

Dominik Brenner

## **Methodik zur Analyse und Gestaltung eines verschwendungsarmen und lernfähigen Werkzeugwesens in der variantenreichen Serienfertigung**

# **Methodik zur Analyse und Gestaltung eines verschwendungsarmen und lernfähigen Werkzeugwesens in der variantenreichen Serienfertigung**

Von der Graduate School of Excellence advanced Manufacturing  
Engineering der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines  
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von

**Dominik Brenner**

aus Aalen

Hauptberichter: Prof. a. D. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert  
Westkämper

Mitberichter: Prof. Dr. Burkhard Pedell

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Hans-Christian Möhring

Tag der mündlichen Prüfung: 01.02.2021

Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering

Universität Stuttgart

2021



Berichte aus der Fertigungstechnik

**Dominik Brenner**

**Methodik zur Analyse und Gestaltung eines  
verschwendungsarmen und lernfähigen Werkzeug-  
wesens in der variantenreichen Serienfertigung**

D 93 (Diss. Universität Stuttgart)

Shaker Verlag  
Düren 2021

### **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.: Stuttgart, Univ., Diss., 2021

Copyright Shaker Verlag 2021

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7964-7

ISSN 0945-0769

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](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand an der Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering (GSaME) der Universität Stuttgart.

Besonderer Dank gilt Herrn Professor Engelbert Westkämper, der mir als Doktorvater stets mit seiner Erfahrung auf dem Fachgebiet der Produktionstechnik zur Verfügung stand, meine Arbeit betreute und mich motiviert hat. Sein Leitgedanke, Fabriken als Gesamtsysteme zu verstehen und zu bewerten, war die Basis dieser Arbeit und wird mich auch bei zukünftigen Fragestellungen begleiten. Ebenso möchte ich mich bei Herrn Professor Burkhard Pedell und Herrn Professor Hans-Christian Möhring für die Durchsicht dieser Arbeit und die Übernahme des Mitberichts herzlich bedanken.

Für den spannenden Einblick in die industrielle Praxis im Werkzeugwesen und die Möglichkeit, eine Fallstudie durchzuführen, bedanke ich mich sehr bei Herrn Stefan Toussaint und Herrn Thomas Voigt, sowie bei Herrn Dietram Eisen und Herrn Dr. Steffen Lang für die vielfältige Unterstützung. An dieser Stelle möchte ich Herrn Dr. Dieter Brucklacher gedenken, der als ehemaliger Präsident des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbau den Kontakt zu vielen Ansprechpartnern aus der Industrie ermöglicht hat.

Ich möchte mich bei meinen Freunden in der GSaME und der GPS, allen voran Frau Sarah Müller, Herrn Dr. Johannes Nickel, Herrn Fabian Kleinert, Herrn Dr. Jürgen Lenz und den Master- und Bacheloranden, für die vielfachen Gespräche und nützlichen Anregungen bedanken. Wertvoll waren für diese Arbeit auch die intensiven Diskussionen mit Herrn Hans-Friedrich Jacobi.

Meinen Eltern, Isolde Brenner-Kempf und Dr. Manfred Brenner, möchte ich danken, dass sie mir meinen Weg geebnet und mir die Bedeutung von Ausdauer, Motivation und Zusammenhalt stets vorgelebt haben. Zu guter Letzt bin ich dankbar für den Rückhalt meiner gesamten Familie und meiner Freunde.

Aalen, im Februar 2021

Dominik Brenner



## **Kurzfassung**

Aufgrund eines turbulenten Marktumfelds und der Nachfrage nach qualitativ hochwertigen Produkten bei möglichst geringen Kosten und Lieferzeiten ist es für produzierende Unternehmen erforderlich, ihre Wertschöpfungsprozesse zu optimieren. Dieselbe Notwendigkeit ergibt sich für das industrielle Werkzeugwesen der variantenreichen Serienproduktion entlang des gesamten Lebenszyklus eines Werkzeugs.

Als wesentliche Herausforderung an das Werkzeugwesen ist die Vielzahl von Verschwendungsarten zu nennen, z.B. überhöhte Werkzeugbestände, vermehrte Werkzeugbrüche oder Wartezeiten. Als Hauptursachen sind die historisch gewachsenen, isolierten Organisationsfunktionen in den Unternehmen und ihre lokalen Optimierungsbestrebungen, der fehlende ganzheitliche Betrachtungs- und Gestaltungsraum, die funktionsisolierte Kommunikation und Wissensbasis sowie der unzureichende Einsatz von bewährten Methoden und Hilfsmittel der Lean-Philosophie zu nennen.

