

Name der AiF-Mitgliedsvereinigung (MV)

AiF-Vorhaben-Nr:

Blatt-Nr.:

AiF-Antrags-Nr.: /

Aktenzeichen der MV

(wird von der AiF eingesetzt)

Kurzfassung

1. Forschungsthema

Montagegerechte Fertigungstechnologie für gefasste Optik

Kurztitel: „Justierfräsen“

2. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

2.1 **Anlass für den Forschungsantrag**

Weltweit gibt es Bestrebungen durch effiziente Montagetechnologien die Kosteneffizienz und die Qualität optischer Systeme zu erhöhen. Eine Vielzahl von Systemen, z.B. laseroptische Baugruppen, beinhalten nicht-rotationssymmetrische, gefasste optische Bauelemente. Die Bauelemente werden durch aufwendige Justierprozeduren im System positioniert und fixiert. Flexible und hochgenaue Justiermöglichkeiten stehen hierbei dem Aufwand und der Langzeitstabilität des Justierzustandes der Bauelemente entgegen. Die Wertschöpfung qualitativ hochwertiger Optiken erfolgt entscheidend durch die Systemintegration. Die Projektidee setzt hier an, nicht die Herstellung von Einzelkomponenten, sondern die Reduzierung der Montagekosten und die Steigerung der Gesamtqualität für das System stehen im Fokus. Die Leistungsfähigkeit des optischen Systems wird dabei weitgehend von der Justierung der Elemente bestimmt. Kann durch geeignete Verfahren die Justage und Fixierung effizienter gestaltet werden, so verbessern sich auch die Chancen für die kostengünstige Herstellung dieser Produkte, sowohl in kleinen als auch in großen Stückzahlen in Deutschland. Die im Projekt verfolgte Lösung stellt einen neuartigen, allgemeingültigen Ansatz dar, der in einer Vielzahl von Optiken umsetzbar ist. Systemhersteller können einen identischen Technologieansatz bei unterschiedlichen Komponenten anwenden.

2.2 **Ausgangssituation, Stand der Technik**

Die optischen Kennwerte von Linsen, Prismen oder Spiegeln sind mit engen Form- und Lagetoleranzen, welche den anschließenden Montageprozessen geschuldet sind, gekoppelt. Nur durch eine definierte Lagebeziehung von optischen und mechanischen Koordinatensystemen der Optikelemente kann im Gesamtsystem eine hohe Qualität erreicht werden. Um diese Vorgaben zu erfüllen, wird entweder in die Fertigung der mechanischen Berandung (Fassung) relativ zu den optischen Funktionsflächen ein hoher Aufwand investiert oder die Optiken werden in Justierfassungen aufgenommen, die unter ebenfalls hohem Aufwand gefertigt und im Montageprozess zeitaufwendig justiert werden müssen. Die Erfüllung der optischen und mechanischen Spezifikationen ist somit mit hohen Kosten verbunden, welche die effiziente Herstellung des Gesamtsystems behindern. Für Rundoptiken ist die erstgenannte Variante Grundlage für die Herstellung hochqualitativer Objektive (Justierdrehen).

Herausforderung für das Forschungsprojekt ist, dass es für nicht-rotationssymmetrische Baugruppen und Anordnungen keinen vergleichbaren Ansatz, wie das Justierdrehen, gibt. Vor dem Hintergrund des zunehmenden Einsatzes nicht-rotationssymmetrischer Optiken und sogar Freiformen erlangt dieser Ansatz besondere Bedeutung.

3. Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

3.1 Forschungsziel

3.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Ziel des Projektvorschlages ist es, eine Technologie zur definierten Randbearbeitung gefasster prismatischer und nicht rotationssymmetrischer Bauteile unter Nutzung des Fertigungsverfahrens Fräsen zu entwickeln, nachfolgend „Justierfräsen“ genannt. Die Einordnung der Technologie in den Gesamtprozess zeigt Abb. 1. Die angestrebten Lage- und Formtoleranzen in Bezug zur optischen Achse sind $< 5 \mu\text{m}$ respektive 10 arcsec für Winkeltoleranzen. Die Übereinstimmung der Koordinatensysteme von Mess- und Bearbeitungssystem und die Präzision der Bearbeitung sind entscheidend für die erreichbare Qualität.

