

Flexible Automatisierung in der Produktion der Zukunft

RWTH THEMEN 1/2010

Die optischen Technologien haben sich in vielen technischen Bereichen, wie Medizin-, Informations-, Mess- und Produktionstechnik, zu einer Schlüsseltechnologie entwickelt. Dem entsprechend steigt die Nachfrage an Produkten mit optomechanischen Funktionalitäten stetig. Dabei sind technologische Entwicklungen dieser Produkte durch einen deutlichen Trend zur Miniaturisierung getrieben, der höchste Anforderungen an die Präzision von Fertigungs- und Montagetechnologien stellt. Heute ist die Präzisionsmontage durch ein hohes Maß manueller oder teilautomatisierter Vorgänge gekennzeichnet. Die Automatisierung dieser Vorgänge ist eine wesentliche Voraussetzung für die Herstellung kostengünstiger Produkte in Hochlohnländern. Eine ständige Verkürzung der Produktlebenszyklen sowie Forderungen nach hoher Variantenvielfalt stellen jedoch große Hindernisse für eine weitreichende Automatisierung dar. Die damit verbundenen hohen Investitions- und Entwicklungskosten werden häufig zu Gunsten einer manuell geprägten Produktion gescheut, was in zunehmender Abwanderung der Produktherstellung aus Hochlohnländern resultiert. Gelingt es, die Automatisierung der Produktion derart zu gestalten, dass ein geschulter Anwender nicht ersetzt, sondern durch Abnahme der simplen Montageaufgaben optimal unterstützt wird, kann diesem Trend beschäftigungserhaltend entgegen gewirkt werden. Vor diesem Hintergrund werden im Rahmen des Exzellenzclusters „Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer“ im Teilprojekt „Flexible Montagesysteme für die selbstoptimierende Automation“ die Möglichkeiten der Flexibilisierung und Vereinfachung der Anwendbarkeit der Automatisierung untersucht. Das Forschungsvorhaben stellt die ganzheitliche Betrachtung von Produktdesign, Anlagentechnik, Messtechnik und Prozessautomatisierungskonzept in den Vordergrund.



Flexibel automatisiertes Montagesystem

Entwickelt wird ein flexibel einsetzbares roboterbasiertes Montagesystem, das mittels kooperierender Industrieroboter komplexe Operationen simultan durchführen kann. Grundidee des Anlagenkonzepts ist dabei, die erforderliche Flexibi-

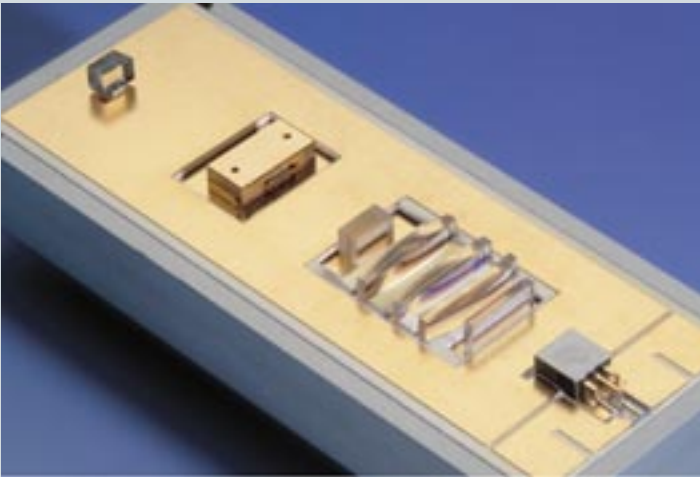
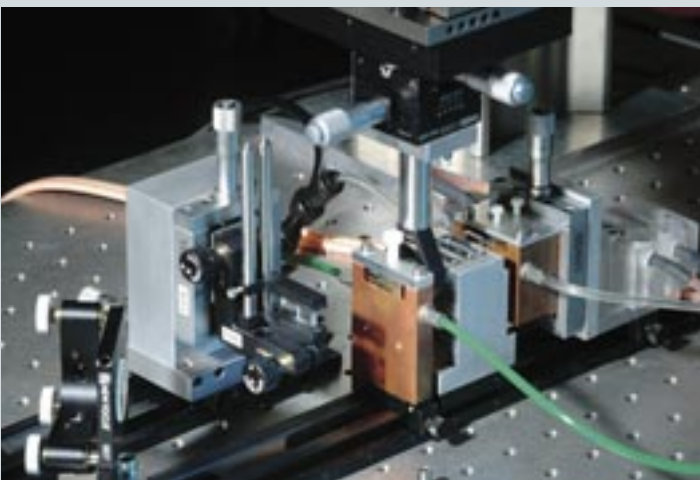
lität und Wandlungsfähigkeit für die Durchführung verschiedenartiger Montagevorgänge dadurch zu maximieren, dass die Modularität des Systems bis auf Werkzeugebene umgesetzt wird. Damit reduziert sich der Konfigurations- und Umrüstaufwand für verschiedene Prozessschritte auf ein Minimum

