



# **Laser für die Oberflächenbehandlung**

## Konzeption geeigneter Systeme

Dr.-Ing. Heinrich Raimund Schunk

Bei diesem Buch handelt es sich um die Dissertation des Verfassers im Jahr 1991 an der RWTH Aachen (D 82) mit dem Titel „Konzeption von Lasersystemen für die Oberflächenbehandlung“.

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

**Schunk, Heinrich Raimund:**

Laser für die Oberflächenbehandlung: Konzeption geeigneter Systeme / Heinrich Raimund Schunk. - Düsseldorf: VDI-Verl., 1992

Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss. u. d. T.: Schunk, Heinrich Raimund: Konzeption von Lasersystemen für die Oberflächenbehandlung

© VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1992

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen photomechanischen Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie), der elektronischen Datenspeicherung (Wiedergabesysteme jeder Art) und das der Übersetzung, vorbehalten.

ISBN-13: 978-3-540-62237-6

e-ISBN-13: 978-3-642-95780-2

DOI: 10.1007/978-3-642-95780-2

## **Vorwort**

Befürchtungen seitens potentieller Anwender bezüglich der mangelnden Wirtschaftlichkeit der Laseroberflächenbehandlung behindern die schnellere Diffusion des Verfahrens in die industrielle Praxis. In der Vergangenheit wurde primär versucht, diesen Defiziten durch Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten im Bereich der Prozeß- und der Anlagentechnologie zu begegnen. Der rein technischen Optimierung sind jedoch Grenzen gesetzt. Der ökonomische Erfolg von Investitionsvorhaben in die Laseroberflächenbehandlung wird aufgrund der Variationsmöglichkeiten bei der Auswahl und der Konfiguration von Lasersystemen auch durch planerische Tätigkeiten wesentlich beeinflußt.

Die Dissertation von Herrn Schunk, der vom Mai 1987 bis August 1991 am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie in der von mir geleiteten Abteilung "Planung und Organisation" beschäftigt war, liefert einen Beitrag zu dem oben beschriebenen Sachverhalt. Das vorliegende Buch hat die Entwicklung einer Methode zur Konzeption von Anlagen für die Laseroberflächenbehandlung sowie die Erarbeitung von Hilfsmitteln zur Unterstützung der wesentlichen Planungsfunktionen zum Ziel.

Die derzeit übliche Planungspraxis und die herkömmlichen Verfahren der technischen Investitionsplanung, die bei der Planung von Laseroberflächenbehandlungsanlagen zur Anwendung kommen, berücksichtigen die Notwendigkeit der Technologieentwicklung und den Bedarf an planungsbegleitenden Entscheidungen nur unzureichend. Dies führt zu teilweise unter ökonomischen Gesichtspunkten suboptimalen Systemlösungen. Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Arbeit auf der Basis systemtheoretischer Überlegungen eine neue Planungsmethode entwickelt, die den Anforderungen innovativer Technologien gerecht wird. Insbesondere das vorgestellte Programm zur rechnerunterstützten monetären Bewertung von Teil- und Gesamtsystemen ermöglicht es dem Planer, durch "Simulation" und gezielte Auswahl verschiedener Anlagenkonzepte, bereits auf der Basis grober Eckdaten die Wirtschaftlichkeit einer Investition in die Laseroberflächenbehandlung abzuschätzen. Damit kann dem Argument der Entscheidungsunsicherheit bezüglich ökonomischer Aspekte beim Einsatz von Lasersystemen zur Oberflächenbehandlung bereits im frühen Planungsstadium wirkungsvoll begegnet werden.

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Walter Eversheim

## **Danksagung**

Das vorliegende Buch entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie in Aachen. Es entspricht meiner Dissertation, die an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen von der Fakultät für Maschinenwesen unter den Titel "Konzeption von Lasersystemen für die Oberflächenbehandlung" genehmigt wurde.

Herrn Professor Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. W. Eversheim, dem Leiter der Abteilung Planung und Organisation am oben genannten Institut und Leiter des Lehrstuhls für Produktionssystematik am Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, bin ich zu besonderem Dank verpflichtet für seine wohlwollende Unterstützung und großzügige Förderung, die mir wertvolle Erfahrungen vermittelt und die Durchführung dieser Arbeit ermöglicht haben. Herrn Professor Dr.-Ing. J. Milberg danke ich für die kritische Durchsicht der Dissertation und die Übernahme des Korreferats.

Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Dr.-Ing. M. Groß, Herrn Dr.-Ing. F. Oehmke, Herrn Dipl.-Ing. F. Treppe und Herrn Dr.-Ing. P. Zeller für ihre kritischen und konstruktiven Hinweise während der Anfertigung dieser Arbeit.

