

Christian Thiemann

**Methode zur Konfiguration automatisierter
thermografischer Prüfsysteme**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 321

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2015

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 Datenverarbeitungs-
anlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser
Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2016

ISBN 978-3-8316-4574-9

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

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	i
Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme	vii
Verzeichnis der Formelzeichen.....	xi
1 Einleitung.....	1
1.1 Qualität als Erfolgsfaktor in der Produktionstechnik	1
1.2 Herausforderungen für die Wärmefluss-Thermografie	3
1.3 Zielsetzung.....	4
1.4 Gliederung der vorliegenden Arbeit	6
2 Stand der Wissenschaft und Technik	9
2.1 Allgemeines	9
2.2 Zerstörungsfreie Prüfung mittels Thermografie	9
2.2.1 Funktionsweise der thermografischen Prüfung	9
2.2.2 Erzeugung des Fehlstellensignals	10
2.2.3 Erfassung des Fehlstellensignals	13
2.2.4 Analyse des Fehlstellensignals	20
2.2.5 Zusammenfassung der Prüfverfahrensvarianten	28
2.2.6 Thermografische Anwendungen in der Produktionstechnik ...	31
2.3 Automatisierung der thermografischen Prüfung	33
2.3.1 Ablaufschritte und Definitionen	33
2.3.2 Thermografische Prüfstrategien.....	35
2.3.3 Stationäre Prüfstrategie.....	36

Inhaltsverzeichnis

2.3.4	Sequentielle Prüfstrategie.....	37
2.3.5	Scannende Prüfstrategie	43
2.3.6	Prozessintegration.....	51
2.4	Methodische Ansätze zur Konzeption thermografischer Prüf- systeme	52
2.4.1	Allgemeines	52
2.4.2	Bausteine für eine moderne zerstörungsfreie Prüfung von Werkstoffverbunden (GROSSE 2014B).....	53
2.4.3	Stufenprozess zur Validierung zerstörungsfreier Prüf- verfahren (SIEMER 2010)	54
2.4.4	Methodik zur Konfiguration thermografischer Prüfsysteme (SIEMER 2010)	56
2.5	Zusammenfassung aktueller Anwendungshemmnisse	58
2.5.1	Allgemeines	58
2.5.2	Technologische Hemmnisse.....	58
2.5.3	Wirtschaftliche Hemmnisse	59
2.5.4	Methodische Hemmnisse.....	60
2.6	Ableitung des Handlungsbedarfs.....	61
3	Methode zur Konfiguration automatisierter thermografischer Prüfsysteme	65
3.1	Allgemeines	65
3.2	Entwicklung einer intermittierenden Prüfstrategie	65
3.2.1	Allgemeine Funktionsweise	65
3.2.2	Intermittierende Prüfstrategie mit PT und PPT	66
3.2.3	Intermittierende Prüfstrategie mit LIT	68
3.2.4	Rekonstruktion der Wärmebildsequenzen.....	69

3.3	Zielsetzung der Methode	70
3.4	Überblick über das methodische Gesamtkonzept.....	71
3.5	Methodenbaustein 1 – Auswahl der Prüfsystemkinematik	74
3.5.1	Analyse der Prüfrandbedingungen	74
3.5.2	Herstellung repräsentativer Prüfkörper	77
3.5.3	Vorauswahl der Anregungsquelle.....	77
3.5.4	Auswahl der Prüfsystemkinematik	78
3.6	Methodenbaustein 2 – Konfiguration scannender Prüfsysteme	79
3.6.1	Vorauswahl der IR-Kamera.....	79
3.6.2	Generierung einer Wärmebildsequenz	80
3.6.3	Definition von Messintervallen	81
3.6.4	Algorithmische Evaluierung von Analysemethoden.....	83
3.6.5	Generierung von Prüfkonzeptalternativen.....	92
3.7	Methodenbaustein 3 – Konfiguration getakteter Prüfsysteme	94
3.7.1	Vorauswahl der IR-Kamera.....	94
3.7.2	Generierung einer Wärmebildsequenz	95
3.7.3	Algorithmische Evaluierung von Analysemethoden.....	95
3.7.4	Ermittlung der Prüfabschnittszahl	99
3.7.5	Ermittlung der Puls-Anregungsdauer	101
3.7.6	Berechnung der Prüfzyklus- und der Positionierungszeiten..	102
3.7.7	Generierung von Prüfkonzeptalternativen	103
3.8	Bewertung der Prüfkonzeptalternativen	105
3.9	Zusammenfassung	106

