

Sabrina von Hebel

Komplexitätskostenrelevante Ursache-Wirkungs-Beziehungen im Werkzeugbau bei Stanz- und Umformwerkzeugen



Komplexitätskostenrelevante Ursache-Wirkungs-
Beziehungen im Werkzeugbau bei
Stanz- und Umformwerkzeugen

Complexity-relevant Cause-and-Effect
Relationships at the Tool Shop using the
Example of Stamping and Forming Tools

Von der Fakultät für Maschinenwesen
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades einer
Doktorin der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Sabrina von Hebel

Berichter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh
Außerplanmäßiger Professor Dr.-Ing. Volker Stich

Tag der mündlichen Prüfung: 04. Oktober 2016

ERGEBNISSE AUS DER PRODUKTIONSTECHNIK

Sabrina von Hebel

Komplexitätskostenrelevante Ursache-Wirkungs-
Beziehungen im Werkzeugbau bei
Stanz- und Umformwerkzeugen

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dr. h. c. F. Klocke

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. G. Schuh

Prof. Dr.-Ing. C. Brecher

Prof. Dr.-Ing. R. H. Schmitt

Band 36/2016



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Sabrina von Hebel:

Komplexitätskostenrelevante Ursache-Wirkungs-Beziehungen im Werkzeugbau bei Stanz- und Umformwerkzeugen

1. Auflage, 2016

Apprimus Verlag, Aachen, 2016
Wissenschaftsverlag des Instituts für Industriekommunikation und Fachmedien
an der RWTH Aachen
Steinbachstr. 25, 52074 Aachen
Internet: www.apprimus-verlag.de, E-Mail: info@apprimus-verlag.de

ISBN 978-3-86359-483-1

D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2016)

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist während meiner Tätigkeit bei der PHOENIX Feinbau GmbH & Co.KG entstanden. Sie ist das Resultat von Fragestellungen praktischer Relevanz in Kombination mit dem Bestreben diese Fragestellungen wissenschaftlich fundiert beantworten zu können.

Mein erster Dank gilt Herrn Professor Schuh für die Möglichkeit der Promotion und das Vertrauen in meine Arbeit und wissenschaftlichen Fähigkeiten auch ohne die offizielle Beschäftigung am Lehrstuhl. Ebenso danke ich Herrn Professor Stich, Geschäftsführer des Forschungsinstituts für Rationalisierung, für die eingehende Durchsicht des Manuskripts und die Übernahme des Koreferats. Herrn Professor Allelein, Inhaber des Lehrstuhls für Reaktorsicherheit und –technik, danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes sowie Frau Professor Bobzin, Leiterin des Instituts für Oberflächentechnik, für die Übernahme des Beisitzes. Des Weiteren möchte ich an dieser Stelle Herrn Dr. Wolfgang Boos, den zuständigen Oberingenieur, hervorheben, der mir ein wertvoller Gesprächspartner und Ideengeber während meiner Promotion war.

Stellvertretend für das Unternehmen PHOENIX Feinbau GmbH & Co.KG möchte ich mich bei dem Geschäftsführer Herrn Dr. Jens Heidenreich für das Vertrauen und den Freiraum bedanken, diese wissenschaftliche Arbeit neben meiner Tätigkeit in dem Unternehmen durchführen zu können. Auch danke ich meinen Kollegen, die mich bei der Validierung meiner Methodik mit kritischen Fragen und Experteninterviews unterstützt haben. Hierbei sind besonders Herr Andreas Cordt, Herr Klaus Hollmann, Herr Kay Wesendrup und Herr Jakob Flore zu erwähnen. Vielen Dank für Eure Offenheit gegenüber meinen Ideen.

Neben den beruflichen Wegbegleitern möchte ich die Gelegenheit nutzen, mich bei meinem privaten Umfeld für die Unterstützung und das Verständnis zu bedanken. Viele Geburtstage, Ausflüge und Feiern sind in den letzten fünf Jahren ohne mich vollzogen worden. Jedoch ist hierbei nie ein Vorwurf in meine Richtung formuliert worden, sondern eher noch eine Motivation den eingeschlagenen Weg erfolgreich zu beenden. Mir ist durchaus bewusst, dass dieses Verständnis nicht selbstverständlich ist. Neben dem erweiterten Familienkreis möchte ich mich besonders bei meinen Freunden Nora, Anja, Ulrike, Andrea, Anne, Anne, Birgit und Nadine bedanken. Es ist schön, Euch an meiner Seite seit so vielen Jahren zu wissen. Auch danke ich meinen Aachener Wegbegleitern, die mir nicht nur während des Studiums sondern auch darüber hinaus als Ratgeber und Freunde zur Seite standen.