Weiterhin bedanke ich mich bei allen Freunden sowie Mitarbeitern des Institutes, die mich durch ihre persönliche Einsatz- und Hilfsbereitschaft unterstützt haben. Diesen Dank möchte ich vor allem Herrn Dr.-Ing. T. Haermeyer, Herrn Dipl.-Ing. L. Rozsnoky und Herrn Dr.-Ing. H. Trappmann sowie meinen "Hiwis" Herrn Dipl.-Ing. M. Adams, Herrn Dipl.-Ing. J. Berndt, Herrn cand. ing. G. Restrepo Correa und Herrn Dipl.-Ing. T. Rikus aussprechen. Besonders hervorheben möchte ich meinen Kollegen und Freund Herrn Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. E. Steinfatt, dessen selbstlose Unterstützung sowie stete Gesprächsbereitschaft entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

In ganz besonderem Maß danke ich Elke. Ihre Unterstützung, ihr Verständnis und ihre Bereitschaft zum Verzicht schufen den Freiraum, der für die Erstellung der Arbeit nötig war.

Schließlich aber nicht zuletzt bin ich meinen Eltern und meinem Bruder zu großem Dank verpflichtet. Sie gaben mir Rückhalt und wiesen den Weg, der zur Entstehung dieser Arbeit führte.

---

|  | Seite     |
|--|-----------|
| <b>1. Einleitung</b>                                   | <b>1</b>  |
| 1.1 Problemstellung                                    | 3         |
| 1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise                     | 8         |
| <b>2. Abgrenzung der Aufgabenstellung</b>              | <b>10</b> |
| 2.1 Abgrenzung der Planungsobjekte                     | 10        |
| 2.2 Abgrenzung der Planungsaufgaben                    | 12        |
| <b>3. Derzeitige Situation</b>                         | <b>16</b> |
| 3.1 Prozeßtechnologie                                  | 16        |
| 3.2 Anlagentechnik                                     | 25        |
| 3.3 Vorschriften und Normen                            | 31        |
| 3.4 Planung von Laseranlagen                           | 34        |
| 3.5 Anforderungen an die Planungsmethode               | 38        |
| 3.6 Fazit  | 40        |
| <b>4. Entwicklung der Planungsmethode</b>              | <b>42</b> |
| 4.1 Lösungsansätze der technischen Investitionsplanung | 42        |
| 4.2 Problemlösungsstrategien des Systems-Engineering   | 46        |
| 4.3 Gestaltung und Analyse von Laseranlagen            | 53        |
| 4.4 Bewertung von Laseranlagen                         | 60        |
| 4.5 Auswahl bekannter Methoden                         | 65        |
| 4.6 Fazit  | 70        |

---

|   | Seite      |
|---|------------|
| <b>5. Detaillierung der Planungsmethode</b>         | <b>72</b>  |
| 5.1 Planungsvorbereitung                            | 72         |
| 5.2 Funktionsplanung                                | 78         |
| 5.3 Objektplanung                                   | 88         |
| 5.4 Strukturplanung                                 | 96         |
| 5.5 Integrationsplanung                             | 103        |
| 5.6 Planungsbegleitende Bewertung und Dokumentation | 107        |
| 5.7 Fazit   | 113        |
| <b>6. Fallbeispiel</b>                              | <b>115</b> |
| <b>7. Ausblick</b>                                  | <b>126</b> |
| <b>8. Zusammenfassung</b>                           | <b>129</b> |
| <b>9. Literatur</b>                                 | <b>132</b> |
| <b>10. Anhang</b>                                   | <b>151</b> |

**Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen**

|         |   |
|---------|---|
| Bd.     | Band  |
| BMFT    | Bundesministerium für Forschung und Technologie             |
| C       | Celsius   |
| CAD     | Computer Aided Design                                       |
| CAM     | Computer Aided Manufacturing                                |
| CIM     | Computer Integrated Manufacturing                           |
| CNC     | Computer Numerical Control                                  |
| DIN     | Deutsches Institut für Normung e.V.                         |
| DM      | Deutsche Mark   |
| DNC     | Direct Numerical Control                                    |
| DVS     | Deutscher Verband für Schweißtechnik                        |
| EDV     | Elektronische Datenverarbeitung                             |
| EVAS    | Erzeugnis-Varianten-Analysesystem (WZL)                     |
| GISA    | Graphisch interaktive Simulation und Animation (WZL)        |
| He      | Helium  |
| HRC     | Rockwell Härte  |
| Hrsg.   | Herausgeber   |
| Inc.    | Incorporated  |
| INVEST  | Programm zur Berechnung wirtschaftlicher Kennzahlen (WZL)   |
| IFO     | Institut für Wirtschaftsforschung                           |
| INKOS   | Informations- und Kommunikationssystem (WZL)                |
| IPT     | Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie              |
| KCIM    | Kommission CIM im DIN                                       |
| KOMO    | Programmsystem zur Bewertung von Produktvarianten (WZL)     |
| Laser   | Light Amplification of Stimulated Emission by Radiation     |
| LASPLAN | EDV-Programm zur Investitionsplanung von Laseranlagen (IPT) |
| Ltd.    | Limited   |
| Mio     | Millionen   |
| Ne      | Neon  |
| Nd:YAG  | Neodym: Yttrium-Aluminium-Granat                            |
| N.N.    | nomen nescio  |
| Nr.     | Nummer  |
| PC      | Personal Computer   |
| PCSA    | PC-Programm zur Structured Analysys                         |



