

ANWENDUNG DER LASER- TECHNIK IN DER ÖSTERREICH- SCHEN INDUSTRIE

Zusammenfassung einer Studie des WIFO im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie • Mit dem Akronym „Laser“ – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung) – bezeichnet man eine Technologie, welche die Grundlage zahlreicher Verfahren für industrielle Fertigung, Materialbearbeitung, Mess- und Nachrichtentechnik bildet. Als es in den frühen sechziger Jahren erstmals gelang, Laserquellen zu realisieren, beschränkte sich ihr Einsatz auf wenige vorwiegend wissenschaftliche Anwendungen. Optische Technologien im Allgemeinen und Lasertechnik im Besonderen galten in der Folge einerseits als wissenschaftsbasiert – d. h. als Ergebnis primär wissenschaftlicher Erkenntnisse – andererseits als Technologien mit eng beschränktem Anwendungspotential.

Die Einschätzung zu Art und Umfang der technisch und kommerziell realisierbaren Anwendungen¹⁾ der Lasertechnik sowie zum Zusammenhang zwischen wissenschaftlichem Erkenntnisfortschritt und technologischem Fortschritt hat sich in den neunziger Jahren wesentlich verändert²⁾. Lasertechnik wird nunmehr vielfach als Schlüsseltechnologie („enabling technology“) klassifiziert, die mit ihrer Weiterentwicklung ein breites Spektrum von technischen Möglichkeiten eröffnet. Lipsey – Bekar – Carlaw (1998) sehen in der Lasertechnik sogar – ähnlich wie im Internet – ein Beispiel für eine Querschnittstechnologie (GPT, „general purpose technology“), die sich durch hohes Entwicklungspotential, Anwendbarkeit in (fast) allen Wirtschaftsbereichen, breite Nutzungsvielfalt sowie ein komplementäres Verhältnis zu anderen Technologien auszeichnet³⁾.

NUTZUNGSFORMEN DER LASERTECHNIK

Das innovative Potential der Lasertechnik reicht im Bereich messtechnischer Anwendungen über den Einsatz in industrieller und gewerblicher Fertigung weit

¹⁾ Einen Überblick geben z. B. Siegel – Zeiss – Liffin (2000) und Weber (1998).

²⁾ Siehe dazu z. B. Lipsey – Bekar – Carlaw (1998) und Nelson – Romer (1996).

³⁾ „A GPT is a technology that initially has much scope for improvement and eventually comes to be widely used, to have many uses, to have many Hicksian and technological complementarities“ (Lipsey – Bekar – Carlaw, 1998, S. 43).

Übersicht 1: Merkmale und Anwendungen von ausgewählten lasergestützten Fertigungsverfahren

