



Lukas Hartmann

Wertstromdesign 4.0

**Methode zur integrierten Gestaltung von Material- und
Informationsflüssen für schlanke Wertströme**

**Schriftenreihe des PTW
„Innovation Fertigungstechnik“**

Herausgeber
Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele
Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich
Prof. Dr.-Ing. Matthias Weigold

Wertstromdesign 4.0
Methode zur integrierten Gestaltung von
Material- und Informationsflüssen für schlanke Wertströme

Vom Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt
zur
Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

D i s s e r t a t i o n

vorgelegt von

Lukas Hartmann, M. Sc.

aus Fulda

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich

Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Peter Plapper

Tag der Einreichung: 15.10.2021

Tag der mündlichen Prüfung: 15.12.2021

Darmstadt 2021
D17

Schriftenreihe des PTW: "Innovation Fertigungstechnik"

Lukas Hartmann

Wertstromdesign 4.0

Methode zur integrierten Gestaltung von Material- und
Informationsflüssen für schlanke Wertströme

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Düren 2022

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.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2021

Copyright Shaker Verlag 2022

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8451-1

ISSN 1864-2179

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

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

Vorwort des Herausgebers

Im Kontext von Digitalisierung und Industrie 4.0 nehmen Bedeutung und Nutzungsmöglichkeiten von Informationen in der industriellen Produktion zu. Die integrale Gestaltung von Informations- und Materialflüssen kann die Auftragsabwicklung stark beschleunigen. Darüber hinaus kann eine gezielte Nutzung von Informationen zur Prozessverbesserung oder zur Steigerung des Kundennutzens die Wettbewerbsposition eines produzierenden Unternehmens stärken.

Zur Gestaltung von Wertströmen im Kontext der schlanken Produktion hat sich die Methode Wertstromdesign in der industriellen Praxis etabliert. Mit ihr lässt sich schrittweise ein neuer Soll-Zustand für das betrachtete Produktionssystem definieren. Informationen und Informationsflüsse nehmen im Rahmen der Methode jedoch nur eine untergeordnete Rolle ein und werden primär aus Sicht der Produktionssteuerung betrachtet.

Die vorliegende Dissertation entwickelt eine neue Methode zur integrierten Gestaltung von Material- und Informationsflüssen in Wertströmen. Dabei wird die in der Industrie etablierte Methode hinsichtlich Gestaltungsanforderungen in Bezug auf die informationslogistische Vernetzung von Wertströmen sowie die Digitalisierung und Industrie 4.0 angepasst. Die entwickelte Methode erweitert auch den Fokus bei der Wertstromgestaltung von der Produktion auf die komplette Auftragsabwicklung. Sie wird daher als Wertstromdesign 4.0 bezeichnet.

Die entwickelte Methode wird sowohl im Rahmen von Weiterbildungsveranstaltungen in der Prozesslernfabrik CiP an der TU Darmstadt als auch in unterschiedlichen Produktionsunternehmen eingesetzt und erfolgreich evaluiert. Mit dem Wertstromdesign 4.0 erhalten Unternehmen ein Werkzeug an die Hand, mit dessen Hilfe sie ihre Wertströme systematisch schlank und digital gestalten können.

Die Forschungsarbeit leistet damit einen wichtigen Beitrag zur zukunftsorientierten Weiterentwicklung der schlanken Produktion.

Darmstadt, im Dezember 2021

Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Forschungsarbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) an der TU Darmstadt.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich für die Betreuung meiner Arbeit sowie die kritischen und zugleich konstruktiven Diskussionen bei der Entwicklung der Methode. Darüber hinaus möchte ich mich bei ihm für das entgegengebrachte Vertrauen und die eröffneten Möglichkeiten während meiner die Zeit am Institut bedanken. Herrn Prof. Dr.-Ing. Peter Plapper danke ich für die Übernahme des Korreferats sowie das fachliche Interesse an meiner Arbeit.