Inhaltsverzeichnis

4 Validierung der Methode am Beispiel eines Fahrzeug-Dachmoduls	109
4.1 Allgemeines	109
4.2 Referenzobjekt Fahrzeug-Dachmodul.....	109
4.2.1 Beschreibung des Bauteils.....	109
4.2.2 Beschreibung des Produktionsprozesses	110
4.2.3 Motivation für eine prozessintegrierte 100%-Prüfung	111
4.3 Anwendung der entwickelten Methode.....	112
4.3.1 Methodenbaustein 1 – Auswahl der Prüfsystemkinematik ...	112
4.3.2 Methodenbaustein 3 – Konfiguration getakteter Prüf- systeme	117
4.3.3 Bewertung der Prüfkonzeptalternativen.....	131
4.4 Aufbau einer Versuchsanlage.....	133
4.4.1 Allgemeines	133
4.4.2 Induktive Erwärmung der Rahmenstruktur	133
4.4.3 Spiegel-Scan-Kinematik.....	134
4.5 Thermografische Untersuchung des Referenzbauteils	135
4.5.1 Versuchsdurchführung	135
4.5.2 Ergebnisdiskussion	136
4.6 Wirtschaftliche Bewertung.....	138
4.6.1 Allgemeines	138
4.6.2 Realisierungsalternativen	138
4.6.3 Kostenbewertung.....	139
4.7 Zusammenfassung	142

5 Validierung der Methode am Beispiel einer Kunststoffplatte	145
5.1 Allgemeines	145
5.2 Referenzobjekt Kunststoffplatte	145
5.3 Anwendung der entwickelten Methode	146
5.3.1 Methodenbaustein 1 – Auswahl der Prüfsystemkinematik ...	146
5.3.2 Methodenbaustein 2 – Konfiguration scannender Prüf- systeme.....	149
5.3.3 Bewertung der Prüfkonzeptalternativen	163
5.4 Zusammenfassung	164
6 Schlussbetrachtung.....	167
6.1 Nutzen der Methode	167
6.1.1 Allgemeines	167
6.1.2 Verringerung des Versuchsaufwands	168
6.1.3 Minimierung von Investitionskosten	169
6.1.4 Erschließung neuer Anwendungsfälle	170
6.2 Zusammenfassung der Arbeit	170
6.3 Ausblick auf weitere wissenschaftliche Arbeiten.....	174
7 Literaturverzeichnis	175
8 Anhang.....	195
8.1 Ablaufdiagramme der Auswertungsalgorithmus-Unterfunktionen ..	195
8.1.1 Unterfunktion <i>Auswertung der Messintervallposition</i>	195
8.1.2 Unterfunktion <i>Auswertung der Messintervalllänge</i>	196
8.1.3 Unterfunktion <i>Auswertung der Abtastrate</i>	197

Inhaltsverzeichnis

8.2	Evaluierungsergebnisse des Auswertungsalgorithmus für Anwendungsbeispiel 1	198
8.2.1	Auswertung der Messintervalllänge	198
8.2.2	Auswertung der Abtastrate	199
8.2.3	Auswertung der intermittierenden Prüfung mit Spiegel-Scan	199
8.3	Wirtschaftlichkeitsrechnung für das Anwendungsbeispiel Fahrzeug-Dachmodul	200
8.3.1	Jährliche Kostenentwicklung für ein thermografisches Prüfsystem	200
8.3.2	Jährliches Kostenentwicklungen bei manueller zerstörungs-freier 100%-Prüfung.....	200
8.4	Evaluierungsergebnisse des Auswertungsalgorithmus für Anwendungsbeispiel 2	201
8.4.1	Auswertung der Messintervallposition für T_{MI_max}	201
8.4.2	Auswertung der Messintervallposition für T_{MI_med}	203
8.4.3	Auswertung der Messintervallposition für T_{MI_min}	205
8.4.4	Auswertung der Messintervallposition für T_{MI_ZK}	207

1 Einleitung

1.1 Qualität als Erfolgsfaktor in der Produktionstechnik

Die Produktionstechnik hat für den Wohlstand in der Bundesrepublik Deutschland seit deren Gründung einen entscheidenden Beitrag geleistet. Hochwertige Produkte und Maschinen „Made in Germany“ finden ihre weltweite Anwendung seit vielen Jahrzehnten in nahezu jeder Branche (HERING ET AL. 2003). Die Bedeutung der Produktionstechnik für die Bundesrepublik Deutschland spiegelt sich auch in der Tatsache wider, dass der Anteil des produzierenden Gewerbes am Bruttoinlandsprodukt bei ca. 30 % liegt (RÄTH ET AL. 2014).