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist es, eine Methodik zur Analyse und Gestaltung eines verschwendungsarmen und lernfähigen Werkzeugwesens der variantenreichen Serienfertigung zu entwickeln. Die vierphasige Methodik bildet einen Regelkreis, der das Ziel einer Verbesserung der Durchlaufzeit, der kundentektorientierten Prozessauslastung, der Werkzeuglebenskosten je Werkstück und der Lerngeschwindigkeit verfolgt.

Die erste Phase der Methodik umfasst eine unternehmensspezifische Status-Quo-Analyse. In der zweiten Phase werden die Prozesse, Werkzeug- und Informationsflüsse sowie die Verschwendungen im gesamten Werkzeuglebenszyklus aufgedeckt, modelliert und anhand von Kenngrößen quantifiziert. Basierend auf diesen Ergebnissen werden in der dritten Phase geeignete Maßnahmen aus dem Methodenkatalog des entwickelten ganzheitlichen Werkzeugwesenssystems (GWS) ausgewählt. Der Maßnahmenkatalog wurde für ein Werkzeugwesen einer variantenreichen Serienfertigung zusammengestellt und nach dem Vorbild der ganzheitlichen Produktionssysteme (GPS) aufgebaut. Die abschließende Phase der Gesamtkonzeptevaluierung untersucht und quantifiziert die ausgewählten Maßnahmen in ihrem Gesamtkontext. Als Beitrag zur Lernbefähigung und Unterstützung der Methodik wird ein Fachkonzept eines Wissensmanagementsystems entwickelt.

Die Methodik wurde im industriellen Umfeld eines Kooperationspartners eingesetzt. Es wurden vorhandene Verschwendungen im Werkzeuglebenszyklus identifiziert und Maßnahmen für deren Reduzierung aufgezeigt.

## **Short Summary**

Due to a turbulent market environment and the demand of maximum product quality at the lowest possible cost and delivery times, manufacturing companies are forced to optimise their value-added processes. The same necessity applies to the organisation and life cycle of cutting tools of a multi-variant serial production.

However, within the cutting tool life cycle a wide range of waste types can be found, like excessive tool stocks, increased tool breakage and waiting times. The main causes for the waste are the historically grown and isolated organisational functions with their local optimisation efforts, the lack of a holistic approach, the functionally isolated communication and knowledge base as well as the insufficient use of proven methods and tools of the lean philosophy.

The objective of this thesis is to develop a methodology for the analysis and design of a low-waste and adaptive cutting tool organisation for the multi-variant serial production. The four-phase methodology forms a control loop which aims at improving the lead time, the customer-oriented utilisation level, the tool life costs per workpiece and the learning speed.

The first phase of the methodology includes a company-specific status quo analysis. In the second phase, the processes, tool and information flow as well as the waste types in the entire tool life cycle are identified, modelled and quantified based on parameters, e.g. process time. In the third phase suitable measures are selected from the method catalogue of the developed holistic system of cutting tools (GWS). The catalogue of measures was compiled for a tooling system of a multi-variant series production and structured according to lean principles. The final phase of the concept evaluation examines and quantifies the selected measures in their overall context. As a contribution to the ability to learn and support the methodology, a functional design of a knowledge management system is developed.

The methodology was applied in the industrial environment of a cooperation partner. Existing waste in the tool life cycle was identified and measures for their reduction were planned.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>V</b>
<b>Formelzeichen .....</b>	<b>IX</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>XVII</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>XXI</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation.....	1
1.2 Problemstellung.....	4
1.2.1 Verschwendungen im industriellen Werkzeugwesen.....	4
1.2.2 Wissenschaftliche Problemstellung der vorliegenden Arbeit .....	6
1.3 Ziel der Arbeit .....	9
1.4 Aufbau der Arbeit .....	11
<b>2 Betrachtungs- und Gestaltungsraum der Methodik.....</b>	<b>13</b>
2.1 Methodik.....	13
2.1.1 Systemtechnischer Aufbau .....	14
2.1.2 Phasenorientierter Ablauf.....	14
2.1.3 Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik.....	15
2.2 Funktionsorientiertes Werkzeugwesen.....	16
2.2.1 Werkzeuge der Zerspanungsbearbeitung .....	16
2.2.2 Querschnittsfunktionen des Werkzeugwesens.....	17
2.2.3 Zielkennzahlen.....	19
2.2.4 Werkzeuglebenskostenrechnung.....	21
2.2.5 Verschwendungsarten.....	22
2.2.6 Rahmenbedingungen .....	24
2.2.7 Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik.....	26
2.3 Lernfähigkeit des Werkzeugwesens .....	28
2.3.1 Wissensverlust im Kontext der Erfahrungskurve .....	29
2.3.2 Wissensmanagement im Werkzeugwesen.....	31
2.3.3 Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik.....	32
2.4 Maßnahmen zur Analyse und Vermeidung von Verschwendungen .....	34
2.4.1 Aufbau ganzheitlicher Produktionssysteme (GPS) .....	34
2.4.2 Wertstrommethode .....	35

