

Lasergerechte Konstruktion und Fertigung

Stand der Technik und Potentiale

**Herausgegeben von
Prof.Dr.h.c.Dipl.-Wirt.Ing.Dr.-Ing.W.Eversheim**

mit Beiträgen von

Prof. Dr.h.c. Dipl.-Wirt.Ing. Dr.-Ing. W. Eversheim und Dr.-Ing. H. Schunk

Prof. Dr.-Ing. M. Geiger

Prof. Dr.-Ing. G. Herziger und Dr.-Ing. E. Beyer

Prof. Dr.-Ing. H. Hügel

Prof. Dr.-Ing. F. L. Krause und Dipl.-Ing. H. Leemhuis

Dipl.-Phys. J. Lüdtke

Prof. Dr.-Ing. J. Milberg, Dipl.-Ing. F. Garnich und Dipl.-Ing. H. Schwarz

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. T. Pfeifer und Dr.-Ing. B. Gimpel

Prof. Dr. sc.nat. W. Pompe

Dr. rer.nat. R. Röhrig

Prof. Dr.-Ing. G. Sepold und Dipl.-Ing. M. Zierau

*Prof. Dr.-Ing. K. Tönshoff, Dipl.-Ing. C. Emmelmann, Dipl.-Ing. M. Gonschior
und Dipl.-Ing. D. Hesse*

*Prof. Dr.-Ing. Dr. mult.h.c. H. J. Warnecke, Prof. Dr.-Ing. R. D. Schraft und
Dipl.-Ing. G. Hardock*

Dipl.- Ing. U. Blum und Prof. Dr.h.c. Dipl.-Wirt.Ing. Dr.-Ing. W. Eversheim

Inhalt

1 Einleitung	1
<i>Prof. Dr.h.c. Dipl.-Wirt.Ing. Dr.-Ing. W. Eversheim, Dr.-Ing. H. Schunk, Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie (IPT), Aachen</i>	
1.1 Problemstellung und Zielsetzung der Untersuchung	4
1.2 Inhaltlicher Aufbau des Buches	6
1.3 Literatur zu Kapitel 1	6
2 Methodische Grundlagen der Untersuchung	8
<i>Prof. Dr.h.c. Dipl.-Wirt.Ing. Dr.-Ing. W. Eversheim, Dr.-Ing. H. Schunk, Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie (IPT), Aachen</i>	
2.1 Vorgehensweise	8
2.2 Ableitung von Suchfeldern	11
2.2.1 Entwicklung eines Planungsmodells	12
2.2.2 Entwicklung eines Anlagenmodells	18
2.3 Vorbereitung der Untersuchungen	26
2.3.1 Entwicklung eines Bogens zur Ideenfindung	26
2.3.2 Ableitung des Teilnehmerspektrums der Befragungsaktion	28
2.3.3 Entwicklung einer Bewertungssystematik	30
2.4 Literatur zu Kapitel 2	33
3 Ermittlung des Forschungsbedarfs im Bereich "Grundlagen lasergerechter Konstruktion und Fertigung"	35
<i>Prof. Dr.h.c. Dipl.-Wirt.Ing. Dr.-Ing. W. Eversheim, Dr.-Ing. H. Schunk, Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie (IPT), Aachen</i>	
3.1 Ableitung der Defizite im Bereich der Lasertechnologie	35
3.1.1 Defizite bei der Planung von Lasersystemen	37
3.1.2 Defizite beim Einsatz von Lasersystemen	47
3.1.3 Gewichtung der Defizite	60
3.2 Aufzeigen des Forschungsbedarfs im Bereich "Grundlagen lasergerechter Konstruktion und Fertigung"	66
3.2.1 Zuordnung des Forschungsbedarfs zu den Ausschreibungsschwerpunkten	68
3.2.1.1 Lasergerechte Konstruktion von Werkstücken	69
3.2.1.2 Konzeption und Auslegung produktionstauglicher Laserbearbeitungssysteme	70
3.2.1.3 Einordnung der Laserbearbeitung in den	

	betrieblichen Ablauf	72
3.2.2	Prüfung der Förderungswürdigkeit	74
3.2.3	Themenrangfolge zur Bearbeitung des Forschungs- schwerpunktes "Grundlagen lasergerechter Konstruktion und Fertigung"	76
3.2	Literatur zu Kapitel 3	80