Meinen Kolleginnen und Kollegen am PTW und insbesondere in der Forschungsgruppe CiP danke ich für die großartige Zeit am Institut. Gerne erinnere ich mich an die gemeinsamen Projekte, Workshops, Konferenzen und Veranstaltungen. Unvergessen bleiben auch die zahlreichen gemeinsamen Aktivitäten und Erlebnisse abseits des wissenschaftlichen Forschungsprozesses.

Besonders möchte ich hierbei meinen Kollegen Dr.-Ing. Maximilian Meister, Dr.-Ing. Joscha Kaiser, Dr.-Ing. Carsten Schaede, Christian Urnauer und Nicholas Frick für die abwechslungsreiche und schöne Zeit im gemeinsamen Büro sowie die inhaltlichen Diskussionen bei unseren Forschungsaustauschen danken. Ihr habt immer wieder mit neuen Impulsen, Ratschlägen und Motivation zum Gelingen meines Forschungsvorhabens beigetragen. Besonderer Dank gilt auch Dr.-Ing. Tobias Meudt für die inhaltlichen Diskussionen und Anregungen im Zuge der Weiterentwicklung der Wertstrommethode. Marvin Müller und Antonio Kress danke ich darüber hinaus für das Feedback in unseren Dissertationsaustauschen sowie die Durchsicht meiner Arbeit.

Mein herzlichster Dank gilt meiner Familie und meinen Eltern, die mich immer bestärkt und auch über meine Promotion hinaus unterstützt haben. Aus tiefstem Herzen danke ich dabei Dir, Annabelle, für deine Unterstützung während der Erstellung meiner Dissertation. Meiner Tochter Greta danke ich für die Freude, die sie mir jeden Tag schenkt. Ohne eure Unterstützung wäre diese Arbeit nicht denkbar gewesen.

Hünfeld, im Dezember 2021

Lukas Hartmann

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis.....	IX
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Motivation und Problemstellung	2
1.3 Ziel der Forschungsarbeit	4
1.4 Forschungsansatz und Aufbau der Arbeit.....	5
2 Stand der Wissenschaft und Technik	7
2.1 Schlanke Produktion und ganzheitliche Produktionssysteme.....	7
2.2 Gestaltung von schlanken Wertströmen.....	9
2.2.1 Einführung in die Wertstrommethode.....	9
2.2.2 Symbolik und Wertstromplan	11
2.2.3 Wertstromanalyse	13
2.2.4 Wertstromanalyse 4.0.....	15
2.2.5 Wertstromdesign	18
2.2.6 Abgrenzung des Wertstroms.....	21
2.2.7 Gestaltungsansätze für den indirekten Bereich	24
2.2.8 Zwischenfazit	28
2.3 Digitalisierung und Industrie 4.0	29
2.3.1 Definitionen und Grundlagen.....	29
2.3.2 Industrie 4.0 und die schlanke Produktion.....	31
2.3.3 Zwischenfazit	33
2.4 Strategie und Geschäftsmodelle.....	33
2.4.1 Zusammenhang von Geschäftsmodell und Prozessgestaltung.....	34
2.4.2 Grundlagen zum Geschäftsmodell.....	36
2.4.3 Zwischenfazit	38
2.5 Gestaltung von Informationsflüssen	39
2.5.1 Grundlagen zur Informationslogistik.....	39

