

WHITE PAPER

PHOTONICS


SWITZERLAND

INDUSTRIE UND WISSENSCHAFT EMPFEHLEN GEMEINSAM EINEN FÖRDERSCHWERPUNKT PHOTONICS
IN DER NATIONALEN FORSCHUNGSFÖRDERUNG DER SCHWEIZ
«TECHNOLOGIE-CLUSTER PHOTONICS SWITZERLAND»



SWISSMEM

Photonics



Fertigung von
Mikrooptiken - höchste
Präzision für kleinste Teile

EDITORIAL



Photonische und optische Technologien sind Schlüsseltechnologien für die kommenden Jahrzehnte. Sie werden dieselbe Bedeutung erlangen wie die Elektronik. Elektronik und Photonics wachsen zudem immer mehr zusammen. In unserer zunehmend digital vernetzten und komplexen Welt ergänzen sie sich gegenseitig. Ihre Anwendungen in modernen Geräten des Alltags, in der Medizin, in der Kommunikation sowie in den industriellen Produkten und Prozessen haben grosse Potenziale und nehmen laufend zu. Dank der starken technologischen Basis in der Schweiz können sie zu einem weiteren Wachstum der Schweizer Hightech-Industrie beitragen.

Vertreter aus Wissenschaft und Industrie haben gemeinsam das vorliegende «WHITE PAPER PHOTONICS SWITZERLAND» erarbeitet. Es beschreibt die vielversprechende Ausgangslage in der Schweiz sowie die attraktivsten neuen photonischen Schwerpunkte und bietet Hintergrundinformationen zu den relevanten Technologien. In fünf Handlungsempfehlungen werden konkrete Massnahmen zur gezielten Förderung der photonischen Technologien vorgeschlagen.

Der im White Paper beschriebene «Technologie-Cluster Photonics Switzerland» ist geeignet, bei schwerpunktmässiger Förderung grosse Potenziale zu erschliessen und den gewünschten volkswirtschaftlichen Nutzen zu generieren. Photonics ist zudem komplementär zu Forschungsschwerpunkten in den Themenbereichen «Advanced Manufacturing», «Data Science» und auch «Energie».

Die Schweiz verfügt im Bereich Photonics über zahlreiche bedeutende Unternehmen. KMU und Start-ups sind überdurchschnittlich oft vertreten. Der gesamte Sektor erzielt schon heute eine signifikante Wertschöpfung. Und: Gegenüber anderen Ländern, in denen die Photonik sehr gezielt gefördert wird, darf die Schweiz nicht zurückfallen.

Der in diesem White Paper angeregte nationale Förderschwerpunkt «Photonics» mit seinem Technologie-Cluster braucht und verdient die Unterstützung durch alle relevanten Akteure der nationalen Forschungsförderung. Industrie und Wissenschaft stehen geschlossen dafür ein und sind bereit, ihre substanziellen Beiträge dafür zu leisten.



Hans Hess
Präsident Swissmem

IMPRESSUM

Herausgeber

Swissmem Fachgruppe Photonics

Projektleitung

Swissmem Fachgruppe Photonics

Autoren

Dr. Manuel Aschwanden, CEO Optotune

Dr. Jörn Birkel, Trumpf Schweiz AG

Dr. Bernhard Braunecker, SATW / SPG

Prof. Dr. Gian-Luca Bona, Empa

Prof. Dr. René Dändliker, SATW

Prof. Dr. Andreas Ettemeyer, Prorektor NTB

Dr. Martin Forrer, CTO FISBA

Dr. Christoph Harder, Swissphotonics

Prof. Dr. Ursula Keller, ETHZ

Werner Krüsi, Präsident Swissmem Fachgruppe Photonics

Dr. Fabienne Marquis Weible, ASRH

Prof. Dr. Valerio Romano, BFH

Christian-Erik Thöny, CEO Cedes

Dr. Eugen Voit, Leica-Geosystems

Redaktion

Brigitte Waernier-Gut, Ressortleiterin Swissmem Fachgruppe Photonics

Gestaltung und Satz

Anna Meyer, Genauso Grafik, www.genauso.ch

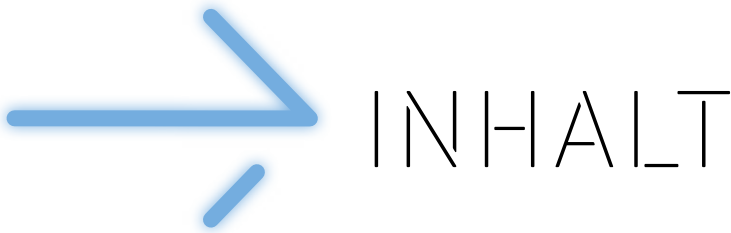
Lektorat

korr.ch

Alle Rechte vorbehalten.

Copyright © 2018 by Swissmem Fachgruppe Photonics

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet. Belegexemplar erbeten.



INHALT

	THEMEN	WHITE PAPER	ANHANG
1	EXECUTIVE SUMMARY Ziele der Initiative	6 – 8	–
2	«PHOTONICS SWITZERLAND 2020 – 2025» ALS CHANCE FÜR ALLEINSTELLUNGEN DES WERKPLATZES SCHWEIZ	9	–
3	HEUTIGER STAND DER PHOTONIK IN DER SCHWEIZ 3.1 Standortvorteile 3.2 Standortdefizite 3.3 Vergleichbare Aktivitäten im Ausland	10 – 11	A1 – A5
4	LAUFENDE PHOTONIK-AKTIVITÄTEN IN DER SCHWEIZ 4.1 Photonik-Industrie 4.1.1 Optische Komponenten / Subsysteme 4.1.2 Materialbearbeitung 4.1.3 Sensoren/Messtechnik 4.1.4 Materials, Joinings und Functional Coatings 4.1.5 Strahlquellen und Displays 4.2 Photonik-Institute 4.3 Nachhaltige Wertschöpfung in der Schweiz	12 – 14	A6 – A9
5	NEUE PHOTONIK-SCHWERPUNKTE FÜR DIE SCHWEIZER INDUSTRIE 5.1 Advanced Manufacturing 5.2 Industrie 4.0 und IoT 5.3 Smart Sensing, Digitalisierung und Messtechnik 5.4 Daten- und Bildverarbeitung, Augmented und Virtual Reality 5.5 Medizintechnik 5.6 Communication Systems	15 – 16	A10 – A15
	HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN 1 – 5 FÜR DIE FÖRDERUNG DER NEUEN PHOTONIK-SCHWERPUNKTE	17	–
	QUELLENANGABEN WEBLINKS ORGANISATIONEN	–	A16 – A17

EXECUTIVE SUMMARY



Die sich rasant entwickelnden Märkte benötigen deutlich schnellere, leistungsfähigere, miniaturisierte und verbrauchsarme Systeme und Komponenten. Die heute verfügbaren elektronischen Technologien können diese alleine nicht mehr erreichen. Mit der Photonik stehen vollkommen neuartige Technologien und Technologiekombinationen zur Verfügung, die den Eintritt in lukrative Wachstumsmärkte ermöglichen. Die Photonik ist eine Querschnittstechnologie und ein fundamentaler Treiber von Technologien, Prozessen, Anwendungen und Geschäftsmodellen. Photonik ist weltweit als die Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts anerkannt.

Zusammen mit den vorhandenen Standortstärken kann die Photonik der Schweizer Industrie eine starke Position auf den globalen Märkten ermöglichen. Dies gilt ganz besonders für hochintegrierte Mikrosysteme mit photonischen und anderen Funktionen, wie z. B. Sensorik, Laser, Data Science u. a. m. Dazu braucht sie aber eine entsprechende Unterstützung und Förderung.

Einige relevante Charakterisierungen der Photonik-Technologien:

- Sie ermöglichen zahlreiche Applikationen, und sind damit «Enabler» bedeutender Querschnittstechnologien (Bildverarbeitung + Messtechnik, Medizintechnik + Life Sciences, Optische Komponenten + Systeme, Kommunikationstechnik, Lichtquellen, Photovoltaik, Produktionstechnik, Informationstechnik, Sicherheits- + Verteidigungstechnik, Displays).
- Sie weisen eine jährliche Wachstumsrate von 6 bis 8% aus.

- Sie haben heute dieselbe Bedeutung für die Gesellschaft wie die Elektronik im vergangenen Jahrhundert.
- Die Schweizer Industrie und Wissenschaft sind bezüglich Forschung und Markt sehr gut positioniert.
- Grosse Initiativen wie «Industrie 4.0 und IoT» und «Data Science» basieren auf der Photonik und eröffnen ihr neuartige Anwendungsfelder.

Wenn sich aber neuartige Technologieansätze rasant und disruptiv entwickeln, sich dadurch völlig neuartige Produktmöglichkeiten eröffnen und gleichzeitig andere Technikgebiete massiv beeinflusst werden, dann ist ein breit abgestütztes, gemeinsam durchgeführtes, nationales Grundlagenprogramm von essenziellem Nutzen für das Bestehen in den relevanten Märkten. Daher soll die zielgerichtete und aufeinander abgestimmte Zusammenarbeit zwischen Industrie und Wissenschaft der Schweiz – unterstützt durch Förderinstitutionen des Bundes – auf dem lukrativen Gebiet der photonischen Technologien zu starker Innovation und zur Bereitstellung wettbewerbsfähiger Marktleistungen verhelfen, um Wohlstand und anspruchsvolle Arbeitsplätze zu sichern.

Augmented Reality –
künftige Arbeitstechniken dank
photonischen Technologien



Die Märkte der Zukunft – Photonik als Technologieträger und Enabler

- Die wichtigste Schnittstelle für Informationen zwischen Menschen, Umgebung und Maschine, das Sehen, wird durch die Photonics und intelligente Bildverarbeitung ermöglicht (Display, Kamera, Augmented und Virtual Reality).
- Autonomes Fahren wird Realität – dank ultraschneller 3D-Rundumüberwachung mit photonischen Sensoren.
- Medizin der Zukunft – minimalinvasive Eingriffe, personalisierte Medizin und Online-Diagnose: Das Photon macht es möglich.
- Ultrapräzise Fertigung für verbrauchs-optimierte Systeme dank Lasermaterialbearbeitung und Inline-Messtechnik
- Optische Datenübertragung ist energiesparend und wird noch sicherer dank Photonics (Quantenverschlüsselung).

ZIEL DIESER INITIATIVE IST ES:

1. die vorhandenen photonischen Kompetenzen, Technologien und Erfahrungen für volkswirtschaftlich bedeutsame Anwendungen (Produkte und Prozesse) rasch und wesentlich weiterzuentwickeln.
2. das überdurchschnittliche Wachstumspotenzial photonischer Technologien für die Schweiz optimal und wettbewerbsstark zu nutzen.
3. den Produktionsstandort und die Wertschöpfung in der Schweiz mit modernsten Produkten und Prozessketten auszustatten und zu stärken.
4. die Basis für Innovationen der Schweizer Industrie – vor allem der KMU, die in diesem Gebiet sehr bedeutend sind – zu stärken und ihre Verwertung über attraktive und weltmarktfähige Applikationen (Produkte und Prozesse) zu ermöglichen.
5. adäquate Voraussetzungen für die Schweizer Photonik-Industrie zu schaffen, um im internationalen Wettbewerb mithalten zu können.
6. über eine Private Public Partnership (PPP) dieses wichtige Feld der Industrie für die Schweiz weiterhin international kompetitiv und attraktiv auszugestalten (wie das im Ausland äusserst erfolgreich gehandhabt wird), um nicht zurückzufallen.

Mikrokamera mit Beleuchtung –
das Endoskop der Zukunft





«PHOTONICS SWITZERLAND ALS CHANCE FÜR 2020–2025» ALLEINSTELLUNGEN DES WERKPLATZES SCHWEIZ

Photonik ist die Querschnittstechnologie des 21. Jahrhunderts. Das Photon ersetzt teilweise und ergänzt das Elektron in nahezu allen Bereichen des täglichen Lebens und in vielen industriellen Branchen. Die Hauptgründe liegen einerseits in den um mehrere Zehnerpotenzen höheren Leistungsdichten, in den sehr grossen Bandbreiten in einem breiten Frequenzspektrum, in den unübertreffbaren

Verarbeitungs- und Übertragungsgeschwindigkeiten, in der sehr hohen Störsicherheit und in der Energieeffizienz des Photons in allen Anwendungsbereichen. Hinzu kommt, dass photonische Komponenten heute ähnlich wie elektronische Chips im lithographischen Massenprozess äusserst kostengünstig hergestellt werden können. Dies erlaubt nicht nur neue Produktkonzepte, sondern führt auch dazu, dass bestehende Produkte (wie zum Beispiel Smartphones) mit völlig neuen Funktionalitäten ausgerüstet werden können.

VDMA

Verständnis der Physik nichtlinearer Systeme und der Behandlung riesiger Datenmengen (Data Science) Spitzenleistungen in der Forschung erfordert, sind es in den Phasen der Fertigung die Kombination mit der Elektronik, der Mikrotechnologie, dem Anlagenbau und insbesondere den Informations- und Kommunikationstechnologien.

Die zunehmende Funktionalisierung und Miniaturisierung aller Systeme führt dazu, dass Photonik als Technologie immer mehr ins Zentrum all dieser verknüpften Industrieprozesse rückt (Industrie 4.0 und IoT). Die Entwicklung erfolgt zunehmend disruptiv, sehr schnell und ohne echte Vorhersagemöglichkeit. Dies ist eine besondere Herausforderung für die Schweizer Photonik-Industrie und es gilt, das hohe Niveau Schweizer Institute und Firmen zur Beherrschung komplexer Systeme nicht nur zu halten, sondern als wesentlichen Beitrag für die Alleinstellung des Werkplatzes Schweiz permanent auszubauen.