Verfahren	Besonderheiten und Vorteile	Anwendungsbereiche
Schneiden	Hohe Genauigkeit (geringe Schnittfugenbreite), enge Fertigungstoleranzen, geringer Materialabfall beim Ausschneiden beliebiger Konturen Vorteile hinsichtlich Gratbildung, Glätte der Schnittflächen und Wärmeeinbringung auf Werkstücke Auch dreidimensionales Schneiden möglich	Haupteinsatzbereich Schneiden von Metallblechen (Stahl, Edelstahl, Aluminium) Auch für technische Textilien (z. B. Nylongewebe für Airbags), Glas-Karbonfasern, Holz (z. B. Intarsien), Karton, Folien, Kunststoffe und Verbundwerkstoffe Schneiden von Dünnglas (z. B. Display-Anwendungen)
Schweißen, Löten	Reduzierte thermische Belastung, geringeres Risiko von Spannungsrissen und geringer Nachbearbeitungsaufwand Flexible Führung erlaubt komplizierte Innenschweißungen und Schweißungen an dreidimensionalen Werkstücken Hohe Dauerfestigkeit der Schweißnähte Verschweißen von Teilen aus unterschiedlichen Materialien (z. B. Eisen mit Leichtmetallen und Legierungen) und unterschiedlicher Dicke	Zahlreiche Schweißanwendungen für metallische Materialien (aber auch Kunststoffe) im Auto- und Maschinenbau Punktschweißungen an Kleinteilen wie z. B. Brillengestellen und Zahnspannen Fügen ungleicher Materialkombinationen wie z. B. Metall-Kunststoffverbindungen in der Medizintechnik Weich- und Hartlöten von elektronischen Bauteilen, ultrafeinen Kontaktf lächen bis hin zu Karosserieteilen
Bohren	Lochdurchmesser bis in den mm-Bereich mit engen Fertigungstoleranzen Auch für sehr harte Materialien (Metalle, Keramiken, Sintermaterialien) geeignet Thermisch kaum belastete, rissfreie und saubere Oberfläche der Innenwand	Bohrungen an Ferritkernen, feinen Düsen und Spinnköpfen (für die Herstellung von Kunst- bzw. Glasfasern), Einspritzdüsen in Motoren und Brennkammern, Turbinenschaufeln, Mikroverdrahtungsplatten bzw. Mehrschichtleiterplatten Perforieren von Verpackungsmaterialien Anwendungen in der Mikrosystemtechnik
Beschriften, Gravieren, Markieren, Trimmen	Harte Oberflächen (z. B. auch Glas) können gekennzeichnet werden Auftrag komplizierter Strukturen (z. B. Bilder, Schriftzeichen) möglich Hohe Haltbarkeit, Abriebfestigkeit, Säure- und Witterungsbeständigkeit der Markierungen Umweltfreundlich, weil ohne Einsatz von Farben und Lösungsmitteln	Individuelle Markierungen, Chargenkennzeichnung von Bauteilen in der Serienfertigung, Anbringen von Barcodes, Gravieren von Kupfertiefdruck-Zylindern, Ritzen von Keramik Dekorieren und farbiges Beschriften von Polymeren Trimmen elektronischer Bauelemente (Widerstände, Quarze) Dreidimensionale Bilder und Innengravuren in Glas
Härten, Auftragen, Beschichten	Nur exponierte Teile des Werkstücks werden gehärtet bzw. beschichtet Geringe thermische Belastung des Bauteils Beschichtung eines Substrats (z. B. aus Glas oder Kunststoff) zur Änderung spezifischer Eigenschaften wie z. B. Härte, Kratzfestigkeit, Verschleißfestigkeit, elektrischer Leitfähigkeit, Reflexionsvermögen, thermischer Abbau, Permeabilität, Brandverhalten, viskoelastischem Verhalten usw.	Härten und Beschichten in Autoindustrie und Werkzeugbau wie z. B. Press- und Schneidwerkzeuge oder Spritzgussformen Vergütung hochbelasteter bzw. hochwertiger Bauteile wie z. B. Aufnahmelager der Kurbelwelle, Nockenwellen, Ventileile, Zahnräder, Zylinderbuchsen Auftrag elektrischer Leiterbahnen in Kunststoffplatten Kurzeitiges thermisches Härten von Duroplasten
Abtragen, Reinigen	Geringe Eindringtiefe beim Reinigen durch Verwendung von Infrarot- und Ultraviolett-Laserlicht Lokal begrenztes Reinigen bzw. Abtragen möglich Umweltschonende Verfahren, weil Einsatz von Lösungsmitteln entfällt	Verdampfung von Schmutz- und Lackschichten (z. B. bei der Flugzeugentlackung) Entfettung von Halbleitern und Stählen Entschichtung von Teflonwalzen in der Lebensmittelindustrie, Säubern der Werkzeuge für die Herstellung von Kunststoff- und Gummiteilen
Umformen, Biegen	Plastische, d. h. nicht reversible, rückfederungsfreie Verformungen an dünnen Platten, Profilen und Rohrteilen Eignung für empfindliche (z. B. beschichtete) Oberflächen Homogenität der Materialien und viel Zeit erforderlich, jedoch Kostenvorteile bei kleinen Stückzahlen (z. B. durch Ersparnis der Kosten eines Tiefziehens)	Herstellung von Prototypen, um spezielle Werkzeugentwicklung zu sparen Verformung von Kontaktfedern und Blechteilen (bis hin zu Autokarosserien) Begradigung von Schweißverformungen Rohrprofile mit Flanschen, Aufweitungen und Einschnürungen

Q: WIFO-Recherchen auf Basis von Literatur und Interviews mit österreichischen Unternehmen.

hinaus und zeigt sich zudem an einer hohen und weiterhin zunehmenden Vielfalt von Methoden zur Bearbeitung unterschiedlichster Materialien (Glas, Holz, Keramik, Kunststoffe, Metall, Papier usw.):