An dieser Stelle ist eine Person besonders hervorzuheben. Dies ist mein ehemaliger Vorgesetzter bei PHOENIX Feinbau und jetziger Professor Johannes Henrich

Schleifenbaum. Von der ersten Idee der Promotion neben dem Berufsleben bis zur mündlichen Prüfung war er mein wichtigster fachlicher Wegbegleiter und Mentor. Vielen Dank für das permanente kritische Hinterfragen meiner wissenschaftlichen Thesen und Ausarbeitungen. Nach jedem Gespräch gab es für mich mehr neue Fragen als Antworten. Die Herausforderung meine Wissensgrenzen jeden Tag aufs Neue zu überschreiten wäre ohne Deine Beharrlichkeit nicht möglich gewesen. Dankeschön.

Meinen Eltern Marlies und Werner von Hebel danke ich für die uneingeschränkte Unterstützung bei all meinen Vorhaben. Nie war eine Idee zu absurd oder eine Frage zu unbequem, um diese nicht entsprechend zu diskutieren und zu beantworten. Vielen Dank für die unermüdliche Bereitschaft mich auf meinem Weg mit Ratschlägen zu begleiten und meine Diskussionsfreudigkeit zu fördern. Euch gelten mein ganz besonderer Dank und ein großer Anteil für den erfolgreichen Abschluss meiner Promotion.

Mein größter Dank gilt meinem Freund Benedikt Brester für das bedingungslose Verständnis für meine Promotion und der damit einhergehenden wenigen gemeinsamen Freizeit und der verkürzten Urlaube. Vielen Dank sowohl für das Erinnern an die wesentlichen Dinge als auch für Deine Leichtigkeit und Deinen Humor in herausfordernden Phasen der Promotion.

Dortmund, im Dezember 2016

Sabrina von Hebel

Kurzzusammenfassung

Die Produktlebenszyklen werden kürzer und die Stückzahlen sinken dementsprechend bei einem gleichzeitigen Anstieg der Variantenvielfalt. Die Herstellkosten eines Werkzeugs werden auf den Teilepreis umgelegt. Bei geringeren Stückzahlen würde dies bei konstanten Herstellkosten eines Werkzeugs zu steigenden Produktpreisen führen. Um diesen Effekt zu vermeiden, steht der Werkzeugbau vor der Herausforderung, preiswerte Werkzeuge zu realisieren.

Neben klassischen Bestandteilen der Herstellkosten eines Werkzeugs, wie Personal-, Maschinen- und Materialkosten, spielen Komplexitätskosten eine entscheidende Rolle. Diese Kosten entstehen durch eine im Werkzeug enthaltene Komplexität. In der Praxis äußert sich dieser Effekt dadurch, dass zwei sehr ähnlich aussehende Produkte, welche werkzeuggebunden herzustellen sind, deutlich unterschiedliche Werkzeugkosten verursachen. Aktuell gibt es kein geschlossenes Wissen bzgl. der Komplexitätstreiber eines Werkzeugs und über die daraus entstehenden Komplexitätskosten. Weder dem Entwickler des Werkzeugs noch dem Entwickler des Produktes sind die kostenseitigen Auswirkungen seiner Konzepte bewusst und transparent. Das Wissen bzgl. der Auswirkungen unterschiedlicher Werkzeug- und Produktkonzepte auf die Kosten ist jedoch Grundvoraussetzung für die geforderte Kostenreduktion im Werkzeugbau. Für die Ermittlung der Komplexitätskosten eines Werkzeugs und Quantifizierung der Einflussgrößen fehlt eine grundlegende Definition der werkzeug- und produktseitigen Treiber der Werkzeugkomplexität. Ferner existiert kein Wissen über den funktionalen Zusammenhang der daraus resultierenden Komplexitätskosten unter Berücksichtigung aller Variablen auf Werkzeug- und Produktebene. In dieser Arbeit wird eine Methodik zur Bestimmung der komplexitätskostenrelevanten Ursache-Wirkungs-Beziehungen im Werkzeugbau vorgestellt. Hierbei stehen die frühzeitige Identifikation der Komplexitätstreiber, eine transparente Darstellung der Ursachen steigender Komplexität, die daraus resultierenden Komplexitätskosten und der Einfluss des herzustellenden Produktes auf die Werkzeugkomplexität im Fokus.

