

Fachgebiet für Produktionstechnik u. Werkzeugmaschinen  
Prof. Dr.-Ing. H. Schulz, Technische Hochschule Darmstadt  
Fasanenstr. 30, 64287 Darmstadt

**VERFAHRENSPRÜFSTAND FÜR DAS BEARBEITEN  
MIT INDUSTRIEROBOTERN**

von der Fakultät  
Konstruktions- und Fertigungstechnik  
der Universität Stuttgart zur Erlangung der  
Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Peter Schlaich  
aus Leonberg

Hauptberichter : Prof. Dr.h.c.mult.  
Dr.-Ing. H.-J. Warnecke

Mitberichter : Prof. Dr.h.c.  
Dr.-Ing. G. Pritschow

Tag der Einreichung : 10. Dezember 1994  
Tag der mündlichen Prüfung : 20. Juni 1994

Institut für Produktionstechnik  
Werkzeugmaschinen

ULB Darmstadt



16609307

0.6.3

| Inhaltsverzeichnis |  | Seite     |
|--------------------|--|-----------|
| <b>0</b>           | <b>ABKÜRZUNGEN UND FORMELZEICHEN</b>   | <b>13</b> |
| <b>1</b>           | <b>EINLEITUNG</b>  | <b>17</b> |
| 1.1                | Problemstellung  | 17        |
| 1.2                | Zielsetzung  | 18        |
| 1.3                | Vorgehensweise   | 18        |
| <b>2</b>           | <b>AUSGANGSSITUATION</b>   | <b>20</b> |
| 2.1                | Begriffe und Definitionen  | 20        |
| 2.1.1              | Begriffe zur Industrieroboterftechnik  | 20        |
| 2.1.2              | Begriffe zum Bearbeiten  | 20        |
| 2.1.3              | Bearbeitungsbezogene Qualitätsbegriffe   | 22        |
| 2.2                | Stand der Technik  | 22        |
| 2.2.1              | Robotergeführtes Bearbeiten  | 22        |
| 2.2.2              | Marktgängige Roboterwerkzeuge  | 23        |
| 2.2.3              | Prozeßbezogene Steuerungstechnik   | 24        |
| 2.2.4              | Verfahrensprüfstände und Zerspandatenbanken  | 25        |
| <b>3</b>           | <b>ANALYSE DER BEARBEITUNGSAUFGABEN UND<br/>ABLEITUNG VON ANFORDERUNGEN AN EINEN<br/>VERFAHRENSPRÜFSTAND</b> | <b>29</b> |
| 3.1                | Analyse der Bearbeitungsaufgaben   | 29        |
| 3.1.1              | Produktspektrum  | 30        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.1.2    | Anwendererfahrungen   | 31        |
| 3.1.3    | Analyse ausgewählter Bearbeitungsaufgaben   | 35        |
| 3.1.3.1  | Analyse ausgewählter Werkstücke   | 35        |
| 3.1.3.2  | Analyse eingesetzter Bearbeitungsverfahren  | 36        |
| 3.1.4    | Folgerungen aus den Analyseergebnissen  | 37        |
| 3.2      | Anforderungen an einen Verfahrensprüfstand zum<br>robotergeführten Bearbeiten                         | 38        |
| 3.2.1    | Teilfunktionen und deren Zuordnung zu Teilsystemen  | 38        |
| 3.2.2    | Anforderungen an das Gesamtsystem   | 39        |
| 3.2.3    | Anforderungen an die Teilsysteme  | 40        |
| 3.2.3.1  | Anforderungen an Optimierungsverfahren  | 41        |
| 3.2.3.2  | Anforderungen an Komponenten des Prüfstands   | 42        |
| <b>4</b> | <b>ENTWICKLUNG VON METHODEN ZUR<br/>QUALITÄTSBEWERTUNG ROBOTERGEFÜHRTER<br/>BEARBEITUNGSVERFAHREN</b> | <b>44</b> |
| 4.1      | Ermittlung von Bewertungskriterien für die<br>Bearbeitungsqualität                                    | 45        |
| 4.1.1    | Verfahren zur Ermittlung der Bewertungskriterien für die<br>Bearbeitungsqualität                      | 47        |
