

## **Kurzbeschreibung zum Forschungsantrag**

### 1. Forschungsthema

Oxidische dielektrische Laseroptiken höchster Lebensdauer für den DUV Bereich - O-xiDUV

### 2. Wissenschaftlich- technische und wirtschaftliche Problemstellung

Durch die mittlerweile hoch effiziente Erzeugung von UV Laserstrahlung auf der Basis frequenzkonvertierter Festkörperlaser sind nunmehr brillante, kompakte und zuverlässige Systeme verfügbar, deren Anwendungspotential als außerordentlich hoch zu bewerten ist. Da die UV Strahlung in diesem Fall durch nichtlineare Frequenzkonversion erzeugt wird, weisen die jeweiligen Lasersysteme durch ihren einfacheren Aufbau deutlich erhöhte wartungsfreie Standzeiten und geringere Betriebskosten im Gegensatz zu Excimerlasern auf und sind somit für einen erweiterten Anwendungsbereich von hohem Interesse. So können anhand des guten Strahlprofils und der kurzen Wellenlänge minimale Strahldurchmesser in der Bearbeitungsebene erreicht werden. Da im Unterschied zur rein thermischen Ablation im UV maßgeblich die Photoablation den Abtrag von Material erzeugt, können hier deutlich erhöhte Auflösung und Kantenqualität erreicht werden. Besonders in der Mikromaterialbearbeitung, aber auch z.B. in der Solarzellenproduktion sind dies notwendige Eigenschaften. Somit können die Vorteile eines Festkörperlasers auch in den tiefen UV Bereich überführt werden.

Diodengepumpte Festkörperlaser mit hoher Strahlqualität erreichen zunehmend höhere Intensitäten, die sich mittels Konversion in den UV Spektralbereich übertragen lassen. Diese hohen Energie- und Leistungsdichten müssen inner- und außerhalb der Lasersysteme geführt und geformt werden. Da die Mehrzahl der oxidischen, dielektrischen Materialien besonders bei der 4. und 5. Harmonischen der Nd:YAG Wellenlänge (266nm und 213nm) sehr nahe an den entsprechenden Absorptionskanten betrieben werden und zusätzlich hohe Photonenenergien von bis zu annähernd 6eV vorliegen sind sowohl Zerstörschwelle als auch Lebensdauer deutlich geringer als in vergleichbaren Systemen im sichtbaren oder nahen IR Bereich. Tatsächlich ist die aktuell herstellbare Güte der Oberflächen und der dielektrischen Beschichtungen der limitierende Faktor für die Ausgangsleistung der entsprechenden Strahlquellen in diesem Spektralbereich. Graduelle und abrupte Schädigungen, wie Farbzentrenbildung, Materialdegradation und laserinduzierte Zerstörung, führen zur Minderung der Strahlqualität, die sich in Depolarisation, Phasenfrontverzerrungen oder sogar Ausfall der Optik und somit des gesamten Systems äußern. Diese überwiegend irreversiblen Modifikationen haben essentiellen Einfluss auf die Standzeiten und Zuverlässigkeit der Anwendung und sind unmittelbar mit der Erhöhung von Betriebs- bzw. Instandsetzungskosten verbunden.

Die Erfahrung zeigt, dass die Qualität der Optiken in diesem Spektralbereich sehr hohen Schwankungen unterliegt. Z.B. kann sich die laserinduzierte Zerstörschwelle von identischem, synthetischem Quarzglas allein auf Grund unterschiedlicher Politur um den Faktor 2-3 unterscheiden. Folglich liegt ein hohes Potential vor, die Leistungsfä-

higkeit dieser Optiken deutlich zu verbessern und die Kontinuität bezüglich der Fertigung zu erhöhen. Insbesondere ist das Gesamtsystem, bestehend aus Substrat, Politur und Beschichtung, zu betrachten und aufeinander abzustimmen, so dass vorwiegend Degradationserscheinungen, aber auch verkürzte Lebensdauern, deutlich hinausgezögert oder sogar vermieden werden können.