Unternehmen wird eine Methodik an die Hand gegeben, mit dessen Hilfe sowohl produkt- als auch werkzeugseitige Einflussfaktoren auf die Komplexitätskosten eines Werkzeugs identifiziert werden können. Basierend auf diesen Ergebnissen können systematische Optimierungsmaßnahmen zur Senkung der Herstellkosten eines Werkzeugs noch vor dem eigentlichen Bau eingeleitet werden.

Abstract

The product life cycles are becoming shorter and the lot size is decreasing accordingly with a simultaneous increase in the multitude of variants. The manufacturing costs of a tool are transferred to the parts price. If the number of pieces was smaller, this would lead to rising product prices at constant manufacturing costs for a tool. In order to avoid this effect, toolmaking in high-wage countries faces the challenge of realizing inexpensive tools.

In addition to the classical components of the manufacturing costs of a tool, such as personnel, machinery and material costs, complexity costs also play a decisive role. These costs are caused by a complexity within the tool. In practice, this effect is manifested by the fact that two very similar-looking products can cause significantly different tool costs. Currently, there is no closed knowledge about the complexity of a tool and the resulting complexity costs. Neither the developer of the tool nor the developer of the product is aware of the cost-side effects of its concepts. The knowledge about the effects of different tool and product concepts on costs is, however, the basic prerequisite for the required cost reduction in toolmaking. For a concrete determination of the complexity costs of a tool and quantification of the influencing variables, a basic definition of the tool and product-side drivers of tool complexity is still missing. Furthermore, there is no knowledge about the functional relationship between the resulting complexity costs, taking into account all variables on the tool and product level.

The aim of this dissertation is therefore to develop a methodology for determining the complexity-relevant cause-and-effect relationships in toolmaking. The focus is on the early identification of complexity drivers, a transparent presentation of the causes of increasing complexity, the resulting complexity costs and the influence of the product to be produced on tool complexity. Subsequent to this, optimization measures can be initiated and thus the production costs of a tool can be lowered even before the actual construction.

I Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsverzeichnis	I
II	Abkürzungsverzeichnis	IV
III	Formelverzeichnis	VII
IV	Abbildungsverzeichnis	IX
1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung.....	2
1.2	Zielsetzung der Arbeit.....	3
1.3	Forschungskonzeption	4
1.4	Aufbau der Arbeit	10
2	Grundlagen des Betrachtungs- und Gestaltungsbereiches	13
2.1	Komplexität	13
2.1.1	Begriffsverständnis	13
2.1.2	Komplexitätstreiber.....	16
2.1.3	Arten der Komplexität	17
2.1.4	Komplexitätskosten.....	19
2.1.5	Folgen der Komplexitätssteigerung.....	26
2.2	Werkzeugbau	27
2.2.1	Begriffsverständnis und Abgrenzung	28
2.2.2	Rolle in der Gesamtwertschöpfungskette.....	32
2.2.3	Prozesskette im Werkzeugbau	34
2.2.4	Umformwerkzeuge.....	37
2.2.5	Herausforderungen für den Werkzeugbau	44
2.3	Handlungsbedarf	47
3	Analyse und Bewertung existierender Ansätze	51
3.1	Anforderungen an eine Methodik.....	51
3.1.1	Anforderungen aus der Zielsetzung	51
3.1.2	Anforderungen aus dem Objektbereich.....	52
3.1.3	Allgemeine, formale Anforderungen.....	52
3.2	Darstellung und Bewertung relevanter Ansätze der Wissenschaft	54
3.2.1	Design for Variety (DFV) nach MARTIN	54

