

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Lehrstuhl für Betriebswissenschaften und Montagetechnik

**Methode zur Steigerung der
Formatflexibilität von Verpackungsmaschinen**

Georg Albin Josef Götz

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Klaus Drechsler

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
2. Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk

Die Dissertation wurde am 26.06.2017 an der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 20.11.2017 angenommen.

Georg Albin Josef Götz

**Methode zur Steigerung der Formatflexibilität
von Verpackungsmaschinen**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 337

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2017

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.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2018

ISBN 978-3-8316-4332-5

Printed in Germany
Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · www.utzverlag.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
Verzeichnis der Formelzeichen.....	X
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation und Motivation	1
1.2 Zielsetzung	3
1.3 Aufbau der Arbeit	3
2 Grundlagen der Verpackungstechnik und der Veränderungsfähigkeit	5
2.1 Überblick.....	5
2.2 Verpackungstechnik.....	5
2.2.1 Verpackungsprozess und Verarbeitungsvorgänge	5
2.2.2 Verpackungsmaschinen und -anlagen.....	7
2.3 Veränderungsfähigkeit.....	9
2.3.1 Flexibilität und Umrüstbarkeit	10
2.3.2 Wandlungsfähigkeit und Rekonfigurierbarkeit.....	13
2.4 Formatflexibilität	15
2.4.1 Begriffsdefinition	15
2.4.2 Charakterisierung der Formatflexibilität.....	15
2.4.3 Befähiger für eine Steigerung der Formatflexibilität.....	18

3 Stand der Wissenschaft und Technik.....	21
3.1 Überblick	21
3.2 Wissenschaftliche und methodische Arbeiten für eine Steigerung der Flexibilität von Produktionsmaschinen	21
3.2.1 Ansätze zur Rüstprozessoptimierung	21
3.2.2 Flexibilitätssteigerung durch eine verbesserte Umrüstbarkeit.....	26
3.2.3 Fazit	31
3.3 Technische Ansätze zur Flexibilitätssteigerung	31
3.3.1 Technische Ansätze im Werkzeugmaschinenbau.....	32
3.3.2 Technische Ansätze im Verpackungsmaschinenbau	34
3.3.3 Fazit	36
3.4 Darstellung der Handlungsfelder.....	37
4 Vorgehen für die Entwicklung von formatflexiblen Verpackungsmaschinen.....	41
4.1 Überblick	41
4.2 Spezifizierung des Untersuchungsbereichs	41
4.3 Anforderungen an das Vorgehen	42
4.4 Vorgehen zur Steigerung der Formatflexibilität	43
4.5 Methodenbaustein Szenario-Steckbrief	46
4.5.1 Grundannahmen und Gesamtstruktur	47
4.5.2 Detaillierung des Wirtschaftlichkeits- und des Vorgehensmodells	52
4.5.3 Zusammenfassung und Integration in das Gesamtkonzept	57
4.6 Methodenbaustein Modellierung des Formatflexibilitätsbedarfs	57
4.6.1 Grundannahmen und Gesamtstruktur	58
4.6.2 Detaillierung des Vorgehensmodells	61

4.6.3	Zusammenfassung und Integration in das Gesamtkonzept.....	68
4.7	Methodenbaustein Funktionspool	68
4.7.1	Grundannahmen und Gesamtstruktur	70
4.7.2	Detaillierung des Vorgehensmodells	73
4.7.3	Zusammenfassung und Integration in das Gesamtkonzept.....	76
4.8	Methodenbaustein Gestaltungspool	77
4.8.1	Grundannahmen und Gesamtstruktur	78
4.8.2	Detaillierung des Vorgehensmodells	79
4.8.3	Zusammenfassung und Integration in das Gesamtkonzept.....	88
5	Entwicklung formatflexibler Verfahren mit dem Methodenbaustein Funktionspool	89
5.1	Überblick.....	89
5.2	Verschließen – Thermoformverpackungsmaschinen.....	92
5.2.1	Schritt 1: Initialisierung	92
5.2.2	Schritt 2: Ideengenerierung und -bewertung.....	95
5.2.3	Schritt 3: Technologiebasisstudie	97
5.2.4	Schritt 4: Erweiterte Technologiestudie – Impuls- und Laserstrahlsiegeln.....	103
5.2.5	Schritt 5: Transfer	126
5.3	Aufrichten – Faltschachtel-Aufrichtemaschinen	127
5.3.1	Schritt 1: Initialisierung	127
5.3.2	Schritt 2: Ideengenerierung und -bewertung.....	129
5.3.3	Schritt 3: Technologiebasisstudie	134
5.3.4	Schritt 4: Erweiterte Technologiestudie – Differenzbandverfahren	135
5.3.5	Schritt 5: Transfer	137

