchgeführt. Rund 50 Unternehmen haben an der Umfrage teilgenommen. Ergänzend

dazu wurden Expertengespräche mit verschiedenen Branchenvertretern geführt, um die gewonnenen Ergebnisse zu vertiefen. Die Kernergebnisse der Befragung werden nachfolgend vorgestellt.

Grad der strategischen Autonomie der deutschen Photonikindustrie

Die Mehrheit (77%) der deutschen Photonikunternehmen schätzt die strategische Autonomie der deutschen Photonikindustrie als mittel oder hoch ein.

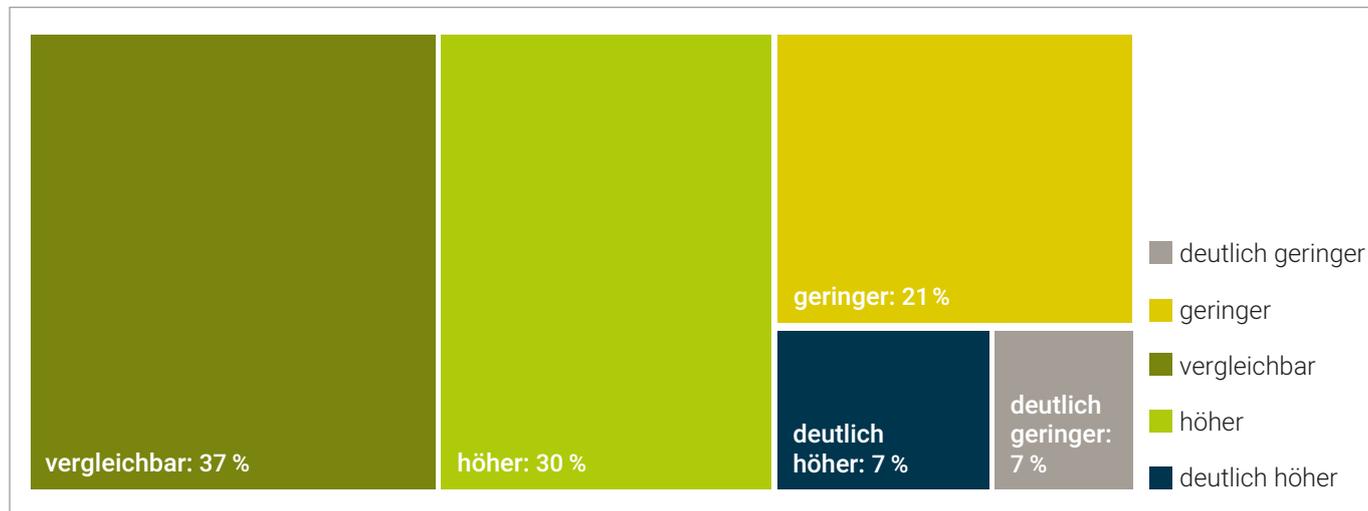
Grad der strategischen Souveränität der Photonik am Standort Deutschland (Einschätzung der Befragungsteilnehmer)



Quelle: SPECTARIS-Umfrage

Eine Mehrheit (67%) der deutschen Photonikunternehmen schätzt die strategische Autonomie der deutschen Photonikindustrie als vergleichbar oder höher als in anderen Ländern ein.

Strategische Autonomie der Photonik am Standort Deutschland im Vergleich zu anderen Ländern (Einschätzung der Befragungsteilnehmer)



Quelle: SPECTARIS-Umfrage

Stärken und Schwächen der deutschen Photonikindustrie im Hinblick auf ihre Souveränität

Folgende Punkte werden als Schwächen der Photonikindustrie in Deutschland gesehen, die sich negativ auf die strategische Souveränität auswirken:



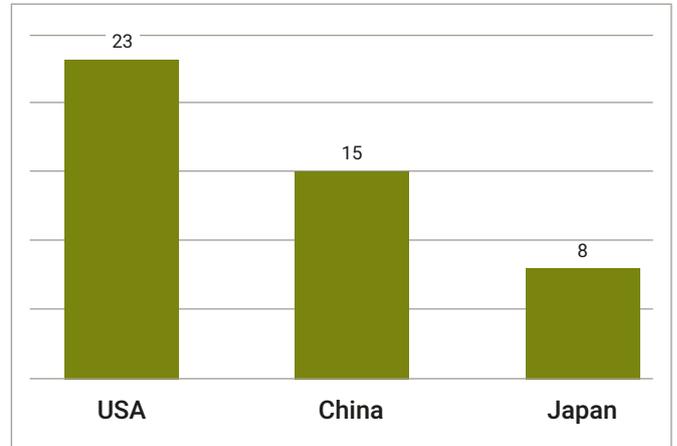
Anzahl der Teilnehmernennungen

Quelle: SPECTARIS-Umfrage

Die Teilnehmer sehen aber auch zahlreiche Stärken der deutschen Photonikindustrie im internationalen Vergleich:

- Die Zugehörigkeit zur EU, d. h. ein größeres Ökosystem
- die Qualität der Forschung und Entwicklung sowie der Ausbildung
- die Kooperationen zwischen Unternehmen und Wissenschaftlern sowie zwischen Unternehmen innerhalb Deutschlands und der EU
- das Know-how der Industrie
- die Diversifizierung der deutschen Photonikindustrie
- Anzahl der KMU

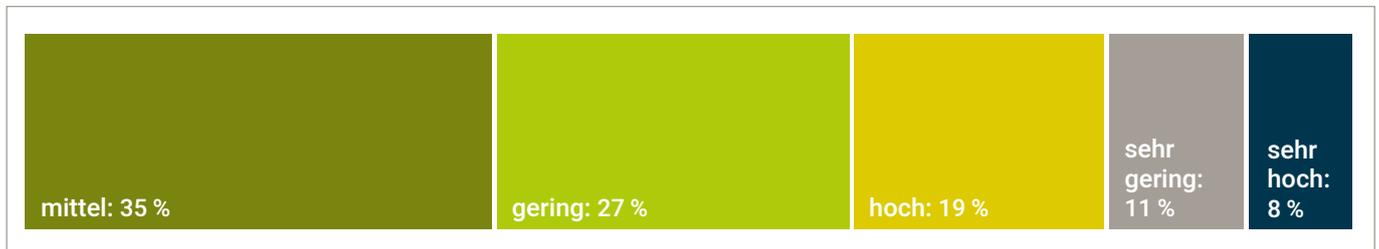
„Welches Land/welche Länder zeichnen sich Ihrer Meinung nach durch ein überdurchschnittliches Maß an strategischer Eigenständigkeit in der Photonik aus?“ (TOP3 / Anzahl der Nennungen)



Quelle: SPECTARIS-Umfrage

Analyse der vorgelagerten Lieferkette

„Wie würden Sie Ihren (unternehmensspezifischen) Grad an Autonomie bei der Beschaffung von Rohstoffen, Komponenten, Modulen, Subsystemen oder Fertigungstechnologien einschätzen?“



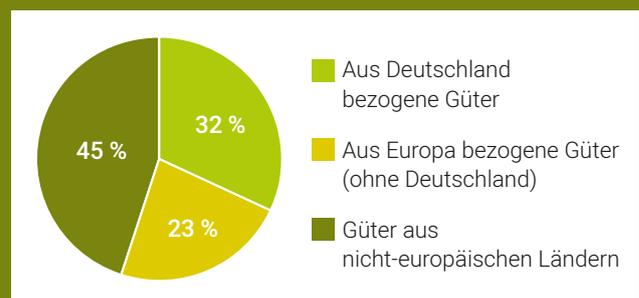
Quelle: SPECTARIS-Umfrage

Abhängigkeit von ausländischen Zulieferern:

Aufgrund der Vielfalt der Photonikindustrie ist die Abhängigkeit von ausländischen Zulieferern für jedes Unternehmen sehr spezifisch.

Es zeigt sich aber im Durchschnitt ein hoher Anteil des Warenbezugs aus nicht-europäischen Ländern von etwa 40 % (ungewichteter Mittelwert) bis 45 % (gewichtet).

„Wie hoch ist der Importanteil der Güter, die Sie für die Produktion beschaffen (Rohstoffe, Komponenten, Module, Subsysteme, Technologien für den Herstellungsprozess)?“



Werte nach Unternehmensgröße gewichtet
Quelle: SPECTARIS-Umfrage

Deutsche Photonikeinfuhren: Asien dominiert

Auch die nachfolgenden amtlichen Außenhandelsdaten zeigen die große Bedeutung der asiatischen Länder für die deutschen Einfuhren von Gütern der Photonik. Betrachtet man alle Güter der Photonik, stammten im 1. Halbjahr 2023 52% der Importe aus Asien, davon

29% aus China, 7% aus Japan und 4% aus Taiwan. Im Bereich optischer Komponenten ist der Anteil Asiens an den Importen mit knapp 34% geringer. Wichtigstes Ursprungsland sind die USA. Auch bei optischen Filtern liegen die USA auf Platz 1, rund 50% der Importe stammen aus den Vereinigten Staaten.

TOP-10 Ursprungsländer deutscher Photonikimporte insgesamt

	Ursprungsland	Anteil am Gesamtimport 1. Hj. 2023 in %
1	China	29 %
2	Vereinigte Staaten	10 %
3	Japan	7 %
4	Ungarn	6 %
5	Schweiz	4 %
6	Niederlande	4 %
7	Taiwan	4 %
8	Polen	4 %
9	Malaysia	3 %
10	Tschechien	2 %

Quelle: Statistisches Bundesamt, SPECTARIS

TOP-10 Ursprungsländer deutscher Importe von Linsen, Prismen, Spiegeln und anderen optischen Elementen

	Ursprungsland	Anteil am Gesamtimport 1. Hj. 2023 in %
1	Vereinigte Staaten	29 %
2	Schweiz	20 %
3	China	14 %
4	Niederlande	8 %
5	Kanada	6 %
6	Japan	5 %
7	Singapur	3 %
8	Vereinigtes Königreich	2 %
9	Frankreich	2 %
10	Ungarn	2 %

HS Code 90029000 (aus Stoffen aller Art, für Instrumente, Apparate und Geräte, gefasst)

Quelle: Statistisches Bundesamt, SPECTARIS

TOP-10 Ursprungsländer deutscher Importe von optischen Filtern

	Ursprungsland	Anteil am Gesamtimport 1. Hj. 2023 in %
1	Vereinigte Staaten	50 %
2	Japan	15 %
3	China	14 %
4	Schweiz	5 %
5	Vereinigtes Königreich	4 %
6	Niederlande	2 %
7	Malaysia	2 %
8	Taiwan	1 %
9	Tschechien	1 %
10	Dänemark	1 %

HS Code 900022000 (für Instrumente, Apparate und Geräte, gefasst)
Quelle: Statistisches Bundesamt, SPECTARIS

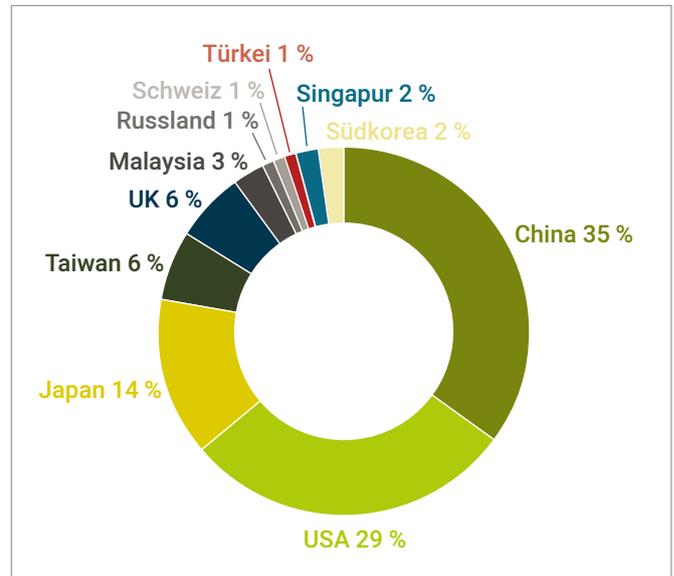
Kritische Bezugsquellen (außerhalb der EU)

Viele Länder wie z. B. CH, USA oder UK können als zuverlässig angesehen werden, auch wenn es Ausnahmen wie z. B. bei den USA im Bereich der strategischen Dual-Use-Photonik-Technologien (ITAR-Gesetzgebung) geben kann.

Russland fällt als Handelspartner aufgrund des Angriffskriegs in der Ukraine aus. Einige andere Länder wie China oder die Türkei sind anfällig dafür, den Handel in Zukunft als geopolitisches Druckmittel einzusetzen.

Hinweis: Die Prozentangaben berücksichtigen nicht die Kritikalität der Güter. Eine sehr kritische und spezifische Technologie, die nur von einem einzigen Land geliefert wird, wäre heute stark gefährdet.

Von den Umfrageteilnehmern als besonders relevant (kritische) eingeschätzte Lieferländer



Mehrfachnennungen möglich
Quelle: SPECTARIS-Umfrage

Art kritischer Komponenten und Materialien, die Gegenstand von Problemen in der Lieferkette sind

Komponenten / Materialien	von ... % der Teilnehmer genannt (Mehrfachnennungen möglich)
Mikrochips und elektronische Komponenten	37 %
Optische Komponenten und Baugruppen	23 %
Photonik spezifische Rohstoffe inkl. IR-Materialien	14 %
Laserkristalle	14 %
PICs	9 %

Weitere Nennungen: u. a. Glas (s. dazu Hinweis im nachfolgenden Text), IR-Komponenten, Software, optische Fasern, optische Filme, hochpräzise selbsteinstellende Montagetechniken

Quelle: SPECTARIS-Umfrage

Die Tabelle und die nachfolgende Detailübersicht zeigen die Antworten der befragten deutschen Photonikunternehmen zu ihren Problemen in der vorgelagerten Lieferkette. Bei einer Analyse der wichtigsten genannten Produkte zeigt sich folgendes Bild:

Mikrochips, elektronische Komponenten (von 37 % der Umfrageteilnehmer genannt): Es überrascht nicht, dass ein Großteil der Photonikunternehmen von Problemen im Zusammenhang mit mikroelektronischen Chips und elektronischen Komponenten berichtet. Das Problem wurde bereits in der Einleitung erläutert und ist kein spezifisches Problem

der Photonik. Die „Halbleiterkrise“ war/ist das Ergebnis einer Kombination von Faktoren wie COVID-19, Spannungen zwischen den USA und China, Unwetter in Texas und Taiwan, um nur einige zu nennen. Für eine solche komplexe Herausforderung gibt es keine einfache und schnelle Lösung. Sie wird auch von großen Unternehmen und KMUs nicht in gleicher Weise erlebt, da große Unternehmen aufgrund des höheren Auftragsvolumens oftmals einen besseren Verhandlungsspielraum haben. Als Lösungen wurden von den Befragungsteilnehmern genannt: Aufbau von Lagerbeständen, gemeinsamer Einkauf bis hin zur Entwicklung neuer Elektronik, die auf mehr verfügbaren Chips aufbaut. Glücklicherweise soll die Knappheit Ende 2023 oder 2024 beendet sein⁵.

Optische Komponenten und Baugruppen (von 23% der Umfrageteilnehmer genannt): Bei dieser Produktgruppe ist das Problem ein anderes. Es gibt keine generelle Knappheit wie bei den mikroelektronischen Chips, stattdessen geht es vor allem um Preise und Wettbewerbsfähigkeit. Die Preise sind in China niedriger, aber wegen der Entfernung, der Sprachbarriere usw. ist es sehr schwierig, die Lieferkette zu kontrollieren. Es gibt zwar Zulieferer in Europa, die im Falle einer schweren Krise vor Ort produzieren könnten. Aber die meisten dieser Unternehmen stellen in Europa nur hochwertige Produkte her. Wenn sie Produkte von geringer oder mittlerer Qualität vermarkten, haben sie entweder eine Produktionsstätte in Asien oder arbeiten mit Subunternehmern in der Region zusammen. Um die Auswirkungen der Probleme in der Lieferkette für optische Komponenten und Baugruppen zu begrenzen, haben die Unternehmen langfristige Partnerschaften mit bestehenden Zulieferern etabliert und die Suche nach neuen Zulieferern ausgeweitet.

Ein weiteres Problem, das von einigen Unternehmen erwähnt wird und von diesen als sehr kritisch angesehen wird, ist die Versorgung mit Berylliumspiegeln oder Galliumarsenidoptiken. Aufgrund der Toxizität der Materialien und der europäischen REACH-Verordnung über den Umgang mit Chemikalien ist es einfacher, solche Komponenten außerhalb Europas herzustellen, was die Versorgung allerdings komplexer macht.

Photonikspezifische Rohstoffe, z. B. Poliermittel, Seltene Erden, hochreine Metalle, IR-Materialien (von 14% der Teilnehmer genannt), Laserkristalle (von 14% der Teilnehmer genannt): Bei diesen Produktgruppen befinden sich die Lieferanten alle oder fast alle außerhalb Deutschlands oder Europas, oft in China. Einige Produkte werden sogar von

nur einem monopolistischen Anbieter hergestellt. Die einzige Möglichkeit, das sich aus dieser Situation ergebende Lieferisiko zu mindern, besteht darin, andere Bezugsquellen zu suchen oder das Entstehen neuer Lieferanten zu unterstützen, auch wenn letzteres eine eher langfristige Lösung ist.

Glas, z. B. Rohglas, poliertes Glas, farbiges Glas, optisches Glas: Einige Unternehmen haben auch von Engpässen bei optischen Glas berichtet, was überrascht, da Deutschland mit großen Unternehmen wie SCHOTT, HERAEUS, HELLMMA oder VITRON in diesem Sektor führend ist. Vermutlich geht es dabei um den Bezug von sehr spezifischem Glas (z. B. Saphir), um die Suche nach Billiglieferranten oder um Bereiche, die eher zu optischen Komponenten gezählt werden könnten.

Photonische integrierte Schaltungen (PICs), Packaging, Front-End-Produktion (von 9% der Umfrageteilnehmer genannt): Diese Familie ist mit der ersten verwandt, d. h. mit den mikroelektronischen Chips. Da photonische Geräte immer kleiner werden, müssen die darin eingebetteten photonischen Komponenten (passiv, aber auch aktiv) immer mehr miniaturisiert werden. Der spätere Abschnitt zur Bedeutung der Photonik für den Halbleiterbereich veranschaulicht diesen Trend sehr gut. Die Frage ist nun, wie solche Mikrokomponenten hergestellt werden können. Einige von ihnen, die PICs, werden mit denselben Verfahren hergestellt, die für mikroelektronische Chips verwendet werden. Aus physikalischen Gründen benötigen sie nicht die modernsten Photolithographie-Maschinen mit 3 nm-Knoten, die für Smartphone-Chips verwendet werden. Sie können auch mit älteren Maschinen hergestellt werden. Dennoch besteht die Herausforderung darin, einen Lieferanten zu finden, der das gewünschte Design herstellt, zumal das für viele photonische Chips benötigte Volumen oft kleiner ist als bei der Mikroelektronik. Einige andere Arten von photonischen Mikrokomponenten sind nicht waferbasiert. Hier besteht die Herausforderung darin, einen Hersteller zu finden, der in der Lage ist, sie zu produzieren, oder der sich bereit erklärt, ein neues Herstellungsverfahren zu entwickeln. Dies alles ist ein Ökosystem, das aufgebaut werden muss.

In der Umfrage wurden mehrere andere Güter genannt, bei denen es teilweise Lieferprobleme gibt: IR-Komponenten, Software, optische Fasern, optische Filme, hochpräzise selbsteinstellende Montagetechniken usw. In der nachfolgenden Detailübersicht sind dazu weitere Informationen zu finden.

