

# **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. Schraff 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

*Prof. Dr.h.c. Dipl.-Wirt.Ing. Dr.-Ing. W. Eversheim, Dr.-Ing. H. Schunk,  
Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie (IPT), Aachen*

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

*Prof. Dr.h.c. Dipl.-Wirt.Ing. Dr.-Ing. W. Eversheim, Dr.-Ing. H. Schunk,  
Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie (IPT), Aachen*

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

*Prof. Dr.h.c. Dipl.-Wirt.Ing. Dr.-Ing. W. Eversheim, Dr.-Ing. H. Schunk,  
Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie (IPT), Aachen*

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
<b>4</b>	<b>Detaillierung des Forschungsbedarfs im Bereich "Grundlagen lasergerechter Konstruktion und Fertigung" . . . . .</b>	<b>82</b>
4.1	Einführung zum Expertengespräch "Grundlagen lasergerichter Konstruktion und Fertigung" . . . . .	82
<i>Dr. rer. nat. R. Röhrlig, Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT), Bonn</i>		
4.2	Lasergerichtete Konstruktion von Werkstücken . . . . .	86
4.2.1	Verfahrensspezifisch orientierter Forschungsbedarf auf dem Gebiet der Lasermaterialbearbeitung . . . . .	86
<i>Prof. Dr.-Ing. H. Hügel, Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW), Stuttgart</i>		
4.2.1.1	Einführung . . . . .	86
4.2.1.2	Derzeitiger Stand . . . . .	88
4.2.1.2.1	Umwandlungshärtungen . . . . .	88
4.1.1.2.2	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
<i>Prof. Dr.-Ing. M. Geiger, Lehrstuhl für Fertigungstechnologie (LFT) der Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen</i>		
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
<i>Prof. Dr.sc.nat. W. Pompe, Institut für Werkstoffphysik und Schichttechnologie, Dresden</i>		
4.2.3.1	Derzeitige Situation . . . . .	105

4.2.3.2	Problemfelder und Defizite . . . . .	106
4.2.3.2.1	Das Konzept der beanspruchungsgerechten Laseroberflächenveredelung . . . . .	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. Lüdtke, 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 laserstrahlgeschweißter 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 Laserstrahlanwendung 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. Schraff,  
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
 <i>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</i>		
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
 <b>5 Anhang</b>	.....	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
 <b>6 Sachwortverzeichnis</b>	.....	245