Sowohl die erwähnten Politureffekte als auch die Einflüsse von Beschichtungsprozess und Schichtdesign sind bis heute nicht verstanden, sondern mit mehr oder weniger großem Erfolg empirisch optimiert worden. In besonderem Maße birgt ein umfassendes Verständnis der Wechselwirkungsprozesse, die zu Degradation und Zerstörung führen, ein hohes Potential hinsichtlich der Steigerung von Standzeiten der Komponenten im industriellen Umfeld. Das Vorhaben OxiDUV hat die Zielsetzung, Verfahren zu entwickeln, die eine nachhaltige Verbesserung der Qualität und Lebensdauer von DUV Optiken, basierend auf oxidischen Materialien, erzielen.

### 3. Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

#### 3.1 Forschungsziel

##### 3.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Die Arbeiten für dieses Forschungsvorhaben sollen Fortschritte in vielerlei Hinsicht sowohl wissenschaftlich-technischer als auch wirtschaftlicher Natur ermöglichen. Auf Grund der geplanten Arbeitspakete und des unterstützenden projektbegleitenden Ausschusses stellen sich die angestrebten Forschungsergebnisse wie folgt dar:

Zum Zeitpunkt der Antragsstellung sind die Zerstörmechanismen für gepulste UV Laserstrahlung nicht vollständig verstanden. Selbstverständlich wird in der Beschichtungstechnik sehr differenziert und gründlich auf eine hohe Schichtqualität bezüglich z.B. der Absorption und Partikelkontamination geachtet. Dennoch konnte in den Untersuchungskampagnen unterschiedlicher Forschungseinrichtungen noch kein direkter Zusammenhang zwischen diesen Größen und der Zerstörschwelle bzw. Lebensdauer nachgewiesen werden. Zusätzlich bilden sich weitere mögliche Effekte heraus, die zum Zerstörmechanismus potentiell beitragen könnten. Als ein Kandidat sind hier Mehrphotonenprozesse zu nennen.

Die Wahrscheinlichkeit eines Zwei-Photonen-Ereignisses ist um Größenordnungen höher als die eines Photonenprozesses höherer Ordnung, indem drei, vier oder fünf Photonen zusammenwirken. Somit kann bei den relativ hohen Pulsspitzenleistungen eines gütegeschalteten Laserpulses das Auftreten von Zwei-Photonen-Absorption nicht mehr ausgeschlossen werden. Trotz dieser begründeten Annahmen wurde noch keine eindeutige experimentelle Bestätigung für diese Annahmen geliefert. Ein Ziel ist es, weitere, verlässliche Ergebnisse zu sammeln, die auf den konkreten Zerstörmechanismus schließen lassen. Die Erstellung einer entsprechend fundierten Datenbasis auf der Grundlage der Variation zahlreicher Testparameter sowohl bei der Optikfertigung als auch bei den experimentellen Untersuchungen steht hierbei im Vordergrund.

Im Detail sollen die Übergänge von Substrat zu Schicht bzw. zwischen zwei Beschichtungsmaterialien innerhalb des Wechselschichtsystems einer dielektrischen Beschichtung untersucht werden. Im ersten, genannten Übergang kommt es auf die Qualität der Politur an. Diese soll ein Hauptaugenmerk sein. Parameter wie z.B. Poliermittel oder Anpressdruck sollen variiert werden, um auf den optimalen Quarzmaterialien optische Oberflächen zu schaffen, die höchsten Laseranforderungen genügen. Aus diesen Arbeiten können dann die Eigenschaften abgeleitet werden, die Oberflächen höchster

Güte im UV aufweisen müssen. Bisherige Arbeiten waren auf das Nachbearbeiten von nicht optimalen Oberflächen konzentriert.