**Von den Umfrageteilnehmern als kritisch eingestufte Komponenten und Materialien
(mehrfache Teilnehmernennungen, nach der Häufigkeit der Teilnehmernennungen absteigend sortiert)**

Rohstoffe, Bauteile, Module, Subsysteme oder Fertigungstechnologien mit geringer Autonomie	Beispiele	Relevanz der Teile/Rohstoffe für das Unternehmen	Genannte Gründe für Autonomie	Lösungsansätze der Unternehmen
Microchips, elektronische Komponenten (ohne PICs)	Halbleiter aller Art, Chips und Mikroelektronik, Mikrocontroller, Prozessoren, Steuerungselektronik, PCBs (Printed Circuit Boards) und FPGAs (Field Programmable Gate Arrays), schnelle Elektronik, Elektronikkomponenten, Schaltregler	hoch bis sehr hoch	<ul style="list-style-type: none"> kein deutscher Hersteller extrem lange Lieferzeiten, Verfügbarkeit ausschließlich aus Ostasien Herstellung meist in Asien, USA Europäische Lieferanten erst im Wiederaufbau über langen Zeitraum nicht verfügbar, ein Hersteller allgemeine Abhängigkeit von Asien (CN, TW); Engpässe alles in Hand der großen Player wenige Supplier, speziell in Deutschland Fertigung ist hauptsächlich in Asien fehlende Elektronik-Komponentenfertigung in Deutschland bezogen hauptsächlich in China und Fernosten unwirtschaftlich, diese selbst zu produzieren über langen Zeitraum nicht verfügbar besondere Anforderungen an Baustein nur 1 Hersteller 	<ul style="list-style-type: none"> schwierig, da Bestücker auch den Komponenteneinkauf übernehmen schwierig durch Produktionsmonopole oder geringe Stückzahlen European Chip Act abwarten langfristigere Beschaffung teurere Beschaffung über Broker teilweise Ersatz durch andere Prozessoren langfristige Lieferkontrakte Lagerhaltung (soweit wirtschaftlich) Insourcing Lagerkauf breite Lieferantenbasis keine Lösung zusätzliche Lieferketten aufbauen technologischer Ersatz nicht sinnvoll/möglich
optische Komponenten und Baugruppen	Optiken, optische Baugruppen, optische Elemente (z. B. Linsen), optische Komponenten höherer Komplexität, kostengünstige Optikkomponenten, Bauteile	hoch bis sehr hoch	<ul style="list-style-type: none"> keine kostengünstigen Zulieferer in Deutschland kostet ein Bruchteil gegenüber Eigenfertigung. Supplier in Deutschland nicht wettbewerbsfähig (Preis). hoher Kapital- und Know-how-Einsatz, eigene Entwicklung und Produktion wäre erheblich teurer deutsche Lieferanten zu teuer kostengünstige Anbieter aus Asien unwirtschaftlich selbst zu produzieren abhängig von asiatischen Lieferanten, um Kosten gering zu halten und wettbewerbsfähig zu bleiben 	<ul style="list-style-type: none"> Evaluation neuer Zulieferer schwierig, solange in Deutschland der Stolz auf eigene Produkte weiter sinkt keine strategische Partnerschaft auf internationaler Ebene Kontaktknüpfung zu potenziellen neuen Lieferanten Qualifizierung von Zweitlieferanten (wg. Kosten oft ebenfalls Asien) keine Lösung globales Netzwerk Kooperationen mit anderen deutschen/europäischen Unternehmen
(photonikrelevante) Rohmaterialien	Poliermittel, Seltene Erden, hochreine Metalle, IR-Materialien	hoch	<ul style="list-style-type: none"> Verfügbarkeit, z. B. Seltene Erden begrenzte Anzahl von Anbietern (Asien) geringe Vorkommen in Deutschland bezogen hauptsächlich in China Lieferanten in China 	<ul style="list-style-type: none"> Kooperationen mit lokal ansässigen Zulieferern, sofern möglich Diversifizierung, Vorratshaltung noch kein Weg zusätzliche Lieferketten aufbauen keine Lösung
Laserkristalle	Laserkristalle, Kristalle für UV-Anwendungen, spez. optische Kristalle	mittel bis sehr hoch	<ul style="list-style-type: none"> Mangel an Rohstoffen kein deutscher Hersteller der Grundstoffe Zulieferer fast ausschließlich in China China fast einziger Lieferant kein Hersteller 	<ul style="list-style-type: none"> Bewertung von neuen Lieferanten alternative Quellen in den baltischen Ländern
Photonic Integrated Circuits (PICs)	Photonic ICs (PIC) manufacturing (foundry), Front-End-Fabriken, Integrierte Photonische Systeme aller Art	sehr hoch	<ul style="list-style-type: none"> kaum in Deutschland/Europa vorhanden kein Fokus auf Photonik 	<ul style="list-style-type: none"> Aufbau eines Eco-Systems mit Partnern strategische Partnerschaft auf internationaler Ebene

Quelle: SPECTARIS-Umfrage

Von einzelnen Umfrageteilnehmern als kritisch eingestufte Komponenten und Materialien (einzelne Nennungen)

Rohstoffe, Bauteile, Module, Subsysteme oder Fertigungstechnologien mit geringer Autonomie	Beispiele	Relevanz der Teile/Rohstoffe für das Unternehmen	Genannte Gründe für Autonomie	Lösungsansätze der Unternehmen
IR-Komponenten	optische IR-Komponenten, Sensoren	hoch bis sehr hoch	<ul style="list-style-type: none"> keine Anbieter wg. zu geringer Nachfrage kleiner Markt 	<ul style="list-style-type: none"> weltweite Lieferantenliste
professionelle Entwicklungs- & Simulationssoftware	Simulationssoftware	sehr hoch	<ul style="list-style-type: none"> hoher Kapital- und Know-how-Einsatz erforderlich eigene Entwicklung und Produktion wäre drastisch teurer und eine Verschwendung eigener Ressourcen nur ein Lieferant, sobald man ein Design-In gemacht hat 	<ul style="list-style-type: none"> strategische Partnerschaft auf internationaler Ebene keine andere Lösung als Standardisierung
optische Fasern		hoch bis sehr hoch	<ul style="list-style-type: none"> hohe Investitions- und Betriebskosten keine dt. Hersteller im Konsumerbereich 	<ul style="list-style-type: none"> strategische Bündnisse mit Firmen außerhalb der EU globales Sourcing, nur China wettbewerbsfähig
optische Folien		mittel	<ul style="list-style-type: none"> keine lokalen Hersteller 	<ul style="list-style-type: none"> keine Lösung
GaAs (Gallium arsenide) Optiken		mittel	<ul style="list-style-type: none"> Toxizität 	<ul style="list-style-type: none"> weltweite Lieferantenliste
Beryllium-Produkte	Beryllium-Spiegel	mittel	<ul style="list-style-type: none"> Toxizität 	<ul style="list-style-type: none"> weltweite Lieferantenliste
Präzisionsdreh- und Frästeile / CNC-Maschinen		hoch	<ul style="list-style-type: none"> es gibt nur wenige Firmen, die so präzise fertigen können 	<ul style="list-style-type: none"> intensive Betreuung der wenigen Lieferanten
hochpräzise selbstjustierende Montagetechniken		mittel	<ul style="list-style-type: none"> keine Kompetenz 	<ul style="list-style-type: none"> neue Projekte
Detektionssysteme für Qualitätskontrolle (QT / Quality Technology)		hoch	<ul style="list-style-type: none"> keine Hersteller in der EU 	<ul style="list-style-type: none"> neue Projekte
Glas	Rohglas, poliertes Glas, farbiges Glas, optisches Glas	sehr hoch	s. Hinweis auf Seite 24	

Lösungsansätze zur Stärkung der strategischen Souveränität der deutschen Photonikindustrie

Vorschläge der Befragungsteilnehmer

In der Umfrage wurden die deutschen Photonikunternehmen gefragt, was ihre strategische Souveränität und damit auch die strategische Souveränität Deutschlands stärken könnte. In der folgenden Tabelle sind die Antworten aufgelistet und sortiert. Es gibt drei Gruppen von Antworten: eine, die sich auf Gesetze, Vorschriften und Handelsregeln bezieht, eine, die sich auf öffentliche Unterstützung bezieht, und eine, die auf ein wettbewerbsfähigeres und effizienteres Ökosystem abzielt.

Der erste Bereich „Gesetze, Verordnungen, internationaler Handel“ ist eine Liste von Forderungen nach weniger Bürokratie, insbesondere in Bezug auf Ausfuhrbestimmungen, nach mehr Stabilität bei der Regulierung und nach einer flexibleren Anwendung der Regeln für die Handhabung und den Umgang mit Chemikalien. Diese Wünsche stehen im Zusammenhang mit der Herausforderung der Souveränität, aber nicht nur. Sie decken sich mit den Forderungen vieler anderer Industrieunternehmen, nicht nur in Deutschland. Die europäischen Regelungen zum Chemikalienmanagement (REACH, PFAS) können erhebliche Auswirkungen auf die Photonikindustrie und ihre Souveränität haben. Sollten einige stabilere und neutrale per- und polyfluorierte Chemikalien (PFAS) wie PTFE (Teflon) oder andere Produkte, die

in der Halbleiter- oder optischen Industrie verwendet werden, nicht mehr verwendet werden dürfen, könnte das dazu führen, dass die Produktion strategisch wichtiger Technologien außerhalb Europas erfolgt.

Die zweite Gruppe von Wünschen betrifft die Unterstützung durch die Öffentlichkeit. Es besteht ein echter Wunsch nach mehr Unterstützung in der Reifephase der Entwicklung innovativer photonischer Produkte. Mit anderen Worten, nicht nur das „F“ der (Forschung & Entwicklung) zu unterstützen, sondern auch das „E“, die Entwicklung, die mehr Investitionen und Zeit erfordert. Es wird auch eine stärkere Berücksichtigung der Photonik als Enabler für die großen technologischen Herausforderungen von morgen (Quanten), die großen Herausforderungen von heute (Klimawandel), aber auch als Enabler für die deutsche Souveränität gefordert, denn die Photonik ist Enabler für so viele Industrien und Technologien des täglichen Lebens.

Die dritte Familie ist eine Wunschliste für ein attraktiveres Ökosystem: ein besseres Bildungssystem, das mehr Studenten für Photonik-Studiengänge anzieht, ein besserer lokaler Standortfaktor, der Investitionen anzieht, mehr Firmenansiedlungen und mehr Investoren vor Ort. Mit anderen Worten: Photonikunternehmen werden weniger durch die Marktnachfrage als durch das lokale Ökosystem und den Mangel an ausgebildeten Fachkräften eingeschränkt.

Lösungsvorschläge der Umfrageteilnehmer bezüglich...

...Gesetze, Vorschriften, internationaler Handel	...öffentliche Unterstützung	...verbesserte wirtschaftliche Rahmenbedingungen
<ul style="list-style-type: none"> ■ Weniger Bürokratie ■ Weniger und einfachere Exportregeln ■ Aufrechterhaltung von internationalen Kooperationen und Handel / Arbeitsteilung ■ Mehr Stabilität ■ Mehr Flexibilität bei den Regeln für giftige Stoffe ■ Spezielle Rohstoffpolitik 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Lokale öffentliche Beschaffungen ■ Öffentliche Unterstützung für Innovationsprojekte (einschließlich IP) / nicht nur Forschung ■ Mehr Innovation und finanzielle / investitionsorientierte Unterstützung für KMU ■ Nicht nur Quanten- und Klimaforschung, Ausbau Photonikforschung ■ Förderung / Verbesserung der Ausbildung an den Universitäten 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bessere Attraktivität für qualifizierte und ausgebildete Menschen / Erleichterung der Niederlassung ■ Besserer Standortfaktor / Energie ■ Aufbau eines Investitionsökosystems ■ Entwicklung der vertikalen Integration

Quelle: SPECTARIS-Umfrage

Vorschläge des Studienautors

Über den von den Unternehmensvertretern geäußerten Bedarf hinaus können verschiedene Maßnahmen ergriffen werden, um die strategische Souveränität der deutschen Photonikindustrie zu stärken. Speziell für die Photonik sind Ansätze in den folgenden Bereichen vielversprechend:

- **Schaffung eines widerstandsfähigen Business-Ökosystems für Photonikunternehmen**
- **Stärkung der strategischen Souveränität auf der Ebene der Rohstoffe**
- **Stärkung der strategischen Souveränität auf der Ebene der hergestellten Komponenten**

Schaffung eines widerstandsfähigen Business-Ökosystems für Photonikunternehmen

Eine erste Reihe von Lösungen zielt auf den Aufbau eines widerstandsfähigeren und effizienteren Business-Ökosystems ab und liegt in der Verantwortung der nationalen und europäischen Behörden.

Öffentliche Unterstützung / Bereitstellung von Geld / Förderung von Initiativen:

- Faire Handelsregeln und -politik
- Zollabgaben (sofern unumgänglich)
- Standardisierung / Normung
- Gemeinsamer Einkauf
- Lokale finanzielle Unterstützung (aber Subventionswettbewerb vermeiden)
- Öffentliche Unterstützung vertikaler Photonikcluster (SPECTARIS-Vorschlag)

Europäische Investoren und Banken überzeugen

- Interesse für photonische Technologien und Unternehmen in der Finanzwelt wecken
- Fokus auf den Bereich 20-150M€
- Unterstützung europäischer Unternehmen bei der Übernahme ausländischer Unternehmen

Aufrechterhaltung einer wettbewerbsfähigen F&E

- Förderung der Photonikforschung in Europa
- Klärung der Debatte: „Sollte die Photonik mit der Mikroelektronik zusammengelegt werden?“
- Überzeugung anderer europäischer Länder, Photonik als intelligente Spezialisierung einzuführen
- KETs (insbesondere Photonik) in das nächste Rahmenprogramm (wie H2020) zurückbringen
- Ein IPCEI für Photonik aufbauen?
- Aufbau einer „Forschungsfabrik Photonik“ (auch SPECTARIS-Vorschlag)

Öffentliche Unterstützung / Bereitstellung von Geld / Förderung von Initiativen:

In einem früheren Abschnitt wurde Säule 3 am Beispiel der Photovoltaik und der neuen Forderung nach dem USB-C-Standard für Smartphones erläutert. Jegliche Verzerrung des fairen internationalen Wettbewerbs und Handels muss identifiziert und wenn möglich mit den betroffenen Ländern verhandelt werden. In jüngster Zeit wurden Befürchtungen laut, dass die enorme staatliche Unterstützung, die amerikanische Industrieunternehmen durch das US-Inflationsgesetz erhalten, zu einem unfairen Wettbewerbsvorteil führen könnte⁶. Viele „versteckte“ öffentliche Förderungen, die den fairen Wettbewerb verzerren, müssen von der Photonikindustrie aufgedeckt und der Politik gemeldet werden, damit

die nationalen Regierungen und die Europäische Union reagieren und motiviert werden, ihre lokale Industrie zu schützen. Ein möglicher Nachteil/Gefahr dieser Maßnahmen ist ein Wettbewerb zwischen den Ländern um öffentliche Fördermittel. Es ist auch denkbar, die Vernetzung der Akteure in der Photonik zu fördern, beispielsweise durch die Unterstützung der Zusammenarbeit von Clustern mit anderen Clustern der Wertschöpfungskette, sei es in vorgelegerten (Werkstoffe, Mikroelektronik, Robotik, KI usw.) oder nachgelagerten Bereichen. Da die Photonik eine Schlüsseltechnologie ist, sind viele vorgelagerte Cluster gleichzeitig auch nachgelagerte Cluster.

Überzeugungsarbeit bei europäischen Investoren und Banken:

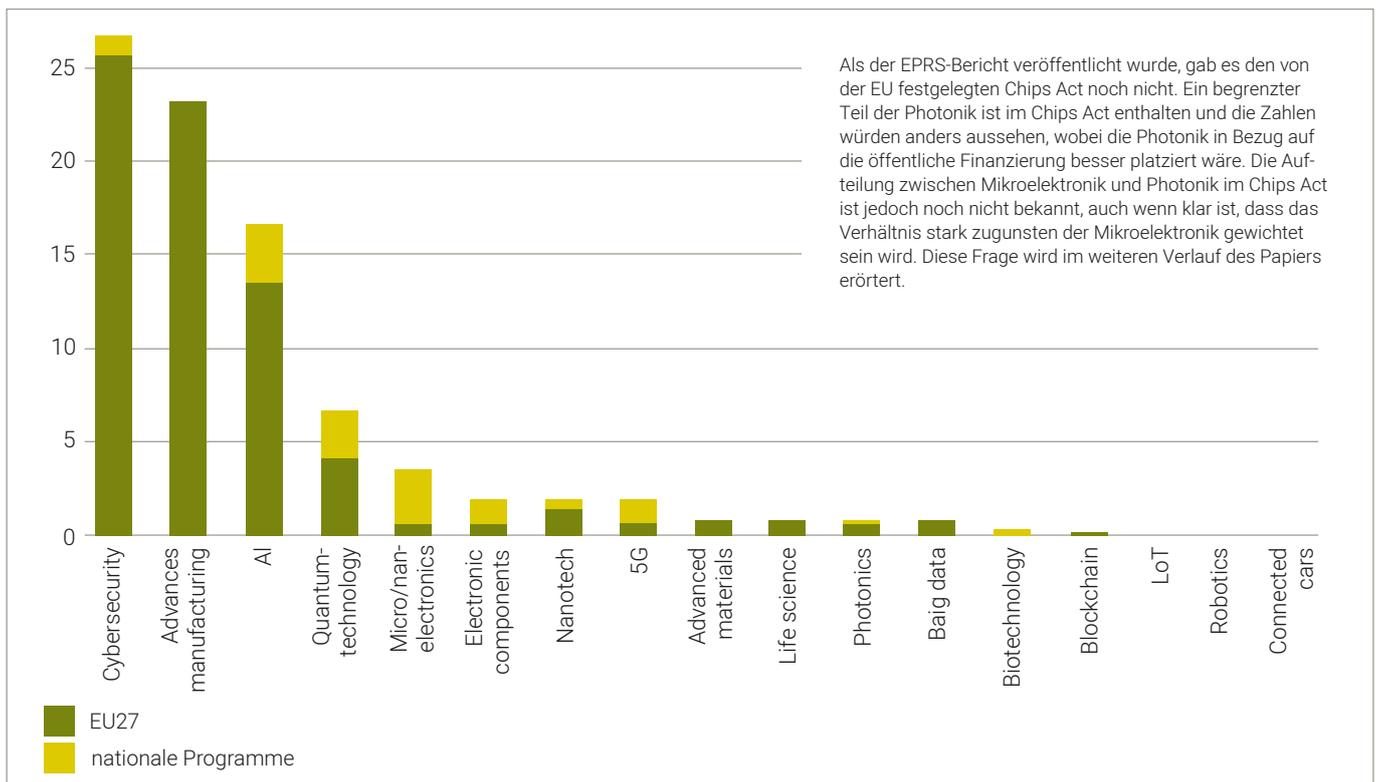
Dieses Thema wird immer ernster und ist auch paradox. Riesige Geldsummen könnten von Quanten- oder Energiefusionsfirmen eingesammelt werden, die nur über Hardwaretechnologien sprechen. Diese Unternehmen versprechen Ergebnisse, die noch hypothetisch sind, auch wenn ihr Erfolg einen großen Durchbruch bedeuten würde. Europäische Photonikunternehmen, die kritische Technologien entwickeln, auch für die Quanten- und Fusionsforschung, die heute verfügbar sind und Geld einbringen, finden keine Investoren, insbesondere nicht für die Industrialisierungsphase. Das zweite Problem ergibt sich aus

dem Mangel an europäischen Investoren, die an Photoniktechnologien interessiert sind. Europäische Unternehmen müssen oft ausländische Investoren finden, um ihr Wachstum zu finanzieren. Das Beispiel der PIC-Industrie, auf das später eingegangen wird, zeigt die Dringlichkeit, dieses Problem anzugehen.

Aufrechterhaltung einer wettbewerbsfähigen F&E: Eine große Herausforderung für die Photonikindustrie ist die Art und Weise, wie die Photonik von der öffentlichen Hand verstanden und betrachtet wird. Eine Analyse⁷ des vom Forschungsdienst des Europäischen Parlaments veröffentlichten Berichts „Key Technologies for Europe’s Technological Sovereignty 2021“ ergab, dass die Photonik zu den am wenigsten geförderten Schlüsseltechnologien (KET) gehört⁸.

Diese Beobachtung zeigt, dass das strategische Paradoxon, das im vorherigen Abschnitt über die Investitionen privater Investoren erwähnt wurde, auch für die öffentliche Förderung gilt. Riesige Summen werden in Technologien investiert, die zweifellos vielversprechend sind (Quanten, Fusion, Graphen...), aber die Photonik wird nur minimal unterstützt. Dabei ist die Photonik ein Sektor, der heute – und nicht erst in Zukunft – ein starkes strategisches Asset darstellt, das

Öffentliche Programme im Zusammenhang mit den KETs in der EU27, Aufschlüsselung nach KET



Quelle: Nera Kuljanic, EPRS STOA

Umsätze, Arbeitsplätze und Komponenten liefert, die für viele nachgelagerte Anwendungsindustrien entscheidend sind. Diese Aussage ist heute besonders wichtig, da viele photonische Geräte ständig miniaturisiert werden. Dies ist ein sehr wichtiger Trend, der sich derzeit fortsetzt. Er wurde im früheren Abschnitt über die Automobil-, Halbleiter- und Medizintechnikindustrie erwähnt und ist dort in allen Sektoren zu beobachten. Immer kleinere photonische Sensoren oder Komponenten ermöglichen es, neue Funktionen hinzuzufügen oder Geräte einzubetten, die bis vor kurzem nur in Laboren oder Werksanlagen verfügbar waren, aber niemals unterwegs oder in einer Arztpraxis.

