



**Konzeption zur Entwicklung
Digitaler Regelkreise
als Beitrag der Smarten Fabrik**

Von der Fakultät II für Informatik, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften der
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg zur Erlangung des Grades und Titels eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

angenommene Dissertation von
Herrn **Dennis Schwäke**
geboren am 17.08.1983 in Meppen

Gutachter

Prof. Dr.-Ing. Axel Hahn

Weiterer Gutachter

Prof. Dr.-Ing. Christoph Wunck

Tag der Disputation: 15.09.2020

ZUSAMMENFASSUNG

Die nachhaltige Optimierung der Wertschöpfung soll durch eine gezielte Vernetzung digitaler Produktionsdaten erfolgen. Reale Entscheidungsbedarfe sollen demnach mit Hilfe digital-integrierter Informationen befriedigt werden.

Die *Smarte Fabrik* betitelt hierbei den digitalgestützten Entscheidungsprozess zur Unterstützung der operativen Fertigungsaufgabe.

Mittels gezielter Digitalisierungsmaßnahmen soll dazu die aufgabengerechte Gestaltung der industriellen Auftragsabwicklung sichergestellt werden.

Es gilt den technischen Informationsaustausch anhand der organisatorischen Rahmenbedingungen zu gestalten. Im Zuge der Systemgestaltung bedarf es dabei der gezielten Harmonisierung beteiligter Systemperspektiven.

Der hier vorgestellte Ansatz bietet eine Konzeption zur Unterstützung der Aufgaben zur Systemgestaltung. Ausgehend von den wirtschaftlichen Zielen der Produktion werden gestaltungsrelevante Perspektiven der Smarten Fabrik identifiziert und harmonisiert. Die Konzeption bietet Anwendern die Möglichkeit, potenzielle Digitalisierungsmaßnahmen, anhand einer konsistenten Anforderungsspezifikation auf den Systementwurf auszurichten.

Die Konzeption greift dazu domänenspezifische Merkmale der Produktion auf und ordnet diese im Sinne der Gestaltungsaufgabe. In einem reifegradbasierten Ansatz wird der aktuelle Systemzustand genutzt, um die Fähigkeit zur Selbststeuerung mit Hilfe digitaler Kontrollstrukturen zu entwickeln. Die Konzeption verwendet dabei Erkenntnisse aus den Kompetenzbereichen der Produktionsplanung und -steuerung (PPS), betrieblicher Anwendungssysteme (ERP und MES), des Industrial Engineerings (Lean Manufacturing), des Geschäftsprozessmanagements sowie der technischen Regelungstechnik.

Der Begriff *Digitaler Regelkreis* bezeichnet hierbei den systematisierten Kompetenzeinsatz zur Gestaltung selbststeuernder Wirkprozesse als Beitrag der operativen Produktionsaufgabe.

Die vorgestellte Konzeption liefert dabei eine wiederverwendbare Vorgehensmethodik zur Senkung der Integrationsaufwände im Gestaltungsprozess der Smarten Fabrik. Diese fördert den Technologietransfer zwischen Forschung, Entwicklung und Anwendung.

ABSTRACT

By digitally connecting production data, a sustainable optimization of value chain should be achieved. Therefore, the demand for real decision-making shall be met by means of information, which are digitally integrated.

That said, *Smart Factory* describes a computerized process of decision-making that is digitally supporting the operational manufacturing.

The order-based design of industrial transactions is to be guaranteed by dedicated initiatives of digitalization.

There is a need to design the flow of technical information in accordance with the existing organizational frame. In the course of designing such a system, different aspects of the system require to be synchronized.

The given approach provides a concept that assists in the various facets of designing such a system. Starting from economic objectives of the industrial production, relevant aspects for the design of the Smart Factory are identified as well as synchronized. The concept provides users with the possibility to align potential measures of digitization based on consistent requirements specifications with the system's blueprint.

The concept takes domain specific characteristics of production systems arranging these based of the function of the design. The actual as-is-situation of the system is used to allow for automatic control by means of digital structures. This is done in a maturity-based approach. The concept utilizes findings from areas of competencies such as production planning and control, enterprise resource planning as well as manufacturing execution systems, industrial engineering (lean management), business process management and technical control system engineering.

In this context, the term *digital control loop* describes the systematic use of competencies for the design of automatically controlled processes as a contribution to the operational targets of production.

