

WIFO

A-1103 WIEN, POSTFACH 91
TEL. 798 26 01 • FAX 798 93 86

 **ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR
WIRTSCHAFTSFORSCHUNG**

**ANWENDUNG DER LASERTECHNIK
IN DER ÖSTERREICHISCHEN
INDUSTRIE**

**ÖKONOMISCHE POTENTIALE DES
LASERTECHNIKEINSATZES**

NORBERT KNOLL

November 2000

ANWENDUNG DER LASERTECHNIK IN DER ÖSTERREICHISCHEN INDUSTRIE

ÖKONOMISCHE POTENTIALE DES LASERTECHNIKEINSATZES

NORBERT KNOLL

Studie des Österreichischen Instituts für Wirtschaftsforschung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Begutachtung: Hannes Leo
Wissenschaftliche Assistenz: Sonja Patsios,
Gerhard Schwarz

November 2000

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
1.1 <i>Lasertechnik als Gegenstand innovationspolitischer Initiative</i>	4
1.2 <i>Aufgabenstellung und Vorgangsweise</i>	6
2 Nutzungsformen und Entwicklungstrends der Lasertechnik	9
2.1 <i>Lasertechnische Produkte und Verfahren</i>	9
2.2 <i>Forschung und Entwicklung im Bereich Lasertechnik</i>	14
3 Anwendung lasergestützter Fertigungsverfahren in der österreichischen Industrie	17
3.1 <i>Zeitlicher Verlauf des Ersteinsatzes der Lasertechnik bei Anwendern</i>	17
3.2 <i>Schätzung der Anzahl von Lasertechnikanwendern in der österreichischen Industrie</i>	21
4 Diffusionsfaktoren für den Einsatz lasergestützter Fertigungsverfahren	25
4.1 <i>Empirischer Befund zu Einsatzmotiven der Lasertechnik in der industriellen Fertigung</i>	27
4.2 <i>Empirischer Befund zu Diffusionshemmnissen</i>	30
5 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	33
6 Literaturverzeichnis	37
7 Anhang : Fragebogen LASER 2000+	42

Verzeichnis der Tabellen und Übersichten

Tabelle 2.1: Merkmale und Anwendungen von ausgewählten lasergestützten Fertigungsverfahren	10
Übersicht 2.1: Marktentwicklung bei Systemen des Rapid Prototyping	11
Übersicht 2.2: Weltmarkt für Lasersysteme in der Materialbearbeitung	12
Tabelle 2.2: Weltmarkt für Laserquellen und –systeme	12
Übersicht 2.3: Struktur der Lasertechnik-Produkte heimischer Anbieter	13
Tabelle 2.3: Beteiligung österreichischer Akteure an EUREKA-Projekten	15
Übersicht 2.4: Struktur der Kooperationspartner bei Lasertechnikprojekten	16
Übersicht 3.1: Zeitlicher Verlauf des Ersteinsatzes von lasergestützten Fertigungsverfahren	17
Übersicht 3.2: Anwenderquoten der Lasertechnik nach Unternehmensgröße und Branchenzugehörigkeit	18
Übersicht 3.3: Anzahl eingesetzter Laserverfahren je Anwender	19
Übersicht 3.4: Struktur des aktuellen bzw. geplanten Laser-Einsatzes nach Verfahrensgruppen	20
Übersicht 3.5: Potential an lasergestützten Meß- und Prüfsystemen	21
Tabelle 3.1: Struktur des Samples der Befragung LASER 2000+	22
Übersicht 3.6: Lasertechnikanwender in der österreichischen Industrie –Ergebnisse der Hochrechnung	23
Übersicht 4.1: Beitrag der Lasertechnik zu Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit	27
Übersicht 4.2: Motive des Einsatzes lasergestützter Fertigungsverfahren	28
Übersicht 4.3: Produktinnovation und Einsatz der Lasertechnik in der Fertigung	29
Übersicht 4.4: Hindernisse der Diffusion im Vergleich	31

1 Einleitung

Hinter dem Akronym LASER – Light Amplifikation by Stimulated Emission of Radiation, Lichtverstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung – verbirgt sich die Grundlage zahlreicher Verfahren für industrielle Fertigung, Materialbearbeitung, Meß- und Nachrichtentechnik¹. Mittlerweile sind lasertechnische Komponenten fester Bestandteil von zahlreichen Gegenständen des täglichen Gebrauchs, der Medizintechnik und der Produktion. Als es in den frühen 60er 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 bis in die 80er Jahre hinein einerseits als wissenschaftsbasiert – d.h. als Ergebnis primär wissenschaftlicher Erkenntnisse – andererseits als Technologien mit eng beschränktem Anwendungspotential; in der anfänglich hohen Unsicherheit über die Anwendbarkeit des Lasers ergibt sich eine auffallende Parallele mit jener des Transistors².

Für den Laser haben sich Einschätzungen zu Art und Umfang der technisch und kommerziell realisierbaren Anwendungen sowie zum Zusammenhang zwischen wissenschaftlichem Erkenntnisfortschritt und technologischem Fortschritt in den 90er Jahren wesentlich verändert³. Empirisch lassen sich für die Lasertechnik enge Wechselwirkungen zwischen wissenschaftlichem Erkenntnisstand, Anwendungsentwicklung und Vermarktung von Produkten anhand von Indikatoren wie z.B. der Anzahl wissenschaftlicher Publikationen, der Anmeldungen von Patenten und der Umsätze mit lasertechnischen Produkten festmachen⁴. Im Wechselspiel zwischen wissenschaftlichem Erkenntnisstand und Verbreitung von Anwendungen sind zumindest zwei Phasen voneinander zu unterscheiden: Bis Ende der 70er Jahre kann tatsächlich von einer vorwiegend „wissenschaftsgetriebenen“ Entwicklung gesprochen werden, in der sich eine Erfindung auf der Suche nach ihren Anwendungen befand; demgegenüber wird das Erkenntnisinteresse am Laser seit Anfang der 80er Jahre durch stetig steigendes Nachfragewachstum auf den Produktmärkten geleitet, wobei die Auseinandersetzung mit wissenschaftlichen Fragestellungen ungebrochen voranschreitet⁵.

Lasertechnik wird vielfach als Schlüsseltechnologie⁶ klassifiziert, die zwar nicht unmittelbar zu vollständigen und endgültigen kommerziell verwertbaren Anwendungen führt, allerdings mit zunehmender Entwicklung ein breites Spektrum von technischen Möglichkeiten eröffnet; der Laser gilt als „enabling technology“. Eine insgesamt hohe Innovationsdynamik beruht dabei vielfach auf Komplementaritäten zwischen Innovationsanstrengungen auf unterschiedlichen Ebenen („innovational complementarities“); Erfolge in einem Bereich (z.B. bei neuen Laserquellen) führen

¹ Für einen Überblick siehe z.B. Siegel et al. (2000) und Weber (1998).

² Siehe Nelson – Romer (1996).

³ Vergleiche z.B. Lipsey et al. (1998) und Nelson – Romer (1996).

⁴ Siehe Grupp (1994) und Grupp (2000).

⁵ Siehe Grupp (2000).

⁶ Siehe beispielsweise Siegel et al. (2000).

auf nachgelagerten Ebenen (z.B. Anwendungen in der Metallbearbeitung) zu einem Anstieg von Innovationen⁷.

Die technische und ökonomische Bedeutung der Lasertechnik wird allerdings auch an Merkmalen erkennbar, die eine Klassifikation des Lasers als „revolutionär“ im Sinne eines Auslösers von technologischem Wandel bei zahlreichen Produkten und Produktionsverfahren nahelegen („radical innovation“ oder „drastic innovation“). Lipsey et al. (1998) sehen im Laser gar – ähnlich wie im Internet – ein Beispiel für eine Querschnittstechnologie (GPT, „general purpose technology“). Demzufolge weist die Lasertechnik die vier Merkmale (i) eines hohen Entwicklungspotentials, (ii) der Anwendbarkeit quer durch (fast) alle Wirtschaftsbereiche, (iii) breite Nutzungsvielfalt sowie (iv) ein komplementäres Verhältnis zu anderen Technologien auf⁸. Das innovative Potential des Lasers reicht einerseits durch meßtechnische Anwendungen über den Einsatz in industrieller und gewerblicher Fertigung weit hinaus, zeigt sich andererseits an einer hohen und weiterhin zunehmenden Vielfalt von Methoden zur Bearbeitung unterschiedlichster Materialien (Glas, Holz, Keramik, Kunststoffe, Metall, Papier etc.) in verschiedenen Branchen.

1.1 Lasertechnik als Gegenstand innovationspolitischer Initiative

Sofern es zutrifft, daß Lasertechnik wesentliche Merkmale einer Schlüssel- bzw. einer Querschnittstechnologie aufweist, besteht ein begründetes forschungs- und industriepolitisches Interesse an der Weiterentwicklung der Lasertechnik und unter Umständen an einer Verstärkung innovationspolitischer Maßnahmen, die den Technologietransfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Wirtschaft sowie die Anwendungsentwicklung unterstützen.

Dieser Logik folgend wurden während der letzten Jahre in zahlreichen Ländern Initiativen zur Stimulierung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Lasertechnik sowie zur Verbreitung lasertechnischer Anwendungen gesetzt. Einerseits werden dabei grundlagennahe Forschungsaktivitäten unterstützt; in Großbritannien beispielsweise finanziert das EPSRC (Engineering and Physical Sciences Research Council)⁹ derzeit rund 60 an Universitäten laufende Projekte mit einem Volumen von rund 20 Mio. Pfund.

Andererseits sind politische Initiativen zur Lasertechnik vielfach breiter – das heißt über rein grundlagenorientierte Forschungsziele hinausreichend – angelegt. Insbesondere in der Bundesrepublik Deutschland finden sich sowohl auf Bundes- als auch auf Länderebene zahlreiche Maßnahmen zu Anwendungsentwicklung und zum Technologietransfer. So unterstützt beispielsweise das BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) im Rahmen des Förderschwerpunkts Laser 2000 den Aufbau eines Netzwerks von Erprobungs- und Beratungszentren, in dem bundesweit etwa 50

⁷ Vergleiche Helpman (1998).

⁸ 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 et al., 1998, S. 43).

⁹ Siehe www.epsrc.ac.uk.

Einrichtungen in 10 regionalen Verbänden zusammengeschlossen sind¹⁰. Die Erprobungs- und Beratungszentren sollen vor allem bei KMU Informationsdefizite zu den Einsatzmöglichkeiten der Lasertechnik abbauen und in den Bereichen Materialbearbeitung und Meßtechnik von der kostenlosen Erstberatung bis hin zur Erprobung des Lasereinsatzes als kompetenter Partner zur Verfügung stehen.

Neben der Beteiligung an der Initiative des BMBF haben deutsche Bundesländer vielfach eigene Strategien entwickelt. Regionale Initiativen finden sich beispielsweise in den Bundesländern Niedersachsen, Bayern und Berlin:

- Die Initiative des Landes Niedersachsen hat bereits im Jahr 1986 zur Gründung des Laser Zentrum Hannover¹¹ geführt; rund 180 Mitarbeiter (davon 72 Wissenschaftlern) arbeiten an diesem Kompetenzzentrum derzeit an F&E-Projekten (Laserentwicklung und –anwendung), technischer und wissenschaftlicher Beratung sowie im Bereich industrienaher Ausbildung.
- Das Bundesland Bayern hat im Jahre 1994 mit 9 Projekten einen Forschungsverbund Lasertechnik (FORLAS I) eingerichtet. Seit August 1997 werden im drei-jährigen Schwerpunkt FORLAS II Projekte aus Industrie und Wissenschaft mit einer Gesamtsumme von ca. 13 Mio. DM unterstützt.
- Berlin, hat ebenfalls zahlreiche Maßnahmen gesetzt, um sich einerseits als Wissenschaftsstandort für Lasertechnik, Optoelektronik, Photonik und optische Feinmechanik zu positionieren, andererseits den Transfer in die Wirtschaft sowie die Ansiedlung und Gründung entsprechender Unternehmen voranzutreiben. Die Aktivitäten reichen in die 80er Jahre zurück – z.B. durch Gründung eines Laser-Medizin-Zentrums (1985) und eines Festkörperlaserinstituts (1987) – und wurden in den 90er Jahren verstärkt; so wurde 1994 ein Forschungsverbund Optoelektronik geschaffen und im Jahre 1998 ein Innovationszentrum für Optik, Optoelektronik und Lasertechnik („Photonikzentrum“) errichtet.

In Österreich ist eine nachhaltige forschungs- und technologiepolitische Fokussierung im Bereich der Lasertechnik bislang nicht erfolgt. Akzente wurden lediglich durch einen mehrjährigen, vom Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung im Jahre 1989 initiierten Technologie-

¹⁰ Strategische Ziele des deutschen Förderkonzepts sind:

1. Erschließung der wissenschaftlich-technischen Grundlagen für die Lasertechnologien des 21. Jahrhunderts;
2. Unterstützung innovativer Lasertechniken zum Erhalt und Ausbau der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der laserherstellenden und laseranwendenden Industrie;
3. Abbau von Wissens- und Technologiebarrieren bei der Anwendung von Lasern.

Neben der Bildung eines Netzwerks für den Technologietransfer werden durch die Initiative Laser 2000 Projekte in den Themenbereichen (i) Grundlagen für neue Lasergenerationen, (ii) Präzisionsbearbeitung mit Lasern, (iii) Grundlagen zur Erschließung neuer Anwendungsfelder, (iv) Lasermedizin sowie (v) ein Leitprojekt Modulare Dioden Laser Strahlwerkzeuge gefördert. Siehe auch www.vdi.de/tz-pt/laser/projektfoerderung.htm.

¹¹ Das Laserzentrum Hannover ist nicht das einzige große Forschungszentrum mit Schwerpunkt Lasertechnik in der BRD. Das Fraunhofer Institut für Lasertechnik (ILT, Aachen) ist ein Großforschungszentrum mit ca. 230 Mitarbeitern (siehe www.ilt.fhg.de) und das Fraunhofer Institut Werkstoff- und Strahltechnik in Dresden hat ebenfalls ein Stammpersonal von über 100 Mitarbeitern, davon rund 50 Wissenschaftlern (siehe www.iws.fhg.de).

schwerpunkt „Industrielle Lasertechnik“ sowie durch vereinzelte Projektförderungen der Fonds (insbesondere des FFF) gesetzt.¹² Nichtsdestoweniger hat eine Reihe von universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen mit Standorten in Graz, Leoben, Linz, Seibersdorf und Wien seit den 80er Jahren Schwerpunkte im Bereich der Lasertechnik gesetzt und vielfach einen hohen Spezialisierungsgrad erreicht¹³. Darüber hinaus haben sich um Forschungsinstitute Netzwerke mit hoher Beteiligung industrieller Partner wie z.B. die Arbeitsgemeinschaft für Lasertechnik (ARGELAS) gebildet.¹⁴

1.2 Aufgabenstellung und Vorgangsweise

Vor dem Hintergrund einer vielfach vermuteten hohen Bedeutung von Anwendungen der Lasertechnik für die Wettbewerbsfähigkeit in einzelnen Branchen hat das BMVIT das WIFO im Frühjahr 2000 beauftragt eine empirisch fundierte Analyse zu

- (i) Ausmaß und Diffusion von Anwendungen der Lasertechnik in der österreichischen Sachgüterproduktion sowie
- (ii) Verbesserungsmöglichkeiten bei der Erschließung der Anwendungspotentiale der Lasertechnik in der heimischen Industrie

vorzunehmen. Die Bearbeitung des Projektes erfolgte durch umfangreiche Literaturrecherchen, Interviews mit ausgewählten Experten und die breit angelegte Unternehmensbefragung LASER 2000+.

Die Literaturrecherche zu technischen und wirtschaftlichen Fragestellungen bildet einerseits den Ausgangspunkt des Projektes für die inhaltliche Konzeption der Unternehmensbefragung wurde andererseits begleitend bzw. in Hinblick auf die Bewertung der Befragungsergebnisse durchgeführt. Sie stützt sich wesentlich auf Einträge in der Literaturdatenbank Lasertechnologie des Fachinformationszentrum Technik (FIZ, Frankfurt am Main) sowie auf eine Reihe von internationalen Fachzeitschriften.¹⁵ Zudem wurden während des Projekts Interviews mit Experten aus Forschung, Lehre und Industrie durchgeführt.¹⁶

¹² Vergleiche insbesondere BMWF (1990).

¹³ Vergleiche z.B. Schuöcker et al. (2000). Dieser Eindruck entsteht auch bei Durchsicht der Einträge zum Thema Laser in die österreichische Forschungsdatenbank AURIS (Austrian Research Information System; www.auris.ac.at).

¹⁴ Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang auch das Laserzentrum Leoben, das eng mit industriellen Partnern sowie dem im Rahmen von K-Plus initiierten Werkstoff-Kompetenzzentrum Leoben zusammenarbeitet.

¹⁵ Die verwendete Literaturdatenbank Lasertechnologie des FIZ in der Version 99/1 enthält rund 40.000 Nachweise weltweiter Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, Büchern, Forschungsberichten, Konferenzberichten und Dissertationen. Zu den verwendeten Fachzeitschriften gehören u.a. folgende: Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Assembly Automation, Circuit World, Eurolaser, Industrial Robot, Industrieanzeiger, Maschinenmarkt, Rapid Prototyping Journal, SMM Fertigungstechnik, Sensor Review, wt Werkstattstechnik.

¹⁶ Eine Reihe von weiterführenden Hinweisen zu aktuellen Forschungsthemen, Diffusionshemmnissen und Einsatzbereichen lasertechnischer Anwendungen verdanken die Autoren der Studie insbesondere Dipl.Ing. Berghammer (Trotec Wels), Mag. Bittner-Rohrhofer und Prof. Dr. Schuöcker (Institut für spanlose Fertigung und Hochleistungslasertechnik der TU Wien), Mag. Klingsberger (HTL Braunau), Dr. Mayer (Optech Consulting

Den Kern des Projektes bildet LASER 2000+, eine breit angelegte schriftliche Unternehmensbefragung, die in Verbindung mit dem Konjunkturtest (KT) des WIFO im Juli 2000 durchgeführt wurde. Mit 586 auswertbaren Fragebögen wurde eine Rücklaufquote von über 25% erreicht, sodaß eine für die österreichische Sachgüterproduktion auch weitgehend repräsentative Datenbasis vorliegt¹⁷. Um die Branchenzugehörigkeit als Strukturmerkmal in der Auswertung berücksichtigen zu können, wurden die 5 Branchengruppen (BG) Elektro, Holz & Papier, Maschinen & Fahrzeuge, Metall, sowie sonstige Branchen gebildet.¹⁸ Zur Darstellung von Unterschieden im Antwortverhalten in Abhängigkeit von der Unternehmensgröße dient eine Dreiteilung des Samples in kleine Unternehmen (bis 35 Beschäftigte), mittlere Unternehmen (36-160 Beschäftigte) und große Unternehmen (mehr als 160 Beschäftigte).¹⁹ Darüber hinaus wurden im Rahmen der Auswertung jene 160 Unternehmen, die bereits jetzt bzw. mittelfristig (bis 2005) Lasertechnik in der Fertigung anwenden, als eigene Gruppe betracht.²⁰

Inhaltlich liefert die Befragung LASER 2000+ empirische Evidenz für eine Reihe von Aspekten des Lasertechnikeinsatzes in der österreichischen Industrie. Bei zahlreichen Fragestellungen wurde eine Überprüfung der Ergebnisse auf statistische Signifikanz (Probit-Analyse) durchgeführt, um Verzerrungen, die sich aus Strukturmerkmalen des Samples ergeben, aufzuzeigen. Die Probit-

Taegerwilen), Dr. Stingl (Femtolasers Korneuburg), Ing. Sulzer (Lasercut Wien) sowie Dr. Waldhauser (Laserzentrum Leoben).