Bild 1: Flexibel automatisierte Montagezelle.

und es stehen modulare Füge- und Messwerkzeuge zur Verfügung, die je nach Bedarf eingesetzt oder zugeschaltet werden können.

Exemplarisch durchgeführt wird die flexibel automatisierte

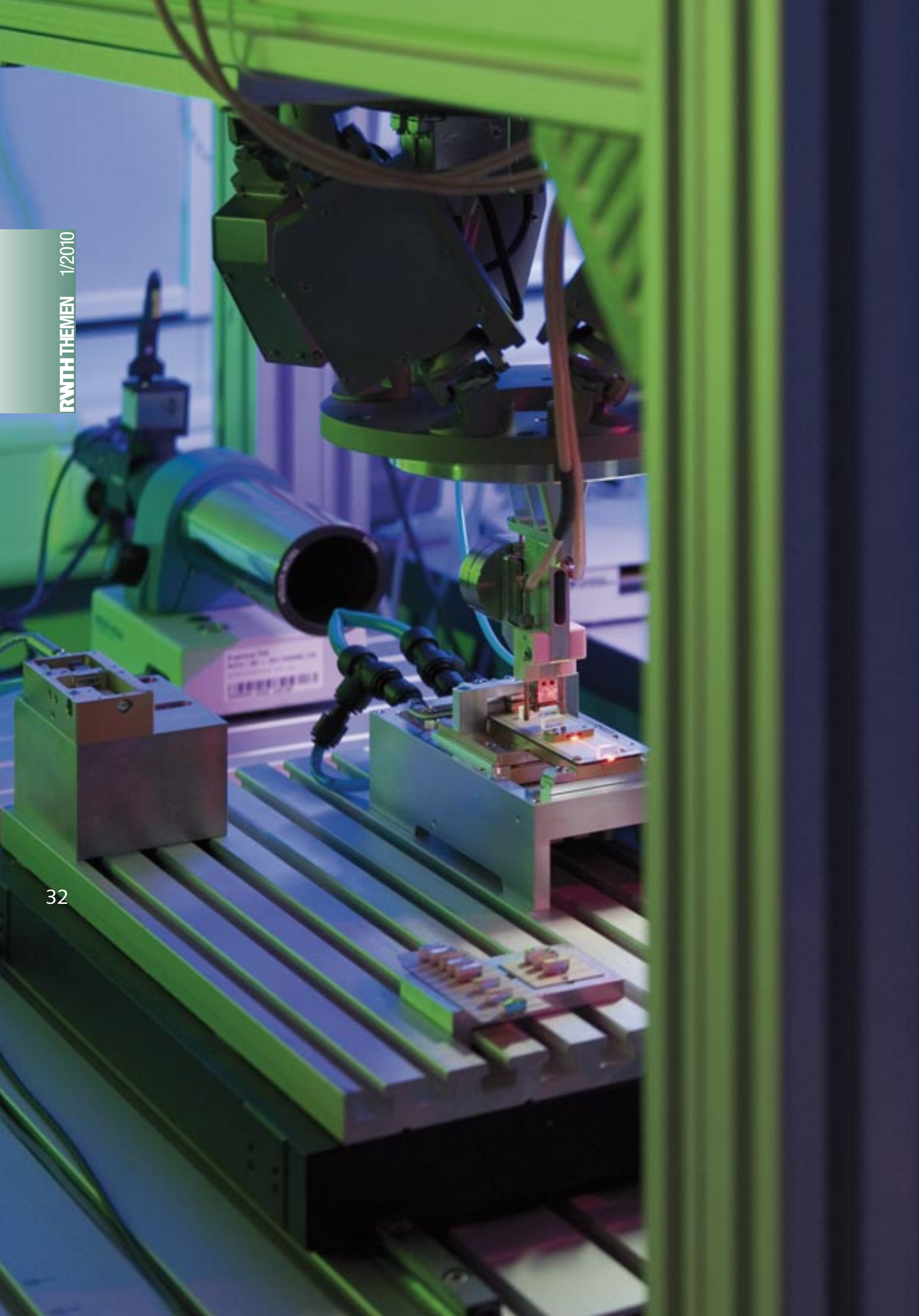
Selbstoptimierung als Lösungskonzept für situative Entscheidungen von roboterbasierten Montagesystemen



