

1 Einleitung und Motivation

„Photonik hat ein hohes Innovationspotenzial und bietet Lösungen bei gesellschaftlichen Herausforderungen zu Gesundheit, Energie, Sicherheit, Mobilität und Kommunikation.“

BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF): Agenda Photonik 2020 [BMBF10].

Photonik umfasst die Technologien zur Erzeugung, Verstärkung, Formung, Übertragung, Messung und Nutzbarmachung von Licht und ist eine der wichtigsten Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts [BMBF10]. Im Jahr 2017 betrug das Weltproduktionsvolumen der Photonik-Branche 530 Mrd. USD. Für das Jahr 2022 wird ein Weltproduktionsvolumen von 796 Mrd. USD erwartet, was einem Wachstum von 8,4 % pro Jahr entspricht [SPEC18]. Für die deutsche Produktion von Photonik-Produkten wird im Jahr 2020 ein Volumen von rund 39 Mrd. EUR erwartet. Das entspricht einem Wachstum gegenüber dem Stand von 2016 von gut 5,7 % pro Jahr und nahezu einer Verdopplung der Zuwachsrate im Vergleich zum Jahr 2011, Abbildung 1-1 links [VDMA17]. Das Wachstum der Photonik-Branche spiegelt sich in den Beschäftigungsaussichten wider. Im Jahr 2020 werden im Vergleich zum Jahr 2016 zusätzliche 13.500 Arbeitsplätze in der direkten Produktion von Photonik-Erzeugnissen am Standort Deutschland erwartet, Abbildung 1-1 rechts, ohne die Berücksichtigung der neuen Arbeitsplätze im Zuliefererbereich [VDMA17].

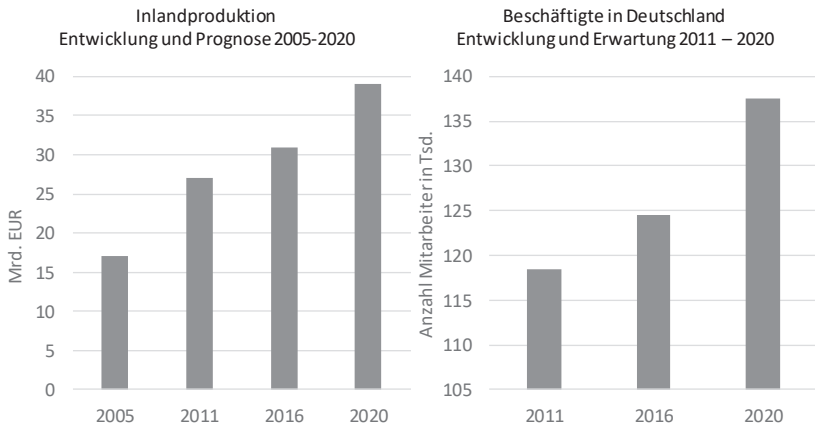


Abbildung 1-1: Entwicklung und Erwartung des deutschen Produktionsvolumens und der Beschäftigten der Photonik-Branche [VDMA17]

Die Bedeutung der Photonik für Deutschland wird auch in der „Agenda Photonik 2020“ deutlich. In der „Agenda Photonik 2020“ legten Experten der deutschen Photonik-Branche mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung die Leitlinien der Forschung und Entwicklung für die Jahre 2010 bis 2020 fest. Für das Förderprogramm wurden folgende Empfehlungen formuliert: Investitionen in Köpfe, Forschung und Entwicklung und Strukturen, Erschließung der Leitmärkte Gesundheit, Sicherheit, Mobilität und Kommunikation [BMBF10]. Nach fünf Jahren des Förderprogramms wird Photonik als zentraler „Enabler und Game-Changer“ der Digitalisierung bezeichnet, ein Schlüsselfaktor für die Umsetzung des digitalen Wandels [BMBF16].

Ein wichtiges Material in der Photonik zur Nutzbarmachung von Licht ist das Quarzglas. Sein Transmissionsbereich erstreckt sich von Ultraviolett bis Infrarot. Quarzglas hat einen relativ geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten, hohen Schmelzpunkt und hervorragende Widerstandsfähigkeit gegen UV- oder eine andere hochenergetische Strahlung [BRUE70, HERA18a, HERA18b, HERA18c, HOEK08].