4 Detaillierung des Forschungsbedarfs im Bereich "Grundlagen lasergerechter Konstruktion und Fertigung"

82

4.1	Einführung zum Expertengespräch "Grundlagen lasergerechter Konstruktion und Fertigung"	82
-----	---	----

*Dr. rer. nat. R. Röhrig, Bundesministerium für Forschung und
Technologie (BMFT), Bonn*

4.2	Lasergerechte Konstruktion von Werkstücken	86
-----	--	----

4.2.1	Verfahrensspezifisch orientierter Forschungsbedarf auf dem Gebiet der Lasermaterialbearbeitung	86
-------	---	----

Prof. Dr.-Ing. H. Hügel, Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW), Stuttgart

4.2.1.1	Einführung	86
4.2.1.2	Derzeitiger Stand	88
4.2.1.2.1	Umwandlungshärten	88
4.2.1.2.2	Beschichten, Umschmelzen mit Zusatzwerkstoffen	89
4.2.1.2.3	Schweißen	90
4.2.1.3	Forschungsbedarf	93
4.2.1.3.1	Eigenschaftsermittlung der laserbehandelten Werkstoffe ..	93
4.2.1.3.2	Bauteilgestaltung	94

4.2.2	Ermittlung der technischen und konstruktiven Möglichkeiten bei Einsatz der Lasertechnologie	95
-------	--	----

*Prof. Dr.-Ing. M. Geiger, Lehrstuhl für Fertigungstechnologie (LFT)
der Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen*

4.2.2.1	Derzeitige Situation	95
4.2.2.2	Problemfelder und Wissensdefizite	97
4.2.2.3	Zukünftiger Forschungsbedarf	102

4.2.3	Rechnerunterstützte Hilfsmittel für die laser- gerechte Konstruktion	105
-------	---	-----

*Prof. Dr.sc.nat. W. Pompe, Institut für Werkstoffphysik
und Schichttechnologie, Dresden*

4.2.3.1	Derzeitige Situation	105
---------	----------------------------	-----

4.2.3.2	Problemfelder und Defizite	106
4.2.3.2.1	Das Konzept der beanspruchungsgerechten Laser- oberflächenveredelung	106
4.2.3.2.2	Geometrische Optimierung der Laserbehandlung	110
4.2.3.3	Zukünftiger Forschungsbedarf	114
4.2.4	Entwicklung technischer Richtlinien und Normen für die Lasertechnologie	116

Dipl.-Phys. J. Lüdtko, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN), Berlin

4.2.4.1	Einleitung	116
4.2.4.2	Entwicklungsbegleitende Normung als Beitrag zur technischen und wirtschaftlichen Entfaltung der Lasertechnik	117
4.2.4.3	Bedarfsanalyse für entwicklungsbegleitende Normung	118
4.2.4.4	Normungsbedarf zum lasergerechten Konstruieren und Fertigen	118
4.2.4.4.1	Terminologie	118
4.2.4.4.2	Kennzeichnung von Prozeßdaten	119
4.2.4.4.3	Qualitätssicherung	119
4.2.4.4.4	Grundsätze für das Konstruieren laserstrahl- geschweißter Bauteile	119
4.2.4.4.5	Prüfverfahren	120
4.2.4.4.6	Abnahmeprüfungen	120
4.2.4.4.7	Lasersicherheit	120
4.2.5	Ermittlung laserspezifischer Kosten und Einsparungspotentiale	122

*Prof. Dr.-Ing. H. K. Tönshoff, Dipl.-Ing. C. Emmelmann, Dipl.-Ing. D. Hesse,
Dipl.-Ing. M. Gonschior, Laser Zentrum Hannover (LZH), Hannover*