Potentielle wirtschaftliche Errungenschaften werden an der gesamten Wertschöpfungskette gesehen. Mit Produkten erhöhter Qualität und Lebensdauer, wie sie auf Basis der Ergebnisse entwickelt werden können, kann der Hersteller in mehrfacher Weise profitieren. Optiken mit erhöhter Lebensdauer und höherer Leistungsfestigkeit stellen ein Produkt erhöhter Wertschöpfung dar. Zusätzlich wird sich die Position im Optikmarkt auf Grund von verbesserten Produkten festigen oder sogar verbessern. Mit diesen Optiken können Laserhersteller Systeme realisieren, die eine erhöhte Stabilität bei erhöhter Ausgangsleistung und Pulsenergie aufweisen. Höhere Lebensdauern der Optiken verringern die Betriebskosten und erhöhen somit die Wirtschaftlichkeit eines Fertigungsprozesses. Darüber hinaus bedeutet eine erhöhte Strahlstabilität einen verringerten Ausschuss und gesteigerte Genauigkeit bzw. laterale Auflösung in der Fertigung. Höhere Ausgangsleistungen führen direkt zu einer erhöhten Fertigungsgeschwindigkeit, was wiederum einen Zuwachs an Durchsatz und Wirtschaftlichkeit bedeutet. Nicht zuletzt ist ebenfalls darauf hinzuweisen, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt einige Anwendungen nicht mit den Vorteilen einer DUV Festkörperlaserquelle betrieben werden können, weil zur Zeit entweder keine dauerhaft betreibbaren Hochleistungssysteme erhältlich sind oder der Preis pro erworbenes Watt Ausgangsleistung für ein wirtschaftlich orientiertes Unternehmen noch zu hoch ist. Bisweilen kann der höhere Anschaffungspreis eines Festkörperlasers im Vergleich zu einem Excimerlaser auf Grund der niedrigeren Lebensdauer des Systems mitunter nicht unternehmerisch gerechtfertigt werden, obwohl die erwähnten Vorteile für die Anwendung einen großen Innovationsschub bedeuten würde. So können anhand optimierter UV Optiken und der damit verbundenen erhöhten Wirtschaftlichkeit, die sich in Lebensdauer und Ausgangsleistung äußert, voraussichtlich auch neue Anwendungsfelder und Applikationen erschlossen werden.

### 3.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Um die ehrgeizigen Ziele zu erreichen, die sich das Konsortium setzt, nutzt OxiDUV eine Vielzahl innovativer Ansätze. Innerhalb des Vorhabens sollen beispielsweise Parameter identifiziert werden, auf deren Basis Fertigungsprozesse dahingehend weiterentwickelt werden können, Lebensdauern, die aus dem sichtbaren oder NIR Spektralbereich bereits möglich sind, in den tiefen UV Bereich auszudehnen. Darüber hinaus sind beide zu untersuchenden Wellenlängen, 213nm noch mehr als 266nm, gegenwärtig eher von akademischen Interesse. Wenn man in der Lage ist, auch bei diesen Wellenlängen zuverlässigere, stabilere Lasersysteme zu entwickeln, werden diese auch vermehrt kommerziell und wirtschaftlich genutzt werden können.

Da die zu untersuchenden Phänomene schon seit vielen Jahren bekannt sind, jedoch die Lösung der damit verbundenen Probleme nicht abgeschlossen ist, müssen neue Ansätze verfolgt werden, um weitere, bisher nicht verfügbare Informationen zu erschließen. In diesem Fall ist die Bestimmung der Zerstörschwelle ein seit einigen Jahren zuverlässig automatisiertes Verfahren, welches nach einer ISO Norm durchgeführt wird (ISO 11254). Auch Lebensdauertests an UV Optiken, die mit einer festgelegten Leistung oder Energiedichte und einer definierten maximalen Beaufschlagungsdauer oder Anzahl an Laserpulsen erfolgen, können mittlerweile mit einem guten Maß an Erfahrung durchgeführt werden. Im Zuge des Vorhabens OxiDUV soll zur Aufnahme weiterer Charakteristika des Degradations- bzw. Zerstörmechanismus ein schneller Detektor mit einem Spektrometer zur zeitaufgelösten Fluoreszenzanalyse in den bestehenden Testaufbau integriert werden. Hierzu ist der Erwerb dieser Geräte erforderlich (De-