- In der Messtechnik wird Laserlicht eingesetzt um Längen (von 10^{-15} m bis 10^9 m) zu bestimmen, Geschwindigkeiten sowie Strömungen und Strömungsprofile unter Nutzung des Doppler-Effekts zu messen (z. B. Laser-Doppler-Radar), die Mikrostruktur von Materie zu analysieren (Spektroskopie) sowie den Nachweis geringer Konzentrationen eines Stoffes in Gasen und Flüssigkeiten zu erbringen. Damit ergibt sich für die Lasertechnik allein in der Messtechnik ein breites Anwendungsfeld, das über Spezialanwendungen der Umweltanalytik (z. B. Fernmessungen zur Kontrolle verkehrs- oder produktionsbedingter Schadstoffemissionen) und der Medizintechnik (z. B. nichtinvasive Diagnostik und Therapie) weit hinausreicht. Die Lasertechnik findet auch in der Produktion von Gütern von der Führung oder Positionierung von Werkzeugen (bzw. Werkstücken) über die Kontrolle von Prozessparametern bis hin zur Qualitätskontrolle

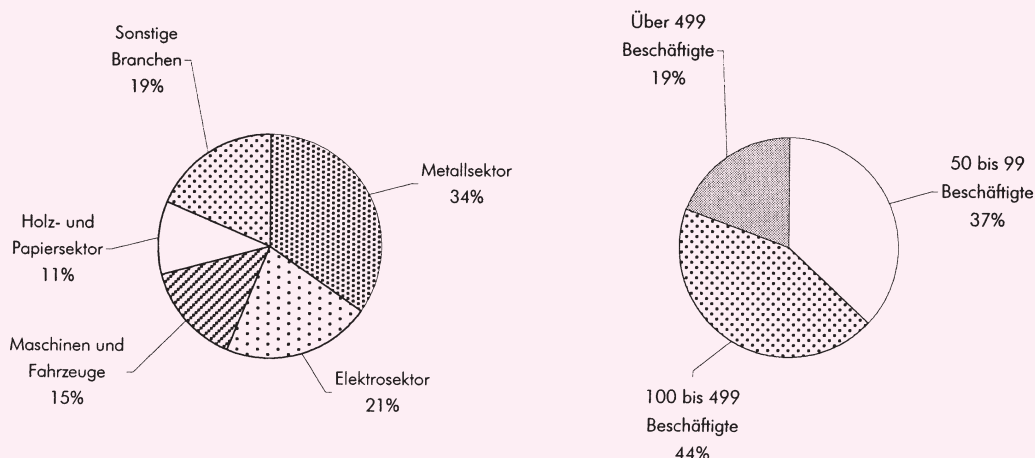
der Endprodukte ein breites Spektrum von messtechnischen Anwendungsmöglichkeiten vor.

- Auch im Segment der Materialbearbeitung zeigt sich – bei wachsendem Spektrum möglicher Anwenderbranchen – eine hohe Nutzungsvielfalt der Lasertechnik. Für die lasergestützte Produktion wurden in den achtziger und neunziger Jahren zahlreiche neue Verfahren entwickelt und bestehende Verfahren kontinuierlich verbessert. Eine Reihe von technischen und wirtschaftlichen Vorteilen ist eng verknüpft mit den physikalischen Eigenschaften kohärenten Lichts, das unter Änderung der Parameter Wellenlänge, Impulsdauer und Energiedichte in unterschiedlichen Fertigungsumgebungen punktgenau zur Bearbeitung von Werkstücken eingesetzt werden kann.

Lasertechnische Verfahren der Materialbearbeitung weisen einige Besonderheiten auf, die in vielen Fällen einen konkurrenzlosen Einsatz in der industriellen Produktion erlauben (Übersicht 1); Anwendungsmöglichkeiten bieten sich in den meisten Industriebranchen. Die Lasertechnik eignet sich zumindest theoretisch zur Bearbei-

Abbildung 1: Einsatz von Lasertechnik in österreichischen Unternehmen mit mindestens 50 Beschäftigten

Anteile in %



Q: WIFO-Berechnungen auf Basis der Umfrage „Laser 2000+“, Hochrechnung. Sample: 437 Anwender.

Elektrosektor: Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und -einrichtungen, Herstellung von Geräten der Elektrizitätserzeugung und -verteilung, Rundfunk-, Fernseh- und Nachrichtentechnik, Medizin-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Optik.