Trotz der im weltweiten Vergleich vorhandenen Wettbewerbsnachteile, wie hohe Lohnkosten und lange Urlaubszeiten, ist es den Unternehmen in Deutschland stets gelungen, weiterhin zu expandieren und den Absatz auch im Ausland kontinuierlich zu steigern (HERING ET AL. 2003). Im Jahr 2013 wurden 42,7 % des Bruttoinlandsprodukts durch den Export von Waren erwirtschaftet (BMWI 2013). Die Gründe für diesen hohen Anteil liegen zum einen in der hohen Innovationskraft deutscher Unternehmen, die es ermöglicht, dem Kunden auf seine Bedürfnisse zugeschnittene Produkte anzubieten. Zum anderen ist aber auch ein hoher Qualitätsstandard der hergestellten Produkte ein maßgeblicher Erfolgsfaktor. Es ist unbestritten, dass die Qualität heute eines der wichtigsten Kaufargumente sowohl beim Endverbraucher als auch in der Lieferbeziehung von Unternehmen ist. Dies gilt insbesondere dann, wenn ein Unternehmen im Wettbewerb mit weiteren Anbietern auf gesättigten Märkten tätig ist (MASING ET AL. 2007). Qualität rückt jedoch oft erst dann in den Fokus eines Unternehmens, wenn sie nicht mehr ausreichend ist, wie dies beispielsweise die mediale Präsenz von Rückrufaktionen in der Automobilindustrie verdeutlicht. Auch durch Organisationen wie Stiftung Warentest oder durch Bewertungsportale im Internet wird die Qualität von Produkten mit großer Breitenwirkung diskutiert. Es ist somit eine notwendige und kontinuierliche Aufgabe für Unternehmen, eine einwandfreie Qualität der Produkte sicherzustellen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit weiterhin zu sichern und das Risiko für Produkthaftungen zu minimieren (HERING ET AL. 2003, BAUER 2006). Primäres Ziel diesbezüglicher Anstrengungen sollte es immer sein, die Produktionsprozesse so weit zu optimieren, dass Qualität nicht am Ende der Wertschöpfungskette „erprüft“ werden muss, sondern durchgängig mit zuverlässigen Teilprozessen und geschultem Personal produziert wird (MALDAGUE ET AL. 2001). Trotz einer sorgfältigen Prozessauslegung kann mit diesem Ansatz jedoch

1 Einleitung

nicht gänzlich auf prozessintegrierte Prüfverfahren und abschließende Qualitätskontrollen verzichtet werden. Die Gründe hierfür liegen beispielsweise in störungssensitiven Teilprozessen einer Wertschöpfungskette, in einer hohen Sicherheitsrelevanz der Produkte oder einer Null-Fehler-Qualitätsphilosophie. Viele Unternehmen fordern von ihren Zulieferern mittlerweile Ausschusshöchstgrenzen, die durch reine Stichprobenprüfungen nicht mehr sinnvoll garantiert werden können (BAUER 2001).

Die fortlaufende Überwachung von Produktionsprozessen ist mit Hilfe der zerstörungsfreien Prüfung (zfP) möglich. Hierbei handelt es sich um prinzipiell rückwirkungsfreie Untersuchungen, die darauf beruhen, dass das Prüfobjekt einer spezifischen Anregung ausgesetzt und sein Antwortverhalten darauf untersucht wird (BUSSE 2008). Der wohl wichtigste Vorteil zerstörungsfreier Prüfverfahren ist die Möglichkeit, prinzipiell jedes Produkt zu 100 % hinsichtlich qualitätsrelevanter Kriterien zu überprüfen.

Dem finanziellen und technischen Aufwand zur Sicherstellung von Qualität durch Prüftechnologie und Prüfpersonal stehen zahlreiche Vorteile gegenüber, die beträchtlich zur Wirtschaftlichkeit der Produktionstechnik beitragen (IMKAMP ET AL. 2009, SCHMITT ET AL. 2009A). Durch die Vermeidung von Produktfehlern und die Minimierung von Gefährdungspotenzialen werden im Außenverhältnis eines Unternehmens die Kundenzufriedenheit und die Herstellerreputation gesichert. In der unternehmensinternen Sicht helfen zerstörungsfreie Prüfverfahren dabei, Produktionsprozesse zu überwachen und zu regeln, wodurch Herstellungskosten gesenkt werden und ein gleichbleibender Qualitätslevel gewahrt wird (IMKAMP ET AL. 2009). Die Substitution stichprobenartiger zerstörender Prüfungen durch zerstörungsfreie Inspektionsverfahren kann zudem Kosten und Ressourcen einsparen (MOZURKEWICH 2004, SIEMER 2010).

Aufgrund ihrer genannten Vorteile sind zerstörungsfreie Qualitätsprüfverfahren mittlerweile zu einem unverzichtbaren Bestandteil der Produktionstechnik geworden und leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Technologieführerschaft Deutschlands (VDI 2011, BAUER 2007, IMKAMP ET AL. 2009, BAUER 2001). Mittlerweile existieren eine Vielzahl von zerstörungsfreien Inspektions- und Prüftechnologien, die auf unterschiedlichen physikalischen Prinzipien basieren (BARBIAN 2007). Für viele produktionstechnische Prüfaufgaben ist insbesondere die Wärmefluss-Thermografie prädestiniert.