tektor: 36.700€, Spektrometer: 8.800€). Dieses Instrumentarium zeichnet sich durch eine extrem hohe Zeitauflösung aus. Der Triggerzeitpunkt für die Messaufnahme kann mit einer Auflösung von 25ps gewählt werden, und die minimale Belichtungszeit liegt im Bereich weniger ns (<5ns), weshalb eine Einzelpulsauflösung möglich ist. Speziell die Fluoreszenzen, die im degradierenden Material auftreten, sollen so identifiziert werden und, auf Grund der entsprechenden spektralen Charakteristik, bestimmten Bestandteilen oder Verunreinigungen der Optik zugeordnet werden. Auf diese Weise sollen Polierrückstände ermittelt werden genauso wie Bestandteile des Substrates oder der Beschichtung, die negativen Einfluss auf die Lebensdauer der Optik haben. Zusätzliche Informationen können über die Lebensdauern der Fluoreszenzen aufgenommen werden, die wegen der kurzen Belichtungszeiten des Fluoreszenzspektrographen zugänglich sind. Betreibt man den Detektor ohne vorgeschalteten Spektrograph, kann die Bildung der Zerstörung visuell in Einzelpulsauflösung untersucht werden. Dies ist notwendig, um eventuell beteiligte lokale Verunreinigungen auf der Mikrometerskala während des Zerstörvorganges zu identifizieren. Die hohe zeitliche Auflösung der Detektoreinheit gestattet dabei den präzisen Nachweis von Schwellwerten für den Beginn von strukturellen Modifikationen.

Über die Zeit und spektral aufgelöste Analyse hinweg, sollen während aller Tests, soweit dies notwendig ist und zur Entwicklung erweiterter Zerstörmodelle beiträgt, beständig Transmission und Reflexion der Laserstrahlung monitoriert werden. Sofern der Grad der gestreuten Laserstrahlung oder einer adäquaten zusätzlichen Testlaserstrahlung hier hilfreich erscheint, wird dieser ebenfalls berücksichtigt. Werden diese Analysen sowohl an beschichteten als auch an unbeschichteten Proben angewendet, so können die Quellen und der spezifische Ort der Degradationserscheinungen identifiziert werden.

Mit diesen Daten werden im Anschluss die verantwortlichen Parameter in den einzelnen Produktionsprozessen identifiziert und in Praxisversuchen bei den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses überprüft.

### 3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Arbeitspaket	Projektjahr		
	1	2	3
<b>Klassifizierung und Optimierung Politur</b>			
AP1.1: Erstellung Probensätze	■		
AP1.2: Beschaffung und Charakterisierung Fluoreszenzspektrometer	■		
AP1.3: Zerstörschwellen- & Lebensdauertests Polituren auf Quarz	■	■	
<b>Untersuchung Zerstör- &amp; Degradationsmechanismen in dielektrischen Oxidschichten</b>			
AP2.1: Stand der Technik Experiment		■	
AP2.2: Materialstudie: Oxidische Schichtmaterialien für DUV		■	
AP2.3: Materialstudie: Oxidische Mischmaterialien		■	
AP2.4: Anwendung auf Schichtdesign: AR, PR, HR		■	
AP2.5: Analyse des Zerstörvorganges		■	
AP2.6: Polarisations- & Phasenfrontanalyse durch Degradation		■	
<b>Verifizierung im Praxisversuch</b>			
AP3.1: Übertragung Beschichtungsergebnisse & Test		■	
AP3.2: Lebensdauertests in Lasersystemen unterschiedlicher Pulsdauer		■	
<b>Berichterstellung</b>			■
<b>Personaleinsatz</b>			
1 wiss. Mitarbeiter (TV-L E13)	1	1	1
1 techn. Mitarbeiter (TV-L E11)	1/2	1/2	1/2
1 stud. Hilfskraft	1	1	1

#### AP1: Klassifizierung und Optimierung Politur

- Forschungsstelle und PA erstellen in Zusammenarbeit einen Satz an polierten Quarzscheiben, die bei 213nm und 266nm bzgl. der Zerstörschwelle (LIDT) charakterisiert wird. In diesem Zusammenhang werden jeweils für die beiden Wellenlängen optimale Oberflächen und Materialeigenschaften gesucht.