3.2.2	Complexity Management Model nach MARTI	58
3.2.3	Integriertes Variantenmanagement nach RATHNOW	64
3.2.4	Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung (RPK) nach SCHUH.....	70
3.2.5	Bewertung des Wirkungsgrades von Produktkomplexität nach NUSSBAUM....	73
3.2.6	Wissensbasierte Risikobewertung nach RIMPAU.....	78
3.2.7	Angebotspreisbildung nach WESTEKEMPER	84
3.3	Zwischenfazit.....	90
3.4	Ableitung des Forschungsbedarfs	95
4	Konzeption einer Methodik.....	97
4.1	Grundlagen der Systemtechnik und Modellierung.....	97
4.1.1	Systemtechnik	97
4.1.2	Modellierung	99
4.1.3	Nutzen für die Entwicklung einer Methodik	101
4.2	Ordnungsrahmen für die Methodik	103
4.3	Grobkonzept der Methodik	104
4.3.1	Werkzeug	106
4.3.2	Produkt	108
4.3.3	Verknüpfung	109
4.4	Ableich des Grobkonzeptes mit den Anforderungen	110
5	Detaillierung der Methodik	113
5.1	Werkzeugkomplexität und Komplexitätskosten.....	113
5.1.1	Methodikbaustein „Werkzeugkomplexität“.....	113
5.1.2	Methodikbaustein „Referenzwerkzeug“	125
5.1.3	Methodikbaustein „Funktionsbestimmung“.....	130
5.2	Werkzeugkomplexität und Produktmerkmale.....	141
5.2.1	Methodikbaustein „Produktmerkmale“.....	142
5.2.2	Methodikbaustein „Klassenbildung“	147
5.2.3	Methodikbaustein „Wirkzusammenhang“	149
5.3	Komplexitätskosten und Produktmerkmale.....	157
5.4	Zwischenfazit.....	158
6	Fallbeispiel und kritische Reflexion.....	161
6.1	Fallbeispiel: Phoenix Feinbau GmbH & Co. KG.....	161

6.1.1	Unternehmenssituation	161
6.1.2	Anwendung der Methodik	161
6.1.3	Fazit.....	173
6.2	Kritische Reflexion.....	174
7	Zusammenfassung und Ausblick	177
8	Literaturverzeichnis	181
9	Anhang	189
9.1	F-Test.....	189
9.2	t-Test.....	190

II Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
°C	Grad Celsius
ABC	Activity Based Costing
A, B, C, D	Unterscheidung von Produktkomponenten
ber.	berechnet
BIP	Bruttoinlandsprodukt
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
CI	Coupling Index
CI-R	Coupling Index - Receive
CI-S	Coupling Index - Supply
Cu	Chemisches Zeichen: Kupfer
DFV	Design For Variety
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung
etc.	et cetera
€	Euro
f.	folgende Seite
ff.	fort folgende Seiten

Fa.	Firma
Fe	Chemisches Zeichen: Eisen
FMEA	Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse
ggf.	gegebenenfalls
GmbH & Co. KG	Gesellschaft mit beschränkter Haftung & Compagnie Kommanditgesellschaft
griech.	griechisch
GVI	Generation Variety Index
Hrsg.	Herausgeber
I	Intervall
i	Komponente
i.A.	im Allgemeinen
i.A.a.	in Anlehnung an
i.d.R.	in der Regel
inkl.	inklusive
ISO	International Organization for Standardization
lat.	lateinisch
Lsg.	Lösung
MA	Mitarbeiter
mm	Millimeter
NC	Numerical Control
N/mm ²	Kraft pro Fläche

Nm	Newtonmeter
o.ä.	oder ähnliches
o.g.	oben genannt
o.V.	ohne Verfasser
R	Verknüpfungszahl
RPK	Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung
RRPZ	Risikoregelprioritätszahl
S.	Seite
s.	siehe
sog.	sogenannt
SoP	Start of Production
spez.	spezifisch
u	Schneidspalt
u.a.	unter anderem
UML	Unified Modeling Language
u.U.	unter Umständen
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel

III Formelverzeichnis

Formel	Beschreibung
$\alpha, \beta, \gamma, \delta$	Koeffizienten
A	Matrix der Komplexitätstreiber
a_i	Regressionskoeffizient
a_i^*	Standardisierter Regressionskoeffizient
a_0	Herstellkosten des Referenzwerkzeugs
a	Herstellkosten eines Werkzeugs
C_i	Technische Komplexität der Komponente i
c_i	Koeffizient des jeweiligen Komplexitätstreibers
e	Residuen
f_i	Berechnete Komplexitätskosten
F_{emp}	Errechneter F-Wert der Stichprobe
F_{tab}	Tabellenwert F der Stichprobe
h	Anzahl Klassen
J	Zahl der Regressoren
K	Stichprobenumfang
k	Komplexitätskosten eines Werkzeugs
M_i	Wahrer Regressionskoeffizient
m	Lösungsvektor der Regressionskoeffizienten
m_i	Regressionskoeffizient
n	Stichprobe

