

Kurzbeschreibung zum Forschungsantrag

Effiziente Gestaltung von Prozessketten zum Subapertur-Polieren
komplexer Präzisionsoptiken

effiSaPol
effizientes Supapertur-Polieren

Forschungsstellen:

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dr. h.c. Fritz Klocke

Steinbachstr. 17

52074 Aachen

Fachhochschule Deggendorf

Prof. Dr. -Ing. Rolf Rascher

Edlmairstr. 6 + 8

94469 Deggendorf

Inhaltverzeichnis

1	Forschungsthema.....	1
2	Wissenschaftlich- technische und wirtschaftliche Problemstellung.....	2
3	Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg	3
	3.1 Forschungsziel.....	3
	3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels.....	4
4	Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft	5
5	Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse für KMU	5
	5.1 Voraussichtliche Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse in KMU	5
	5.2 Voraussichtlicher Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der KMU	6
	5.3 Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende	6
6	Durchführende Forschungsstellen	6

1 Forschungsthema

Hochpräzise optische Systeme mit Glasoptiken stellen in zahlreichen Anwendungen mit hohen Wachstumsraten (Mess- und Produktionstechnik, optischen Nachrichtentechnik, Medizin- und Pharmatechnik, elektronischen Konsumgütern) eine Schlüsselkomponente dar, deren Qualität maßgeblich zur Leistungsfähigkeit der Gesamtlösung beitragen und häufig den Weg für Innovation bereiten. Aus technologischen Gründen entwickelt sich das Design der Optikkomponenten hin zu immer komplexeren Geometrien. Trotz der technologischen Vorteile von Asphären und Freiformflächen beschränken zurzeit ein hoher Fertigungsaufwand, insbesondere beim Polieren, und eine aufwändige Messtechnik eine Ausweitung der Anwendung.

Bei der Optikfertigung stellt das Polieren einen unverzichtbaren Schritt in der Technologiekette dar, der maßgeblich die Qualität bestimmt, aber auch den größten Aufwand verursacht. In den letzten zehn Jahren wurde eine große Anzahl an Subapertur-Polierv Verfahren für die Asphären und Freiformbearbeitung entwickelt und von verschiedenen Maschinenherstellern auf dem Markt eingeführt (Abbildung 1-1). Je nach zu fertigendem Produkt und mit fortschreitender Fertigungstiefe weisen die jeweiligen Polierv Verfahren aufgabenspezifische Vor- und Nachteile auf. Für Herstellung der adressierten Präzisionsoptiken müssen sowohl mehrere Schritte mit einem Verfahren durchgeführt werden als auch eine sequentielle Verknüpfung mehrerer Verfahren zu einer Prozesskette erfolgen. Bislang fehlt allerdings einerseits eine umfangreiche systematische Charakterisierung der Potenziale und Grenzen der Verfahren. Andererseits sind keine Methoden zur optimalen Bildung von Prozessketten beim Polieren etabliert.

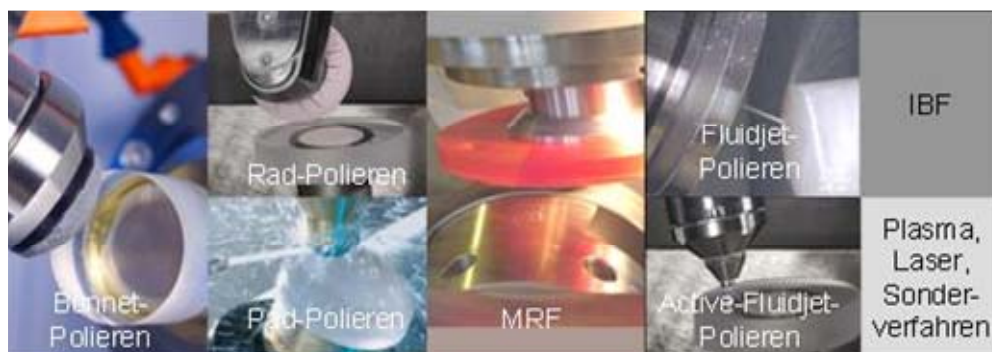


Abbildung 1-1: Zurzeit verfügbare Subapertur-Polierv Verfahren

Um im Weltmarkt als Qualitätsführer zu bestehen, hat sich die deutsche Optikindustrie auf die Herstellung von hochpräzisen, anspruchsvoll zu fertigenden und kundenindividuellen Optiken konzentriert. Voraussetzungen dazu sind technologische Spezialkompetenzen und exzellente Fertigungsmethoden für Präzisionsglasoptiken in kleinen Losgrößen. Zur langfristigen Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit und zur Befriedigung des steigenden Bedarfs an Asphären und Freiformflächen besteht die Notwendigkeit einer wirtschaftlichen, effizienten und flexiblen Produktion. Insbesondere vor dem Hintergrund kleiner Losgrößen liegt der Schlüssel zur **Effizienzsteigerung** in einem Wechsel von der derzeitigen überwiegend empirischen Prozessauslegung hin zu einer **wissensbasierten und methodischen Prozess- und Prozesskettengestaltung**.