- Anschaffung und Implementierung des iStar ICCD Detektors und Shamrock Spektrographen für Arbeiten in AP2
- Erweiterung des vorhandenen Lasersystems auf die Wellenlänge 213nm (7.070€). Zerstörschwellen- und Lebensdauer tests an Politurprobensatz. Sowohl Zerstörvorgang, als auch Degradation werden als Funktion der Oberflächenbeschaffenheit analysiert. LIDT Tests nach ISO11254-2, Lebensdaueranalyse bei ca. 35% unterhalb der Zerstörschwelle und mit referenzierter Transmissionsmessung.

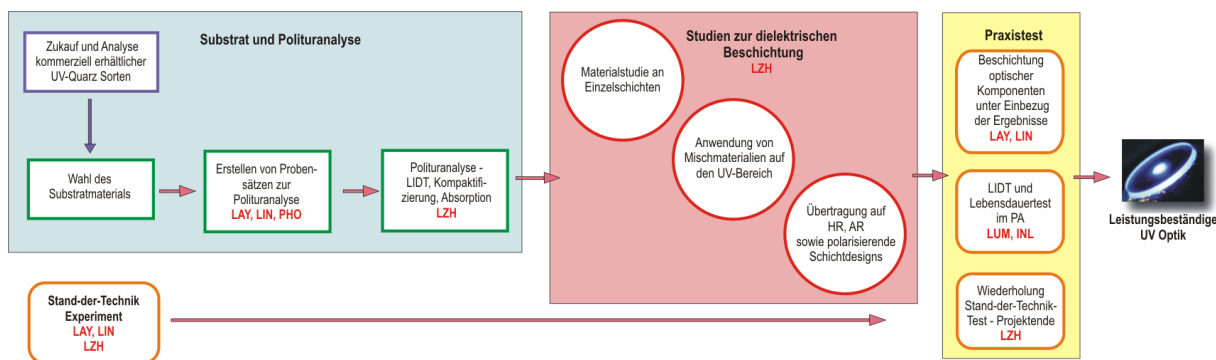
### **AP2: Untersuchung Zerstör- und Degradationsmechanismen in dielektrischen Oxidschichten**

- Stand-der-Technik Experiment zur Einordnung der aktuellen Qualität der Optiken der Partner im PA. Dient dem nachhaltigen Vergleich des Fortschrittes während der Projektlaufzeit.
- Auswahl des hoch brechenden oxidischen Materials mit der höchsten Lebensdauer bzw. LIDT (z.B.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ ,  $\text{HfO}_2$ ). Test aller möglichen Materialien als Einzelschichten. Erste Studien zu Zerstör- und Degradationsmechanismen.
- Verwendung von kodepositionierten Beschichtungsmaterialien zur Maximierung der LIDT und Lebensdauer im DUV. Studien zu Mischverhältnissen und daraus resultierenden optischen Eigenschaften.
- Übertragung der Ergebnisse von Politur und Einzelschichtstudien auf entspiegelnde, teilreflektierende, polarisierende und hochreflektierende Schichtdesigns. Anpassung von Design und Beschichtungsprozess an die Einzelschichtstudien.
- Genaue Analyse aller Verlustkanäle zum besseren Verständnis der Zerstörmechanismen: Fluoreszenzanalyse mit neuem Detektor und Spektrometer, lineare und nicht-lineare Absorption, Transmission, und Reflexion.
- Genaue Analyse der degradierenden Langzeiteffekte: Depolarisation, Kompaktifizierung und Phasenfrontverzerrung. Einarbeitung der Resultate in Optimierungszyklen.

### **AP3: Verifizierung im Praxisversuch**

- Konzepte und Parameter im Beschichtungsprozess, die aus AP2 resultieren, werden im Praxisversuch bei den beschichtenden Mitgliedern des PA überprüft. In Referenz auf das Stand-der-Technik Experiment aus AP2 werden die so entstandenen Proben am LZH auf LIDT und Lebensdauer geprüft.
- Praxistest bei Laserherstellern des PA. Final optimierte Optiken werden in realen Lasersystemen auf Lebensdauer und Leistungsverträglichkeit geprüft. Verifizierung, des Fortschrittes innerhalb der Projektlaufzeit.

