PRESSEINFORMATION

Produktiver mit Licht

Die industrielle Fertigung steht unter zunehmendem Druck. Absatzmärkte, die jahrzehntelang als sicher galten, werden instabil. Robuste Lieferketten sind bedroht. Energie- und Materialkosten steigen, die Märkte verlangen nach immer mehr Varianten, und neue Produkte müssen immer schneller produktionsreif werden. In diesem Umfeld hat sich der Laser als zuverlässiges Fertigungswerkzeug etabliert. Seine physikalischen Grundlagen sind gut verstanden, viele laserbasierte Verfahren sind ausgereift und im industriellen Einsatz bewährt. Dadurch verlagert sich der Schwerpunkt der Forschung deutlich. Die zentrale Frage lautet nicht mehr, ob ein Verfahren mit einem Laser realisiert, sondern wie effizient, robust und wirtschaftlich es in der täglichen Produktion eingesetzt werden kann.

Die Produktivität ist daher einer der wichtigsten Aspekte der Forschungsarbeit am Fraunhofer-Institut für Lasertechnologie ILT. Damit sind nicht einfach höhere Bearbeitungsgeschwindigkeiten gemeint, sondern eine ausgewogene Kombination aus Durchsatz, Prozessstabilität und reproduzierbarer Qualität. Signifikante Gewinne werden selten durch isolierte Technologiesprünge erzielt. Vielmehr resultieren sie aus der intelligenten Kombination von Prozessen, der parallelen Ausführung von Schritten und der Skalierung bestehender Ansätze. Die Reduzierung unproduktiver Zeiten und die effektivere Nutzung verfügbarer Ressourcen haben oft eine größere Wirkung als die Optimierung einzelner Parameter.

Was Produktivität heute bedeutet – mehr als nur höhere Leistung

Die Produktivität in der Lasertechnologie lässt sich nicht allein auf Laserleistung und Vorschubgeschwindigkeit reduzieren. Sie zeigt sich im Gesamtprozess: kurze Zykluszeiten, geringe Nebenzeiten, minimales Umspannen, wenig oder keine Nacharbeit und eine gleichbleibend stabile Qualität. Ein Prozess ist nur dann wirklich produktiv, wenn er im täglichen Betrieb zuverlässig läuft, ohne dass ständige manuelle Anpassungen erforderlich sind.

Gleichzeitig hat sich eine grundlegende Voraussetzung geändert. Laserenergie ist in vielen Anwendungsbereichen keine knappe oder unerschwinglich teure Ressource mehr. Hochleistungsquellen sind weit verbreitet und zusätzliche Watt tragen oft nur wenig zu den Gesamtkosten des Systems bei. Die entscheidende Frage ist daher nicht, wie viel Leistung zur Verfügung steht, sondern wie effizient sie in echte Produktivität

Pressekontakt
Petra Nolis M.A. | Gruppenleitung Kommunikation | Telefon +49 241 8906-662 | petra.nolis@ilt.fraunhofer.de
Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT | Steinbachstraße 15 | 52074 Aachen | www.ilt.fraunhofer.de

umgewandelt werden kann. Hier liegen die Herausforderungen der Moderne. Nur wenn Laserquelle, Strahlführung, Prozessstrategie und Systemintegration aufeinander abgestimmt sind, lässt sich die verfügbare Leistung in einen höheren Durchsatz umsetzen. Ohne diese Umsetzung bleibt hohe Leistung nicht viel mehr als eine Zahl auf einem Datenblatt.

Laser-Kombinationsprozesse als Hebel für Produktivität

Laserkombinationsprozesse sind in diesem Zusammenhang die Königsdisziplin, da sie im Idealfall ein reibungsloses Zusammenspiel aller Prozesse ermöglichen. Sie vereinen Ansätze, bei denen mehrere Bearbeitungsschritte innerhalb eines Systems, in einer eng aufeinander abgestimmten Abfolge oder sogar gleichzeitig durchgeführt werden. Der Kerngedanke dabei ist ein produktiverer Gesamtworkflow. Durch die Integration zuvor getrennter Schritte können solche Konzepte herkömmliche Prozessketten verkürzen, Schnittstellen und Übergaben reduzieren und wiederholte Rüstvorgänge oder Umspannvorgänge vermeiden.