$N_{e,i}$	Anzahl der Teile von Komponente i
$N_{e,max}$	Maximal auftretende Teileanzahl einer Komponente des Produkts
$N_{r,i}$	Anzahl der Schnittstellen von Komponente i
$N_{r,max}$	Maximal auftretende Schnittstellenanzahl einer Komponente des Produktes
r^2	Bestimmtheitsmaß
s_{mi}	Standardabweichung je Regressionskoeffizient
t_{temp}	Errechneter t-Wert je Regressor
t_{tab}	Tabellenwert t je Regressor
$V_{e,i}$	Vielfalt der Komponente i
$V_{e,max}$	Maximal auftretende Vielfalt einer Komponente des Produkts
v_i	Differenz zwischen Messpunkt y_i und Funktionspunkt $f(x_i)$
$V_{r,avg,i}$	Durchschnittliche Vielfalt der Schnittstellen von Komponente i
$V_{r,avg,max}$	Maximal auftretende durchschnittliche Schnittstellenvielfalt einer Komponente des Produktes
x_i	Ausprägung des jeweiligen Komplexitätstreibers
y_b	Beobachteter Wert
y_i	Messpunkt
\bar{y}	Mittelwert der Messpunkte y_i

IV Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Wissenschaftssystematik	5
Abbildung 1-2: Forschungsmethodisches Vorgehen	7
Abbildung 1-3: Heuristischer Bezugsrahmen	9
Abbildung 1-4: Aufbau der Arbeit	11
Abbildung 2-1: Definition der Komplexität nach PATZAK.....	14
Abbildung 2-2: Zustände komplexer Systeme in Anlehnung an GROSSMANN	15
Abbildung 2-3: Produkt- und Innenkomplexität nach NUSSBAUM.....	18
Abbildung 2-4: Zusammenhang zwischen interner Komplexität und Komplexitätskosten.....	20
Abbildung 2-5: Gliederung der Komplexitätskosten nach NUSSBAUM.....	21
Abbildung 2-6: Kostenwirkung von Produktkomplexität nach NUSSBAUM.....	23
Abbildung 2-7: Potenzielle Kostenquellen bei steigender Produktvielfalt.....	24
Abbildung 2-8: Dynamisches Verhalten der Komplexitätskosten nach RATHNOW	25
Abbildung 2-9: Leistungsspektrum des Werkzeugbaus	29
Abbildung 2-10: Werkzeugbautypen und Auftragsarten	31
Abbildung 2-11: Hebeleffekte im Werkzeugbau	34
Abbildung 2-12: Prozesskette des Werkzeugbaus nach FRICK.....	36
Abbildung 2-13: Folgeverbundwerkzeug: Prinzipskizze und Beispiel (Quelle: Phoenix Feinbau GmbH & Co.KG)	39
Abbildung 2-14: Plattenbauweise einer Schneidoperation (Schema)	40
Abbildung 2-15: Säulenführungsbauweise einer Schneidoperation (Schema)	41
Abbildung 2-16: Typische Arbeitsstufen eines Folgeverbundwerkzeugs	41

Abbildung 2-17: Schematische Darstellung einer Schneidoperation inkl. Schneidspalt	42
Abbildung 2-18: Elemente eines Folgeverbundwerkzeugs	44
Abbildung 2-19: Organisatorische Herausforderungen eines Werkzeugbaus	46
Abbildung 2-20: Technische Herausforderungen eines Werkzeugbaus	47
Abbildung 2-21: Handlungsbedarf	49
Abbildung 3-1: Anforderungen an die Methodik	54
Abbildung 3-2: Berechnung des GVI (in Anlehnung an MARTIN)	55
Abbildung 3-3: Berechnung von CI-S und CI-R	57
Abbildung 3-4: Phasen im Complexity Management Model nach MARTI	59
Abbildung 3-5: Die vier Phasen des Produktlebenszyklus (in Anlehnung an MARTI)	60
Abbildung 3-6: Formel zur Bestimmung der technischen Komplexität	61
Abbildung 3-7: Komplexitätsmatrix nach MARTI	62
Abbildung 3-8: Kategorisierung der Komponenten in der Komplexitätsmatrix	63
Abbildung 3-9: Integriertes Variantenmanagement nach RATHNOW	65
Abbildung 3-10: Vorgehen zur Ermittlung der Teilnutzenwerte	67
Abbildung 3-11: Kernthesen zur Ausrichtung der Stellhebel	69
Abbildung 3-12: Elemente der Ressourcenorientierten Prozesskostenrechnung (RPK)	71
Abbildung 3-13: Ressourcenverbrauch – Kostenfunktion als Nomogramm	72
Abbildung 3-14: Vier Spannungsfelder der Produktkomplexität	75
Abbildung 3-15: Hauptdimensionen des Bewertungsmodells für die Produktkomplexität	76
Abbildung 3-16: Methode der wissensbasierten Risikobewertung nach RIMPAU	79
Abbildung 3-17: Vorgehensweise zum Wissenserwerb	83
Abbildung 3-18: Methodik der Angebotspreisbildung	85