## Schematische Darstellung zum methodischen Vorgehen:



## 4. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

	Maßnahme	Ziel	Rahmen	Zeitraum
1	Betreuung Diplomarbeit bzw. Masterarbeit	Ausbildung und Weitergabe von spezifischen Fachwissen und Vorbereitung des Personaltransfers	Diplomarbeit bzw. Masterarbeit für das Fach Physik dauern typ. 1 Jahr und erlauben eine detaillierte, selbstständige Mitarbeit	Während der Projektlaufzeit nach erfolgreicher Akquise eines qualifizierten Studenten
2	Kontaktaufnahme zu Unternehmen außerhalb des PA	Positionierung deutscher KMU auf dem intern. Markt	SPIE Laser Damage Symposium, nationale Messen(Laser Messe, Optatec) und Tagungen	jährliche Tagungen bzw. jährlich alternierende Messen - während und nach Projektlaufzeit
3	Vorstellung der Ergebnisse auf Fachtagungen und Seminaren	Transfer der Ergebnisse in die deutsche Fachwelt	Arbeitskreis DUV/VUV unter der Federführung von Werner Riggers (Laseroptik GmbH)	halbjährliche Veranstaltung mit Teilnehmern aus der optischen Industrie in Deutschland während und nach Projektlaufzeit
4	wiss. Publikation	Darstellung des Fortschritts des PA auf dem untersuchten Fachgebiet	Internationale und nationale wiss. Fachzeitschriften	Nach Abschluss des Forschungsvorhabens
5	Statusseminar	Darstellung der Ergebnisse für die Optikindustrie und Forschungsinstitute in Deutschland	PhotonicNet Workshop	Letztes Quartal des 2. Jahres der Projektlaufzeit

## 5. Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse für KMU

### 5.1 Voraussichtliche Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse in KMU

- *in den Fachgebieten*

Werkstoffe/ Materialien, Produktion und Mess-, Regel- & Automatisierungstechnik

- *in den Wirtschaftszweigen*

Feinmechanik und Optik; Maschinenbau

### 5.2 Voraussichtlicher Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der KMU

Wie in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben, tragen im DUV eine Vielzahl von Wechselwirkungsmechanismen zur begrenzten Lebenszeit und zur Zerstörung bei. Welche dieser Effekte den hauptsächlichen Beitrag leisten und welche Korrelationen

zwischen Strahlung und Materie nur von untergeordneter Rolle sind, kommt auf die tatsächliche Anwendungswellenlänge und auf die Qualität der einzelnen Bearbeitungsschritte an. Bei einer Politur höchster Güte kann beispielsweise schon eine Beschichtung mit kleinen Fehlern in Bezug auf Materialhomogenität oder Erhöhung der Rauheit stark ins Gewicht fallen. Weist hingegen bereits die Politur des Trägermaterials deutliche Qualitätsmängel auf, ist es möglich, dass zusätzliche geringfügige Irregularitäten oder Inhomogenitäten im Aufbau des funktionellen Schichtpakets keine weiteren Auswirkungen auf die optische Leistungsstabilität der Komponente haben. Hinzu kommt, dass abhängig von Transmissionsgrad der Optik sicherlich auch die Substratcharakteristika mehr oder weniger deutlich ins Gewicht fallen. Für einen hochreflektierenden Spiegel muss die Gewichtung des Substratmaterials sicher niedriger angesetzt werden als z.B. für einen Dünnschichtpolarisator.