¹⁷ Einschränkungen für den Repräsentationsgrad basieren auf der Struktur des Samples (vergleichsweise niedrige Rücklaufquote bei kleinen Unternehmen); siehe dazu auch Tabelle 3.1. Bei der Interpretation von Tabelle 3.1 ist außerdem zu beachten, daß bei den für die gesamte Industrie ausgewiesenen Angaben (Spalte "Österreich 1999") in einigen Branchen gewerbliche Unternehmen mit weniger als 20 bzw. 10 unselbständig Beschäftigten nicht berücksichtigt sind.

¹⁸ Für die Unternehmen liegt die Branchenzugehörigkeit in der Industrieklassifikation NACE vor. Die Aggregation von Branchen zu Branchengruppen wurde aus auswertungstechnischen Gründen erforderlich; Literaturrecherchen und Experteninterviews zum Einsatz lasertechnischer Fertigungsverfahren in einzelnen Branchen bildeten dabei Orientierungspunkte. Die Branchengruppe Elektro setzt sich aus den 4 NACE-Branchen Herstellung von Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräten und –einrichtungen (30), Herstellung von Geräten der Elektrizitätserzeugung und –verteilung (31), Rundfunk-, Fernseh- und Nachrichtentechnik (32) sowie Medizin-, Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Optik (33) zusammen. In der Branchengruppe Holz & Papier befinden sich die 4 Branchen Be- und Verarbeitung von Holz (20), Herstellung und Verarbeitung von Papier und Pappe (21), Verlagswesen, Druckerei, Vervielfältigung von bespielten Ton-, Bild-, und Datenträgern (22) sowie Herstellung von Möbeln, Schmuck, Musikinstrumenten, Sportgeräten, Spielwaren (36). Die Branchengruppe Maschinen & Fahrzeuge enthält Maschinenbau (29), Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenteilen (34) sowie sonstiger Fahrzeugbau (35). In der Branchengruppe Metall finden sich Metallerzeugung und Bearbeitung (27) sowie die Herstellung von Metallerzeugnissen (28). Die Branchengruppe sonstige Branchen enthält Unternehmen der Branchen Herstellung von Nahrungs- und Genußmitteln (15), Herstellung von Textilien (17), Herstellung von Bekleidung (18), Ledererzeugung und –verarbeitung (19), Herstellung von Chemikalien und chemischen Erzeugnissen (24), Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren (25), Herstellung und Bearbeitung von Glas und Waren aus Steinen und Erden (26) sowie Rückgewinnung (37).

¹⁹ Die Wahl der Größenklassen wurde willkürlich vorgenommen, erlaubt allerdings die Bildung annähernd gleich großer Gruppen von jeweils knapp 200 antwortenden Unternehmen. Für statistische Auswertungen von Zusammenhängen zwischen Unternehmensgröße und Antwortverhalten wurde direkt auf die durch den Konjunkturtest verfügbare Zahl der Beschäftigten zurückgegriffen.

²⁰ An die Gruppe der – zumindest in absehbarer Zeit – aktiven Anwender wurde außerdem eine Reihe von Fragestellungen gerichtet, deren Beantwortung ein gewisses Maß an Erfahrung mit Lasertechnik voraussetzt (siehe Anhang 1). Im vorliegenden Bericht wird die Subgruppe jener 111 Unternehmen, die bereits jetzt lasertechnische Fertigungsverfahren im Einsatz haben, vielfach gesondert dargestellt.

Analyse erlaubt es, zwischen scheinbaren Trends, die sich aus der alleinigen Betrachtung der Rohdaten ergeben – etwa besondere Unterschiede des Antwortverhaltens in Abhängigkeit von Unternehmensgröße, Zugehörigkeit zu einer Branchengruppe oder Erfahrungshorizont als Anwender – und statistisch signifikanten Zusammenhängen zu unterscheiden.²¹

Aus der Befragung LASER 2000+ werden Aussagen zum zeitlichen Verlauf der Verbreitung lasergestützter Meß- und Prüfsysteme sowie der wichtigsten Verfahrensgruppen lasergestützter Materialbearbeitung möglich; Einsatzmotive, Wachstumsperspektiven sowie Hemmnisse der Diffusion können quantitativ abgeschätzt werden. Zudem lassen sich qualitative Aussagen über das heimische Angebot von Produkten, die lasertechnische Komponenten enthalten, treffen. Mit Einschränkungen läßt sich infolge der hohen Beteiligung an der Befragung eine Abschätzung der Zahl von Anwendern in der gesamten heimischen Sachgüterproduktion vornehmen. Letztlich ermöglicht der empirische Befund von LASER 2000+ Schlußfolgerungen zu technologiepolitischen Handlungsoptionen, die sich aus der Perspektive von (aktuellen und potentiellen) industriellen Anwendern der Lasertechnik ergeben.

Für den vorliegenden Bericht wurde folgender Aufbau gewählt:

In Kapitel 2 werden Merkmale und Anwendungsformen lasertechnischer Fertigungsverfahren skizziert, die internationale Entwicklung des Lasermarktes dargestellt und einige grundsätzliche Aspekte von Forschung und Entwicklung im Bereich der Lasertechnik aufgezeigt. Kapitel 3 ist den Trends zum Einsatz der Lasertechnik in Österreich gewidmet (insbesondere dem Wachstum der Zahl der Anwender) und beinhaltet eine Schätzung zur Anzahl der Lasertechnikanwender in der heimischen Industrie. In Kapitel 4 werden empirische Befunde zu Einsatzmotiven und Diffusionshemmnissen der Lasertechnik vorgestellt; dabei wird auch auf den Beitrag des Lasertechnikeinsatzes zu Wettbewerbsfähigkeit und Innovationen innerhalb der anwendenden Unternehmen eingegangen. Abschließend werden in Kapitel 5 vor dem Hintergrund der Einschätzungen durch industrielle Anwender im Rahmen der Unternehmensbefragung LASER 2000+ innovations- und technologiepolitische Schlußfolgerungen gezogen.

²¹ In der vorliegenden Studie wird die statistische Signifikanz von Analyseergebnissen durch in Klammer gesetzte Angabe von Konfidenzintervallen dargestellt. Die Konfidenzintervalle z.B. 90, 95 und 99 Prozent sind ein Maß für die Wahrscheinlichkeit, daß ein bestimmtes Strukturmerkmal – wie etwa Branchenzugehörigkeit, Unternehmensgröße, Unternehmen ist Anwender – einen statistisch nachweisbaren Einfluß auf das Antwortverhalten hat. Die angegebenen Werte der Konfidenzintervalle sind als „Mindestwerte“ für die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenhangs zu interpretieren. An dieser Stelle sei ausdrücklich Mag. Peter Huber für wertvolle Anregungen und Mitwirkung an der Analyse gedankt.

2 Nutzungsformen und Entwicklungstrends der Lasertechnik

2.1 Lasertechnische Produkte und Verfahren

Lasertechnik zeichnet sich insgesamt durch eine steigende Vielfalt von Verfahren und Anwendungen aus. In der Meßtechnik beispielsweise wird Laserlicht eingesetzt um Längen (von 10^{-15}m bis 10^9m) zu bestimmen, Geschwindigkeitsmessungen sowie die Messung von Strömungen und Strömungsprofilen unter Nutzung des Doppler-Effekts durchzuführen (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 den Laser 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. nicht-invasive Diagnostik oberflächennaher Tumore) weit hinausreicht. Immerhin findet der Laser auch in der Produktion von Gütern ein breites Spektrum von meßtechnischen Anwendungsmöglichkeiten vor, das von der Führung oder Positionierung von Werkzeugen (bzw. Werkstücken) über die Kontrolle von Prozeßparametern bis hin zur Qualitätskontrolle der Endprodukte reicht.

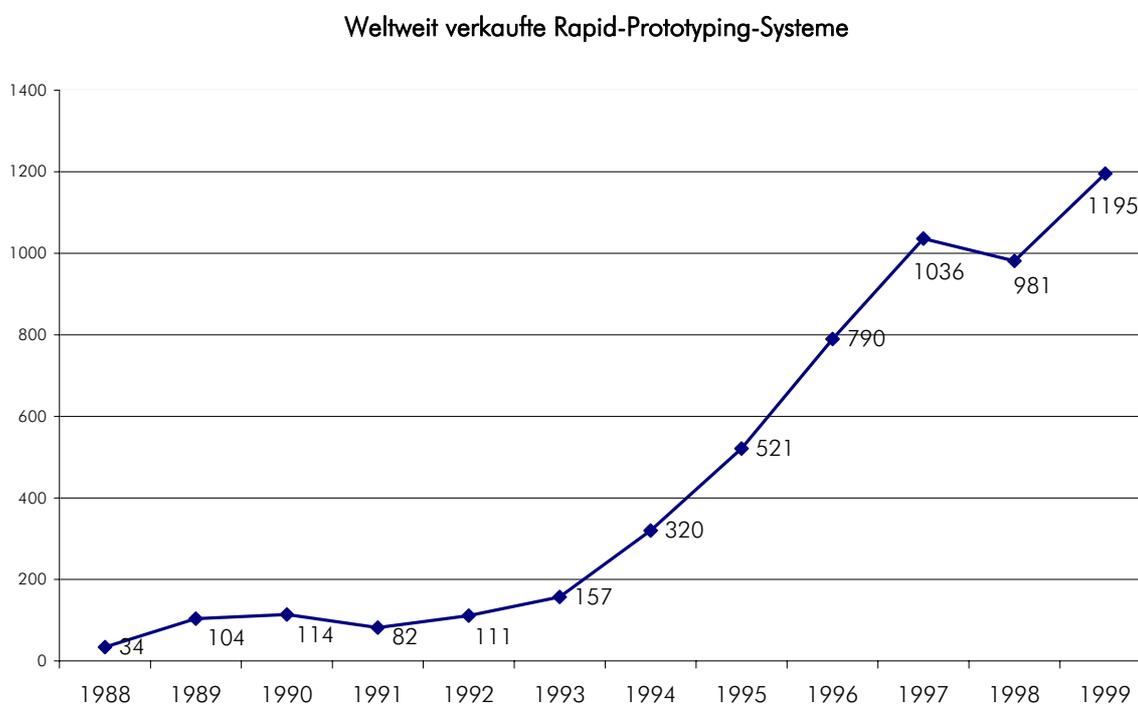
Im Segment der Materialbearbeitung zeigt sich ebenfalls eine hohe – und noch steigende – Nutzungsvielfalt des Lasers. Außerdem erweitert sich das Spektrum möglicher Anwenderbranchen zusehends. Für die lasergestützte Produktion sind während der 80er und 90er zahlreiche neue Verfahren entwickelt und bestehende Verfahren kontinuierlich verbessert worden. 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. Damit ergibt sich ein – zumindest theoretisch – sehr breites Spektrum von Anwendungsmöglichkeiten, für die sowohl technische als auch kommerzielle Voraussetzungen gewährleistet sind. Im Einzelfall stehen allerdings den Vorteilen des Lasers auch Nachteile gegenüber, die wenn nicht infolge der Materialeigenschaften der Werkstücke so doch durch Verfügbarkeit kostengünstiger alternativer Methoden Grenzen für den Lasertechnik-Einsatz aufzeigen.

Aus Tabelle 2.1 geht hervor, daß lasertechnische Verfahren der Materialbearbeitung ein Reihe von Besonderheiten aufweisen, die in vielen Fällen einen konkurrenzlosen Einsatz in der industriellen Produktion erlauben; zudem wird ersichtlich, daß Anwendungsmöglichkeiten in den meisten Industriebranchen vorliegen. Lasertechnik eignet sich zumindest theoretisch zur Bearbeitung fast aller Materialien unabhängig von Härte, Schmelzpunkt oder sonstiger physikalischer Eigenschaften. Gute Automatisierbarkeit lasertechnischer Verfahren und Kombinationsmöglichkeiten mit anderen Technologien (CAD/CAM, Roboter), Präzision bis in den Mikrometerbereich, ressourcen- und materialschonende Anwendbarkeit gewährleisten einen weitgehend problemlosen Einsatz. Darüber hinaus kommen laufende Trends industrieller Produktionsweise wie z.B. die Einführung flexibler Fertigungskonzepte in der Produktion und Miniaturisierung von Produkten der Lasertechnik zugute.

Tabelle 2.1: Merkmale und Anwendungen von ausgewählten lasergestützten Fertigungsverfahren		
Lasergestützte Verfahren	Besonderheiten und Vorteile der Verfahren	Beispiele für Anwendungen bzw. Anwendungsbereiche
Schneiden	Hohe Genauigkeit (geringe Schnittfugenbreite), enge Fertigungstoleranzen, wenig Materialabfall beim Ausschneiden beliebiger Konturen; Vorteile hinsichtlich Gratbildung, Glätte der Schnittflächen und erfolgter Wärmeeinbringung auf Werkstücke; auch dreidimensionales Schneiden möglich.	Haupteinsatzbereich Schneiden von Metallblechen (Stahl, Edelstahl, Aluminium); Einsatz auch für technische Textilien (z.B. Nylongewebe für Airbags), Glas-Carbonfasern, 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 Schweiß-Anwendungen bei metallischen Materialien (aber auch Kunststoffen) in Automobil- und Maschinenbau; Punktschweißungen an Kleinteilen wie z.B. Brillengestellen und Zahnspangen; Fügen ungleicher Materialkombinationen wie z.B. Metall-Kunststoffverbindungen in der Medizintechnik; Weich- und Hartlöten von elektron. Bauteilen, ultrafeinen Kontaktflächen bis hin zu Karosserieteilen.
Bohren	Lochdurchmesser bis in den µm-Bereich mit engen Fertigungstoleranzen; Auch für extrem 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-/Glasfasern), Einspritzdüsen in Motoren und Brennkammern, Turbinschaufeln, 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, Charchenzeichnung 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 und nicht das gesamte Werkstück werden gehärtet / 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 etc.	Härten und Beschichten in Automobilindustrie und Werkzeugbau wie zum Beispiel Press- und Schneidwerkzeuge oder Spritzgußformen; Vergütung hochbelasteter / hochwertiger Bauteile wie z.B. Aufnahmelager der Kurbelwelle, Nockenwellen, Ventileile, Zahnräder, Zylinderbuchsen; Auftrag elektrischer Leiterbahnen in Kunststoffplatten; kurzzeitiges thermisches Härten von Duroplasten.
Abtragen, Reinigen	Geringe Eindringtiefe beim Reinigen durch Verwendung von IR- und UV-Laserlicht; Lokal begrenztes Reinigen / 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 Tiefziehgesenks).	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.
Quelle: WIFO, eigene Recherchen auf Basis von Literatur und Interviews mit österreichischen Unternehmen.		

Das Potential der Einsatzmöglichkeiten des Lasers in der Fertigung ist bei weitem nicht erschöpft. Gemeinsam mit Grundlagenforschung und Innovationsanstrengungen zur Weiterentwicklung lasertechnischer Komponenten (z.B. Laserquellen) tragen neue Methoden und Verfahren zu einer laufenden Erhöhung der Nutzungsvielfalt in der industriellen Fertigung bei²². Zahlreiche auf Lasertechnik basierende Verfahren erreichen die für einen breiten industriellen Einsatz erforderliche Reife. Am Beispiel von Systemen für Rapid Prototyping²³ zeigt sich, daß nach ersten Entwicklungen in der zweiten Hälfte der 80er Jahre eine Phase der Verbesserung bestehender sowie der Entwicklung neuer Verfahren eingesetzt hat, die während der 90er Jahre zu einem – gemessen an weltweit verkauften Systemen – starken Ansteigen führte (vgl. Übersicht 2.1).

Übersicht 2.1: Marktentwicklung bei Systemen des Rapid Prototyping



Quelle: Wohlers 2000 Report zitiert nach Kochan (2000).

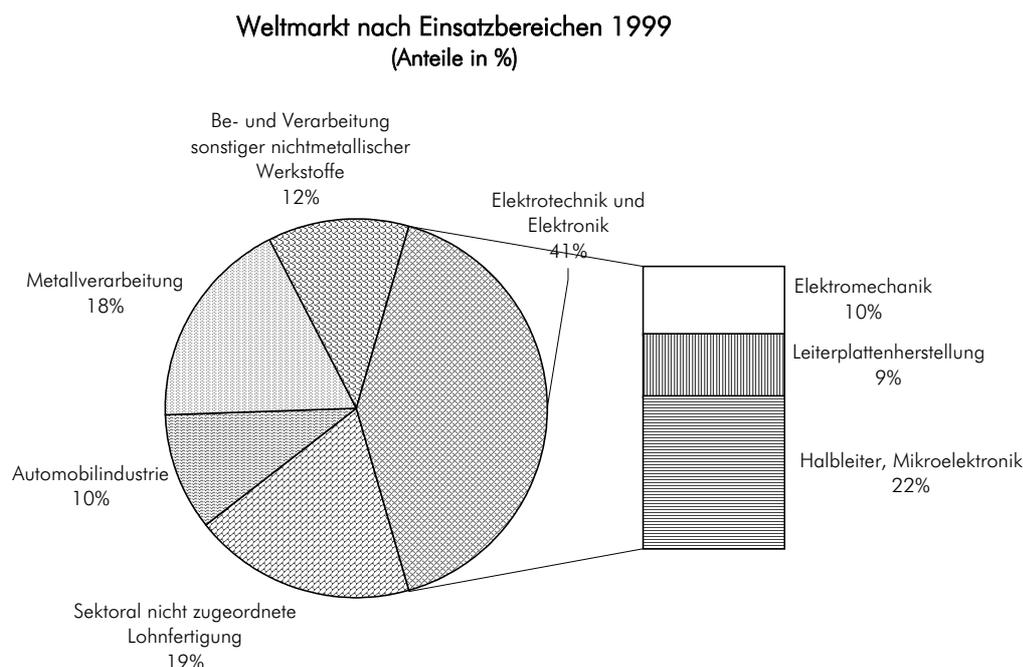
Neben dem breiten Spektrum an Verfahren gehört die Einsatzmöglichkeit in weiten Bereichen der industriellen Produktion zu den besonderen Merkmalen lasertechnischer Fertigungsverfahren (siehe Übersicht 2.2). Internationale Absatzzahlen zu Lasersystemen für die Materialbearbeitung liefern Indizien für eine besonders hohe Verbreitung der Lasertechnik in einige Branchen bzw. Sektoren der Industrie. Ein vergleichsweise hoher Anteil von Lasersystemen in den Branchengruppen Metallverarbeitung und Automobilindustrie erklärt sich mit der starken Stellung lasertechnischer Verfahren

²² Für einen Überblick siehe beispielsweise Siegel et al. (2000) und Weber (1998).