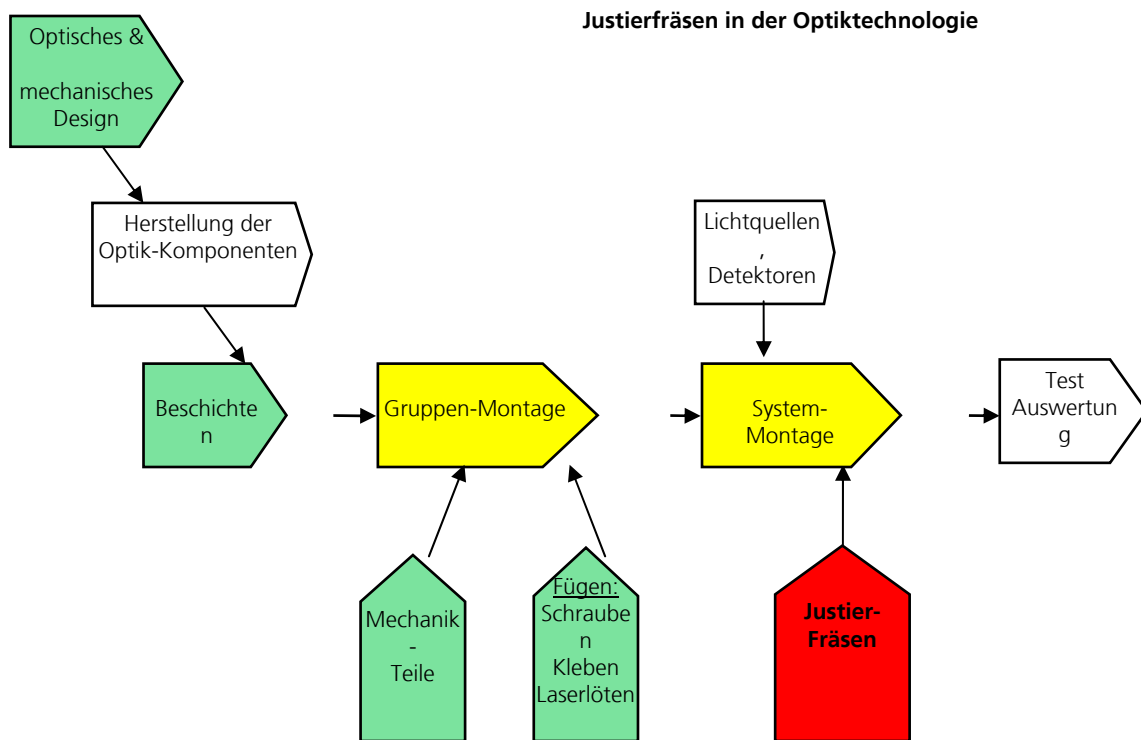


Abb. 1: Einordnung der Technologie „Justierfräsen“ in die Optikkfertigung

Eine automatisierte Technologie mit integrierter optischer Messtechnik ist international nicht verfügbar. Das Projekt soll dafür die erforderlichen Grundlagen schaffen, wobei auf Systematik und damit Automatisierungsfreundlichkeit größter Wert gelegt wird. Die wesentlichen Forschungsziele sind:

1. Optische Messverfahren sind zu evaluieren, theoretisch zu prüfen und an Demonstratoren experimentell nachzuweisen.
2. Das Konzept einer entsprechenden Maschinentechologie und Bearbeitungsstrategie ist zu erarbeiten. Dazu sind Untersuchungen zu geeigneten Justagestrategien und Spanntechniken durchzuführen.
3. Die Funktionstüchtigkeit des Konzepts ist anhand zweier von den industriellen Partnern definierter Demonstratoren nachzuweisen. Dabei wird auf ein hochgenaues bereits existierendes Maschinenkonzept aufgesetzt und dies adaptiert.