Inhaltsverzeichnis

5.4 Fazit	138
6 Anwendung und Bewertung.....	139
6.1 Überblick	139
6.2 Szenario-Steckbrief.....	139
6.2.1 Fallbeispiel Thermoformverpackungsmaschine	139
6.2.2 Fazit	145
6.3 Modellierung des Formatflexibilitätsbedarfs.....	147
6.3.1 Fallbeispiel Thermoformverpackungsmaschine	147
6.3.2 Fazit	151
6.4 Gestaltungspool	151
6.4.1 Fallbeispiel Faltschachtel-Aufrichtemaschine.....	151
6.4.2 Fazit	155
6.5 Bewertung.....	155
6.5.1 Beurteilung des Gesamtkonzepts und der Methodenbausteine ..	155
6.5.2 Aufwand und Nutzen	157
7 Schlussbetrachtung	159
7.1 Zusammenfassung	159
7.2 Ausblick	160
8 Literaturverzeichnis	163
9 Anhang	191
9.1 Eingabewerte des Wirtschaftlichkeitsmodells	191
9.2 Berechnungsgrundlage des Wirtschaftlichkeitsmodells	193

10 Verzeichnis betreuter Studienarbeiten	197
---	------------

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Die steigende Nachfrage nach individuelleren Produkten induziert eine zunehmende Variantenvielfalt, kleinere Losgrößen sowie kürzere Entwicklungszeiten und daher „(...) muss die Produktionstechnik auch weiterhin produktiver, zuverlässiger und flexibler (...)“ werden (NEUGEBAUER 2012, S. 8). Eine flexible Produktion ermöglicht es, auf kurzfristige Schwankungen der Nachfrage reagieren zu können (ERLACH 2010, S. 14). Die gesättigten Märkte erfordern eine Produktdiversifizierung, die eine Vielzahl von Branchen betrifft (RUDOLF 2006, S. 151). Die Erfüllung von individuellen Bedürfnissen der Kunden, z. B. in der Konsumgüterindustrie, steht hierbei im Vordergrund (FELDHUSEN & GROTE 2013, S. 124). Trotzdem sind individualisierte Produkte zu niedrigen Preisen anzubieten (FELDHUSEN & GROTE 2013, S. 124). Beispielsweise stieg im Zeitraum von 1997 bis 2012 in der Konsumgüterindustrie die Variantenanzahl um 62 % bei einer gleichzeitigen Verkürzung des Produktlebenszyklus um 46 % (ROLAND BERGER 2012). Somit werden die Produktionszielgrößen Herstellkosten und Qualität ihre Bedeutung beibehalten, allerdings die Faktoren Geschwindigkeit und Anpassbarkeit die Produktionsgestaltung maßgeblich beeinflussen (ABELE & REINHART 2011, S. 34). Infolge des Zukunftsprojektes der deutschen Bundesregierung Industrie 4.0 wird diese Entwicklung an Dynamik gewinnen. Für die Realisierung einer dezentral vernetzten Industrie ist die Veränderungsfähigkeit und Anpassbarkeit von Produktionssystemen und Betriebsmitteln ein entscheidender Befähiger (KAGERMANN ET AL. 2013, S. 35).

Auch die verpackende Industrie versucht durch eine steigende Produktdiversifikation den Kundennutzen der heterogenen Käufergruppen zu steigern und damit dem Markttrend zu folgen (JONAS 2005). Aus diesem Grund steigt auch in dieser Industrie der Bedarf an Flexibilität (BEUTNER & KLAUS 2012). Aus Kundensicht ist das Kaufobjekt die Packung, welche die Einheit aus Produkt und Verpackung ist (JÄGER 2004, S. 184). Daher wirkt sich die zunehmende Variantenvielfalt im entscheidenden Maße auf die Verpackung aus. Insbesondere bei den Produkten des täglichen Bedarfs ist die Wirkung der Packung im Verkaufsregal bedeutend, da sich der Kunde innerhalb weniger Sekunden für ein Produkt eines umfangreichen Sortimentes entscheidet. Die Verpackung hat somit aufgrund ihrer Kommunikationsfunktion einen entscheidenden Anteil am Verkaufserfolg.