Holz- und Papiersektor: Be- und Verarbeitung von Holz, Herstellung und Verarbeitung von Papier und Pappe, Verlagswesen, Druckerei, Vervielfältigung von bespielten Ton-, Bild- und Datenträgern, Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten, Spielwaren.

Maschinen und Fahrzeuge: Maschinenbau, Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen, sonstiger Fahrzeugbau.

Metallsektor: Metallherzeugung und -bearbeitung, Herstellung von Metallherzeugnissen.

Sonstige Branchen: Herstellung von Nahrungs- und Genussmitteln, Herstellung von Textilien, Herstellung von Bekleidung, Lederherzeugung und -verarbeitung, Herstellung von Chemikalien und chemischen Erzeugnissen, Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren, Herstellung und Bearbeitung von Glas und Waren aus Steinen und Erden sowie Rückgewinnung.

tung fast aller Materialien unabhängig von Härte, Schmelzpunkt oder sonstigen physikalischen Eigenschaften. Gute Automatisierbarkeit lasertechnischer Verfahren und Kombinationsmöglichkeiten mit anderen Technologien (z. B. CAD/CAM, Roboter), Präzision bis in den Mikrometerbereich, ressourcen- und materialschonende Anwendbarkeit gewährleisten einen weitgehend problemlosen Einsatz. Darüber hinaus kommen laufende Trends der Produktionstechnik wie z. B. die Einführung flexibler Fertigungskonzepte und die Miniaturisierung von Produkten der Lasertechnik entgegen.

ERGEBNISSE DER UNTERNEHMENS-BEFragung LASER 2000+

Der Einsatz lasertechnischer Verfahren in der Fertigung (messtechnische Anwendungen, Anwendungen der Materialbearbeitung) erlebte in den neunziger Jahren einen beachtlichen Aufschwung, der sich mittelfristig fortsetzen wird. Zunehmende Vielfalt der Verfahren sowie technologische Verbesserungen bilden die Basis für diese Entwicklung.

Die vom WIFO im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie durchgeführte Unternehmensbefragung Laser 2000+ bringt eine Reihe von empirischen Befunden mit innovationspolitischer Relevanz:

- Aus Sicht heimischer Lasertechnikanwender liefern lasergestützte Fertigungsverfahren bedeutende Beiträge zur Wirtschaftlichkeit einzelner Fertigungsschritte und insgesamt zur Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen. Lasertechnische Verfahren sind nicht

nur aus technologischer Perspektive interessant (z. B. hinsichtlich Präzision, Automatisierbarkeit usw.), sondern tragen wesentlich zu Innovationen bei. Dabei stehen meist Prozessinnovationen als Einsatzmotiv im Vordergrund; allerdings sind auch Produktinnovationen (z. B. Qualitätsverbesserung) mit dem Einsatz des Lasers verbunden: Für mehr als ein Drittel der Anwender ist die Lasertechnik der Schlüssel zur Produktion neuer, alternativ nicht herstellbarer Produkte.

- Die Branchenzugehörigkeit der Anwender zeigt – vor dem Hintergrund der österreichischen Industriestruktur – eine zunehmende Breitenwirkung. Derzeit gehören rund 70% der Unternehmen, die Lasertechnik anwenden, zu den Sektoren Elektroindustrie, Metallindustrie sowie Maschinen- und Fahrzeugbau; in diesen Kernanwenderbranchen der Lasertechnik finden sich zudem mehr als 40% der in der heimischen Sachgüterproduktion Beschäftigten. Die zunehmende Anwendungsvielfalt der Lasertechnik trägt zu einer Verbreitung lasertechnischer Verfahren in Kernbranchen, aber auch in anderen Branchen bei. Entscheidenden Einfluss auf den Einsatz der Lasertechnik hat nach wie vor die Unternehmensgröße (Abbildung 1).
- Die wichtigsten Diffusionshemmnisse ergeben sich nach Ansicht der derzeitigen Lasertechnikanwender durch die Höhe der Investitionskosten, den für einen kommerziellen Betrieb erforderlichen Auslastungsgrad sowie den zu geringen Beitrag des Lasertechnik-einsatzes zur Qualitätsverbesserung bestehender Produkte. Vor allem Unternehmen, die noch keine Lasertechnik einsetzen, gehen von einer beschränkten Anwendbarkeit in der eigenen Branche aus, halten aber

auch die von Anwendern als Hemmnisse erwähnten Faktoren (insbesondere Investitionskosten) für bedeutsam. Ein Fehlen kompetenter inländischer Forschungs- und Entwicklungspartner oder ein prohibitiv hoher Forschungs- und Entwicklungsaufwand im Vorfeld des Lasertechnikeinsatzes werden von den befragten Unternehmen nicht diagnostiziert.