2.5.2 Information	41
2.5.3 Informationsqualität	42
2.5.4 Bedarf, Nachfrage und Angebot von Informationen	42
2.5.5 Verfahren zur Informationsbedarfsanalyse	44
2.5.6 Zwischenfazit	45
2.6 Wertstromdesign im Kontext der Industrie 4.0	45
2.6.1 Ansätze zur Weiterentwicklung des Wertstromdesigns	46
2.6.2 Zwischenfazit	51
2.7 Fazit zum Stand der Wissenschaft und Technik	53
3 Zielsetzung, Forschungskonzeption und Anwendungsbereiche	55
3.1 Forschungsziel und Anforderungen an die zu entwickelnde Methode	55
3.1.1 Forschungsziel	55
3.1.2 Inhaltliche Anforderungen	55
3.1.3 Formale Anforderungen	56
3.2 Wissenschaftliche Grundlagen zur Konzeption der Methode	58
3.2.1 Modelltheorie	59
3.2.2 Systems Engineering	60
3.2.3 Labor- und Feldstudien	61
3.3 Abgrenzung des Anwendungsbereichs	62
4 Konzeption und Detaillierung der Methode	63
4.1 Konzeption der Methodenstruktur	63
4.2 Gestaltungsansätze in der Methode	65
4.2.1 Ansatzpunkt im Strategie-Struktur-Zusammenhang	65
4.2.2 Ansatz der Digitalisierung	66
4.2.3 Gestaltungsrichtung der Methode	67
4.3 Begriffe, Symbolik und Fokus der Methode	68
4.3.1 Erweiterte Betrachtung von Informations- und Materialflüssen	68
4.3.2 Symbolik	70
4.4 Detaillierung der Methodenbausteine	72
4.5 Methodenbaustein I: Definition von Anforderungen aus dem Wertstromkontext	73
4.5.1 Methodenschritt 1: Definition der Anforderungen aus dem Geschäftsmodell	74

4.5.2 Methodenschritt 2: Definition der Anforderungen der Funktionsbereiche	76
4.6 Methodenbaustein II: Gestaltung des Produktflusses	78
4.6.1 Methodenschritt 3: Abgrenzung des betrachteten Wertstroms	79
4.6.2 Methodenschritt 4: Klassisches Wertstromdesign	81
4.6.3 Methodenschritt 5: Definition der Informationsbedarfe an die Prozesse	86
4.7 Methodenbaustein III: Vernetzung des Wertstroms	86
4.7.1 Methodenschritt 6: Definition der Informationen zur Prozessabwicklung	87
4.7.2 Methodenschritt 7: Definition der Informationen zum Prozesszustand	91
4.7.3 Methodenschritt 8: Definition der Informationsflüsse	92
4.8 Fazit zur Konzeption und Detaillierung der Methode	94
5 Anwendung und Evaluation der entwickelten Methode	97
5.1 Anwendung in der standardisierten Laborumgebung	97
5.2 Evaluation in der standardisierten Laborumgebung	107
5.3 Anwendung in der industriellen Praxis	112
5.4 Evaluation in der industriellen Praxis	120
5.5 Beseitigung von Informationsflussverhinderern	124
5.6 Fazit zur Anwendung und Evaluation der Methode	125
6 Zusammenfassung und Ausblick	127
6.1 Zusammenfassung	127
6.2 Ausblick	129
7 Literaturverzeichnis	131
Anhang	146