2.4.3	Anforderungen an die zu entwickelnde Methodik.....	38
<b>3</b>	<b>Stand der Wissenschaft</b> .....	<b>39</b>
3.1	Übersicht der wissenschaftlichen Anforderungen an die Methodik.....	39
3.2	Relevante Ansätze und Methodiken.....	39
3.3	Bewertung der existierenden Ansätze und Methodiken.....	43
<b>4</b>	<b>Entwurf der Methodik</b> .....	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>Detaillierung der Methodik</b> .....	<b>53</b>
5.1	Systemaufbau der Methodik.....	53
5.2	Phase A: Unternehmensspezifische Status-Quo-Analyse.....	56
5.2.1	Auswahl des Werkzeugtyps.....	56
5.2.2	Bildung der Werkzeugfamilie.....	57
5.2.3	Analyse des Verantwortungsbereichs.....	58
5.3	Phase B: Integrierte Wertstromanalyse des Werkzeuglebenszyklus.....	59
5.3.1	Prozessanalyse im Werkzeuglebenszyklus.....	61
5.3.2	Analyse der Werkzeug- und Informationsflüsse.....	72
5.3.3	Verschwendungsursachenanalyse.....	75
5.3.4	OPTIMAL-Q-Verfahren.....	77
5.3.5	Berechnung der Werkzeuglebenskosten je Werkstück.....	82
5.3.6	Berechnung der Erfahrungskurve.....	91
5.4	Phase C: Integrierte Wertstromgestaltung des Werkzeuglebenszyklus.....	94
5.4.1	Festlegung der Subkennzahlen.....	95
5.4.2	Auswahl der Gestaltungsmaßnahmen.....	99
5.5	Phase D: Gesamtkonzeptevaluierung.....	111
5.5.1	Tendenzanalyse des Gesamtkonzepts.....	112
5.5.2	Quantifizierung des Gesamtkonzepts.....	113
5.5.3	Sensitivitätsanalyse.....	113
5.6	Fachkonzept des Wissensmanagementsystems.....	115
5.6.1	Projektspeicherung.....	116
5.6.2	Projektsuche.....	116
5.6.3	Anpassung des ganzheitlichen Werkzeugwesenssystems.....	117
5.6.4	Datenmodell.....	117
5.7	Fazit.....	120
<b>6</b>	<b>Anwendung der Methodik im industriellen Umfeld</b> .....	<b>121</b>
6.1	Vorstellung des unternehmensspezifischen Werkzeugwesens.....	121

---

6.2	Ergebnisse der Phase A .....	122
6.3	Ergebnisse der Phase B .....	123
6.4	Ergebnisse der Phase C .....	127
6.5	Ergebnisse der Phase D .....	130
6.6	Fazit .....	137
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>139</b>
7.1	Zusammenfassung .....	139
7.2	Ausblick .....	140
<b>8</b>	<b>Summary and Outlook .....</b>	<b>143</b>
8.1	Summary .....	143
8.2	Outlook .....	144
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>147</b>
9.1	Maßnahmenprofile .....	147
9.1.1	Maßnahmen der Automatisierung .....	147
9.1.2	Maßnahmen der Nachhaltigkeit .....	150
9.1.3	Maßnahmen der Hochleistungszerspanung .....	152
9.1.4	Maßnahmen des Fluss- und Pull-Prinzips .....	153
9.1.5	Maßnahmen der Werkzeugeinsatzüberwachung .....	155
9.1.6	Maßnahmen der Werkzeugstandardisierung .....	157
9.2	Fachkonzept des Wissensmanagementsystems .....	158
9.2.1	Ablaufmodelle der Hauptfunktionen .....	158
9.2.2	Datenmodell .....	163
9.3	Ergebnisse der Fallstudie .....	164
9.3.1	Wertstrommodelle .....	164
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>167</b>



