

Ein Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen spanender Fertigungsprozesse

Von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften
der Universität Bayreuth
zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

von
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Martin Andreas Süchting
aus
Preetz

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Rolf Steinhilper
Zweitgutachter: Prof. Dr. Michael Hauhs
Tag der mündlichen Prüfung: 23.03.2016

Lehrstuhl Umweltgerechte Produktionstechnik
Universität Bayreuth
2016

Fortschritte in Konstruktion und Produktion

herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg und
Prof. Dr.-Ing. Rolf Steinhilper

Band 35

Martin Andreas Süchting

**Ein Beitrag zur Reduktion der
Treibhausgasemissionen spanender
Fertigungsprozesse**

Shaker Verlag
Aachen 2016

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Bayreuth, Univ., Diss., 2016

Copyright Shaker Verlag 2016

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4667-0

ISSN 1612-2364

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Geleitwort der Herausgeber

Das erfolgreiche Industrieunternehmen von heute ist ein aktives Element der global zunehmend vernetzten Welt.

Mit hohem Innovationstempo steigern neue Märkte und Technologien die Arbeitsanforderungen, vergrößern neue Werkstoffe und Verfahren, die Informationstechnik und ein Wertewandel der Kundenwünsche aber auch die Gestaltungs- und Entfaltungsmöglichkeiten des Ingenieurs.

Die Konstruktion ist die Königsdisziplin des Ingenieurs. Die Produktion ist die technische Dienstleistung am König Kunde. Beide Aufgabenfelder zusammengekommen bilden den Kern des industriellen Wertschöpfungsprozesses.

Mit der hier vorgelegten Reihe "Fortschritte in Konstruktion und Produktion" ist es den Herausgebern ein Anliegen, Beiträge von wissenschaftlicher Seite zu fördern, die durch Entwicklung neuer Denkansätze, methodischer Vorgehensweisen und zugehöriger Instrumente die Leistungsfähigkeit der industriellen Wertschöpfung verbessern und erweitern. Nicht nur technische Lösungen, sondern auch ökonomische, ökologische und soziale Fortschritte stehen hierbei im Blickpunkt oder zumindest am Horizont.

Hierfür bietet die Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften mit ihrer interdisziplinären Ausrichtung und Einbindung in die Universität Bayreuth ein glückliches Umfeld.

Das Engagement der beiden Herausgeber ist dort vertreten als

- Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD
- Lehrstuhl für Umweltgerechte Produktionstechnik.

Mögen also die von uns betreuten Dissertationen, die in dieser Buchreihe erscheinen, zu den wünschenswerten Fortschritten in Konstruktion und Produktion beitragen.

Den Autoren der einzelnen Bände dieser Reihe sei für Ihre wissenschaftliche und redaktionelle Arbeit gedankt, den Lesern wünschen wir eine interessante Lektüre und hoffentlich manch wertvolle Anregung für eine erfolgreiche Anwendung der Forschungsergebnisse in ihrer beruflichen Praxis.

Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg

Prof. Dr.-Ing. Rolf Steinhilper

Vorwort

„Der Gipfel des Wahnsinns ist es, auf Veränderungen zu hoffen, ohne etwas zu verändern.“ *Albert Einstein (1879 - 1955)*

Die Welt im 21. Jahrhundert steht mit dem Klimawandel und immer knapper werden den Rohstoffen großen Herausforderungen gegenüber. Das Auffinden von Antworten und neuen Geisteshaltungen zur Lösung dieser Herausforderungen stellt eine gewichtige Aufgabe für unsere heutige Generation dar. Die Lösung, wie auch immer diese aussehen mag, kann dabei, nach Überzeugung des Autors, kein „weiter wie bisher“ sein, sondern wird mit Veränderungen verbunden sein. Veränderungen, die heute noch proaktiv gestaltet werden können, müssen morgen reaktiv geschehen, weil es keine Alternative mehr gibt. Der weltweite „Rohstoffhunger“ wird zusehends durch das Klima quitiert. Hieß es bis vor einigen Jahren noch „die Natur stellt keine Rechnung“, so werden wir seit einiger Zeit von den konkreten Ausprägungen des Klimawandels, vor allem in Form von extremen Wetterphänomenen, heimgesucht. Die Natur stellt also sehr wohl Rechnungen, nur zeitlich sehr verzögert. Ähnlich wie Einstein beschreibt auch Thomas von Aquin: „Für Wunder muss man beten, für Veränderungen aber arbeiten“. Zu dieser Veränderung will die vorliegende Arbeit einen Beitrag leisten und mit einem anwendungsorientierten Ansatz eine praktikable Hilfestellung sein.

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Umweltgerechte Produktionstechnik der Fakultät für Ingenieurwissenschaften und der Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation des Stuttgarter Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) an der Universität Bayreuth.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.-Ing. Rolf Steinhilper, dem Doktorvater dieser Arbeit und Ordinarius des Lehrstuhls für Umweltgerechte Produktionstechnik sowie Leiter der Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation, für die Gewährung einer umfassenden wissenschaftlichen Freiheit und die konstruktive Wegweisung bei meiner wissenschaftlichen Ausbildung.