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Entwicklung der jährlichen globalen Datenerzeugung-----	3
Abbildung 2: Aufbau der Forschungsarbeit entlang des Forschungsprozesses -----	6
Abbildung 3: Phasen der Wertstrommethode -----	9
Abbildung 4: Übersicht verschiedener Symbole der Wertstrommethode (Auswahl) ---	12
Abbildung 5: Aufbau und Einteilung des Wertstromplans-----	13
Abbildung 6: Methodenschritte der WSA -----	14
Abbildung 7: Abgrenzung von Tätigkeiten und Verschwendungskategorien -----	15
Abbildung 8: Methodenschritte der WSA 4.0-----	15
Abbildung 9: Prozesskasten und Logistikelement der WSA 4.0 -----	16
Abbildung 10: Wertstromplan nach Anwendung der WSA 4.0 -----	17
Abbildung 11: Verschwendungskategorien der WSA 4.0-----	18
Abbildung 12: Ausprägungen der Prozessorganisation-----	23
Abbildung 13: Abgrenzung und Unterteilung des Wertstroms -----	24
Abbildung 14: Restrukturierungsansätze für Geschäftsprozesse -----	28
Abbildung 15: Entwicklung der Sichtweisen zum Strategie-Struktur-Zusammenhang-	35
Abbildung 16: Meta-Modell für Geschäftsmodelle -----	37
Abbildung 17: Einteilung informationslogistischer Prozesse -----	41
Abbildung 18: Definition des Begriffs Information -----	41
Abbildung 19: Dimensionen der Informationsqualität-----	42
Abbildung 20: Begrifflichkeiten zum Informationsbedarf -----	43
Abbildung 21: Übersicht der eingesetzten Methoden-----	58
Abbildung 22: Methodenbausteine des WSD 4.0-----	63
Abbildung 23: Einordnung des WSD 4.0 im Strategie-Struktur-Zusammenhang -----	65
Abbildung 24: Dimensionen der Digitalisierung und Adressierung im WSD 4.0 -----	66
Abbildung 25: Material- und Informationsflüsse im Wertstrom -----	70
Abbildung 26: Unterteilung eines Prozesskastens des WSD 4.0 -----	71
Abbildung 27: Aufbau und Bereiche im Wertstromplan des WSD 4.0 -----	72
Abbildung 28: Methodenbausteine und Methodenschritte des WSD 4.0 -----	73
Abbildung 29: Informationslogistische Anforderungen aus dem Geschäftsmodell ----	74
Abbildung 30: Informationsmatrix nach Methodenschritt 1 -----	75
Abbildung 31: Informationslogistische Anforderungen der Funktionsbereiche -----	77
Abbildung 32: Erweiterung der Informationsmatrix in Methodenschritt 2 -----	78
Abbildung 33: Erweiterung des Wertstromplans um den indirekten Bereich -----	79
Abbildung 34: Abgrenzung des Wertstroms in Abhängigkeit des Produktionstyps ----	80
Abbildung 35: Berücksichtigung des Geschäftsmodells in der Produktflussgestaltung	82
Abbildung 36: Das Zielquadrat der Produktion mit beispielhaften Teilzielen -----	83
Abbildung 37: Auswirkungen von Technologie auf den Produktfluss -----	84
Abbildung 38: Erweiterung der Informationsmatrix in Methodenbaustein II -----	86
Abbildung 39: Verbindung von Prozesskasten mit Material- und Informationsflüssen	87

Abbildung 40: Aufnahme von Informationsbedarfen zur Prozessabwicklung -----	89
Abbildung 41: Identifikation bereitzustellender Informationen zur Prozessabwicklung	90
Abbildung 42: Prozesskasten nach Methodenschritt 6 -----	90
Abbildung 43: Identifikation bereitzustellender Informationen zum Prozesszustand ---	91
Abbildung 44: Prozesskasten nach Methodenschritt 7 -----	92
Abbildung 45: Prozesskasten nach Methodenschritt 8 -----	94
Abbildung 46: Produktionsumgebung des CiP-----	98
Abbildung 47: Informationsmatrix des CiP nach Methodenbaustein I -----	100
Abbildung 48: Gestalteter Produktfluss des CiP -----	101
Abbildung 49: Informationsmatrix des CiP (Prozesszustand) -----	102
Abbildung 50: Informationsmatrix des CiP (Prozessabwicklung) -----	103
Abbildung 51: Prozesskasten des Prozesses Montage/QS/Verpackung -----	104
Abbildung 52: Wertstromplan des CiP nach Anwendung des WSD 4.0 -----	106
Abbildung 53: Verteilung der Befragten nach Branchen -----	107
Abbildung 54: Verteilung der Befragten nach Unternehmensgröße -----	108
Abbildung 55: Informationsmatrix des Anwendungsfalls nach Methodenbaustein I--	113
Abbildung 56: Gestalteter Produktfluss des Anwendungsfalls -----	114
Abbildung 57: Informationsmatrix des Anwendungsfalls (Prozesszustand)-----	115
Abbildung 58: Informationsmatrix des Anwendungsfalls (Prozessabwicklung)-----	116
Abbildung 59: Prozesskasten des Prozesses Montage/Messen/Verpacken -----	117
Abbildung 60: Wertstromplan des Anwendungsfalls nach Anwendung des WSD 4.0	119