²³ Unter Rapid Prototyping versteht man allgemein Konzepte und Methoden zum „schnellen“ Bau von dreidimensionalen Modellen; dabei werden vorwiegend lasertechnische Verfahren eingesetzt.

zur Bearbeitung von Metallen (insbesondere Schweißen und Schneiden). Die dominierende Position der Elektrobranche als Abnehmer von Lasersystemen ergibt sich weniger durch Materialbearbeitung im Bereich der Elektromechanik als durch die besondere Stellung lasertechnischer Verfahren in der Mikroelektronik (z.B. Mikrolithographie) und bei der Fertigung von Leiterplatten.

Übersicht 2.2: Weltmarkt für Lasersysteme in der Materialbearbeitung (1999: 3,23 Mrd. Euro)



Quelle: Optech Consulting AG, CH-Tägerwilen

Marktsegment	Laserquellen			Lasersysteme		
	1997	1998	1999	1997	1998	1999
Telekommunikation	0,8	0,9	1,6	5,0	6,1	9,2
Materialbearbeitung (ohne Mikrolithographie)	0,7	0,9	1,0	2,3	2,7	3,2
Mikrolithographie				2,2	2,5	3,2
Informationstechnik und Konsumelektronik	0,3	0,4	0,6	33,2	38,6	41,9
Medizin	0,3	0,4	0,4	0,9	1,0	1,3
Meßtechnik und Forschung	0,2	0,2	0,2	1,1	1,3	1,4

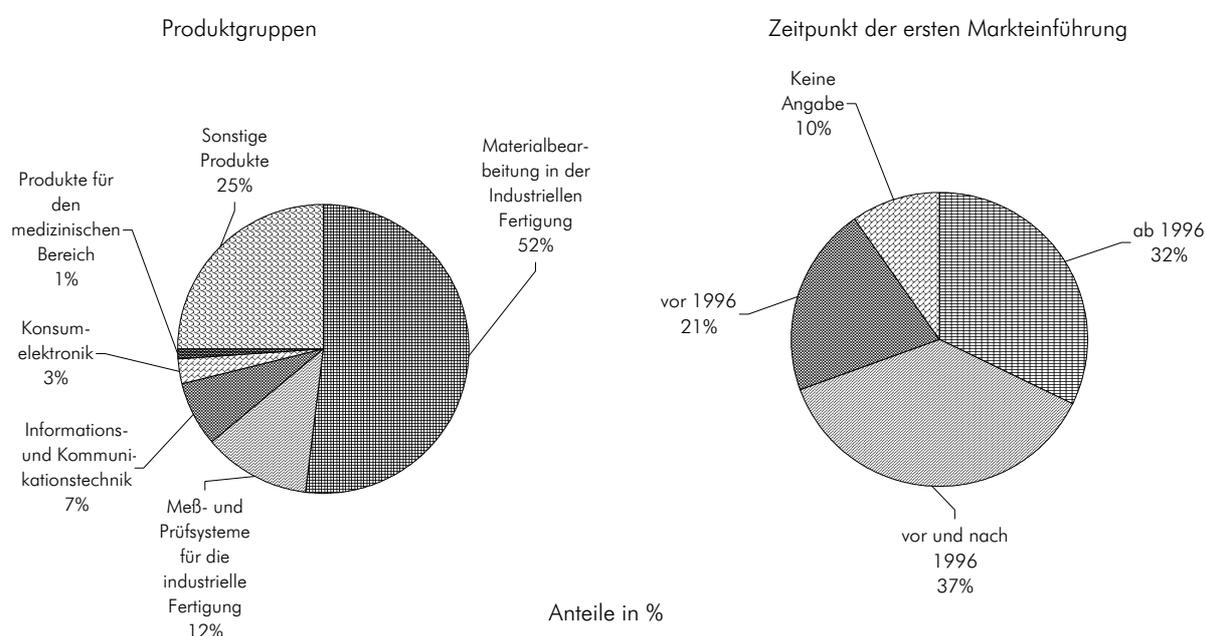
Quelle: Optech Consulting AG, CH-Tägerwilen

Insgesamt reicht die Bedeutung der Lasertechnik über den Einsatz von Systemen zur Materialbearbeitung wesentlich hinaus (siehe Tabelle 2.2). Die Verteilung nach Anwendungsbereichen der auf dem Weltmarkt erzielten Umsätze mit Laserquellen bzw. –systemen zeigt gegen Ende der 90er

Jahre eine gemessen am Umsatzvolumen besonders hohe Dynamik für Telekommunikation, Informationstechnik und Konsumelektronik; im wesentlichen kommt damit ein enormes Wachstum bei optischen Speichermedien und Übertragungsverfahren zum Ausdruck. Bedeutung gewinnt die Lasertechnik auch bei meßtechnischen Verfahren sowie in der Medizintechnik, die sich mit zunehmender Entwicklung lasergestützter Diagnose- und Behandlungsmethoden während der 90er Jahre zu einem – gemessen an Umsätzen – bedeutsamen Anwendungsgebiet der Lasertechnik entwickelt hat²⁴.

Übersicht 2.3: Struktur der Lasertechnik-Produkte heimischer Anbieter

Produkte, die Lasertechnik-Komponenten enthalten nach Produktgruppe und Markteinführung



Quelle:

Quelle: WIFO-Unternehmensbefragung „LASER 2000+“

Mit jährlichen Zuwachsraten in zweistelliger Höhe hat die Lasertechnik in den 90er Jahren eine starke Wachstumsdynamik gezeigt. Allein im Anwendungsbereich Materialbearbeitung betrug nach Angaben von Optech Consulting das durchschnittliche jährliche Wachstum bei lasergestützten Fertigungssystemen im Zeitraum von 1986 bis 1999 rund 13%; für die nächsten 10 Jahre wird eine Verdreifachung des gegenwärtig erreichten Niveaus prognostiziert. Einerseits ist die Nachfrage nach lithographischen Verfahren, die vorwiegend in der Mikroelektronik zur Erzeugung von Halb-

²⁴ Weber (1998) verweist auf die Vielfalt lasermedizinischer Methoden: Anwendungen reichen von Diagnosemethoden (wie zum Beispiel Bestimmung der Durchflußgeschwindigkeit des Blutes, Blutgruppenbestimmung, Vitalitätsmessung der Zahnpulpa, Zählung der Blutkörperchen, optische Tomographie) bis hin zu therapeutischen Veränderungen an und Entfernung von Gewebe (Korrektur der Hornhautkrümmung, Entfernung kariöser Zahnschubstanz, Exzision benigner Mundschleimhauttumore, Gefäßrekanalisation, Zertrümmerung von Blasen- und Gallensteinen, Tumortherapie etc.). Siehe auch Altmeyer – Eickenbusch (2000) für Anwendungen von Ultrakurzzeitlasern in Biologie und Medizin.

leiterbauelementen eingesetzt werden, ungebrochen. Andererseits sind lasergestützte Fertigungsverfahren wie z.B. Schneiden und Schweißen fester Bestandteil industrieller Produktion und Steigerungen sind sowohl bei weitgehend als etabliert geltenden Anwendungen als auch bei neuen Anwendungen und Verfahren zu erwarten.

Ein breites Spektrum von Einsatzmöglichkeiten der Lasertechnik wird auch daran erkennbar, daß unterschiedlichste Produkte, und zwar sowohl Investitionsgüter als auch Konsumgüter lasertechnische Komponenten enthalten. Aus der Befragung LASER 2000+ geht beispielsweise hervor, daß ein überraschend hoher und wachsender Anteil der heimischen Unternehmen Produkte fertigt, die Lasertechnik-Komponenten enthalten. Insgesamt geben 62 von 586 befragten Unternehmen an, bereits entsprechende Produkte herzustellen (siehe Übersicht 2.3).

Für die 90er Jahre ist dabei eine steigende Tendenz festzustellen, die auch mittelfristig anhält; so wollen bis zum Jahr 2005 70 der befragten Unternehmen entsprechende Produkte auf den Markt bringen. Das Ergebnis spiegelt die universellen Einsatzmöglichkeiten des Lasers, von einfachen Laserdioden in elektronischen Baugruppen über die Positionierung des Werkstücks in Werkzeugmaschinen und die lasermeßtechnische Überwachung von Prozeßen bis hin zu informations- und nachrichtentechnischen Produkten. Bei den heimischen Anbietern lasergestützter Produkte liegt der Schwerpunkt eindeutig bei der industriellen Fertigung (Materialbearbeitung, mit einigem Abstand meßtechnische Anwendungen im Fertigungsprozeß).

2.2 Forschung und Entwicklung im Bereich Lasertechnik

Wissenschaftliche Grundlagenforschung und Entwicklung lasertechnischer Komponenten schaffen die grundsätzlichen Voraussetzungen für einen auch unter kommerziellen Aspekten tragfähigen Einsatz innovativer Laserverfahren. Große Hoffnungen werden beispielsweise in die Entwicklung leistungsfähiger Diodenlaser²⁵ und von Ultrakurzpulslasern²⁶ gesetzt. Hoher Forschungsbedarf besteht allerdings auch in der Anwendungsentwicklung. Einerseits liegt für die einzelnen Verfahren ein unterschiedliches Entwicklungsniveau vor; andererseits ergeben sich zahlreiche Fragestellungen mit der Entwicklung neuer Verfahren bzw. mit der Übertragung an bestimmten Materialien bereits erprobter und etablierter Verfahren auf neue Materialien:

- Unterschiedlicher Reifegrad der lasertechnischen Verfahren und somit unterschiedliche Erfordernisse für Verfahrensverbesserungen ergeben sich beispielsweise nach Dahmen – Kreuz (1998). Demzufolge werden Schneiden und Schweißen mit Lasertechnik als Stand der Technik und Auftragsschweißen, Löten, Reinigen, Umschmelzen und Urformen (Rapid Prototyping) als prototypisch klassifiziert; demgegenüber werden für das Umformen und die Erzeugung dünner Schichten die technischen Grundlagen erarbeitet und Sintern sowie Schweißen von Kunststoffen gelten als an der Schwelle zur Einführung in die industrielle Praxis.

²⁵ Dahmen – Kreuz (1998) diskutieren neuer Entwicklungen bei Laserquellen. Bryden (2000) geht auf jüngste Entwicklungen und erste Erfolge im Einsatz leistungsstarker Diodenlaser ein.

²⁶ Altmeyer – Eickenbusch (2000) diskutieren Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten der Femtosekunden-Laser.

- Messler (2000) argumentiert am Beispiel des Laser-Schweißens, daß nicht nur für den Einsatz bei neuen Materialien, sondern auch für das Laser-Schweißen metallischer Materialien Forschungsbedarf (z.B. Entwicklung hinreichender Prozeßmodelle) besteht, selbst wenn die Verfahren bereits einen hohen Reifegrad erreicht haben.²⁷
- Die Übertragung von Verfahren auf bislang nicht primär mit Laser bearbeitete Werkstoffe stellt ebenfalls hohe Ansprüche an die Entwickler. So verweisen z.B. Mistry (1997) und Messler (2000) auf Fortschritte und bestehende Entwicklungserfordernisse im Zusammenhang mit der Nutzung des Laserstrahl-Schweißens von Kunststoffen. Bryden (2000) hält den Einsatz leistungsstarker Diodenlaser zum Verbinden nicht-metallischer Werkstoffe für insgesamt vielversprechend, betont gleichzeitig den niedrigen Reifegrad.

Das industrielle Forschungspotential liegt in Österreich vorwiegend auf der Anwenderseite zumal mit lasertechnischen Produkten bereits etablierte Unternehmen (bspw. IGM und Trodat) sowie innovative Neugründungen (bzw. Spin-Offs) der letzten Jahre (z.B. Femtolasers, High Q Laser, Incision) eher Ausnahmefälle sind²⁸. Die heimischen Anbieter von Produkten, die Lasertechnik-Komponenten enthalten, spielen in der Entwicklung derselben zum Teil eine tragende Rolle: Im Rahmen der Befragung LASER 2000+ hat sich beispielsweise gezeigt, daß rund ein Viertel jener 62 Unternehmen, die angeben Projekte zur Entwicklung von Produkten mit lasertechnischen Komponenten durchgeführt zu haben, eine wesentliche Beteiligung aufweist; für ein weiteres Viertel ist die Entwicklung lediglich unter Beteiligung des Betriebs, für rund die Hälfte gänzlich außer Haus erfolgt.

Beteiligung an EUREKA-Projekten zu Lasertechnik

	BE	DK	DE	EL	ES	FR	IT	NL	AT	PT	FI	SE	GB	IE	CH	Sonstige	Insgesamt
Projektbeteiligungen absolut ¹⁾	6	9	27	4	9	16	18	11	8	4	4	9	14	2	6	29	
Projektbeteiligungen in % ¹⁾	12,5	18,8	56,3	8,3	18,8	33,3	37,5	22,9	16,7	8,3	8,3	18,8	29,2	4,2	12,5	60,4	
Projektleitung absolut ¹⁾	-	2	11	-	1	4	5	7	2	1	3	-	4	-	2	6	48
Projektleitung in % ¹⁾	-	4,2	22,9	-	2,1	8,3	10,4	14,6	4,2	2,1	6,3	-	8,3	-	4,2	12,5	100,0
Projektkosten in MEuro ²⁾	5,49	6,96	91,65	2,11	12,26	92,83	146,99	8,90	4,54	4,12	2,69	4,30	29,75	0,20	2,97	12,47	452,60 ³⁾
Anteil an den Projektkosten in % ²⁾	1,2	1,5	20,3	0,5	2,7	20,5	32,5	2,0	1,0	0,9	0,6	0,9	6,6	0,0	0,7	2,8	100,0

Q: EUREKA - Projektdatenbank; eigene Berechnungen. -¹⁾ 48 Projekte berücksichtigt. -²⁾ 47 Projekte berücksichtigt. -³⁾ incl. 24,37 MEuro den einzelnen Ländern nicht zurechenbar.

Tabelle 2.3: Beteiligung österreichischer Akteure an EUREKA-Projekten

Quelle: Datenbankabfrage EUREKA

²⁷ Anwendungsmöglichkeiten des Laser-Schweißens bei Kunststoffen (Thermoplasten) sind derzeit beschränkt; Mistry (1997) spricht in diesem Zusammenhang von „early stage of exploitation“.

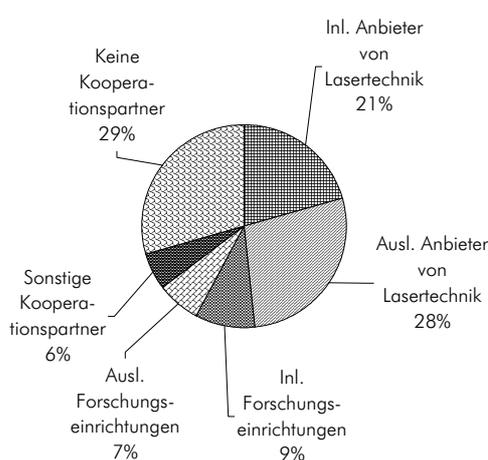
²⁸ Schuöcker et al. (2000) betonen in diesem Zusammenhang, daß in Österreich „auf dem Gebiet der Produktion von Geräten für die Lasertechnik leider immer noch ein Nachholbedarf gegenüber der Bundesrepublik Deutschland, aber auch der Schweiz und Großbritannien [...]“ vorliegt.

F&E-Kooperationsprojekte spielen im Bereich der Lasertechnik eine wichtige Rolle und sind als Indiz für Spezialisierungsvorteile oder das Fehlen von komplementärem Know-How im eigenen Unternehmen zu interpretieren. Vielfach handelt es sich um internationale Kooperationen wie z.B. bei im Rahmen von EUREKA und in den Rahmenprogrammen der Europäischen Union durchgeführten Projekten. Mit Einschränkungen (kleines Sample) läßt sich aus der Struktur nach Herkunftsländern bei (den tendenziell anwendungsnahen) EUREKA-Projekten ein – gemessen an den Projektbeteiligungen und dem Anteil an den Projektkosten – nicht vernachlässigbares Interesse österreichischer Projektpartner erkennen (siehe Tabelle 2.3).

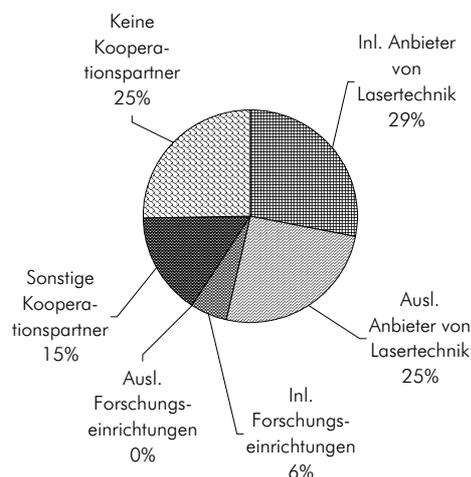
Übersicht 2.4: Struktur der Kooperationspartner bei Lasertechnikprojekten

Kooperationspartner bei Lasertechnikprojekten

Entwicklung und Einführung von Lasertechnik in der Fertigung (90 Unternehmen mit Projekten)



Entwicklung von Produkten mit Lasertechnik-Komponenten (62 Unternehmen mit Projekten)



Anteile in % der Nennungen

Quelle: WIFO-Unternehmensbefragung „LASER 2000+“

Die hohe Bedeutung von Kooperationen zeigt sich auch in der Befragung LASER 2000+. Immerhin sind 75% der Unternehmen mit Projekten zur Entwicklung von Produkten, die Lasertechnik-Komponenten enthalten, Kooperationen eingegangen. Bei Firmen mit Projekten zur Entwicklung und Einführung von Lasertechnik in der Fertigung ist die Kooperationsquote mit 71% ähnlich hoch (vgl. Übersicht 2.4). Ein erheblicher Prozentsatz von Anwender/Anbieter-Kooperationen ist ein Indiz für einen hohen Anteil von Lasertechnik-Anwendungen, die nicht zu den bereits etablierten „Standardanwendungen“ zu zählen sind bzw. für den oftmals erforderlichen Entwicklungsbedarf bei der Integration neuer Verfahren in die Fertigung.²⁹ Vor dem Hintergrund der starken Position von

²⁹ Der empirische Befund zu Anwender/Anbieter-Kooperationen stützt sich einerseits auf die Angaben der Unternehmen mit Projekten zur Entwicklung und Einführung von Lasertechnik in der Fertigung (21% kooperieren mit inländischen, 28%

Lasertechnik Anbietern als Kooperationspartner spielen inländische (universitäre und außeruniversitäre) Forschungseinrichtungen insgesamt bislang weder für Anbieter von Lasertechnik-Produkten (6%) noch für Anwender der Lasertechnik (9%) eine besonders wichtige Rolle in Kooperationen.