Licht als Schlüssel für die Zukunft

Die Photonik (Photonics) gilt als Schlüsseltechnologie unserer heutigen Zeit: Mit all jenen Technologien, die Licht erzeugen, nutzen oder umwandeln, macht sie sich die einzigartigen Eigenschaften des Lichts zu Nutze. In zahlreichen Industriezweigen und Anwendungsbereichen liefert sie entscheidende Impulse und Lösungen für die aktuellen und zukünftigen Herausforderungen unserer Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft.

Für die breit gefächerte Schweizer Präzisionsindustrie ist Kompetenz in der Photonik unabdingbar, um den Entstehungsprozess eines industriellen Produkts nahtlos abzudecken: Das beginnt mit der Entwicklung der Basistechnologien an den Hochschulen, der Umsetzung in von Hochschule und Industrie gemeinsam betriebener Prozessentwicklung bis hin zur industriellen Produktion, die ohne optische Sensoren und Bildverarbeitung nicht mehr auskommt. Während im Grundlagenbereich das

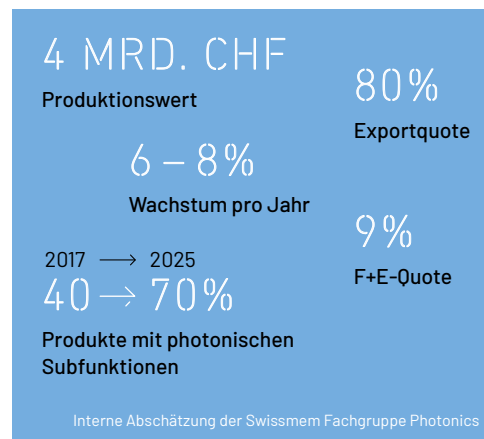
HEUTIGER STAND DER PHOTONIK IN DER SCHWEIZ



3.1 STANDORTVORTEILE

Die Schweiz war, dank ihrer führenden Stellung in der Präzisionsmechanik und Maschinenindustrie, schon sehr früh in der Optik tätig, weil erstens optische Bauteile mit der Präzisionsmechanik hergestellt wurden, zweitens ein Laserstrahl ein ideales Bearbeitungswerkzeug gerade für die Präzisionsindustrie ist und drittens Präzisions- und Mikrotechnik nur durch optische Mess- und Analyseverfahren qualifiziert werden können. Im Rahmen erfolgreicher Grundlagensprogramme des ETH-Rates wurden Ende der 90er-Jahre die Zusammenarbeit zwischen Forschung und Industrie im Bereich der Photonik gefördert und die notwendigen Technologien entwickelt. Unter anderem mit dieser Unterstützung wurde die Schweiz damals zu einem Photonics-Cluster mit weltweiter Ausstrahlung.

Kennzahlen Photonik Schweiz 2017



So erwirtschaftet die Schweizer Photonik-Industrie heute mit fast 10'000 Mitarbeitenden einen Umsatz von 4 Mrd. CHF, das sind 5% des

europäischen und knapp 1% des Weltmarktes. Auf Eurobasis wächst diese Branche seit Jahren kontinuierlich um 6 bis 8% und kann damit die negativen Auswirkungen des starken Francs erfolgreich begrenzen. Hinsichtlich der ökonomischen Wirkung der Photonics-Industrien auf die gesamte Schweizer Wirtschaft ist zu beachten, dass sie durch die Enabling-Funktion eine wesentliche Hebelwirkung aufweist. Wir rechnen mit ca. Faktor 10, d. h., dass mit Hilfe photonischer Produkte etwa 40 Mrd. CHF Umsatz in der Schweiz erwirtschaftet werden. Oder anders gesagt: Heute beinhalten ca. 40% der durch Swissmem-Firmen erzeugten Produkte photonische Funktionen. Dieser Anteil wird bis 2025 auf 70% ansteigen. Unterstützt wurde und wird diese positive Entwicklung durch ein ausgewogenes Bildungssystem, das auf praxisorientierter Fachausbildung und darauf aufbauender technischer und/oder wissenschaftlicher Vertiefung basiert. Dadurch konnten neue zukunftsweisende Themen und Entwicklungen wie innovative Materialien, Life Sciences und Energiethemen effizient aufgenommen und integriert werden. Ebenso wurde die Bedeutung der Photonik als Querschnittstechnologie über alle Branchen hinweg früh erkannt und durch eine sehr gute Branchenvernetzung unterstützt.

Somit steht die Photonik-Industrie aktuell auf einer aussichtsreichen Basis. Vor dem Hintergrund der grossen und mit hoher Geschwindigkeit stattfindenden Entwicklungsströmungen weltweit gilt es, diese Stärken der Schweizer Wirtschaft weiterzuentwickeln und die richtigen Schritte in die Zukunft zu tun.

3.2 STANDORTDEFIZITE

Die ETHZ und die EPFL betreiben als internationale Spitzenuniversitäten Institute mit höchsten Forschungsstandards, fokussieren aber vorwiegend auf Grundlagen- und Spitzenforschung, weniger auf Enabling-Technologien wie die Photonik. Die Fachhochschulen bilden zwar an einigen Stellen Photonik-Ingenieure aus und sind verlässliche Partner für KMU bei der Entwicklung neuer Anwendungen aus den Ergebnissen der Grundlagenforschung. Allerdings sind gerade die Haupttreiber der Photonik-Anwendungen – die KMU – traditionell personell und organisatorisch eher minimalistisch aufgestellt. Sie verfügen in der Regel nicht über eine organisierte Vorentwicklung und sind von den überwältigenden und rasch expandierenden Möglichkeiten und Auswirkungen der Digitalisierung überfordert. Diese Situation führt zu einer sich zunehmend vergrößernden und schwieriger zu überwindenden Kluft, die den Wissenstransfer zwischen Forschung und Umsetzung gefährdet.

KMU als wesentliche Stütze der Schweizer Industrie sind zwar erfolgreiche Innovatoren. Aufgrund der Breite der Photonik-Technologien mit ihrer stark zunehmenden Komplexität geraten sie aber gegenüber unseren ausländischen Mitbewerbern, für die photonische Technologien und ihre industrielle Umsetzung systematisch gefördert werden, ins Hintertreffen.

3.3 VERGLEICHBARE AKTIVITÄTEN IM AUSLAND

Seit Optique II Ende der 90er-Jahre betreibt die Schweiz keine fokussierte Forschungsförderung mehr zugunsten der Photonics-Technologien. Dies ist im Vergleich zu den anderen Technologienationen ein grosser Mangel. Allen voran betreibt Deutschland seit zwanzig Jahren eine klar ausgerichtete und stark geförderte Bereitstellung photonischer Technologien (mehrjährig, mit 100 Mio. EUR p. a.). Die Erfolge und deren volkswirtschaftliche Wirkung sind insbesondere in den Lasertechnologien, der Medizintechnik und der Bildverarbeitung offenkundig. In den USA wie auch in den asiatischen Staaten laufen vergleichbare Programme, ebenfalls mit erheblichen nationalen Forschungsmitteln alimentiert.



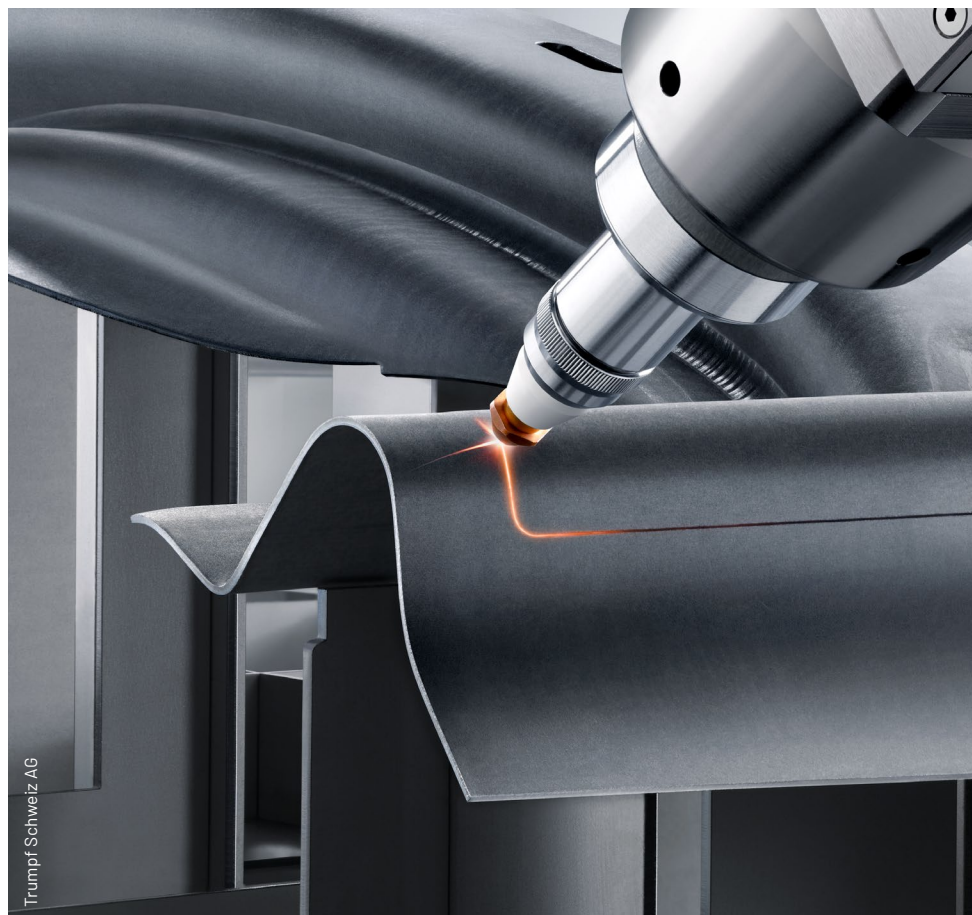
Photonik und Optik

Konsequenzen für die Schweiz:

Der Standort Schweiz zeichnet sich durch seine Exzellenz in der akademischen Forschung und in der Photonik-Industrie aus. Allerdings geraten beide Gebiete im internationalen Konkurrenzkampf stark unter Druck.

Um hier zu bestehen, muss die Schweiz in die Forschung investieren. Nur so kann sie sowohl in der Grundlagen- als auch in der angewandten Forschung weiterhin an vorderster Front mitwirken. Essenziell ist zudem ein gut funktionierender und lebhafter Austausch zwischen Grundlagenforschung, angewandter Forschung und Industrie.

SATW, Technology Outlook 2017



Trumpf Schweiz AG

+ Ausführlichere Informationen im Anhang auf den Seiten A1 – A5

Bearbeiten komplexer 3D-Geometrien dank Lasertechnologie

LAUFENDE PHOTONIK- AKTIVITÄTEN IN DER SCHWEIZ



4.1 PHOTONIK-INDUSTRIE

4.1.1 Optische Komponenten/Subsysteme

Die zentralen Stärken der Schweizer Industrie wie Präzision durch Messbarkeit, Verlässlichkeit durch System-Engineering, Forschung mit Anwendungsnahe, Technologiekompetenz mit Algorithmen-Exzellenz sowie die ausgezeichnete Beherrschung der Miniaturisierung tragen zum globalen Erfolg der Schweizer Optik- und Photonik-Industrie bei.

Bei den optischen Komponenten kann die Industrie durch das im Verlauf der Geschichte erarbeitete hohe Fertigungsniveau im Sub-

mikrometerbereich im internationalen Wettbewerb noch mithalten.

Ein grosser Anteil der optisch und spektral wirksamen Funktionen findet an Materialoberflächen statt, wobei die Schweizer Industrie in optisch dünnen Beschichtungen und Oberflächenstrukturen seit Jahrzehnten eine weltweit führende Position einnimmt.

Bei den Systemen steht die Realisierung von robusten und für die Anwendungsumgebung optimierten optischen Präzisionsinstrumenten im Vordergrund. System-Engineering mit hochwertigen Aufbau- und Verbindungstechnologien sowie mit anwendungsoptimierter Elektronik und intelligenten Algorithmen legen die Basis zu erfolgreicher Vermarktung.

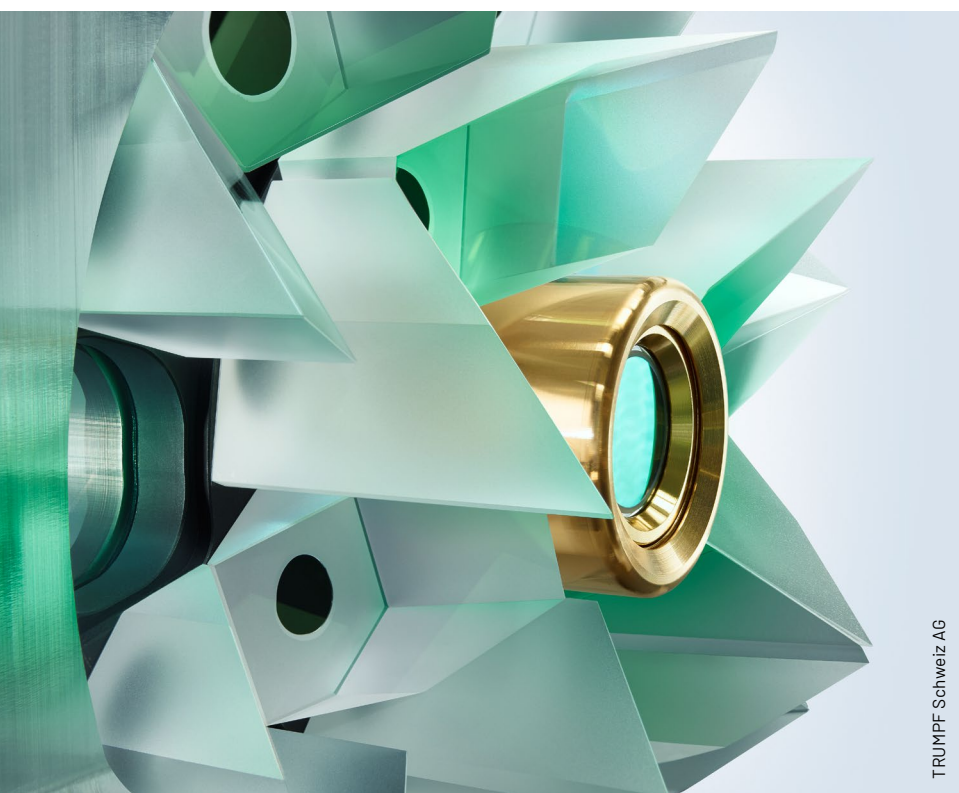
4.1.2 Materialbearbeitung

Der Schweizer Markt für die Lasermaterialbearbeitung umfasst die Anwendungen Laserschneiden, -beschriften und -markieren sowie Mikrostrukturieren, aber auch Schweißen, Löten, Lithographie und additive Verfahren. Die dazu eingesetzten Systeme sind im Wesentlichen kontinuierlich strahlende, gepulste (μs , ns) und ultrakurzgepulste (ps , fs) Festkörper- und Diodenlaser sowie einige Gaslaser.