1 Einleitung

Die Vielfalt bei Konsumgütern und insbesondere bei Lebensmitteln und Getränken wird zusätzlich durch weitere Veränderungstreiber beschleunigt, z. B. die Zunahme von Ein- und Zwei-Personen-Haushalten (PACKAGING VALLEY GERMANY & PACKAGING EXCELLENCE CENTER 2012, S. 119) und die Nachfrage nach Convenience-Produkten (BEUTNER & KLAUS 2012). Allerdings bleibt weiterhin der Preis für 79 % der Konsumenten ein entscheidender Faktor im Hinblick auf die Produktzufriedenheit (LEBENSMITTEL ZEITUNG 2014). Im Jahr 2014 betrug der Anteil des Verpackungsabsatzes in der Konsumgüterindustrie für die Segmente Nahrungsmittel und Getränke zusammen 72 % (CLAUS 2015). Gesetzliche Veränderungen der Fertigpackungsverordnung aus dem Jahre 2009 ermöglichen zudem eine Variation der Packungsgrößen und Füllmengen (RODER 2009). Eine weitere Beschleunigung dieser Entwicklungen kann der Online-Lebensmittelhandel bewirken. Im Jahr 2014 wurden in Deutschland nur 0,3 % der Umsätze online getätig, wobei in Großbritannien der Anteil auf 5 % beziffert wird (ERNST & YOUNG 2014). Allerdings wird für Deutschland im Jahr 2020 mit einem Marktanteil von 10 % gerechnet (ERNST & YOUNG 2014). Die zunehmende Anzahl an neuen Marktteilnehmern in diesem Segment verdeutlicht die Dynamik, z. B. Lebensmittel.de oder Amazonfresh.

Zukünftig sind daher noch mehr unterschiedliche Packungen mit den eingesetzten Verpackungsmaschinen herzustellen. Verfahren der Reihenfolgenoptimierung und der Zusammenfassung zu Produktionslosen sind in der Lebensmittelherstellung und -verpackung, aufgrund der Mindesthaltbarkeit und des möglichen Produktverderbs, nicht möglich (MAHALIK & NAMBIAR 2010; RÖMISCH & WEIß 2014, S. 330). Die schrumpfenden Losgrößen verursachen häufigere Produktwechsel und die notwendigen Umrüstvorgänge erfordern „(...) einen so hohen Zeit- und Personalaufwand, dass keine kostendeckende Produktion möglich ist“ (HENNIG 2011, S. 198). Die Summe der Produktwechsel, die mit einem Umrüstvorgang umgesetzt werden müssen, führen zu einer Reduktion der Anlagenverfügbarkeit, bspw. bewertet mit der OEE-Kennzahl (engl. Overall Equipment Effectiveness) (MCINTOSH ET AL. 2001, S. 30; AIOE 2012). In NYHUIS ET AL. (2008b, S. 125) wird dies mit der Abhängigkeit „*Flexibilität = Auslastung = Profitabilität*“ beschrieben.

In Summe ist die Steigerung der Formatflexibilität von Verpackungsmaschinen die notwendige Maßnahme, um die dargestellten Herausforderungen, u. a. einer großen Produktrivalität und einer Reduktion der Losgrößen, wirtschaftlich meistern zu können (BÜCKLE & HUBER 2005, S. 11; WILKE 2011; PACKAGING VALLEY GERMANY & PACKAGING EXCELLENCE CENTER 2012, S. 222; CLAUS 2015).

