



Forschung und Praxis

Band 199

**Berichte aus dem
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung (IPA), Stuttgart,
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation (IAO), Stuttgart,
Institut für Industrielle Fertigung und
Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart und
Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement, Universität Stuttgart**

Herausgeber: H. J. Warnecke und H.-J. Bullinger



Michael Knaupp

**Erhöhung der Fertigungs-
sicherheit und -qualität
beim Hochdruckwasserstrahlen
durch den Einsatz
von Sensoren**

Mit 101 Abbildungen

**Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
Hong Kong Barcelona
Budapest 1994**

Dipl.-Ing. Michael Knaupp

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Dr.-Ing. E. h. H. J. Warnecke

o. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. H.-J. Bullinger

o. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

D 93

ISBN-13: 978-3-540-58440-7

e-ISBN-13: 978-3-642-47957-1

DOI: 10.1007/978-3-642-47957-1

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1994.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Gesamtherstellung: Copydruck GmbH, Heimsheim

SPIN 10480278

62/3020-6 5 4 3 2 1 0

Geleitwort der Herausgeber

Über den Erfolg und das Bestehen von Unternehmen in einer marktwirtschaftlichen Ordnung entscheidet letztendlich der Absatzmarkt. Das bedeutet, möglichst frühzeitig absatzmarktorientierte Anforderungen sowie deren Veränderungen zu erkennen und darauf zu reagieren.

Neue Technologien und Werkstoffe ermöglichen neue Produkte und eröffnen neue Märkte. Die neuen Produktions- und Informationstechnologien verwandeln signifikant und nachhaltig unsere industrielle Arbeitswelt. Politische und gesellschaftliche Veränderungen signalisieren und begleiten dabei einen Wertewandel, der auch in unseren Industriebetrieben deutlichen Niederschlag findet.

Die Aufgaben des Produktionsmanagements sind vielfältiger und anspruchsvoller geworden. Die Integration des europäischen Marktes, die Globalisierung vieler Industrien, die zunehmende Innovationsgeschwindigkeit, die Entwicklung zur Freizeitgesellschaft und die übergreifenden ökologischen und sozialen Probleme, zu deren Lösung die Wirtschaft ihren Beitrag leisten muß, erfordern von den Führungskräften erweiterte Perspektiven und Antworten, die über den Fokus traditionellen Produktionsmanagements deutlich hinausgehen.

Neue Formen der Arbeitsorganisation im indirekten und direkten Bereich sind heute schon feste Bestandteile innovativer Unternehmen. Die Entkopplung der Arbeitszeit von der Betriebszeit, integrierte Planungsansätze sowie der Aufbau dezentraler Strukturen sind nur einige der Konzepte, die die aktuellen Entwicklungsrichtungen kennzeichnen. Erfreulich ist der Trend, immer mehr den Menschen in den Mittelpunkt der Arbeitsgestaltung zu stellen - die traditionell eher technokratisch akzentuierten Ansätze weichen einer stärkeren Human- und Organisationsorientierung. Qualifizierungsprogramme, Training und andere Formen der Mitarbeiterentwicklung gewinnen als Differenzierungsmerkmal und als Zukunftsinvestition in *Human Resources* an strategischer Bedeutung.

Von wissenschaftlicher Seite muß dieses Bemühen durch die Entwicklung von Methoden und Vorgehensweisen zur systematischen Analyse und Verbesserung des Systems Produktionsbetrieb einschließlich der erforderlichen Dienstleistungsfunktionen unterstützt werden. Die Ingenieure sind hier gefordert, in enger Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen, z.B. der Informatik, der Wirtschaftswissenschaften und der Arbeitswissenschaft, Lösungen zu erarbeiten, die den veränderten Randbedingungen Rechnung tragen.

Die von den Herausgebern geleiteten Institute, das

- Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart (IFF),
- Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT)
- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA),
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO)

arbeiten in grundlegender und angewandter Forschung intensiv an den oben aufgezeigten Entwicklungen mit. Die Ausstattung der Labors und die Qualifikation der Mitarbeiter haben bereits in der Vergangenheit zu Forschungsergebnissen geführt, die für die Praxis von großem Wert waren. Zur Umsetzung gewonnener Erkenntnisse wird die Schriftenreihe "IPA-IAO - Forschung und Praxis" herausgegeben. Der vorliegende Band setzt diese Reihe fort. Eine Übersicht über bisher erschienene Titel wird am Schluß dieses Buches gegeben.

Dem Verfasser sei für die geleistete Arbeit gedankt, dem Springer-Verlag für die Aufnahme dieser Schriftenreihe in seine Angebotspalette und der Druckerei für saubere und zügige Ausführung. Möge das Buch von der Fachwelt gut aufgenommen werden.