Die oben genannten Beispiele belegen, dass, bedingt durch die Komplexität und Quantität potentieller Effekte bei der Wechselwirkung von ultravioletter Laserstrahlung sowohl mit strahlführenden Optikelementen als auch den Umgebungsmedien, eine Beschränkung auf eine oder wenige Analysemethoden bzw. Messverfahren nicht zweckdienlich ist. Um die unterschiedlichen Anwendungswellenlängen berücksichtigen und die verschiedenen Typen von Optiken alle in höchster Qualität fertigen zu können, müssen Charakterisierungsmethoden vorgehalten werden, die eine Bewertung der zu fertigenden optischen Komponente sowohl prozessbegleitend als auch nach der Erstellung gewährleisten. Dabei ist die kontinuierliche Evaluation maßgeblich auf die Leistungsfähigkeit der Komponente bei der Wechselwirkung mit Laserstrahlung ausgerichtet, die erfahrungsgemäß ein Höchstmaß an Präzision, Kontinuität und Sorgfalt erfordert. Insbesondere für einen Entwicklungsfortschritt hin zu einer neuen Generation von Optikqualität bedarf es hierbei einer Vielzahl an Messmethoden, die von den KMU, als essentieller Teil der Leistungsträger der optischen Technologien, weder vom personellen noch finanziellen Standpunkt her entwickelt und vorgehalten werden kann.

Ein Vorhaben wie OxiDUV greift diese Fragestellungen auf und erarbeitet die kritischen Punkte innerhalb der Fertigungskette der optischen Zielkomponenten, die im ultravioletten Spektralbereich ihre Anwendung haben. Dabei gewährleisten die große Bandbreite an verfügbaren Messverfahren und der tiefgehende Erfahrungshintergrund, die innerhalb des PA und der Forschungsstelle existieren, eine kontinuierliche Arbeit an allen Fertigungsschritten. Somit können im Rahmen dieses Vorhabens die entscheidenden Parameter für jeden Prozess identifiziert werden, so dass die KMU an den für ihre Prozesskette isolierten Parametersätzen arbeiten können. Diese Einflussgrößen können wiederum mit einer reduzierten Auswahl an Messmethoden monitoriert und optimiert werden.

Die Erweiterung des Einsatzbereiches und die Steigerung der Betriebszeit optischer Funktionselemente im ultravioletten Spektralbereich stellen die ausschlaggebenden Kriterien für die Wettbewerbsfähigkeit sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene dar. Dabei sind diese Merkmale im Wesentlichen von der Qualität aller integrierter Komponenten abhängig. Die Optimierung einzelner Betriebsparameter bei entsprechenden Applikationen kann mithin nur durch die Perfektionierung der Optiken erfolgen. Infolge der Bemühungen und erreichbaren Zielstellungen innerhalb von OxiDUV steht eine nachhaltige Verbesserung systemrelevanter Einflussgrößen in Aussicht. Im Detail sind an dieser Stelle die Zunahme der laserinduzierten Zerstörschwelle und der Lebensdauer der optischen Bauelemente zu nennen, die die gleichzeitige Steigerung der Pulsenergien und Pulswiederholraten bei adäquaten Laserstrahlquellen einschließen sollen. Der Einfluss dieser Größen auf potenzielle Marktanteile ist substantiell und mit der Umsetzung der Arbeitspakete des Vorhabens für die KMU konsequent nutzbar.

Speziell optische Beschichtungen erfahren eine enorme Verbreitung auf dem nationalem und internationalem Markt, da sich mit den repräsentativen Technologien die Übertragungseigenschaften optischer Komponenten gezielt einstellen und kontrollieren lassen und somit eine Vielzahl von Spezifikationen erfüllt werden können. Vornehmlich KMU sind im Bereich flexibler Kleinserienfertigung gut aufgestellt. Neben den Verfahren zur Fertigung qualitativ hochwertiger Substrate mit entsprechender Oberflächengüte sind es insbesondere die verschiedenen Depositionstechniken bei den Industriepartnern im PA, denen die entscheidende Rolle im Rahmen des Verbundvorhabens zuzuordnen ist. Da die Erkenntnisse des Vorhabens sowohl an entspiegelten, hochreflektierenden als auch an polarisierenden Optiken gewonnen werden sollen, werden diese auch an einer Vielzahl von Schichtdesigns genutzt werden können. Auf diese Weise profitieren Fertigungsprozesse, die auf mehrere Enddesigns ausgerichtet sind, in erhöhtem Maße von den beschriebenen Untersuchungen. Da diese flexiblen Prozesse vermehrt von KMU unterhalten werden, ist auch hier die Unterstützung und Stärkung der KMU signifikant.