Diese Integration hat zwei direkte Auswirkungen auf die Produktivität. Erstens reduziert sie unproduktive Zeiten: weniger Transfers zwischen Maschinen, weniger Zwischenkontrollen, weniger nachträgliche Korrekturen. Zweitens ermöglicht sie es, Laserenergie und Prozesszeit genau dort einzusetzen, wo sie einen Mehrwert schaffen, anstatt durch Übergänge, Wartezeiten oder redundante Vorgänge verloren zu gehen. In vielen Fällen resultiert der Produktivitätsgewinn weniger aus dem Ausreizen eines Parameters bis an seine Grenzen, sondern vielmehr aus der Gestaltung des Prozessablaufs, sodass jeder Schritt effizient auf dem vorherigen aufbaut.

Parallelisierung: mehr Wirkung im gleichen Zeitfenster

Prozesse parallel ablaufen zu lassen, ist eine der direktesten Methoden, die Produktivität zu steigern. Anstatt einzelne Schritte nacheinander auszuführen, entstehen mehrere Bearbeitungsergebnisse gleichzeitig. Dies verkürzt Zykluszeiten und nutzt Energie, Geräte und Arbeitszeit besser aus. Parallelisierung greift daher direkt an der Kernidee der Produktivität an: Mehr Wertschöpfung innerhalb des gleichen Zeitfensters.

Ein gutes Beispiel ist SCaRB (Simultaneous Coating and Roller Burnishing): Das Verfahren kombiniert das extreme Hochgeschwindigkeits-Laserbeschichtung (EHLA) mit Walzglätten in einem einzigen Arbeitsschritt. Während die aufgebrachte Schicht noch warm ist, fährt ein Walzwerkzeug über die resultierende Oberfläche, verdichtet sie plastisch und glättet Rauheitsspitzen. Dies erzeugt eine dichte, druckgesättigte

Oberflächenschicht mit hoher Oberflächenqualität ganz ohne Abtrag oder zusätzlichen Aufbau.

Ein ähnlicher Ansatz liegt dem Verfahren SMaC (Simultaneous Machining and Coating) zugrunde, das mechanische Bearbeitung mit EHLA in einem Arbeitsschritt kombiniert. Ebenfalls am Fraunhofer ILT entwickelt, löst SMaC ein grundlegendes Problem hochfester Schutzbeschichtungen, die vor Korrosion und Verschleiß schützen: Je härter die Beschichtung, desto besser der Schutz, aber desto komplexer die Nachbearbeitung. Das Besondere an SMaC ist die Nutzung der Restwärme, die im EHLA-Prozess entsteht.

Parallele Prozesse verkürzen Zykluszeiten, verbessern die Prozesszuverlässigkeit und nutzen Ressourcen effizienter. Produktivitätsgewinne entstehen nicht durch schnelleres Arbeiten in isolierten Abschnitten, sondern durch das kontrollierte und stabile Erzeugen mehrerer Bearbeitungsschritte gleichzeitig.

Hochleistungs-Ultrakurzpulslaser für Flächenbearbeitung

Neben der Parallelisierung spielt die Skalierung etablierter Prozesse eine zentrale Rolle bei der Verbesserung der Produktivität. Viele Laserprozesse sind im kleinen Maßstab gut verstanden, werden jedoch erst wirtschaftlich attraktiv, wenn sie auf größere Flächen oder höheren Durchsatz übertragen werden können. Dieser Wandel zeigt sich derzeit im Bereich der Ultrakurzpulslaser (UKP-Laser).