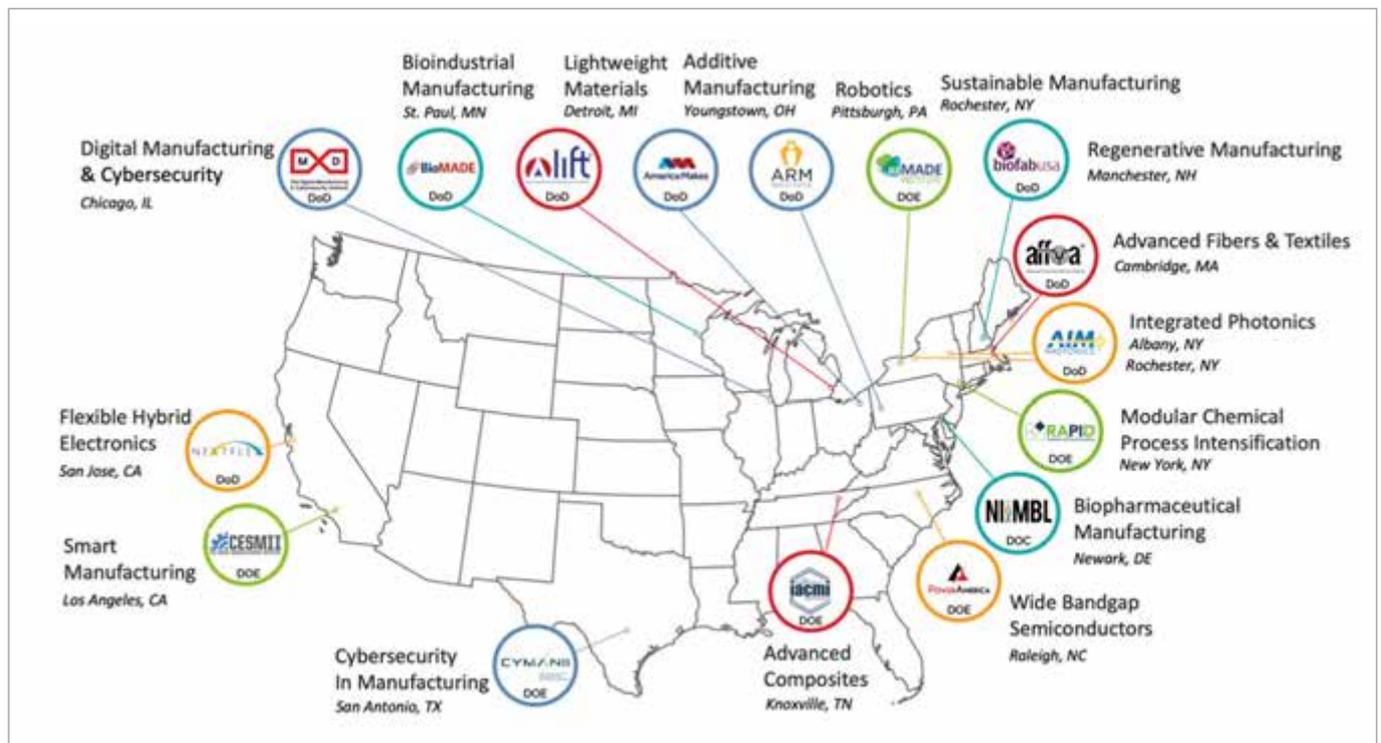
Die Entwicklung und Produktion solcher miniaturisierten Technologien ist kapitalintensiv, noch nicht so intensiv wie in der Halbleiterindustrie, aber sie weist Ähnlichkeiten auf, da einige dieser Technologien in dieselben Geräte eingebettet sein werden (Smartphones, Computer, AR-Brillen oder VR-Masken, Head-up-Displays oder Scheinwerfer für Autos usw.).

Aber während fast alle Halbleiterchips aus lithografisch bearbeiteten Wafern hergestellt werden, sind photonische Komponenten deutlich vielfältiger. Einige können lithografiert werden. Dabei handelt es sich entweder um PICs

(photonische integrierte Schaltungen), Laserdioden oder Bilddetektoren. Aber viele andere können es nicht, wie Linsen, Freiformoptiken, Gitter, Fasersensoren oder Combiner. Mit anderen Worten: Unternehmen, die auf diesen Märkten Fuß fassen wollen, müssen viele neue Verfahren entwickeln, mit denen sich die Produktion für die Bedienung von Massenmärkten hochskalieren lässt.

Um diesen Bedarf öffentlich zu unterstützen, könnte der Aufbau einer Photonik-Forschungsfabrik⁹, analog zur Forschungsfabrik für Mikroelektronik, eine Lösung sein. Eine solche Organisation könnte fortschrittliche Herstellungsprozesse entwickeln, testen und ausreifen lassen und insbesondere KMUs dabei helfen, ihre photonischen Mikrokomponenten zu industrialisieren, den Wert der Massenmärkte zu nutzen und eine Chance zu erhalten, größer zu werden, anstatt von außereuropäischen Unternehmen aufgekauft zu werden. Einige andere Länder haben bereits eine solche Initiative gestartet. Das Programm „Manufacturing USA¹⁰“ ist das beste Beispiel für eine solche öffentliche Förderpolitik. Dieses Programm deckt 16 Industriezweige ab, aber mit 934 Millionen Dollar öffentlicher Mittel ist AIM Photonics, das US-Programm für die Herstellung von Photonik, das am stärksten finanzierte von allen. Wenn eine solche Initiative auf europäischer Ebene aufgebaut werden soll, könnte das IPCEI-Programm ein geeignetes Instrument sein¹¹.

Karte der Institute des US-Förderprogramms „Manufacturing USA“



Quelle: NIST¹²

„Forschungsfabrik Photonik“

Die Vision: Die Vielfalt und enge Vernetzung der deutschen Technologieunternehmen in der Photonik und darüber hinaus ist ein Garant für die Innovationskraft des Wirtschaftsstandortes Deutschland. Trotz zunehmender Kapitalintensität im Hightech-Sektor sollen Innovationen aus Forschung und Entwicklung der Photonik in Deutschland weiterhin schnell zu Prototypen und schließlich zu erfolgreichen Serienprodukten entwickelt werden, indem die technologischen Ressourcen des Landes durch Kooperationen im vorwettbewerblichen Bereich optimal genutzt werden.

Der Bedarf: Die Photonik in Deutschland und Europa ist stark mittelständisch geprägt. Gleichzeitig verfügt die Photonik über weit verzweigte Wertschöpfungsketten, deren einzelne Schritte sehr kapital- oder wissensintensiv sind. Beispiele für Produkte in solchen Wertschöpfungsketten sind Glasfaserziehtürme, Produktionsanlagen für waferbasierte photonische integrierte Schaltungen oder automatisierte Aufbau- und Verbindungstechniken. Forschende KMU müssen daher in der Lage sein, teure Investitionen effizient zu nutzen, und benötigen starke Partner und direkten Zugang zu vorgelagerten Schlüsseltechnologien. Noch fehlen jedoch die finanziellen und rechtlichen Rahmenbedingungen für konsortiale Kooperationen und ausreichend budgetierte Förderprogramme.

Quelle: Positionspapier von SPECTARIS⁹

Stärkung der strategischen Souveränität auf der Ebene der Rohstoffe

Rohstoffe und Mineralien sind im Vergleich zu den Komponenten, die in der Lieferkette nachgelagert sind, etwas Besonderes, da die Quellen und die Förderung in der Regel von Staaten durch Unternehmen in öffentlichem Besitz kontrolliert werden. Die Rolle eines Staates besteht darin, seiner Industrie den Zugang zu Rohstoffen zu erleichtern. Es folgen einige Lösungsvorschläge, die umgesetzt werden können.

- Verträge mit Lieferländern aushandeln
- Suche nach neuen Quellen für seltene Materialien
- Entwicklung oder Unterstützung bei der Entwicklung von Recyclingkanälen

Aushandlung von Verträgen mit Lieferländern: Auch wenn einige Länder ihre dominante Position als Rohstofflieferanten ausnutzen, hat Europa einen großen Einfluss bei der Aushandlung von Verträgen, die den Zugang zu einigen wichtigen Rohstoffen erleichtern oder sichern können.

Suche nach neuen Quellen für seltene Materialien: Manchmal können neue, bisher unbekannte Minen oder Quellen entdeckt werden, oder neue bekannte Quellen,

deren Ausbeutung zu teuer war, werden wettbewerbsfähig, weil der Preis aufgrund der Knappheit höher ist. Lithium ist ein gutes Beispiel dafür, auch wenn es nicht direkt mit Photonik zu tun hat. Während Europa derzeit vollständig von Quellen in Asien und Südamerika abhängig ist, wurden vor kurzem in Portugal, Frankreich und Serbien große Vorkommen entdeckt¹³, die die Bedenken hinsichtlich der künftigen Massenproduktion von Batterien zerstreuen könnten.

Entwicklung oder Unterstützung bei der Entwicklung von Recyclingkanälen: Seit vielen Jahren werden Gold oder seltene Metalle aus Elektronikschrott recycelt. Manchmal sind die Lösungen unerwartet. In Nordfrankreich und Belgien enthält das geothermische Wasser, das zum Heizen aus dem Untergrund gefördert wird, beträchtliche Mengen an Lithium¹⁴. Die Menge würde ausreichen, um 5.000 Tonnen pro Jahr zu produzieren, die für die Herstellung von 125.000 Elektroautos verwendet werden könnten.

Unternehmen haben weit weniger Einfluss auf den Zugang zu Rohstoffen, es sei denn, sie investieren in die vorgelagerte Lieferkette, wie der Reifenhersteller MICHELIN, der einen Teil der Kautschukplantagen besitzt und einen Teil des Latex selbst produziert. Solche Beispiele sind jedoch selten.

Stärkung der strategischen Souveränität auf der Ebene der hergestellten Komponenten

Die vorherigen Ausführungen haben gezeigt, dass es viele mögliche Gründe für einen geringen Grad an Souveränität gibt: fehlendes Know-how, Knappheit des Angebots, Ungleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage, keine lokale Produktion oder der Verlust lokaler Wertschöpfung aufgrund von geringeren Kosten oder einer Dumping-Politik in den Lieferländern. Die Unternehmen haben mehr Einfluss auf die hergestellten Komponenten, da sie mit den Unternehmen handeln und manchmal alternative Lösungen finden können.

- Suche nach neuen Anbietern oder Unterauftragnehmern
- Aufrechterhaltung einer zweiten Bezugsquelle
- Produktion verlagern
- Gemeinsam einkaufen

Suche nach neuen Lieferanten oder Unterauftragnehmern: sofern möglich. Wenn die Souveränität bei einem Produkt gering ist, bedeutet dies aber oftmals, dass es wenig Lieferanten gibt oder dass ihre Produktionskapazität einfach zu begrenzt ist.

Aufrechterhaltung einer zweiten Bezugsquelle: Es ist eine allgemein anerkannte Managementregel, eine zweite Bezugsquelle oder einen zweiten Lieferanten für den Fall der Fälle aufrechtzuerhalten, auch wenn kein spezifischer Engpass besteht.

Verlagerung der Produktion: wenn möglich und sinnvoll¹⁶, oder sogar Entwicklung einer vertikalen Integration. Aufbau von Lagerbeständen: Dieser Ansatz ist z. B. in der Rüstungsindustrie üblich, aber die jüngsten Lieferschwierigkeiten bei elektronischen Bauteilen haben auch viele andere Unternehmen dazu veranlasst, Lagerbestände aufzubauen, sofern das möglich war.

Gemeinsamer Einkauf: Eine der Schwierigkeiten, über die deutsche Photonikunternehmen beim Zugang zu elektronischen Bauteilen berichteten, bestand darin, dass sie von größeren Lieferanten bedient wurden. Der gemeinsame Einkauf mehrerer Kunden ist eine Möglichkeit, in Verhandlungen mehr Gewicht zu haben, vorausgesetzt, alle Partner haben einen ähnlichen Bedarf, der vom gleichen Lieferanten gedeckt werden muss.

Photonik im Automobilbau

Abhängigkeit der Automobilindustrie von der Photonik

Das Fahrzeug selbst: Das erste Zubehör, das in Autos eingebaut wurde, war ein Licht, um gesehen zu werden und die Straße bei Nacht zu sehen. Solche Lichter wurden bereits bei Pferdekutschen verwendet. Seitdem wurden Fahrzeuge mit zahlreichen photonischen Komponenten oder Subsystemen ausgestattet, wie z. B. Scheinwerfern, Kameras, fortschrittlichen Armaturenbrettern und Displays sowie allen fortschrittlichen Fahrerassistenzsystemen (ADAS), wie z. B. LIDAR, Abstandssensoren, Head-up-Displays, Gesundheits- und Müdigkeitserkennungssystemen, Rückfahrkameras für Einparkhilfen, verstellbaren Rückspiegeln, Kommunikation zwischen Fahrzeugen oder zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur usw. All diese Sensoren und Assistenzsysteme ebnen den Weg zum vollständig autonomen Fahrzeug, auch wenn die heutigen Prototypen noch nicht ausgereift sind. Mit anderen Worten, die Photonik ist eine kritische Technologie für die heutigen Fahrzeuge, denn nur durch photonikgestützte Zusatzgeräte können Sicherheit und Komfort gewährleistet werden.

Konstruktions- und Fertigungsprozesse: Der Einsatz von Lasern in der Automobilherstellung hat die Branche revolutioniert und bietet zahlreiche Vorteile in Bezug auf Effizienz, Qualität und Vielseitigkeit (siehe dazu auch ¹⁶). Diese Technologie wurde in verschiedene Phasen des Automobilherstellungsprozesses integriert und trägt zur Prozessoptimierung und Kostensenkung bei.

Bei der Herstellung von Automobilen wird eine Vielzahl von Materialien verwendet, darunter Kunststoffe, Textilien, Glas und Gummi, die alle effizient mit Lasern bearbeitet werden können. Laser spielen eine wichtige Rolle bei der Herstellung von Kunststoffteilen wie Innenverkleidungen, Armaturenbrettern, Stoßstangen, Zierleisten und Leuchtengehäusen. Sie können Kunststoffe markieren, schneiden, bohren, trimmen und entgraten, was die Präzision erhöht und den Ausschuss verringert. Die Lasertechnologie hat sich sowohl in der Massenproduktion als auch in der hochwertigen, maßgeschneiderten Automobilfertigung durchgesetzt, wo Qualität, Wiederholbarkeit und Zuverlässigkeit an erster Stelle stehen.

Neben Kunststoffen werden Laser auch bei anderen in der Automobilindustrie verwendeten Materialien eingesetzt, z. B. bei Textilien. Synthetische Stoffe für Polstermöbel und Innenraumteile werden mit dem Laser geschnitten und versiegelt, um saubere Kanten zu erhalten und ein Ausfransen zu verhindern. Auch echtes und synthetisches Leder kann mit Lasern geschnitten werden. Technische Textilien, die in Sicherheitssystemen wie Airbags zum Einsatz kommen, werden mit dem Laser geschnitten, um präzise Formen mit minimaler Handhabung zu erhalten.

Die Lasertechnologie bietet gegenüber herkömmlichen Verfahren mehrere Vorteile. Dank ihrer berührungslosen, werkzeuglosen und wartungsarmen Eigenschaften minimiert sie Abfall, reduziert Ausfallzeiten und gewährleistet die Sicherheit des Bedieners. Darüber hinaus ermöglicht sie schnelle und kostengünstige Konstruktionsänderungen, ohne dass neue Werkzeuge benötigt werden.

Mit der Umstellung der Automobilindustrie auf Elektro- und Hybridfahrzeuge entstehen neue Bauteile und Fertigungsverfahren. Elektromotoren beispielsweise erfordern die präzise Entfernung der dielektrischen Lackschicht von den „Haarnadeln“ aus Kupfer, eine Aufgabe, die effizient mit Lasern gelöst werden kann. Diese Laser bieten eine saubere und schnellere Alternative zu mechanischen Verfahren.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Laser zu einem unverzichtbaren Werkzeug in der Automobilherstellung geworden ist, da er gleichbleibende Qualität, Flexibilität und Anpassungsfähigkeit für eine Vielzahl von Komponenten, Materialien und Prozessen bietet. Seine Fähigkeit zum Schneiden, Bohren, Markieren, Schweißen, Ritzen und Abtragen macht ihn zu einem wertvollen Werkzeug in einer Branche, die sich ständig weiterentwickelt und nach Möglichkeiten zur Verbesserung von Effizienz und Produktqualität sucht.

Industrielle Bildverarbeitung: Die industrielle Bildverarbeitung ist eine Schlüsseltechnologie in der Automobilindustrie, die eine effiziente und sichere Produktion qualitativ hochwertiger Fahrzeuge gewährleistet. Mit Hilfe

modernster Kameras, Sensoren und Bildverarbeitungs-algorithmen prüfen diese Systeme zur Qualitätssicherung Bauteile, Baugruppen und fertige Fahrzeuge. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie auch kleinste Fehler erkennen, die von Menschen oft übersehen werden, insbesondere in kritischen Bereichen wie Motorteilen, elektrischen Leitungen, Bremssystemen und Karosserieteilen.

Die Geschwindigkeit und Genauigkeit der Technologie übertrifft die menschlichen Fähigkeiten und ermöglicht die schnelle und genaue Prüfung großer Mengen von Bauteilen. Durch die Automatisierung des Prüfprozesses wird die für die Qualitätsprüfung benötigte Zeit reduziert, was die Gesamteffizienz und den Durchsatz der Produktion erhöht. Neben der Fehlererkennung überwacht die Bildverarbeitung Produktionsparameter, misst Dimensionen, prüft die Ausrichtung und verifiziert Toleranzen in Echtzeit. Dies gewährleistet eine gleichbleibende Qualität in der gesamten Produktionslinie und hilft den Herstellern, Prozessabweichungen sofort zu erkennen und zu korrigieren.

Im Bereich der Sicherheit spielt die Bildverarbeitung eine entscheidende Rolle bei der Prüfung von sicherheitskritischen Komponenten wie Airbags, Sicherheitsgurten und Sensoren auf mögliche Fehler, die die Sicherheit von Fahr-

zeug und Insassen gefährden könnten. Die strenge Qualitätskontrolle hilft den Automobilherstellern auch bei der Einhaltung gesetzlicher Vorschriften und höchster Sicherheitsstandards.

Darüber hinaus verringert der Einsatz von Bildverarbeitungssystemen die Abhängigkeit von menschlicher Arbeitskraft und minimiert das Risiko menschlicher Fehler und Ermüdung. Diese Systeme arbeiten kontinuierlich und ohne Unterbrechungen, was eine gleichmäßige und zuverlässige Prüfung gewährleistet. Insgesamt hat die industrielle Bildverarbeitung die Automobilindustrie revolutioniert, da sie automatisierte, genaue und effiziente Lösungen für die Qualitätskontrolle bietet. Es wird erwartet, dass der kontinuierliche technologische Fortschritt diese Systeme weiter integrieren wird, was zu qualitativ hochwertigeren Fahrzeugen und effizienteren Herstellungsprozessen führen wird.

Entwicklung von Fahrzeugen: Die Photonik ist auch ein entscheidendes Werkzeug in der Entwurfsphase. In Kombination mit fortschrittlicher Software, die auf einer extrem genauen Simulation der Physik und der Lichtausbreitung beruht, ermöglicht sie den Designern, Autos in extrem realistischen Situationen zu betrachten, bevor sie existie-

Beispiel eines Head-up-Displays



Quelle: iStock (TEMATYS)

ren. Sie können neue Oberflächen oder die Wirkung neuer Beschichtungen und Farben bei allen Wetter- und Lichtverhältnissen testen.