Der Laser ist das ideale Bearbeitungsmittel für Präzisions- und Mikroteile. Initiiert durch eine Anwendung aus der Schweizer Uhrenindustrie erlangte die Materialbearbeitung eine wichtige Stellung in der Schweizer Fertigungstechnik und wurde/wird durch die neuesten Laserentwicklungen unterstützt (Hochleistungsdioden und Ultrakurzpulslaser).

Derzeit behauptet die Schweizer Industrie als Produzentin von Lasern und Systemen für die Lasermaterialbearbeitung einen Anteil von

Präzisionsoptik für Next-
Generation-Laserquellen



TRUMPF Schweiz AG

13% am europäischen und von 7% am Weltmarkt! Vor diesem Hintergrund ist klar, dass alle notwendigen Ressourcen, Kompetenzen und auch Erfahrungen national vorhanden sind, um an einem stark wachsenden Zukunftsmarkt partizipieren und auf Anpassungen und Veränderungen reagieren zu können.

4.1.3 Sensoren/Messtechnik

In diesem Segment wird der Umsatz der Schweiz mit Photonik-Produkten auf einige Milliarden CHF geschätzt. Darin spielen 3D-Sensoren eine immer bedeutendere Rolle – sei dies in Form von abtastenden Lasersensoren (Lidar, Image-Ranging) oder als photogrammetrisch eingesetzte 2D-Bildsensoren. Insbesondere der Trend zu Echtzeit im Bereich der Automatisierung, Überwachung und Visualisierung treibt diese Technologien stark voran. Optische Sensoren kommen nicht nur im Bereich der Präzisionsmesstechnik im Submikrometerbereich zur Anwendung, sondern bei allen Arten von Steuerungs- und Überwachungsaufgaben wie Maschinensteuerung, Personenfluss- und Verkehrsüberwachung, Zutrittskontrollen sowie in der Unterhaltungsindustrie. Berührungslose, optische 3D-Sensoren sind eine Voraussetzung für alle Arten von autonomen Fahrzeugen.

Immer wichtiger werden sogenannte «Smart Sensors», d. h. photonische Echtzeit-Sensoren mit On-Board-Bildverarbeitung, die in der Schweiz erfolgreich entwickelt und gefertigt werden. Die darin integrierte Intelligenz erlaubt ungeahnte neue Anwendungsfelder, die herkömmliche Systeme disruptiv ersetzen.

4.1.4 Materials, Joinings und Functional Coatings

Die enormen Fortschritte bei der Oberflächenbeschichtung unterschiedlicher Materialien mit Präzision im Subnanometerbereich erlauben zahlreiche neue Verbindungen und Schichtstrukturen. Anorganische Beschichtungen öffnen innovative Anwendungen im Bereich der Leistungslaser und für Filtersysteme.

In Kombination mit modernen, optisch aktiven Materialien und spezifischen Wellenleiterstrukturen lassen sich intelligente Schalter, Sensoren, Modulatoren und aktive optische Bauelemente gestalten, die neue Möglichkeiten für die Nanophotonik ergeben und verschiedenste neue Applikationen ermöglichen.

Durch geeignete Feinstrukturierung der Oberflächen von Einzelbauteilen mit Lasern lassen sich innovative Fügetechniken realisieren,

die beispielsweise die elektrische oder thermische Leitfähigkeit und die tribologischen Eigenschaften des Gesamtbauteils beeinflussen.

4.1.5 Strahlquellen und Displays

Die Bedeutung von Ultrakurzpulslasern steigt im Bereich der Medizintechnik, in der Präzisionsbearbeitung spezieller Materialien (z. B. Keramik oder Glaswerkstoffe), aber auch in der Messtechnik (z. B. ultrapräzise Zeitmessung) stetig an. Auch in diesem Bereich hat die Schweiz beachtliche Erfolge vorzuweisen.

Bildschirme sind die effizientesten Geräte, um Informationen zu präsentieren, der weltweite Markt (120 Mrd. CHF) wächst jährlich um 7.5%. Die Schweizer Photonik-Industrie liefert hier wichtige Komponenten und Subsysteme für Spezialanwendungen wie Kino- und Heimprojektoren oder Head-up-Displays für Autos.

4.2 PHOTONIK-INSTITUTE

Die Schweizer Hochschulinstitute der Photonik-Forschung haben sich fast alle dem Nationalen Thematischen Netzwerk (NTN) «Swissphotonics» angeschlossen. Neben den Mitgliedern aus der Industrie gehören etwa zwanzig Hochschulen oder Forschungsinstitutionen dazu.

Die Institute unterstützen ihre Forschungsaktivitäten mit einem qualitativ hochstehenden Bildungsangebot auf Bachelor-, Master- und Doktoratsebene. Auf Bachelorebene werden heute Studiengänge in der Ostschweiz angeboten (siehe Anhang), auf Masterebene ist ein entsprechendes Angebot in Vorbereitung.

4.3 NACHHALTIGE WERTSCHÖPFUNG IN DER SCHWEIZ

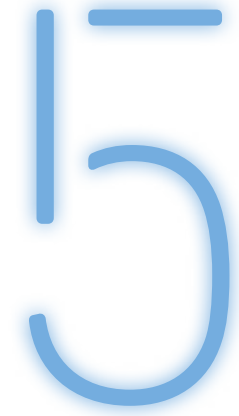
Die oben dargestellten Aktivitäten zeigen die grosse Leistungsfähigkeit und die wertvollen Zukunftspotenziale der Schweizer Photonics-Industrie und der Forschungsinstitutionen. In den vergangenen zwanzig Jahren sind zudem attraktive, rasch wachsende Firmen entstanden. Beispiele sind u. a. Optotune oder II-VI Laser Enterprise und NKT Photonics. Diesen Trend gilt es zu erhalten, ja zu stärken und einen Beitrag an die Entwicklung und Anwendung modernster Technologie und somit an nachhaltige Wertschöpfung in der Schweiz zu leisten.

+ Ausführlichere Informationen im Anhang auf den [Seiten A6 – A9](#)

Das Photon beherrschen -
in Entwicklung und Anwendung



NEUE PHOTONIK- SCHWERPUNKTE FÜR DIE SCHWEIZER INDUSTRIE



5.1 ADVANCED MANUFACTURING

Photonics ermöglicht heute Prozesssicherheit und erhöht die Effizienz jeder Präzisionsfertigung. Individualisierte 100%ige Qualitätsprüfung, vorausschauende Statusbereitstellung und Datendurchgängigkeit bis hin zur Kundenanwendung werden durch photonische Technologien ermöglicht und zum Standard. Damit ist Photonik ein «Key Enabler» für die Schweizer Fertigungsindustrie.

Für die Fertigung photonischer Komponenten selber liegen die Herausforderungen in der Miniaturisierung und den damit möglichen hohen Skalierungsfaktoren. Besonderes

Augenmerk muss auf die ökonomisch sinnvolle Montageautomation im Hinblick auf die notwendige Präzision mit adaptiver Systemarchitektur gelegt werden. Diese Entwicklungen stehen noch ganz am Anfang und basieren auf Schweizer Kernkompetenzen – eine Chance für Schweizer Unternehmen.

5.2 INDUSTRIE 4.0 UND IOT

Die digitale Vernetzung von Maschinen und Prozessen und das Internet der Dinge sind Elemente eines Megatrends, der viele Chancen gerade für die Photonik bietet:

Einerseits ermöglicht er der Photonics-Industrie, auch mit kleineren Stückzahlen bis hin zur Losgrösse 1 wettbewerbsfähig zu bleiben und

auf höchstem Qualitätsniveau zu produzieren. Andererseits wird dieser Trend erst durch photonische Sensorik ermöglicht. Die Photonics-Industrie wird somit selber zum Enabler der Digitalisierung.

5.3 SMART SENSING, DIGITALISIERUNG UND MESSTECHNIK

Neue photonische Sensoren vereinen höhere Funktionalität in jedem Einzelsensor (Pixel) mit gleichzeitiger zunehmender Parallelisierung (Sensor Arrays).

Künftige hyperspektrale Kameras liefern eine signifikant höhere Informationsdichte als heutige Einzelsensoren oder Kameras und erlauben damit völlig neue kostengünstige Anwendungen in Medizin, Robotik, Security, Umwelttechnik, bei Konsumgütern u. v. m. Gleichzeitig öffnet ultrapräzise photonische Zeitmessung neue zukunftsweisende Märkte in der Präzisionsindustrie, Maschinensteuerung, Navigation und Kommunikationstechnologie.

Die Forderung nach Echtzeitverarbeitung erfordert «smarte» Sensoren. Dadurch öffnet sich eine Schweizer Alleinstellung «Smart Photonic Microsystems», die als «Fog Computing Sensors» oder «Edge Computing Sensors» schnell an Bedeutung gewinnen wird.

Photonische Messtechnologien erlauben berührungsfreie und «realtime in-process»-Überwachung. Dies sind ganz wesentliche Funktionen für höchste Stabilität und Flexibilität der Produktionsprozesse, beides entscheidende Elemente von Industrie 4.0 und IoT sowie letztlich der Produktionswirtschaftlichkeit.



Photonik ist ein wesentlicher Enabler für die Digitalisierung in unserer Gesellschaft:

- Optische Kommunikationstechnologie erlaubt die schnelle Vernetzung aller Dinge.
- Moderne Halbleiterchips werden mit optischen Technologien produziert.
- Photonische Sensoren und Systeme überwachen unsere Umwelt, verbessern unsere Gesundheit, steuern Maschinen, analysieren, warnen vor Gefahren und informieren mit Lichtgeschwindigkeit.

5.4 DATEN- UND BILDVERARBEITUNG, AUGMENTED UND VIRTUAL REALITY

Moderne Maschinen und Aktuatoren benötigen mehrdimensionale Datenerfassung und Datenverarbeitung. 3-dimensionale Raumdaten in Echtzeit (6D) erzeugen extrem grosse Datenmengen, die mit intelligenten Algorithmen (u. a. Bildverarbeitung) in Echtzeit verarbeitet werden müssen. Zudem bieten neue Darstellungsmethoden wie Virtual Reality und Augmented Reality interessante Möglichkeiten für die Schweizer Photonik-Industrie mit ihrem weltweit einzigartigen Wissen in der Herstellung von miniaturisierten optischen Komponenten und Systemen. In diesem Markt wird mit ähnlichen Wachstumsraten gerechnet wie in Pharma, Medizin und Digitalisierung.

5.5 MEDIZINTECHNIK

Die rasante Entwicklung der Medizintechnik basiert in wichtigen Teilen auf photonischen Innovationen. Optische Sensoren mit wellenlängenspezifischen Funktionalitäten erkennen individuelle biochemische Reaktionen. Gewebeatintegrierte Sensoren erlauben die kontinuierliche und nichtinvasive Messung von unterschiedlichen Parametern im Blut (wie Konzentration von Lactat, Sauerstoff, Blutzucker etc.) sowohl zur Früherkennung von Mangelerscheinungen als auch zur präzisen Dosierung von Medikamenten. In Kombination mit spezifischen biochemischen Markern wird die personalisierte Medizin Realität.

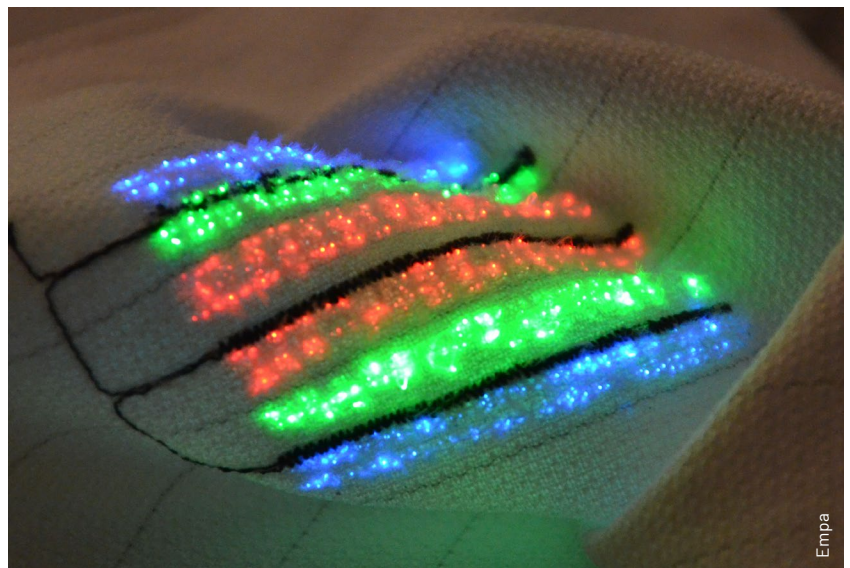
Andere innovative photonische Anwendungen sind photoinduzierte Krebstherapie oder minimalinvasive Operationstechniken, die durch die Kombination aus Sensorik und durch Miniroboter gesteuerte Aktoren ermöglicht werden – eine Schweizer Spezialität.