Abbildung 3-19: Aufbau eines Kostenmodells für den Werkzeug- und Formenbau	86
Abbildung 3-20: Aufbau eines Ziel-/Marktpreismodells für den Werkzeug- und Formenbau	88
Abbildung 3-21: Aufbau eines Preisargumentationsmodells für den Werkzeug- und Formenbau	89
Abbildung 3-22: Bewertung existierender Komplexitätsansätze	91
Abbildung 4-1: Aufbau und Bestandteile eines Systems	98
Abbildung 4-2: Grundlegende Modelltypen	101
Abbildung 4-3: Methodik: System aus Modellen, Methoden und Hilfsmitteln	101
Abbildung 4-4: Schematische Darstellung des Ordnungsrahmens	103
Abbildung 4-5: Methodik zur Bestimmung der komplexitätskostenrelevanten Ursache-Wirkungs-Beziehungen	105
Abbildung 4-6: Partialmethode zur quantitativen Bestimmung der Werkzeugkomplexität... ..	106
Abbildung 4-7: Partialmethode zur qualitativen Bewertung des Einflusses der Produktmerkmale auf die Werkzeugkomplexität	108
Abbildung 4-8: Verknüpfung der beiden Partialmethoden zur Gesamtmethodik	109
Abbildung 4-9: Abgleich der gestellten Anforderungen mit dem Grobkonzept der Methodik	112
Abbildung 5-1: Methodikbaustein „Werkzeugkomplexität“	114
Abbildung 5-2: Erfüllen einer Teilfunktion durch Wirkprinzipien	115
Abbildung 5-3: Merkmale eines Wirkzusammenhangs	116
Abbildung 5-4: Wirkflächenpaarung an einer Schneidoperation (Beispiel)	118
Abbildung 5-5: Morphologischer Kasten „Wirkflächenpaarungen“	119
Abbildung 5-6: Bestimmung der Anzahl an Wirkpaaren (Skizze)	121
Abbildung 5-7: Anzahl Wirkpaare pro Station (Beispiel)	121

Abbildung 5-8: Beispielhafte Wirkprinzipien (3D-Modell)	123
Abbildung 5-9: Ausprägung des Komplexitätstreibers „Vielfalt der Wirkpaare“ (Beispiel) ...	124
Abbildung 5-10: Ausprägung der Komplexitätstreiber (Beispiel).....	125
Abbildung 5-11: Methodikbaustein „Referenzwerkzeug“	126
Abbildung 5-12: Aufteilung der Herstellkosten.....	127
Abbildung 5-13:Herstellungsprozess eines Werkzeuges mit entsprechenden Kostenbestandteilen	128
Abbildung 5-14: Ausprägung der Komplexitätstreiber des Referenzwerkzeugs (Beispiel).....	129
Abbildung 5-15: Nullpunktverschiebung mithilfe des Referenzwerkzeugs	130
Abbildung 5-16: Methodikbaustein „Funktionsbestimmung“	131
Abbildung 5-17: Vorgehensweise der Regressionsanalyse nach BACKHAUS	132
Abbildung 5-18: Beispielhafte Darstellung der Komplexitätskosten je Komplexitätstreiber .	136
Abbildung 5-19: Abweichung der Funktionsnäherung pro Datenpaar (Quelle: MATLAB) ...	138
Abbildung 5-20: Prüfung der Regressionsfunktion (Vorgehensweise).....	140
Abbildung 5-21: Funktionaler Zusammenhang zwischen Werkzeugkomplexität und Komplexitätskosten.....	141
Abbildung 5-22: Methodikbaustein „Produktmerkmale“	142
Abbildung 5-23: Gliederung der Produktmerkmale nach DIN 2330	143
Abbildung 5-24: Identifikation der Produktmerkmale	144
Abbildung 5-25: Ausprägung der Produktmerkmale (Beispiel)	146
Abbildung 5-26: Methodikbaustein „Klassenbildung“	147
Abbildung 5-27: Einteilung der Stichprobenwerte in Klassen gleicher Breite	148
Abbildung 5-28: Definition des Intervalls und der Klassenbreite (Beispiel)	149