## Abkürzungsverzeichnis

a	annum
AM	Ablaufmodell
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
BI	Business Intelligence
BPMN	Business Process Model and Notation
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
ca.	circa
CAD	Computer-aided design
CAM	Computer-aided manufacturing
ConWIP	Constant Work-In-Process
d	Tag
DB	Datenbank
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLZ	Durchlaufzeit
DM	Datenmodell
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
ERM	Entity-Relationship-Modell
ERP	Enterprise-Resource-Planning
FIFO	First In – First Out
FQS	Forschungsgemeinschaft Qualität
GE	Geldeinheit
ggf.	gegebenenfalls
GPS	Ganzheitliches Produktionssystem

## Abkürzungsverzeichnis

---

GWS	Ganzheitliches Werkzeugwesenssystem
h	Stunde
ID	Identifikationsnummer
IO	Informationsobjekt
i.O.	In Ordnung
IT	Informationstechnologie
KWZ	Komplettwerkzeug
LG	Leistungsgrenze
LK	Lebenskosten
min	Minute
Mngt.	Management
Mrd.	Milliarden
MTM	Methods-Time Measurement
NC	Numerical Control
n.i.O.	nicht in Ordnung
o.A.	Ohne Angabe
OEE	Overall Equipment Effectiveness
Org.	Organisation
OTF	One-Tool-Flow
p.a.	per annum
PDCA	Plan Do Check Act
PM	Prozessmodell
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
REFA	Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation
RSGV	Reststandgrößenverfolgung
s	Sekunde

S.	Seite
s.	siehe
SMED	Single Minute Exchange of Die
u.a.	unter anderem
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
vgl.	vergleiche
WBZ	Wiederbeschaffungszeit
WDB	Wissensdatenbank
WMS	Wissensmanagementsystem
WS	Wertstrom
WSM	Wertstrommethode
WWM	Wechselwirkungsmodelle
WZ	Werkzeug
WZF	Werkzeugfamilie
WZL	Werkzeuglebenszykluskonzept
z.B.	zum Beispiel



## Formelzeichen

$AT$	$\left[ \frac{d}{a} \right]$	Arbeitstage im Laufe eines Jahres
$b$		Anzahl der Verdoppelungen des kumulierten Outputs
$e_S$	$\left[ \frac{GE}{WZ} \right]$	Schrotterlös
$f_k$	[%]	Kostenfaktor
$f_{RSGV_E}$	[%]	zusätzliche Einsätze mit einer Reststandgröße
$f_{RSGV_S}$	[%]	Nutzung der Reststandgröße
$JB_E$	$\left[ \frac{\text{Werkstück}}{a} \right]$	Jahresbedarf des zu bearbeiteten Produkttyps
$JB_{WZ}$	$\left[ \frac{WZ}{a} \right]$	Jahresbedarf der Werkzeugindividuen
$k_A$	$\left[ \frac{GE}{\text{Werkstück}} \right]$	Ausschusskosten pro Werkstück
$k_{AP}$	$\left[ \frac{GE}{WZ} \right]$	werkzeugbezogene Lebenskosten der Arbeitsplanung
$k_{AS}$	$\left[ \frac{GE}{WZ} \right]$	werkzeugbezogene Lebenskosten der Arbeitssteuerung
$k_B$	$\left[ \frac{GE}{WZ} \right]$	Lebenskosten der Werkstückbearbeitung
$k_{BE}$	$\left[ \frac{GE}{WZ} \right]$	Lebenskosten der Werkzeugbeschaffung
$k_{BP}$	$\left[ \frac{GE}{WZ} \right]$	Lebenskosten der Werkzeugbestandsplanung
$k_D$	$\left[ \frac{GE}{WZ} \right]$	Lebenskosten der Werkzeugdemonontage
$k_{DBE}$	$\left[ \frac{GE}{\text{Werkstück}} \right]$	Deckungsbeitrag je Werkstück