5.6 COMMUNICATION SYSTEMS

Die generierten und verarbeiteten Datenmengen steigen seit Jahren exponentiell. Optische Verbindungen und Netzwerke sind der Schlüssel dieser Entwicklung. Sie bieten eine wesentlich höhere Bandbreite bei geringerem Energieverbrauch als klassische kupferbasierte Systeme. Von zunehmender Bedeutung sind auch Free-Space-Laserverbindungen, sei es zwischen Erde und Satelliten oder zwischen Satelliten, um die aus dem Orbit aufgenommenen Bilddaten der Erdoberfläche in Echtzeit in Kabelnetze einzuspeisen. Anstelle von Satelliten kommen immer mehr Flugzeuge und Drohnen für Erdbeobachtungen ins Spiel.

Viele Schweizer Unternehmen gehören zu den Enablern dieser Revolution in der Kommunikationstechnologie. Der nachhaltig hohe Druck der Schweizer Photonik-Industrie zur Entwicklung und Produktion von Photonik-Chips auf Siliziumbasis ist ein wichtiger Treiber, um Informationen auch künftig bei höheren Geschwindigkeiten und geringeren Kosten verfügbar zu machen.

+ Ausführlichere Informationen im Anhang auf den [Seiten A10 – A15](#)



LED bringen Textilien zum Leuchten – sie können als Sensoren zur Überwachung von Körperfunktionen genutzt werden.

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN 1–5

FÜR DIE FÖRDERUNG DER NEUEN PHOTONIK-SCHWERPUNKTE

INDUSTRIE UND WISSENSCHAFT EMPFEHLEN GEMEINSAM EINEN FÖRDERSCHWERPUNKT PHOTONICS IN DER NATIONALEN FORSCHUNGSFÖRDERUNG DER SCHWEIZ «TECHNOLOGIE-CLUSTER PHOTONICS SWITZERLAND»

1

Photonics und ihre Technologien sollen auf nationaler Ebene als **bedeutender Technologie-Cluster** anerkannt und gefördert werden. In der nationalen Forschungsförderung bildet dieser einen der Schwerpunkte.

Die Industrie verpflichtet sich, die Förderbeiträge des Bundes mit Eigenleistungen zu verdoppeln.

2

Diese Förderung soll für Projekte zugunsten der sechs «Neuen Photonics-Schwerpunkte für die Schweizer Industrie» gemäss Ziffer 5 «White Paper – Photonics Switzerland» eingesetzt werden:

1. *Advanced Manufacturing*
2. *Industrie 4.0 und IoT*
3. *Smart Sensing, Digitalisierung und Messtechnik*
4. *Daten- und Bildverarbeitung, Augmented und Virtual Reality*
5. *Medizintechnik*
6. *Communication Systems*

3

Die Projekte müssen **vorwettbewerblichen Charakter** haben und die folgenden **industriell-unternehmerischen Funktionen** inkubieren und unterstützen:

- ◆ *Aufbau photonischer Systemkompetenzen*
- ◆ *Bereitstellung photonischer Prozessketten*
- ◆ *Nutzung photonischer Wachstumsmärkte*
- ◆ *Ausbau der Basis der Photonik-Technologien in der Schweiz*

4

Die schwerpunktmässige **Förderung des Technologie-Clusters Photonics Switzerland** soll hauptsächlich über das **Impulsprogramm der Innosuisse 2019–2020** angestossen und in der neuen BFI-Botschaft 2021–2024 weitergeführt werden.

Dabei sollen das **Programm BRIDGE** und die Mittel der strategischen Forschungsbereiche wie der **Plattform Advanced Manufacturing** genutzt werden.

5

Industrie- und Wissenschaftsvertreter verpflichten sich, durch geeignete eigene Programmplanung und -koordination dafür zu sorgen, dass Projekte im angestrebten Umfang und gemäss den Zielen dieser Handlungsempfehlungen generiert, bewilligt und bearbeitet werden.

Die Fördermittel sollen insbesondere für **Projekte, die auch KMU Chancen eröffnen**, eingesetzt werden.



Light: Science and Technology

From gamma rays to radio waves, the spectrum of light provides insights both far-ranging and near, from the origin of the Universe to technologies that have shaped our society. For instance, advanced research in areas such as nanophotonics, quantum optics, and ultrafast science are inspiring new fundamental discoveries and opening new scientific frontiers.

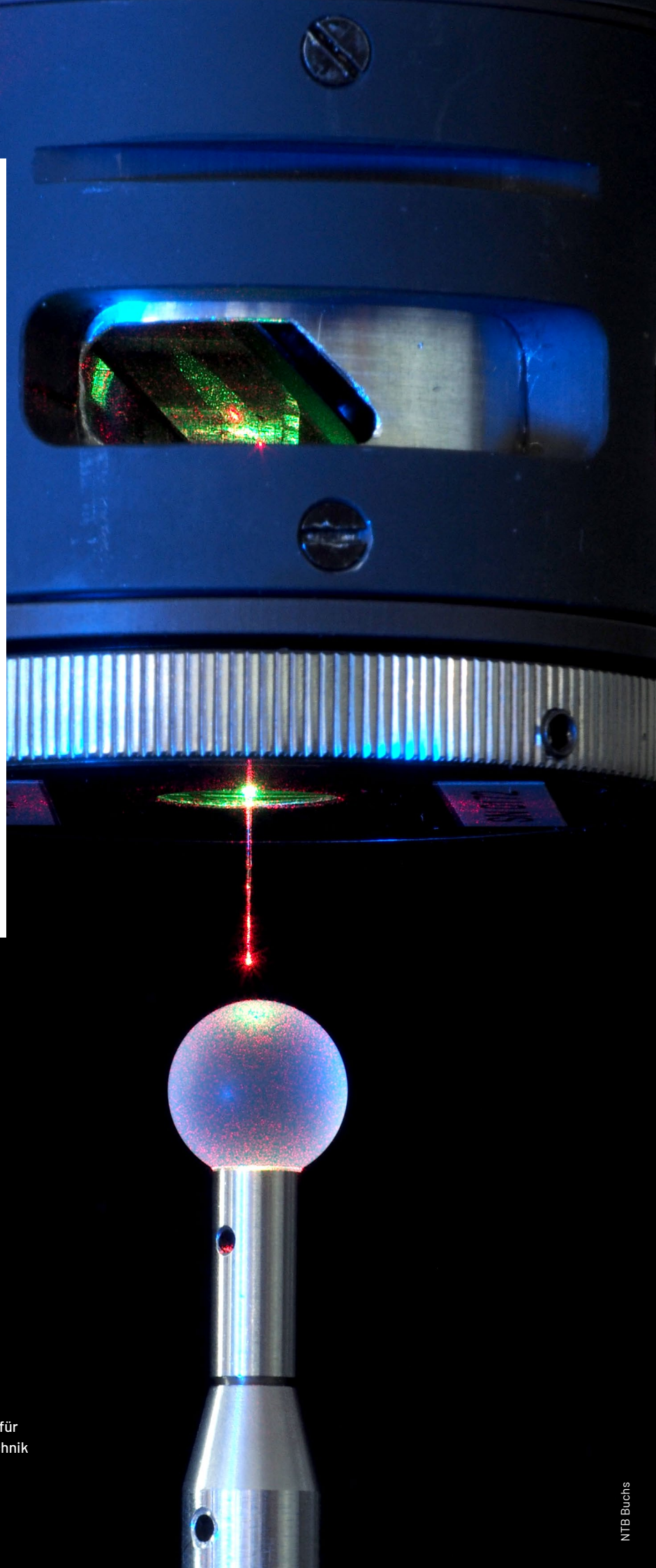
Photonics-enabled industries are major economic drivers, and the many applications of photonics have transformed society through improved medicine, communications, and energy production.

Photonics is ubiquitous in our daily lives: from technologies that improve vision and power the Smartphones in our hands, to state-of-the-art technologies that provide us with tools for space observation and fiber optics that help us communicate via the Internet.

Photonics is poised to become the key enabling technology of the future.

UNESCO, Intl. Day of Light, 16th May 2018

Optische Sensorik für
Präzisionsmesstechnik



ANHANG

→ ZU 3. HEUTIGER STAND DER PHOTONIK IN DER SCHWEIZ

3.1 STANDORTVORTEILE

3.1.1 ERFOLGE MIT DEN GRUNDLAGENPROGRAMMEN DES ETH-RATES (ENDE DER 90ER-JAHRE)

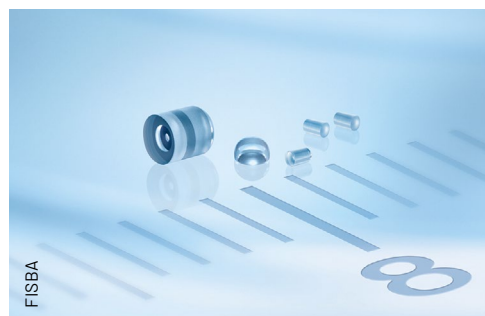
Ende der 90er-Jahre gab es die sehr erfolgreichen Grundlagenprogramme des ETH-Rates OPTIQUE I/II für Photonik, LESIT für moderne Elektronik und TOPNANO21 für Nanotechnologie. Massgebend war das Eingeständnis wichtiger Schweizer Firmen, dass sie in diesen zukunftssträchtigen Gebieten Defizite aufzuweisen hatten, die mit den eigenen Möglichkeiten nicht abgebaut werden konnten, andererseits jedoch Kompetenzen an den Hochschulen vorhanden waren. Dank dem Engagement von Nobelpreisträger Heinrich Rohrer vom IBM-Forschungslabor in Rüschlikon und von Prof. Hans-Joachim Güntherodt der Universität Basel, die beide den Übergang von der Mikro- in die Nanotechnologie als Hauptstossrichtung künftiger Techniken erkannten, war allen Beteiligten schnell klar, dass dieser Wandel unmittelbare Auswirkungen auf industrielle Elektronik- und Photonik-Instrumente haben würde. Die erforderlichen Technologieentwicklungen waren jedoch über eine Vielzahl aufeinander abgestimmter Projekte gemeinsam von Instituten und Hochschulen im Rahmen von Top-down-Programmen durchzuführen.

Im Falle des Optique-Programms (Manager Prof. M. Ilegems /EPFL) gab es folgende thematische, von Industrie und Hochschulen gemeinsam definierte Schwerpunkte: Quantum Optics, Advanced Light Sources, Telecommunication Photonics, Biophotonics und Optronics Systems. Viele der Projekte wurden als Dissertationen durchgeführt, die von der Hochschule und der Industrie gemeinsam betreut wurden.

Optique II Programm des ETH-Rates 1996 – 1999:

Anzahl durchgeführter Projekte:	36
Anzahl teilnehmender Industrien:	32
Öffentliche Mittel (CHF in 4 Jahren):	32 Mio.
Eigenleistungen der Industrie (CHF):	19 Mio.
Anzahl durchgeführter Doktorarbeiten:	80
Anzahl wissenschaftlicher Publikationen:	490
Anzahl Patente:	26
Anzahl gegründeter Start-up-Firmen:	7
alle heute erfolgreich am Markt tätig	

Mikrolinsen kleiner als 1 mm
für neuartige medizinische
Geräte (Endoskope)



Aus Sicht der Industrie waren die Programme sehr erfolgreich, da man während der gesamten Projektdauer mitengagiert war und man sich so ein tiefes Verständnis für die Technologie erwerben konnte. Das erlaubte später der Industrie, in der Umsetzungsphase der Produktentwicklung die weiteren Ausbaumöglichkeiten, aber auch die Grenzen des Machbaren zu erkennen. Als weitere positive Aspekte der Programme sind zu nennen, dass die involvierten Doktoranden nach Abschluss der Arbeiten beste Industriechancen hatten und dass die Hochschulen erfuhren, in welche Richtung sich der Markt entwickeln würde, so dass sie entsprechend ihr Ausbildungsangebot anpassen konnten.

Als Regel mag gelten: Wenn sich neuartige Technologieansätze rasant und disruptiv entwickeln, sich dadurch völlig neuartige Produktmöglichkeiten eröffnen und gleichzeitig andere Technikgebiete beeinflusst werden, dann ist ein breit abgestütztes, gemeinsam durchgeführtes, nationales Grundlagenprogramm nötig und von Nutzen.