Diese Thematik adressiert EfficSaPol, um deutschen Optikherstellern - darunter viele kmU - ein Hilfsmittel zur flexiblen, deterministischen und effizienten Fertigung komplexer Glasoptiken in Kleinserien an die Hand zu geben.

2 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Nach der Verlagerung der Massenproduktion von Konsumgüter-Optiken und Flachglasprodukten haben sich deutsche Firmen auf die Herstellung von Präzisionssystemen und –optiken spezialisiert. Dies erfordert auf der Produktseite immer komplexere Geometrien und höhere Anforderungen an die Genauigkeit, Qualität und Sauberkeit. Im Fokus, der auf kleine bis mittlere Losgrößen spezialisierten Unternehmen, stehen daher technologische Spezialkompetenzen und exzellente Fertigungsmethoden. Der derzeitig daraus resultierende Wechsel hin zu Subapertur-Polierverfahren erfordert bei den Unternehmen eine Neu- bzw. Umgestaltung ihrer Fertigungsprozesse. Insbesondere bei den zahlreichen mittelständischen Unternehmen der Branche fehlt meist die finanzielle und personelle Kapazität, um die notwendige extensive Prozessentwicklung zu betreiben und alternative Prozessketten zu sondieren. Denn nur dieses sichert langfristig die Technologieführerschaft der Unternehmen. An diesem Punkt bieten die in EffiSaPol entwickelten prozesstechnologischen Methoden, Kenntnisse und Hilfsmittel einen konkreten Nutzen für die kmUs.

Wissenschaftliche technische Problemstellung

Im Vergleich zu den bisher überwiegend eingesetzten vollflächigen Polierverfahren für Sphären weisen Subapertur-Polierverfahren eine höhere Komplexität durch eine Vielzahl von Einflussgrößen auf, deren Zusammenspiel sowohl das Prozessergebnis im Hinblick auf die Oberflächengüte als auch die Polierzeit und damit die Wirtschaftlichkeit beeinflussen (Abb. 2-1 rechts). So bestimmen die Prozessparameter und das Werkzeug maßgeblich die Abtragsfunktion. Diese und die Bahnführung zusammen mit dem Eingangsfehler haben direkten Bezug auf Prozesszeit und Oberflächengüte, so dass in der Praxis die Wahl der Parameter stets einen Kompromiss darstellt. Das Polieren komplexer Geometrien erfolgt in einer Prozesskette aus mehreren Poliertechnologien, wobei zusätzlich jede Technologie zumeist in iterativen Schritten eingesetzt wird. Daraus resultiert eine weitere Herausforderung, nämlich nicht nur einzelne Polierschritte optimal auszulegen, sondern vielmehr die gesamte Prozesskette optimal zu gestalten (Abb. 2-1 links).

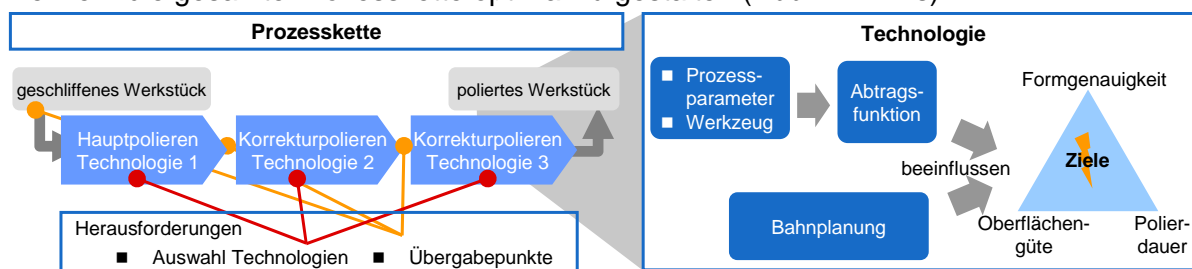


Abb. 2-1: Technologische Zusammenhänge zur Effizienzsteigerung beim Subaperturpolieren