Recycling von Altfahrzeugen: Jedes Jahr erreichen mehr als sechs Millionen Fahrzeuge in Europa das Ende ihrer Lebensdauer und werden als Abfall behandelt. Wenn Altfahrzeuge nicht ordnungsgemäß entsorgt werden, können sie Umweltprobleme verursachen und der europäischen Wirtschaft gehen Millionen Tonnen Rohstoffe verloren. Die Automobilindustrie ist einer der größten Verbraucher von Primärrohstoffen wie Stahl, Aluminium, Kupfer und Kunststoffen. Obwohl die Recyclingraten für Materialien aus Altfahrzeugen im Allgemeinen hoch sind, sind die anfallenden Altmetalle von geringer Qualität und es werden nur geringe Mengen an Kunststoffen recycelt. Am 13. Juli 2023 schlug die Europäische Kommission (Kommission) eine neue Verordnung über Altfahrzeuge vor, um die Wiederverwendung oder das Recycling der meisten Teile und Materialien von Altfahrzeugen zu maximieren. Der Vorschlag baut auf zwei bestehenden Richtlinien aus den Jahren 2000 und 2005 auf und ersetzt diese. Als Ergebnis dieser Verordnung erfordert das Recycling von Automobilwerkstoffen die Sortierung von Millionen von Teilen und Komponenten mit hoher Geschwindigkeit und Genauigkeit sowie die Identifizierung der Materialien, aus denen sie bestehen, unabhängig von ihrer Farbe oder Form. Photonische Technologien, d. h. spektroskopische und hyperspektrale Techniken, sind die einzigen, die diese komplexe Aufgabe erfüllen können. Glücklicherweise bieten viele europäische und insbesondere deutsche Unternehmen solche Technologien an, die eine echte Souveränität bei der Einhaltung der immer anspruchsvolleren Vorschriften und bei der Verbesserung der Nachhaltigkeit in der automobilen Lieferkette ermöglichen.

Wie steht es um die strategische Autonomie der deutschen Automobilindustrie in Bezug auf die photonische Lieferkette?

Wie alle Industriezweige sah sich auch die Automobilindustrie mit einem Mangel an mikroelektronischen Komponenten konfrontiert, insbesondere während der COVID-Pandemie. Um das Problem zu entschärfen, haben einige Konzerne eine Standardisierung vorangetrieben, die es ihnen ermöglichte, die Komponenten auf Konzernebene und nicht mehr in den einzelnen Geschäftsbereichen einzukaufen. In den Verhandlungen wurden dann sowohl das Einkaufsvolumen als auch das Einkaufsgewicht erhöht.

Mit Ausnahme der Mikroelektronik schätzen die Unternehmen ihre Autonomie als recht gut ein, einschließlich der Photonik-Zulieferer. Die Automobilindustrie entwickelt sich eher langsam, trotz der aktuellen Revolution, die durch die massive Einführung von Elektrofahrzeugen und die Integration von immer mehr ADAS-Geräten gekennzeichnet ist. Mit anderen Worten, die Antizipation und Sicherung der Lieferkette ist Teil des Industrialisierungs- und Innovationsprozesses. Vor und während der Integration einer Komponente oder eines Subsystems in ein Serienfahrzeug werden deshalb zahlreiche Gespräche mit Tier-1- und Tier-2-Zulieferern geführt.

Das Beispiel Scheinwerfer ist repräsentativ. Da immer mehr LEDs in Scheinwerfern verbaut werden, finden viele Gespräche mit LED-Lieferanten als Tier-2-Lieferanten zusammen mit Tier-1-Lieferanten statt, um die Anforderungen der Automobilhersteller zu erfüllen. Aber ihre Überlegungen gehen weit über die Innovationsprozesse hinaus. Viele Scheinwerferhersteller haben den Eigentümer gewechselt. Hella wurde von Faurecia übernommen, AMLS von Plastic Omnium usw. Für die Automobilunternehmen ist es von strategischer Bedeutung, dass diese Investoren ihre F&E- und Produktionsstandorte in Deutschland und/oder Europa halten und ihr Interesse am Lichtgeschäft trotz der bescheidenen Margen und Gewinne in dieser Branche aufrechterhalten.

Deutschland und Europa sind bei photonischen Technologien wie der Beleuchtung wettbewerbsfähig. Und wenn die Umstellung auf Elektroautos und die Errichtung von Batteriefabriken massiv von der öffentlichen Hand unterstützt wird, wäre es strategisch sinnvoll, auch Segmente zu unterstützen, in denen Europa noch führend ist. Die Beleuchtung ist entscheidend für das Design und das Erscheinungsbild des Fahrzeugs. Eine öffentliche Förderung würde wesentlich dazu beitragen, das Know-how vor Ort zu erhalten.

Für die Automobilindustrie beschränkt sich die öffentliche Unterstützung nicht auf die Finanzierung von Forschung und Entwicklung. In den vergangenen Jahren wurden auf europäischer und nationaler Ebene viele restriktive Sicherheitsvorschriften erlassen. Heute sind die Vorschriften jedoch an einem Punkt angelangt, an dem Innovationen zu kompliziert werden, um vor Ort umgesetzt zu werden.

In anderen Regionen sind die Vorschriften flexibler und die Wettbewerber haben dadurch echte Wettbewerbsvorteile.

Beispiel Roboterautos: Aufbau von Souveränität ist eine langfristige Strategie

Die europäische Photonikindustrie ist eng mit dem klassischen Automobilbau und dem Thema „teilautonomes Fahren“ verbunden. Beim Zukunftsthema Robotik spielen jedoch andere Akteure eine wichtige Rolle. VALEO ist derzeit noch führend auf dem LIDAR-Markt für Automobile, zunehmend drängen aber chinesische Unternehmen aggressiv auf den Markt. In der Nische des Roboterautos, also des vollautonomen Autos, ist VALEO derzeit noch nicht präsent. VALEO ist deshalb zum Marktführer auf dem LIDAR-Markt geworden, weil das Unternehmen frühzeitig beschloss, in die Industrialisierung von LIDAR zu investieren. Ähnlich frühzeitige und langfristige Anstrengungen wären auch im Bereich der Roboterautos wichtig. Falls diese ausbleiben, könnte dies deutliche Auswirkungen auf die künftige Souveränität Europas in diesem Segment oder darüber hinaus haben.

Führende LIDAR-Hersteller weltweit

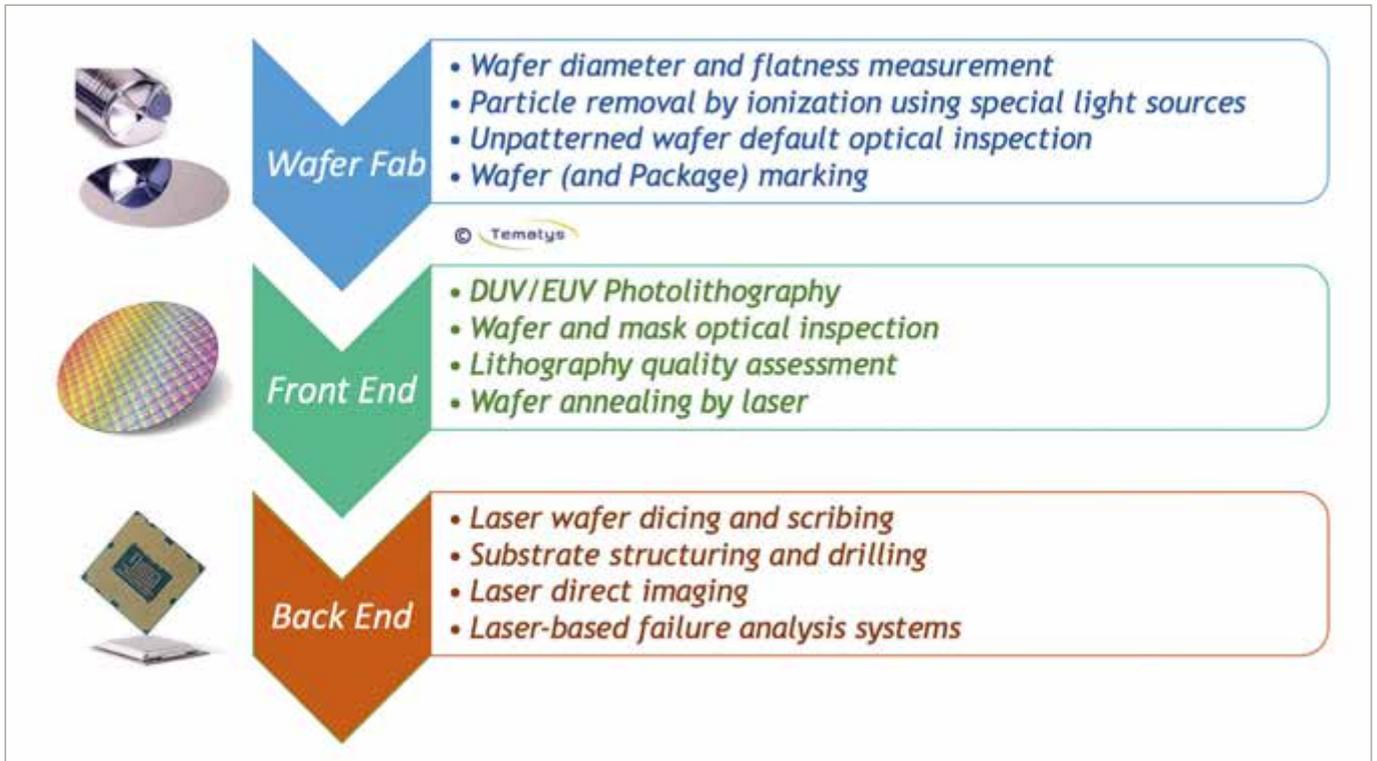
Unternehmen	Land
Hesai	CN
Innovusion	US
Valeo	FR-DE
Robosense	CN
Livox	CN
Waymo	US
Ouster	US

Quelle: TEMATYS

VALEO zählt als einziges in Europa ansässiges Unternehmen zu den führenden LIDAR-Herstellern. Beim Zukunftsthema „LIDAR-Systeme für Roboterautos“ spielt VALEO aber bisher keine Rolle.

Photonik im Halbleiterbereich

Technologien der Photonik in den verschiedenen Phasen der Chip-Herstellung



Quelle: TEMATYS

Photonik als Schlüsseltechnologie der Photolithographie

Es ist kein Zufall, dass das wichtigste Verfahren zur Herstellung von Halbleitern, die Photolithographie, das Wort „Photon“ enthält. Kein Chip kann ohne Laser, hochentwickelte und hochpräzise Optiken, Freiformflächen, Bildverarbeitungssysteme und hochentwickelte photonische Kontrollinstrumente hergestellt werden. Die folgende Abbildung zeigt die wichtigsten photonischen Technologien, die in jedem Schritt der Chipherstellung zum Einsatz kommen. Chips werden mit photonikbasierten Geräten gezüchtet, geglüht, getestet, geschnitten, gebohrt, versiegelt und platziert. Die Halbleiterindustrie ist ohne Photonik undenkbar. Das gilt erst recht für die kommenden Quantencomputer. Viele Konzepte konkurrieren derzeit um die „Quantenherrschaft“, also um den Punkt, an dem Quantencomputer für bestimmte Berechnungen herkömmliche Computer ablösen werden. Aber ausnahmslos alle Konzepte benötigen Laser und Photonik für ihre Kernfunktionen.

Immer mehr Photonik auf der Leiterplatte

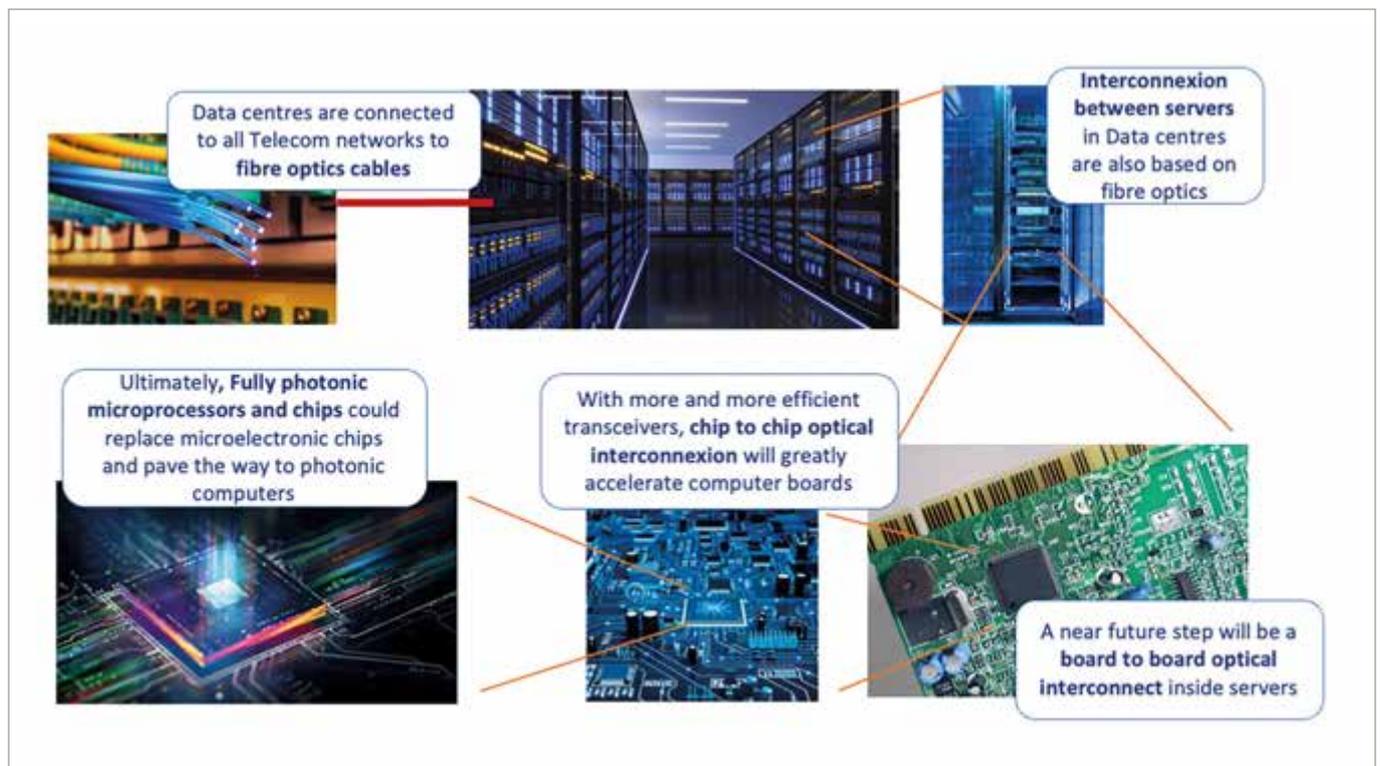
In der Photonikbranche gibt es den Spruch: „Wenn ich rechnen will, benutze ich Elektronen, wenn ich kommunizieren will, benutze ich Photonen.“ In der Tat enthält ein elektronisches Gerät wie ein Smartphone hochentwickelte elektronische Mikroprozessoren und Speicher, aber abgesehen von den Funkkomponenten, die für die Telekommunikationsfunktionen verwendet werden, sind alle anderen Komponenten photonische Displays und Sensoren (siehe Abbildung des Smartphones). Photonik und Elektronik sind keine Konkurrenten, sondern ergänzen sich und können in komplexen Geräten nicht ohne einander existieren.

Diese Komplementarität ist so stark, dass die Grenzen zwischen den beiden Disziplinen zunehmend verschwimmen. Rechenzentren (siehe Abbildung unten) sind beispielsweise über Faseroptiken mit den Telekommunikationsnetzen verbunden. Jedes Rechenzentrum besteht aus Hunderttau-

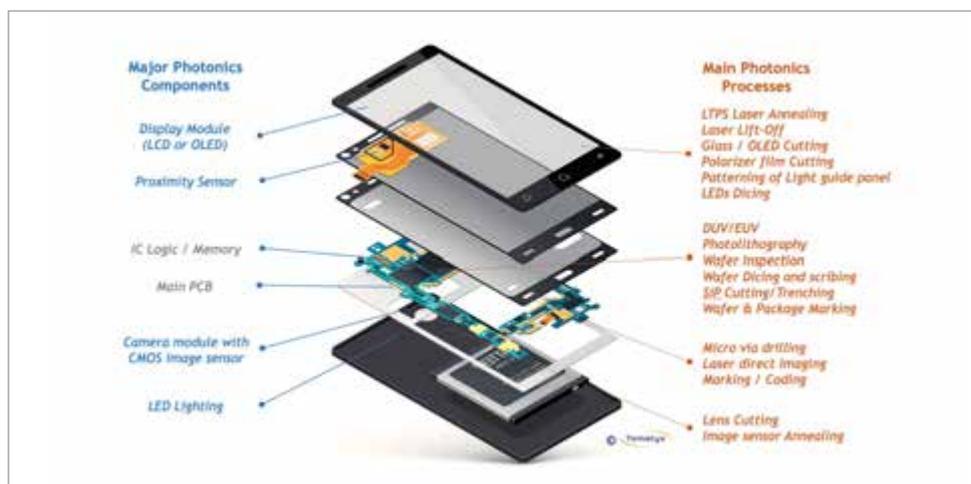
senden von Servern, die alle über optische Kabel miteinander verbunden sind, die schneller sind und viel weniger Energie verbrauchen als elektrische Leitungen. In naher Zukunft werden optischen Verbindungen jedoch in den Servern selbst verlegt, mit „Board-to-Board“-Verbindungen. Und dieser Trend wird sich mit Chip-zu-Chip-Verbindungen fortsetzen, so dass am Ende photonische Prozessoren

stehen, die bestimmte Aufgaben besser erledigen können als elektronische Chips. Mit anderen Worten, was wir als „elektronische“ Geräte bezeichnen, werden zunehmend „photoelektronische“ Geräte sein, in denen Photonen und Elektronen jeweils für die Aufgaben eingesetzt werden, bei denen sie die beste Miniaturisierung, die beste Leistung und den geringsten Energieverbrauch ermöglichen.

Technologien der Photonik in der Kommunikation: Photonen sind die schnellste, günstigste und energiesparendste Methode zur Datenübertragung



Quelle: TEMATYS



Quelle: TEMATYS

Unterhaltungselektronik ist die Verschmelzung von zwei Schlüsseltechnologien, der Elektronik und der Photonik: Technologien der Photonik zur Herstellung und Komponenten der Photonik in Smartphones

Beispiel Photonische integrierte Schaltkreise (PICs): die entscheidende Rolle des Zugangs zu Finanzmitteln

Nachdem die Abhängigkeit der Halbleiterindustrie von der Photonik sowohl als komplementäre Komponente zur Herstellung von Hightech-Geräten als auch in den Herstellungsprozessen aufgezeigt wurde, stellt sich die Frage, wie die Souveränität der deutschen Halbleiterindustrie zu bewerten ist. Das Beispiel der PICs (Photonic Integrated Circuits) ist repräsentativ für den europäischen Status in diesem Sektor.

PICs sind Mikrochips, die zwei oder mehr photonische Komponenten enthalten, die einen funktionsfähigen Schaltkreis bilden. Sie verwenden Photonen im Gegensatz zu Elektronen, die von elektronischen integrierten Schaltungen verwendet werden.

Der Markt für PIC-Chips wird von 175 Millionen Dollar (~12 Millionen Stück) im Jahr 2019 auf etwa 1,7 Milliarden Dollar im Jahr 2026 (~110 Millionen Stück) wachsen. PICs werden hauptsächlich im Bereich Telekommunikation/Datenkommunikation eingesetzt, der etwa 99 % des PIC-Marktes ausmacht (InP und SiPh). Es werden jedoch auch neue Anwendungen entwi-

ckelt: Telekommunikation, Verbindungen zwischen oder innerhalb von integrierten Schaltungen, aber auch 5G, Sensoren, Biomedizin usw.

Die nachfolgende Übersicht der europäischen Unternehmen, die an der PIC-Wertschöpfungskette beteiligt sind, zeigt, dass Europa zahlreiche Unternehmen hervorgebracht hat, welche ein Beleg sind für das Know-how und die Dynamik der lokalen Universitäten und Forschungseinrichtungen.