*Bild 2: Laserbeschrifter.
Oben: Konventionelle
Aufbautechnik,
unten: Planar-Montage.*

Montage an einem diodengepumpten Festkörperlaser für Beschriftungs- und Markierungsanwendungen. Die Montage derartiger Systeme ist aufgrund der erforderlichen Präzision und kleinen Stückzahlen derzeit nur mit geringer Automatisierungstiefe möglich. Existierende Aufbautechniken der

optischen Technologien und insbesondere der Lasertechnik sind nur bedingt für eine roboterbasierte Montage geeignet. Deshalb wird ein Systemdesign entwickelt, welches den Möglichkeiten einer roboterbasierten Montage entgegenkommt. Dieses „Design for assembly“ ist ein wesentlicher Faktor für





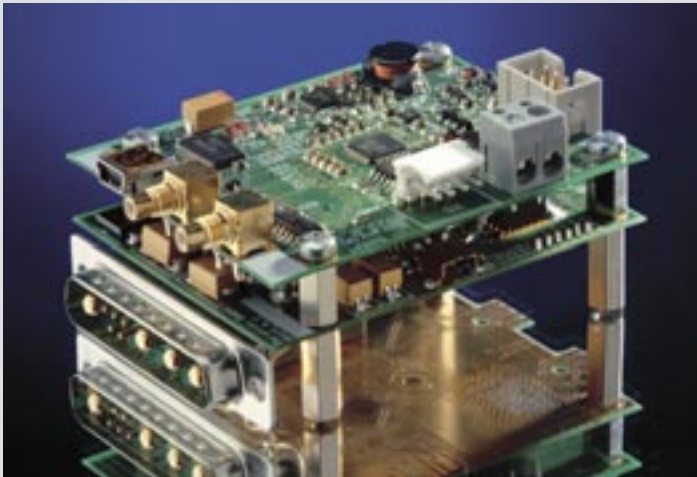


Bild 4: Lasersteuerungs-elektronik.



die Umsetzung einer flexiblen Automatisierung.