|                       |   |
|-----------------------|---|
| <b>P<sub>L</sub></b>  | <b>Laserleistung</b>  |
| <b>R</b>              | <b>Menge der Relationen</b>                                 |
| <b>REFA</b>           | <b>Verband für Arbeitsstudien</b>                           |
| <b>RWTH</b>           | <b>Rheinisch Westfälische Technische Hochschule</b>         |
| <b>S</b>              | <b>System</b>   |
| <b>S.</b>             | <b>Seite</b>  |
| <b>TA</b>             | <b>Technische Anweisung</b>                                 |
| <b>TDM</b>            | <b>Tausend Deutsche Mark</b>                                |
| <b>TEM</b>            | <b>Transversaler Elektromagnetischer Mode</b>               |
| <b>TH</b>             | <b>Technische Hochschule</b>                                |
| <b>TU</b>             | <b>Technische Universität</b>                               |
| <b>UVV</b>            | <b>Unfall Verhütungs Vorschrift</b>                         |
| <b>VDI</b>            | <b>Verein Deutscher Ingenieure e.V.</b>                     |
| <b>VDI-Z</b>          | <b>VDI-Zeitschrift</b>                                      |
| <b>VDMA</b>           | <b>Verband Deutscher Maschinenbau-Anstalten e.V.</b>        |
| <b>VDW</b>            | <b>Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V.</b>      |
| <b>Vol.</b>           | <b>Volume</b>   |
| <b>W</b>              | <b>Watt</b>   |
| <b>WZL</b>            | <b>Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre</b> |
| <b>X</b>              | <b>Menge der Funktionen</b>                                 |
| <b>ZnSe</b>           | <b>Zinkselenid</b>  |
| <b>ZWS</b>            | <b>Zusatzwerkstoff</b>                                      |
| <b>°</b>              | <b>Grad</b>   |
| <b>a</b>              | <b>Jahr</b>   |
| <b>bzw.</b>           | <b>beziehungsweise</b>                                      |
| <b>ca.</b>            | <b>circa</b>  |
| <b>cm</b>             | <b>Zentimeter</b>   |
| <b>cm<sup>2</sup></b> | <b>Quadratzentimeter</b>                                    |
| <b>cw</b>             | <b>continuous wave</b>                                      |
| <b>e.a.</b>           | <b>et alterum</b>   |
| <b>etc.</b>           | <b>et cetera</b>  |
| <b>e.V.</b>           | <b>eingetragener Verein</b>                                 |
| <b>ff.</b>            | <b>folgende</b>   |
| <b>g</b>              | <b>Gramm</b>  |
| <b>h</b>              | <b>Stunde</b>   |
| <b>kg</b>             | <b>Kilogramm</b>  |
| <b>kW</b>             | <b>Kilowatt</b>   |
| <b>kWh</b>            | <b>Kilowatt Stunde</b>                                      |
| <b>l</b>              | <b>Liter</b>  |
| <b>m</b>              | <b>Meter</b>  |

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>m<sup>2</sup></b> | <b>Quadratmeter</b>  |
| <b>max.</b>          | <b>Maximum</b>   |
| <b>min.</b>          | <b>Minute</b>  |
| <b>mm</b>            | <b>Millimeter</b>  |
| <b>mrاد</b>          | <b>Millirad</b>  |
| <b>ms</b>            | <b>Millisekunde</b>  |
| <b>s</b>             | <b>Sekunde</b>   |
| <b>t</b>             | <b>Zeit</b>  |
| <b>u.</b>            | <b>und</b>   |
| <b>u.a.</b>          | <b>unter anderem</b>   |
| <b>vgl.</b>          | <b>vergleiche</b>  |
| <b>wt</b>            | <b>Werkstattstechnik, Zeitschrift für industrielle Fertigung</b> |
| <b>z.B.</b>          | <b>zum Beispiel</b>  |
| <b>µm</b>            | <b>Mikrometer</b>  |
| <b>µrad</b>          | <b>Mikrorad</b>  |