1.2 Zielsetzung

Diese Arbeit hat das übergeordnete Ziel die Formatflexibilität von Verpackungsmaschinen zu steigern. Dies stellt ein geeignetes Mittel dar, um die Zunahme der Variantenvielfalt, die sinkenden Losgrößen und die steigende Anzahl an Formatwechseln zu bewältigen. Diese Zielsetzung ist bereits in der Entwicklung von Verpackungsmaschinen zu berücksichtigen, damit die dortigen Potenziale und Freiheitsgrade ausgeschöpft werden können. Der steigende Bedarf an Formatflexibilität ist für den mittelständisch geprägten Verpackungsmaschinenbau eine zusätzliche Zielgröße an die zu entwickelnden Maschinen. Das Anbieten eines formatflexiblen Systems für das Verpacken kann das ausschlaggebende Differenzierungsmerkmal für einen Erfolg am Markt sein, wie dies bspw. von EICHHORN (2012, S. 53) für Werkzeugmaschinen gesehen wird. Für das Erreichen dieser Zielgröße im Rahmen des Entwicklungsprozesses von Verpackungsmaschinen existiert bisher keine durchgängige Betrachtung. Daher ist im Rahmen dieser Arbeit ein Vorgehen zu entwickeln, welches eine zielgerichtete und effiziente Entwicklung von formatflexiblen Verpackungsmaschinen unterstützt. Dieses Vorgehen soll die Schritte eines Entwicklungsprozesses fokussieren, welche einen entscheidenden Einfluss auf die Formatflexibilität der zu entwickelnden Verpackungsmaschinen haben. Ein weiterer Schwerpunkt dieser Arbeit stellt die Entwicklung von Verfahren mit einer höheren inhärenten Flexibilität dar. Die Integration dieser Verfahren in Verpackungsmaschinen führt zu einer Steigerung der Formatflexibilität. Die Anwendung des Vorgehens soll den praktischen Nutzung und die vorhandenen Potenziale aufzeigen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit ist in insgesamt sieben Kapitel untergliedert, vgl. Abbildung 1. Nachdem in *Kapitel 1* die Ausgangssituation und Motivation sowie die Zielsetzung dargelegt sind, werden in *Kapitel 2* die Grundlagen für diese Arbeit behandelt. Das zweite Kapitel beinhaltet die Themen Verpackungstechnik sowie die Veränderungsfähigkeit als das Potenzial von Systemen, sich an geänderte Einflussfaktoren anpassen zu können. Auf dieser Basis wird der Begriff Formatflexibilität definiert und charakterisiert. In *Kapitel 3* wird der Stand der Erkenntnisse aufgezeigt. Hierfür werden wissenschaftliche und methodische Arbeiten diskutiert, die zu einer Flexibilitätssteigerung führen sollen. Ferner werden technische Lösungen der industriellen Praxis des Werkzeug- und Verpackungsmaschinenbaus dargelegt und die resultierenden Handlungsfelder abgeleitet.