1.2 Herausforderungen für die Wärmefluss-Thermografie

Die Funktionsweise der Wärmefluss-Thermografie, im allgemeinen Sprachgebrauch und daher auch im Rahmen dieser Arbeit kurz als Thermografie bezeichnet, basiert auf der Wärmeanregung eines Prüfobjekts und der Erfassung des Oberflächentemperaturverhaltens mit Hilfe einer Infrarot-Kamera. Im Bauteil verborgene *Fehlstellen* und innenliegende Strukturen behindern die homogene Ausbreitung des induzierten Wärmeflusses und führen so zu charakteristischen Temperaturunterschieden auf der Oberfläche des Prüfobjekts. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Begriff *Fehlstelle* als lokal begrenzte, unerwünschte Unregelmäßigkeit im Prüfobjekt definiert, die es zu detektieren gilt.

Die Vorteile der Thermografie im Vergleich zu anderen zerstörungsfreien Prüfverfahren liegen in der berührungslosen Messung, der einfachen Visualisierung der Ergebnisse und einer hohen Prüfgeschwindigkeit bei oberflächennahen Fehlstellen (ULLMANN ET AL. 2010). Das Prüfverfahren arbeitet zudem mit Wärmestrahlung, die zu keinerlei Beeinträchtigung der Arbeitssicherheit führt. Nachteilig ist jedoch, dass das erzielbare Verhältnis zwischen Fehlstellengröße und deren Tiefenlage limitiert ist. Die realisierbare Prüfgeschwindigkeit verringert sich deutlich, wenn Fehlstellen in großer Tiefenlage bei geringer Wärmeleitfähigkeit des Basiswerkstoffsdetektiert werden sollen. Hochauflösende Infrarot-Kameras sind zudem immer noch mit hohen Investitionskosten verbunden.

Zerstörungsfreie Prüfverfahren wie die Thermografie müssen mit dem Fortschritt in der Produktionstechnik Schritt halten, um dort den Bedarf an prozessintegrierten Prüfverfahren decken zu können. Ein Beispiel für diesen Fortschritt ist die vermehrte Anwendung von Leichtbaustrukturen zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs im Mobilitätssektor, um Emissionen zu senken (DRECHSLER 2007, KOHN 2008, SCHMITT ET AL. 2009B). Dabei entstehen völlig neue Fahrzeugtypen mit hohen Leistungsdichten und hochkomplexen Karosseriestrukturen (DASCH 2008, ALLIN 2002). Die anforderungs- und belastungsspezifische Auswahl von Werkstoffen führt zu einer Vielzahl von Mischbauweisen, welche oftmals erst durch die Klebtechnologie (LUTZ ET AL. 2008, SCHLOTT 2009) oder die Faserverbundtechnologie realisierbar werden. Beide Technologien erfordern jedoch hochkomplexe Produktionsprozesse, die auf dem Weg zu einem fehlerfreien Produkt vielfältigen Einfluss- und Störgrößen unterliegen (SCHMITT ET AL. 2008B, HUNG ET AL. 2007, MICHALOUDAKI 2005, SCHMIDT ET AL. 2010). Sowohl die Rohteile und Halbzeuge als auch die Endprodukte erfordern daher eine durchgängige Qualitätssicherung (ULLMANN ET AL. 2010, ZÄH ET AL. 2004,

1 Einleitung

DOOBE 2009, GOLLING ET AL. 2008, MICHALOUDAKI 2005), insbesondere dann, wenn die Grenzen der Werkstoffe ausgereizt werden (KROHN 2002) und Sicherheitsaspekte im strukturellen Leichtbau eine wichtige Rolle spielen (CAWLEY 2006). Mit dem vermehrten Einsatz dieser neuartigen Materialien und Fügetechniken steigt somit auch der Bedarf an geeigneten zerstörungsfreien Qualitätsprüfverfahren (HSU 2008). Eine besondere Herausforderung stellen dabei große und komplexe Strukturen dar, die mittels zerstörungsfreier Prüfung untersucht werden müssen (MARTY ET AL. 2010, GEORGESON 2013).

Hinsichtlich der Integrationsfähigkeit der Thermografie in die Prozesskette einer Serienproduktion ist die Einhaltung der Taktzeit der entscheidende Faktor, wenn eine 100%-Kontrolle angestrebt wird. In vielen Fällen ist dies nur durch die Automatisierung von Inspektionsverfahren möglich, da hierdurch gegenüber einer manuellen Überwachung der Qualität Prüfdauer und Prüfkosten reduziert werden können (SIEMER 2010). Im Gegensatz zu rein manueller Prüftechnik, die aufgrund schwankender Konzentration und Ermüdung des Prüfpersonals grundsätzlich nicht alle Fehler identifizieren kann (BAUER 2001), können durch eine automatisierte Inspektion qualitätsrelevante Merkmale mit hoher Wiederholgenauigkeit schnell, präzise und objektiv erfasst werden (MALDAGUE 1993, BAUER 2007, MOZURKEWICH 2004, FRAUNHOFER ALLIANZ VISION 2006). Ein weiterer Vorteil ist die einfache Dokumentation der Prüfergebnisse und deren Analyse hinsichtlich Trends und Korrelationen (MOZURKEWICH 2004).