Aufgrund der Komplexität und fehlendem systematischen Wissen erfolgt die Prozessgestaltung zurzeit weitestgehend iterativ in langen, erfahrungsgestützten, empirischen Prozessentwicklungen. Zum Polieren von komplexen Flächen wurde eine Vielzahl neuartiger Polierverfahren (Abb. 1-1) entwickelt, welche aufgabenspezifische Vor- und Nachteile aufweisen. Für eine Effizienzsteigerung gilt es, die Parameter auf analytische Art und Weise optimal im Hinblick auf die eingesetzte Technologie als auch auf die Fähigkeiten der nachfolgenden Polierschritte und -verfahren festzulegen. Aufgrund der sukzessiven Zunahme zur Verfügung stehender Poliertechnologien fehlt ein Überblick über Potentiale und Grenzen der einzelnen Verfahren. Es findet keine gesamtheitliche Betrachtung der Prozessketten bei der Fertigung von Asphären und Freiformflächen statt,

welche in einer effizienten Gestaltung unter der maximalen Nutzung aller Potentiale der verfügbaren Technologien resultieren könnte.

Der Schlüssel zur Wirtschaftlichkeitssteigerung bei der Fertigung von komplexen Geometrien in kleinen Serien liegt in der Realisierung einer wissensbasierten und methodischen Prozess- und Prozesskettengestaltung. Dazu gilt es, anerkannte Kriterien und Methoden zur systematischen Auswahl und Kombination der zu Verfügung stehenden Technologien sowie deren optimaler prozesstechnologischer Anwendung bereit zustellen.

3 Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

3.1 Forschungsziel

Aus der Motivation, die deutsche Optikindustrie im weltweiten Wettbewerb zu stärken, und auf Basis der dargestellten Defizite ergibt sich die übergeordnete Zielstellung des vorliegenden Vorhabens:

Steigerung der Effizienz und Flexibilität der Fertigung von Asphären und Freiformflächen in Kleinserien durch eine wissensbasierte und methodisch begründete Prozess- und Prozesskettengestaltung beim Subapertur-Polieren.

3.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Folgende **wissenschaftlich-technischen Ergebnisse** werden innerhalb von EffiSaPol angestrebt:

- Eine Systematik zur einheitlichen Beschreibung der Potenziale und Grenzen einer Subapertur-Poliertechnologie sowie zur Wirkungsweise der Stellgrößen
- Methodikbausteine zur Gestaltung von effizienzorientierten Prozessketten mit optimalen Übergabepunkten aus mehreren Subapertur-Polierverfahren.
- Systematische Beschreibung der spezifischen Potenziale zahlreicher Polierverfahren
- Prozess- und Kompensationsstrategien für ein deterministisches Prozessverhalten Subapertur-Polierverfahren.
- Exemplarische Prozessketten, welche anhand der Methodikbausteine gebildet wurden und empirisch für definierte Demonstratoren evaluiert sind.

Ergebnisse zur industriellen Umsetzung der Methoden und Erkenntnisse:

- Aufbereitung der Systematisierung der Subapertur-Verfahren in einer Datenbank.
- Planungswerkzeuge bzw. Hilfsmittel für die Bahngestaltung sowie zur Bestimmung optimaler Übergabepunkte zwischen den Prozessschritten.

Auf Basis der dargestellten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse werden folgende **wirtschaftliche** Ergebnisse erwartet:

- durchschnittliche Verkürzung der Prozesszeit je Polierschritt durch eine optimierte Wahl der Prozessparameter um 20%.
- Reduktion der gesamten Fertigungskosten für eine Asphäre um 25% durch eine optimal abgestimmte Prozesskette.
- Die Möglichkeit, anspruchsvolle neue Optiken flexibel mit vorhersagbarem Aufwand zu fertigen, bildet eine Grundlage zur angemessenen Angebotsstellung.

3.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Das vorliegende Vorhaben trägt zur Weiterentwicklung der bestehenden Verfahren zur Fertigung komplexer Optiken (Asphären und Freiformflächen) bei.

Neuartig ist dabei der methodische Ansatz zur Charakterisierung von Subapertur-Polierverfahren und zur Bildung von Prozessketten auf Basis dieser Verfahren. Die Methode macht die Potentiale und Grenzen einzelner Technologien im Hinblick auf den Einsatz in Prozessketten universell verfügbar. Auf diese Weise wird EffiSaPol das erste Mal einen einheitlichen Überblick zu den mittlerweile zahlreichen, verfügbaren Polierverfahren bieten. Die am Markt verfügbaren Technologien wurden sukzessive mit der steigenden Nachfrage nach Subapertur-Polierverfahren entwickelt. Bereits etablierte Fertigungsketten wurden dabei nicht zwangsweise auf ihre Effizienz hin überprüft. Der Ansatz wird es unter anderem erstmalig erlauben, die Schnittstellen zwischen Prozessschritten methodenbasiert zu optimieren. Darüber hinaus sind bislang noch nicht Technologie übergreifend die Zusammenhänge zwischen Wahl der Prozessparameter, Wirtschaftlichkeit und Bauteilqualität betrachtet worden. EffiSaPol bündelt vorhandenes Wissen, ergänzt es um weitere Untersuchungen und einen methodischen Baukasten, um so den Schritt hinzu einer wissensbasierten Prozessauslegung und Prozesskettengestaltung zu machen, der bislang nicht angegangen wurde.