Ultrakurzpulstechnologie wurde lange Zeit vor allem mit hoher Präzision und geringer Materialbelastung in Verbindung gebracht, typischerweise bei moderater mittlerer Leistung. Heute verändert sich dieses Bild. UKP-Laser im Kilowattbereich werden verfügbar und eröffnen neue Möglichkeiten für die produktive Oberflächen- und Volumenbearbeitung. Anwendungen, die bisher durch lange Bearbeitungszeiten begrenzt waren, bewegen sich nun in einem Bereich, der für die industrielle Fertigung relevant ist.

Doch höhere Leistung allein führt nicht automatisch zu höherer Produktivität. Entscheidend ist, wie diese Leistung auf das Werkstück gebracht wird. Geeignete Strahlformung, schnelle und präzise Strahlablenkung sowie angepasste Prozessstrategien sind essenziell, um die Energie effizient zu verteilen und unerwünschte Effekte wie Wärmeanhäufungen oder Instabilitäten zu vermeiden. Nur wenn diese Elemente aufeinander abgestimmt sind, entfaltet die Hochleistungs-Ultrakurzpulstechnologie ihr volles Produktivitätspotenzial. Ohne diesen systematischen Ansatz bleiben zusätzliche Watt ungenutzt, anstatt zu effektivem Durchsatz zu führen.

Beschleunigung durch neue Prozessprinzipien: Optisches Stempeln

In vielen Laseranwendungen wird die Produktivität nicht durch den Laser selbst begrenzt, sondern durch die Art und Weise, wie Energie auf die Oberfläche übertragen wird. Scanstrategien sind äußerst flexibel und präzise, doch wenn große Flächen oder repetitive Mikrostrukturen benötigt werden, wird das Scannen schnell zum dominierenden Zeitfaktor. Jeder zusätzliche Pfad verlängert die Gesamtprozesszeit, selbst wenn ausreichend Laserleistung verfügbar ist.

Hier bietet das optische Stempeln einen grundlegend anderen Ansatz. Anstatt eine Struktur Punkt für Punkt oder Linie für Linie zu scannen, formt ein räumlicher Lichtmodulator den Strahl so, dass ein gesamtes Muster mit einem einzigen Laserpuls auf die Oberfläche übertragen wird. Komplexe Mikrostrukturen können so in einem Schritt erzeugt werden, anstatt durch Tausende einzelner Bewegungen.

Dieses Konzept ist ein Laser-Kombinationsprozess verstanden, bei dem Optik, Laserquelle und Prozessstrategie eng miteinander verbunden sind. Der klassische Bearbeitungspfad wird effektiv aus der Prozesskette entfernt. Produktivitätsgewinne entstehen nicht durch höhere Geschwindigkeit entlang eines Pfads, sondern durch das Ersetzen vieler einzelner Schritte durch eine kontrollierte Interaktion. So zeigt das optische Stempeln, wie neue Prozessprinzipien Produktivität erzeugen können, indem die Anwendung von Laserenergie in Zeit und Raum neu gedacht wird.

Hybride Fertigung: Der Laser als Teil eines integrierten Gesamtprozesses

Die Idee der Prozesskombination geht weit über Laser-Laser-Interaktionen hinaus. In vielen Fällen lassen sich die größten Produktivitätssteigerungen erzielen, wenn laserbasierte Verfahren intelligent in konventionelle Fertigungsprozesse integriert werden. Anstatt etablierte Techniken zu ersetzen, ergänzt der Laser diese dort, wo seine Stärken am effektivsten zum Tragen kommen.

Ein gutes Beispiel hierfür ist die Herstellung von Hybridwerkzeugen. Große Grundkörper werden im Guss- oder Schmiedeverfahren hergestellt, die sich besonders für die Produktion großer Stückzahlen und einfacher Geometrien eignen. Funktionsbereiche wie komplexe Kühlkanäle oder lokal verstärkte Bereiche werden anschließend durch laserbasierte additive Fertigung hinzugefügt. Durch diese Arbeitsteilung kann jedes Verfahren in seinem optimalen Bereich eingesetzt werden.