Herrn Professor Dr. Michael Hauhs, Ordinarius des Lehrstuhls Ökologische Modellbildung der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften der Universität Bayreuth, danke ich für die Übernahme des Koreferats.

Meinen Teamkollegen und den Mitarbeitern des Lehrstuhls Umweltgerechte Produktionstechnik und der Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation danke ich für die anregenden Diskussionen, die erfolgreiche und kollegiale Zusammenarbeit in zahlreichen Industrie- und Forschungsprojekten und die vielen Erfahrungen, die wir miteinander sammeln durften.

Ferner bedanke ich mich bei den zahlreichen Industrie- und Forschungspartnern für ihren offenen, konstruktiven Austausch während der letzten Jahre. Stellvertretend für diese gilt meinen Dank der Putzin Maschinenbau GmbH, vertreten durch Herrn Ralf Putzin und Jens-Hendrik Schmidt¹, für die mir eröffneten Möglichkeit diese Arbeit mit einem anwendungsorientierten und praktischen Hintergrund zu erstellen.

Zuletzt bedanke ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden für die Unterstützung und den Zuspruch in den letzten Jahren. Mein herzlicher Dank gilt meiner Frau Jennifer Süchting für ihren Rückhalt, ihre Motivation und Ihr entgegengebrachtes Verständnis in der arbeitsintensiven Ausarbeitungsphase dieser Arbeit.

Martin Andreas Süchting

Heusenstamm, Juli 2016

¹Zum Zeitpunkt der Kooperation waren Herr Putzin Geschäftsführer und Herr Schmidt technischer Leiter der Putzin Maschinenbau GmbH.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	xi
1 Einleitung	1
2 Ausgangssituation und Zielsetzung	7
2.1 Ausgangssituation und Problemstellung	7
2.2 Zielsetzung	13
2.3 Aufbau der Arbeit	14
3 Stand der Technik	15
3.1 Spanende Fertigungsprozesse	15
3.2 Umweltwirkung	17
3.2.1 Umweltwirkung spanender Fertigungsprozesse	17
3.2.2 Bewertung der Umweltwirkung spanender Fertigungsprozesse	27
3.3 Handlungsrahmen in der Fertigung	31
3.3.1 Arbeitsvorbereitung	33
3.3.2 Zielgrößen der Arbeitsvorbereitung	36
3.3.3 Einflussmöglichkeiten der Arbeitsplanung	43
3.3.4 Klassifikationsmethoden in der Arbeitsplanung	45
3.4 Handlungsbedarf	48
4 Anforderungen und Methodenkonzept	53
4.1 Anforderungen	53
4.1.1 Anforderungen aus den kleinen und mittleren Unternehmen	54
4.1.2 Anforderungen aus der Werkstattfertigung	56
4.1.3 Anforderungen an Umweltdatensätze	56
4.2 Methodenkonzept	57
5 Methodenentwicklung	63
5.1 Systemfestlegung	63
5.1.1 Festlegung der Werkzeugmaschine und der Formelemente	63

5.1.2	Ziel und Untersuchungsrahmen	66
5.2	Analyse	68
5.2.1	Beschreibung der Formelemente	68
5.2.2	Sachbilanz und Wirkungsabschätzung	68
5.2.3	Zeit-, Kosten- und Qualitätsbetrachtung	81
5.3	Bewertung	88
5.3.1	Implementierung	88
5.3.2	Auswertung	92
5.4	Überprüfung der an die Methode gestellten Anforderungen	94
6	Exemplarische Methodenanwendung	97
6.1	Systemfestlegung	97
6.1.1	Optimierungsmaßnahmen	97
6.1.2	Auswahl der Formelemente	99
6.1.3	Bestimmung der Kombination von Werkzeugart und Operation	102
6.2	Analyse	106
6.2.1	Beschreibung des Versuchsaufbaus	106
6.2.2	Bestimmung der Umweltwirkung	108
6.3	Auswertung	109
6.3.1	Auswertung einzelner Formelemente	109
6.3.2	Auswertung eines Bauteils	115
6.3.3	Leistungspotential	116
6.4	Folgerungen für die Praxis	117
7	Instrumentelle Methodenunterstützung	119
7.1	Aufbau der Software SmartECO ₂ Plan	119
7.2	Datensatzerfassung	121
7.3	Parametereingabe	123
7.4	Auswertung	124
8	Zusammenfassung und Ausblick	129
8.1	Zusammenfassung	129
8.2	Ausblick	130
9	Conclusion and Outlook	133
9.1	Conclusion	133
9.2	Outlook	134
	Literaturverzeichnis	xiii

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	xiii
Lebenslauf	xix
Literaturverzeichnis eigener Veröffentlichungen	xxi