Die entwickelte Anpassung des Designs besteht darin, elektrische, mechanische und optische Funktionalitäten der Systemkomponenten in einem planaren Aufbau zu realisieren, um eine maximale Zugänglichkeit für Messtechnik und Montageausrüstung sowie eine Verringerung der Montagekomplexität zu erreichen, siehe Bild 2. Darüber hinaus werden planare Löttechniken zum Fügen der Komponenten entwickelt, um die Montagegenauigkeit sowie den langzeitstabilen Betrieb des Lasers durch eine hohe Positionstreuung der Systemkomponenten zu ermöglichen. Neue Methoden der selektiven Montage, bei denen die natürliche Toleranzbreite der Optikkomponenten durch eine geeignete Kombinatorik von Komponenten zur Einstellung der erforderlichen Systemeigenschaften ausgenutzt wird, ersetzen eine aufwändige Justage der Komponenten senkrecht zur Grundplatte.

Lediglich die Montage des Laserresonators, der aus dem Laserkristall sowie zwei Spiegeln besteht, die zueinander sehr genau ausgerichtet werden müssen, erfolgt in sechs Freiheitsgraden. Diese Justage kann einzig im Laserbetrieb erfolgen und wird anhand der Laserausgangsleistung optimiert. Die Automatisierung er-

fordert dabei den Zugriff auf die Lasersteuerung und die im Produkt integrierte Sensorik bereits während der Montage. Eine dieser Forderungen genügende Steuerungselektronik, siehe Bild 4, ist mit einer USB-Schnittstelle ausgestattet, die eine starre produktspezifische Dockingstation ersetzt und eine flexible und beliebig erweiterbare Kommunikationsplattform zwischen Produkt und Montagesystem bietet.

Die hohen Genauigkeiten werden über eine entwickelte Feinjustageeinheit erreicht, die Schrittweiten von weit unter einem Mikrometer zur Verfügung stellt. Nach dem Konzept eines modularen Montagekopfs wird diese Feinpositioniereinheit für den mobilen Einsatz an konventionellen Industrierobotern ausgelegt, um deren Positionierfehler zu kompensieren und die hochpräzise Justage der Komponenten zu übernehmen, siehe Bild 5. Dadurch gelingt eine übergangslose Verknüpfung zwischen Makro- und Mikroarbeitsbereichen und eine Reduktion der Dichotomie zwischen hoher Präzision und großen Arbeitsräumen.

Die angestrebte Automatisierung und hochflexible Gestaltung des Montageprozesses erfordert eine umfassende Unterstützung durch Messtechnik. Ein „Machine Vision“ (MV)-System erfasst am Anfang der Montage die Ausgangsbedingungen und

verfolgt danach die Evolution des montierten Systems. Eine hochauflösende Megapixel-Kamera mit entsprechender Beleuchtungseinheit ermöglicht eine Messauflösung im μm -Bereich und wird von einem Roboter flexibel gehandhabt, damit mehrere Bilder aus verschiedenen Perspektiven aufgenommen werden können. Zur Referenzierung und Korrelation der Kamerabilder mit einem Koordinatensystem werden Referenzmarken auf der Lasergrundplatte erfasst. Zusätzlich ist die Montagezelle mit einer CCD-Kamera zur Überwachung des Laserstrahlprofils ausgestattet, die zum Abgleich des Montagemo-dells mit dem aktuellen Systemzustand und zur Charakterisierung des montierten Lasers eingesetzt wird. Neben der dynamischen Begleitung der Montageschritte werden beide Messsysteme zur Erfassung von möglichen Fehlerzuständen eingesetzt. Durch die Fusion der Signale einzelner Sensoren kann ein Informationsmehrgehalt gewonnen werden, der zur Abbildung des Zustands des gesamten Montagesystems benutzt wird. Durch die kooperative Kombination aller Messdaten wird eine Wissensbasis mit gesammelten Erfahrungen des Systems gefüllt, mit dem Ziel künftig optimierte Montageschritte zu erzielen.