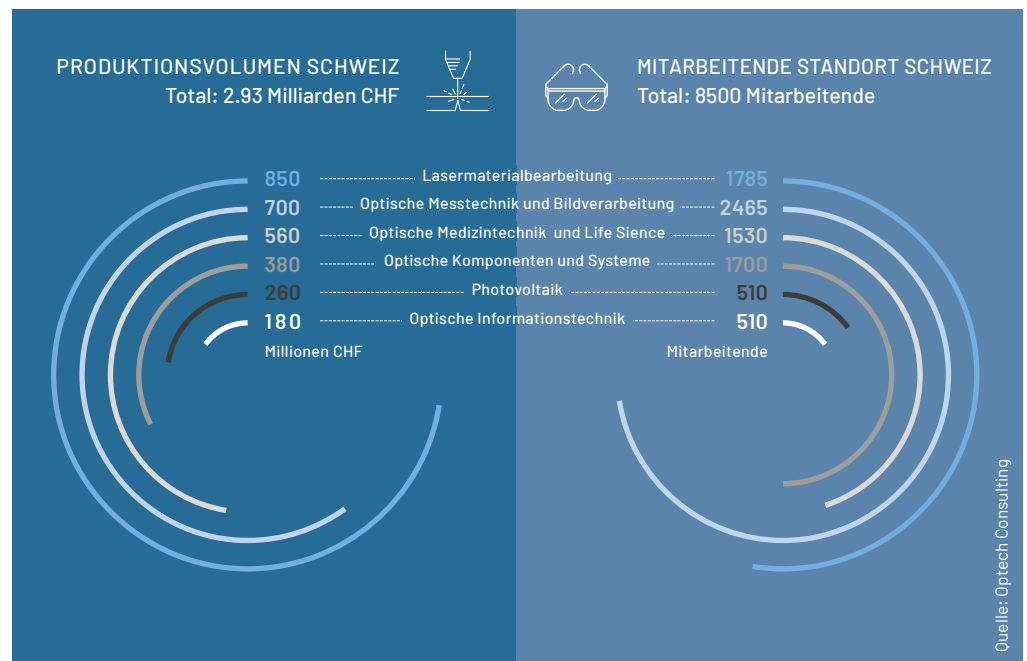
Dies wird im Erfahrungsbericht der Schweizerischen Physikalischen Gesellschaft eindrücklich erläutert: [a]

Der positive Leistungsausweis von Optique II ist Beweis und Beispiel für Nützlichkeit, Effizienz und Chance einer erneuten, gezielten Förderung der weiter stark wachsenden Photonik-Anwendungen und ihrer Technologien in der Schweiz.

3.1.2 WIRTSCHAFTLICHER FAKTOR VON BEDEUTUNG

In der Schweizer Photonics-Industrie arbeiteten zum Jahresende 2015 8500 Mitarbeitende. Die meisten Beschäftigten sind im Bereich der optischen Messtechnik und Bildverarbeitung tätig (29%), gefolgt von der Lasermaterialbearbeitung mit 21%. Weitere Bereiche sind: Medizintechnik und Life Science, optische Informationstechnik sowie die Herstellung optoelektronischer Komponenten.

Durch die neuen Möglichkeiten des Advanced Manufacturing und Massnahmen im Bereich Industrie 4.0 und IoT besteht die grosse Chance, hochwertige Arbeitsplätze in der Schweiz nachhaltig zu sichern, sowohl direkt in der Photonics-Industrie wie auch in den zugewandten anwendenden Branchen.



Anmerkung: Die Angaben zum Marktvolumen und zu Mitarbeitenden der Photonik-Industrie sind wegen ihrer vielfältigen Integration in die unterschiedlichsten Branchen und Märkte schwierig zu isolieren. Im Unterschied zu den Ausgaben der Studie von Optech Consulting (2.93 Mrd. CHF) [a] bezieht sich die Swissmem-Angabe (4 Mrd. CHF) im Text unter Ziffer 3.1 (auf Seite 10) auf eine etwas breitere Photonik-Definition.

3.1.3 HOHER AUSBILDUNGSSTAND AN DEN HOCHSCHULEN

Die ETHZ und die EPFL betreiben als internationale Spitzenuniversitäten Institute mit höchsten Forschungsstandards, unterstützt von Universitäten und renommierten anwendungsorientierten Forschungseinrichtungen wie Empa und PSI. An den Schweizer Fachhochschulen sowie beim CSEM und bey RhySearch werden die Ergebnisse in anwendungsorientierter Forschung gemeinsam mit der Industrie in marktfähige Produkte und industrielle Prozesse umgesetzt. Die Ergebnisse fließen im Rahmen von Doktorats-, Master- und Bachelorstudiengängen in die Ausbildung und Weiterbildung junger Wissenschaftler und Ingenieure und gewährleisten auch künftig den hohen Ausbildungsstand in der Photonik in der Schweiz.



Drohne mit Kameras
– eine von zahllosen
interdisziplinären
Anwendungen von
Photonics

3.1.4 VERNETZUNG DER SCHWEIZER PHOTONIK-BRANCHE

- ◆ **Swissmem Fachgruppe Photonics** (Branchenverband auf Managementebene, enger Kontakt zu Wirtschaftsverbänden und SECO)
- ◆ **Swissphotonics NTN** (auf Umsetzungsebene: Ingenieure, Projektleiter, Professoren, Assistenten, Einbezug von KMU, UAS (Fachhochschulen), ETHZ / EPFL zur Generierung von Zusammenarbeit in Innosuisse- und EU-Projekten; enger Kontakt zu KTI/Innosuisse)
- ◆ Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften, SATW (Vernetzung Wissenschaft mit Industrie sowie auch mit nichtphotonischen Industrien, enger Kontakt zum SBFJ)
- ◆ Institutionalisierte Verbindungen auf europäischer Ebene (Photonics21, EOS, EPIC)
- ◆ Institutionalisierte Verbindungen auf weltweiter Ebene (OSA, OIDA, SPIE, IOA)
- ◆ Kontakt und Abstimmung zu anderen nationalen Programminitiativen (z. B. NCCRs, NTNs, Programm Advanced Manufacturing)
- ◆ Kenntnis der internationalen Initiativen (SBIR, DARPA, BMBF, PETRA, AIM)

3.3 VERGLEICHBARE AKTIVITÄTEN IM AUSLAND

Es gibt weltweit riesige Unterschiede, wie Technologieentwicklung staatlich unterstützt wird, aber in allen wichtigen Industrienationen gibt es gezielte Programme, um Forschung und Entwicklung von Photonik zu fördern.

Deutschland (CAGR Photonics ca. 7%)

Seit zwanzig Jahren kennt Deutschland sehr starke, gezielte und äusserst wirksame Photonik-Forschungsförderung als Teil der nationalen Industriepolitik. Sehr gut konzipierte nationale Mehrjahresprogramme (Laser 2000, Optische Technologien 2010, Agenda Photonik 2020) und starke Unterstützung europäischer Plattformen und Public Private Partnerships (Photonics21) mit der Verpflichtung, dass die Industrie in die Forschung viermal so viel investiert wie die EU mit ihren entsprechenden Förderbeiträgen.

Beeindruckende Kohärenz in den nationalen Photonics-Förderungsstrategien und -zielen bei den drei Hauptinteressensträgern: 1. Industrie, 2. Wissenschaft und 3. Bund (BMBF, mit eigenem Ministerialreferat, Dr. Frank Schlie), insgesamt zzt. gefördert vom Bund mit 100 Mio. EUR/Jahr. Förderung in der Grossindustrie, aber vor allem Förderung von Photonik in KMU zur Schaffung von Arbeitsplätzen.



Investitionen in Forschung, Entwicklung und Qualifizierung sichern langfristig Arbeitsplätze und Lebensstandard in Deutschland. Kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) kommt hier eine besondere Bedeutung zu. Sie sind ein wesentlicher Innovationsmotor und stellen eine wichtige Schnittstelle für den Transfer von Forschungsergebnissen aus der Wissenschaft in die Wirtschaft dar. Sowohl in etablierten Bereichen der Photonik als auch bei der Umsetzung neuer Schlüsseltechnologien in die betriebliche Praxis hat sich in den letzten Jahren eine neue Szene innovativer Unternehmen herausgebildet, die es zu stärken gilt. BMBF

Europa

Die Unterstützung durch die Regierungen europäischer Staaten wird von OIDA auf etwa 1 Mrd. EUR/Jahr geschätzt (100 Mio. EUR - P21 funding, 200 Mio. EUR - other EU funding, 100 Mio. EUR - German Photonik funding [s. oben], 150 Mio. EUR - various UK funding, including military, 150 Mio. EUR - various French funding, including military, 150 Mio. EUR - other European national funding). Dazu kommt noch ein unbestimmter, aber nicht unwesentlicher Teil in Russland.

USA (CAGR Photonics ca. 6-8%)

In den USA wurde 2013 die National Photonics Initiative NPI zur Förderung der photonischen Schlüsseltechnologien lanciert.



US Congress makes the following findings:

- I. Optics and photonics is the science and application of light, serving as the backbone for modern national security applications, industrial controls, manufacturing, medicine and consumer and business products;
- II. Optics and photonics are fundamental, enabling technologies critical to our nation's leadership in nearly every industry sector including energy, telecommunications and information technology, defense and national security, health and medicine and manufacturing;
- III. Public companies focused on optics and photonics in the United States enable more than \$3 trillion in revenue annually and create more than 7 million public company jobs;
- IV. Optics and photonics are recognized globally as critical technologies and governments including Germany and China have aggressively directed funding to advance their optics and photonics industries which have resulted in a number of critical energy manufacturing jobs and companies moving from the United States to overseas markets; and

- V. Partnerships between US industry, academia and the federal government are needed to invest in vital optics and photonics research and development, enhance innovation in private and public sector laboratories and promote continued US competitiveness.

US Congress on NPI

Hauptziel auch in der Photonik ist für die USA die Erlangung und Verteidigung der technischen und militärischen Dominanz sowie der Innovationsleadership in der Photonik. Dafür stehen verschiedene Programme zur Verfügung, z. B. SBIR, DARPA etc. Als Teil der NNMI-Initiative (Advanced Manufacturing) wurde auch das AIM Photonics Institut gegründet.

Ferner haben die USA 2017 die National Quantum Initiative (NQI) lanciert. Ziel der NQI ist u. a.:

«... to guarantee the US leadership in the development and deployment of a new generation of quantum technology, which will usher in the next generation of enhanced measurement, communication and data processing.»

Die gesamte finanzielle Unterstützung der Entwicklungen in der Photonik durch die Regierung beträgt 610 Mio. USD für das AIM und 500 Mio. USD für die NQI.

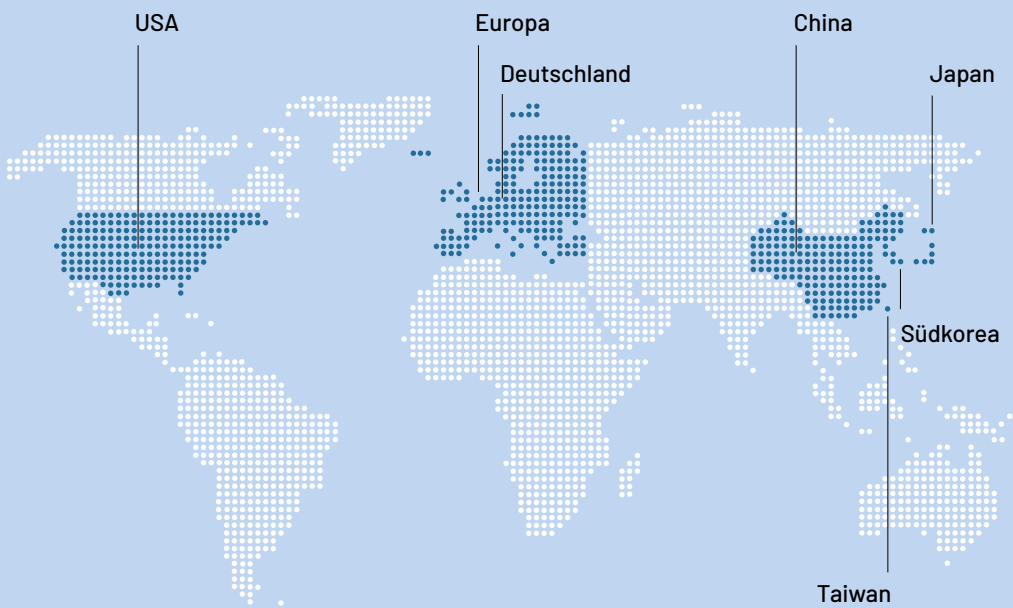
China, Taiwan, Südkorea

Das Ziel der staatlichen Unterstützung liegt in diesen Ländern in der Beschaffung von harten Devisen, indem photonische Massenprodukte wie Bildschirme, Handys, Photovoltaikzellen und LED-Chips in der lokalen Währung hergestellt und dann im Westen gegen USD und EUR verkauft werden. Diese Länder sind sich bewusst, dass dies nur funktioniert, wenn sie die beste und neueste Technologie liefern, und somit werden die Entwicklung und Produktion in diesen Ländern jedes Jahr mit Milliarden unterstützt. China nutzt die Photonik zusätzlich, um das grosse Reich mit optischen Datenübertragungen zu vernetzen und zu steuern.

Südkorea (CAGR ca. 8%) unterstützt über drei involvierte Ministerien (MOSIF, MOHW and MOTIE) Photonik mit riesigen Beträgen (1660 Mio. EUR 2014 und 2840 Mio. EUR 2020).

Japan

Japan hat schon lange geplant, das gesättigte Wachstum der Elektronik durch Wachstum in der Photonik zu kompensieren, und fördert dafür die etablierten Organisationen MITI und OITDA, um führende Technologien (8K TV, Gb/s-Kommunikation, optische Computer Interconnects, Instrumente etc.) zu unterstützen. Dabei arbeitet der Staat sehr eng mit der Industrie zusammen.



→ ZU 4. LAUFENDE PHOTONIK-AKTIVITÄTEN IN DER SCHWEIZ

4.1 PHOTONIK-INDUSTRIE

4.1.1 OPTISCHE KOMPONENTEN / SUBSYSTEME

Firmen: Fisba, SwissOptic, IMT, Optotune, Mikrop, WZW u. a.

