

1 Einleitung und Motivation

Globalisierung, Klimawandel und eine alternde Gesellschaft stellen Wissenschaftler aller Disziplinen täglich vor neue Aufgaben. Die rasanten Veränderungen, die von diesen Faktoren hervorgerufen werden, erfordern neue Lösungen in einer Vielzahl wissenschaftlicher Disziplinen. Im Bereich der Produktionstechnologie wird ein Beitrag zur Lösung dieser Probleme unter anderem durch stetige Genauigkeitssteigerung und Effizienzsteigerung neuer Maschinensysteme geleistet. Neben der Sicherung von Produktionsstandorten in Hochlohnländern, die nur aufgrund steigender Effizienz des produzierenden Sektors auch in Zukunft sichergestellt sein wird, ermöglichen hochgenaue Maschinensysteme Innovationen, die Einzug in unser tägliches Leben halten. So sind zum Beispiel aus den Bereichen der Optikfertigung, der Medizintechnik und Unterhaltungselektronik Alltagsgegenstände bekannt, deren Herstellung erst durch die Weiterentwicklung hochgenauer Fertigungsmethoden der letzten Jahre ermöglicht werden. Ein wichtiger Industriezweig, der aufgrund immer größerer Anforderungen an die kostengünstige Herstellung hochpräziser Komponenten neue Fertigungslösungen fordert, ist die optische Industrie. Viele Produkte mit Anforderungen, die sich generell technisch erfüllen lassen, kommen jedoch nicht zu einer ökonomisch sinnvollen Vermarktung, da die im Labormaßstab entwickelten Fertigungsmethoden nicht in eine günstige Serienfertigung überführt werden können [MIRZ14].

In den letzten Jahren wurden für den Anwendungsbereich optischer Linsen verschiedene Replikationsverfahren optimiert oder entwickelt, die eine kostengünstige Linsenherstellung ermöglichen [BREC12]. Neben Linsen mit kontinuierlichen geometrischen Formen steigt die Nachfrage für Produktneuentwicklungen mikrostrukturierter optischer Komponenten an, welche gerade für den Bereich der energieeffizienten Beleuchtungstechnik von großer Bedeutung sind [SCOT04]. Mit mikrostrukturierten Komponenten werden im Rahmen dieser Arbeit flächige Bauteile verstanden, in die auf mindestens einer Oberfläche Strukturelemente eingebracht werden, deren Abmessungen im Bereich von 1-1000 μm liegen. Entsprechend liegen die Strukturabmessungen von nanostrukturierten Komponenten im Bereich von 1-1000 nm. Bekannte Maschinensysteme lassen die Herstellung von Strukturen mit Abmessungen von Nano- und Mikrometern auf Flächen mit Kantenlängen oberhalb von einem Meter unter wirtschaftlichen Aspekten nur in Ausnahmefällen zu [HEID15]. Dagegen lassen sich Mikro- und Nanostrukturen auf kleinen Flächen mit sehr hoher Präzision und zu akzeptablen Kosten herstellen [FROS15], [BREC08]. Geeignete Fertigungsmethoden reichen von hochgenauen Zerspanungsprozessen bis hin zu lithografischen Verfahren, die in den letzten Jahrzehnten für den Bereich der Halbleiterherstellung weiterentwickelt wurden. Für die großflächige Herstellung von mikro- und nanostrukturierten Flächen existieren je-

doch nur wenige Verfahren. Alle diese Verfahren haben gemeinsam, dass sie hinsichtlich der erreichbaren geometrischen Strukturvielfalt nicht die Anforderungen vieler optischer Komponenten erfüllen.

Aus diesem Grund wird im Rahmen dieser Dissertation ein Verfahren erforscht, welches Mikro- und Nanostrukturen von kleinen Flächen auf große Flächen übertragen kann. In Abgrenzung zu existierenden Verfahren zur Rekombination von Strukturen auf größeren Flächen wie der UV-basierten Nanoimprintlithografie [GLIN10] soll das Verfahren optisch funktionale Einheiten mit verschiedenartigen Strukturen ohne Defektstellen zwischen einzelnen Strukturen herstellen können.

Als Fertigungsansatz wird dazu das Konzept des mehrschrittigen Heißprägens erforscht. Beim mehrschrittigen Heißprägen wird ein Mikrowerkzeug in Form eines strukturierten Stempels beheizt und in einer Vielzahl von Prozessschritten in ein thermoplastisches Substrat abgeformt. Die Topografie des strukturierten Werkzeugs wird dabei in die Substratoberfläche übertragen.

Heißprägevorgänge zur hochaufgelösten Replikation von Oberflächen werden bereits seit Ende des neunzehnten Jahrhunderts entwickelt. Die Produktion von Schallplatten stellt die erste Großserienanwendung für die Replikation im Heißprägeprozess dar. So wurde bereits im Jahr 1911, noch vor der Entwicklung synthetischer Kunststoffe, eine erste Serienproduktion von Schallplatten mit Hilfe von Heißprägevorgängen in Schellack errichtet [WORG03].

Durch die stetig wachsenden Möglichkeiten, mikro- und nanostrukturierte Oberflächen zu schaffen, wurde in den vergangenen fünfzehn Jahren das Mikroheißprägen als Replikationsmöglichkeit strukturierter Oberflächen weiterentwickelt [GOET05, PIEC08, BECK00]. Neben dem Spritzprägeprozess, der sich insbesondere für die CD- und DVD-Fertigung für die kostengünstige Replikation von mikro- und nanostrukturierten Oberflächen etabliert hat, ist der Heißprägeprozess insbesondere für die Replikation von Strukturen mit sehr kleinen Strukturabmessungen bei gleichzeitig hohen Aspektverhältnissen ein etabliertes Verfahren [WORG03]. Während mit dem konventionellen Heißprägeprozess ebenso wie im Spritzguss bzw. Spritzprägeprozess ein einmalig festgelegtes Strukturmuster repliziert werden kann, soll es mit mehrschrittigen Heißprägeprozessen möglich sein, dass Strukturmuster einer funktionalen Einheit durch Rekombination flexibel gestalten zu können. Mit dieser Forderung erfüllt das Verfahren insbesondere die Anforderungen, die für die Fertigung von Flächenlichtleitern existieren, bei denen komplexe mikrooptische Elemente zur Lichtlenkung in eine große Oberfläche eingebracht werden müssen, wobei die Positionierung der einzelnen Strukturen in Abhängigkeit von einem vorab errechneten Muster erfolgen soll. Die Erforschung des mehrschrittigen Heißprägeverfahrens im Rahmen der vorliegenden Arbeit orientiert sich daher an der Fragestellung, ob flächige, mikrostrukturierte Optiken durch diesen neuartigen Fertigungsansatz hergestellt werden können. Zur Beantwortung dieser Frage wird ein

entsprechendes Maschinensystem aufgebaut, welches Prozessuntersuchungen in geeigneter Weise ermöglicht.