3 Anwendung lasergestützter Fertigungsverfahren in der österreichischen Industrie

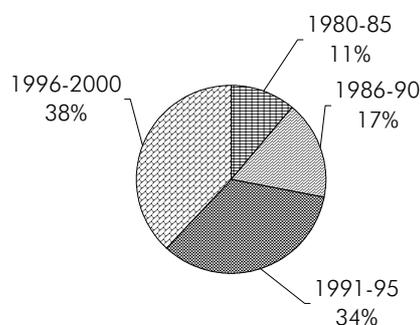
3.1 Zeitlicher Verlauf des Ersteinsatzes der Lasertechnik bei Anwendern

Die Verbreitung lasergestützter Fertigungsverfahren hat bislang vorwiegend in den 90er Jahren stattgefunden. Indizien für einen entsprechenden Diffusionsverlauf liefert die qualitative Einschätzung von Technologieanbietern und ergibt sich aus der (internationalen) Umsatzentwicklung der Laserbranche. Angaben heimischer Anwender über den Zeitpunkt der Einführung lasergestützter Fertigungsverfahren im Unternehmen bestätigen diesen Trend. Während die 80er Jahre als Pionierzeit der industriellen Lasertechniknutzung bezeichnet werden können, ist sowohl in der ersten als auch in der zweiten Hälfte der 90er Jahre ein starker Anstieg von Unternehmen zu verzeichnen, die lasergestützte Verfahren in der industriellen Fertigung einsetzen (siehe Übersicht 3.1).

Übersicht 3.1: Zeitlicher Verlauf des Ersteinsatzes von lasergestützten Fertigungsverfahren

Zeitliche Verteilung des Ersteinsatzes von lasergestützten Fertigungsverfahren zwischen 1980 und 2000

Angaben von 35 befragten Unternehmen



Quelle: WIFO-Unternehmensbefragung „LASER 2000+“

Die Anwenderquote (Anteil der Anwender lasergestützter Fertigungsverfahren) macht bei den 586 befragten Unternehmen derzeit rund 19,1% aus. Die Befragung Laser2000+ liefert aber auch eindeutige Indizien für einen weiteren mittelfristig starken Anstieg der Anwenderquote in der

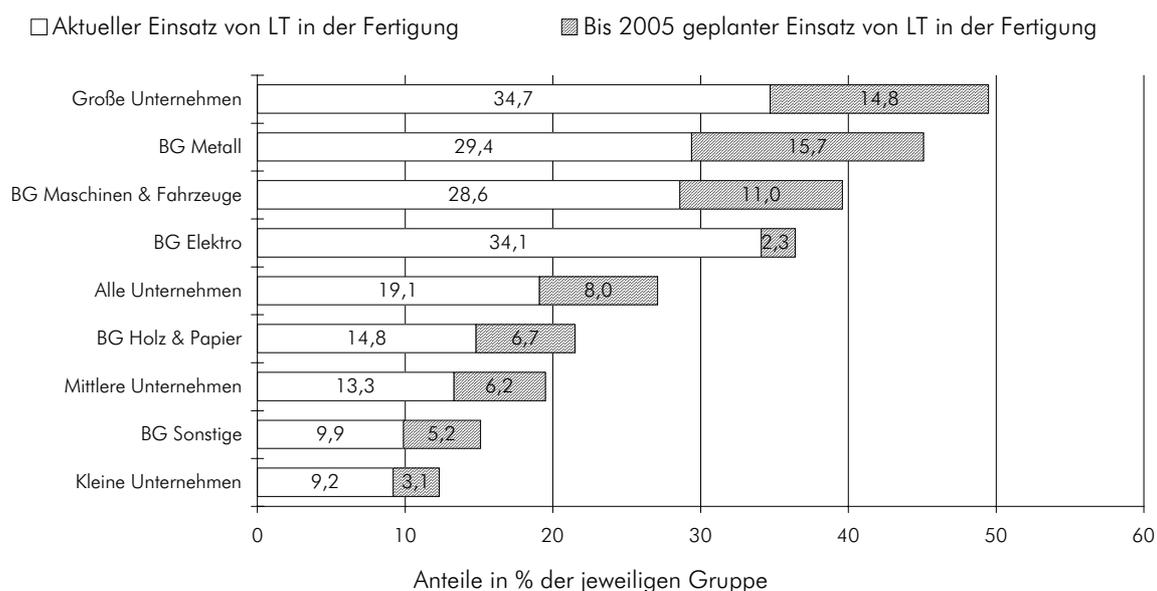
mit ausländischen Lasertechnik Anbietern); andererseits sind Kooperationspartner der Kategorie „Sonstige“ bei den Anbietern von Produkten (mit Lasertechnikkomponenten) vorwiegend Anwender (siehe Übersicht 2.4).

heimischen Industrie. Im Sample steigt die Anzahl der Anwender von gegenwärtig 111 bis zum Jahr 2005 auf 158 Unternehmen (+42%). Dieser sprunghafte Anstieg ist als Indiz für eine – im Vergleich mit den 80er und 90er Jahren – weiter zunehmende Dynamik zu werten.

Mit zunehmender Unternehmensgröße steigt die Wahrscheinlichkeit, des Einsatzes von laser-gestützten Fertigungsverfahren statistisch signifikant an (Konfidenzintervall 99%). Dieses Ergebnis läßt sich durch direkten Vergleich der Anwenderquoten in den drei Gruppen kleine, mittlere und große Unternehmen veranschaulichen (siehe Übersicht 3.2). Während beispielsweise in der Gruppe mit über 160 Beschäftigten jedes dritte Unternehmen bereits zu den Lasertechnik-anwendern zählt, liegt das Verhältnis Anwender zu Nicht-Anwender bei kleinen Unternehmen (bis zu 35 Beschäftigte) bei 1 zu 11.

Übersicht 3.2: Anwenderquoten der Lasertechnik nach Unternehmensgröße und Branchenzugehörigkeit

Aktueller und bis 2005 geplanter Einsatz von LT in der Fertigung



Quelle: WIFO-Unternehmensbefragung „LASER 2000+“

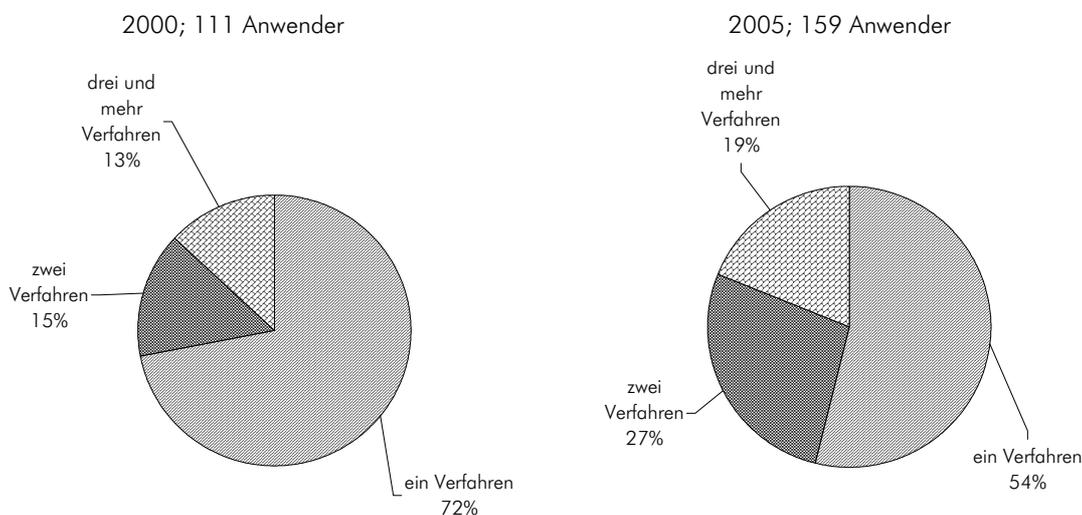
Der Einsatz von Lasertechnik in der Fertigung wird auch in mittelfristiger Perspektive eng mit dem Strukturmerkmal Unternehmensgröße verknüpft sein. Neue Anwender finden sich in tendenziell stärkerem Maß bei großen Unternehmen als bei mittleren und kleinen. KMU mit bis zu 160 Beschäftigten werden beim Einsatz der Lasertechnik in den nächsten Jahren kaum aufholen, zumal ein überdurchschnittlicher Anstieg der Anwenderquote bei den größeren Unternehmen stattfindet.

Branchenzugehörigkeit ist neben der Unternehmensgröße ebenfalls ein Strukturmerkmal, das mit hoher statistischer Signifikanz über die Wahrscheinlichkeit des Einsatzes der Lasertechnik in der Fertigung entscheidet (siehe Übersicht 3.2). Die höchsten Anwenderquoten erreichen die Branchengruppen Elektro (Konfidenzintervall 90%), Maschinen & Fahrzeuge (Konfidenzintervall 99%) und Metall (Konfidenzintervall 99%). Aber auch die Unternehmen aus der Branchengruppe Holz & Papier gehören statistisch signifikant häufiger zu den Anwendern lasergestützter Fertigungsverfahren als Unternehmen aus anderen Branchen (Konfidenzintervall 95%). Vor dem Hintergrund internationaler Marktdaten und des frühen Beginns der Entwicklung lasergestützter Verfahren für die drei dominierenden Branchengruppen ist die vorliegende Struktur kaum verwunderlich.

Aus der Befragung ergibt sich, daß mittelfristig geringfügige Änderungen des strukturellen Zusammenhangs zwischen Branchenzugehörigkeit und Lasertechnikeinsatz zu erwarten sind. Bei den Unternehmen der Branchengruppen Metall sowie Maschinen & Fahrzeuge ist ein überdurchschnittliches Anwachsen der Zahl der Lasertechnik-Anwender und somit eine deutliche Erhöhung der Anwenderquote abzusehen, während in der Branchengruppe Elektro die dominierende Position verlorenght. Eine Angleichung der Anwenderquoten über das gesamte Spektrum der Industrie, d.h. ein Aufholprozeß in Branchen außerhalb der klassischen Anwenderbranchen, zeichnet sich in mittelfristiger Perspektive nicht ab.

Übersicht 3.3: Anzahl eingesetzter Laserverfahren je Anwender

Anzahl der eingesetzten Verfahren je Unternehmen



Anteile in % der Unternehmen

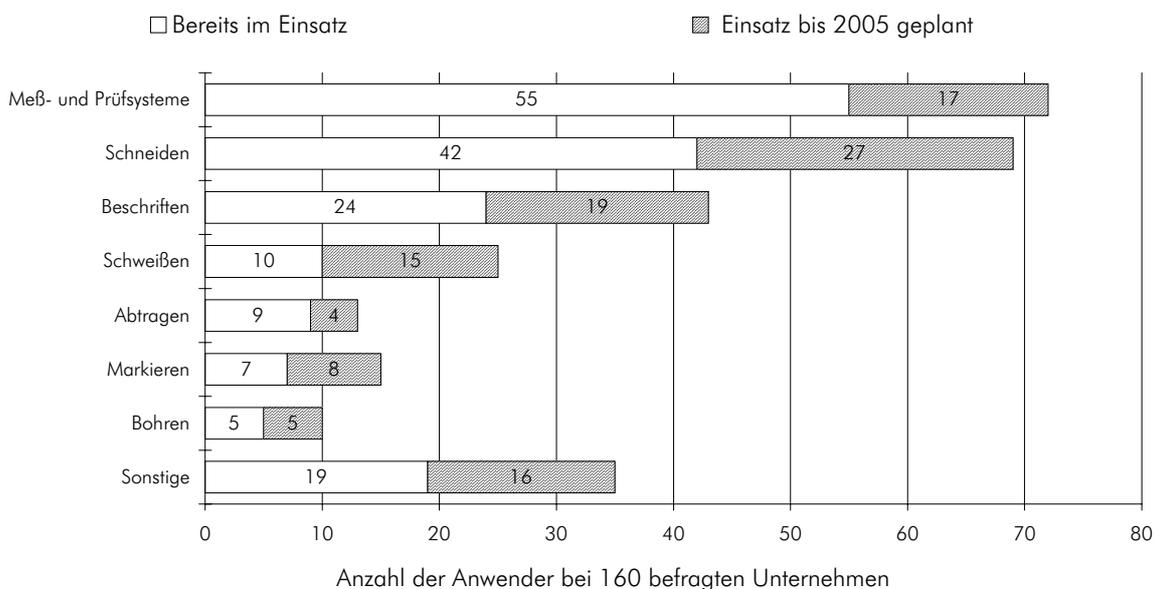
Quelle: WIFO-Unternehmensbefragung „LASER 2000+“

Bei zunehmender Vielfalt lasertechnischer Fertigungsverfahren steigt einerseits die Anzahl der Erstanwender, andererseits werden in den Unternehmen in steigendem Ausmaß auch mehrere An-

wendungen gleichzeitig genutzt. Derzeit beschränken sich rund drei Viertel der Anwender auf den Einsatz eines einzigen lasergestützten Fertigungsverfahrens (siehe Übersicht 3.3). Mehrfachnutzung infolge von Komplementaritäten zwischen einzelnen Verfahren lassen sich aus methodischen Gründen (Problem Samplegröße) nicht ausmachen, haben allerdings eine hohe Plausibilität. Anbieter von Lasersystemen verweisen auf Lernkurveneffekte innerhalb einer Verfahrensgruppe, sind aber skeptisch, ob Erfahrungen aus dem Ersteinsatz die Entscheidungen zugunsten bislang im Betrieb nicht genutzter Lasertechnik-Verfahren wesentlich beeinflussen. Dennoch sind bis zum Jahre 2005 Strukturveränderungen im Sinne einer Erhöhung des Anteils von Mehrfachanwendern abzu-sehen. Die Erklärung dafür liegt weniger in einem Zuwachs bei Erstanwendern, die den gleichzei-tigen Einstieg in mehrere Verfahrensgruppen beabsichtigen. Vielmehr plant rund ein Fünftel der 111 bestehenden Anwender Investitionen in bislang nicht genutzte Fertigungsverfahren.

Übersicht 3.4: Struktur des aktuellen bzw. geplanten Laser-Einsatzes nach Verfahrensgruppen

Aktueller und geplanter Einsatz der Lasertechnik nach Verfahren



Quelle: WIFO-Unternehmensbefragung „LASER 2000+“

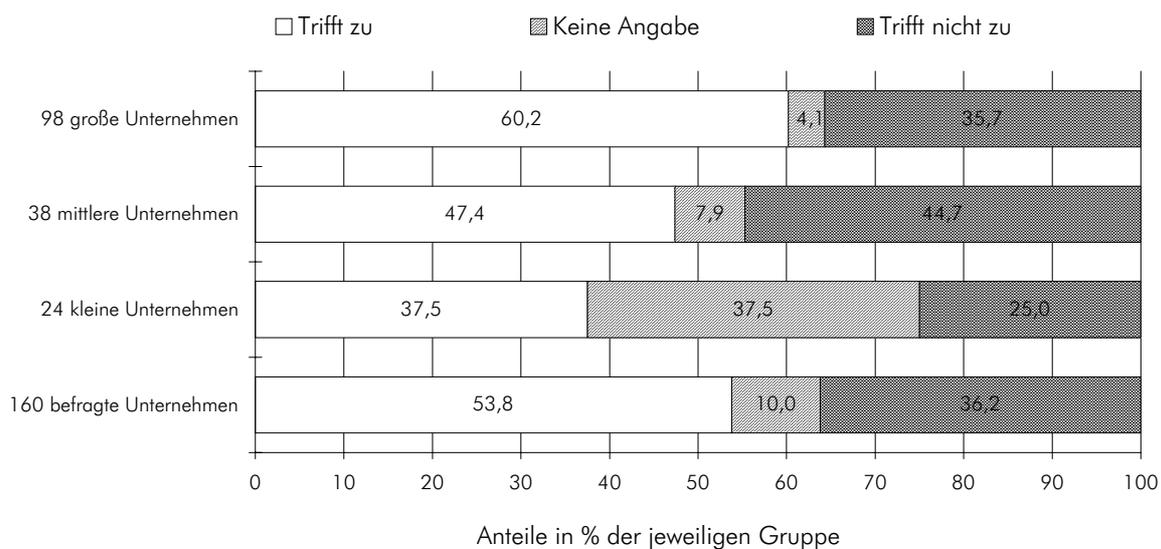
Das bis 2005 erwartbare Wachstum lasergestützter Fertigungsverfahren führt in Hinblick auf die einzelnen Verfahrensgruppen nur zu geringfügigen strukturellen Änderungen (siehe Übersicht 3.4). Aus methodischen Gründen (niedrige Anzahl der Nennungen) ist eine Interpretation nur eingeschränkt möglich bzw. statistisch nicht abgesichert³⁰. Für klassische Verfahren der lasergestützten Materialbearbeitung (Schneiden, Schweißen) ergibt sich aus den Planungen der befragten Unternehmen ein starkes Wachstum. Steigerungen sind aber auch für die anderen Verfahrensgruppen

³⁰ Eine weitere Einschränkung für die Interpretation der Ergebnisse liegt infolge der Aggregation zahlreicher Verfahren in der Kategorie „Sonstige Verfahren“ vor.

(Beschriften, Markieren, Bohren, Abtragen, Sonstige) zu erwarten. Die Kategorie „sonstige Verfahren“ (z.B. Auftragschweißen, Dispergieren, Fügen, Härten, Legieren, Rapid Prototyping, Umformen) weist insgesamt ebenfalls eine hohe Zuwachsrate für Anwender auf.

Übersicht 3.5: Potential an lasergestützten Meß- und Prüfsystemen

Hohes Potential für den Einsatz lasergestützter Meß- und Prüfsysteme im eigenen Betrieb?