## Formelzeichen

---

$k_{DO}$	$\left[ \frac{\text{GE}}{\text{WZ}} \right]$	Lebenskosten der direkten operativen Prozesse
$k_{\text{einmalig}}$	$\left[ \frac{\text{GE}}{\text{WZ}} \right]$	einmalige Lebenskosten
$k_{EN}$	$\left[ \frac{\text{GE}}{\text{WZ}} \right]$	Lebenskosten der Werkzeugentwicklung
$k_F$	$\left[ \frac{\text{GE}}{\text{WZ}} \right]$	Lebenskosten durch den Werkzeugpreis
$k_{\text{Fehlengen}}$	$[\text{GE}]$	Fehlmengekosten
$k_H$	$\left[ \frac{\text{GE}}{\text{WZ}} \right]$	Lebenskosten der Werkzeugherstellung
$k_{HE}$	$\left[ \frac{\text{GE}}{\text{Werkstück}} \right]$	bereits angefallene Werkstückherstellkosten
$k_I$	$\left[ \frac{\text{GE}}{\text{WZ}} \right]$	Lebenskosten der Werkzeuginstandsetzung
$k_{IO}$	$\left[ \frac{\text{GE}}{\text{WZ}} \right]$	Lebenskosten der indirekten operativen Prozesse
$k_K$	$\left[ \frac{\text{GE}}{\text{WZ}} \right]$	Lebenskosten der konzeptionellen Prozesse
$k_L$	$\left[ \frac{\text{GE}}{\text{Werkstück}} \right]$	Werkzeulebenskosten je Werkstück
$k_{L0}$	$\left[ \frac{\text{GE}}{\text{Werkstück}} \right]$	Werkzeulebenskosten je Werkstück beim Serienstart
$k_{Ln}$	$\left[ \frac{\text{GE}}{\text{Werkstück}} \right]$	WZ-Lebenskosten je Werkstück für $n$ -ten Output
$k_{LA}$	$\left[ \frac{\text{GE}}{\text{WZ}} \right]$	Lebenskosten der Werkzeuglagerung
$k_M$	$\left[ \frac{\text{GE}}{\text{WZ}} \right]$	Lebenskosten der Werkzeugmontage
$k_P$	$\left[ \frac{\text{GE}}{\text{WZ}} \right]$	Lebenskosten der Werkzeugprüfung
$k_{PJ}$	$\left[ \frac{\text{GE}}{\text{WZ}} \right]$	Verbesserungsprojektkosten

---

$k_{Rest}$	[GE]	Restkosten aus vorangegangenen Planungen
$k_{Sonst}$	[GE]	sonstige Kosten
$k_{SSB}$	$\left[ \frac{GE}{\text{Zeiteinheit}} \right]$	Maschinenstundensatz
$k_{SSM}$	$\left[ \frac{GE}{\text{Zeiteinheit}} \right]$	Personalstundensatz
$k_T$	$\left[ \frac{GE}{WZ} \right]$	Lebenskosten des Werkzeugtransports
$k_V$	$\left[ \frac{GE}{WZ} \right]$	Lebenskosten der Werkzeugvoreinstellung
$k_W$	$\left[ \frac{GE}{WZ} \right]$	Lebenskosten der Werkzeugwechsel
$k_{wiederk. \& \text{ direkt}}$	$\left[ \frac{GE}{WZ} \right]$	wiederkehrende direkte Lebenskosten
$k_{wiederk. \& \text{ indirekt}}$	$\left[ \frac{GE}{WZ} \right]$	wiederkehrende indirekte Lebenskosten
$L$	[%]	Lernineffizienz
$L_\Delta$	[%]	Lernineffizienz im Vergleich zur letzten Methodikanwendung
$L_E$	[%]	Lerneffizienz
$\eta_{IZ}$	[%]	Instandsetzungsnutzungsgrad des Werkzeugs
$\eta_P$	[%]	kundentaktorientierte Prozessauslastung
$\eta_S$	[%]	Standgrößennutzungsgrad
$\rho_A$	[%]	Häufigkeit eines Werkstück- oder WZ-Ausschusses
$\rho_{AB}$	[%]	Häufigkeit eines Ausschusses mit dem Betriebsmittel
$\rho_{AWZ}$	[%]	Werkzeugausschusshäufigkeit nach dem WZ-Einsatz
$\rho_{Brach}$	[%]	Häufigkeit einer Brachzeit

