

Reihe 2

Fertigungstechnik

Nr. 695

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl,
Stuttgart

Abschlussbericht FOR 1088 ECOMATION



Abschlussbericht

FOR 1088

ECOMATION

**Steuerung des Energiebedarfs in der Fertigung
und Steigerung der Energieeffizienz durch Automatisierung**



Sprecher: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen
und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart

2016

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 2

Fertigungstechnik

Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Dr. h.c. mult. Alexander Verl,
Stuttgart

Nr. 695

**Abschlussbericht
FOR 1088 ECOMATION**

VDI verlag

Verl, Alexander

Abschlussbericht FOR 1088 ECOMATION

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 2 Nr. 695. Düsseldorf: VDI Verlag 2017.

180 Seiten, 86 Bilder, 5 Tabellen.

ISBN 978-3-18-369502-7, ISSN 0178-9406,

€ 67,00/VDI-Mitgliederpreis € 60,30.

Für die Dokumentation: Energieeffizienz – Energiebedarfsanalyse – Energiebedarfsoptimierung – Maschinensimulation – Speicherprogrammierbare Steuerung – Prozessanalyse – Demonstratormaschine – Energieeinsparung – Werkzeugmaschinen – Fertigungsprozess

Die Forschergruppe ECOMATION hatte sich zum Ziel gesetzt, den Energieverbrauch von Werkzeugmaschinen durch steuerungstechnische Maßnahmen zu reduzieren und somit die Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen weiter zu steigern. Um die Zielgröße in die Steuerung zu integrieren, wurden in den Teilprojekten unterschiedliche Optimierer für den Prozess Fräsen, alle ansteuerbaren Komponenten sowie für die Gesamtmaschine entwickelt. Diese wurden durch Teilprojekt 2 in die Steuerungstechnik von Werkzeugmaschinen integriert. Insgesamt konnte in der Forschergruppe eine deutliche Einsparung des Energieverbrauchs in einem Referenzszenario erreicht werden. Weiterhin hat sich gezeigt, dass durch Optimierung von Wechselbeziehungen zwischen Optimierern weitere deutliche Einsparpotentiale zu erzielen sind.

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Bibliothek

(German National Library)

The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at <http://dnb.ddb.de>.

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2017

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und das der Übersetzung, vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISSN 0178-9406

ISBN 978-3-18-369502-7

Vorwort

Wir befinden uns erneut an einem Meilenstein der Geschichte der Menschheit. Nach den tiefgreifenden wirtschaftlichen und sozialen Veränderungen in der ganzen Welt stehen wir vor der Herausforderung bis Mitte des Jahrhunderts zehn Milliarden Menschen mit Nahrung zu versorgen. Verheerende Unwetter, Dürren und Überschwemmungen, bedingt durch die globale Erwärmung der Erde, lassen diese Herausforderung nicht einfacher erscheinen.

Seit der Industrialisierung ist das wirtschaftliche Wachstum eng mit dem Bedarf an Energie verknüpft. Die benötigte Energie wird dabei aber nicht nachhaltig erzeugt, sondern stammt immer noch zu großen Teilen aus fossilen Brennstoffen. Der daraus resultierende CO₂ Ausstoß stellt die Hauptursache für die globale Erwärmung dar.

Wollen wir der globalen Erwärmung entgegen wirken, ist eine intensive Auseinandersetzung mit den Energieverbrauchern in unserer Wirtschaft notwendig. Folgende Abhandlung befasst sich deshalb mit der Steuerung des Energiebedarfs in der Fertigung und Steigerung der Energieeffizienz durch Automatisierung und fasst damit die Ergebnisse der Forschergruppe ECOMATION (FOR 1088) aus den Jahren 2009 bis 2015 zusammen.