- 277 *Alexander Götzfried*: Analyse und Vergleich fertigungstechnischer Prozessketten für Flugzeugtriebwerks-Rotoren
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4310-3
- 278 *Saskia Reinhardt*: Bewertung der Ressourceneffizienz in der Fertigung
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-4317-2
- 279 *Fabian J. Meling*: Methodik für die Rekombination von Anlagentechnik
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-4319-6
- 280 *Jörg Egbers*: Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-4328-8
- 281 *Max von Bredow*: Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit und des Risikos unternehmensübergreifender Wertschöpfungskonfigurationen in der Automobilindustrie
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-4337-0
- 282 *Tobias Philipp*: RFID-gestützte Produktionssteuerungsverfahren für die Herstellung von Bauteilen aus Faserverbundkunststoffen
142 Seiten · ISBN 978-3-8316-4346-2
- 283 *Stefan Rainer Johann Brauneuther*: Untersuchungen zur Lasersicherheit für Materialbearbeitungsanwendungen mit brillanten Laserstrahlquellen
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-4348-6
- 284 *Johannes Pohl*: Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen
202 Seiten · ISBN 978-3-8316-4358-5
- 285 *Matthey Wiesbeck*: Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Workerföhrung
194 Seiten · ISBN 978-3-8316-4369-1
- 286 *Sonja Huber*: In-situ-Legierungsbestimmung beim Laserstrahlschweißen
206 Seiten · ISBN 978-3-8316-4370-7
- 287 *Robert Wiedemann*: Prozessmodell und Systemtechnik für das laserunterstützte Fräsen
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4384-4
- 288 *Thomas Irenhauser*: Bewertung der Wirtschaftlichkeit von RFID im Wertschöpfungsnetz
242 Seiten · ISBN 978-3-8316-4404-9
- 289 *Jens Hatwig*: Automatisierte Bahnanplanung für Industrieroboter und Scanneroptiken bei der Remote-Laserstrahlbearbeitung
196 Seiten · ISBN 978-3-8316-4405-6
- 290 *Matthias Baur*: Aktives Dämpfungssystem zur Ratterunterdrückung an spanenden Werkzeugmaschinen
210 Seiten · ISBN 978-3-8316-4408-7
- 291 *Alexander Schöber*: Eine Methode zur Wärmequellenkalibrierung in der Schweißstruktursimulation
198 Seiten · ISBN 978-3-8316-4415-5
- 292 *Matthias Glonegger*: Berücksichtigung menschlicher Leistungsschwankungen bei der Planung von Variantenfließmontagesystemen
214 Seiten · ISBN 978-3-8316-4419-3
- 293 *Markus Kahnert*: Scanstrategien zur verbesserten Prozessführung beim Elektronenstrahl schmelzen (EBSM)
228 Seiten · ISBN 978-3-8316-4416-2
- 294 *Sebastian Schindler*: Strategische Planung von Technologieketten für die Produktion
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-4443-6
- 295 *Tobias Föcker*: Methode zur rechnergestützten Prozessgestaltung des Schleifhärtens
128 Seiten · ISBN 978-3-8316-4448-3
- 296 *Rüdiger Spiller*: Einsatz und Planung von Roboterassistenz zur Berücksichtigung von Leistungswandlungen in der Produktion
286 Seiten · ISBN 978-3-8316-4450-6
- 297 *Daniel Schmid*: Röhrebschweißen von Aluminiumlegierungen mit Stählen für die Automobilindustrie
300 Seiten · ISBN 978-3-8316-4452-0
- 298 *Florian Karl*: Bedarfsermittlung und Planung von Rekonfigurationen an Betriebsmitteln
222 Seiten · ISBN 978-3-8316-4458-2
- 299 *Philipp Ronald Engelhardt*: System für die RFID-gestützte situationsbasierte Produktionssteuerung in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage
246 Seiten · ISBN 978-3-8316-4472-8
- 300 *Markus Graßl*: Bewertung der Energieflexibilität in der Produktion
202 Seiten · ISBN 978-3-8316-4476-6
- 301 *Thomas Kirchmeier*: Methode zur Anwendung der berührungslosen Handhabung mittels Ultraschall im automatisierten Montageprozess
196 Seiten · ISBN 978-3-8316-4478-0
- 302 *Oliver Rösch*: Steigerung der Arbeitsgenauigkeit bei der Fräsbearbeitung metallischer Werkstoffe mit Industrierobotern
214 Seiten · ISBN 978-3-8316-4486-5
- 303 *Christoph Sieben*: Entwicklung eines Prognosemodells zur prozessbegleitenden Beurteilung der Montagequalität von Kolbendichtungen
194 Seiten · ISBN 978-3-8316-4510-7
- 304 *Philipp Alexander Schmidt*: Laserstrahlschweißen elektrischer Kontakte von Lithium-Ionen-Batterien in Elektro- und Hybridfahrzeugen
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-4519-0
- 305 *Yi Shen*: System für die Mensch-Roboter-Koexistenz in der Fließmontage
230 Seiten · ISBN 978-3-8316-4520-6
- 306 *Thomas Bonin*: Moderne Ordnungsreduktionsverfahren für die Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen
274 Seiten · ISBN 978-3-8316-4522-0
- 307 *Jan Daniel Musol*: Remote-Laserstrahl-Abtragschneiden
168 Seiten · ISBN 978-3-8316-4523-7
- 308 *Emin Genc*: Frühwarnsystem für ein adaptives Störungsmanagement
234 Seiten · ISBN 978-3-8316-4525-1
- 309 *Mirko Langhorst*: Beherrschung von Schweißverzug und Schweißspannungen
252 Seiten · ISBN 978-3-8316-4524-2
- 310 *Markus Schweier*: Simulative und experimentelle Untersuchungen zum Laserschweißen mit Strahloszillation
284 Seiten · ISBN 978-3-8316-4536-7
- 311 *Florian Geiger*: System zur wissensbasierten Maschinenbelegungsplanung auf Basis produktsspezifischer Auftragsdaten
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-4537-4
- 312 *Peter Schnellbach*: Methodik zur Reduzierung von Energieverschwendungen unter Berücksichtigung von Zielgrößen
Ganzheitlicher Produktionsysteme
236 Seiten · ISBN 978-3-8316-4540-4
- 313 *Stefan Schwarz*: Prognosefähigkeit dynamischer Simulationen von Werkzeugmaschinenstrukturen
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-4542-8
- 314 *Markus Pröpster*: Methodik zur kurzfristigen Austaktung varianteureicher Montagelinien am Beispiel des Nutzfahrzeugbaus
238 Seiten · ISBN 978-3-8316-4547-3
- 315 *Dominik David Simon*: Automatisierte flexible Werkzeugsysteme zum Umformen und Spannen von Kunststoff scheiben und -schalen
234 Seiten · ISBN 978-3-8316-4548-0
- 316 *Stefan Maurer*: Frühauflärung kritischer Situationen in Versorgungsprozessen
242 Seiten · ISBN 978-3-8316-4554-1