Aus Sicht der Produktivität bietet dieser Ansatz mehrere Vorteile. Die Gesamtfertigungszeit wird reduziert, da die additive Verarbeitung auf die Bereiche beschränkt ist, in denen sie einen entscheidenden Mehrwert bietet. Der Materialeinsatz wird effizienter, da teure Legierungen nur dort eingesetzt werden, wo sie benötigt

werden. Gleichzeitig kann die Werkzeugleistung durch integrierte Funktionalität verbessert werden, ohne die Gesamtkomplexität zu erhöhen. Die hybride Fertigung zeigt somit, wie die Kombination von Laserprozessen mit konventionellen Verfahren zu wirtschaftlicheren und robusteren Produktionsstrategien führen kann, anstatt nur rein technologische Vorzeigeprojekte zu sein.

Von einzelnen Schritten zu integrierten Lösungen

In vielen Fällen werden die größten Produktivitätsgewinne nicht durch die Optimierung eines einzelnen Prozessschritts erzielt, sondern durch die Neugestaltung der gesamten Prozesskette. Traditionelle Fertigungswege bestehen oft aus einer Abfolge isolierter Vorgänge, die jeweils eigene Setups, Handhabungen und Qualitätskontrollen erfordern. Während jeder Schritt für sich effizient sein mag, summieren sich in der Gesamtkette Zeitverluste und Variabilitätsquellen.

Laserbasierte Prozessketten bieten einen alternativen Ansatz, wie ein Forschungsprojekt am Fraunhofer ILT zeigt. Die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen nutzen Laserprozesse, die von der Formgebung und Materialabtragung bis hin zur Oberflächenveredelung und funktionalen Strukturierung reichen. Digitale Planung und Simulation verknüpfen diese Schritte von Anfang an, um sicherzustellen, dass jeder Vorgang optimal auf den nächsten abgestimmt ist.

Dieser integrierte Ansatz reduziert Schnittstellen zwischen den Prozessen und minimiert manuelle Eingriffe. Weniger Übergaben bedeuten weniger Fehlerquellen und verringerten Bedarf an Zwischenkorrekturen. Gleichzeitig ermöglicht digitale Steuerung eine reproduzierbare Qualität über die gesamte Prozesskette hinweg. In diesem Kontext ersetzt die Kombination von Laserprozessen nicht einfach einzelne konventionelle Schritte; sie substituiert lange, zeitintensive Sequenzen durch einen kohärenten, digital gesteuerten Workflow, der sowohl höhere Produktivität als auch größere Konsistenz liefert.

Gemeinsame Erfolgsfaktoren über alle Ansätze hinweg

Egal, ob Produktivitätsgewinne durch Parallelisierung, hybride Fertigung oder völlig neue Prozessprinzipien erzielt werden – die zugrunde liegenden Erfolgsfaktoren bleiben weitgehend dieselben. Laserprozesse werden nur dann wirklich produktiv, wenn sie innerhalb stabiler und gut verstandener Prozessfenster arbeiten. Ohne diese Stabilität verstärken höhere Geschwindigkeit oder größere Integration lediglich die Variabilität, anstatt einen echten Mehrwert zu schaffen.

Überwachung und Steuerung spielen daher eine zentrale Rolle. In-situ-Sensorik, Echtzeit-Datenauswertung und geschlossene Regelkreise helfen, die Prozesse auch unter sich ändernden Bedingungen im optimalen Bereich zu halten. Dies reduziert Ausschuss, minimiert den Bedarf an Nacharbeit und ermöglicht es Systemen, über lange Zeiträume zuverlässig zu laufen.

Ebenso wichtig ist ein systematischer „Design-for-Laser"-Ansatz. Komponenten und Prozessketten müssen von Anfang an mit Blick auf den Laser konzipiert werden, anstatt nachträglich angepasst zu werden. In diesem Kontext gewinnt künstliche Intelligenz in der Lasertechnologie zunehmend an Bedeutung. Datengetriebene Methoden unterstützen die Prozessoptimierung, die Auswahl von Parametern und die vorausschauende Wartung. Richtig eingesetzt stärken sie die Robustheit und Reproduzierbarkeit. Produktivität entsteht somit nicht durch einzelne Technologien allein, sondern durch das Zusammenspiel von Hardware, Software und intelligenter Prozessgestaltung innerhalb eines kohärenten Systems.