Die Vielzahl der Unternehmen kann jedoch über eine andere Realität hinwegtäuschen. Europäische Unternehmen sind hauptsächlich in zwei Segmenten der Wertschöpfungskette tätig. Das erste ist das vorgelegte Segment, in dem die Unternehmen Rohstoffe und Herstellungsverfahren liefern und Instrumente zur Kontrolle des Fortschritts entwickeln. Das zweite Segment ist der Sensormarkt, d. h. Anwendungen außerhalb der Telekommunikation. Wie bereits erwähnt, ist dieses Segment wesentlich kleiner als der Telekommunikations-/Datenkommunikationsmarkt.



Europäische Unternehmen, die an der PIC-Wertschöpfungskette beteiligt sind

Quelle: TEMATYS

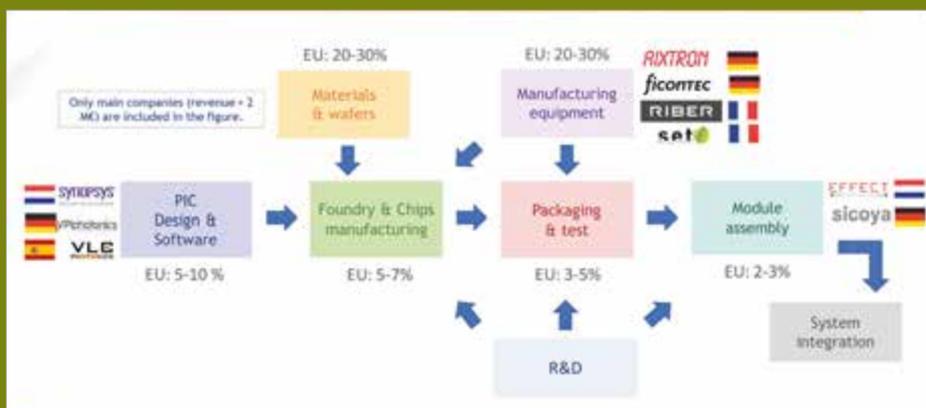
Infolgedessen ist der europäische Marktanteil im ersten Segment mit 20-30% bei Materialien und Herstellungsausrüstung recht hoch. Da es in Europa jedoch keine bedeutenden Akteure auf dem Telekommunikations-/ Datenkommunikationsmarkt gibt, liegt der europäische Anteil an der Komponentenproduktion unter 5%.

Der Hauptgrund dafür ist nicht, dass die europäische Wissenschaft hinterherhinkt. Im Gegenteil, einige der von ausländischen Unternehmen entwickelten Technologien stammen aus Europa. Der Hauptgrund für diese Situation ist, dass europäische Start-ups Schwierigkeiten haben, genügend Geld aufzubringen, um ihre Produkte zu industrialisieren. LUXTERA, ein amerikanisches Unternehmen, das PIC-Transceiver entwickelt hat, konnte zwischen 2001 und 2014 130 Millionen US-Dollar aufbringen, ohne daraus einen Nutzen zu ziehen, bevor es 2019 für 660 Millionen

US-Dollar von CISCO übernommen wurde. Photonische Technologien reifen langsam, können aber sehr profitabel sein.

Photonikunternehmen sind attraktiv, aber europäische Unternehmen werden in der Regel aufgekauft, bevor sie eine solche Wertsteigerung erreichen. Tatsächlich wurden einige große europäische PIC-Unternehmen von außereuropäischen Unternehmen übernommen, wie die folgende Tabelle zeigt.

Das Ergebnis ist, dass 14% der europäischen PIC-Unternehmen nicht mehr europäisch sind, auch wenn sie noch in der Union ansässig sind. Auf diese Unternehmen mit außereuropäischen Konzernmüttern entfallen, gemessen am Umsatz, 38% des Marktes in Deutschland, 27% des Marktes der Niederlande und 16% des französischen PICs-Marktes.



Der europäische (EU27) Marktanteil der PIC-Lieferkette

Quelle: TEMATYS

Name	Land	Sitz der Muttergesellschaft
3SP Technologies	Frankreich	China
Accelink Denmark	Dänemark	China
Aryballe	Frankreich	FR/SK/JP
II-VI Jarfalla AB	Schweden	USA (Coherent group)
LioniX International	Niederlande	Südkorea
Optoscribe	Vereinigtes Königreich	USA
Sicoya GmbH	Deutschland	China
Synopsys Netherlands	Niederlande	USA
VLC Photonics	Spanien	Japan

Beispiele einiger europäischer PIC-Akteure, die von außereuropäischen Unternehmen übernommen wurden

Quelle: TEMATYS

Photonik in der Medizintechnik

Kaum ein anderer Bereich ist so abhängig von der Photonik wie Medizin und Biologie

Das moderne Gesundheitswesen steht vor neuen Herausforderungen. Weltweit sterben jährlich mehr als 30 Millionen Menschen an den zehn häufigsten Krankheiten, darunter Herzkrankheiten, Lungenkrebs, Schlaganfall und chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD). Eine reichhaltigere Ernährung und ein bewegungsarmer Lebensstil gehen Hand in Hand mit der Ausbreitung von Adipositas und anderen gesundheitlichen Risikofaktoren und tragen zu 10 Millionen vorzeitigen Todesfällen durch Typ-II-Diabetes und andere ernährungsbedingte Ursachen bei. Nicht zuletzt hat uns die COVID-19-Pandemie daran erinnert, dass jederzeit und überall ein neues tödliches Virus auftreten kann und wie schnell sich ein ansteckendes Virus durch internationale Reisen ausbreiten kann. In Europa werden diese Herausforderungen durch die rasche Alterung der Bevölkerung noch verschärft: Die Zahl der EU-Bürger, die 65 Jahre und älter sind, wird sich bis 2030 voraussichtlich verdoppeln. Dies wird zu einem enormen zusätzlichen Druck auf die medizinische und pflegerische Versorgung führen, nicht zuletzt durch die dramatische Zunahme altersbedingter Krankheiten wie Alzheimer, Demenz, Makuladegeneration, Nierenversagen, Arthrose und Krebs.

Kaum ein anderer Bereich ist so abhängig von der Photonik wie Medizin und Biologie. Und die gute Nachricht ist, dass europäische Unternehmen in diesen Bereichen eine führende Rolle spielen.

Augenheilkunde: Fast die Hälfte der Menschheit trägt eine Brille! Laut einer 2016 veröffentlichten Studie waren im Jahr 2000 22,9% der Weltbevölkerung von Kurzsichtigkeit betroffen. Im Jahr 2050 wird die Hälfte der Weltbevölkerung (49,8%) allein wegen Kurzsichtigkeit eine Brille benötigen¹⁷.

Brillen sind für uns alle so alltäglich und notwendig, dass wir vergessen, dass es sich um ein Hightech-Produkt handelt. Das Material, die Form und die Beschichtungen, die zur Härtung und zum besseren Schutz aufgetragen werden, sind das Ergebnis einer hochentwickelten Wissenschaft

und Technologie. Sehr komplexe Formen, die sogenannten Freiformen, ermöglichen es, Brillengläser für jeden Brillenträger individuell zu gestalten und mehrere Korrektortypen in ein Gleitsichtglas zu integrieren. Essilor, ZEISS, Rodenstock und Hoya sind in diesem Bereich weltweit führend.

Kein biologisches Labor und keine moderne Diagnostik kommt ohne hochentwickelte Mikroskopietechniken aus.



Wer heute ein Symbol für ein Labor verwenden will, zeigt ein Mikroskop. Hellfeld, Dunkelfeld, Dispersionsfärbung, Phasenkontrast, Interferenz, Fluoreszenz, Konfokal, Zwei-Photonen, Weitwinkel – eine Vielzahl modernster Mikroskopietechniken ermöglicht es, das Innere lebender Zellen in 3D zu betrachten, Krankheiten zu diagnostizieren und sogar lebendes Material zu manipulieren, z. B. bei der In-vitro-Fertilisation. Neben den Hauptakteuren Leica Microsystems und ZEISS entwickeln zahlreiche europäische Laboratorien und kleinere Unternehmen spezielle Lösungen für diesen Markt.

Radiographie, Röntgenstrahlen sind auch Photonen. Jeder wurde in seinem Leben schon einmal geröntgt, sei es bei

einer Zahnuntersuchung, einem Knochenbruch, einer Mammographie oder aus vielen anderen Gründen. Betrachtet man nur die Mammographie, so ist die Röntgenuntersuchung entscheidend für die Früherkennung von Brustkrebs. Im Jahr 2018 wurden fast 2 Millionen neue Fälle von Brustkrebs diagnostiziert¹⁸, und es ist erwiesen, dass Mammographie-Screening-Programme die Brustkrebssterblichkeit um etwa 20% senken können¹⁹.

Endoskope ermöglichen die Beobachtung in vivo und minimieren die Auswirkungen chirurgischer Eingriffe. Die Endoskopie stützt sich heute auf viele Bereiche der Photonik: Mikrooptik, Faseroptik, Bildgebung, Laser, intelligente



Beleuchtung. Sie ermöglichen nicht nur den Blick ins Innere des Körpers, sondern auch die Interaktion mit den Organen: Laserchirurgie, fortgeschrittene In-vivo-Detektion von Tumoren usw. Dank der Endoskope sind bei vielen Operationen keine großen Schnitte mehr erforderlich, was nicht nur patientenfreundlicher ist und Ängste reduziert, sondern auch zu einer schnelleren Genesung der Patienten beiträgt, was sich wiederum positiv auf die Heilungskosten auswirkt. Dank Unternehmen wie Karl Storz oder Mauna Kea ist Europa auch in diesem Bereich international sehr wettbewerbsfähig.

Laser überall. Die nachfolgende Tabelle zeigt den Einsatz von Lasern in nahezu allen medizinischen Fachgebieten. Laser werden diagnostisch, therapeutisch und chirurgisch eingesetzt. Faserlaser sind heute in der kosmetischen/therapeutischen Dermatologie weit verbreitet, von der Hautverjüngung (Anregung des Kollagenwachstums) und Gefäßbehandlung bis zur Entfernung von Haut, Haaren, Fett und Tätowierungen.

In der Chirurgie, von der Urologie bis zur Augenheilkunde, werden Laser eingesetzt, weil sie weniger invasiv, sauberer

Laseranwendungen im Bereich Biomedizin/Medizin

Laser Types	Capillary Electro-phoresis	Confocal Microscopy	Medical Imaging	Tissue Welding	Arthroscopy	Orthopedics	Photocoagulation	Blood Cell Analysis/Hematology	Plastic Surgery	General Surgery	Cancer Treatment	Dermatology	Obstetrics/GYN	Gastroenterology	Angioplasty	Pathology	Ophthalmology	Dentistry	Research	Otorhino-laryngology	Photodynamic Therapy	Neurosurgery	Cardiac Revascularization (TMR)	Urology/Lithotripsy
Alexandrite							•	•	•		•	•			•		•	•	•		•			
ArF													•				•							
Argon-Ion	•	•	•				•	•	•	•	•	•	•	•	•		•		•		•			
CO2 Flowing Gas						•			•	•	•	•	•	•				•	•	•			•	
CO2 Sealed-off				•		•			•	•	•	•	•	•				•	•				•	
CO2 TEA																			•				•	
Co:MgF2																			•					
Copper Vapor									•		•	•				•			•	•	•			
Cr4:Forsterite			•	•															•					
Cr4:YAG			•	•															•					
Cunyte			•	•																				
Diode-Pumped SS		•	•				•	•	•								•							
Diodes Direct		•		•	•		•	•	•	•	•	•					•	•	•		•			
Dye							•		•		•	•					•		•					•
Er:Glass										•									•					
Er:YAG								•	•			•					•	•	•	•		•		
Excimer															•			•		•			•	
Gold Vapor									•		•	•					•		•		•			
HeNe		•	•				•				•	•					•	•	•		•		•	
Holmium YAG					•	•			•	•			•		•		•		•			•	•	
Krypton-Ion		•					•	•	•			•				•		•		•				
Nd:YAG						•	•		•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•			•

Quelle: Photonics spectra²⁰

und heilungsfördernder sind. In der Zahnmedizin werden Laser zur Regeneration von Knochen und Zahnfleisch, zur Behandlung von Weich- und Hartgewebe, für die Wurzelkanalchirurgie, zum schnellen Bleichen von Zähnen und zur Schmerzbehandlung eingesetzt.

Es gibt noch viele andere photonenbasierte Techniken und in Bereich der Medizintechnik oder Biotechnologie. Sie alle aufzuzählen, würde den Rahmen sprengen, aber hier ein paar Beispiele: PCR²¹-Tests zum Nachweis von Viren, Optogenetik, die das Verständnis des Gehirns dramatisch beschleunigt, Photoakustik und OCT, neue bildgebende Verfahren. Spektrometer in Chipgröße und mikrofluidische Technologien ebnen den Weg für viele fortschrittliche „Point-of-Care“-Geräte, die eine sofortige Diagnose von Diabetes oder Krebs ermöglichen werden. Kameras, selbst die in Smartphones, sind so leistungsfähig, dass sie dank fortgeschrittener Bildverarbeitung auf der Grundlage von Deep Learning für die dermatologische Diagnose eingesetzt werden können.

Wie steht es um die strategische Autonomie der deutschen Medizintechnikindustrie in der elektronischen und photonischen Wertschöpfungskette?

Die größte Herausforderung bleibt die Mikroelektronik: Wie fast alle Industrien hat auch die Medizintechnik mit Lieferengpässen bei mikroelektronischen Chips und photonischen Komponenten wie Displays oder Bilddetektoren zu kämpfen. Anders als die Automobilindustrie kann die Medizintechnikbranche jedoch keine großen Stückzahlen bestellen. Es gibt sehr unterschiedliche Gerätetypen für verschiedene Krankheitsbilder und Anwendungen. Jedes Gerät hat seine eigene Elektronik, seine eigene Mensch-Maschine-Schnittstelle, seine eigene Betriebsumgebung wie Operationssaal, Krankenzimmer, Arztpraxis. Auch müssen

die möglichen Lebenssituationen des Patienten berücksichtigt werden. Es ist nicht ungewöhnlich, dass große Medizintechnikunternehmen in ihren Katalogen mehrere tausend verschiedene Varianten anbieten.

Eine zweite Herausforderung, auf die der Sektor sehr sensibel reagiert, ist die Veralterung der Komponenten, da die kommerzielle Lebensdauer einiger mikroelektronischer Chips kürzer ist als die der medizinischen Geräte. Neue elektronische Leiterplatten müssen entwickelt und getestet werden, und die Lieferkette muss angepasst werden. Die befragten Vertreter der Medizinprodukteindustrie weisen auch auf einige nichttechnische Probleme hin, die die Lieferketten erheblich verkomplizieren. Einige Länder haben komplexe und restriktive Zollvorschriften, während andere eine lokale Produktion verlangen, um Zugang zu ihrem lokalen Markt zu erhalten. Es ist nicht möglich, jede Produktvariante lokal zu produzieren, zumal jede lokale Produktion eine eigene Lieferkette bedingt.

Beschaffung photonischer Komponenten: Die Versorgung mit photonischen Komponenten wird als zuverlässiger beschrieben, da es Lieferanten in Europa oder den USA gibt. Probleme werden eher bei der Suche nach billigeren Lieferanten in anderen Ländern wie China gesehen. Aus verschiedenen geopolitischen oder protektionistischen Gründen oder in jüngster Zeit aus Gründen der Pandemie kann sich die Versorgung mit solchen Komponenten dennoch als schwierig erweisen.

Die befragten Hersteller medizinischer Geräte gaben an, dass die wichtigsten Lösungen, die sie zur Optimierung ihrer Lieferketten für knappe elektronische und photonische Komponenten eingeführt haben, darin bestanden, Lagerbestände anzulegen und die damit verbundenen zusätzlichen Kosten in Kauf zu nehmen.

Die europäische Perspektive auf die strategische Souveränität der Photonikindustrie

Ergebnisse einer Umfrage zur Lieferkette der Photonikindustrie von Photonics21

Photonik-Technologien, -Komponenten und -Lösungen spielen eine entscheidende Rolle in vielen strategischen Wertschöpfungsketten (SVCs) der EU. EU-Kommissar Breton hat erklärt, dass „unsere Fähigkeit, das Metaverse

zu gestalten, von unserer Fähigkeit abhängen wird, Spitzentechnologien wie Photonics ... in Europa zu beherrschen und zu entwickeln“. *



* siehe „Europas Plan, im Metaversum zu gedeihen: Menschen, Technologien und Infrastruktur“, Thierry Breton, EU-Kommissar für den Binnenmarkt, 14. September 2022, LinkedIn
Quelle: Photonics Strategic Research Agenda „New Horizons – Securing Europe’s strategic autonomy through Photonics“ / Photonics Industry Supply ChainSurvey 2023, Photonics21

Eine von PH21/EPIC durchgeführte Umfrage analysierte die Lieferkette der europäischen Photonikindustrie mit dem Ziel, kritische Abhängigkeiten/Verluste und potenziellen Handlungsbedarf zu identifizieren, um die Widerstandsfähigkeit der Photonik-Lieferkette und ihrer Endmärkte zu erhöhen. Die Umfrage wurde von Oktober bis Dezember 2022 durchgeführt und mehr als 112 EU-Unternehmen haben geantwortet, 80 % davon waren KMU.

Die wichtigsten Ergebnisse der Umfrage sind

- **Die Mehrheit der befragten europäischen Photonikunternehmen steht vor großen Problemen in der Lieferkette.**

Über 80 % der europäischen Photonikunternehmen sehen sich 2022 einem gewissen Stress ausgesetzt.

■ **Engpässe und Lieferverzögerungen in der Lieferkette sind die Hauptursache für Produktionsunterbrechungen in der europäischen Photonikindustrie.**

Fast 90 % der EU-Photonikunternehmen waren mit Unterbrechungen aufgrund von Engpässen und Lieferverzögerungen in der globalen Lieferkette konfrontiert. Zu den Beschaffungsproblemen gehörten die Nichtverfügbarkeit von Rohstoffen, Zwischenprodukten und Ausrüstung.

■ **Die wichtigsten Engpässe für europäische Photonikunternehmen auf der Beschaffungsseite sind mikroelektronische und photonische Halbleiter, optische Komponenten, Rohstoffe und Ausrüstung.**

Typische Engpässe bei optischen Komponenten sind Glasfasern, optische Linsen, Spiegel, Filter und LEDs.

■ **Die EU-Photonikunternehmen sind in hohem Maße von außereuropäischen Zulieferern abhängig.**

53 % der EU-Photonikunternehmen gaben an, dass sie in hohem Maße auf Lieferungen aus China angewiesen sind. 65 % der Unternehmen gaben an, dass kritische Güter und Materialien, die für die Produktion benötigt werden, in Europa nicht verfügbar sind.

■ **Die Anfälligkeit der europäischen Photonik-Lieferkette kann schwerwiegende Auswirkungen auf wichtige europäische Industriezweige haben.**

Die Endnutzermärkte der befragten EU-Photonikunternehmen zeigen die weit verbreitete Nutzung der Photonik in den Schlüsselindustrien der EU, darunter:



- Gesundheitswesen: Photonik wird in bildgebenden Verfahren wie Röntgen, CT und MRT eingesetzt, um die Diagnose von Krankheiten und Verletzungen zu unterstützen.
- Fertigung: Photonik wird in Präzisionsfertigungsprozessen wie Laserschneiden und -schweißen sowie in der Qualitätsanalyse und -kontrolle (QA/QC) eingesetzt.
- Verteidigung und Sicherheit: Photonik wird in High-tech-Überwachungssystemen, Nachtsichtgeräten und gezielten Energiewaffen eingesetzt.
- Telekommunikation: Photonik wird in Glasfasernetzen eingesetzt, die das Rückgrat der modernen Kommunikation bilden, um große Datenmengen mit hoher Geschwindigkeit zu übertragen.
- Automobilindustrie: Photonik wird in Displays, LED-Beleuchtungen und in verschiedenen Sensoren für ADAS und autonome Fahrzeuge eingesetzt.

■ **Fast alle befragten Photonikunternehmen in der EU sind bereit, noch höhere Kosten in Kauf zu nehmen, um wichtige Vorprodukte in Europa zu beziehen und so die Versorgungssicherheit zu gewährleisten.**

Dies ist eine einmalige Gelegenheit, um Produktionskapazitäten in der EU (wieder) aufzubauen und Kunden auf dem Markt zu finden.