- 317 *Tobias Maier*: Modellierungssystematik zur aufgabenbasierten Beschreibung des thermooelastischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen
274 Seiten · ISBN 978-3-8316-4561-9
- 318 *Klemens Konrad Niehues*: Identifikation linearer Dämpfungsmodelle für Werkzeugmaschinenstrukturen
286 Seiten · ISBN 978-3-8316-4568-8
- 319 *Julian Christoph Sebastian Backhaus*: Adaptierbares aufgabenorientiertes Programmiersystem für Montagesysteme
264 Seiten · ISBN 978-3-8316-4570-1
- 320 *Sabine G. Zitzlsberger*: Flexibles Werkzeug zur Umformung von Polycarbonatplatten unter besonderer Beachtung der optischen Qualität
228 Seiten · ISBN 978-3-8316-4573-2
- 321 *Christian Thiemann*: Methode zur Konfiguration automatisierter thermografischer Prüfsysteme
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-4574-9
- 322 *Markus Westermeier*: Qualitätsorientierte Analyse komplexer Prozessketten am Beispiel der Herstellung von Batteriezellen
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-4586-2
- 323 *Thorsten Klein*: Agile Engineering im Maschinen- und Anlagenbau
284 Seiten · ISBN 978-3-8316-4598-5
- 324 *Markus Wiedemann*: Methodik zur auslastungsorientierten Angebotsminimierung für hochvariante Produkte mit kundenindividuellen Leistungsanteilen
216 Seiten · ISBN 978-3-8316-4599-2
- 325 *Harald Krauss*: Qualitätssicherung beim Laserstrahlschmelzen durch schichtweise thermografische In-Process-Überwachung
304 Seiten · ISBN 978-3-8316-4628-9
- 326 *Stefan Krotli*: Online-Simulation von fluidischen Prozessen in der frühen Phase der Maschinen- und Anlagenentwicklung
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-4636-4
- 327 *Andreas Roth*: Modellierung des Rührreibschweißens unter besonderer Berücksichtigung der Spalttoleranz
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-4639-5
- 328 *Philipp Benjamin Michaeli*: Methodik zur Entwicklung von Produktionsstrategien am Beispiel der Triebwerksindustrie
288 Seiten · ISBN 978-3-8316-4642-5
- 329 *Michael Richard Niehues*: Adaptive Produktionssteuerung für Werkstattfertigungssysteme durch fertigungsbegleitende Reihenfolgebildung
314 Seiten · ISBN 978-3-8316-4650-0
- 330 *Johannes Stock*: Remote-Laserstrahl trennen von kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-4662-3
- 331 *Andreas Fabian Hees*: System zur Produktionsplanung für rekonfigurierbare Produktionsysteme
218 Seiten · ISBN 978-3-8316-4676-0
- 332 *Fabian Michael Distel*: Methodische Auslegung ultraschallbasierter berührungsloser Handhabungssysteme
292 Seiten · ISBN 978-3-8316-4679-1
- 333 *Christian Pehn*: A Method for Analyzing the Impact of Changes and their Propagation in Manufacturing Systems
276 Seiten · ISBN 978-3-8316-4695-1
- 334 *Josef Huber*: Verfahren zur Klassifikation von Ungänzen bei der optischen Prüfung von Batterieseparatoren
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-4593-0
- 335 *Martin Schmid*: Kognitive Prozesssteuerung zur Steigerung der Ressourceneffizienz in der Druckindustrie
210 Seiten · ISBN 978-3-8316-4139-0
- 336 *Alexander Beltzki*: Rechnergestützte Minimierung des Verzugs laserstrahlgeschweißter Bauteile
234 Seiten · ISBN 978-3-8316-4254-0
- 337 *Georg Albin Josef Götz*: Methode zur Steigerung der Formatflexibilität von Verpackungsmaschinen
232 Seiten · ISBN 978-3-8316-4332-5