- Forschungsbedarf besteht in der Lasertechnik zumindest in der Anwendungsentwicklung⁴⁾. Die Verbesserung etablierter und die Entwicklung neuer Verfahren werden sowohl von Lasertechnik Anwendern als auch von Anbietern von Produkten, die Laserkomponenten enthalten, in einem hohen Ausmaß in Kooperation abgewickelt. Partner aus (außeruniversitären und universitären) öffentlichen Forschungseinrichtungen spielen in den Kooperationen derzeit quantitativ eine untergeordnete Rolle; das bedeutet allerdings nicht, dass heimische Forschungseinrichtungen nicht qualitativ hochwertige Beiträge liefern würden. Die österreichische Forschungslandschaft beschränkt sich allerdings im Bereich der Lasertechnik auf wenige Institute mit geringer Mitarbeiterzahl⁵⁾.
- Bei einer überraschend hohen Anwenderquote in der Lasertechnik liefert die Befragung ähnlich wie die Einschätzung von Experten Indizien für eine Angebotschwäche in Österreich. Unter den befragten Unternehmen finden sich zwar zahlreiche Anbieter von Pro-

dukten, die lasertechnische Komponenten enthalten, die überwiegende Mehrzahl zählt allerdings nicht zu Lasertechnik Anbietern im engeren Sinn, und die Entwicklung der Produkte erfolgt überwiegend außerhalb des eigenen Betriebs. Der Schwerpunkt der heimischen Lasertechnik Anbieter (im weiteren Sinn) liegt bei Produkten, die in der industriellen Fertigung eingesetzt werden (Materialbearbeitung, Messtechnik).

Aus dem empirischen Befund zu den Auswirkungen des Lasertechnikeinsatzes auf Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit, Diffusionsfaktoren und Verbreitung können zahlreiche technologiepolitische Schlussfolgerungen gezogen werden. So hätte eine Stimulierung der Diffusion lasertechnischer Verfahren an der Behebung von Informationsdefiziten der Nichtanwender anzusetzen. Maßnahmen wären vorzusehen, die einerseits Erprobung und Validierung lasertechnischer Fertigungsverfahren erleichtern, andererseits die Aus- und Weiterbildung verbessern. Darüber hinaus besteht im Bereich der Grundlagenforschung und Anwendungsentwicklung Handlungsbedarf, zumal die österreichische Forschungslandschaft im Bereich der Lasertechnik einen zersplitterten Eindruck von zwar spezialisierten, aber (personell) klein angelegten Instituten macht.

LITERATURHINWEISE

- Lipsey, R., Bekar, C., Carlaw, K., „What Requires Explanation?“, in Helpman, E. (Hrsg.), *General Purpose Technologies and Economic Growth*, M.I.T. Press, Cambridge, MA, 1998.
- Nelson, R., Romer, P., „Science, Economic Growth, and Public Policy“, in Smith, B., Barfield, C. (Hrsg.), *Technology, R&D, and the Economy*, The Brookings Institution, Washington, D.C., 1996.
- Siegel, A., Zeiss, C., Liffin, G. (Hrsg.), *Optische Technologien für das 21. Jahrhundert*, Düsseldorf, 2000.
- Weber, H., *Laser: Eine revolutionäre Erfindung und ihre Anwendungen*, C.H. Beck, München, 1998.

⁴⁾ Der Bereich der Grundlagenforschung wurde im Rahmen dieses Projektes nicht explizit behandelt. Allerdings ergibt sich aus den Literaturrecherchen der Eindruck, dass im Bereich der Lasertechnologie eine enge und vielfach komplementäre Beziehung zwischen Grundlagenforschung und anwendungsorientierter Entwicklung besteht.

⁵⁾ Vor allem im Vergleich mit großen deutschen Laserforschungsinstituten beschäftigen die österreichischen Forschungseinrichtungen mit Schwerpunkten im Bereich Lasertechnik erheblich weniger Wissenschaftler.