Empfehlungen für Maßnahmen zur Stärkung der strategischen Autonomie der europäischen Photonikindustrie

Diese Ergebnisse führen zu den folgenden Empfehlungen von Photonics21 für Maßnahmen zur Stärkung der strategischen Autonomie der europäischen Photonikindustrie:

- **Upstream:** Umsetzung einer europäischen Strategie für kritische photonische Materialien und Komponenten für Schlüsselindustrien und -technologien, um eine photonische Lieferkette in Europa sicherzustellen.
- **Upstream:** Anreize für Forschung, Entwicklung und Prototyping von kritischen Photonik-Komponenten in Europa für strategische industrielle Lieferketten.
- Aufbau von Partnerschaften mit „gleichgesinnten“ Ländern weltweit, um vertrauenswürdige und sichere Photonik-Lieferketten zu schaffen.
- **Downstream:** Aufbau strategischer F&E-Allianzen mit strategischen Schlüsselindustrien unter Nutzung einschlägiger EU-Initiativen zur Sicherung der Versorgung mit fortgeschrittenen Photonik-Komponenten und -Systemen:
 - Hochleistungsrechner und Quantencomputer
 - Erweiterte und virtuelle Realität
 - Europäisches Metaversum
 - Digitale Infrastruktur
 - Industrie 5.0 und Fertigung
 - Automobil und Mobilität
 - Raumfahrt und Verteidigung
 - Erneuerbare Energien
 - Gesundheit
 - Landwirtschaft und Ernährung

Strategische Autonomie und technologische Souveränität – eine Begriffsbestimmung für den Bereich der Photonik



DR. HENNING KROLL

ÜBER DEN AUTOR

Nach einem Studium der Geografie mit Schwerpunkt Wirtschaftsgeografie an der Universität Hannover und einer Promotion zum Thema „universitäre Ausgründungen in China“ ist Dr. Henning Kroll seit August 2006 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Competence Center Innovations- und Wissensökonomie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI in Karlsruhe und leitet seit Juli 2019 das Geschäftsfeld Innovationstrends und Wissenschaftsforschung. Als Privatdozent lehrt er am Institut für Wirtschafts- und Kulturgeografie der Leibniz Universität Hannover und war Visiting Professor der School of Public Policy and Management der Universität der Chinesischen Akademie der Wissenschaften (UCAS). Er ist (Mit-)Autor zahlreicher Publikationen und Aufsätze zum Thema Souveränität, so etwa des Berichts „Technologiesouveränität: Von der Forderung zum Konzept“ des Fraunhofer ISI oder der Schwerpunktstudie „Digitale Souveränität“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.

Seit der Störung vieler internationaler Lieferketten im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie sowie vor dem Hintergrund einer immer stärker von Spannungen geprägten geopolitischen Gesamtlage haben Diskussionen um internationale Abhängigkeiten in spezifischen Technologiefeldern bzw. die abnehmende Gestaltungsfähigkeit ganzer Branchen an Bedeutung gewonnen. Hinzu kommen das Erstarken Chinas als immer maßgeblicherem Wettbewerber sowie das Zurückfallen Deutschlands und Europas im Bereich digitaler Technologien. Waren über mehrere Jahrzehnte Entscheidungen im Bereich der internationalen Arbeitsteilung überwiegend nach kurzfristig-kommerziellen Kriterien und auf der Prämisse unangefochtener technologischer Führerschaft getroffen worden, treten nun die Berücksichtigung von Risikofaktoren und der Verlässlichkeit aktueller und zukünftiger Kooperationspartner verstärkt in den Vordergrund.

Die auf die unmittelbaren politischen Schocks des Ukraine-Krieges sowie der immer expliziteren politischen Neupositionierung Chinas folgende Diskussion war dabei in den ersten Wochen und Monaten teilweise von Übertreibungen und voreiligen Schlüssen hinsichtlich der Notwendigkeit (und Realisierbarkeit) einer zeitnahen Entkopplung geprägt. Diesen standen andererseits Akteursgruppen gegenüber, die die sich stark verändernden Rahmenbedingungen nur sehr langsam als Grundlage veränderten Handelns akzeptieren mochten. Vor dem Hintergrund dieser Debatte, in der selbst Begriffe wie „Autarkie“ und „komplette Rückverlagerung“ Verwendung fanden, bemüht sich dieser Beitrag um eine begriffliche Klärung und faktenbasierte Positionierung.

Sein zentrales Anliegen ist es, deutlich zu machen, dass auch die aktuell stark veränderten Rahmenbedingungen

keine grundsätzlich veränderte Herangehensweise in der Bewertung internationaler Wirtschaftsbeziehungen verlangen, sondern vielmehr eine Rückbesinnung auf seit vielen Jahrzehnten bekannte und erprobte Grundsätze soliden kaufmännischen und politischen Handelns, im Rahmen derer eben auch Risiken und Unsicherheiten angemessen Berücksichtigung finden.

Dieser Artikel nimmt dabei eine vor allem unternehmerische, d. h. eine auf stabile Wertschöpfung und langfristige wirtschaftliche Entwicklungsmöglichkeiten hin orientierte, Perspektive ein. Fragen der nationalen Sicherheit, die berechtigterweise aus sehr ähnlichem Anlass unter den Überschriften dual use und digitale Souveränität diskutiert werden, werden an dieser Stelle nicht explizit thematisiert. Gleiches gilt für die Frage, ob z. B. die Adressierung von Nachhaltigkeitsfragen auch unter veränderten Rahmenbedingungen Kooperationen mit Partnern erforderlich machen kann, die unter rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten als deutlich zu risikoreich zu bewerten wären.

Einleitende Begriffsbestimmung

Im Rahmen der mittlerweile mehrere Jahre andauernden Debatte um wirtschaftlich-technologische Abhängigkeiten hat sich auf europäischer Ebene vor allem der Begriff „Strategische Autonomie“ (Open Strategic Autonomy), auf nationaler Ebene eher der Begriff „technologische Souveränität“ durchgesetzt. Von Detailabgrenzungen abgesehen sind diese Begriffe dahingehend wesensgleich, dass sie mit „Autonomie“ und „Souveränität“ aktive, auf Handlungsfähigkeit hin orientierte Konzepte ins Zentrum stellen, anstatt bereits die Abhängigkeit bzw. Zusammenarbeit mit ausländischen Akteuren an sich als potenziell negativ zu werten.

In diesem Sinne stellen beide Ansätze heraus, dass globale Austauschbeziehungen und Zulieferketten als unproblematisch zu betrachten sind, solange sich aus ihnen keine Einschränkung der nationalen bzw. branchenspezifischen Handlungs- und Entwicklungsfähigkeit ergibt. Der vielfach belegte Sinn internationaler Arbeitsteilung an sich wird nicht in Abrede gestellt. Gewisse, in Summe durchaus auch substanzielle, Abhängigkeiten von ausländischen Partnern sind nach dem Verständnis beider Konzepte an sich nicht als problematisch anzusehen. Dessen ungeachtet beziehen sie unzweideutig Position hinsichtlich einer veränderten

Weltlage, in der nicht mehr allein ein verstärktes Ringen um technologische Führerschaft den Rahmen setzt, sondern auch echte Systemkonkurrenz, die es weit stärker als früher als möglich erscheinen lässt, dass bestehende Abhängigkeiten als politischer Hebel genutzt werden.

Zentral für die Bestimmung etwaiger Problemlagen sind daher – neben dem grundsätzlichen Vorhandensein substanzieller Abhängigkeiten – vor allem drei Aspekte: die Konzentration aktueller Abhängigkeiten, das Ausfallrisiko der aktuell beteiligten Partner sowie ggf. bestehende Möglichkeiten zu ihrer Substitution. Erst wenn eine Abhängigkeit einseitig wird, wird sie potenziell problematisch, und erst wenn sich ein Partner als unmittelbar oder perspektivisch unzuverlässig erweist, ohne dass auf andere Partner ausgewichen werden kann, hat sich eine latente Verwundbarkeit zu einem konkreten Problem entwickelt.

Vor diesem Hintergrund vertreten v. a. akademische Beiträge, nicht allein Deutschland, sondern den europäischen Binnenmarkt insgesamt als Referenzraum anzustrebender Autonomie bzw. Souveränität zu verwenden, innerhalb dessen die Entwicklung einer Arbeitsteilung zur Ausnutzung lokaler Kosten- und Kompetenzvorteile nach wie vor nicht in Frage zu stellen ist. Innerhalb dieser Gruppe sorgen einerseits fest bestimmte regulatorische Rahmenbedingungen sowie andererseits ein noch immer stabiles Grundgerüst politischer Übereinkünfte für ein hohes Ausmaß an Verlässlichkeit ökonomischer Partner. Ebenfalls in diese Gruppe fallen Länder wie Norwegen oder die Schweiz, die sich in vielen relevanten Fragen stark an Europa anlehnen.

In Abgrenzung davon lassen sich unterschiedliche Ländergruppen identifizieren, von denen eine Zuverlässigkeit in der Zusammenarbeit nicht immer erwartet werden kann.

- Länder, in denen interne Instabilitäten und Konflikte die Durchführbarkeit bestimmter wirtschaftlicher Aktivitäten beeinträchtigen könnten,
- Länder, in denen Regierungen aus innenpolitischen Erwägungen für deutsche Akteure nachteilige regulatorische Entscheidungen treffen könnten,

- Länder, die ihre Systemgegnerschaft zu Deutschland aktiv erklärt haben und geneigt sein könnten, Abhängigkeiten politisch zu instrumentalisieren,
- Länder, die in näherer Zukunft ohne eigenes Zutun Partei eines kriegerischen Konfliktes werden oder von diesem betroffen sein könnten.

Verschiedene Perspektiven der Analyse

Zum besseren Verständnis der praktischen Relevanz des Konzeptes für Unternehmen und öffentliche Stakeholder in Deutschland ist es zudem wichtig zu berücksichtigen, dass die entsprechende Debatte teils auf sehr unterschiedlichen Ebenen geführt wird.

Die in der öffentlichen Diskussion zzt. vielleicht gängigste Diskussion ist jene über spezifische Schlüsselressourcen (wie Seltene Erden), auf die der Zugriff gesichert werden sollte bzw. über spezifische Schlüsselkomponenten (wie Mikrochips), deren Produktion nicht allein potenziell gegnerisch gesinnten bzw. geopolitisch stark exponierten Staaten überlassen werden sollte. Diese Debatte um Importabhängigkeiten im Bereich sehr spezifischer Rohstoffe und Güter ist nachvollziehbar und, insbesondere im Rahmen spezifischer sektoraler Debatten, auch sachlich sehr relevant.

Potenziell wichtiger allerdings noch ist die Frage, inwieweit bereits ganze Sektoren in der Breite strukturell abhängig von externen Zulieferungen bzw. aufgrund externer Übernahmen nicht mehr in der Lage sind, ihre eigene Strategie selbst zu bestimmen. Hierzu zählt unverzichtbar auch die Berücksichtigung ihrer eigenen Stärke und deren Gegenüberstellung mit aktuell gegebenen externen Abhängigkeiten. Während eine Abhängigkeit in einzelnen Produktgruppen bzw. im Hinblick auf einzelne Rohstoffe schon immer unvermeidlich war und dies auch bleiben wird, wäre eine strukturelle Abhängigkeit – wie sie sich traditionell eher in Schwellenländern fand – auch aus unternehmerischer Perspektive ein weitaus fundamentaleres Problem.

Politische und unternehmerische Maßnahmen zur Sicherung strategischer Autonomie bzw. technologischer

Souveränität können somit niemals nur auf die „Absicherung“ einzelner Rohstoffe und Produktgruppen abzielen. Stattdessen müssen sie im Rahmen einer Doppelstrategie sowohl den strategischen Ausbau eigener Kapazitäten als auch ein systemisch angelegtes Management unvermeidlicher Abhängigkeiten fördern und ermöglichen helfen. Wie dies praktisch gelingen könnte, wird im Folgenden anhand einer differenzierten Betrachtung aus unterschiedlichen Perspektiven erläutert.

Dimensionen von Abhängigkeit

Um eine sachliche Debatte über Souveränitätsfragen zu ermöglichen und aus dieser konkrete, handlungsleitende Schlüsse zu ziehen, muss zwischen einer Reihe von zentralen Aspekten differenziert werden.

Klar zu trennen ist dabei erstens zwischen Abhängigkeiten im Bereich technologischer Kompetenzen und Abhängigkeiten von materiellen Zulieferungen.

Im ersten Bereich ist es vor allem die eigene Kompetenz der betroffenen Unternehmen sowie ggf. die Abwesenheit der Kontrolle externer Investoren über ihre Entscheidungen, die autonomes und standardsetzendes Handeln ermöglicht. Die Ambition, in diesem Sinne strategisch handlungsfähig zu bleiben, ist ein natürliches Anliegen aller führenden Wirtschaftsakteure, da sie nur so ihren unternehmerischen Erfolg langfristig sichern können. Gleichmaßen ist Wissensabfluss in strategischen Bereichen bestenfalls dann zu rechtfertigen, wenn ein besonderes Vertrauensverhältnis zum Partner besteht. Wie die obere Abbildung auf Seite 53 zeigt, liegt die Photonik* diesbezüglich im Vergleich zu anderen Hochtechnologiesektoren im Mittelfeld.

Im zweiten Bereich hingegen sind vor allem unmittelbar kommerzielle Erwägungen berührt. Wenn in der Vergangenheit Aktivitäten ins Ausland verlagert wurden, geschah dies rein kaufmännisch betrachtet oft aus guten Gründen, sodass eine Rückverlagerung in vielen Fällen mit erheblichen Kosten verbunden wäre. Mindestens entstehen nach bereits erfolgten Investitionen durch Rückverlagerungen kurzfristig erhebliche Transaktionskosten. Wenn im Ausland dauerhaft erhebliche Personalkostenvorteile bestehen oder Unternehmen nur dort in unmittelbarer Nähe

* Zur Bestimmung der Werte wurden übergreifende Definitionen des Photoniksektors auf Basis von Patentklassen (IPC) bzw. Handelsgüterkategorien (HS, PRODCOM) verwendet, wie sie in zusammenfassenden Berichten zur technologischen Leistungsfähigkeit üblich sind.

zu Kunden, Wettbewerbern und Märkten operieren können (Clustervorteile), ist eine entsprechende Entscheidung unternehmerisch oft auch langfristig nachteilig. Wie die untere Abbildung auf Seite 53 zeigt, liegt die Photonik auch hier im Vergleich zu anderen Hochtechnologiesektoren im Mittelfeld. Zwar ist der relative Anteil der Importe am in Europa verfügbaren Produktionsvolumen relativ hoch, vergleichbar dem z. B. in der Mikroelektronik, die entsprechende Handelsbilanz ist demgegenüber allerdings relativ ausgeglichen.

Während eine weitestgehend autonome Handlungsfähigkeit im technologischen Bereich somit schon immer ein natürliches Anliegen aller Technologieführer war, implizierten Bestrebungen hin zu einer Souveränität im Bereich der Produktion eine erhebliche strukturelle Neuorientierung ungewissen Ausgangs.

Eine zweite, zentrale Differenzierung liegt dessen ungeachtet in der Unterteilung eben dieses Bereiches der materiellen Souveränität in Souveränität im Bereich von Rohstoffen, Vorprodukten und Endprodukten.

Rohstoffe kommen ihrem Wesen nach weltweit nur an bestimmten Orten vor und können und sollten daher in aller Regel nicht lokal beschafft werden. Eine Erschließung heimischer Quellen ist, insoweit naturräumlich überhaupt möglich, meist nur mit langen Vorlaufzeiten möglich. Zudem ist der wirtschaftliche Gewinn für den beteiligten Standort in diesen sehr frühen Wertschöpfungsschritten meist vergleichsweise gering. Somit kann auf die nachlassende Zuverlässigkeit etablierter Zulieferer und Partner kurzfristig meist nur mit einer Diversifizierungsstrategie bzw. politischen Aushandlungsbemühungen reagiert werden. Jedwede Diskussion über internationale Abhängigkeiten ist in diesem Bereich daher bereits grundsätzlich anders gelagert als in folgenden Schritten der Wertschöpfungskette.

Im Bereich der Vorprodukte ist eine erneute Abwägung zwischen Kostenvorteilen und Abhängigkeitsnachteilen demgegenüber potenziell am relevantesten und eine Neuorientierung als Resultat der veränderten Rahmenbedingungen am wahrscheinlichsten. War es noch vor wenigen Jahren oft das Ziel, möglichst viele Vorleistungsschritte

aus Kostengründen ins Ausland zu verlagern, werden sich gerade auch wirtschaftliche Akteure nun zunehmend erneut auch der Fragilität dieses Systems bewusst. Hierbei ist zwischen einfachen und komplexeren Vorprodukten grundsätzlich zu unterscheiden, wobei für die deutsche Photoniklandschaft vor allem letztere von besonderer Bedeutung sind. Bei einfachen Vorprodukten, die – z. B. in Lohnfertigung oder automatisiert – ohne spezifische Kompetenzen oder andere lokale Voraussetzungen an letztlich jedem Ort gefertigt werden können, ist eine spezifische Absicherung gegen potenzielle Störereignisse i.d.R. weniger erforderlich, es sei denn die entsprechende Problemlage ist bereits aktuell sehr offensichtlich. Eine Diversifizierung ist im Zweifel schnell realisiert, eine Rückverlagerung bleibt hingegen in den meisten Fällen schon aufgrund der geringen Wertschöpfungshöhe vergleichsweise unattraktiv und unwirtschaftlich. Bei komplexeren Produkten, die spezifischer Rahmenbedingungen bedürfen und zu deren Herstellung Systemzulieferer selbst über erhebliche Prozesskompetenzen verfügen bzw. sehr spezifisches Produktions-Know-how vorhalten müssen, liegen die Dinge anders. Zulieferer stellen in diesem Zusammenhang nicht allein materielle Güter bereit, sondern haben im Rahmen eines langfristigen Prozesses zentrale Kompetenzen aufgebaut, ohne die spezifische Wertschöpfungsprozesse nicht realisierbar wären und über die auch die Endproduzenten selbst nicht automatisch verfügen. Diese Kompetenzen sind nicht einfach ersetzbar und eine Diversifizierung damit deutlich erschwert. Eine Rückverlagerung könnte sich anbieten, da es u.U. in jedem Fall im Interesse der Endproduzenten liegt, entsprechende Prozesskompetenzen wieder vor Ort selbst aufzubauen bzw. zumindest im näheren Umfeld verfügbar zu machen. Die Konzentration auf lediglich einen oder sehr wenige Anbieter in diesem Bereich wird somit insbesondere dann problematisch, wenn diese den Maßgaben einer potenziell unfreundlich gesinnten Regierung unterliegen.

Im Bereich der Endprodukte (oder sehr komplexer Vorprodukte) sind im Moment zudem noch einmal grundsätzliche Erwägungen neu anzustellen. Auch wenn Deutschland keinen umfassenden Deindustrialisierungsprozess durchlaufen hat, haben doch in den ver-

gangenen Jahrzehnten viele produzierende Industrien das Land verlassen bzw. wurde die Fertigung spezifischer Produktkategorien innerhalb einzelner Sektoren fast ausschließlich ins Ausland verlagert. Maßgeblich waren hierbei nicht selten das Ziel einer marktspezifischen Fertigung nahe am Kunden sowie in Teilen auch Local-Content-Vorgaben. Auch diese Ausgangssituation ist in der deutschen Photonik, insbesondere bei Großunternehmen sowie führenden Mittelständlern, nicht selten anzutreffen.

In einem zunehmend angespannten globalen Umfeld sind vor dem Hintergrund einer solchen Ausgangslage unter politischen, aber auch unternehmerischen Gesichtspunkten einige grundlegende Entscheidungen nun erneut zu hinterfragen. Einerseits ist zu klären, inwieweit man sich unter Versorgungsgesichtspunkten davon abhängig machen möchte, dass die Lieferung zentraler Konsum- und Investitionsgüter aus dem Ausland stets ungestört verläuft, was zunehmend unwahrscheinlich erscheint. Andererseits ist zu überlegen, ob eine Produktion nahe am Kunden trotz aller Vorteile als dauerhaft zu risikobehaftet erscheinen könnte und

daher perspektivisch wieder durch eine externe Zulieferung aus deutscher/europäischer Produktion ersetzt werden sollte/könnte.

Ausblick

Letztlich finden sich in allen oben dargestellten Erwägungen somit viele grundsätzliche Überlegungen unverändert, die sich auch schon zu Beginn der 1990er Jahre in Analysen zu Globalisierung und Standortwahl gefunden hätten.