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

Auf Grund der im Forschungsvorhaben erzielten Ergebnisse wird es möglich sein, die bisherigen Limitierungen der UV Lasersysteme zu höheren durchschnittlichen Leistungen bzw. längeren Lebensdauern zu verschieben. Sofern eine deutliche Erhöhung der Lebensdauer und Leistungsverträglichkeit der Spiegel, Strahlteiler, Polarisatoren und entspiegelten Komponenten erzielt werden kann, führt das zur direkten Umsetzbarkeit in Lasersysteme mit höherer Ausgangsleistung und somit zu erhöhter Produktivität auf Seiten der Anwender. Unter Umständen können so auch Anwendungen erschlossen werden, die bisher nicht zugänglich waren bzw. bislang noch nicht wirtschaftlich sind. Fortschritte in Politur und Beschichtung können von den jeweiligen Firmen in Anpassung ihrer Prozesse umgesetzt werden. Die prinzipielle Machbarkeit erhöhter Qualität im Sinne der angestrebten Applikationen wurde innerhalb des PA gemeinsam erarbeitet. Für die Umsetzung in eine verbesserte Wertschöpfung anhand neuer Produkte müssen die internen Fertigungsschritte analysiert und angepasst werden. Art und Umfang dieser Adaption können erst gegen Ende der Projektlaufzeit eingeschätzt werden. Aus Sicht zum Zeitpunkt der Antragstellung, sollten die notwendigen Arbeiten mit moderatem finanziellem Aufwand umsetzbar sein.

Obwohl die Leistungsgrenzen der Lasersysteme in diesem Spektralbereich durch die Lebensdauer der Komponenten begrenzt werden, muss im Anschluss an die Weiterentwicklung und Optimierung der Optiken noch ein absehbarer Entwicklungsaufwand in die Auslegung der neuen Systeme investiert werden. Fragestellungen wie das thermische Management und das erreichbare Strahlprofil müssen vom Hersteller der Lasersysteme noch gelöst werden. Dies sind Problemstellungen, die bei der Konzeptionierung jedes Lasersystems auftreten. Nach Konstruktions-, Fertigungs- und Prüfphase ist zu erwarten, dass innerhalb einiger Monate mit einer Nutzung der Ergebnisse des Vorhabens vom Anwender gerechnet werden kann.

Eine Gefährdung der Finanzierbarkeit einer anschließenden industriellen Umsetzung ist nicht zu erwarten. Die Ansätze für die Lösung der gegenwärtigen Probleme basieren vornehmlich auf dem ausführlichem Dialog des PA, dem Zeitfaktor, den die detaillierten Optimierungszyklen und deren Kommunikation und Diskussion mit sich bringen, sowie die erweiterten Analysemethoden seitens der Forschungsstelle. Während der Projektlaufzeit werden die bekannten Effekte, die zu einer verkürzten Lebensdauer der Optiken führen, sowohl an anwendungsnahen Optikdesigns als auch an Modelprobensätzen wissenschaftlich untersucht. Somit ist der Großteil des finanziellen und per-

sonellen Aufwandes im Bereich des Forschungsbedarfs bereits während der Projektlaufzeit abgedeckt. Die Übertragung auf spezielle Designs und die Anpassung bestehender Prozesse und Modelle, die darüber hinaus notwendig sein werden, sind abschätzbar und können mit entsprechender Planung in den Unternehmen umgesetzt werden.

6. Durchführende Forschungsstelle(n)

Laser Zentrum Hannover e.V.  
Hollerithallee 8  
30419 Hannover

Leiter der  
Forschungsstelle:  
Dr. Dietmar Kracht (geschäftsführendes Vorstandsmitglied)

Projektleiter:  
PD Dr. Detlev Ristau

---

Ort, Datum