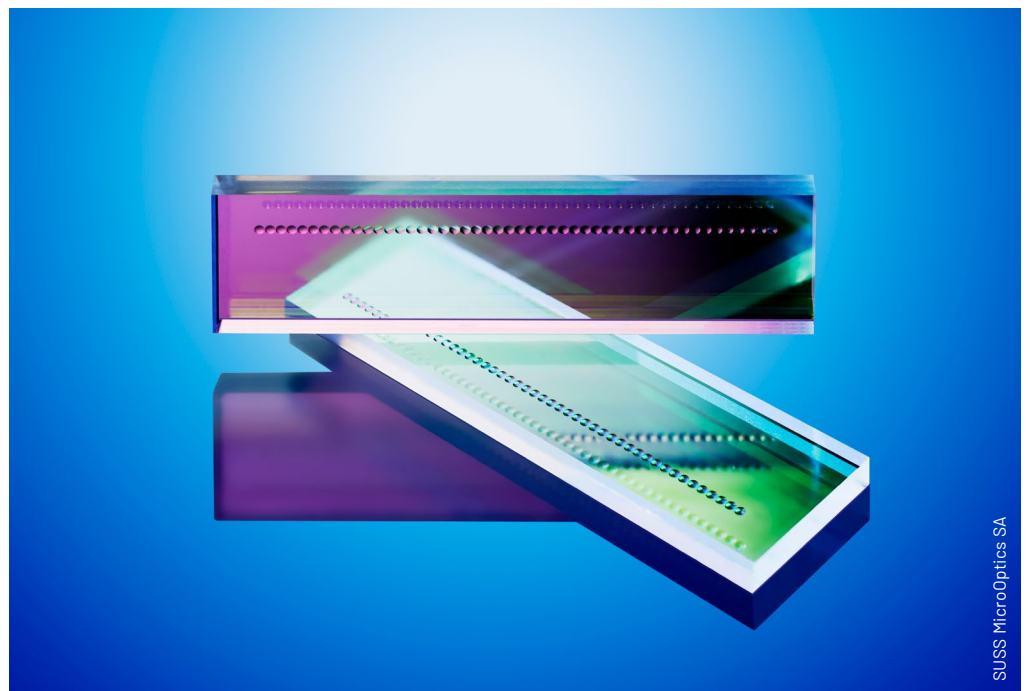
Der Nutzen der präzisionsoptischen Systeme und Komponenten beruht seit Anbeginn der Photonik in der dem Licht inhärenten berührungslosen Eigenschaft. In der Anwendung von makroskopischen optischen Teleskopen bis zu miniaturisierten bildgebenden Messsystemen wird die mit Licht erfasste Information über elektronische Signalwandler in anwendungsnahe Daten verwertet.

In Anwendung und Entwicklung tragen einige wesentliche Stärken der Schweizer Industrie wie Präzision durch Messbarkeit, Verlässlichkeit durch System-Engineering, Forschung mit Anwendungsnahe, Technologiekompetenz mit Algorithmen-Exzellenz und «last but not least» die ausgezeichnete Beherrschung der Miniaturisierung zum globalen Erfolg bei.

Bei Komponenten führen die wellenoptische Anwendungs- und Simulationskompetenz in verschiedensten optisch transparenten Materialien von Flüssigkeiten zu Polymeren über Glas und Kristall kombiniert mit soliden produktionstechnischen Engineering-Leistungen zu erfolgreichen Alleinstellungen im Markt. Physikalisch brechend oder spiegelnd und wellenoptisch überlagert, findet ein grosser Anteil der optisch und spektral wirksamen Funktionen an Materialoberflächen statt, wobei die Schweizer Industrie in optisch dünnen Beschichtungen und Oberflächenstrukturen seit Jahrzehnten eine weltweit führende Position einnimmt.

Bei Systemen steht die Realisierung von robusten und für die Anwendungsumgebung optimierten optischen Präzisionsinstrumenten im Vordergrund. System-Engineering mit hochwertigen Aufbau- und Verbindungstechnologien mit anwendungsoptimierter Elektronik und Algorithmik schaffen die Basis zu erfolgreicher Vermarktung.

Beschichtete mikro-
optische Komponenten mit
Submillimeter-Strukturen:
Grundelemente für die
Laserstrahlformung



4.1.2 MATERIALBEARBEITUNG

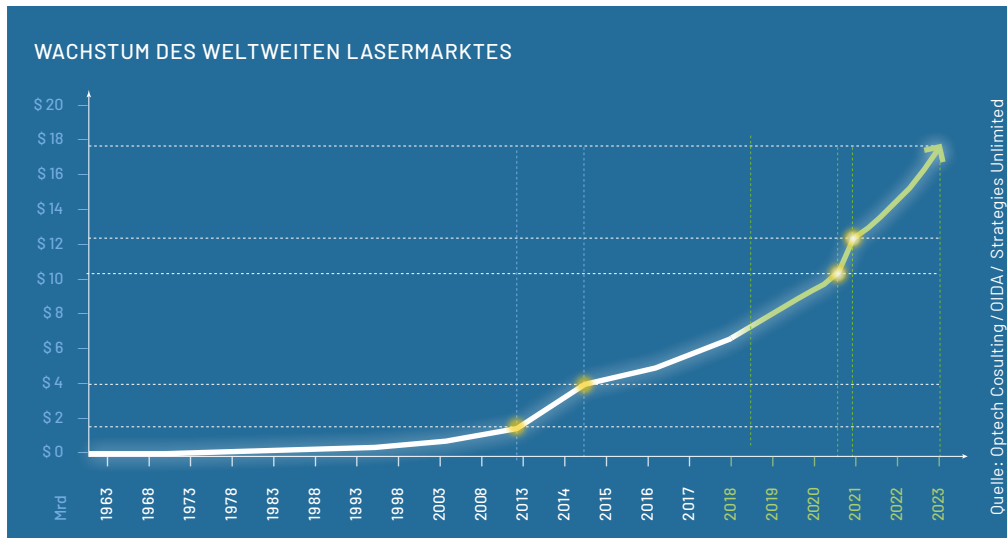
Firmen: Trumpf, Bystronic Laser u. a.

Der Wert des weltweiten Marktes für Lasermaterialbearbeitung liegt 2015, je nach Studie, zwischen 10 Mrd. USD [1] und 12 Mrd. USD [2] (ohne das Lithografie-Geschäft). Bei einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate des Marktes von 8.4% (CAGR) im Zeitraum 2016–2022 wird das Volumen 2022 etwa 21 Mrd. USD erreichen [2]. Dabei ist Europa mit 5.5 Mrd. EUR weltweit der grösste Produzent von Lasern und Systemen für die Lasermaterialbearbeitung, wovon die Schweiz einen Anteil von 13% behauptet [4]. Gemessen am Weltmarkt beträgt der Schweizer Anteil in der Lasermaterialbearbeitung 7% [3].

Das Produktionsvolumen der gesamten Photonics-Industrie in der Schweiz belief sich im Jahr 2012 auf 3.3 Mrd. CHF (350 Mrd. EUR weltweit im Jahr 2011) und sank 2015 auf 2.93 Mrd. CHF. Der Rückgang der Photovoltaik und die hohe Aufwertung des Schweizerfrankens (2007–2015 um 54% gegenüber dem Euro und um 25% gegenüber dem US-Dollar) haben die stark exportorientierte Branche (ca. 90% der gesamten photonischen Produktion) erheblich belastet. Die Umsatzverluste der jüngsten Vergangenheit sind inzwischen auch Anlass für Produktionsverlagerungen ins Ausland [3].

Der Bereich der Lasermaterialbearbeitung umfasst mit einem Anteil von 29% das grösste Umsatzvolumen der Photonik in der Schweiz (830 Mio. CHF 2015).

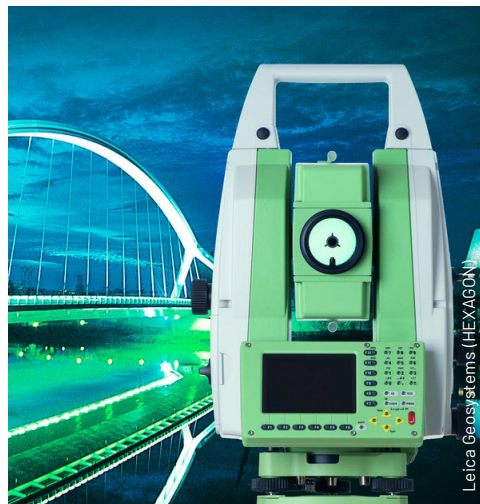
Quellenangaben s. Verzeichnis Seite A16.



4.1.3 SENSOREN/MESSTECHNIK

Firmen: Leica Geosystems, Baumer, Cedes, Espros Photonics, Sensirion, Hilti, Heliotis u. a.

In der Warengruppe «Präzisionsinstrumente» exportierte die Schweiz laut Swissmem im Jahr 2016 ein Volumen von rund 15 Mrd. CHF. Die meisten Produkte dieser Gruppe enthalten einen mehr oder weniger grossen Photonik-Anteil – von einer optischen Skalenauslesung in einer Waage bis hin zu einem Gesamtsystem, aufgebaut aus einer Vielzahl photonischer Baugruppen oder Einzelkomponenten. Als Beispiel sei hier etwa eine digitale Luftbildkamera genannt, die aus einer klassischen Linsenoptik, spektralen Filtereinheiten, einer mehrkanaligen optoelektronischen Bildsensorik und integrierter Bildvorverarbeitung besteht.



Moderner Theodolit – ein photonisches Gesamtsystem: Optik, Mechanik, Elektronik, Informatik integriert

Das Produktionsvolumen des Bereichs «Materials, Joinings und Functional Coatings» in der Schweiz beträgt rund 700 Mio. CHF. [b]

Aus diesen Zahlen darf geschlossen werden, dass der Umsatz der «Sensoren/Messtechnik»-Industrie mit Produkten, die einen signifikantem Photonik-Anteil aufweisen, im Bereich von einigen Milliarden CHF liegt.

3D-Sensoren spielen eine immer bedeutendere Rolle – sei dies in Form von abtastenden Lasersensoren (Lidar, Image-Ranging) oder als photogrammetrisch eingesetzte 2D-Bildsensoren. Insbesondere der Trend nach immer mehr Echtzeit im Bereich der Automatisierung, Überwachung und Visualisierung treibt diese Technologien stark voran. Hier spielen sogenannte «Smart Sensors», d. h. photonische Sensoren mit On-Board-Bildverarbeitung, eine immer bedeutungsvollere Rolle.

4.1.4 MATERIALS, JOININGS UND FUNCTIONAL COATINGS

Firmen: Empa, Evatec, Optics Balzers, CSEM, APM u. a. Beschreibung s. 4.1.4, Seite 13.

4.1.5 STRAHLQUELLEN UND DISPLAYS

Firmen: Exalos, II-VI Laserenterprise u. a. Beschreibung s. 4.1.5, Seite 13.

4.2 PHOTONIK-INSTITUTE

Institute mit photonischen Forschungsschwerpunkten und Lehrangeboten (in alphabetischer Reihenfolge)

BFH	Berner Fachhochschule, Bern
CSEM	Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA, Neuenburg
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Dübendorf
EPFL	École polytechnique fédérale de Lausanne, Lausanne
ETHZ	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich
FHNW	Fachhochschule Nordwestschweiz, Brugg-Windisch
HES-SO	Hautes écoles spécialisées de Suisse occidentale, Westschweiz
HTW	Hochschule für Technik und Wirtschaft, Chur
NTB	Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs
PSI	Paul Scherrer Institut, Villigen
RhySearch	Forschungs- und Innovationszentrum Rheintal, Buchs
SUPSI	Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana, Südschweiz
Universität Basel	
Universität Bern	
Université de Fribourg	
Université de Genève	
Université de Neuchâtel	
ZHAW	Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften, Winterthur

Diese Institute verfügen über verschiedenste Forschungs- und Lehrangebote in Photonics. Eine detaillierte Übersicht zu Tätigkeiten und Forschungsgebieten ist bei [Swissmem](#) verfügbar.

→ ZU 5. NEUE PHOTONICS-SCHWERPUNKTE FÜR DIE SCHWEIZER INDUSTRIE

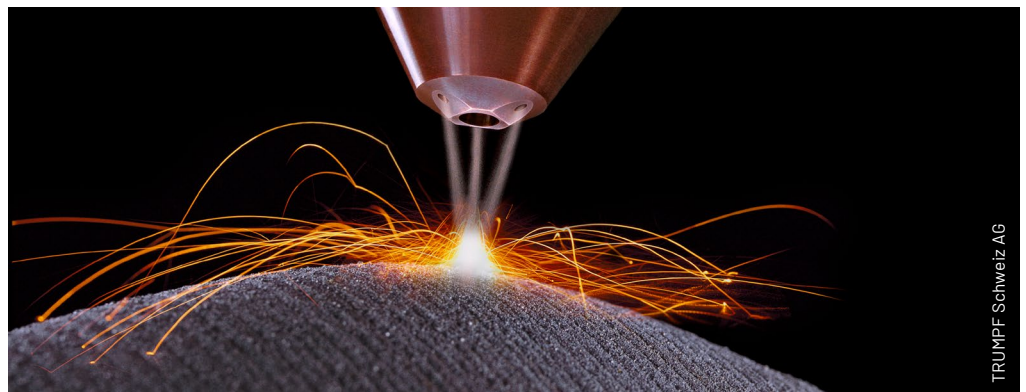
5.1 ADVANCED MANUFACTURING

Für die Fertigung photonischer Komponenten wie Linsen, Prismen, Spiegel etc., aber auch ganzer optischer Systeme bis hin zu Lasern ergeben sich durch neue Fertigungsverfahren eine Vielzahl neuer Herstellmöglichkeiten, die oft auch gekoppelt sind mit neuen Designs und Funktionalitäten. Beispiele hierfür sind (nicht abschliessend):

- ◆ Additive Materialbearbeitungsverfahren wie 3D-Printing unterschiedlicher Materialien. Die Möglichkeiten der freien Formgestaltung erlauben neue Designs; herausfordernd ist die Beherrschung der in der Optik geforderten Formtoleranzen im Submikrometerbereich und hohen Oberflächenqualitäten im Nanometerbereich.
- ◆ Subtraktive Materialbearbeitung. Neue Ultrapräzisionsfertigungstechnologien erlauben die mechanische Herstellung von optischen Oberflächen mit drehender und fräsender Materialbearbeitung. Damit ergeben sich ganz neue Möglichkeiten des Designs.
- ◆ Glasbearbeitung durch Ultrakurzpuls laser: Diese sehr neuen Fertigungsmöglichkeiten erlauben die gezielte Beeinflussung der optischen Eigenschaften (Brechzahl) des Bauelements und in Kombination mit entsprechenden Ätztechniken die Herstellung optischer integrierter Bauelemente.
- ◆ Serienfertigungsverfahren für Optiken hoher Qualität wie Glaspresen erfordern höchste Anforderungen an Design, Formen und Prozessbeherrschung – erste Schweizer Unternehmen beherrschen diese Prozesse und können damit neue Märkte öffnen.
- ◆ Durch Plasma Processing sind die Oberflächeneigenschaften von Optiken beeinflussbar (z. B. hydrophil – hydrophob); ebenfalls ein neuer herausfordernder Markt für Schweizer Unternehmen.
- ◆ Neue Fertigungsmöglichkeiten der Wafer-based Optics erlauben die Herstellung miniaturisierter optischer Systeme zu geringen Kosten. Im Bereich der Halbleiterfertigung ist in der Schweiz keine entsprechende Fab zu finden. Im Bereich der hochwertigen optischen Sensoren bietet sich ein Potenzial, diesen lukrativen Markt zu entwickeln und zu halten.
- ◆ Integration klassischer und mikrotechnischer Fertigungsverfahren – dies ist ein Schweizer USP (Unique Selling Proposition) für Anlagenbau und Maschinenbau.