4.2.5.1	Derzeitige Situation, Stand der Technik	122
4.2.5.2	Problemfelder und Defizite	123
4.2.5.2.1	Wirtschaftliche Rahmenbedingungen für den Lasereinsatz in der Fertigung	123
4.2.5.2.2	Laserspezifische Kosten	124
4.2.5.2.3	Laserspezifische Einsparungspotentiale	125
4.2.5.3	Zukünftiger Forschungsbedarf	127
4.2.5.4	Literatur zu Abschnitt 4.2.5	128
4.3	Konzeption und Auslegung produktionstauglicher Laserbearbeitungssysteme	129

4.3.1 Entwicklung neuer Lasersysteme und -komponenten 129

*Prof. Dr.-Ing. G. Sepold, Dipl.-Ing. M. Zierau, Forschungs und
Entwicklungslabor für angewandte Strahltechnik GmbH (BIAS), Bremen*

4.3.1.1	Einleitung	129
4.3.1.2	Systemtechnische Planung einer Laseranlage	129
4.3.1.2.1	Anforderungen aus der Fertigungspalette	132
4.3.1.2.2	Anforderungen aus der Fertigungstechnologie	132
4.3.1.2.3	Anforderungen aus dem Fertigungsergebnis	132
4.3.1.2.4	Anforderungen aus der Firmenstruktur	132
4.3.1.3	Zukünftige erforderliche Aktivitäten	133
4.3.1.3.1	Laserstrahlquellen	134
4.3.1.3.2	Strahlführungs- und Strahlformungssysteme	134
4.3.1.3.3	Komponenten für die Werkstückhandhabung	134
4.3.1.3.4	Steuerungs- und Überwachungselemente	135
4.3.1.3.5	Sicherheitseinrichtungen	135
4.3.1.3.6	Lasersystemtechnik	136
4.3.1.4	Zusammenfassung	139
4.3.1.5	Literatur zu Abschnitt 4.3.1	139

4.3.2 Lasergerechte Konstruktion und Fertigung unter Berücksichtigung der Möglichkeiten der Qualitäts- sicherung durch Prozeßüberwachung und Diagnose 140

*Prof. Dr.-Ing. G. Herziger, Dr.-Ing. E. Beyer,
Fraunhofer Institut für Lasertechnik (ILT), Aachen*

4.3.2.1	Einleitung	140
4.3.2.2	Besonderheiten der Laserstrahlung	140
4.3.2.3	Möglichkeiten der Qualitätssicherung	141
4.3.2.4	Konsequenzen für Konstruktion und Fertigungsplanung . . .	143
4.3.2.5	Defizite und zukünftiger Forschungsbedarf	144

4.3.3 Einsatz von Expertensystemen in der Lasertechnologie . . . 145

*Prof. Dr.-Ing. F. L. Krause, Dipl.-Ing. H. Leemhuis, Fraunhofer Institut
für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK), Berlin*

4.3.3.1	Derzeitiger Entwicklungsstand	145
4.3.3.1.1	Motivation zum Einsatz von Expertensystemen	145
4.3.3.1.2	Einsatz von Expertensystemen von der Konstruktion bis zur Fertigung	145
4.3.3.1.3	Rechnerunterstützung bei der Laserstrahlenanwendung von der Konstruktion bis zur Fertigung	146
4.3.3.2	Problemfelder und Defizite	148
4.3.3.2.1	Konstruktion von Werkstücken	148

4.3.3.2.2	Arbeitsplanung	149
4.3.3.2.3	Ermittlung technologischer Prozeßparameter	150
4.3.3.2.4	Diagnose und Überwachung	150
4.3.3.2.5	Anlagenplanung	151
4.3.3.3	Zukünftiger Forschungsbedarf	152
4.3.3.4	Literatur zu Abschnitt 4.3.3	153
4.3.4	Verfahren, Methoden und Hilfsmittel zur Konzeption und Abnahme von Lasersystemen	156