| 4.1.1.1  | Sekundärgratausprägung  | 47        |
| 4.1.1.2  | Oberflächenrauhigkeit   | 48        |
| 4.1.1.3  | Oberflächenwelligkeit   | 49        |
| 4.1.1.4  | Nivellierungsverhalten  | 50        |
| 4.1.2    | Festlegung der Bestimmungsgrößen der<br>Bearbeitungsqualität  | 51        |
| 4.1.3    | Gewichtung der Bestimmungsgrößen der<br>Bearbeitungsqualität  | 53        |
| 4.2      | Ermittlung von verfahrensabhängigen Bewertungskriterien<br>für die Prozeßqualität                     | 55        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 4.2.1    | Verfahren zur Ermittlung der Bewertungskriterien für die Prozeßqualität       | 56        |
| 4.2.1.1  | Abtragsleistung   | 56        |
| 4.2.1.2  | Standzeit   | 57        |
| 4.2.1.3  | Toleranzverhalten   | 58        |
| 4.2.1.4  | Bearbeitungskräfte  | 59        |
| 4.2.2    | Festlegung der Bestimmungsgrößen der Prozeßqualität                           | 59        |
| 4.2.3    | Gewichtung der Bestimmungsgrößen der Prozeßqualität                           | 61        |
| <b>5</b> | <b>KONZEPTION DES VERFAHRENSPRÜFSTANDES</b>                                   | <b>63</b> |
| 5.1      | Konzeption des Gesamtsystems  | 63        |
| 5.2      | Konzeption der steuerungstechnischen Struktur                                 | 65        |
| 5.3      | Konzeption einer Zerspandatenbank für das Bearbeiten mit dem Industrieroboter | 68        |
| 5.4      | Konzeption von Optimierungsverfahren  | 71        |
| 5.4.1    | Gegenüberstellung und Bewertung von Optimierungsstrategien                    | 71        |
| 5.4.2    | Konzeption des Versuchsablaufs  | 73        |
| 5.4.3    | Grenzwertbetrachtungen  | 76        |
| 5.4.3.1  | Modellbildung   | 77        |
| 5.4.3.2  | Berechnungsgrundlagen für das Ratterverhalten                                 | 81        |
| <b>6</b> | <b>ENTWICKLUNG EINER STRATEGIE ZUR ZERSPANPARAMETEROPTIMIERUNG</b>            | <b>83</b> |
| 6.1      | Vorgehensweise  | 83        |
| 6.1.1    | Optimierungsgrößen  | 83        |
| 6.1.2    | Prinzipielle Vorgehensweise bei der Optimierung                               | 85        |
| 6.1.3    | Darstellungsform  | 86        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 6.2      | Strategieentwicklung                                       | 87         |
| 6.2.1    | Suchalgorithmus  | 87         |
| 6.2.2    | Bestimmung des Gesamtoptimums aus den Teiloptima           | 91         |
| 6.2.3    | Erkennung von kritischen Versuchsparametern                | 93         |
| <b>7</b> | <b>PRAKTISCHE ERPROBUNG</b>                                | <b>96</b>  |
| 7.1      | Problemstellung  | 96         |
| 7.2      | Versuchsaufbau   | 97         |
| 7.3      | Bewertung und Auswahl des Bearbeitungsverfahrens           | 98         |
| 7.4      | Optimierung der Bearbeitungsqualität                       | 100        |
| 7.5      | Vergleich zwischen manueller und automatischer Optimierung | 103        |
| <b>8</b> | <b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBlick</b>                        | <b>105</b> |
| <b>9</b> | <b>SCHRIFTTUM</b>  | <b>108</b> |