1.3 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel, das Einsatzspektrum der Thermografie als schnelles und zuverlässiges Qualitätsprüfverfahren in der Serienproduktion zu verbreitern. Dabei gilt es, die aktuell vorherrschenden Trends in der Produktionstechnik mit den daraus unmittelbar resultierenden Herausforderungen für die Qualitätsprüfung zu berücksichtigen, um dem steigenden Anspruch der Unternehmen und der Kunden nach höherer Produktqualität Rechnung tragen zu können. Die Zielsetzung zur Weiterentwicklung der Thermografie für den Einsatz in der Produktionstechnik lässt sich in *technologische, wirtschaftliche* und *methodische* Teilziele gliedern (Abbildung 1).

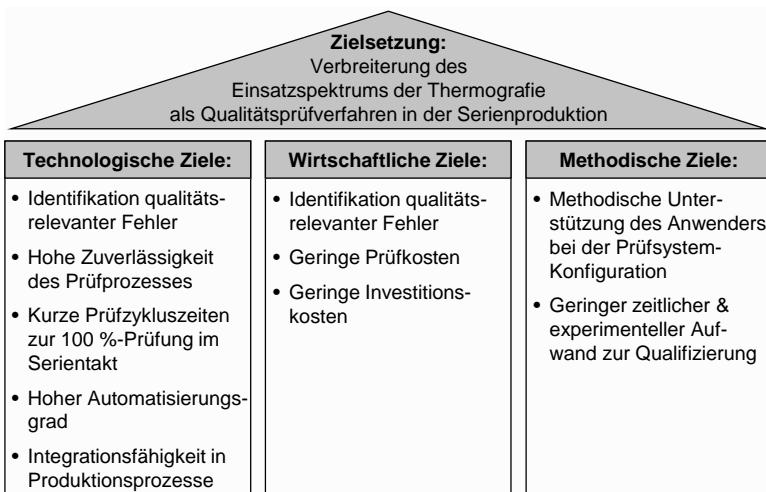


Abbildung 1: Zielsetzung der vorliegenden Arbeit mit Teilzielen

Das wichtigste technologische Ziel ist die prozesssichere Identifikation aller qualitätsrelevanten Fehlstellen eines Bauteils, damit eine bestmögliche Qualitäts-sicherung der gefertigten Produkte ohne zusätzlichen Prüfaufwand möglich ist. Um sich als Prüfverfahren in einer Serienfertigung zu qualifizieren, muss die Thermografie nicht nur unter Laborbedingungen erfolgreich sein, sondern auch unter industriellen Produktionsbedingungen zuverlässige und reproduzierbare Prüfergebnisse liefern (SALERNO ET AL. 1998, SCHMITT ET AL. 2008A). Da Bau-teile auf Basis der Klebtechnologie und der Faserverbundtechnologie größer und komplexer werden, wie beispielsweise im Karosseriebau der Automobilindustrie zu beobachten ist, gleichzeitig aber das Bestreben nach sinkenden Fertigungs-taktzeiten vorherrscht, sind geeignete Prüfstrategien notwendig, um große Flächen in kurzer Zeit thermografisch untersuchen zu können (VDI 2011). Die fort-schreitende Automatisierung in der Produktionstechnik erfordert als weitere Zielsetzung, auch für die Thermografie geeignete Automatisierungskonzepte zu erarbeiten, die mit wenig Prüfpersonal und damit geringen Personalkosten be-trieben werden können. Die thermografische Prüftechnologie sollte zudem so-wohl in bestehende als auch in neue Produktionslinien auf einfache Weise integ-rierbar sein (SCHMITT ET AL. 2008A, SCHMIDT ET AL. 2010, MOZURKEWICH 2004, ULLMANN ET AL. 2010, HASENBERG ET AL. 2003).

1 Einleitung

Neben der technologischen Eignung ist die Wirtschaftlichkeit ein wichtiges Entscheidungskriterium für den Einsatz der Thermografie in der Serienfertigung. Die zuverlässige Identifikation aller qualitätsrelevanten Fehlstellen ist dabei nicht nur ein technologisches, sondern auch ein wirtschaftliches Ziel, da hierdurch Fehlerfolgekosten durch Nacharbeit, durch Reklamationen und durch Kundenunzufriedenheit reduziert werden. Weiterhin sollten die laufenden Prüfpersonalkosten sowie die notwendigen Investitionskosten für ein thermografisches Prüfsystem gering sein.

Eine rein technologisch-wirtschaftliche Weiterentwicklung der Thermografie reicht als alleinige Voraussetzung für einen breiteren Einsatz in der Produktions-technik jedoch nicht aus. Vielmehr müssen dem Anwender und Planer von Produktionsanlagen geeignete Methoden und Vorgehensweisen zur Verfügung gestellt werden, die aufbauend auf der Machbarkeitsbewertung eines Anwendungsfalls auch eine Abschätzung des Realisierungsaufwands für ein industrielles Prüfsystem erlauben. Ziel der Arbeit ist es daher auch, ein strukturiertes Vorgehen für die Konzeption thermografischer Prüfsysteme zu erarbeiten, das bereits bei der Planung neuer Produktionsanlagen Berücksichtigung finden kann.