## Formelzeichen

---

$\rho_{LIZ}$	[%]	Häufigkeit einer objektbezogenen Liegezeit
$\rho_{NA}$	[%]	Häufigkeit einer objektbezogenen Nacharbeit
$\rho_{NAB}$	[%]	Häufigkeit einer Nacharbeit mit dem Betriebsmittel
$\rho_O$	[%]	Häufigkeit org. bedingter Werkzeugwechsel
$\rho_T$	[%]	Häufigkeit techn. bedingter WZ-Wechsel
$\sigma_{Indirekt}$	$\left[\frac{1}{d}\right]$	Prozesshäufigkeit pro Tag
$TB_{Gesamt}$	$\left[\frac{WZ}{d}\right]$	Tagesbedarf der Werkzeugfamilie
$TB_I$	$\left[\frac{WZ}{d}\right]$	Tagesbedarf der instand gesetzten Werkzeuge
$TB_i$	$\left[\frac{WZ}{d}\right]$	jeweiliger Werkzeugtagesbedarf
$TB_{Neu}$	$\left[\frac{WZ}{d}\right]$	Tagesbedarf der neuen Werkzeuge
$TB_{RSG}$	$\left[\frac{WZ}{d}\right]$	Tagesbedarf der Werkzeuge mit Reststandgröße
$TB_{R.Gesamt}$	$\left[\frac{WZ}{d}\right]$	Gesamttagesbedarf des Repräsentanten
$TB_{R.I}$	$\left[\frac{WZ}{d}\right]$	Tagesbedarf der instand gesetzten Repräsentanten
$TB_{R.Neu}$	$\left[\frac{WZ}{d}\right]$	Tagesbedarf der neuen Repräsentanten
$TB_{R.RSG}$	$\left[\frac{WZ}{d}\right]$	Tagesbedarf der Repräsentanten mit Reststandgröße
$t_A$	[Zeiteinheit]	Ausschusszeit
$t_{AB}$	[Zeiteinheit]	Ausschusszeit des Betriebsmittels
$t_{BD}$	[Zeiteinheit]	Bearbeitungsdauer des Informationsobjekts
$t_{Brach}$	[Zeiteinheit]	Brachzeit des Betriebsmittels

---

$t_{ED}$	[Zeiteinheit]	Erfassungsdauer des Informationsobjekts
$t_{DLZ}$	[d]	Werkzeugdurchlaufzeit
$t_{DLZ_{IO}}$	[Zeiteinheit]	Durchlaufzeit eines Informationsobjekts
$t_{HZ}$	[Zeiteinheit]	Werkzeughauptzeit
$t_{NZ}$	[Zeiteinheit]	Werkzeugnebenzeit
$t_{KTP}$	$\left[ \frac{\text{Zeiteinheit}}{\text{WZ oder Werkstück}} \right]$	prozessbezogener Kundentakt
$t_{LAZ}$	[Zeiteinheit]	Latenzzeit des Informationsobjekts
$t_{LIZ}$	[Zeiteinheit]	objektbezogene Liegezeit
$t_{NA}$	[Zeiteinheit]	Nacharbeitszeit
$t_{NAB}$	[Zeiteinheit]	Nacharbeitszeit des Betriebsmittels
$t_{Plan}$	[Zeiteinheit]	geplante Prozesszeit
$t_{Plan_B}$	[Zeiteinheit]	geplante Belegungszeit
$t_{Plan_M}$	[Zeiteinheit]	geplante Ausführungszeit
$t_{PZ}$	[Zeiteinheit]	Prozesszeit
$t_{PZ_B}$	[Zeiteinheit]	Belegungszeit des Betriebsmittels
$t_{PZ_M}$	[Zeiteinheit]	Auftragszeit des Mitarbeiters
$t_{RW}$	[d]	Reichweite des Werkzeugbestands
$t_{RZ}$	[Zeiteinheit]	Rüstzeit
$t_S$	[d]	Sicherheitspuffer
$t_{Stör}$	[Zeiteinheit]	störungsbedingte Prozesszeit
$t_{Stör_B}$	[Zeiteinheit]	störungsbedingte Belegungszeit
$t_{Stör_M}$	[Zeiteinheit]	störungsbedingte Auftragszeit
$t_{UD}$	[Zeiteinheit]	Übermittlungsdauer des Informationsobjekts
$t_{WBZ}$	[d]	Wiederbeschaffungszeit
$t_{WZ}$	[Zeiteinheit]	Wartezeit des Mitarbeiters