Quelle: WIFO-Unternehmensbefragung „LASER 2000+“

Eindeutig festzustellen ist, daß Lasermeßtechnik derzeit – aber auch in absehbarer Zukunft – eine bedeutende Rolle spielt. Immerhin setzt bereits jetzt rund die Hälfte der 111 aktiven Lasertechnik-Anwender entsprechende Meß- und Prüfsysteme ein. Darüber hinaus trifft die Mehrzahl der befragten Anwender die Einschätzung, daß im eigenen Unternehmen nach wie vor zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten für lasergestützte Meß- und Prüfsysteme vorliegen (siehe Übersicht 3.5). Die Zugehörigkeit zu einer bestimmten Branche spielt keine statistisch signifikante Rolle für die Einschätzung. Auffallend ist lediglich, daß von kleineren Unternehmen besonders häufig keine Angaben zur Abschätzung des Potentials der Lasermeßtechnik im Betrieb gemacht werden; Informationsdefizite sind in dieser Gruppe zu vermuten.

3.2 Schätzung der Anzahl von Lasertechnik Anwendern in der österreichischen Industrie

Die Anwender von lasergestützten Fertigungsverfahren unterscheiden sich hinsichtlich Betriebsgröße und Branchenzugehörigkeit statistisch signifikant von den übrigen Teilnehmern der Befragung.

TABELLE 3.1	Österreich 1999	KT Juli 2000	Laser 2000+	LT-Anwender
	Unternehmen			
Metall	1.048	148	102	30
Anteile in %	15,2	14,8	17,4	27,0
Maschinen & Fahrzeuge	667	148	91	26
Anteile in %	9,7	14,8	15,5	23,4
Elektro	479	77	46	15
Anteile in %	6,9	7,7	7,8	13,5
Holz & Papier	2.152	251	135	19
Anteile in %	31,2	25,1	23,0	17,1
Sonstige	2.570	376	212	21
Anteile in %	37,2	37,6	36,2	18,9
Industrie insgesamt	6.916	1000	586	111
	Beschäftigte			
Metall	85.626	38.271	21.501	11.856
Anteile in %	16,2	18,5	17,1	20,7
Maschinen & Fahrzeuge	96.967	44.421	33.698	20.271
Anteile in %	18,4	21,4	26,8	35,4
Elektro	65.246	27.466	17.359	10.300
Anteile in %	12,4	13,2	13,8	18,0
Holz & Papier	103.982	32.732	16.542	4.554
Anteile in %	19,7	15,8	13,2	8,0
Sonstige	175.921	64.482	36.451	10.254
Anteile in %	33,3	31,1	29,0	17,9
Industrie insgesamt	527.742	207.372	125.551	57.235
	Beschäftigte je Unternehmen			
Metall	82	259	211	395
In % des Mittelwerts der österr. Industrie	107,1	338,9	276,2	517,9
Maschinen & Fahrzeuge	145	300	370	780
In % des Mittelwerts der österr. Industrie	190,5	393,3	485,3	1.021,7
Elektro	136	357	377	687
In % des Mittelwerts der österr. Industrie	178,5	467,5	494,5	899,9
Holz & Papier	48	130	123	240
In % des Mittelwerts der österr. Industrie	63,3	170,9	160,6	314,1
Sonstige	68	171	172	488
In % des Mittelwerts der österr. Industrie	89,7	224,7	225,3	639,9
Industrie insgesamt	76	207	214	516
In % des Mittelwerts der österr. Industrie	100,0	271,8	280,8	675,7

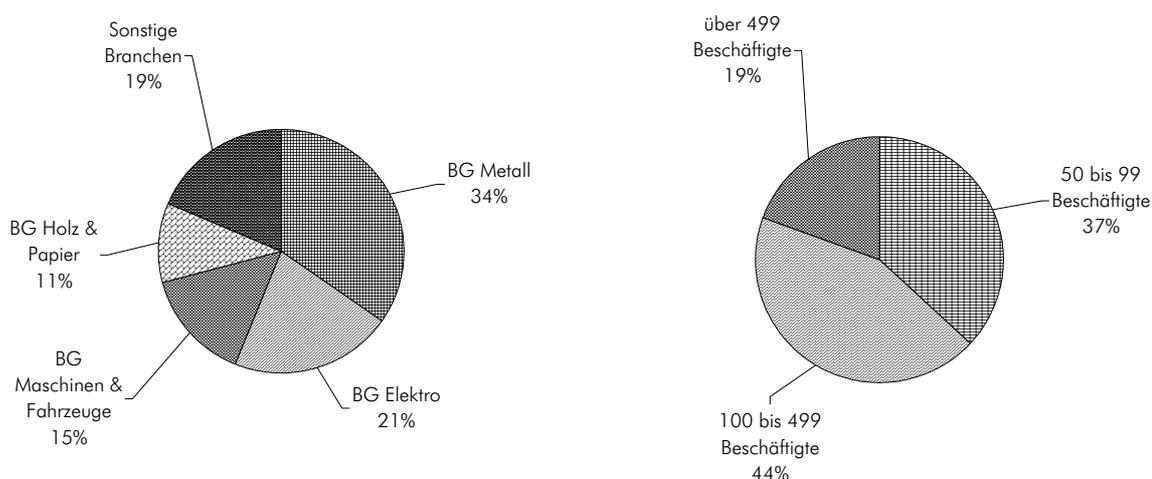
Q: Statistik Österreich, WIFO Konjunkturtest der Europäischen Union, WIFO Sondererhebung Laser 2000+

Darüber hinaus weicht die Struktur der österreichischen Industrie von jener der im Rahmen von LASER 2000+ bzw. des Konjunkturtests (KT) befragten Unternehmen ab (siehe Tabelle 3.1)³¹. Eine Abschätzung der Anzahl der heimischen Lasertechnik-Anwender erfordert somit zumindest hinsichtlich Unternehmensgröße und Branchenzugehörigkeit eine Korrektur.

Unter Berücksichtigung der Branchenstruktur der österreichischen Industrie und der Verteilung der Unternehmen nach Größe in den einzelnen Branchen kann aus der Befragung LASER 2000+ eine grobe Abschätzung für die Anzahl von Anwendern lasergestützter Fertigungsverfahren vorgenommen werden. Aus methodischen Gründen – im wesentlichen infolge der Struktur des Samples – kann eine Hochrechnung allerdings nur für Unternehmen mit mehr als 49 Beschäftigten durchgeführt werden. Insgesamt zeigt sich dabei eine hohe Verbreitung des Lasereinsatzes in der österreichischen Industrie (siehe Übersicht 3.6).

Übersicht 3.6: Lasertechnik-anwender in der österreichischen Industrie –Ergebnisse der Hochrechnung

Einsatz von Lasertechnik in mittleren und großen Unternehmen (über 50 Beschäftigte) nach Branchenzugehörigkeit und Unternehmensgröße



Ergebnisse der Hochrechnung; Anteile in %, bei insgesamt 437 Anwendern

Quelle: WIFO, eigene Berechnungen auf Basis LASER 2000+; nur Unternehmen mit mindestens 50 Beschäftigten.

³¹ Bei Tabelle 3.1 ist zu beachten, daß die Spalte „Österreich 1999“ keine vollständige Erhebung der heimischen Industrie darstellt, zumal in einzelnen Branchen Unternehmen mit weniger als 10 bzw. 20 Beschäftigten nicht berücksichtigt sind.

Bislang von Lasertechnik-Anbietern vorgelegte Schätzungen kommen unter Einbeziehung kleiner Unternehmen auf insgesamt rund 500-600 Anwender in der österreichischen Industrie (vgl. z.B. Schuöcker et al. 2000). Auf Basis der Befragung LASER 2000+ kann davon ausgegangen werden, daß allein bei Unternehmen mit mindestens 50 Beschäftigten mehr als 400 Lasertechnikanwender vorhanden sind.

Für Unternehmen mit über 49 Beschäftigten folgt aus der Hochrechnung infolge der Berücksichtigung der österreichischen Industriestruktur sowie der Verteilung der Unternehmen nach Größenklassen in den einzelnen Branchen, daß auch in der Kategorie „sonstige Branchen“, sowie bei mittleren Unternehmen (50-99 Beschäftigte) eine beträchtliche Zahl von Anwendern lasergestützter Fertigungsverfahren vorzufinden ist. Damit ändert sich nichts an der Tatsache, daß große Unternehmen und einige Branchengruppen (insbesondere Elektro, Metall, Maschinen & Fahrzeuge) außerordentlich hohe Anwenderquoten aufweisen. Allerdings wird deutlich, daß der Einsatz lasergestützter Fertigungsverfahren innerhalb der österreichischen Industrie eine breite Basis von Anwendern vorfindet, die sich nicht auf wenige, große Unternehmen aus den dominierenden Schlüsselbranchen beschränkt.

4 Diffusionsfaktoren für den Einsatz lasergestützter Fertigungsverfahren

Das in der Industrie seit Mitte der 80er Jahre stark steigende Interesse an der Lasertechnik hat mittlerweile zu einer hohen Vielfalt von kommerziell angebotenen lasergestützten Fertigungsverfahren geführt. Die Diffusion der Lasertechnik in der industriellen Fertigung findet insgesamt unter den Bedingungen komplexer Wechselbeziehungen zwischen alternativ verfügbaren Verfahren, spezifischen Merkmalen der zu fertigenden Produkte sowie anderer strategischer und organisatorischer Faktoren des spezifischen Produktionsumfeldes im Unternehmen statt³². Konsequenterweise ergeben sich für potentielle Anwender trotz insgesamt breiter Akzeptanz von Laser-Applikationen vielfach Schwierigkeiten in der Bewertung von Kosten und Nutzen der Entwicklung und Integration laserbasierender Verfahren für bzw. in den Fertigungsprozeß. Die Verfahrensauswahl ist vor allem bei neueren Verfahren risikobehaftet bzw. mit technischen und wirtschaftlichen Unsicherheiten verbunden; für Erstanwender gestaltet sich die monetäre Bewertung der Vorteile oft als besonders schwierig³³.

Wesentliche Impulse für den Einsatz von Standardanwendungen oder für die Entwicklung neuer auf Lasertechnologie basierender Verfahren kommen vielfach von konkreten produktseitigen Anforderungen. Technologisch bedingte Vorteile laserbasierter Verfahren (Automatisierbarkeit, geringe thermische Belastung des Werkstücks, Präzision, Wiederholgenauigkeit etc.) sind vielfach der fertigungstechnische Schlüssel für die Produktion neuer oder qualitativ höherwertiger Produkte:

- Rooks (2000) verweist auf die stimulierende Rolle, die der Automobilindustrie in Hinblick auf den Einsatz von Hochleistungslasern für Schneiden und Schweißen zukommt³⁴. Laserschweißen erhöht die Freiheitsgrade bei Konstruktion und Design, weil Bauteile unterschiedlicher Stärke und aus unterschiedlichen Materialien zusammengefügt werden können; in der Folge ermöglicht der Einsatz laserbasierter Verfahren steifere Strukturen bei deutlichem Gewichtsverlust und beim Bau von Automobilen können essentielle Innovationsziele (Sicherheits- und Umweltaspekte) erreicht werden.
- Laufende Trends in der Mikroelektronik – insbesondere die Erhöhung der Packungsdichte von integrierten elektronischen Baugruppen und die Miniaturisierung von Leiterplatten – stimulieren die Weiterentwicklung lasertechnischer Fertigungsverfahren. Einerseits sind in der Halbleiterindustrie (laserbasierte) mikrolithographische Verfahren – zur präzisen Belichtung von Photo-lackschichten – längst eine fertigungstechnische Notwendigkeit. Andererseits erlauben laserbasierte Bohr-Verfahren (laser microvia technologies) ein Überschreiten der technischen

³² Eine entsprechende Argumentation liefert beispielsweise Koerber (1998).

³³ Vergleiche dazu Dickmann (1997), der auf die Rolle von Lerneffekten bei der Bewertung des Nutzens eines Verfahrens hinweist.

³⁴ Siehe dazu auch Kochan (1997, 1998, 2000a) sowie Ponschab et al. (1997).

Grenzen mechanischen Bohrens, sodaß weitere Miniaturisierungen bei Endprodukten (z.B. Leiterplatten für immer kleinere Mobiltelefone) möglich werden³⁵.

Ähnlich wie produktseitige Anforderungen motivieren organisatorische Aspekte des Produktionsprozesses (z.B. Flexibilität in der Fertigung) und strategische Überlegungen zum Produktionsumfeld (Verkürzung der Produktentwicklungszeit; „reduced time-to-market“) Weiterentwicklung und Ausweitung des Einsatzes der Lasertechnik³⁶. Lasergestützte Verfahren zeichnen sich unter anderem durch gute Automatisierbarkeit aus und eignen sich somit in Verbindung mit CAX-Systemen für den Einsatz in flexiblen Entwicklungs- und Fertigungsumgebungen. Verbesserungen bei Laserquellen hinsichtlich Baugröße, Energieverbrauch und verfügbarer Leistung haben bereits in den 90er Jahren dazu geführt, daß leistungsstarke Lasersysteme nicht nur stationär (Portalsysteme) sondern auch in Kombination mit Robotern (z.B. für Schweißungen) sowie in zunehmenden Maße auch mobil (bspw. als handgeführte Systeme) eingesetzt werden.

Insgesamt stellt die Verfahrensauswahl für den potentiellen Anwender einen Entscheidungsprozeß mit hoher Komplexität dar, weil vielfach sogar bei längst etablierten Standardanwendungen der Lasertechnik eine Bewertung zahlreicher Parameter erforderlich ist. Zu bedenken sind neben kostenrechnerischen Aspekten Anforderungen an die Bauteilgeometrie, Bearbeitungsqualität, Integrierbarkeit in den Gesamtfertigungsablauf, konstruktive Möglichkeiten, Materialeigenschaften, potentielle Produktverbesserungen etc. Dies zeigt sich deutlich am Beispiel der Trennverfahren, weil hier vielfach eine direkte Konkurrenz der Lasertechnik mit ausgereiften und im Einzelfall oft sehr kostengünstigen Alternativen (z.B. Wasserstrahl- und Plasma-Schneiden) vorliegt³⁷. So verweist etwa Kirkpatrick (1998) auf Plasma-Schneiden als praktikable Alternative zum Laser-Schneiden bei höheren Fertigungstoleranzen; ähnlich argumentiert Montague-Brown (1999) zugunsten des Plasma-Schneidens, zumal der Lasertechnik-Einsatz einerseits zu hohen investiven und laufenden Kosten führt, andererseits eine beschränkte Eignung in der Massenproduktion vorliegen kann. Generell gilt somit, daß sich Investitionsentscheidungen nur selten auf die Frage rein technologischer Überlegenheit eines Verfahrens (z.B. „enabling character of technology“) reduzieren lassen und eine fundierte Wirtschaftlichkeitsanalyse erforderlich ist.

³⁵ Vergleiche insbesondere Hendrikson et al. (1999) sowie Kersten – Kiefer (1998). Kahlert et al. (1991) gehen generell auf Aspekte des Bohrens von Mikrostrukturen (Kunststoffe, Mikroverdrahtungsplatten, Mehrschichtleiterplatten) mittels Laser ein, während Van Veen (1992) die Bedeutung lasertechnische Lötverfahren in der Mikroelektronik diskutiert.

³⁶ Erwähnenswert sind in diesem Zusammenhang Verfahren des Rapid Prototyping (RP) und Rapid Tooling (RT), die in der überwiegenden Mehrzahl auf dem Einsatz der Lasertechnik basieren (siehe Karapatis et al., 1998 und Xu et al., 1998). Die primäre Zielsetzung für eine Implementierung von Konzepten des Rapid Prototyping liegt in der Beschleunigung und Verbesserung des Innovationsprozesses. In der Produktentwicklung sind CAD-Daten und Simulationen oft nicht hinreichend bzw. ungeeignet für iterative Prozesse von Design und Re-Design. Demgegenüber erlauben dreidimensionale Design- und Anschauungsmodelle eine Überprüfung gestalterischer Ansprüche, konzeptionelle Prototypen ermöglichen die Überprüfung und Optimierung technischer Realisierungsmöglichkeiten und Funktionsmodelle erlauben den Test einzelner Bauteile in Funktionsgruppen. Graham (2000) hebt neben Ersparnissen bei Zeit und Kosten den Kommunikationsaspekt hervor. Im Gegensatz zu Rapid Prototyping werden bei Verfahren des Rapid Tooling nicht Endprodukte sondern Modelle der für die Fertigung erforderlichen Werkzeuge (z.B. Gußformen) gebaut. Neuere Entwicklungen zum Rapid Tooling diskutiert beispielsweise Radstock (1999).

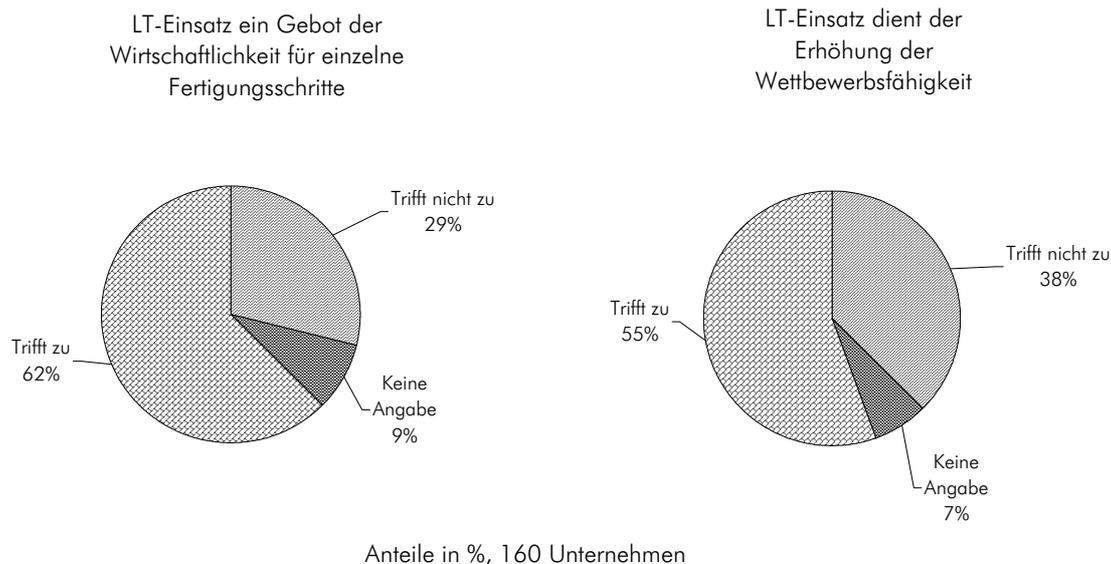
³⁷ Vergleiche Dilthey et al. (1998).