3.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Folgende Innovationen werden nach Projektende erwartet:

- Entwicklung einer allgemein nutzbaren Fertigungstechnologie für hochpräzise Fassungsbearbeitung optischer Bauelemente,
- 5-Achs-Fräsbearbeitung gefasster optischer Bauelemente mit Form- und Lagetoleranzen $< 5\mu\text{m}$ bzw. $< 10 \text{ arcsec}$ für Winkeltoleranzen,
- Integration hochgenauer optischer Messverfahren in ein CNC-Bearbeitungszentrum, Integration von Aktuatorbaugruppen zum Ausrichten der Optiken zum CNC Maschinenkoordinatensystem;

Das Projekt bietet die Chance, einen allgemeinen Ansatz zur hochgenauen Herstellung von Referenzflächen nicht-rotationssymmetrischer optischer Bauelemente zu entwickeln. Entsprechend vielseitig sind die möglichen Nutzungsarten und die daraus resultierenden innovativen Wirkungen in der Optikfertigung. Die Ergebnisse des Projekts sind auf eine Vielzahl von Produkten anwendbar. Das betrifft vorrangig die Produktgruppen Sportoptik (Ferngläser, Zielfernrohre), Laseroptikmodule, Laserdistanzmessgeräte, Laser-nivelliere, Mikroskopie (Kameransätze), Astronomie (Strahlteiler, Sensoranordnungen), Mikrooptik (Positionierung von Laserquellen, Kopplern, Attenuatoren, Beugungselemente) und Sensorarrays.

3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Der im Vorhaben angestrebte Lösungsansatz besteht darin, die mechanischen Fassungselemente hochgenau zur optischen Achse des nicht rotationssymmetrischen Optikelements zu bearbeiten. Unter Nutzung dieser Referenzflächen wird eine vereinfachte und langzeitstabile Montage des Systems ermöglicht und gleichzeitig der Gesamtaufwand für die Fertigung der optischen und mechanischen Funktionsflächen gesenkt.

Abb. 2 zeigt als Justierobjekt ein 90° Prisma ohne Darstellung seiner Befestigung im Prismenstuhl. Aufgabe ist es, die optische Achse des Prismas so einzurichten, dass sie zumindest zu zwei Außenflächen des Prismenstuhl referiert ist. Diese Referenzflächen können im Weiteren als Anschlag und/oder Fügefläche genutzt werden. Das Prisma ist in weitem Maße optisch invariant gegenüber dem Freiheitsgrad (DOF) y und bei den meistens Anwendungen auch nahezu unempfindlich gegenüber Verschiebungen in x und z . Somit verbleiben die rotatorischen DOF R_x , R_y , R_z , die entsprechend Optikrechung zu den äußeren Referenzflächen ausgerichtet sein sollen.

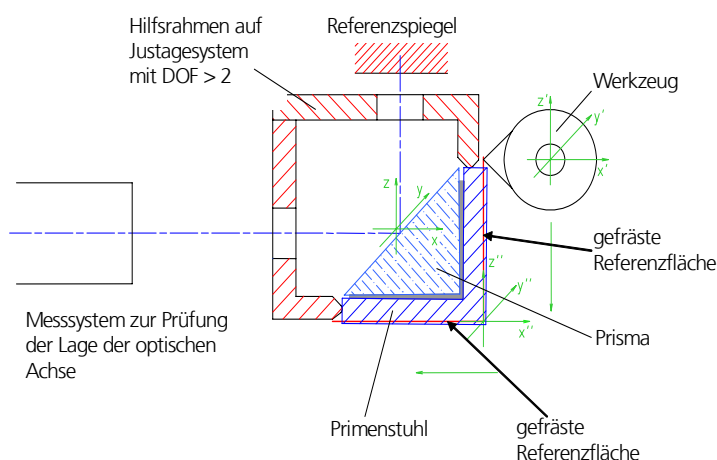


Abb. 2: Prinzipskizze

Die Gesamtlaufzeit des Vorhabens soll 30 Monate betragen. Der Arbeitsplan bildet die gesamte Wertschöpfungskette von der Konzeption Justierfräsen, über die Konzeption der

Montagetechnologie und die Entwicklung und Validierung der Maschine basierend auf verschiedenen Demonstratoren ab .

4. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Ein Transfer der Ergebnisse ergibt sich für Optikhersteller aus dem Kreis des projektbegleitenden Ausschusses (Linos, Schneider Kreuznach, Leica Camera, Sill optics, Fisba, LOS, Trioptics, Lehmann Präzision) schon während der Projektlaufzeit durch die enge fachliche Zusammenarbeit. Als Transfermaßnahmen sind geplant:

- Meetings mit dem projektbegleitenden Ausschuss – Kick-Off-Treffen, jährlich
- Durchführung eines bundesweiten Workshops am Ende der Projektlaufzeit
- Einrichtung eines Internetforums mit halbjährlicher Aktualisierung
- Bereitstellung eines Posters und einer elektronischen Vorlage für ein Informationsblatt für die AiF-Mitgliedsvereinigungen zur Präsentation der Ergebnisse auf Workshops, Messen usw.
- Übernahme der Ergebnisse in die akademische Lehre im Rahmen von Vorträgen
- Veröffentlichung im „Jahrbuch Feinmechanik Optik“

Weitere Transfermaßnahmen werden mit der das Projekt begleitenden Mitgliedsvereinigung F.O.M. abgestimmt.

5. Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas für kleine und mittlere Unternehmen (KMU)

5.1 Voraussichtliche Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse in KMU

Optische Instrumente und Geräte sind in Deutschland typische Felder für Produkte kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU). Gerade im Bereich der Grundlagenentwicklung neuer, präziser Montageverfahren, die die finale Qualität des Produkts entscheidend bestimmen, würde es die Forschungskapazität kleiner und mittlerer Firmen überfordern, diese grundlegend und konzeptionell zu entwickeln und das Anwendungspotenzial auszuschöpfen. Im Rahmen des geplanten Projektes sind auf diesem Gebiet wesentliche Ergebnisse zu erwarten.

5.2 Möglicher Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der KMU

Das Projekt bietet die Möglichkeit insbesondere in den Schlüsselfragen:

- gesteigerte Präzision bei geringeren Montagekosten und
- erhöhter Langzeitstabilität

einen Vorteil im internationalen Wettbewerb zu generieren. Der allgemeingültige Lösungsansatz garantiert dabei die Steigerung der Leistungsfähigkeit deutscher Unternehmen durch die Verbesserung verschiedener Produktgruppen.

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

Es bestehen sehr gute Aussichten, die FuE-Ergebnisse nach Projektende konkret umzusetzen. Die aufgegriffene Thematik, hochgenaue Montage- und Referenzflächen herzustellen, ist in einer Vielzahl von optischen Baugruppen und Geräten vorteilhaft einsetzbar. Es ist geplant, den allgemeine Ansatz des Projektes für spezifische Produkte insbesondere für Mitglieder des projektbegleitenden Ausschusses in entsprechende Maschinenteknik umzusetzen. Erfahrungsgemäß ist dafür ein Zeithorizont von 1 – 2 Jahre nach Projektende realistisch. Dabei kann sowohl die Umsetzung in Form einer Sondermaschine als auch die Adaption von Mess- und Justiertechnik in eine vorhandene

Bearbeitungsmaschine möglich sein. Der Kostenrahmen für diese Lösungen bewegt sich je nach Komplexität zwischen einigen Zehntausend und ca. 350 T€, was dem üblichen Investitionsvolumen für Sondermaschinen entspricht.

6. Durchführende Forschungsstelle

FSU Jena, Institut für Angewandte Physik,
Leiter des Instituts: Prof. A. Tünnermann

iProjektleiter: Prof. Dr. Stefan Nolte

in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IOF, Jena

Jena,

Prof. Dr. A. Tünnermann