3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

3.2.1 Methodischer Ansatz

Der methodische Ansatz spiegelt sich im Projektplan (Abbildung 3-1) wieder. Zunächst werden die Methodikbausteine zur Charakterisierung eines Subapertur-Polierverfahrens und zur Bildung von Prozessketten erarbeitet (AP1). Dazu gehört auch die Festlegung der messtechnischen Erfassung. Auf Basis der methodischen Vorarbeit werden zahlreiche etablierte Verfahren charakterisiert (AP2). Die Ergebnisse stellen die Basis dar, um in der zweiten Projekthälfte Prozessketten effizienter zu gestalten (AP4).

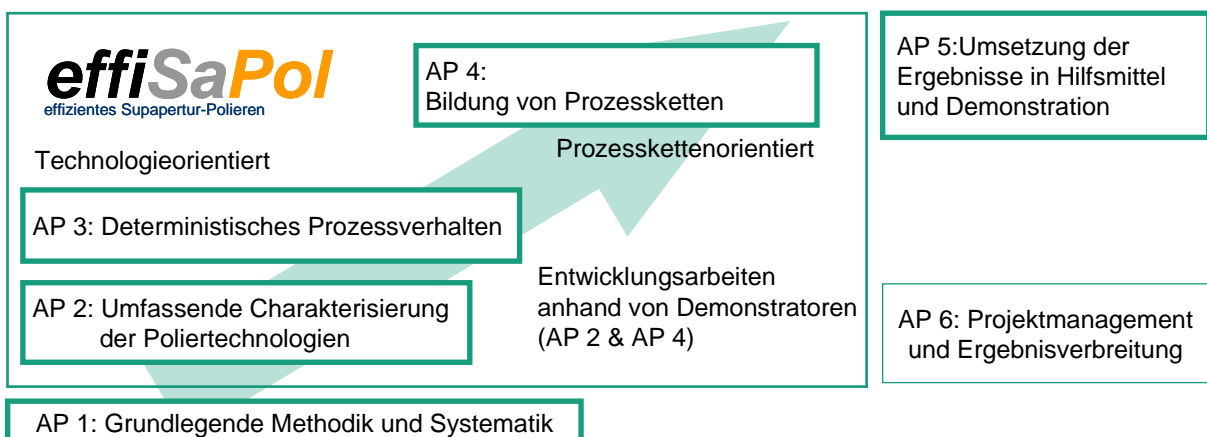


Abbildung 3-1: Projektstrukturplan

Bei allen Subapertur-Polierverfahren ist ein deterministisches Prozessverhalten gefordert. Da insbesondere in diesem Punkt noch erheblicher Forschungsbedarf besteht, widmet sich ein Arbeitspaket (AP3) grundsätzlichen Fragen zum Kontaktverhalten und der Langzeitstabilität der verschiedenen Subapertur-Polierverfahren. Abschließend erfolgt die Umsetzung des generierten Wissens in Planungswerkzeuge und Hilfsmittel zur Prozessbestimmung.

Ein zentraler Aspekt in der systematischen Vorgehensweise stellt die Orientierung an realistischen und anspruchsvollen Demonstratoren dar, welche im Detail zu Projektbeginn

durch den projektbegleitenden Ausschuss festgelegt werden. Die Versuche werden anhand der statistischen Versuchsplanung (Design of Experiments) organisiert.

EffiSaPol bündelt langjährig aufgebaute Kompetenzen der beiden Forschungsstellen im Bereich der Optikfertigung, so dass sich hier ein erheblicher Synergieeffekt ergibt. Im Vorhaben ergänzen sie sich hervorragend im Hinblick auf die zur Verfügung stehenden Poliertechnologien, so dass ein umfassendes Bild gezeichnet werden kann.

3.2.2 Geplanter Personaleinsatz und weitere Projektressourcen

Die Projektdauer beträgt 24 Monate mit einem Start im 1. Quartal 2012.