1.4 Gliederung der vorliegenden Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in sechs Kapitel, deren Inhalte in der nachfolgenden Abbildung 2 dargestellt sind.



Abbildung 2: Gliederung der vorliegenden Arbeit

Im einleitenden Kapitel 1 wurden die Bedeutung von Qualität in der Produktions-technik für den Wirtschaftsstandort Deutschland sowie die zukünftigen Heraus-

forderungen für den Einsatz der Thermografie in der Serienproduktion erläutert. Hierauf aufbauend wurden für die Thermografie als zerstörungsfreies Prüfverfahren allgemeingültige technologische, wirtschaftliche und methodische Ziele definiert, die erreicht werden müssen, um dieses Verfahren zukünftig noch häufiger in der Serienproduktion einsetzen zu können.

Im Kapitel 2 wird zunächst der Stand der Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet der Thermografie dokumentiert, um zu untersuchen, inwieweit das Prüfverfahren bereits heute die notwendigen Voraussetzungen zur Zielerreichung erfüllt. Hierzu werden zunächst die Funktionsweise der Thermografie, prüftechnische Varianten sowie thermografische Analysemethoden erläutert. Nach einem Überblick über thermografische Anwendungsfelder in der Produktionstechnik folgt die Erläuterung derzeit bekannter Automatisierungsansätze. In einem weiteren Abschnitt werden existierende methodische Ansätze zur Konzeption und Auswahl thermografischer Prüfsysteme dokumentiert. Eine Zusammenfassung aktueller Hemmnisse beim Einsatz der Thermografie in der Serienproduktion sowie der identifizierte Handlungsbedarf schließen das Kapitel 2 ab.

Unter Berücksichtigung der allgemeinen Zielsetzung wird in Kapitel 3 eine allgemeingültige Methode zur Konfiguration automatisierter thermografischer Prüfsysteme vorgestellt, die den zuvor identifizierten Handlungsbedarf abdeckt.

In den beiden Kapiteln 4 und 5 wird die entwickelte Methode anhand zweier Anwendungsfälle validiert. Im Fokus von Kapitel 4 steht dabei die thermografische Prüfung von eingeklebten Glaselementen in einem Fahrzeug-Dachmodul, bei der eine im Rahmen der Methode entwickelte Prüfstrategie zur Reduktion der Prüfzykluszeit evaluiert wird. Als zweites Anwendungsbeispiel wird in Kapitel 5 die Prüfung einer Kunststoffplatte hinsichtlich vorhandener Fehlstellen vorgestellt.

Den Abschluss der Arbeit bildet die Schlussbetrachtung in Kapitel 6, in der eine Zusammenfassung sowie ein Ausblick auf weitere Forschungsansätze gegeben werden.

- 119 Bauer, L.: Strategien zur rechnergestützten Offline- Programmierung von 3D-Laseranlagen
1999 - 98 Abb. - 145 Seiten - ISBN 3-540-65382-1
- 120 Pfob, E.: Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen
1999 - 69 Abb. - 154 Seiten - ISBN 3-540-65525-5
- 121 Spitznagel, J.: Erfahrungsgleitete Planung von Laseranlagen
1999 - 63 Abb. - 156 Seiten - ISBN 3-540-65896-3

Forschungsberichte IWB ab Band 122

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Forschungsberichte IWB ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utzverlag.de, www.utzverlag.de