Ein zweites Thema ist die Nutzung von den Möglichkeiten der Digitalisierung und Datenverarbeitung in der Photonik-Industrie für die automatisierte Fertigung hochwertiger Produkte in kleinen und mittleren Stückzahlen, Stichwort Industrie 4.0 und IoT.

Moderne Produktgestaltung:
Additive Manufacturing mit
Lasertechnologie (Cladding
– Auftragen von Metall)



5.2 INDUSTRIE 4.0 UND IOT

Industrie 4.0 und IoT beinhalten ein grosses Potenzial für Produktivitätssteigerungen in der Industrie. Diese Entwicklung steht insbesondere in den industriellen KMU noch am Anfang und birgt sehr viele Herausforderungen sowohl im technologischen Bereich – und hier vor allem in informationstechnischer Hinsicht – als auch in sozialen Aspekten wie beispielsweise die Veränderung des traditionellen Mitarbeiterbildes. Für die Schweiz mit ihrer fachlichen Expertise der Lehr- und Forschungseinrichtungen wie z. B. dem Institut für Technologiemanagement der Universität St. Gallen und innovativen Firmen wie z. B. der Schweizer Dependance von Trumpf in Graubünden ist die digitale Transformation ein wesentlicher Motor für eine Effizienzsteigerung, um die starke Abwanderung Schweizer Produktionsbetriebe ins Ausland einzudämmen und so lokale Arbeitsplätze zu sichern. Dabei ist es ausschlaggebend, die digitale Vernetzung nicht nur in vertikalen Bereichen der Produktionen in Form einer Smart Factory voranzutreiben, sondern insbesondere auch die horizontale Wertschöpfungskette «from order to cash» digital zu berücksichtigen. [d]

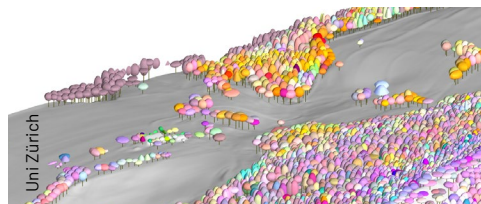


Industrie 4.0 und IoT –
Advanced Manufacturing,
die vernetzte Produktion
dank optischen Technologien

5.3 SMART SENSING, DIGITALISIERUNG UND MESSTECHNIK

Hyperspektrale Sensoren

Interessante Einsatzgebiete für hyperspektrale Kameras sind z. B. in der robotergestützten Mikrochirurgie zu finden, wie das Erkennen von Sehnen, Muskeln, Knorpeln und Blutgefässen sowie ganzer Organe.



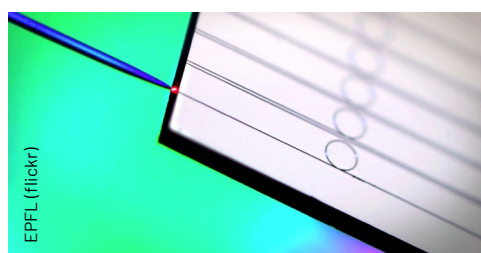
Luftbildinterpretation durch
Verarbeitung spektraler
Informationen

Smart Sensors

Um die immer grösser werdenden Datenmengen, die in Echtzeit von dezentralen Sensoren erhoben werden (Industrie 4.0, IoT etc.), auch in Echtzeit nutzen zu können, müssen diese immer intelligenter, d. h. «smarter» werden. Das heisst, dass neue Sensorchips optische Funktionalitäten mit Datenverarbeitungsfunktionalitäten vereinen. Dadurch können die aus dem Licht gewonnenen Informationen direkt am Ort der Erfassung vorverarbeitet werden und es benötigt keine Datentransporte, evtl. mehrfache Analog/Digital-Wandlungen usw. mehr. Damit können wesentlich höhere Verarbeitungsgeschwindigkeiten erreicht werden – Grundlage für die Echtzeitfähigkeit.

Optische Kammtechnologie

Eine der spektakulärsten Errungenschaften moderner Photonik ist die optische Kammtechnologie, für deren Grundlagenforschung es 2005 den Nobelpreis gab. Sie basiert auf höchst anspruchsvollen photonischen Technologien und erlaubt bisher unerreichte und zukunftsweisende Anwendungen in der Präzisionsmessung, Materialanalyse, Kommunikationstechnologie u. v. m.



On-Chip-Frequenzkamm
– hochgenaue Zeitreferenz
für moderne Ortungs- und
Kommunikationssysteme

Die optische Kammtechnologie liefert eine Folge genau definierter, stabiler Zeitfrequenzen, die sich vorteilhaft für neuartige Uhrkonzepte (optische Atomuhren), in der optischen Datenkommunikation, aber auch in der Spektroskopie einsetzen lassen.

Mögliche Anwendungen sind neben der Messung optischer Frequenzen und der Entwicklung noch präziserer Atomuhren die Erzeugung von zahlreichen, genau definierten Frequenzen für die optische Telekommunikation durch Glasfasern. Mittlerweile ist es gelungen, Frequenzkämme mit vielen unterschiedlich aufgebauten Mikroresonatoren zu erzeugen, beispielsweise mit hochintegrierten Siliziumnitrid-Mikroresonatoren, bei denen der Wellenleiter und der Resonator auf einem Substrat integriert sind. An der EPFL wurde mit einem in einen nanophotonischen Chip integrierten Frequenzkamm-Laser eine Datenübertragungsrate von 1,44 Tb/s über 300 km erreicht bzw. 55 Tb/s über 75 km.

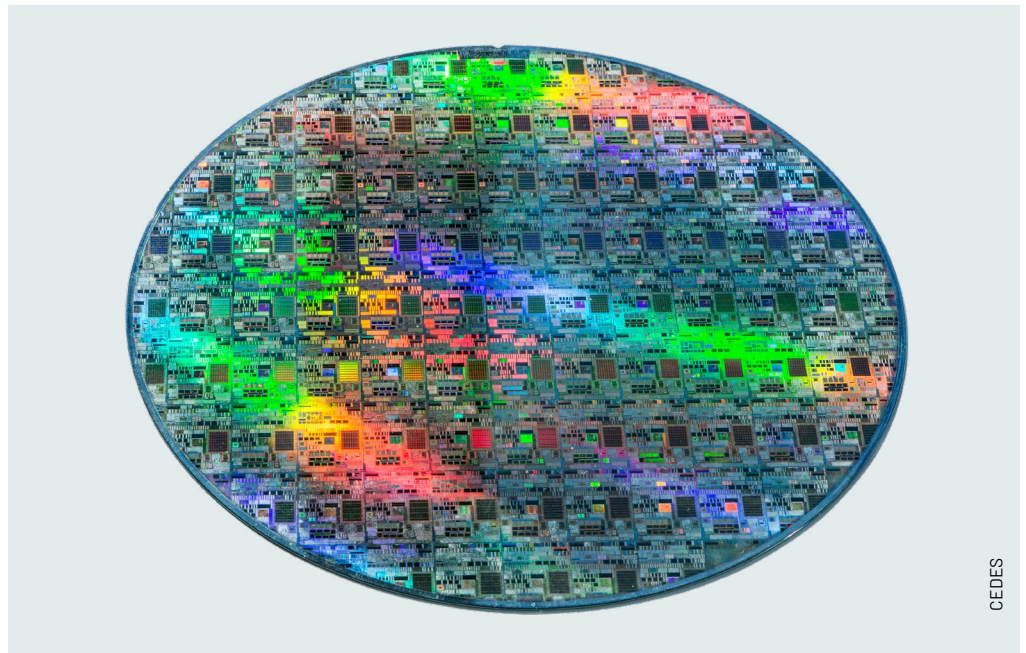
Überlagert man optisch zwei Frequenzkämme, wobei einer durch ein Gasvolumen geschickt wird, kann man aus dem Schwebungssignal das Absorptionsspektrum des Gases schneller und genauer als mit herkömmlichen Methoden gewinnen. Anwendungsmöglichkeiten sind in der Umweltanalyse, der Medizin und der Astronomie zu finden.

5.4 DATEN- UND BILDVERARBEITUNG, AUGMENTED UND VIRTUAL REALITY

Datenverarbeitung

Um die immer grösser werdenden Datenmengen, die in Echtzeit von dezentralen Sensoren erhoben werden (Industrie 4.0, IoT, etc.), auch in Echtzeit nutzen zu können, müssen diese immer intelligenter werden, d. h., bestimmte Datenverarbeitungen werden direkt auf dem Sensorchip erfüllt. Dadurch entfällt der Datentransport in eine zentrale Recheneinheit und es werden wesentlich kürzere Reaktionszeiten erreicht.

Wafer-based Optics, Grundlage für kostengünstige Produktion von Smart Photonic Sensors



CEDES

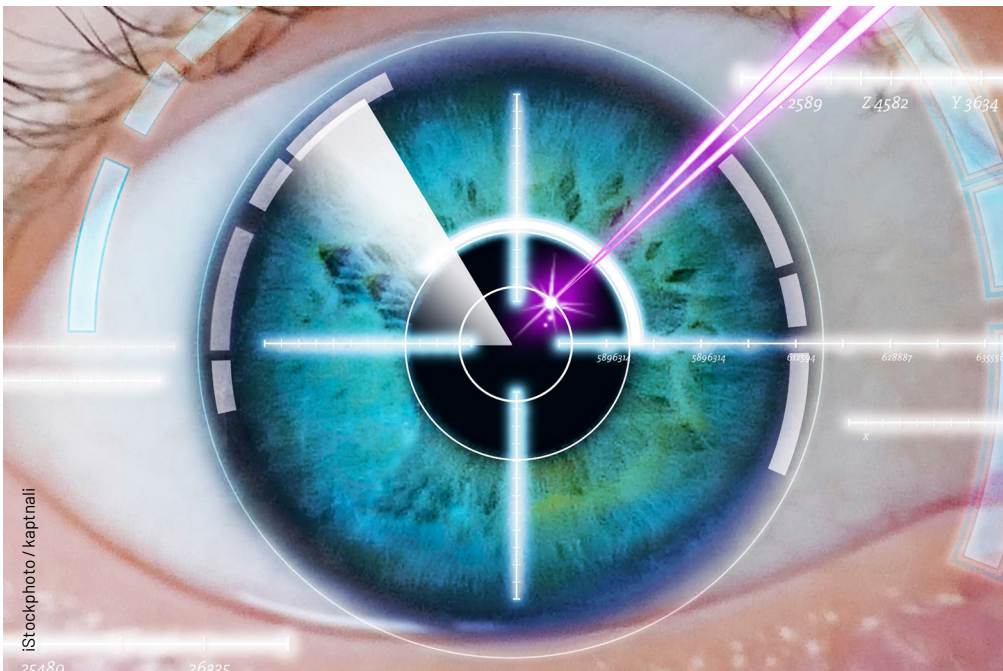
Bildverarbeitung

Moderne Kameratechnik erlaubt in Verbindung mit der schnellen Verarbeitung grosser Datenmengen neue Anwendungen zur Nutzung von Bildern, sei es im Bereich von Medizin, Verkehrswesen und Transport, Social Media, Sicherheitstechnik, Landwirtschaft, Security oder anderen mehr. Immer geht es darum, flächenhaft oder sogar dreidimensional aufgenommene Daten zu analysieren, Kennwerte oder Merkmale daraus zu extrahieren und zu weiterverarbeitbaren Informationen zu verdichten. Durch die Nutzung von Big-Data-Anwendungen in der Cloud und selbstlernende Algorithmen kann heute beispielsweise eine fast 100%ige Gesichtserkennung realisiert und teilweise sogar das menschliche Erkennungsvermögen übertroffen werden.

5.5 MEDIZINTECHNIK

Ophthalmologie

In der Ophthalmologie hat die Photonik schon seit längerem Einzug gehalten, sei es in der Diagnose (beispielsweise Vermessung des Augenhintergrunds mit OCT), in der Korrektur von Fehlsichtigkeit (z. B. mit LASIK) und Cataract (Ersatz der Augenlinse) mit UltrakurzpulsLasern oder in der Anpassung von Kontaktlinsen durch automatische Vermessung der Augenform mit scannenden 3D-Messgeräten.