*Prof. Dr.-Ing. Dr.mult.h.c. H.J. Warnecke, Prof. Dr.-Ing. R.D. Schraft,
Dipl.-Ing. G. Hardock, Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und
Automatisierung (IPA), Stuttgart*

4.3.4.1	Einleitung	156
4.3.4.2	Fertigungsverfahren und Einsatzbereiche der Lasermaterialbearbeitung heute	156
4.3.4.2.1	Laserstrahlschneiden	159
4.3.4.2.2	Laserstrahlschweißen	161
4.3.4.3	Anlagenprinzipien für die Lasermaterialbearbeitung	162
4.3.4.3.1	Kinematische Konzepte räumlicher Laseranlagen	164
4.3.4.3.2	Realisierte 3D-Laseranlagen	166
4.3.4.4	Einflußfaktoren auf das Bearbeitungsergebnis am Werkstück	168
4.3.4.5	Erfassen der produktionstechnischen Einflußfaktoren	170
4.3.4.6	Konzeption und Realisierung einer aufgabenspezifischen Laserstrahlschneidanlage	175
4.3.4.7	Ausblick	179
4.4	Einordnung der Laserbearbeitung in den betrieblichen Ablauf	181
4.4.1	Entwicklung laserspezifischer Qualitätssicherungs- konzepte	181

*Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. T. Pfeifer, Dr.-Ing. B. Gimpel,
Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie (IPT), Aachen*

4.4.1.1	Derzeitige Situation	181
4.4.1.2	Problemfelder und Defizite	183
4.4.1.3	Zukünftiger Forschungsbedarf	190
4.4.1.4	Literatur zu Abschnitt 4.4.1	191
4.4.2	Integration von Laserbearbeitungssystemen in die rechnergestützte Produktion	193

*Prof. Dr.-Ing. J. Milberg, Dipl.-Ing. F. Garnich, Dipl.-Ing. H. Schwarz,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der
TU München (iwb), München*

4.4.2.1	Derzeitige Situation	193
4.4.2.2	Problemfelder und Defizite	194
4.4.2.3	Zukünftiger Forschungsbedarf	195
4.4.2.3.1	Ablauforganisatorischer Informationsfluß	195
4.4.2.3.2	Integration von Konstruktion und Planung	195
4.4.2.3.3	Planungshilfsmittel	196
4.4.2.3.4	Off-line-Programmierverfahren	199
4.4.2.3.5	Materialfluß	200
4.4.2.3.6	Sensorik	201
4.4.2.3.7	Datentechnische Integration	201
4.4.2.4	Zusammenfassung	204
4.4.2.5	Literatur zu Abschnitt 4.4.2	205

4.4.3	Menschen- und umweltgerechte Konzepte zur Lasermaterialbearbeitung	206
-------	---	-----

*Dipl.-Ing. U. Blum, Industriegewerkschaft Metall (IG Metall), Frankfurt;
Prof. Dr.h.c. Dipl.-Wirt.Ing. Dr.-Ing. W. Eversheim, Fraunhofer Institut
für Produktionstechnologie (IPT), Aachen*

4.4.3.1	Einführung	206
4.4.3.2	Die Notwendigkeit erweiterter Lasten- und Pflichtenhefte	207
4.4.3.3	Der sozialverträgliche Betrieb	210
4.4.3.3.1	Gestaltung der Arbeitsorganisation	210
4.4.3.3.2	Veränderte Anforderungen an das Bildungssystem	212
4.4.3.4	Die Bedeutung der ökologischen Zielsetzungen	214
4.4.3.5	Zusammenfassung	218
4.4.3.6	Literatur zu Abschnitt 4.4.3	219

5	Anhang	221
---	--------	-----

Anhang 1:	Bogen zur Ideenfindung	221
Anhang 2:	Strukturierung und Zuordnung des ermittelten Forschungsbedarfs	236
Anhang 3:	Prioritätenliste für den ermittelten und auf Förderungsfähigkeit geprüften Forschungsbedarf, geordnet nach sinkender Bedeutung	242

6	Sachwortverzeichnis	245
---	---------------------	-----