4.1 Empirischer Befund zu Einsatzmotiven der Lasertechnik in der industriellen Fertigung

Wirtschaftlichkeit des Verfahrens und ein strategisches Interesse an der Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit sind gängige Motive für den Lasertechnik-Einsatz. Dies zeigt sich auch in der Befragung LASER 2000+. So hält die überwiegende Mehrheit jener 160 Unternehmen, die derzeit (bzw. in absehbarer Zukunft) lasergestützte Fertigungsverfahren einsetzen, Anwendungen der Lasertechnik für die Wirtschaftlichkeit einzelner Fertigungsschritte für unumgänglich (siehe Übersicht 4.1). Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Branchengruppen oder eine Abhängigkeit von der Unternehmensgröße lassen sich nicht feststellen. Allerdings macht bei kleinen Unternehmen (bis 35 Beschäftigte) ein – mit rund 21% – überdurchschnittlich hoher Anteil der Befragten keine Angaben.

Übersicht 4.1: Beitrag der Lasertechnik zu Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit

Lasertechnikeinsatz, Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit



Quelle: WIFO-Unternehmensbefragung „LASER 2000+“

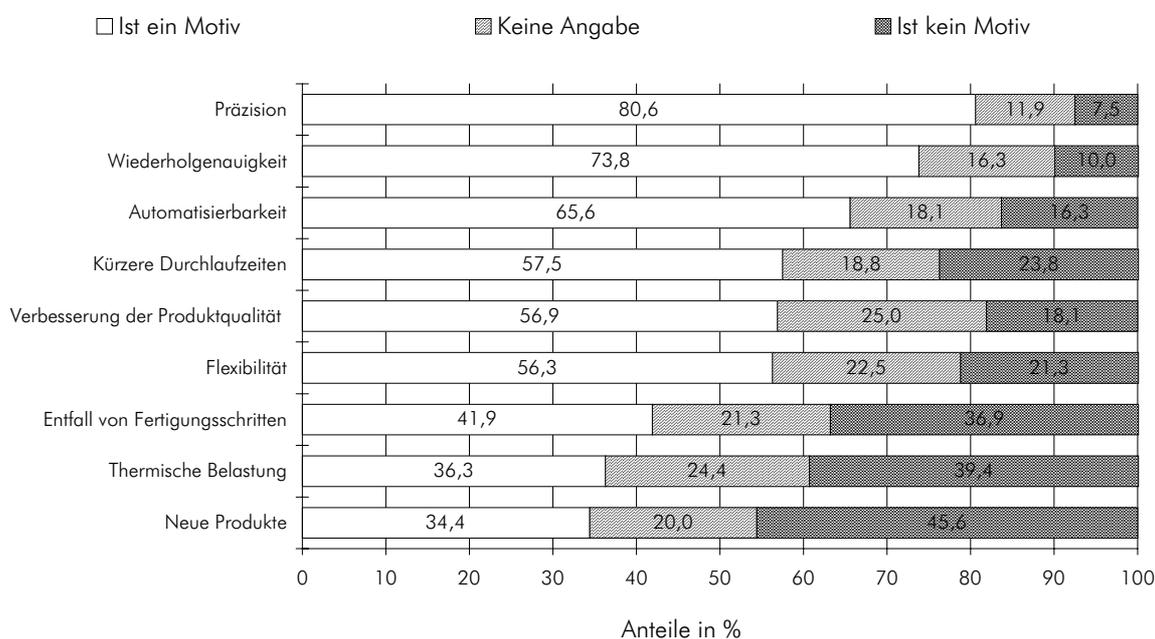
Eine ähnlich hohe Zustimmung signalisieren die Lasertechnik-Anwender auch auf die Frage, ob der Einsatz der Lasertechnik die Wettbewerbsfähigkeit des eigenen Unternehmens spürbar erhöht (siehe Übersicht 4.1). Während die Unternehmensgröße für das Antwortverhalten eine unmerkliche Rolle spielt, werden statistisch signifikante Abweichungen für Anwender der Branchengruppen Holz & Papier sowie Metall erkennbar (Konfidenzintervall 90%). In beiden Gruppen liegt der Grad der Zustimmung bei rund 60% während etwa 30% der Befragten eine ablehnende Haltung einnehmen. Im Gegensatz dazu stimmen in der Branchengruppe Sonstige nur 44% der Aussage zu, während die Hälfte der Befragten eine ablehnende Haltung einnimmt.

Die Entscheidung über den Einsatz der Lasertechnik ist komplex und hängt sowohl vom spezifischen Problemlösungsbedarf als auch von den wirtschaftlichen und technischen Merkmalen der einzelnen Verfahren ab. Wirtschaftlichkeit und technologische Überlegenheit gehen dabei weitgehend Hand in Hand etwa, wenn es um die Automatisierbarkeit oder die Reduktion von Durchlaufzeiten und der Anzahl der Fertigungsschritte im Produktionsprozeß geht.

Aus der Befragung LASER 2000+ geht hervor, daß Lasertechnik-Anwender in hohem Ausmaß von der technologischen Überlegenheit lasergestützter Fertigungsverfahren – insbesondere in puncto Präzision und Wiederholgenauigkeit – überzeugt sind (siehe Übersicht 4.2). Statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich Unternehmensgröße oder Branchenzugehörigkeit lassen sich für keines der beiden Motive ausmachen. Für das ebenfalls vorwiegend technisch orientierte Motiv der thermischen Belastung sind hingegen bei insgesamt eher schwacher Bewertung, signifikante Unterschiede zwischen den Branchen statistisch nachweisbar. Bei einer Ablehnung dieses Einsatzmotivs von jeweils rund 30% liegt die Zustimmung in den Branchengruppen Elektro und Maschinen & Fahrzeuge mit 56% bzw. 54% überdurchschnittlich hoch (Konfidenzintervall 99%).

Übersicht 4.2: Motive des Einsatzes lasergestützter Fertigungsverfahren

Motive für den Einsatz von Lasertechnik in der Fertigung



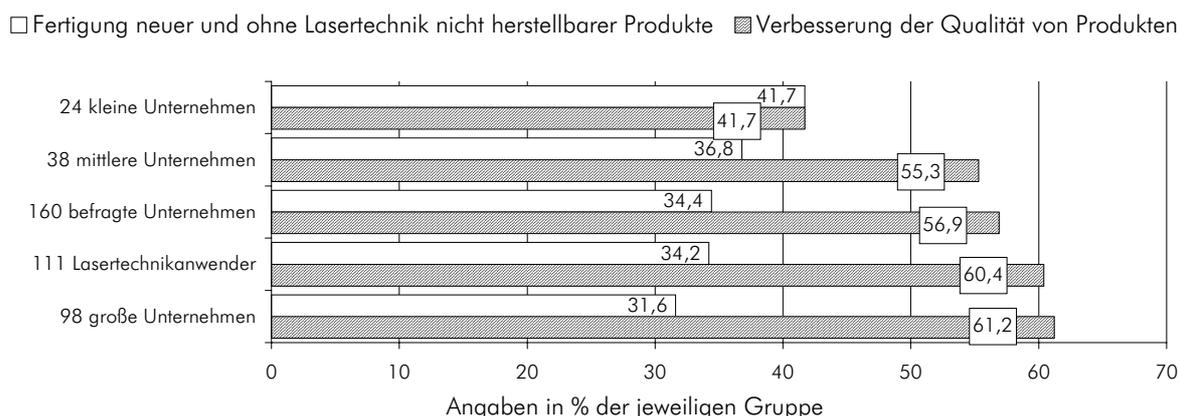
Quelle: WIFO-Unternehmensbefragung „LASER 2000+“

Die Befragung zeigt, daß technische und wirtschaftliche Motive zum Einsatz der Lasertechnik überwiegend prozeßorientiert sind. Tendenziell scheint der Beitrag der Verfahren zu Prozeßinnova-

tionen, die sich in automatisierten Abläufen, kürzeren Durchlaufzeiten und dem Entfall von Fertigungsschritten spiegeln, eine weitaus größere Rolle zu spielen, als Produktinnovationen. Unternehmen der Branchengruppe Elektro unterscheiden sich in zwei Punkten statistisch signifikant (Konfidenzintervall 90%) von jenen aus anderen Branchen: Senkung der Durchlaufzeiten spielt für die Unternehmen der Elektro-Branche eine wesentlich stärkere Rolle (Zustimmung über 80%, Ablehnung rund 12%), während die Automatisierbarkeit im Prozeß nur unwesentlich als Einsatzmotiv für lasergestützte Verfahren gilt (Zustimmung 50%, Ablehnung 44%). Ein statistisch nachweisbarer Unterschied zwischen den Branchen ergibt sich beim Einsatzmotiv des Entfalls von Fertigungsschritten lediglich für Unternehmen der Branchengruppen Maschinen & Fahrzeuge (Zustimmung 62%, Ablehnung 32%) sowie Metall (Zustimmung 50%, Ablehnung 32%).

Übersicht 4.3: Produktinnovation und Einsatz der Lasertechnik in der Fertigung

Produktinnovation als Motiv für den Lasertechnikeinsatz in der Fertigung



Quelle: WIFO-Unternehmensbefragung „LASER 2000+“

Trotz der hohen Bewertung prozeßorientierter Einsatzmotive kann insgesamt von einem nicht vernachlässigbaren Beitrag der Lasertechnik zu Produktinnovationen bei industriellen Anwendern ausgegangen werden (siehe Übersicht 4.3). Qualitätsverbesserungen der Produkte eines Unternehmens, die mit Einschränkungen als inkrementelle Produktinnovationen zu werten sind, stellen ein wichtiges Motiv für den Einsatz lasergestützter Fertigungsverfahren dar. In zwei Punkten sind statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Unternehmen erkennbar: Sowohl die Unternehmensgröße als auch die Erfahrungen zum Einsatz der Lasertechnik sind wesentliche Faktoren für das Antwortverhalten. Je größer Unternehmen sind, umso stärker wird eine Qualitätsverbesserung der Produkte als Motiv für den Lasertechnik-Einsatz angegeben (Konfidenzintervall 90%). Darüber hinaus hat dieses Motiv für aktive Lasertechnik-Anwender einen höheren Stellenwert als für Unternehmen, die mittelfristig den Einsatz der Lasertechnik vorsehen (Konfidenzintervall 95%).

Über inkrementelle Verbesserungen hinausreichende Produktinnovationen sind für die meisten Unternehmen nicht das primäre Motiv für den Einsatz lasergestützter Fertigungsverfahren. Es ist dennoch beachtlich, daß mehr als ein Drittel der befragten Anwender den Lasertechnik-Einsatz mit den Fertigungserfordernissen von Produktinnovationen begründet (siehe Übersicht 4.3). Lasertechnik spielt somit keine vernachlässigbare Rolle, wenn es darum geht, die fertigungstechnischen Voraussetzung für die Herstellung neuer Produkte zu schaffen. In der Branchengruppe Maschinen & Fahrzeuge ist dieses Einsatzmotiv statistisch signifikant bedeutsamer als für die Unternehmen aus anderen Branchen (Konfidenzintervall 90%). In diesem Sektor liegt der Anteil von Befürwortern und Opponenten bei jeweils 43%. Unternehmensgröße spielt keine statistisch signifikante Rolle.

4.2 Empirischer Befund zu Diffusionshemmnissen

In der Einschätzung von Faktoren, die für die Diffusion des Lasertechnikeinsatzes eine Rolle spielen, treten insbesondere zwischen aktiven Anwendern und den übrigen befragten Unternehmen signifikante Unterschiede auf.³⁸ Während die Unternehmensgröße keinen statistisch nachweisbaren Effekt auf die Einschätzung von Diffusionshemmnissen hat, so spielt in einigen Fällen doch die Branchenzugehörigkeit eine statistisch signifikante Rolle für das Antwortverhalten.

In der Gesamteinschätzung (alle 586 befragten Unternehmen) steht die branchenbedingt beschränkte Anwendbarkeit lasertechnischer Verfahren als Diffusionshemmnis an vorderster Stelle (siehe Übersicht 4.4). Der Anteil jener Unternehmen, die in diesem Punkt keine Angaben machen, ist mit rund 12% besonders niedrig, was als Indiz für „gefestigte“ Überzeugungen über die Einsatzmöglichkeiten der Lasertechnik in der Branche interpretiert werden kann. Ein starker Gegensatz zu einer insgesamt dominierenden Meinung branchenbedingt beschränkter Anwendbarkeit zeigt sich im Vergleich der Branchengruppen und in der Betrachtung aktiver LT-Anwender. Unternehmen der Branchengruppen Maschinen & Fahrzeuge, Elektro und Metall lassen überwiegend und mit hoher statistischer Signifikanz (Konfidenzintervall 99%) das Argument der Branchenzugehörigkeit nicht als Hindernis für den LT-Einsatz gelten.

Für Unternehmen, die bereits Lasertechnik in der Fertigung anwenden bzw. den Einsatz planen, ist mangelnde Anwendbarkeit in der Branche nur selten ein schlüssiges Argument gegen Lasertechnikeinsatz. Die Diskrepanz der Einschätzung zwischen Anwendern und Nicht-Anwendern kann mit Einschränkungen sicherlich auf die Einsatzbedingungen der Lasertechnik in der jeweiligen Branche zurückgeführt werden. Allerdings stellt sich die Frage, ob nicht auch Informationsdefizite zum Antwortverhalten der Nicht-Anwender beitragen.

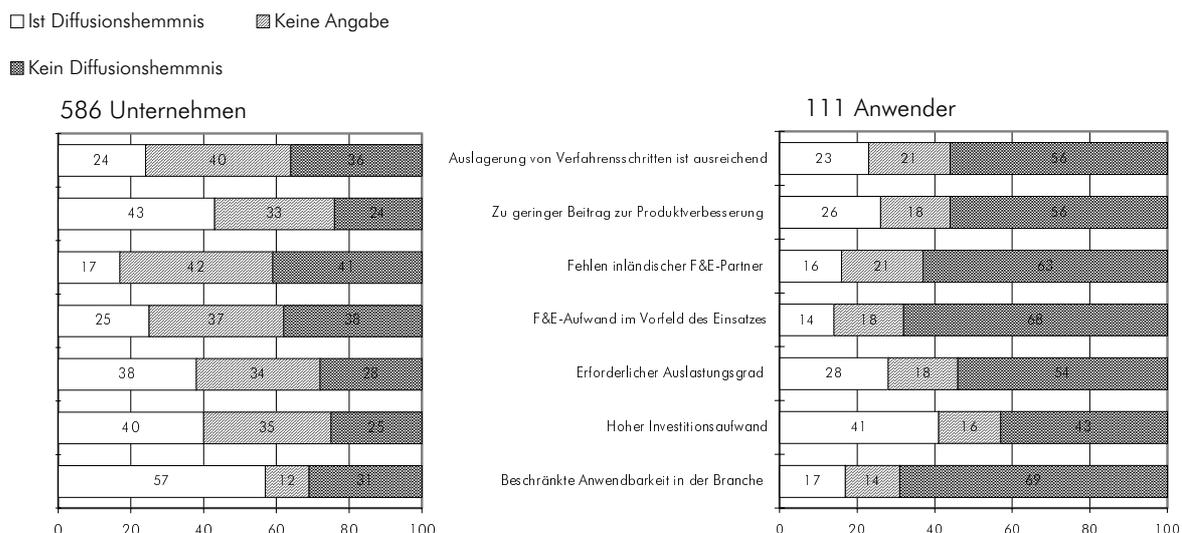
Starke – und im Ausmaß annähernd gleich eingeschätzte – Vorbehalte gegen den Lasertechnikeinsatz werden in Zusammenhang mit der Höhe des Investitionsaufwands, der für eine

³⁸ Mit Ausnahme des Diffusionsfaktors „Fehlen inländischer F&E-Partner“ ist das Konfidenzintervall für signifikante Unterschiede zwischen Anwendern und Nicht-Anwendern 99%; beim Fehlen inländischer F&E-Partner ist das Konfidenzintervall 90%.

kommerzielle Nutzung erforderlichen Auslastung und dem Beitrag der Verfahren zur Produktverbesserung geäußert.

Übersicht 4.4: Hindernisse der Diffusion im Vergleich

Diffusionshemmnisse im Vergleich



Quelle: WIFO-Unternehmensbefragung „LASER 2000+“

Anwender halten die Höhe der Investitionen im Vergleich mit der Grundgesamtheit aller 586 antwortenden Unternehmen für kein Diffusionshindernis. Statistisch signifikant sind auch die Unterschiede im Antwortverhalten zwischen den Branchengruppen. Rund die Hälfte der Unternehmen in den Sektoren Elektro, Metall sowie Maschinen & Fahrzeuge halten die Investitionshöhe nicht für problematisch. Zu betonen ist an dieser Stelle, daß die Unternehmensgröße keinen statistisch signifikanten Effekt auf die Bewertung dieses Diffusionsfaktors hat. Obwohl die Investitionskosten bei einzelnen Verfahren vor allem kleinere Unternehmen vom Einsatz der Lasertechnik abhalten, werden nur marginale Unterschiede zu mittleren und großen Unternehmen erkennbar. Unterschiede im Anteil der Unternehmen, die keine Angaben machen, treten zwischen Anwendern (rund 15%) einerseits, Nicht-Anwendern, kleinen und mittleren Unternehmen (jeweil rund 40%) andererseits auf, und lassen bei den letztgenannten Gruppen Informationsdefizite zur Abschätzung des tatsächlichen Investitionsaufwands vermuten.

Auslastungsprobleme, die im Zusammenhang mit dem Einsatz lasergestützter Fertigung auftreten können sowie Zweifel an der Erreichbarkeit qualitativer Verbesserungen bei Produkten, gelten insgesamt ebenfalls als vergleichsweise bedeutsame Diffusionshindernisse. In beiden Fällen sind

gravierende Unterschiede der Beurteilung durch Anwender und Nicht-Anwender festzustellen (Konfidenzintervall 99%).

Die Auslagerung von Fertigungsschritten, für die lasertechnische Verfahren erforderlich sind, stellt prinzipiell eine Alternative zum Einsatz lasergestützter Fertigungsverfahren im eigenen Betrieb dar. Insgesamt werden kostengünstige Möglichkeiten der Lohnfertigung oder des Bezugs unter Einsatz von Lasertechnik gefertigter Vorprodukte als nicht hinreichend beurteilt. Klarerweise ist diese Bewertung bei Anwendern besonders stark ausgeprägt und liefert ein Motiv zur Nutzung der Lasertechnik im eigenen Haus. Auch insgesamt gilt die Einschätzung zum bestehenden Angebot von Dienstleistern, die lasergestützte Verfahren einsetzen, jedenfalls nicht als Diffusionshemmnis, sondern verstärkt eher noch die Anreize für den Einsatz der Lasertechnik im eigenen Betrieb.