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Gegenüberstellung von Ansätzen zum WSD-----	19
Tabelle 2: Charakteristiken direkter und indirekter Prozesse-----	22
Tabelle 3: Übersicht über Verfahren zur Informationsbedarfsermittlung-----	44
Tabelle 4: Gegenüberstellung der Anforderungen und existierenden Methoden-----	52
Tabelle 5: Inhaltliche Anforderungen an die zu entwickelnde Methode-----	56
Tabelle 6: Formale Anforderungen an die zu entwickelnde Methode-----	57
Tabelle 7: Exemplarische Leitfragen für ein WSD 4.0-----	76
Tabelle 8: Übersicht der Informationsflussverhinderer-----	93
Tabelle 9: Gegenüberstellung Anforderungen an die Methode und Methodenschritte-----	95
Tabelle 10: Informationsbedarfe zum Geschäftsmodell des CiP-----	99
Tabelle 11: Informationsbedarfe der Funktionsbereiche des CiP-----	100
Tabelle 12: Evaluation der inhaltlichen Anforderungen in der Laborumgebung-----	108
Tabelle 13: Evaluation der formalen Anforderungen in der Laborumgebung-----	110
Tabelle 14: Ergänzende Erhebungen zur Evaluation in der Laborumgebung-----	111
Tabelle 15: Informationsbedarfe zum Geschäftsmodell des Anwendungsfalls-----	112
Tabelle 16: Informationsbedarfe der Funktionsbereiche des Anwendungsfalls-----	113
Tabelle 17: Übersicht der Anwenderunternehmen-----	120
Tabelle 18: Evaluation der inhaltlichen Anforderungen in der industriellen Praxis---	121
Tabelle 19: Evaluation der formalen Anforderungen in der industriellen Praxis-----	122
Tabelle 20: Gegenüberstellung von Kennzahlen vor und nach Methodenanwendung	123
Tabelle 21: Adressierung von Informationsflussverhinderern durch das WSD 4.0 ---	125

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Acatech	Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.
ATO	Assemble-to-order
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BPMN	Business Process Model and Notation
CIp	Center für industrielle Produktivität
CPS	Cyber-physische Systeme
CTO	Configure-to-order
CODP	Customer Order Decoupling Point
DGIQ	Deutsche Gesellschaft für Informations- und Datenqualität
DTO	Develop-to-order
EPK	Ereignisgesteuerte Prozessketten
ERP	Enterprise Resource Planning
ETO	Engineer-to-order
FIFO	First-in-first-out
FLOW	Information Flow Modeling
FTO	Finish-to-order
GM	Geschäftsmodell
GPS	Ganzheitliche Produktionssysteme
GU	Großunternehmen
IH	Instandhaltung
IQ	Informationsqualität
IoT	Internet of Things
IIoT	Industrial Internet of Things
ISO	International Organization for Standardization
JiT	Just-in-time
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KPI	Key Performance Indicator
KSS	Kühlschmierstoffe
MTO	Machine-to-order
MTS	Make-to-stock
OEE	Overall Equipment Effectiveness
PTO	Pick-to-order
PTW	Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen
QM	Qualitätsmanagement
RFID	Radio Frequency Identification

SFM	Shopfloor Management
TPS	Toyota Produktionssystem
UML	Unified Modeling Language
WGP	Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik e.V.
WSA / WSA 4.0	Wertstromanalyse / Wertstromanalyse 4.0
WSD / WSD 4.0	Wertstromdesign / Wertstromdesign 4.0