Von der Demonstration zur industriellen Produktion

Die Übertragung vielversprechender Konzepte von Labordemonstrationen in robuste und skalierbare Produktionsumgebungen erfordert Ingenieurserfahrung, Systemverständnis und eine enge Zusammenarbeit mit der Industrie. Prozesse müssen beweisen, dass sie über lange Zeiträume zuverlässig arbeiten können, Schwankungen in Materialien und Komponenten tolerieren und sich nahtlos in bestehende Produktionslinien integrieren lassen.

In dieser Übergangsphase spielen erfahrene Forschungspartner eine entscheidende Rolle. Mit ihrer langjährigen Expertise in laserbasierter Fertigung, Systemintegration und anwendungsorientierter Forschung unterstützt das Fraunhofer ILT die internationale Industrie dabei, innovative Laser-Konzepte in produktive industrielle Lösungen umzusetzen. Der Fokus liegt dabei nicht nur auf technologischer Exzellenz, sondern darauf, Prozesse zu schaffen, die in realen Fertigungsumgebungen messbare Produktivitätsgewinne liefern.



Bild 1:
Das SMaC-Verfahren kombiniert EHLA Beschichtung mit mechanischer Bearbeitung in einem einzigen Schritt. Dadurch wird die Herstellung von Korrosions- und Verschleißschutzbeschichtungen sowie funktionalen Oberflächen beschleunigt, während der Werkzeugverschleiß reduziert wird: EHLA auf der Oberseite, mechanische Bearbeitung auf der Unterseite.
©Fraunhofer ILT, Aachen.



Bild 2:
Steffen Rübling, TRUMPF (links), und Dr. Dennis Haasler, Fraunhofer ILT, besprechen Details zum Betrieb des 1kW-UKP-Lasers von TRUMPF. Die Strahlquelle bietet ein Vielfaches der durchschnittlichen Leistung der derzeit leistungsstärksten UKP-Laser, die für den industriellen Einsatz verfügbar sind. Ihre Pulsenergie von 10 mJ übertrifft ebenfalls deutlich bisherige Werte.
©Fraunhofer ILT, Aachen.

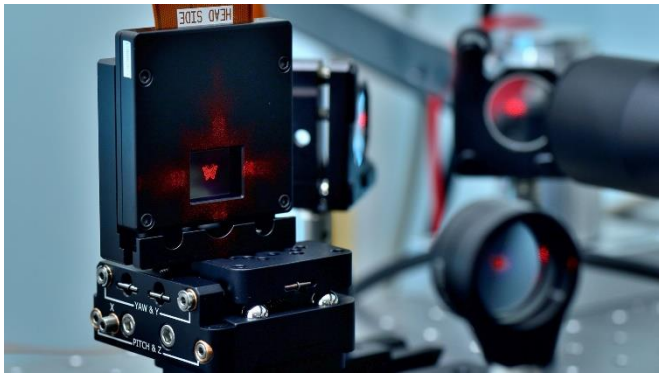


Bild 3:
Beim optischen Stempeln kann der Strahl eines Ultrakurzpulslasers präzise in das gewünschte Muster geformt werden, wie in diesem Bild ein Schmetterling. Dadurch können Mikrostrukturen genau, reproduzierbar und in einem Bruchteil der zuvor benötigten Zeit erzeugt werden.
©Fraunhofer ILT, Aachen.