„Unser modernes Leben ist ohne Quarzglas undenkbar. Vom kleinsten Mikrochip bis zum größten Kommunikationsnetzwerk, ist Quarzglas an irgendeinem Punkt ihrer Entstehung beteiligt.“ [HERA18d]. Heraeus Holding GmbH, Hersteller und Verarbeiter von Quarzglas, bezeichnet Quarzglas als das Rückgrat des Informationszeitalters. Dabei sind nicht nur die optischen Glasfasern aus Quarzglas gemeint. Kugellinsen aus Quarzglas werden zur Verbesserung der Signalübertragung zwischen Fasern, Emittern und Detektoren eingesetzt [EDMU18].

Andere Anwendungen von Kugellinsen aus Quarzglas sind die Endoskopie oder Barcodescanner. Mikrolinsenarrays aus Quarzglas werden zur Homogenisierung von einer Vielzahl von Lichtquellen von Excimerlaser bis zu LEDs verwendet. Strahlformende Laserlinien-Zylinderlinsen aus Quarzglas werden für anspruchsvolle Laserbearbeitungs- und medizintechnische Anwendungen eingesetzt [EDMU18]. Komplexe Optiken aus Quarzglas sind ein fester und wichtiger Bestandteil unseres modernen Lebens.

Eine kostengünstige und zeitsparende Technologie zur Fertigung von hochpräzisen komplex geformten optischen Komponenten aus Glas ist das Präzisionsblankpressen. Mit diesem Verfahren werden optische Komponenten wie Asphären, Freiformlinsen oder Arrays aus Glasrohlingen durch Umformen bei erhöhter Temperatur gefertigt, ohne dass es einer weiteren Nachbearbeitung durch Schleifen und Polieren bedarf. Die Anwendung von komplexen

optischen Elementen im optischen Design verringert die Anzahl der optischen Elemente in einzelnen Systemen beträchtlich [VDI17]. Diese Technologie wird zur Fertigung von Linsen aus einer Reihe von optischen Gläsern kommerziell genutzt.

Die Herstellung der komplexen Formwerkzeuge ist in Bezug auf Arbeit und Zeit immer noch teuer, aber mit der zunehmenden Anzahl von hergestellten Optiken nehmen die Kosten für eine optische Glaskomponente ab. Daher ist die Lebensdauer der Formwerkzeuge von besonderer Bedeutung. So gehört das Thema Verschleiß von Presswerkzeugen beim Pressen von Glas zu aktuellen Forschungsthemen [DOER10, GEOR15, BERN16, RIES04] mit dem Ziel, die entsprechende Verschleißprävention zu ermitteln.

Optische Komponenten aus Quarzglas werden derzeit auf konventionelle Weise mittels Schleifen und Polieren gefertigt. Der entscheidende Unterschied beim Anwenden der Technologie des Präzisionsblankpressens auf das Quarzglas im Vergleich zu anderen Glassorten besteht in der hohen Presstemperatur von Quarzglas, die um 1400 °C liegt. Aus der hohen Presstemperatur resultieren die hohen Ansprüche an die Presswerkzeuge. Diese müssen ihre Funktion auch bei dieser hohen Temperatur bewahren. Die Erweiterung des Spektrums der beim Präzisionsblankpressen eingesetzten Gläser um das Quarzglas ist vor diesem Hintergrund eine große technologische Herausforderung.

Die am Fraunhofer IPT durchgeführten Tests mit Quarzglas haben gezeigt, dass optische Komponenten aus Quarzglas mittels der Technologie des Präzisionsblankpressens prinzipiell hergestellt werden können. Die Erschließung des Präzisionsblankpressens von Quarzglas setzt jedoch eine ausreichende Kenntnis auftretender Verschleißphänomene der Umformwerkzeuge voraus. Das primäre Ziel dieser Arbeit ist es daher, ein grundlegendes Verständnis der Wechselwirkungsmechanismen zwischen Quarzglas und Werkzeugwerkstoff respektive Verschleißmechanismen im Prozess des Präzisionsblankpressens aufzubauen. Dadurch wird das Prozessverständnis erweitert und die Fertigungstechnologie des Präzisionsblankpressens um die Herstellung von hochpräzisen komplexen Komponenten aus Quarzglas ausgebaut. Da das Quarzglas ein Bestandteil vieler anderer Gläser ist, tragen die Untersuchungen der Wechselwirkungsmechanismen auch zum Verständnis der Verschleißmechanismen beim Umformen von anderen Glassorten bei.