The presented concept provides a re-usable approach to minimize efforts of integration in the process of development the Smart Factory. This concept promotes the transfer of technologies between research, development and application.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Abstract.....	4
Inhaltsverzeichnis.....	5
Abkürzungsverzeichnis	11
1. Einleitung	13
1.1 Entwicklung der Smarten Fabrik	14
1.2 Problemstellung	15
1.3 Wissenschaftlicher Beitrag.....	16
1.4 Digitale Regelkreise.....	18
1.5 Aufbau der Arbeit.....	18
2. Smarte Fabrik	20
2.1 Ziele und Eigenschaften	21
2.2 Voraussetzungen.....	22
2.3 Bestandteile	23
2.4 Umsetzung und Prioritäten	26
2.5 Produktionsziele	27
2.6 Potenziale	29
3. Perspektiven zur Gestaltung der Smarten Fabrik	33
3.1 Perspektiven in der Produktion	35
3.2 Interoperabilität.....	37
3.2.1 Wirtschaftliche Interoperabilität	38
3.2.2 Technische Interoperabilität	39
3.2.3 Organisatorische Interoperabilität.....	41
3.3 Informatik in der Produktion	42
3.3.1 Begrifflichkeiten	43
3.3.2 Produktionsplanung und -steuerung.....	44

3.3.3	Aufgaben und Arbeitsweise der PPS.....	45
3.3.4	Status Quo	46
3.3.5	Horizontale und vertikale Integration	49
3.4	Anwendungssysteme in der Industrie	52
3.4.1	Architektur integrierter Informationssysteme	53
3.4.2	Betriebliche Anwendungssysteme.....	55
3.4.3	ERP	57
3.4.4	MES.....	58
3.4.5	CIM.....	62
3.5	Industrial Engineering	65
3.5.1	Ziele des Industrial Engineering	66
3.5.2	Methoden des Industrial Engineering	67
3.5.3	Lean Manufacturing in der Smarten Fabrik	69
3.6	Geschäftsprozessmanagement	70
3.6.1	Beitrag im Kontext der Smarten Fabrik.....	71
3.6.2	Ziele des Geschäftsprozessmanagements.....	71
3.6.3	Methode des Geschäftsprozessmanagements	72
3.7	Regelkreise im Kontext der Smarten Fabrik	74
3.7.1	Grundlagen und Ziele technischer Regelkreise	75
3.7.2	Qualität von Regelkreisen	75
3.7.3	Proaktive und Reaktive Regelung	78
3.8	Mensch, Technik und Organisation	82
4.	Diskussion der Grundlagen.....	85
4.1	Potenziale als Beitrag der Produktionsziele.....	85
4.2	Einzelperspektiven in der Smarten Fabrik	87
4.3	Wirkungszusammenhänge der Perspektiven.....	88
5.	Anforderung zur Gestaltung Digitaler Regelkreise	91

5.1	Regelkreise als Teil der Smarten Fabrik.....	91
5.2	Anforderungen.....	92
5.3	Anforderungsanalyse.....	94
5.3.1	Analysemethode.....	94
5.3.2	Definition des Digitalen Regelkreises.....	95
5.3.3	Anforderungskatalog.....	97
5.3.4	Analyse verwandter Arbeiten.....	100
5.3.5	Diskussion der Ergebnisse.....	106
5.4	Beitrag der eigenen Arbeit.....	109
5.4.1	Konzept zur Entwicklung der Selbstorganisation.....	109
5.4.2	Abgrenzung des Digitalen Regelkreises.....	110
6.	Konzeption des Digitalen Regelkreises.....	111
6.1	Ziele und Aufgaben.....	111
6.2	Voraussetzungen.....	114
6.3	Aufbaustruktur.....	117
6.4	Entwicklungsphasen.....	120
6.5	Reifegrade.....	122
6.6	Kontrollpunkte.....	127
6.7	Kompetenzen.....	128
6.8	Zusammenfassung.....	131
7.	Evaluation des Digitalen Regelkreises.....	132
7.1	Anforderungen an die Überprüfung.....	132
7.1.1	Prüfziele.....	132
7.1.2	Prüfobjekt.....	134
7.1.3	Prüfmerkmale.....	134
7.1.4	Prüfmetrik.....	135
7.1.5	Prüfschärfe.....	136

7.1.6	Prüfmittel	136
7.1.7	Prüfpunkte	137
7.1.8	Prüfmethode	138
7.2	Durchführung der Überprüfung	139
7.2.1	Ablauf der Prüfung.....	139
7.2.2	Inhalte der Fallstudie	140
7.2.3	Ergebnisse der Prüfung.....	144
7.3	Bewertung der Überprüfung.....	151
7.3.1	Praktischer Einsatz.....	152
7.3.2	Führungsunterstützung.....	153
7.3.3	Schrittweise Anwendung	153
7.3.4	Reifegrade.....	154
7.3.5	Produktionsziele	155
7.3.6	Veränderungsbedarf.....	156
7.3.7	Anforderungsspezifikation	157
7.3.8	Entscheidungsfindung	158
7.3.9	Übertragbarkeit.....	158
7.3.10	Selbstorganisation.....	159
7.3.11	Digitale Kompetenz	160
7.3.12	Interoperabilität	161
8.	Abschluss.....	162
8.1	Zusammenfassung und Fazit.....	162
8.2	Übertragbarkeit.....	164
8.3	Ausblick und Forschungsbedarf.....	165
	Literatur.....	167
	Abbildung	203
	Tabellen	205