Laserkorrektur für scharfes
Sehen dank Photonik

Kardiologie

Miniatürkameras und -optiken erlauben die nichtinvasive optische Inspektion von Organen mit minimalen Belastungen für den Patienten.

Erkennen biochemischer Reaktionen

Optische Sensoren mit wellenlängenspezifischen Funktionalitäten erkennen individuelle biochemische Reaktionen. Gewebeintegrierte Sensoren erlauben die kontinuierliche und nichtinvasive Messung von unterschiedlichen Parametern, wie Druckstellen auf der Haut, Sauerstoffgehalt im Blut oder Blutzuckerspiegel, und ermöglichen damit eine Früherkennung von Mangelerscheinungen und eine präzise Dosierung von Medikamenten.

Personalisierte Medizin

Kombiniert man diese optische Sensorik noch mit spezifischen biochemischen Markern, so eröffnen sich neue Wege bis hin zur personalisierten Medizin.

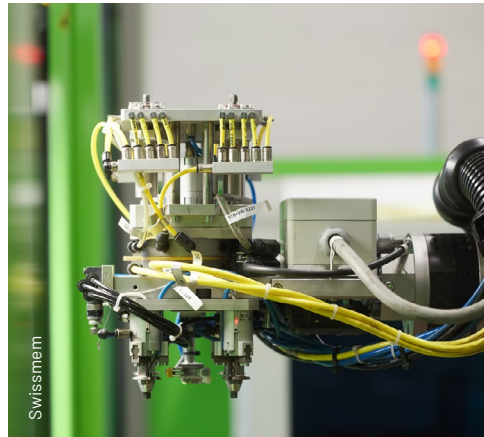
Photonische Anwendungen

Neu werden zahlreiche aktive photonische Anwendungen entwickelt und eingesetzt, wie photoinduzierte Krebstherapie oder lichtinduzierte Stimuli, um Körperfunktionen zu aktivieren.



Lichttherapie: intelligenter
Wundverband für die Heilung
chronischer Wunden

Pick- and Place-Roboter:
Die Bewegungen werden
optisch überwacht und
gesteuert.



Assistenzroboter

Neue, vor allem minimalinvasive, durch Assistenzroboter unterstützte Operationstechniken, die heute weit über die wohl bekannten Augenkorrekturen hinausgehen, erlauben eine präzisere Chirurgie und damit auch eine raschere Rehabilitation.

Miniroboter

Die besondere Stärke der Schweiz ist die Kombination von Sensorik und durch Miniroboter gesteuerte Aktoren. Dieser Bereich birgt grosses Potenzial und stellt ein Alleinstellungsmerkmal für die Schweizer Industrie dar.

5.6 COMMUNICATION SYSTEMS

Optische Free-Space-Kommunikation

Mit zunehmender Digitalisierung wird die verfügbare Bandbreite der Netze zum limitierenden Faktor. Daher nutzen erste Systeme optische Free-Space-Kommunikation, um unabhängige Übertragungsmöglichkeiten zu minimalen Kosten zu generieren (z. B. in Fabrikhallen, Sportanlagen etc.).

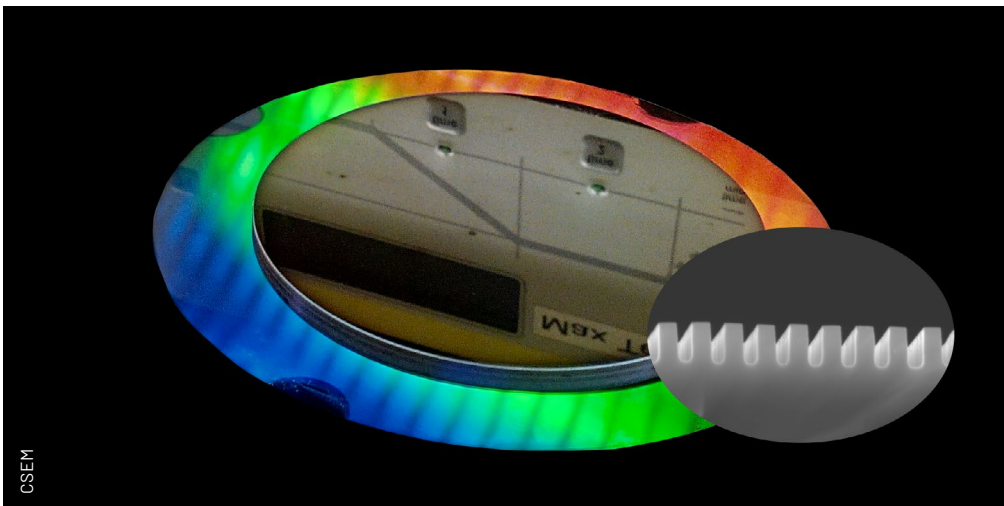
Fernerkundung mit Satelliten

Die bildliche Erfassung von Umweltverschmutzungen der Ozeane, von grossflächigen Waldbränden sowie von Piratenangriffen im Ozean wird heutzutage von tieffliegenden LEO-Satelliten vorgenommen. Die Messdaten müssen in Echtzeit vom Messsatelliten über ein Netz von geostationären Satelliten an Bodenstationen übergeben werden, von dort aus werden sie in Kabelnetze eingespeist. Man wird die heutige Free-Space-Übertragungstechnik mit Mikrowellen in Zukunft immer mehr durch kohärente Lasersysteme ersetzen, da sie grössere Bandbreiten haben und höhere Datenraten liefern.

Zum Einsatz gelangen sogenannte Heterodyn-Verfahren, bei denen das am Empfangssatellit ankommende schwache Lasersignal mit der Lichtwelle eines lokalen Lasers interferometrisch überlagert wird. So kann es wie bei einem UKW-Radio deutlich das Systemrauschen überragen, was zu signifikant höheren Datenraten bei gleicher Bit-Error-Rate führt.

Optische Datenkommunikation
und Erdbeobachtung
mit Satellit





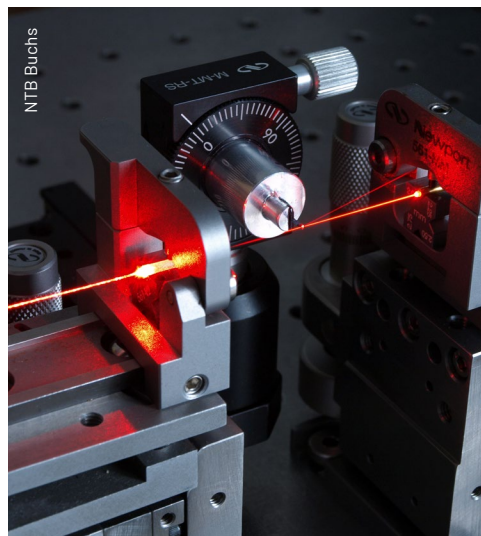
Optische Gitterstrukturen für Space-Anwendung: spektrale Funktion nutzen

Fernerkundung mit Flugzeugen und Drohnen

An Bedeutung gewinnt auch die optische Free-Space-Datenübertragung von Flugzeug oder Drohne zu regionalen Bodenstationen. Sie ist allerdings komplex, da um die regionalen Bodenstationen herum unruhigere Luftströmungen herrschen. Schweizer Firmen wie Synopta sind auf dem Gebiet der optischen Datenübertragung weltweit mit an der Spitze und liefern optische Heterodynanlagen ebenso wie Bodenterminals an internationale Systemanbieter in der Raumfahrt. [c]

Faseroptik (inkl. neue Bussysteme/Interfaces zwischen digitalen CPU) und Integrierte Optik

Neuartige kohärente Verfahren werden auch bei der Datenübertragung mittels Faseroptiken angewandt. Forscher an der EPFL arbeiten daran, neuartige Laserlichtquellen auf dem Chip zu integrieren und in die Glasfaser einzuspeisen. Sie lassen sogenannte optische Solitonen in Mikroresonatoren aus Siliziumnitrid auf einem Chip rotieren und erzeugen somit optische Frequenzkämmen mit grosser Bandbreite. Dabei erreichen sie eine Datenübertragungsrate von 55 Terabit pro Sekunde über eine Entfernung von 75 Kilometern im C- und L-Band der Telekommunikation. Das entspricht mehr als fünf Milliarden Telefongesprächen oder mehr als zwei Millionen HDTV-Kanälen.



Der Laserstrahl – ultraschnell, verlustfrei, hochstabil: die Basis unzähliger photonischer Anwendungen

QUELLENANGABEN

- [1] Strategies Unlimited, Allen Noguee: «The Worldwide Market for Lasers - Market Review and Forecast 2015»
- [2] MarketsAndMarkets: «Laser Processing Market – Global Forecast to 2022», Market Research Study 2016
- [3] Optech Consulting, Arnold Mayer: «Photonik in der Schweiz – Wirtschaftliche Bedeutung», Mai 2017
- [4] Photonics21: «Market Research Study Photonics 2017», Mai 2017
- [a] www.sps.ch/artikel/physik-und-gesellschaft/nationale-foerderinitiativen-zur-staerkung-des-wissenstransfers-zwischen-hochschule-und-industrie-10
- [b] www.swissphotonics.net/libraries.files/swiss_photonics_market_report_2017.pdf
- [c] www.sps.ch/artikel/physiker-in-der-industrie/optical-space-communication-information-transfer-from-point-to-point-reinhard-h-czichy-synopta-gmbh-st-gallen-2
- [d] Zukunftsinstitut: www.zukunftsinstitut.de/dossier/megatrends

WEBLINKS

Photonics Forschung Deutschland (BMBF)

www.photonikforschung.de

National Photonics Initiative (USA)

www.lightourfuture.org

AIM Photonics (PPP, American Institute for Manufacturing Integrated Photonics)

www.aimphotonics.com

International Day of Light (UNESCO)

www.lightday.org

Swissmem Fachgruppe Photonics

www.swiss-photonics-industry.ch

Swissphotonics NTN

www.swissphotonics.net

Erfahrungs- resp. Schlussbericht OPTIQUE II

www.sps.ch/artikel/physik-und-gesellschaft/nationale-foerderinitiativen-zur-staerkung-des-wissenstransfers-zwischen-hochschule-und-industrie-10/

What is Photonics

www.youtube.com/watch?v=PljbV-wsxeg

NATIONALE ORGANISATIONEN

Swissmem Fachgruppe Photonics

Vereinigung der schweizerischen Optik- und Photonik-Industrien

Swissphotonics NTN

Nationales Thematisches Netzwerk für Photonics

SATW Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften

SSOM Schweizerische Gesellschaft für Optik und Mikroskopie

SBFI Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation

Innosuisse Schweizerische Agentur für Innovationsförderung

NCCR National Centres of Competence in Research (NCCRs) / Nationale Forschungsschwerpunkte (NFS)

INTERNATIONALE ORGANISATIONEN

BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung (Deutschland)

EOS European Optical Society

EPIC European Photonics Industry Consortium

OSA The Optical Society of America (USA, globale Bedeutung)

OIDA OSA Industry Development Associates (USA, globale Bedeutung)

SPIE The International Society for Optics and Photonics (USA, globale Bedeutung)

IOA International Optoelectronics Association

NNMI National Network for Manufacturing Innovation (USA)

AIM American Institute for Manufacturing Integrated Photonics (USA)

NPI The National Photonics Initiative (USA)

NQI The National Quantum Initiative (USA)

SBIR Small Business Innovation Research (USA)

DARPA Defense Advanced Research Projects Agency (USA)

PETRA Photonics and Electronics convergence Technology Research Association (Japan)

MITI Ministry of International Trade and Industry (Japan)

APM Technica AG Heerbrugg/SG | Axetris AG Kägiswil/OW
| Berner Fachhochschule Burgdorf | Blösch AG Grenchen /
SO | Bystronic Laser AG Niederönz/BE | CEDES AG Land-
quart/GR | Class 4 Laser Professionals AG Lyss/BE |
CSEM SA Neuchâtel/NE | Empa Dübendorf/ZH | Escatec
Switzerland AG Heerbrugg/SG | ESPROS Photonics AG
Sargans/SG | EXALOS AG Schlieren/ZH | Fachhochschule
Nordwestschweiz Windisch/AG | Feinwerkoptik Zünd AG
Werdenberg/SG | FISBA AG St. Gallen/SG | flo-ir GmbH
Oberdorf/NW | GMP Renens/VD | greenTEG AG Zürich/ZH |
Hochschule für Technik und Wirtschaft Chur/GR | IMT
Masken und Teilungen AG Greifensee/ZH | Inspire AG
Zürich/ZH | Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs/
SG | Leister Technologies SA Kägiswil / OW | METAS Bern/BE |
Mikrop AG Wittenbach/SG | MPS Micro Precision Systems
AG Biel/Bienne/BE | NCCR MUST ETH Zürich/ZH | Optics
Balzers AG Balzers, Liechtenstein | Optotune AG Dietikon/
ZH | Rheinmetall Air Defence AG Zürich/ZH | RhySearch
Buchs/SG | ROFIN-LASAG AG Belp/ BE | Safran Vectronix
AG Heerbrugg/SG | SCHOTT Suisse SA Yverdon/VD |
Spectros AG Ettingen/BL | SUSS MicroOptics SA Hauterive/
NE | SwissOptic AG Heerbrugg/SG | Swissphotonics NTN
Wollerau/SZ | Synova S.A. Duillier/VD | TRUMPF Schweiz AG
Grüsch/GR | Unitechnologies SA Gals/BE | WZW OPTIC AG
Balgach/ SG | Xenlux AG Buochs/NW | Zünd Precision Optics
Ltd. Diepoldsau/SG | Zürcher Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Winterthur/ZH