Keine gravierenden Diffusionshindernisse scheinen sich aus den für den Einsatz lasergestützter Fertigungsverfahren im Betrieb erforderlichen Anstrengungen zu F&E (Forschung und Entwicklung) zu ergeben. In der Gesamteinschätzung (alle 586 befragten Unternehmen) überwiegt der Anteil jener Unternehmen, die im Vorfeld eines verstärkten Einsatzes von Lasertechnik keinen prohibitiv hohen Aufwand an F&E erwarten (38% versus 25%); für bereits aktive Lasertechnikanwender vergrößert sich die Diskrepanz (68% versus 14%). Im Vergleich mit den anderen Diffusionsfaktoren ist der F&E-Aufwand im Vorfeld des Lasertechnikeinsatzes somit von eher sekundärer Bedeutung.

Insbesondere angesichts der Vielzahl von ausgereiften und standardisierten Verfahren der Lasertechnik ist bei einer Implementierung nicht notwendigerweise mit hohem F&E-Aufwand zu rechnen. Gleichzeitig ist eine in dieser Frage erreichte Zustimmungsquote von 25% bei allen befragten Unternehmen (bzw. 14% bei den Anwendern) nicht völlig vernachlässigbar und kann mit Einschränkungen als Indiz für nach wie vor bestehende Erfordernisse zu Forschung und Anwendungsentwicklung im Bereich der Lasertechnik gewertet werden.

Die Verfügbarkeit von inländischen Partnern für Forschung und Entwicklung (Lasertechnikanbieter, Hochschulinstitute etc.) zur Anpassung lasergestützter Fertigungsverfahren an die Bedürfnisse des Betriebs wird von den befragten Unternehmen sehr positiv beurteilt und stellt somit ebenfalls keine wesentliche Barriere für die Lasertechnikdiffusion in Österreich dar. Unabhängig davon ob Anwender oder Nicht-Anwender sehen nur etwa 16% der Unternehmen einen Mangel an kompetenten Forschungspartnern in Österreich. Demgegenüber sind mehr als 40% aller Unternehmen bzw. fast zwei Drittel der Anwender davon überzeugt, daß derzeit geeignete Partner für F&E im Inland ausreichend zur Verfügung stehen. Vor dem Hintergrund hoher Wachstumserwartungen bis zum Jahre 2005 stellt sich in diesem Zusammenhang allerdings die Frage, ob mit den vorhandenen Forschungskapazitäten ein Auskommen gefunden werden kann. Kapazitätserweiterungen scheinen nicht zuletzt für öffentlich finanzierte Forschungseinrichtungen erforderlich zu werden.

Abschließend sei an dieser Stelle auf die Rolle der Ausbildung als Diffusionsfaktor hingewiesen. Im Rahmen der Befragung wurde dieser Faktor nicht explizit berücksichtigt. Aus einigen Interviews entsteht allerdings der Eindruck, daß Aus- und Weiterbildung ein strukturelles Diffusionshemmnis für den Lasertechnikeinsatz in der Fertigung darstellt: In der verfahrenstechnischen Ausbildung – von den Berufsschulen über HTLs bis hin zu technischen Studiengängen – ist zwar die praktische Er-

probung konventioneller Methoden gewährleistet, lasertechnische Verfahren können infolge der hohen Anschaffungs- und Betriebskosten meist nur als theoretische Lehrinhalte berücksichtigt werden. Bislang fehlt somit sowohl eine volle Integration des Wissens über lasertechnische Verfahren bei bestehenden Berufsbildern als auch eine eigene Ausbildungsschiene für Lasertechniker.³⁹

5 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Der Einsatz lasertechnischer Verfahren in der Fertigung (meßtechnische Anwendungen, Anwendungen der Materialbearbeitung) hat während der 90er Jahre sowohl international als auch in der heimischen Industrie einen beachtlichen Aufschwung erlebt, der sich mittelfristig fortsetzen wird. In Österreich wird beispielsweise der Zuwachs bei Lasertechnik Anwendern bis zum Jahr 2005 stärker ausfallen als in der ersten und in der zweiten Hälfte der 90er Jahre, die im Vergleich mit den 80er Jahren bereits eine hohe Dynamik aufgewiesen haben. Steigende Vielfalt der Verfahren sowie Verbesserungen technologischer Natur und in Hinblick auf einen kommerziell tragfähigen Einsatz bilden die Basis für diese Entwicklung.

Die vom WIFO im Auftrag des BMVIT durchgeführte Unternehmensbefragung LASER 2000+ bringt eine Reihe von empirischen Befunden mit innovationspolitischer Relevanz:

- Aus Sicht heimischer Lasertechnik Anwender liefern lasergestützte Fertigungsverfahren wesentliche 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 etc.), 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 der Laser der Schlüssel zur Produktion neuer alternativ nicht herstellbarer Produkte.
- Die Struktur der Anwender in Hinblick auf Branchenzugehörigkeit zeigt – vor dem Hintergrund der österreichischen Industriestruktur – eine zunehmende Breitenwirkung. Derzeit gehören rund 70% der Unternehmen, die Lasertechnik anwenden, zu den Sektoren Elektro, Metall sowie Maschinen- und Fahrzeugbau; in diesen Kernanwenderbranchen des Lasers finden sich zudem mehr als 40 Prozent der in der heimischen Sachgüterproduktion Beschäftigten⁴⁰. Zunehmende Anwendungsvielfalt der Lasertechnik trägt zu einer Verbreitung lasertechnischer Verfahren in Kernbranchen aber auch in anderen Branchen bei. Unternehmensgröße ist und bleibt ein wesentlicher Faktor bei der Entscheidung über den Lasertechnikeinsatz; allerdings ist ein

³⁹ Schuöcker et al. (2000) verweisen einerseits auf erste Erfolge bei postgradualer Ausbildung auf dem Gebiet der Lasertechnik (Projekt EuroLaser Academy) andererseits die nach wie vor bestehenden Probleme im Zusammenhang mit der Ausbildung von Fachpersonal (siehe Schuöcker et al., 2000, S.26f. und S.49). HTLs mit Zweigen für Elektrotechnik, Fahrzeugtechnik, Maschinenbau etc. stehen vielfach vor dem Problem, daß für Lasertechnik – im Gegensatz zu anderen fortgeschrittenen Methoden und Verfahren (CAD-Software, CNC-Maschinen etc.) – bei gegebenen Kosten vielfach eine zu geringe Nutzungsdichte gegen entsprechende Investitionen spricht.

⁴⁰ Siehe auch Tabelle 3.1.

erheblicher Anteil von Anwendern der Lasertechnik im Bereich der mittleren Unternehmen nachweisbar und für kleine Unternehmen ist eine nicht vernachlässigbare Anzahl von Lasertechnikanwendern zumindest zu vermuten⁴¹.

- Die wichtigsten Diffusionshemmnisse ergeben sich nach Ansicht der derzeitigen Lasertechnik-anwender durch die Höhe der Investitionskosten, den für einen kommerziellen Betrieb erforderlichen Auslastungsgrad sowie den Beitrag des Lasereinsatzes zur Qualitätsverbesserung bei bestehenden Produkten. Vor allem Unternehmen, die Laser noch nicht einsetzen, gehen von einer beschränkten Anwendbarkeit der Lasertechnik in der eigenen Branche aus, halten aber auch die von Anwendern als Hemmnisse erwähnten Faktoren (insbesondere Investitionskosten) für bedeutsam. Ein Fehlen kompetenter inländischer F&E-Partner oder ein prohibitiv hoher F&E-Aufwand im Vorfeld des Lasertechnikeinsatzes werden von den befragten Unternehmen nicht diagnostiziert. Letzteres ist auf einen hohen Anteil bereits kommerziell angebotener Standardlösungen bei lasertechnischen Verfahren zurückzuführen.
- Forschungsbedarf besteht in der Lasertechnik zumindest in der Anwendungsentwicklung⁴². Die Verbesserung etablierter und die Entwicklung neuer Verfahren werden sowohl bei Lasertechnik-anwendern als auch bei 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 rein quantitativ gesehen eine untergeordnete Rolle; das bedeutet allerdings nicht, daß heimische Forschungseinrichtungen keine qualitativ gesehen hochwertigen Beiträge liefern. Die österreichische Forschungslandschaft beschränkt sich allerdings im Bereich der Lasertechnik auf wenige Institute mit geringer Mitarbeiterzahl⁴³. Die befragten Unternehmen halten – wie erwähnt – den Bestand an kompetenten inländischen F&E-Partnern gegenwärtig für kein Diffusionshindernis, was sich allerdings angesichts hoher Wachstumserwartungen und zunehmender Vielfalt lasertechnischer Verfahren mittelfristig ändern könnte.
- 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 Produkten, die lasertechnische Komponenten enthalten, die überwiegende Mehrzahl zählt allerdings nicht zu Lasertechnikanbietern im engeren Sinn und die Entwicklung der Produkte erfolgt überwiegend

⁴¹ Die Hochrechnung der Lasertechnikanwender für die gesamte österreichische Sachgüterproduktion ergab unter Berücksichtigung von Unternehmen ab 50 Beschäftigten insgesamt 437 Anwender; kleinere Unternehmen konnten aus methodischen Gründen nicht berücksichtigt werden, eine nicht unerhebliche Anzahl ist für diese Größenklasse jedenfalls zu vermuten (siehe Übersicht 3.6). Für mittlere Unternehmen läßt sich aus der Schätzung ein vergleichsweise hoher Anteil von Anwendern (37% sind Unternehmen mit 50 bis 99 Beschäftigten, 44% mit 100 bis 499 Beschäftigten) nachweisen.

⁴² 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 ein enges und vielfach komplementäres Verhältnis zwischen Grundlagenforschung und anwendungsorientierter Entwicklung vorzufinden ist.

⁴³ Vor allem im Vergleich mit großen deutschen Laserforschungsinstituten weisen die österreichischen Forschungseinrichtungen mit Schwerpunkten im Bereich Lasertechnik einen erheblich niedrigeren Personalstand bei Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auf.

außerhalb des eigenen Betriebs. Der Schwerpunkt der heimischen Lasertechnikanbieter (im weiteren Sinn) liegt bei Produkten, die in der industriellen Fertigung Verwendung finden (Materialbearbeitung, Meßtechnik).

Aus dem empirischen Befund zu

- (i) Auswirkungen des Lasertechnikeinsatzes auf Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit der Anwender,
- (ii) den für die Lasertechnik maßgeblichen Diffusionsfaktoren,
- (iii) einem in der Anwendungsentwicklung bestehenden Forschungsbedarf und
- (iv) der Einschätzung zur Angebotssituation

können die folgenden innovationspolitischen Schlußfolgerungen gezogen werden:

Maßnahmen zur Unterstützung der Diffusion lasertechnischer Verfahren für die industrielle Fertigung lassen sich insgesamt sowohl unter dem Aspekt der Breitenwirkung (Relevanz für weite Teile der Sachgüterproduktion sowie für KMU) als auch in Hinblick auf die Stärkung von Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit bei heimischen Unternehmen rechtfertigen. Einen ersten Baustein zur Behebung von Informationsdefiziten bei Nichtanwendern (z.B. über Kosten, technische und wirtschaftliche Potentiale/Grenzen des Einsatzes) könnten herstellerunabhängige Erstberatungen mit Hilfestellungen bei anstehenden Investitionsentscheidungen darstellen. In Ergänzung zur Verbesserung des Beratungsangebots wären Maßnahmen vorzusehen, die einerseits Erprobung und Validierung lasertechnischer Fertigungsverfahren erleichtern, andererseits im Bereich der Aus- und Weiterbildung ansetzen; letzteres könnte zum Beispiel durch ein modular aufgebautes Kursangebot erreicht werden, das zumindest als Zusatzausbildung für traditionelle Berufsbilder geeignet ist und – bei steigendem Bedarf – auch einen formalen Abschluss als „Lasertechniker“ ermöglicht.

Obwohl für die meisten Unternehmen die Höhe der Investitionskosten ein besonders gravierendes Diffusionshemnis darstellt, ist eine Förderung von reinen (Anlage-)Investitionen ebensowenig gerechtfertigt wie bei anderen Verfahren. Demgegenüber erscheint es angebracht, in der Ausstattung von Einrichtungen des Technologietransfers (eventuell auch universitären Einrichtungen) lasertechnische Verfahren stärker zu berücksichtigen. Immerhin halten die befragten Unternehmen die für einen kommerziellen Einsatz erforderliche Kapazitätsauslastung eines Lasers für problematisch. Temporäre Nutzungsmöglichkeiten für innovative Verfahren scheinen derzeit weder für Unternehmen noch für Ausbildungseinrichtungen (z.B. Berufsschulen, HTLs) in ausreichendem Maß vorzuliegen. Bei insgesamt breitem Spektrum lasertechnischer Verfahren wäre eine Auswahl anzubietender Verfahren in Abhängigkeit von den Bedürfnissen des lokalen bzw. regionalen „Anwenderumfeldes“ zu treffen.

Im Bereich Forschung und Entwicklung sehen die österreichischen Lasertechnikanwender kein primäres Diffusionshemnis. Zumindest quantitativ gesehen ist der Umfang der Kooperationen zwischen öffentlich finanzierten Forschungseinrichtungen und Unternehmen als gering einzustufen. Bei den Literaturrecherchen hat sich gezeigt, daß Erfolge in der Grundlagenforschung einen nicht

vernachlässigbaren Einfluß auf die Entwicklung neuer Verfahren haben und eine Reihe von lasertechnischen Fertigungsverfahren die Marktreife noch nicht erreicht hat (z.B. Auftrag dünner Schichten, Rapid Prototyping, Umformen); ähnliches gilt für zahlreiche meßtechnische Anwendungen des Lasers.

Die österreichische Forschungslandschaft im Bereich der Lasertechnik macht einen zersplitterten Eindruck von zwar spezialisierten, aber (personell) klein angelegten Instituten. Eine Erweiterung der vorhandenen Kapazitäten ist vor dem Hintergrund zunehmender wirtschaftlichen Bedeutung der Lasertechnik anzustreben, wobei allerdings Zielvorgaben bzw. eine regelmäßige Evaluierung der Zielerreichung vorzunehmen sind. Primäre Zielsetzungen sollten jedenfalls die Gewährleistung bzw. Verstärkung der Teilnahme heimischer Forscher am internationalen Wissenstransfer (bspw. über internationale Kooperationsprojekte) sowie der Transfer neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse in die Wirtschaft bilden. Eine Reduktion der Standorte und die Konzentration der öffentlichen Forschungskapazitäten scheint nicht sinnvoll. Vielmehr sollte aufbauend auf bestehende Stärken (in den einzelnen Instituten) bei gleichzeitiger Netzwerkbildung innerhalb Österreichs die inhaltliche Spezialisierung der einzelnen Akteure vertieft werden.

Die Einrichtung eines eigenen Förderschwerpunkts für Forschung und Entwicklung in der industriellen Lasertechnik erscheint gerechtfertigt, obwohl Indizien für eine Angebotsschwäche in Österreich vorliegen, die nicht notwendigerweise durch Förderungen behoben werden kann. Der Schwerpunkt heimischer Lasertechnikanbieter liegt eindeutig bei Produkten und Verfahren, die in der industriellen Fertigung eingesetzt werden (Materialbearbeitung, Meß- und Prüfsysteme). Industrielle Anwender verweisen auf zahlreiche Projekte zur Entwicklung und Einführung von Lasertechnik, die während der 90er Jahre durchgeführt wurden. In der Anwendungsentwicklung, also bei der Entwicklung neuer Verfahren und der Verbesserung etablierter Verfahren, ergibt sich ein weites Spektrum von Forschungsthemen. Insgesamt wäre für eine nachhaltige Fokussierung im Bereich der Lasertechnik allerdings ein Maßnahmenbündel erforderlich, das über vereinzelte Projektförderungen hinausreicht. Um die Diffusion lasertechnischer Verfahren in Österreich zu stimulieren, ist neben anwendungsorientierter Forschung auch bei der Verankerung der Lasertechnik in Aus- und Weiterbildung sowie der Reduktion anwenderseitiger Informationsdefizite anzusetzen.

6 Literaturverzeichnis

Altmeyer, S., Eickenbusch, H., Innovationen durch Femtosekunden-Laser, *Physikalische Blätter*, 56(6), 2000, S. 59-62.

Barkhausen, W., Büchter, E., Kunststoffverarbeitung: Formen im eingebauten Zustand säubern, Laser reinigt schonend und umweltfreundlich, *Industrieanzeiger*, 21, 1999, S. 56-57.

Benes, J., Technology adds a new twist to difficult drilling, *American Machinist*, 140(7), 1996, S. 78-79.

Bögel, U., Beschichtung und Modifizierung von Kunststoffen – Möglichkeiten und Bedeutung, erschienen in Konferenzbericht zum 4. Dresdner Vakuumtechnischen Kolloquium, Dresden, 1996, S. 1.10-1.10.

Bohling, M., Fischer, A., Laseroberflächentechnik im Maschinenbau: Härten, Legieren, Beschichten, *Elektrowärme International*, 53, Heft B4, 1995, S. 186-190.

Bryden, B., High power diode laser transmission welding of plastics, *Assembly Automation*, 20(2), 2000, S. 136-139.

Bublitz, J., Schade, W., Laserspektroskopie in der Umweltanalytik, *GIT Fachzeitschrift für das Laboratorium*, 39(2), 1995, S. 117-123.

BMWF (Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung), Technologieschwerpunkt „Industrielle Lasertechnik in Österreich“, Wien, 1990.

Dahmen, M., Kreutz, E., Fortschritte in der Materialbearbeitung mit Laserstrahlung, *Maschinenbau*, 27(7/8), 1998, S. 23-27.

Dickmann, K., Hochgeschwindigkeits-Perforationsbohren mit gepulster Laserstrahlung, *Maschinenmarkt*, 105(21), 1999, S. 40-43.

Dickmann, K., Kosten/Nutzenabwägung vor der Integration des Lasers in die Fertigung, in: Konferenzbericht zur Euroforum-Anwenderkonferenz zum Lasereinsatz in Nürtingen Okt. 1997, S. 10.1-10.17.

Dilthey, U., Wenzel, F., Lüder, F., Wirtschaftliche Modellbetrachtung zur Auswahl einer Trenntechnologie in der industriellen Fertigung, *Bänder Bleche Rohre*, 39(3), 1998, S. 58-63.

Dodgson, M., Bessant, J., *Effective Innovation Policy: An Overview*, 1996, International Thomson Business Press, London.

Frish, M., Edwards, L., McDonnell, P., Melnyk, J., Application of SpectraScan tunable diode laser instruments to fugitive emissions, *Sensor Review*, 19(4), 1999, S. 278-284.