- 122 Burghard Schneider: Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
183 Seiten - ISBN 978-3-89675-559-9
- 123 Bernd Goldstein: Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung
170 Seiten - ISBN 978-3-89675-546-9
- 124 Helmut E. Mößner: Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionsysteme
164 Seiten - ISBN 978-3-89675-585-8
- 125 Ralf-Gunter Gräser: Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern
167 Seiten - ISBN 978-3-89675-603-9
- 126 Hans-Jürgen Trossin: Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik
162 Seiten - ISBN 978-3-89675-614-5
- 127 Doris Kugelmann: Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern
168 Seiten - ISBN 978-3-89675-615-2
- 128 Rolf Diesch: Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
160 Seiten - ISBN 978-3-89675-618-3
- 129 Werner E. Lulay: Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Konstruktion teilautonomer Produktionsstrukturen
190 Seiten - ISBN 978-3-89675-620-6
- 130 Otto Murr: Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen
178 Seiten - ISBN 978-3-89675-636-7
- 131 Michael Macht: Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping
170 Seiten - ISBN 978-3-89675-638-1
- 132 Bruno H. Mehler: Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnerverbünden
152 Seiten - ISBN 978-3-89675-645-9
- 133 Knut Heitmann: Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle
146 Seiten - ISBN 978-3-89675-675-6
- 134 Stefan Blessing: Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen
160 Seiten - ISBN 978-3-89675-690-9
- 135 Can Abay: Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industrierkeramik
159 Seiten - ISBN 978-3-89675-697-8
- 136 Stefan Brandner: Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken
172 Seiten - ISBN 978-3-89675-715-9
- 137 Arnd G. Hirschberg: Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung
165 Seiten - ISBN 978-3-89675-729-6
- 138 Alexandra Reek: Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen
193 Seiten - ISBN 978-3-89675-730-2
- 139 Khalid-Alexander Sabbah: Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen
148 Seiten - ISBN 978-3-89675-739-5
- 140 Klaus U. Schilfenzbacher: Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken
187 Seiten - ISBN 978-3-89675-754-8
- 141 Andreas Sprengel: Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung
144 Seiten - ISBN 978-3-89675-757-9
- 142 Andreas Gallasch: Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion
150 Seiten - ISBN 978-3-89675-781-4
- 143 Ralf Cuiper: Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen
174 Seiten - ISBN 978-3-89675-783-8
- 144 Christian Schneider: Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion
180 Seiten - ISBN 978-3-89675-789-0
- 145 Christian Jonas: Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen
183 Seiten - ISBN 978-3-89675-870-5
- 146 Ulrich Willnecker: Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen
194 Seiten - ISBN 978-3-89675-891-0
- 147 Christof Lehrner: Beschreibung des Nd:YAG-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss
205 Seiten - ISBN 978-3-8316-0004-5
- 148 Frank Rick: Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen
145 Seiten - ISBN 978-3-8316-0008-3
- 149 Michael Höhn: Sensorgeführt Montage hybrider Mikrosysteme
185 Seiten - ISBN 978-3-8316-0012-0

- 150 *Jörn Böhl*: Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-0020-5
- 151 *Robert Bürgel*: Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben
185 Seiten · ISBN 978-3-8316-0212-2
- 152 *Stephan Dürrschmidt*: Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion
194 Seiten · ISBN 978-3-8316-0023-6
- 153 *Bernhard Eich*: Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung
136 Seiten · ISBN 978-3-8316-0028-1
- 154 *Wolfgang Ruderer*: Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke
207 Seiten · ISBN 978-3-8316-0037-3
- 155 *Hans Meier*: Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe
166 Seiten · ISBN 978-3-8316-0044-1
- 156 *Gerhard Nowak*: Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-0055-7
- 157 *Martin Werner*: Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen
191 Seiten · ISBN 978-3-8316-0058-8
- 158 *Bernhard Lenz*: Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahl schweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung
162 Seiten · ISBN 978-3-8316-0094-6
- 159 *Stefan Grunwald*: Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung
216 Seiten · ISBN 978-3-8316-0095-3
- 160 *Josef Gartner*: Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen
165 Seiten · ISBN 978-3-8316-0096-0
- 161 *Wolfgang Zeller*: Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0100-4
- 162 *Michael Löfer*: Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen
178 Seiten · ISBN 978-3-8316-0118-9
- 163 *Jörg Fähr*: Ganzheitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
176 Seiten · ISBN 978-3-8316-0124-0
- 164 *Jürgen Höppner*: Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsfester Schallwandler
144 Seiten · ISBN 978-3-8316-0125-7
- 165 *Hubert Götte*: Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
258 Seiten · ISBN 978-3-8316-0126-4
- 166 *Martin Weißenberger*: Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
210 Seiten · ISBN 978-3-8316-0138-7
- 167 *Dirk Jacob*: Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0142-4
- 168 *Ulrich Roßgoderer*: System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
175 Seiten · ISBN 978-3-8316-0154-7
- 169 *Robert Klingel*: Anziehverfahren für hochfeste Schraubenverbindungen auf Basis akustischer Emissionen
164 Seiten · ISBN 978-3-8316-0174-5
- 170 *Paul lens Peter Ross*: Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung
144 Seiten · ISBN 978-3-8316-0191-2
- 171 *Stefan von Praun*: Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess
252 Seiten · ISBN 978-3-8316-0202-5
- 172 *Florian von der Hagen*: Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen
220 Seiten · ISBN 978-3-8316-0208-7
- 173 *Oliver Kramer*: Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe
212 Seiten · ISBN 978-3-8316-0211-7
- 174 *Winfried Dohmen*: Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0214-8
- 175 *Oliver Anton*: Ein Beitrag zur Entwicklung telepräsentier Montagesysteme
158 Seiten · ISBN 978-3-8316-0215-5
- 176 *Wolf Broser*: Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-0217-9
- 177 *Frank Breitinger*: Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen
156 Seiten · ISBN 978-3-8316-0227-8
- 178 *Johann von Pieverling*: Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling
163 Seiten · ISBN 978-3-8316-0230-8
- 179 *Thomas Baudisch*: Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-0249-0
- 180 *Heinrich Schieferstein*: Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems
132 Seiten · ISBN 978-3-8316-0251-3
- 181 *Joachim Berkak*: Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungs systemen
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-0258-2
- 182 *Christian Meierlohr*: Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung
181 Seiten · ISBN 978-3-8316-0292-6
- 183 *Volker Weber*: Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzorientierten Unternehmensnetzwerken
230 Seiten · ISBN 978-3-8316-0330-5
- 184 *Thomas Bongardt*: Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern
170 Seiten · ISBN 978-3-8316-0332-9
- 185 *Tim Angerer*: Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0336-7
- 186 *Alexander Krüger*: Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme
197 Seiten · ISBN 978-3-8316-0371-8
- 187 *Matthias Meinrl*: Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing
236 Seiten · ISBN 978-3-8316-0465-4
- 188 *Thomas Fusch*: Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie
190 Seiten · ISBN 978-3-8316-0467-8
- 189 *Thomas Mosandl*: Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme
182 Seiten · ISBN 978-3-8316-0471-5
- 190 *Christian Patron*: Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0474-6
- 191 *Robert Cisek*: Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionsystemen
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0475-3