Jahr		2011	2012	2013	Summe
Fachhochschule Deggendorf					
Wissenschaftler	HPA A	2	8	6	16
Techniker	HPA C	1	10	7	18
stud. Hilfskraft	Hilfskr. (86h/Monat)	In Summe 2064 h			
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT					
Wissenschaftler	HPA A	2	9	7	18
Techniker	HPA C	0	7	5	12
stud. Hilfskräfte	Hilfskr. (86h/Monat)	In Summe 2064 h			

4 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Es sind umfangreichen Transfermaßnahmen geplant, die in folgender Tabelle zusammengefasst sind:

Art der Verbreitung	Maßnahme	Zeitpunkt / Zeitraum
Allgemeine Bekanntmachung	Projekt-Internetseite, Drucksachen	2 Monate nach Bewilligung, Drucksachen in 2012 / 2013
	Darstellung auf Messen	Optatech 2014
Projektbegleitenden Ausschusses	Projekttreffen bzw. schriftlicher Bericht	Kick-Off, alle 6 Monate, Abschlusstreffen
Wissenschaftliche Verwertung	Aufnahme in die Lehre	bis 2014
	Eingang in eine Dissertation	bis 2015
Veröffentlichungen	populär-wissenschaftlichen Zeitschriften	Projektergebnisse in 2013
	wissenschaftlichen Zeitschriften	Methoden, kontinuierlich
	auf Konferenzen	Jahrestagung DGAO 2013, OF&T in 2012, World of Photonic 2013

5 Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse für KMU

5.1 Voraussichtliche Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse in KMU

Die Nutzung erfolgt im Fachgebiet Produktion und den **Wirtschaftszweigen 26, 29 und 33**.

Die Unternehmen der feinoptischen Industrie, darunter befinden sich zahlreiche kmU, können die Ergebnisse bei der Fertigung von Kleinserien komplexer sowie bei einfachen aber hochpräzisen Optikkomponenten nutzen. Die erarbeitete wissensbasierte Prozess- und Prozesskettengestaltung ermöglicht ihnen ihre Herstellungsverfahren produktspezifisch und prozesssicher auszulegen.

5.2 Voraussichtlicher Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der KMU

Die Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit wird in der deutschen optischen durch schnelle und flexible Fertigung von Funktionsmustern und hochpräzisen Kleinserien gewährleistet.

Durch die Projektergebnisse können die deutschen kmU

- innovative Wertschöpfungsketten für einen Wettbewerbsvorsprung aufbauen,
- etablierte Verfahren effizienter einsetzen,
- schnell und flexibel auf Anfragen reagieren und diese aufgrund der gesteigerten Prozesssicherheit treffend kalkulieren und die Aufträge zuverlässig erfüllen.

Dies resultiert in einem langfristigen Wettbewerbsvorsprung gegenüber der asiatischen Konkurrenz. Die Fallsstudie im Langantrag zeigt, dass die Kosten um 800 € bzw. 25% je Los (50 Stück) reduziert werden können. Unter der Annahme, dass ein kleines Unternehmen 125 Lose im Jahr fertigt, ergibt sich eine jährliche Einsparung von 100 Tsd € je Unternehmen.

5.3 Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende

EffiSaPol adressiert eine hochaktuelle Fragestellung bei den angesprochenen Optikunternehmen, so dass ein hohes Interesse an der wirtschaftlichen Nutzung der Ergebnisse durch die Firmen vorliegt und eine schnelle Umsetzung erwartet werden kann. Bei verfügbarer Anlagentechnik sind die Projektergebnisse ohne zusätzliche Investitionen unmittelbar nach Projektende anwendbar.

6 Durchführende Forschungsstellen

<u>1. Forschungsstelle:</u> Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie Steinbachstr. 17 52074 Aachen Tel.: 0241-89040 Fax: 0241-8904198 <u>Leiter:</u> Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. h.c. Dr.-Ing. e.h. Dr.-Ing. e.h. Fritz Klocke <u>Projektleiter:</u> Dr.-Ing. Olaf Dambon	<u>2. Forschungsstelle:</u> Hochschule Deggendorf Edlmairstraße 6 + 8 94469 Deggendorf Tel.: +49 (0)991 3615-0 Fax: +49 (0)991 3615-297 <u>Leiter:</u> Prof. Dr. -Ing. Rolf Rascher <u>Projektleiter:</u> Prof. Dr.-Ing. Christine Wünsche
---	---

Die Projektkoordination erfolgt durch die Forschungsstelle 1.

geändert mit umgesetzten Auflagen

Ort, Datum

Rechtsverbindliche Unterschrift des Leiters
und Stempelabdruck der federführenden
Forschungsstelle