- Gooch, R., Optical metrology in manufacturing automation, *Sensor Review*, 18(2), 1998, S. 81-87.
- Graham, S., Rapid Prototyping: a key to fast tracking design to manufacture, *Assembly Automation*, 20(4), 2000, S. 291-294.
- Granstrand, O. (ed.), *Economics of Technology*, 1994, North-Holland, Amsterdam.
- Grupp, H., Learning in a Science-driven Market: The Case of Lasers, *Industrial and Corporate Change*, 9(1), 2000, S. 143-172.
- Grupp, H., The Dynamics of Science-Based Innovation Reconsidered: Cognitive Models and Statistical Findings, erschienen in Granstrand (1994), S. 223-252.
- Haferkamp, H., Alvensleben, F., Becker, H., Lindemann, K., Czerner, S., Lasereinsatz zur Vergütung und Reparatur im Werkzeugbau, *wt Werkstatttechnik* 89(7/8), S. 381-383.
- Helpman, E., (Hrsg.), *General Purpose Technologies and Economic Growth*, MIT Press, 1998, Cambridge MA.
- Hendrikson, M., Frimpong, F., Ekere, N., Interconnect solutions for advanced area array packaging, *Microelectronics International*, 16(2), 1999, S. 49-54.
- Hilscher, G., Werkzeug für alle Fälle – Verschleißschutz: Mit dem Laser auftragen, *Industrieanzeiger*, 117(17), 1995, S. 40-41.
- Hoffmann, K., Schweißen und Schneiden von Stahlblechen, *Stahlmarkt*, 47(5), 1997, S. 62-65.
- Kahlert, H., Burghardt, B., Basting, D., Industrietauglich bohrt der Excimerlaser mit 150 W., *Laser-Praxis*, Juni 1991, S. 56-60.
- Karapatis, N., Griethuysen, J., Glardon, R., Direct rapid tooling: a review of current research, *Rapid Prototyping Journal*, 4(2), 1998, S. 77-89.
- Kersten, P., Kiefer, J., Weniger ist mehr: Hochdichte Leiterplatten und die Möglichkeiten für den Schaltungsentwickler, *F+M, Feinwerktechnik, Mikrotechnik, Mikroelektronik*, 106(11), 1998, S. 835-837.
- Kirkpatrick, I., High definition plasma – an alternative to laser technology, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 70(3), 1998, S. 215-217.
- Kochan, A., Audi moves forward with all-aluminium cars, *Assembly Automation*, 20(2), 2000a, S. 132-135.
- Kochan, A., Rapid prototyping gains speed, volume and precision, *Assembly Automation*, 20(4), 2000b, S. 295-299.
- Kochan, A., Assembly techniques evolve in new and old directions, *Assembly Automation*, 18(3), 1998, S. 206-208.

- Kochan, A., ISATA highlights trends in automotive assembly techniques, *Assembly Automation*, 17(4), 1997, S. 287-290.
- Koerber, C., Technisch-wirtschaftliche Analyse zur Investitionsplanung für Laseranlagen, *Maschinenmarkt*, 104(52), 1998, S. 22-24.
- Lemke, M., Laser spürt Öle in Böden auf, *Umweltmagazin*, 27(10), 1998, S.46.
- Lipsey, R., Bekar, C., Carlaw, K., What requires Explanation?, in: Helpman (1998).
- Lundvall, B., (ed.), *National Systems of Innovation*, Pinter Publishers, 1992, London.
- Magloth, A., Laser-Schneidtechnologie für technische Textilien, *International Textile Bulletin Vliesstoffe*, 44 (3), 1998, S. 28-30.
- Magnusson, C., Laser materials processing in the Nordic countries, *International Journal of Materials and Product Technology*, 11(3/4), 1996, S. 271-275.
- Messler, R., Trends in key joining technologies for the twenty-first century, *Assembly Automation*, 20(2), 2000, S. 118-128.
- Meyer-Kobbe, C., Die Laserstrahlhärtung im Vergleich zu konventionellen Verfahren, *FBM Fertigungstechnologie*, 67(4), 1990, S.290-196.
- Mielke, R., Jetter, H., Die trockene Fabrik – mit Laser reinigen und entlacken, *JOT Journal für Oberflächentechnik*, 34(7), 1994, S. 42-43.
- Mistry, K., Plastics welding technology for industry, *Assembly Automation*, 17(3), 1997, S. 196-200.
- Montague-Brown, C., A new approach to 3-dimensional cutting and trimming of metal panels, *Assembly Automation*, 19(2), 1999, S. 126-128.
- Nelson, R., Romer, P., *Science, Economic Growth, and Public Policy*, in: Smith – Barfield (1996).
- Ness, C., Laser-machine owners speak out, *Welding Design and Fabrication*, 71(5), 1998, S. 24-27.
- Optech Consulting, *Perspectives of Laser Processing: Report on Laser Markets and Technologies*, Tägerwilen, August 2000.
- Peoples, J., Weinstein, L., The use of noncontact laser gauging systems for online measurement, *Sensor Review*, 19(4), 1999, S. 260-264.
- Ponschab, H., Müllner, A., Radlmayer, K., Szinyur, J., Die lasergestützte Platine – ein innovatives Produkt zur Gewichtsreduzierung und Eigenschaftsverbesserung im Automobil, *Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 142 (11), 1997, S. 443-450.
- Pütz, H., Hänisch, D., Treusch, H., *Verbindung mit Zukunft: Schweißen mit Laserstrahlung*, *Plastikverarbeiter*, 48 (5), 1997.

- Radstock, E., Rapid Tooling, Rapid Prototyping Journal, 5(4), 1999, S. 164-168.
- Reichenbach, B., Laser formt aus Blechzuschnitten komplexe räumliche Bauteile, Industrieanzeiger, 120(49), 1998, S. 50-53.
- Richter, R., Gonschior, M., Heller, R., Jürging, C., Rapid-Prototyping im Betrieb: Zwei Beispiele für den Einsatz in der Produktentwicklung, Produktion und Management – wt, 83(11/12), 1993, S. 70-73.
- Rigolet, F., Cleaning and surface preparation: which lasers for which applications?, Assembly Automation, 19(2), 1999, S. 104-108.
- Rooks, B., Laser become the acceptable face of precision welding and cutting; Industrial Robot, 27(2), 2000, S. 103-107.
- Rosenberg, N., Inside the Black Box: Technology and Economics, 1982, Cambridge University Press.
- Rzeznik, T., In-line laser measurement in the assembly process, Industrial Robot, 24(1), 1997, S. 16-23.
- Schmidt, H., Anwendungstechnische und wirtschaftliche Gegenüberstellung von Plasma- und Laserschneiden, DVS-Berichte, Band 185, 1997, S. 20-26.
- Schroeder, W., Firgber, E., Estable, S., Scannerless laser range camera, Sensor Review, 19(4), 1999, S. 285-291.
- Schubert, E., Zerner, I., Lasergestütztes Fügen von Werkstoffkombinationen; Blech Rohre Profile, 4, 1999, S. 76-81.
- Schuhmacher, B., KMU wollen brauchbare Prototypen, Schweizer Maschinenmarkt, Heft 31, 1997, S. 140-145.
- Schuöcker, D., Aussenegg, F., Bäuerle, D., Technologieschwerpunkt 2000: Industrielle Laser in Fertigungs- und Meßtechnik, Wien, 2000.
- Seefeld, T., Theiler, C., Kohn, H., Laserstrahlbeschichten: Anwendungsbeispiele aus dem Schiffsmaschinenbau, der Off-ShoreTechnik und dem Werkzeugbau, mimeo, 2000, BIAS Bremen.
- Shirinzadeh, B., Laser-interferometry-based tracking for dynamik measurements, Industrial Robot, 25(1), 1998, S.35-41.
- Siegel, A., Zeiss, C., Litfin, G., (Hrsg.), Optische Technologien für das 21. Jahrhundert, Düsseldorf, Mai 2000.
- Smith, B., Barfield, C., (Hrsg.), Technology, R&D, and the Economy, Brookings Institution, 1996, Washington.

Steffens, H., Wilden, J., Möhwald, K., Berthold, M., Vergleich des Laserlötens mit konventionellen Methoden: Eigenschaften, Leistungsfähigkeiten, Unterschiede, VDI-Publikation Präzisionsbearbeitung mit Festkörperlasern, 1996, S. 99-103.

Su, Z., Rowlands, H., A laser alignment system for boat assembly, Sensor Review, 20(3), 2000, S. 206-211.

Vaccari, J., The promise of laser forming, American Machinist, 137(6), 1993, S.36-38.

Van Veen, N., Laser soldering technology, Beitrag in Konferenzbericht NEPCON'92, Band 3, 1992, S. 1231-1241.

Volz, R., Arnold, J., Battling, K., Friedrich, G., Keine Chance dem Verschleiß: Neue Lasertechnologien für die Industrie, DLR-Nachrichten, Heft 88, 1998, S. 36-37.

Weber, H., Laser: Eine revolutionäre Erfindung und ihre Anwendungen, Verlag C.H. Beck, München, 1998.

Witan, K., Schreiben mit Laserlicht: Laserbeschriftung von Hostaform, Kunststoffberater, 42(6), 1997, S. 6-8.

Zeiff, A., Optoelektronische Sensorik geht neue Wege: Mit Weißlicht oder Laser, SMM, 23, 1999, S. 28-29.

Zimmermann, B., Laser-Messtechnik im Maschinenbau, Fertigungsmesstechnik SMM, 27, 1999, S. 12-13.

7 Anhang : Fragebogen LASER 2000

Ökonomische Potentiale des Lasertechnikeinsatzes

Alle Einzelangaben werden streng vertraulich behandelt!

Bitte beantworten Sie diesen Fragebogen bis 17.7.2000!

Bei Rückfragen und eventuellen Unklarheiten wenden Sie sich bitte an: Mag. Norbert G. Knoll
Tel: 01 / 798 26 01 – 472
Fax: 01 / 798 93 86
email: Norbert.Knoll@wifo.ac.at

1. Wurden oder werden in Ihrem Betrieb Projekte zur Entwicklung oder Einführung von lasergestützten Fertigungsprozessen (zB Meßtechnik, Materialbearbeitung, ...) durchgeführt? (Anmerkung: gemeint sind auch nicht erfolgreiche und noch nicht abgeschlossene Projekte)

1. Nein → Bitte fortsetzen mit Frage 2.

Ja → Solche Projekte wurden

vor 1996 begonnen	2.	<input type="checkbox"/>
1996 oder später begonnen		<input type="checkbox"/>
sowohl als auch		<input type="checkbox"/>

Sind Sie bei diesen Projekten Kooperationen eingegangen? (Mehrfachnennungen möglich)

ja, mit inländischen Einrichtungen aus dem Forschungsbereich	3.	<input type="checkbox"/>
ja, mit ausländischen Einrichtungen aus dem Forschungsbereich	4.	<input type="checkbox"/>
ja, mit inländischen Anbietern von Lasertechnik	5.	<input type="checkbox"/>
ja, mit ausländischen Anbietern von Lasertechnik	6.	<input type="checkbox"/>
ja, mit sonstigen Kooperationspartnern	7.	<input type="checkbox"/>
nein, keine Kooperationen	8.	<input type="checkbox"/>

2. Werden in Ihrem Betrieb Anwendungen der Lasertechnik in Fertigungsprozessen eingesetzt oder ist dieser Einsatz für die nächsten 5 Jahre (mittelfristig) geplant?

9. Nein → Bitte fortsetzen mit Frage 6.

Ja → Welche der folgenden Anwendungen der Lasertechnik werden in Ihrem Betrieb in Produktionsprozessen eingesetzt bzw. sollen innerhalb den nächsten 5 Jahre zum Einsatz gebracht werden?

	Bereits im Einsatz	Einsatz in den nächsten 5 Jahren geplant	Im Einsatz seit dem Jahr bzw. Einsatz geplant für das Jahr
Lasergestützte Meß- und Prüfsysteme 10.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11.
Lasergestützte Produktentwicklung und -konstruktion 12.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	13.
Lasergestützte Materialbearbeitung:			
Lasergestütztes Abtragen 14.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15.
Lasergestütztes Auftragschweißen 16.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	17.
Lasergestütztes Beschriften 18.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	19.
Lasergestütztes Bohren 20.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	21.
Lasergestütztes Dispergieren 22.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	23.
Lasergestütztes Fügen 24.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	25.
Lasergestütztes Härten 26.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	27.
Lasergestütztes Legieren 28.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	29.
Lasergestütztes Markieren 30.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	31.
Lasergestütztes Schneiden 32.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	33.
Lasergestütztes Schweißen 34.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	35.
Lasergestütztes Umformen 36.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	37.
Sonstige Lasergestützte Materialbearbeitung: 38.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	39.

3. Falls Sie Frage 2 mit JA beantwortet haben: Der Einsatz von Lasertechnik in Fertigungsprozessen hat gegenüber alternativen Verfahren Vorteile und Nachteile. Beurteilen Sie bitte, ob die folgenden technischen und wirtschaftlichen Motive für den bestehenden bzw. mittelfristig geplanten Einsatz von Lasertechnik in Fertigungsprozessen Ihres Betriebes zutreffen oder nicht zutreffen.

		Trifft zu	Trifft nicht zu
Präzision der gewählten Lasertechnik-Verfahren (zB Bearbeitungsqualität ...)	40	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Geringe thermische Belastung der Werkstoffe	41	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Automatisierbarkeit des Verfahrens	42	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Wiederholgenauigkeit der Verfahrensschritte	43	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Flexibilität des Verfahrens (zB frei wählbare Werkstoffkonturen, ...)	44	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Entfall von Fertigungsschritten (zB Nachbearbeitung)	45	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Senkung der Durchlaufzeiten in der Produktion	46	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Fertigung neuer, ohne Lasertechnik nicht herstellbarer Produkte	47	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Qualitätsverbesserung der Produkte	48	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Sonstige wichtige Motive:			

4. Falls Sie Frage 2 mit JA beantwortet haben: Bitte, geben Sie zu den folgenden Aussagen zum Einsatz von Lasertechnik in Produktionsprozessen an, ob diese für Ihren Betrieb zutreffen oder nicht zutreffen.

		Trifft zu	Trifft nicht zu
Anwendungen der Lasertechnik sind für die Wirtschaftlichkeit einzelner Fertigungsschritte unumgänglich.	49	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Für den Einsatz lasergestützter Meß- und Prüfsysteme bestehen auch in unserem Betrieb noch zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten.	50	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Bis etwa 2005 wird der Einsatz von Lasertechnik in unserer Branche stark steigen.	51	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Der Einsatz von Lasertechnik im eigenen Betrieb erhöht die Wettbewerbsfähigkeit spürbar.	52	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂

5. Falls Sie Frage 2 mit JA beantwortet haben: Für welche Seriengrößen scheinen Ihnen lasergestützte Fertigungsprozesse am besten geeignet? (Mehrfachangaben möglich)

53. Einzelanfertigungen ₁
54. Kleine und mittlere Serien ₁
55. Großserien ₁
56. Keine Unterschiede hinsichtlich Seriengröße ₁

6. Welche der folgenden Argumente gegen den (verstärkten) Einsatz von Lasertechnik in Fertigungsprozessen treffen auf Ihren Betrieb zu oder treffen nicht zu?

		Trifft zu	Trifft nicht zu
In unserer Branche sind lasergestützte Fertigungsverfahren nicht oder kaum anwendbar (zB infolge von Materialeigenschaften)	57	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Die erforderlichen Investitionen sind sehr hoch bzw. zu hoch.	58	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Die (betriebswirtschaftlich) erforderliche Auslastung ist nicht gewährleistet.	59	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Im Vorfeld eines (verstärkten) Einsatzes von Lasertechnik wäre zu hoher Aufwand an Forschung und Entwicklung (F&E) notwendig.	60	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Für die Anpassung von lasergestützten Fertigungsverfahren an die Bedürfnisse unseres Betriebes fehlen in Österreich kompetente Partner für Forschung und Entwicklung (zB Lasertechnikanbieter, Hochschulinstitute, ...).	61	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Eine qualitative Verbesserung unserer Produkte ist durch den (verstärkten) Einsatz von Lasertechnik nicht oder kaum zu erreichen.	62	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Verfahrensschritte, die den Einsatz von Lasertechnik erfordern können zu günstigen Bedingungen ausgelagert werden (zB Vorlieferanten, Lohnfertigung, ...)	63	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂
Sonstige wesentliche Gründe:			

7. Werden in Ihrem Betrieb Produkte, die Lasertechnik-Komponenten enthalten, hergestellt?

64. Nein _0 → Bitte fortsetzen mit Frage 10.

Ja _1 → Solche Produkte wurden

vor 1996 auf den Markt gebracht	65.	<input type="checkbox"/> _1
1996 oder später auf den Markt gebracht		<input type="checkbox"/> _2
sowohl als auch		<input type="checkbox"/> _3

Sind Sie bei der Entwicklung solcher Produkte Kooperationen eingegangen? (Mehrfachnennungen möglich)

ja, mit inländischen Einrichtungen aus dem Forschungsbereich	66.	<input type="checkbox"/> _1
ja, mit ausländischen Einrichtungen aus dem Forschungsbereich	67.	<input type="checkbox"/> _1
ja, mit inländischen Anbietern von Lasertechnik	68.	<input type="checkbox"/> _1
ja, mit ausländischen Anbietern von Lasertechnik	69.	<input type="checkbox"/> _1
ja, mit sonstigen Kooperationspartnern	70.	<input type="checkbox"/> _1
nein, keine Kooperationen	71.	<input type="checkbox"/> _1

8. Falls Sie Frage 7 mit JA beantwortet haben: Von wem wurden die in diesen Produkten verwendeten Lasertechnik-Komponenten hauptsächlich entwickelt? (Mehrfachnennungen möglich, wenn mehrere verschiedene Lasertechnik-Komponenten)

72. (überwiegend) von Ihrem Betrieb _1

73. unter Beteiligung Ihres Betriebes _1

74. nicht von Ihrem Betrieb _1

9. Falls Sie Frage 7 mit JA beantwortet haben: Zu welchen der folgenden Bereiche zählen die Produkte Ihres Betriebes, die Lasertechnik-Komponenten enthalten? (Mehrfachnennungen möglich)

Produkte oder Systeme zur Materialbearbeitung in der industriellen Fertigung	75.	<input type="checkbox"/> _1
Produkte für den medizinischen Bereich	76.	<input type="checkbox"/> _1
Meß- und Prüfsysteme für die industrielle Fertigung	77.	<input type="checkbox"/> _1
Informations- und Kommunikationstechnik	78.	<input type="checkbox"/> _1
Konsumelektronik	79.	<input type="checkbox"/> _1
Sonstige:	80.	<input type="checkbox"/> _1

10. Beabsichtigt Ihr Betrieb mittelfristig (bis 2005) Produkte auf den Markt zu bringen, die Lasertechnik-Komponenten enthalten?

81. Nein _0

Ja _1

Bearbeiter: _____ Tätigkeit: _____

Telefon: _____ Fax: _____ e-mail: _____

Bitte kreuzen Sie nebenstehendes Kästchen an, falls Sie die Ergebnisse dieser Befragung kostenlos erhalten wollen: _1

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!