H.J. Warnecke H.-J. Bullinger

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart. Zum Dank für die Geduld und den Rückhalt während des Entstehens der Arbeit widme ich das Buch meiner Familie, insbesondere meinem Vater, der nur den Beginn dieser Arbeit erleben durfte.

Dem Leiter des Institutes, Herrn Prof. Dr. h.c. mult. Dr.-Ing. H.-J. Warnecke, gilt mein Dank für die großzügige Unterstützung und Förderung meiner Tätigkeit, welche die Durchführung dieser Arbeit ermöglichte.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. H. Louis danke ich für die vielen wertvollen Diskussionen und eingehende Durchsicht der Arbeit und den daraus entstandenen Hinweisen.

Darüber hinaus danke ich allen Mitarbeitern und Studenten des Institutes, besonders den Herrn Dr.-Phys. M. Melchior, Herrn Dr.-Rer.nat. G. Kampschulte, Herrn Dipl.-Ing. T. Fischer, Herrn Dipl.-Ing. (Fh) H. Werner, Herrn A. Behling, Herrn G. Rieker, Frau S. Knaupp und Frau B. Dill für Ihre Unterstützung meiner Tätigkeit. Mein besonderer Dank gilt ferner Herrn K. Kille, Herrn K. M. Renz, Herrn U. Stark und Herrn F. Trieb, für die vielen wertvollen Anregungen, die sich aus gemeinsamen Diskussionen ergaben und die wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Nicht zuletzt möchte ich Herrn H.-J. Knaupp für die kritische Durchsicht des Manuskriptes meinen herzlichen Dank aussprechen.

Stuttgart, im Mai 1994

Michael Knaupp

Inhaltsverzeichnis

	Seite
0	Formelzeichenu und Einheiten 11
	Abkürzungen 13
	Glossar 14
1	Einleitung 15
2	Stand der Technik 17
2.1	Prozeßüberwachung in der spanenden Fertigungstechnik 17
2.2	Hochdruckwasserstrahl-Schneidanlagen 21
2.3	Einflußgrößen der HWS-Schneidtechnik 21
2.4	Fertigungsgüte beim Wasserstrahl-Schneiden 24
2.5	Schneidanlagen als Fertigungssystem 25
3	Aufgabenstellung und Zielsetzung 27
4	Störgrößen des Fertigungssystems HWS-Anlage 28
4.1	Druckschwankungen 33
4.1.1	Grundlagen und Ursachen 33
4.1.2	Auswirkungen von Druckschwankungen 36
4.1.3	Verminderung von Druckschwankungen 37
4.2	Druckverluste 40
4.2.1	Grundlagen und Ursachen 01
4.2.2	Auswirkungen von Druckverlusten 45
4.2.3	Verminderungen von Druckverlusten 45
4.3	Strömungsmechanische Formung des Schneidstrahles 46
4.3.1	Grundlagen und Ursachen 46
4.3.2	Auswirkungen 58
4.3.3	Verbesserung der Strahleigenschaften 53
4.4	Strömungsmechanik des Schneidstrahles 54
4.4.1	Grundlagen und Ursachen 54
4.4.2	Auswirkungen 58
4.4.3	Folgerungen 62

4.5	Geometrische Fehler	63
4.5.1	Grundlagen und Ursachen	63
4.5.2	Auswirkungen geometrischer Fehler	65
4.6	Pneumatische Förderung	66
4.6.1	Grundlagen und Ursachen	66
4.6.2	Auswirkung der pneumatischen Förderung	69
4.6.3	Verbesserungen des Förderverhaltens	71
4.7	Abrasivmitteldosierung und -zuführung	72
4.7.1	Grundlagen	72
4.7.2	Auswirkungen des Dosierverhaltens	74
4.7.3	Verbesserung des Dosierverhaltens	75
5	Überwachung des Werkzeuges Wasserstrahl	77
5.1.1	Allgemeine Grundlagen für die Überwachung	77
5.1.2	Begriffe der Sensortechnik	79
5.2	Beschreibung der Überwachungsaufgabe	82
5.2.1	Sensortechnik für den Einsatz beim HWS-Schneidprozeß	84
5.3	Meßgrößen und Meßbedingungen	85
5.3.1	Meßaufbau zur Erfassung der Prozeßsignale	86
5.3.2	Druckmessung mit einem Dehnmeßstreifennehmer	88
5.3.3	Durchflußmessung	89
5.3.4	Unterdruck - Strahlpumpe	92
5.3.5	Schwingungsanalyse	96
5.3.6	Bildverarbeitung	102
6	Anwendungsbeispiel für den Einsatz Sensoren zur Überwachung des Schneidprozesses	109
6.1	Einbau der Sensorsysteme zur Überwachungs des Schneidprozesses	109
6.2	Praktische Erfahrungen	110
7	Zusammenfassung und Ausblick	113
8	Schrifttum	115