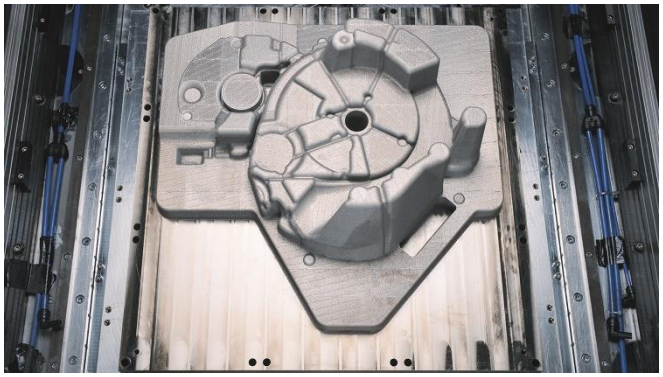


Bild 4:
Erfolgreiches Gemeinschaftsprojekt zwischen Fraunhofer ILT, MacLean-Fogg und Toyota: Ein mittels Laser Powder Bed Fusion (LPBF) gefertigtes Werkzeuginlay für das Getriebegehäuse des Toyota Yaris Hybrid, hergestellt mit hybrider Technologie. Dank eines portalgesteuerten Großformatsystems können sogar komplexe, widerstandsfähige Werkzeuge mit einem Volumen von über 20.000 cm³ auf einer konventionellen Vorform gedruckt werden.
©Fraunhofer ILT, Aachen.



Bild 5:
Geschliffene Linse (links) und laserpolierte Linse (rechts).
©Fraunhofer ILT, Aachen.

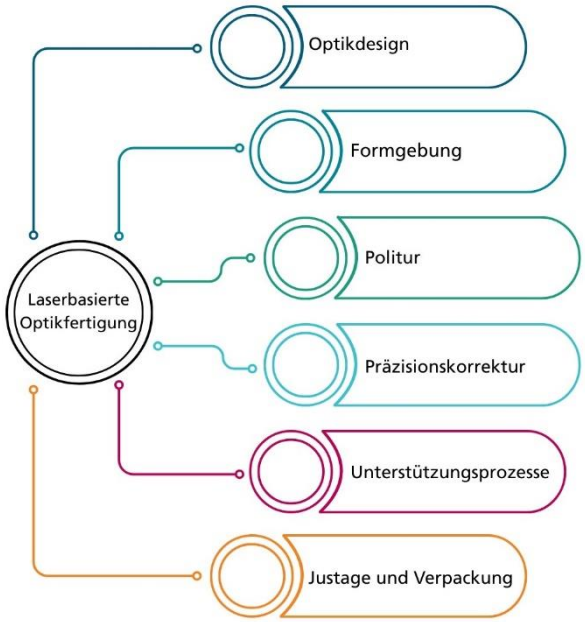


Bild 6:
Von der Konstruktion über die Fertigung bis zur Montage, vom Entwurf bis zur Endkontrolle: die neue laserbasierte Prozesskette für die Optikfertigung am Fraunhofer ILT.
©Fraunhofer ILT, Aachen.

Fachlicher Kontakt

Dipl.-Betrw. Silke Boehr
Leiter der Gruppe Marketing
Telefon +49 241 8906-288
silke.boehr@ilt.fraunhofer.de

Martin Grolms M.A.
Gruppe Kommunikation
Telefon +49 241 8906-353
martin.grolms@ilt.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT
Steinbachstraße 15
52074 Aachen
www.ilt.fraunhofer.de

Die **Fraunhofer-Gesellschaft** mit Sitz in Deutschland ist eine der führenden Organisationen für anwendungsorientierte Forschung. Im Innovationsprozess spielt sie eine zentrale Rolle – mit Forschungsschwerpunkten in zukunftsrelevanten Schlüsseltechnologien und dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie zur Stärkung unseres Wirtschaftsstandorts und zum Wohle unserer Gesellschaft.

Seit ihrer Gründung als gemeinnütziger Verein im Jahr 1949 nimmt sie eine einzigartige Position im Wissenschafts- und Innovationssystem ein. Knapp 32 000 Mitarbeitende an 75 Instituten und selbstständigen Forschungseinrichtungen in Deutschland erarbeiten das jährliche Finanzvolumen von 3,6 Mrd. €. Davon entfallen 3,1 Mrd. € auf das zentrale Geschäftsmodell von Fraunhofer, die Vertragsforschung.