Alexander Verl

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen/Symbole	IX
1 Einleitung	1
2 Energiebedarfsanalyse und Nutzungsprofile	3
2.1 Verbrauchsanalyse des Dreh- und Fräsprozesses	3
2.1.1 Drehprozess – Demonstratorteil 1	4
2.1.2 Drehprozess – Versuche	5
2.1.3 Drehprozess – Auswertung	8
2.1.4 Fräsprozess – Demonstratorteil 1	12
2.1.5 Fräsprozess – Versuche	13
2.1.6 Fräsprozess – Auswertung	15
2.2 Verbrauchsanalyse der Maschinenkomponenten	19
2.2.1 Spindelantriebe	22
2.2.2 Maschinenkühlung	23
2.2.3 Kühl- Schmierstoffsystem	25
2.2.4 Hydrauliksystem	27
2.3 Gesamtverbrauch von Maschinen und Anlagen	29
2.4 Gesamtverbrauch der Produktion	31
3 Energiebedarfsmodellierung	37
3.1 Modelle des Dreh- und Fräsprozesses	37

3.1.1	Prozessmodell Drehen	40
3.1.2	Prozessmodell Fräsen	47
3.2	Verbrauchsmodellierung der Komponenten	58
3.2.1	Dynamische Modelle	59
3.2.2	Synchron-Hauptspindelantriebe	61
3.2.3	Asynchron-Hauptspindelantriebe	62
3.2.4	KSS-Hochdruck und KSS-Niederdruck Systeme	63
3.2.5	Hydrauliksysteme	65
3.2.6	Rückkühlsysteme	67
3.2.7	Statische Modelle	68
3.3	Betriebszustandsbasierte Verbrauchsmodellierung	70
3.4	Verbrauchsmodellierung der Produktion mit Peripherie	74
3.5	Monetäre Bewertung auf Basis von Verbrauchsmodellen	79
4	Bereitstellung von Energiebedarfsinformationen und Energiebedarfsmonitoring	83
4.1	Verfügbarkeit von Energiebedarfsinformationen	83
4.2	Energieinformationsbeschreibung (EIDL)	86
4.3	ECIS – EIDL Erzeugung	88
4.4	ECIS – Energiebedarfsmonitor	91
4.4.1	Konstantmodelle	95
4.4.2	Dynamische Modelle	96
5	Maßnahmen zur Energiebedarfsreduktion	97
5.1	Ansatzpunkte zur Minimierung des Energieverbrauchs	97
5.2	Prozessoptimierer	99
5.2.1	Prozessoptimierer 1	101
5.3	Komponentenoptimierer	104
5.3.1	Beleuchtung	105
5.3.2	Absaugung	106
5.3.3	Maschinenkühlung	107

5.3.4	Hydrauliksystem	108
5.4	Betriebszustandsbasierte Energiebedarfsoptimierung	110
5.5	Energiebedarfsoptimale PPS	113
5.5.1	Energiebedarf als weitere Zielgröße	114
5.5.2	Fingerprints inkl. Anpassung	117
5.5.3	Messageing System und VDI 5600 Blatt 3	118
6	Framework zur Energiebedarfsoptimalen Ansteuerung	121
6.1	Aufgaben des Framework zur energieoptimalen Ansteuerung von Werkzeugmaschinen	121
6.2	Frameworkbasierte Bereitstellung des energetischen Istzustandes	123
6.3	Frameworkbasierte Durchführung von Stelleingriffen	124
6.4	Integration der Energieoptimierer in das Framework	126
6.4.1	Schnittstellen der Energieoptimierer	128
6.4.2	Anbindung an die Werkzeugmaschine und Konfiguration der Energieoptimierer	132
6.4.3	Ausführung der Energieoptimierer	133
6.5	Beeinflussung und Überwachung von Energieoptimierern zur Laufzeit	135
6.5.1	Vorgabe von Führungsgrößen und Überwachung durch den Maschinenbediener	135
6.5.2	Vorgabe von Führungsgrößen und Überwachung durch das MES	136
6.6	Zusammenfassung	140
7	ECOMATION Demonstrator	143
7.1	Überblick Optimierungsebene und Anwendungsfälle	143
7.2	ECOMATION Prozessanalyse und -bewertungstool	146
7.3	ECOMATION Maschinensimulationen	150
7.4	ECOMATION Demonstratormaschine	153

7.5	ECOMATION Planung- und Steuerung	154
7.6	Versuchsszenario zur Energieeinsparung	156
8	Zusammenfassung	159
9	Literaturverzeichnis	161

Abkürzungen/Symbole

csv	Dateiformat Komma-getrennte Werte (engl. Comma-separated Values)
E/A	Eingangs/Ausgangs
EIDL	Energy Information Description Language
OPC	OLE for Process Control
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerungen
A	Adjazenzmatrix