Geändert haben sich allerdings zwei zentrale Rahmenbedingungen. Einerseits haben sich mit dem Erstarken Chinas und Koreas neue, mindestens gleichrangige Wettbewerber im globalen Innovationssystem positioniert, wodurch die aktive Gestaltungsmacht europäischer Akteure zunehmend eingeschränkt wird. Andererseits können mit der gleichzeitigen Rückkehr ernsthafter politischer Konflikte auf die Weltbühne Standortentscheidungen nicht mehr allein (oder vielmehr: noch weniger als zuvor) unter rein ökonomischen Erwägungen getroffen werden.

Unternehmerische und politische Entscheidungsträger können nicht länger von der Prämisse ausgehen, dass die

Rahmenbedingungen zur Bewertung politischer Ambitionen im Bereich wirtschaftlicher Souveränität

	zentrale Rohstoffe	Einfache Vorprodukte	Komplexe Vorprodukte	Endprodukte
Bestimmende Faktoren zur Standortwahl	Natürliches Vorkommen	oft v. a. Lohnkostenvorteile	Kompetenz und Clustervorteile	Kundennähe; strategische Positionierung
Diversifizierungsmöglichkeiten	gering	hoch	gering	mittel
Kritikalität für die Wertschöpfungskette	hoch	gering	hoch	hoch
Beitrag zur Wertschöpfung; Nutzen für Standort	gering	gering	hoch	hoch
Rückverlagerungsoption	unattraktiv	unattraktiv	wirtschaftlich attraktiv und zu prüfen	strategisch zu prüfen, wirtschaftlich oft neutral

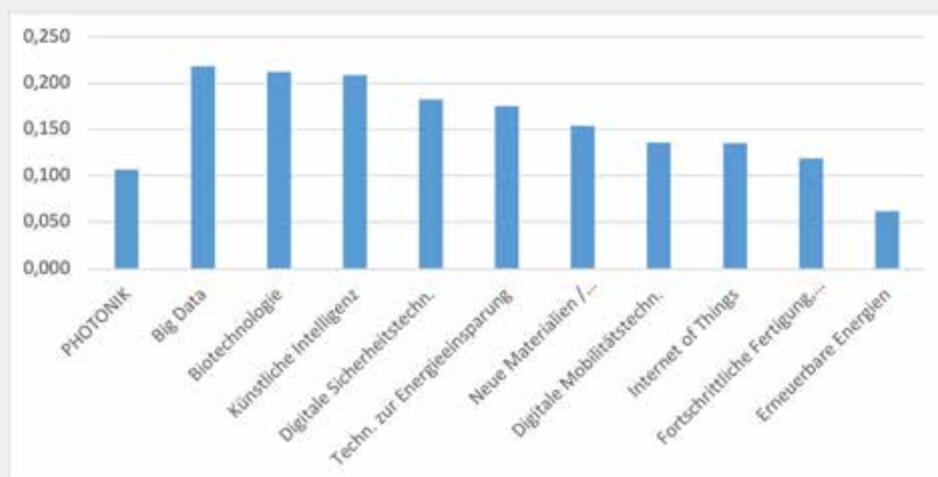
Quelle: eigene Darstellung

regulatorischen Rahmenbedingungen ihres Handelns stabil bleiben werden, noch davon, dass sie diese im Bedarfsfalle neu setzen bzw. aus einer Position der Stärke heraus neu verhandeln können. Trotz einer auch weiter bestehenden und aus deutscher Perspektive unbedingt zu stärkenden Rolle internationaler Organisationen wird man sich zumindest für einige Zeit von der Vorstellung einer stabilen und von allen Staaten weltweit gleichermaßen akzeptierten regelbasierten Ordnung verabschieden müssen.

Abschließend steht somit die Erkenntnis, dass die eigene Autonomie und Souveränität eines Landes bzw. einer Bran-

che innerhalb desselben neben dem Niveau der eigenen Kompetenzen vor allem davon abhängt, inwieweit es gelingt, das mit der Zusammenarbeit mit bestimmten Partnern verbundene Risiko kontinuierlich nüchtern neu zu bewerten und auch vorlaufende Anzeichen für mögliche Störungen frühzeitig in der eigenen Strategie zu berücksichtigen. Um von bestimmten Veränderungen der Rahmenbedingungen nicht unangemessen überrascht zu werden, wird es in Zukunft noch wichtiger als zuvor werden, Kompetenzen hinsichtlich der politischen Verfasstheit und Zielsetzungen ausländischer Regierungen selbst vorzuhalten oder zu beschaffen.

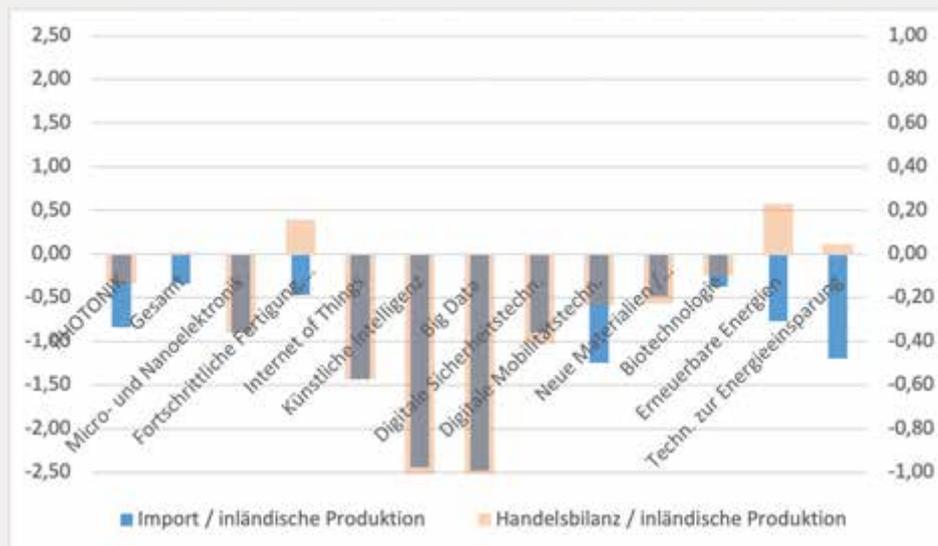
Abhängigkeiten im Technologiebereich – Anteil externer Eigner/Anmelder von Patenten europäischer Erfinder



Anmerkung:
Gezeigt wird der Anteil jener Patente unter Beteiligung mindestens eines deutschen Erfinders, der ganz oder u. a. von einer ausländischen Rechtsperson über den PCT-Prozess des WIPO oder direkt am EPA angemeldet werden (sog. 'transnationale Patente'). Die zur fachlichen Abgrenzung verwendeten Definitionen folgen den Festlegungen des Industriemonitorings der Europäischen Kommission (<https://ati.ec.europa.eu>).

Quelle: eigene Berechnung auf Basis EPO PATSTAT

Abhängigkeiten im materiellen Bereich – Verhältnis von Import und Handelsbilanz zur europäischen Produktion



Anmerkung:
Linke Achse: Verhältnis Import zu inländischer Produktion (Import hierbei als negativer Wert dargestellt);
Rechte Achse: Verhältnis Handelsbilanz zu inländischer Produktion. Die zur fachlichen Abgrenzung verwendeten Definitionen folgen den Festlegungen des Industriemonitorings der Europäischen Kommission (<https://ati.ec.europa.eu>).

Quelle: eigene Berechnung auf Basis UN COMTRADE, Eurostat PRODCOM

Kristalltechnologie zur technologischen Souveränität



PROF. DR. THOMAS SCHRÖDER

Direktor des Leibniz-Instituts für Kristallzüchtung (IKZ)
Professor am Institut für Physik der HU Berlin

Professor Thomas Schröder ist Direktor des Leibniz-Instituts für Kristallzüchtung (IKZ). In der Leibniz-Gemeinschaft hat er die Sprecherrolle im Leibniz-Strategieforum „Technologische Souveränität“ übernommen. In diesem Forum wollen Leibniz-Institute Ideen und Konzepte erarbeiten, um mit Partnern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik zur Sicherung dieser Souveränität beizutragen.

SPECTARIS: Herr Prof. Schröder, Sie sind Direktor des Berliner Leibniz-Instituts für Kristallzüchtung (IKZ) und Sprecher des Leibniz-Strategieforums „Technologische Souveränität“. Wie wird die Forderung nach technologischer Souveränität das Wissenschafts- und Innovationssystem verändern?

Prof. Schröder: Wissenschaft wird immer vom Gedanken der Exzellenz geleitet sein. Wirtschaft wiederum muss in allen Bereichen das Prinzip der Effizienz leben. Die Politik fordert nun zum Schutz der Gesellschaft vor Krisen Resilienz & Nachhaltigkeit ein. Es ist folglich dieser vierdimensionale Raum aus den Vektoren Exzellenz, Effizienz, Resilienz & Nachhaltigkeit, den das Wissenschafts- und Innovationssystem zu gestalten sucht. Der Vektor der Resilienz wird nicht alle Bereiche erfassen müssen, sicher aber die Forschung und Entwicklung (F&E) im Bereich der Schlüsseltechnologien. Technologische Souveränität zwingt hierbei zu einem „deep tech view“; das schwächste Glied limitiert bekanntlich die Stabilität des Systems. Der Slogan „Materialien zu kontrollieren, heißt Technologien zu kontrollieren, heißt Standardisierung & Zertifizierung weltweit zu gestalten“ bringt diesen ganzheitlichen Innovationsgedanken sehr schön zum Ausdruck. Vernetzung und Diversifizierung sind sicher zentrale Werkzeuge, diesen Weg gemeinsam zu bestreiten. Ich wünsche mir, dass die Notwendigkeit technologischer Souveränität – auch oft strategische Autonomie genannt – uns zwingt, Schwächen im Wissenschafts- und Innovationssystem in Europa und Deutschland zu überwinden. Die neue Zukunftsstrategie des BMBFs, sowie der neue Schwerpunkt der „Competitiveness“ der EU setzen einen guten Rahmen, den es nun auch klug umzusetzen gilt.

SPECTARIS: Welche Ziele verfolgt in diesem Rahmen das Leibniz-Strategieforum „Technologische Souveränität“?

Prof. Schröder: Die Politik ist sehr um einen breiten, partizipativen Diskurs zur Umsetzung technologischer

Souveränität bemüht; oft verfügen die Ministerien nur unzureichend über die gebührende Expertise in diesen Themen. Die außeruniversitären Forschungsorganisationen sind aufgerufen, sich hier aktiv zu beteiligen. Das Leibniz-Strategieforum ist somit die Antwort der Leibniz-Gemeinschaft, den gesellschaftlichen Transformationsprozess der technologischen Souveränität / strategischen Autonomie im Bereich der Forschung & Entwicklung & Innovation (F & E & I) mitzugestalten. Es berät dabei das Leibniz-Präsidium in enger Abstimmung. Dabei wird das Forum, getragen von den natur- und ingenieurwissenschaftlichen Instituten, die Entwicklung von innovativen Schlüsseltechnologien von der Grundlagenforschung bis zu Prototypen zum weiteren Transfer in die Wirtschaft bereitstellen. Dies ist die Stärke der natur- und ingenieurwissenschaftlichen Institute der Leibniz-Gemeinschaft. Zwecks einer holistischen Herangehensweise integriert das Strategieforum synergetisch das Wissen der Leibniz-Gemeinschaft im Bereich der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Diese Vorgehensweise wird zunächst am Beispiel von ausgewählten Leuchtturmprojekten demonstriert. Zusammenfassend lässt sich sagen: Das Leibniz-Strategieforum „TS“ bietet somit ein komplettes Technologie- und Innovationsökosystem, das die Beiträge der Leibniz-Gemeinschaft im Transformationsprozess der TS bündelt, stärkt und sichtbar in Wirtschaft, Gesellschaft und Politik nach außen positioniert.

SPECTARIS: Können Sie Leuchtturmprojekte und Herangehensweise konkreter an Beispielen benennen?

Prof. Schröder: Die Leuchtturmprojekte betreffen gesellschaftliche Fragestellungen im Bereich folgender identifizierter Schlüsseltechnologien: Quantentechnologien, Materialien für die Digitalisierung, Wasserstoffwirtschaft, Künstliche Intelligenz, Kommunikation & Mikroelektronik und Gesundheitstechnologien. Photonik ist dabei selbstredend eingeschlossen. Die Leibniz-Gemeinschaft besitzt hier eine einzigartige Expertise, diesen Platz führend einzunehmen. Jeweils 2-3 Leibniz-Institute identifizieren in einer Schlüsseltechnologie ein innovatives Leuchtturmprojekt mit international anerkanntem Potenzial für künftige wirtschaftliche Verwertungen. Die Bearbeitung erfolgt basierend auf der bestehenden komplementären Expertise der beteiligten Institute entlang der Wertschöpfung. Weitere benötigte Kompetenzen können ggf. in freier Wahl mit Partnern



Quelle: Leibniz-Gemeinschaft

außerhalb der Leibniz-Gemeinschaft aus der Wissenschaft sowie der Wirtschaft eingebunden werden. Auf diese Weise wird eine kritische Masse erreicht, um substantielle und synergetische Beiträge zur Erreichung und Sicherung der TS Deutschlands und Europas mit einer angemessenen Durchschlagskraft und über den Handlungsspielraum eines einzelnen Leibniz-Instituts hinaus zu leisten. Es sei angemerkt, dass die ausgewählten Schlüsseltechnologien auf der Vorgabe des BMBFs beruhen, welche Technologiefelder entscheidend sind (BMBF-Dokument „Technologisch souverän die Zukunft gestalten“); die durchgeführte Gap-Analyse des Leibniz-Strategieforums mit ausgewählten Industriepartnern bestimmte, in welchen Bereichen die Leibniz-Gemeinschaft international führende Beiträge liefern kann.

Ein Beispiel aus den Ingenieurwissenschaften an der Schnittstelle zwischen Elektronik und Photonik sei genannt: Die Entwicklung von elektronisch-photonischen integrierten Schaltkreisen für leistungsstarke Hochfrequenzanwendungen aus einer Kombination von III-V- und Silizium-Halbleiterschaltungen ist sicher ein klassisches, lang verfolgtes Forschungsfeld. Produktanwendungen im Bereich 5G & 6G erzwingen nun mehr und mehr die schrittweise Markteinführung dieser komplexen Technologien. Im Bereich der Volumen-

kristalle unterstützen wir die Indiumphosphid, Kristall- & Waferentwicklung gemeinsam mit dem führenden III-V-Kristallunternehmen Freiburger Compound Materials (FCM). Neben dem Einsatz als Wafer gewinnen auch InP-Bonding-Verfahren auf Silizium dank Fortschritten in der Aufbau- und Verbindungstechnik an Bedeutung für elektronisch-photonische integrierte Schaltungen. Das IKZ erarbeitet die InP-Mikrostrukturen, die entsprechende F&E wird im Rahmen des Leuchtturmprojektes von weiteren Leibniz-Instituten mit Technologie-Plattformen verfolgt.

In den Wirtschaftswissenschaften stehen Fragen wie z. B. die Verfügbarkeit von Fachkräften, Rahmenbedingungen für das Wachstum junger, technologieorientierter Unternehmen, die Rolle der Digitalisierung und die digitalen Kompetenzen in der Bevölkerung sowie die Offenheit und Akzeptanz gegenüber neuen Technologien im Zentrum.

SPECTARIS: Welche besonderen Herausforderungen sehen Sie auf diesem Wege für Deutschland?

Prof. Schröder: Lassen Sie mich zunächst sagen: Technologiebegeisterung statt Technologiemüdigkeit braucht dieses Land. Allenthalben verweisen viele kluge Menschen gebetsmühlenartig auf die Bedeutung von F&E&I zum Zwecke kompetitiver Produkte für den



Quelle: Leibniz-Gesellschaft

Wohlstand in diesem Lande. Leider scheinen diese Formate nur unzureichend erfolgreich zu sein: An den Universitäten unterrichten wir vor mehr als halbleeren Hörsälen in den Naturwissenschaften; in den Unternehmen herrscht Fachkräftemangel überall. Ich denke, es bedarf sicher vieler Ansätze. Aber sicher muss man viel früher in den Schulen ansetzen, dieses spannende Feld zu vermitteln. Interessant: Viele Unternehmen rufen bei uns an, wenn sie Fachkräfte benötigen. Trotz eklatantem Lehrermangel in den MINT-Fächern in Berlin und Brandenburg hat das entsprechende Landesschulamt noch nie bei uns angerufen; unsere Masterstudenten, Doktoranden und PostDocs sind bestimmt durch spannende Angebote zu begeistern. Am besten rufe ich da mal selbst an und biete unsere Partnerschaft an.

Zentraler und schwieriger finde ich es indes, eine Schwachstelle im gegenwärtigen Innovationsgeschehen zu beheben: Wir müssen wieder vermehrt die Kraft haben, Prioritäten zu setzen! Diesen Gedanken teilte neulich ein leitender Kollege im BMBF mit mir. Ich denke, es ist eine große Stärke des deutschen Innovationsökosystems, auf eine breite Landschaft aus universitärer und außeruniversitärer Forschung und Entwicklung zugreifen zu können. Die Aufgabe der Skalierung von akademischer Forschung zu einer Prototypen-Fertigkeit oder gar einer Produktionsfähigkeit ist eine gewaltige Aufgabe. Wenn wir auf Basis entsprechender Expertise überzeugt sind, zu zukünftigen Märkten mit „the next big thing“ beitragen zu können, behandeln wir es aufgrund mangelnder Mittel weiterhin wie ein akademisches Forschungsprojekt. Das springt in Bezug auf Forschung zu Skalierung & Zuverlässigkeit viel zu kurz und wir kommen – wenig überraschend – oft zu spät.

SPECTARIS: Welche Rolle spielt dabei die Wirtschaft?

Prof. Schröder: Auch hier eine persönliche Note: Ich empfangen jeden Monat Anrufe und Kontaktangebote von chinesischen „Think Tanks“ und „Technology-Scouts“. Wir arbeiten gerne mit chinesischen Kollegen im akademischen Bereich der Grundlagenforschung zusammen, aber machen kraft Exportkontrolle und Außenwirtschaftsgesetzen keine Technologie-Transfers nach China. Ich frage mich aber, wo sind die neugierigen Technology-Scouts Deutsch-

lands und Europas? Verstehen Sie mich nicht falsch: Wir arbeiten als mittelgroßes Leibniz-Institut aktuell mit etwas mehr als 30 Industrieunternehmen zusammen und diese F&E-Unterstützung funktioniert meines Erachtens sehr gut. Die Ergebnisse fließen ggf. direkt in die Produktion der Firmen ein, denn sie bedienen oft die „cash cow“ des Partners. Aber: Wenn es um potenzielle neue Ansätze mit höherem Risiko geht, dann herrscht oft trotz disruptivem Potenzial ausgeprägte Zurückhaltung. Mit Augenzwinkern provokativ ausgedrückt: Wenn ein Unternehmen keinen Prozess im Qualitätsmanagement-System dazu hat, wird es in Deutschland offenbar schwierig, innovativ zu sein. Scherz bei Seite: Wir sind nicht hungrig genug, aus Materialinnovationen heraus – und nur dafür kann ich sprechen – Zukunftsmärkte zu gestalten. Zugegeben: Materialinnovationen haben einen langen Weg von oft einer Dekade und mehr, aber der Hebel ist enorm. Und dies ist im Erfolgsfall gelebte technologische Souveränität!

SPECTARIS: Was planen Sie konkret für die Photonik zu tun?