Konzept zur Realisierung der Selbstoptimierung

Die Bereitstellung der zur Durchführung weitreichender Prozessveränderungen erforderlichen hohen Flexibilität hat einen erhöhten Planungsaufwand zur Folge. Eine Möglichkeit zur Reduktion dieses Aufwandes bietet das Konzept der Selbstoptimierung, bei der die montagebegleitende Planung vom Montagesystem selbst übernommen wird. Dazu muss das Montagesystem in der Lage sein, aus Beobachtungen des Montageprozesses neue Zwischenziele abzuleiten und den sich ändernden Randbedingungen anzupassen. Ein technisches System für die Realisierung der Selbstoptimierung sollte demnach folgende Eigenschaften aufweisen:

- Flexibilität und Wandlungsfähigkeit, um Freiräume für die Anpassung der Systemeigenschaften zu generieren;
- Autonomie, um das Systemverhalten ohne Eingriff eines Bedieners beeinflussen zu können;
- Kognition, um Schlussfolgerungen aus Umgebungsinformationen und/oder Erfahrungen abzuleiten.

Ein geeignetes Design der Montagezelle und des Produkts verleihen dem System die gewünschte Flexibilität. Die geforderte Autonomie lässt sich mit

Bild 5: Feinjustageeinheit.

modularen Unterstrukturen, so genannten Agenten realisieren, die ihre Umgebung wahrnehmen und auf Änderungen modell- oder regelbasiert reagieren können. Bei dem hier verfolgten Multi-Agenten-Ansatz ist die Kognition in den Eigenschaften einzelner Agenten implementiert. So werden einem gut geschulten Bediener nur Koordinationsaufgaben übertragen, etwa die Planung der Produkteigenschaften oder eine Priorisierung von Zeit, Kosten und Qualität der Montage. Folgendes Beispiel schildert exemplarisch das selbstoptimierende Vorgehen des Montagesystems: Durch die breiten Toleranzen der vormontierten Komponenten kann es zu einer Abweichung von dem im Modell abgebildeten Strahlverlauf kommen. Diese wird mittels Strahldiagnostik anhand des veränderten Laserstrahlprofils festgestellt. Daraufhin initiiert das System eine Zusatzmessung mit dem MV-System und registriert eine Dezentrierung des Strahlengangs. Ist die Ursache für die Störung eindeutig identifiziert, kann das System eine geeignete Lösung ableiten – die zur Kompensation der Dezentrierung erforderlichen Linsen werden ausgesucht und montiert. Im Gegensatz zu einem herkömmlichen System, bei dem mehrfaches Eingreifen des

Bedieners notwendig wäre, muss der Bediener hier lediglich reagieren, wenn durch die maschinell durchführbaren Vorgänge kein im Montagemodell referenzierbarer Systemzustand erreicht werden kann.

Ausblick

Mit der Auslegung des Miniaturschrifters in planarem Design und dem Aufbau einer modularen Montagezelle sind wesentliche Schritte auf dem Weg zur flexibel automatisierten Montage von Festkörperlasern gemacht. Durch die Entwicklung innovativer Verfahren zum Fügen und Justieren optischer Komponenten sowie der Anwendung und Kombination adäquater Messtechnik zur Überwachung der Montagevorgänge soll es gelingen, die ersten Lasersysteme vollständig automatisiert zu montieren. Strategien der Selbstoptimierung lassen es zu, Planungsaufgaben in die Anlage zu übertragen und helfen maßgeblich, die Robustheit der Montage gegenüber Störungen und unerwarteten Ereignissen zu steigern. Die gewonnenen Erkenntnisse können auf das weite Feld der automatisierten Montage komplexer hybrider Produkte übertragen werden, um in diesem Bereich die Forschung, aber gerade auch die produzierende Industrie am Hochlohnstandort Deutschland voranzutreiben.

Autoren:
Dipl.-Ing. Jan Dolkemeyer,
Dipl.-Ing. Max Christian Funck
und Dipl.-Ing. Valentin Morasch
sind Wissenschaftliche Mitarbeiter am Lehrstuhl für Technologie optischer Systeme.