## Formelzeichen

---

$t_{ZZ}$	$\left[ \frac{\text{Zeiteinheit}}{\text{WZ oder Werkstück}} \right]$	Zykluszeit
$x_{EGesamt}$		Gesamtanzahl der Werkzeugeinsätze
$x_{EI}$		Einsätze als instand gesetztes Werkzeug im Lebenszyklus
$x_{Ei}$		jeweilige Anzahl der Werkzeugeinsätze
$x_{ENeu}$		Einsätze als neues Werkzeug im Lebenszyklus
$x_{ERSG}$		Einsätze als Werkzeug mit Reststandgröße im Lebenszyklus
$x_{IZ}$		Anzahl der Werkzeuginstandsetzungszyklen
$x_{\Delta IZ}$		Anzahl verlorener Instandsetzungszyklen
$x_L$	$\left[ \frac{\text{Werkstück}}{\text{WZ}} \right]$	bearbeitbare Werkstückmenge im WZ-Leben
$x_{LB}$	[WZ]	Werkzeuginstandsetzungsbestand
$x_{LG}$	[WZ] od. [Werkstück]	Losgröße
$x_0$	[Werkstück]	Anzahl bearbeiteter Werkstücke beim Serienstart
$x_n$	[Werkstück]	kumulierte Anzahl bearbeiteter Werkstücke
$x_{PM}$	[Werkstück] oder [WZ]	Prozessmenge
$x_R$		Anzahl identischer Prozessressourcen
$x_S$	$\left[ \frac{\text{Werkstück}}{\text{WZ}} \right]$	Werkzeugstandgröße
$x_{\Delta S_T}$	$\left[ \frac{\text{Werkstück}}{\text{WZ}} \right]$	Reststandgröße nach techn. bed. WZ-Wechsel
$x_{\Delta S_O}$	$\left[ \frac{\text{Werkstück}}{\text{WZ}} \right]$	Reststandgröße nach org. bedingten WZ-Wechsel
$x_{UB}$	[WZ]	Werkzeugumlaufbestand
$\zeta_A$	[%]	Verlust der Instandsetzungszyklen

---

$\zeta_O$	[%]	Standgrößenverlust durch org. bedingte WZ-Wechsel
$\zeta_T$	[%]	Standgrößenverlust durch techn. bedingte WZ-Wechsel



---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Bedeutung und Kostenverantwortung des Werkzeugwesens .....	2
Abbildung 1-2: Wertschöpfung im Kontext des Werkzeugwesens .....	3
Abbildung 1-3: Anforderungen und Verschwendungen im Werkzeugwesen .....	5
Abbildung 1-4: Einsatz GPS-Methoden im industriellen Werkzeugwesen .....	7
Abbildung 1-5: Wissenschaftliche Problemstellung der Arbeit .....	9
Abbildung 1-6: Aufbau der Arbeit.....	12
Abbildung 2-1: Regelkreis des funktionsorientierten Werkzeugwesens.....	16
Abbildung 2-2: System eines Komplettwerkzeugs .....	17
Abbildung 2-3: Querschnittsfunktionen des Werkzeugwesens.....	18
Abbildung 2-4: Zielkennzahlen im Werkzeugwesen .....	20
Abbildung 2-5: Werkzeug- und Produktlebenszyklus.....	22
Abbildung 2-6: Verschwendungsarten im Werkzeugwesen .....	23
Abbildung 2-7: Betriebstypologie einer variantenreichen Serienfertigung.....	25
Abbildung 2-8: Wissensmanagement und -verlust im Werkzeugwesen .....	28
Abbildung 2-9: Die Erfahrungskurve im Werkzeugwesen.....	30
Abbildung 2-10: Aufbau ganzheitlicher Produktionssysteme (GPS) .....	34
Abbildung 2-11: Beispielhafter Einsatz der Wertstromanalyse im Werkzeugwesen.....	37
Abbildung 3-1: Bewertung der wissenschaftlichen Ansätze .....	44
Abbildung 4-1: Phasenmodell der Methodik.....	49
Abbildung 4-2: Anwendungsszenarien der Methodik.....	52
Abbildung 5-1: Systemtechnisches Aufbaumodell der Methodik (Regelkreis).....	54
Abbildung 5-2: Ablaufmodell der Phase A.....	56
Abbildung 5-3: Werkzeugfamilienmatrix .....	58
Abbildung 5-4: Ablaufmodell der Phase B.1.....	59
Abbildung 5-5: Ablaufmodell der Phase B.2.....	60
Abbildung 5-6: Prozessmodellierung im Wertstrommodell .....	62
Abbildung 5-7: Beispielhafte Datenaufnahme eines Werkzeugeinsatzes .....	63
Abbildung 5-8: Tagesbedarfe in den Prozessketten der Ebene I .....	68
Abbildung 5-9: Werkzeug- und Informationsflussmodellierung .....	73
Abbildung 5-10: Informationsobjekt und -verarbeitung als Verschwendungsursache .....	77
Abbildung 5-11: Das OPTMAL-Q-Verfahren .....	78
Abbildung 5-12: Prinzip der Werkzeuglebenskosten pro Werkstück.....	83

## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 5-13: Ablaufmodell der Phase C .....	95
Abbildung 5-14: Auswahl der Zielkennzahlen auf der Sub-Ebene .....	96
Abbildung 5-15: Beispielhafte Gegenüberstellung der Werkzeuglebenskosten .....	97
Abbildung 5-16: Tendenzielle, qualitative Interdependenzen der Hauptkennzahlen .....	98
Abbildung 5-17: Das ganzheitliche Werkzeugwesenssystem (GWS) .....	100
Abbildung 5-18: Maßnahmenprofil am Beispiel der RSGV .....	107
Abbildung 5-19: Ablaufmodell der Phase D .....	111
Abbildung 5-20: Überlagerungsmatrix und Maßnahmenquantifizierung .....	112
Abbildung 5-21: Das Entity-Relationship-Modell der Projektspeicherung und -suche .....	119
Abbildung 6-1: Analyse der jährlichen Werkzeuggesamtkosten je Einrichteplan .....	122
Abbildung 6-2: Einsatzkontext des Repräsentanten .....	123
Abbildung 6-3: Wertstromteilausschnitt A .....	125
Abbildung 6-4: Wertstromteilausschnitt B .....	127
Abbildung 6-5: Ergebnisse der Ist-Analyse .....	128
Abbildung 6-6: Wertstromteilausschnitt C .....	132
Abbildung 6-7: Wertstromteilausschnitt D .....	134
Abbildung 6-8: Geplante Zielgrößen der Gestaltungsphase .....	135
Abbildung 6-9: Approximierte Erfahrungskurve .....	136
Abbildung 9-1: Maßnahmenprofil der autom. Werkzeugparameterübermittlung .....	147
Abbildung 9-2: Maßnahmenprofil der autom. Werkzeugmessung und -einstellung .....	148
Abbildung 9-3: Maßnahmenprofil der fahrerlosen Werkzeugtransportsysteme .....	149
Abbildung 9-4: Maßnahmenprofil der standgrößenoptimalen Einsatzparameter .....	150
Abbildung 9-5: Maßnahmenprofil der verschleiß- und bruchresistenten WZ-Konzepte ...	151
Abbildung 9-6: Maßnahmenprofil der hauptzeitoptimalen Einsatzparameter .....	152
Abbildung 9-7: Maßnahmenprofil des One-Tool-Flows .....	153
Abbildung 9-8: Maßnahmenprofil der Pull-Steuerung .....	154
Abbildung 9-9: Maßnahmenprofil der Verschleiß- und Bruchüberwachung .....	155
Abbildung 9-10: Maßnahmenprofil der Notifikation .....	156
Abbildung 9-11: Maßnahmenprofil der Spektrumsplanung .....	157
Abbildung 9-12: Ablaufmodell der Projektspeicherung A .....	158
Abbildung 9-13: Ablaufmodell der Projektspeicherung B .....	159
Abbildung 9-14: Ablaufmodell der Projektsuche A .....	160
Abbildung 9-15: Ablaufmodell der Projektsuche B .....	161
Abbildung 9-16: Ablaufmodell der GWS-Anpassung .....	162

Abbildung 9-17: Das Entity-Relationship-Modell der GWS-Anpassung .....	163
Abbildung 9-18: Wertstrommodell des Ist-Zustands Ebene I & II (DIN A0 Format).....	164
Abbildung 9-19: Wertstrommodell des Ist-Zustands Ebene I & III (DIN A0 Format).....	165
Abbildung 9-20: Wertstrommodell des Zielzustands Ebene I & II (DIN A0 Format) .....	166



## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Wissenschaftliche Anforderungen an die Methodik .....	39
Tabelle 2: Potenzielle, generische Informationsobjekte der Prozesse .....	76
Tabelle 3: Übersicht der Fallstudienresultate .....	138