Prof. Schröder: Die gute Nachricht: Wir planen nicht nur, sondern sind aktiv unterwegs! Konkret haben wir im Jahre 2018 am Institut das Zentrum für Lasermaterialien (ZLM) als (inter)nationalem Ansprechpartner für Lasermaterialien im sichtbaren und infraroten Spektralbereich sowohl für akademische als auch technologische Partner aufgebaut und etabliert. Seltenerd- und Übergangsmetall-dotierte Oxid- und Fluorid-Laserkristalle für neue Wellenlängenbereiche oder mit breiteren Verstärkungsspektren für Ultrakurzpulslaser stehen im Vordergrund. Eine Leibniz-Juniorgruppe befasst sich mit „laser cooling“ auf Basis ultra-reiner Fluoridkristalle für Laseranwendungen ohne Notwendigkeit weiterer Kühlung. Diese Arbeiten finden in enger Abstimmung mit weiteren F&E-Instituten statt, die weitere Schritte der Wertschöpfung nach dem Material zur Integration in Technologien beherrschen. Neben den aktiven Lasermaterialien stehen auch optische Isolatormaterialien im Zentrum und hier arbeiten wir aktuell an einem Technologie-Transfer. Wir erfahren zunehmend Anfragen im Bereich der Lasermaterialien – aber auch in Bezug auf Quantenoptik – zu nichtlinearen optischen Kristallen (sicher auch getrieben



Quelle: Leibniz-Gesellschaft

durch die unsichere Versorgungslage aus China und Russland). Wir planen aktuell ein Zentrum für nichtlineare optische Kristalle aufzubauen; diese Aufgabe wird sicher angesichts inflationär ausgehöhlter Budgets eine Herausforderung. Positiv ist zu erwähnen: Wir erfahren durchaus tatkräftige Unterstützung durch Land und Bund. Wir haben in diesem Jahr ein großes Forschungsprogramm gestartet namens „Kristalltechnologie zur technologischen Souveränität“. Diese Förderung wird es uns dauerhaft ermöglichen, in die Kleinserien-Prototypenentwicklung ausgewählter Kristalle einzusteigen und auch hochpräzise Kristallkomponenten direkt an Anwendungstechnologen zu übergeben. Die Erkenntnisse aus der Anwendung wiederum fließen direkt in die Verbesserung der Materialeigenschaften. Kurzum: Es wird spannend und wir planen die Aufbauphase dieses Programms bis 2026 abzuschließen.

**SPECTARIS: Das ist ein lohnendes Ziel!
Herr. Prof. Schröder, wir danken Ihnen recht herzlich für das sehr spannende Interview.**

Aktuelle Entwicklungen der Photonik-Lieferkette: Ergebnisse einer internationalen Umfrage

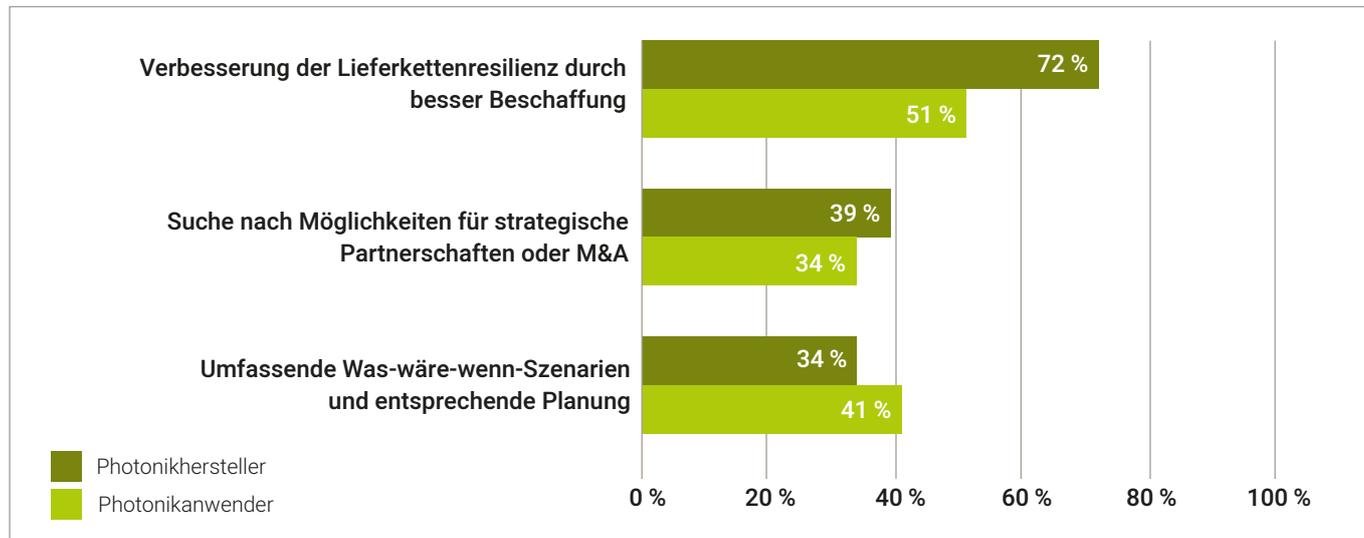
Im November 2022 befragten die Zeitschrift Laser Focus World und die Unternehmensberatung Endeavor Business Intelligence Lieferanten und Anwender von Photonik im Rahmen einer Onlineumfrage zu aktuellen Entwicklungen der Lieferkette. Insgesamt haben sich rund 460 Unternehmen an der Befragung beteiligt, 39% der Teilnehmer waren Hersteller, 61% Anwender von Photonik. Etwa 70% der Firmen hatten ihren Sitz in den USA, rund 25% in Europa oder Asien. Auffällig ist ein hoher Anteil von lokal bezogenen Komponenten und Materialien bei den Photonikherstellern in Höhe von (ungewichtet) durchschnittlich 53% und bei den Anwendern von 56%.

In viele Unternehmen waren die Auswirkungen der weltweiten Lieferkettenprobleme deutlich spürbar. Mit Blick auf die

eigene Lieferkette bewerten 64% der Hersteller und 47% der Anwender das Nichtvorhandensein alternativer Bezugsquellen als größte Herausforderung. Als zweitwichtigste Herausforderung werden Qualitätsprobleme bei bestehenden Lieferanten genannt.

Sowohl Hersteller als auch Anwender setzen vor allem auf eine optimierte Beschaffung, um den Lieferkettenproblemen zu begegnen. Für die Photonikhersteller spielen zusätzlich strategische Partnerschaften eine wichtige Rolle, die Anwender arbeiten verstärkt mit Szenariotechniken. 32% der Photonikhersteller berichten daneben von Investitionen in flexible Fertigungssysteme. 9% der Anwender haben damit begonnen, Photonikprodukte Inhouse zu fertigen.

Wie reagiert Ihr Unternehmen auf Lieferkettenprobleme? (Top 3 Antworten)

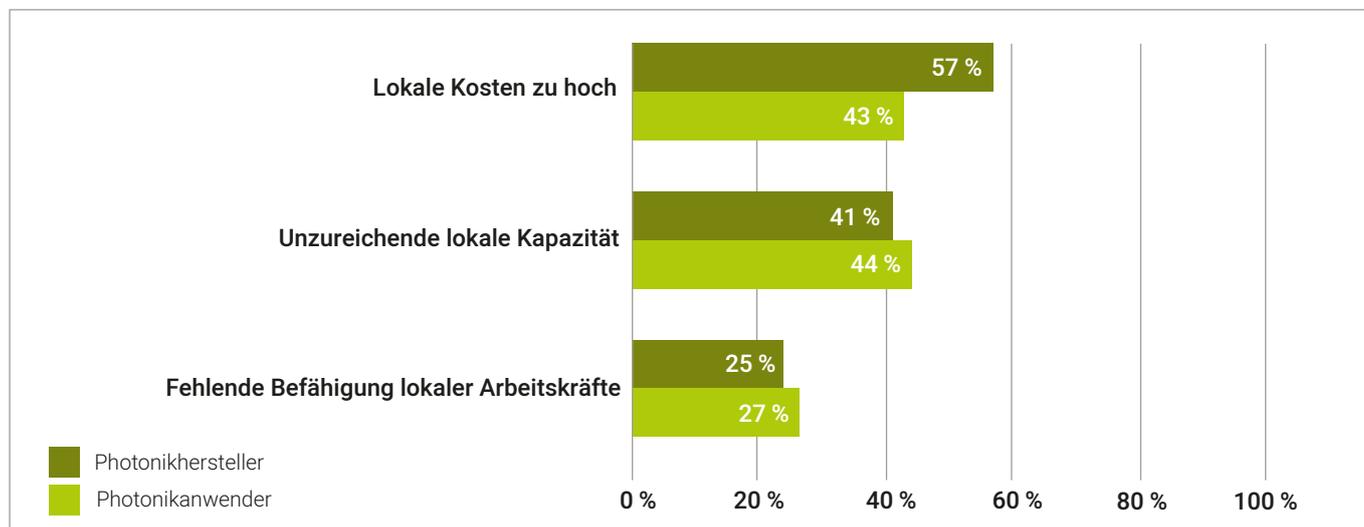


Mehrfachantworten möglich

Quelle: Laser Focus World / Endeavor Business Intelligence

Bei der Frage nach einem stärkeren Warenbezug aus dem Inland sehen die Photonikhersteller vor allem Kostenaspekte, die Anwender vor allem Kapazitätsfragen als mögliches Hemmnis.

Welche Bedenken haben Sie hinsichtlich einer zunehmenden Abhängigkeit von einer heimischen Produktion/ Beschaffung? (Top3 Antworten)



Mehrfachantworten möglich

Quelle: Laser Focus World / Endeavor Business Intelligence

Ein weiterer spannender Trend ist der Wechsel von einzelnen Komponenten hin zu Baugruppen oder Systemen. 50% der Photonikhersteller bewerten die Wahrscheinlichkeit einer Ausrichtung ihres Geschäftsmodells in diese

Richtung als wahrscheinlich oder sogar sehr wahrscheinlich. Auf Käuferseite können sich hingegen nur 28% einen solchen Wechsel bei ihrer Beschaffungsstrategie vorstellen.

Detailergebnisse der Umfrage: <https://www.laserfocusworld.com/home/document/14291056/2023-state-of-the-market>

Profile der Partner und Herausgeber

Messe München GmbH

LASER World of PHOTONICS 2025

Die LASER World of PHOTONICS ist die weltweit führende Plattform für die Laser- und Photonik-Branche. Sie deckt den gesamten Markt ab – von der Optoelektronik und Laserfertigung bis hin zu Imaging, Sensorik und Biophotonik. Die Messe bietet ein umfangreiches Rahmenprogramm mit anwendungsorientierten Vorträgen, Awards, Start-up-Programmen, Führungen, Sonderschauen und vielem mehr. Parallel zur Messe findet der World of Photonics Congress statt – die größte Veranstaltung ihrer Art in Europa. Er besteht aus mehreren wissenschaftlichen Konferenzen, die von weltweit führenden Wissenschaftsorganisationen organisiert werden.

Seit 2022 findet die World of QUANTUM gemeinsam mit der LASER World of PHOTONICS statt. Sie widmet sich dem gesamten Gebiet der Quantentechnologien,

die teilweise auf der Photonik basieren sowie ihren zahlreichen potenziellen Anwendungen in Bereichen wie Informatik und Kryptographie, Sensorik und Bildgebung, Kommunikation und Medizin.

Die LASER World of PHOTONICS wird von der Messe München veranstaltet und findet seit 1973 alle zwei Jahre statt. Die nächste Messe findet zusammen mit dem World of Photonics Congress und der World of QUANTUM vom 24. bis 27. Juni 2025 in München statt.

Die LASER World of PHOTONICS hat darüber hinaus ein internationales Messenetzwerk aufgebaut und organisiert jährlich hochkarätige regionale Laser- und Optikkessen in China und Indien.



 Messe München GmbH
info@world-of-photonics.com
www.world-of-photonics.com

LASER World of
PHOTONICS



Messe München

Deutscher Industrieverband SPECTARIS

SPECTARIS ist der deutsche Industrieverband für Optik, Photonik, Analysen- und Medizintechnik

SPECTARIS ist der deutsche Industrieverband mittelständischer Prägung mit 400 Mitgliedern für die Innovationsbranchen Optik, Photonik, Analysen- und Medizintechnik. Namhafte Vertreter sind etwa Carl Zeiss, Jenoptik, Leica, Rodenstock, Dräger, Sartorius, Karl Storz, Otto Bock oder Eppendorf. Die Mehrzahl der Mitgliedsfirmen sind jedoch mittelständische Hersteller, die in ihren Segmenten als „Hidden-Champions“ am Weltmarkt agieren. Das enorme Innovationspotenzial und die ausgeprägte Exportorientierung bilden den gemeinsamen Rahmen dieser Unternehmen.

Unser Ziel ist es, die Wettbewerbsfähigkeit und die Innovationskraft unserer Mitgliedsunternehmen zu

stärken. Wir engagieren uns in der politischen Mitgestaltung zur Förderung unserer Mitglieder.

SPECTARIS bildet ein leistungsfähiges Netzwerk, organisiert einen permanenten Austausch seiner Mitglieder untereinander und bietet eine Plattform für den Dialog mit der Politik, anderen Verbänden und wichtigen Anwendern und Absatzmittlern. Als Dienstleister verschafft SPECTARIS seinen Mitgliedern nicht nur Zugang zu wertvollen Markt- und Branchendaten, sondern bietet auch gezielte Unterstützung für den Außenhandel oder Informationen zu Zulassungsfragen, wichtigen Gesetzesänderungen sowie betriebswirtschaftlichen Themen.



i SPECTARIS Deutscher Industrieverband für Optik, Photonik, Analysen- und Medizintechnik e.V.
Werderscher Markt 15 | 10117 Berlin | Germany
Phone: +49 (0)30 41 40 21-10
info@spectaris.de | www.spectaris.de

 **SPECTARIS**
Deutscher Industrieverband für Optik,
Photonik, Analysen- und Medizintechnik

Tematys

Explorer of Photonics Markets

TEMATYS ist ein unabhängiges, mittelständisches Beratungsunternehmen, das sich auf Studien und Strategien in den Bereichen Optik, Photonik, Sensorik, Bildgebung, Quantentechnologie und deren Anwendungsmärkte spezialisiert hat.

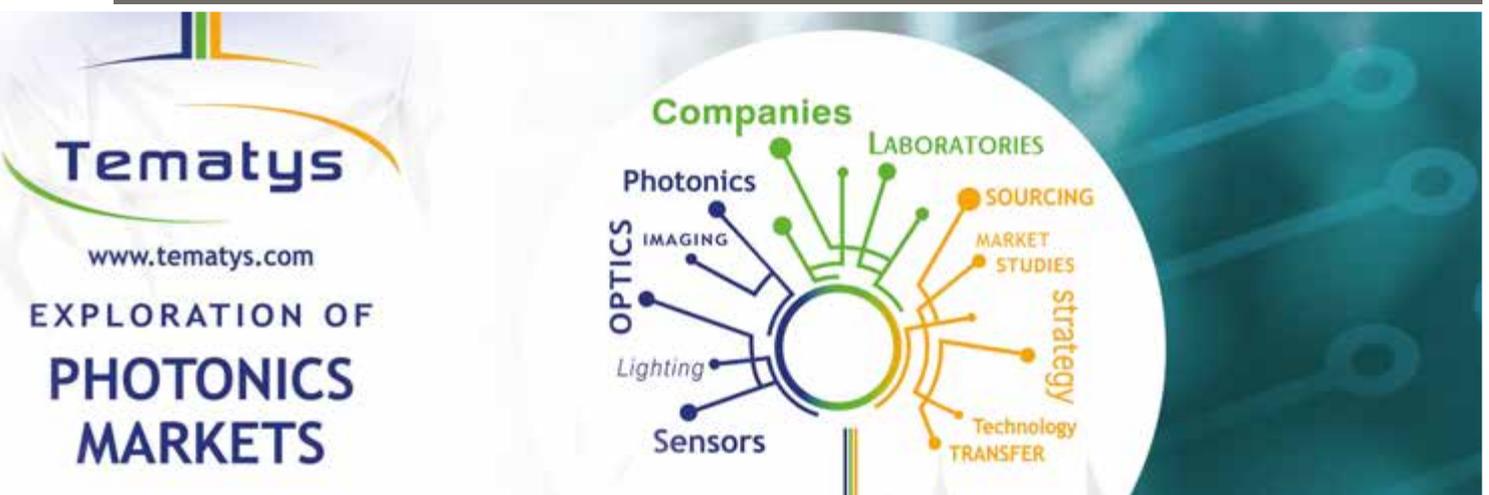
Wir haben eine besondere Expertise in den Bereichen Technologietransfer, F&E-Nutzung und die Vermarktung von neuen Technologien.

Wir unterstützen Sie als Hersteller bei den entscheidenden Schritten im Produktentwicklungsprozess und bieten Dienstleistungen an, die über Marktstudien hinausgehen. Ein Beispiel hierfür sind Kundenbedarfsanalysen zur exakten, bedarfsgerechten Entwicklung von Produkten.

Wir bieten Ihnen als Anwender maßgeschneiderte Marktupdates und Beschaffungsdienstleistungen in zahlreichen Anwendungsmärkten der oben beschriebenen Technologien, zum Beispiel in den Bereichen Life Sciences, Sicherheit und Luftfahrt.

TEMATYS bietet Verbänden, Industrieclustern und öffentlichen Einrichtungen Informationen zur strategischen Entscheidungsfindung.

Wir haben mehr als 200 internationale Kunden in Europa, Asien und den USA, darunter Forschungsorganisationen, öffentliche Einrichtungen, Unternehmenskonzerne, Industriekonsortien, KMUs und Start-ups.



TEMATYS

6 cité de Tréville | 75009 Paris | France
www.tematys.com | info@tematys.com
Phone: +33 6 74 64 52 21



Verzeichnis der Quellen und Abkürzungen

- (1) Nicht nur in Richtung entwickelterer Länder. In Westafrika lebten Mitte 2020 7,6 Millionen internationale Migranten. Fast 34 % (2,6 Millionen) dieser Migranten lebten in Côte d'Ivoire und 17 % in Nigeria (1,3 Millionen) (UN DESA, 2020).
- (2) EPRS | European Parliamentary Research Service, Mario Damen Strategic Foresight and Capabilities Unit PE 733.589, Juli 2022
- (3) Jakob Edler, Knut Blind, Henning Kroll, Torben Schubert, Technology sovereignty as an emerging frame for innovation policy. Defining rationales, ends and means, Research Policy, Volume 52, Issue 6, 2023, 104765, ISSN 0048-7333, <https://doi.org/10.1016/j.respol.2023.104765>.
- (4) Edler, J., Blind, K., Frietsch, R., Kimpeler, S., Kroll, H., Lerch, C., et al., Technology Sovereignty: from demand to concept, Juli 2020
- (5) <https://www.autojournal.fr/actu/stellantis-annonce-une-fin-pour-la-crise-des-semi-conducteurs-314459.html#item=1>
- (6) What is the Inflation Reduction Act that has Europe so worried? <https://www.lesechos.fr/monde/etats-unis/quest-ce-que-l-inflation-reduction-act-qui-inquiete-tant-les-europeens-1883850>
- (7) Benoît d'Humières, "Photonics, the unnoticed Key Enabling Technology (KET)", TEMATYS, Oktober 2023, <https://www.tematys.fr/reports/en/all-reports/63-photonics-the-unnoticed-key-enabling-technology-ket-2023.html>
- (8) Nera Kuljanic, EPRS STOA, „Key enabling technologies for Europe’s technological sovereignty“, Tabelle 6.1, p70, 2021, doi: 10.2861/24482.
- (9) PHOTONIK als wesentlichen Teil des Forschungsförderungsprogrammes Quantensysteme verstehen, Positionspapier SPECTARIS, November 2022, https://www.spectaris.de/fileadmin/Content/Photonik/Positionen/20221121_Positionspapier_Photonik_final.pdf
- (10) <https://www.manufacturingusa.com/institutes>
- (11) https://competition-policy.ec.europa.eu/state-aid/ipcei_en
- (12) MANUFACTURING USA, Highlights Report, A Summary of 2021, Accomplishments and Impacts, Oktober 2022, <https://www.manufacturingusa.com/reports/2022-manufacturing-usa-highlights-report>
- (13) <https://www.cnews.fr/monde/2022-10-27/lithium-france-portugal-serbie-ou-sont-les-plus-grands-gisements-en-europe-1282023>
- (14) <https://www.clubic.com/actualite-486631-ce-gisement-xxl-de-lithium-pres-de-la-france-pourrait-bousculer-le-marche-de-l-electrique.html>
- (15) Dr. Henning Kroll, „Strategische Autonomie und Technologische Souveränität – eine Begriffsbestimmung für den Bereich der Photonik“, 2023
- (16) Dr. Louise May, "Using Lasers in the Automotive Manufacturing Industry", Mai 2020, <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/supplements/pit/features/technology-leaders/36877>
- (17) Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050, Brien A. Holden, PhD, DSc, Timothy R. Fricke, MSc, David A. Wilson, PhD, Tien Y. Wong, MD, Thomas J. Naduvilath, PhD, Serge Resnikoff, MD, Februar 2016, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006>
- (18) GLOBOCAN, 2018
- (19) WHO position paper on mammography screening, World Health Organization, ISBN 978 92 4 150793 6
- (20) https://www.photonics.com/Articles/Laser_Applications_Tables/a25163
- (21) PCR: Polymerase-Kettenreaktion



A joint study by