- 192 *Florian Auer*: Methode zur Simulation des Laserstrahlenschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen
160 Seiten · ISBN 978-3-8316-0485-2
- 193 *Carsten Selke*: Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung
137 Seiten · ISBN 978-3-8316-0495-1
- 194 *Markus Seefried*: Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten Metall-Lasersintern
216 Seiten · ISBN 978-3-8316-0503-3
- 195 *Wolfgang Wagner*: Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostenenkung bei marktnaher Produktion
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-0586-6
- 196 *Christopher Ulrich*: Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0590-3
- 197 *Johann Härtl*: Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern
148 Seiten · ISBN 978-3-8316-0611-5
- 198 *Bernd Hartmann*: Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge
208 Seiten · ISBN 978-3-8316-0615-3
- 199 *Michael Schilp*: Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0631-3
- 200 *Florian Manfred Grätz*: Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0643-6
- 201 *Dieter Eireiner*: Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding
214 Seiten · ISBN 978-3-8316-0650-4
- 202 *Gerhard Volkwein*: Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation
192 Seiten · ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 *Sven Rooren*: Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse
224 Seiten · ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 *Henning Rudolf*: Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 *Stella Clarke-Griebisch*: Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 *Michael Ehrenstraßer*: Sensorsreinsatz in der telepräsenten Mikromontage
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0743-3
- 207 *Rainer Schack*: Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 *Wolfgang Sudhoff*: Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion
300 Seiten · ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 *Stefan Müller*: Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 *Ulrich Kohler*: Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme
246 Seiten · ISBN 978-3-8316-0753-2
- 211 *Klaus Schlickerrieder*: Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 *Niklas Möller*: Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionsysteme
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 *Daniel Siedl*: Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrerbewegungen
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 *Dirk Ansorge*: Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiraumen
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0785-3
- 215 *Georg Wünsch*: Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme
238 Seiten · ISBN 978-3-8316-0795-2
- 216 *Thomas Oerli*: Strukturmechanische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieben
194 Seiten · ISBN 978-3-8316-0798-3
- 217 *Bernd Petzold*: Entwicklung eines Operatorarbeitsplatzes für die telepräsente Mikromontage
234 Seiten · ISBN 978-3-8316-0805-8
- 218 *Loucas Papadakis*: Simulation of the Structural Effects of Welded Frame Assemblies in Manufacturing Process Chains
260 Seiten · ISBN 978-3-8316-0813-3
- 219 *Mathias Mörl*: Ressourcenplanung in der variantenreichen Fertigung
228 Seiten · ISBN 978-3-8316-0820-1
- 220 *Sebastian Weig*: Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten
252 Seiten · ISBN 978-3-8316-0823-2
- 221 *Tobias Hornfeck*: Laserstrahlbiegen komplexer Aluminiumstrukturen für Anwendungen in der Luftfahrtindustrie
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-0826-3
- 222 *Hans Egermeier*: Entwicklung eines Virtual-Reality-Systems für die Montagesimulation mit kraftrückkoppelnden Handschuhen
230 Seiten · ISBN 978-3-8316-0833-1
- 223 *Matthäus Sigl*: Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlsinterns
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-0841-6
- 224 *Mark Harfenersteller*: Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets
198 Seiten · ISBN 978-3-8316-0849-2
- 225 *Jochen Werner*: Methode zur roboterbasierten förderbandsynchronen Fließmontage am Beispiel der Automobilindustrie
210 Seiten · ISBN 978-3-8316-0857-7
- 226 *Florian Hagemann*: Ein formflexibles Werkzeug für das Rapid Tooling beim Spritzgießen
244 Seiten · ISBN 978-3-8316-0861-4
- 227 *Haitham Rashidy*: Knowledge-based quality control in manufacturing processes with application to the automotive industry
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0862-1
- 228 *Wolfgang Vogl*: Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung von Industrierobotern
248 Seiten · ISBN 978-3-8316-0869-0
- 229 *Sonja Schedl*: Integration von Anforderungsmanagement in den mechatronischen Entwicklungsprozess
176 Seiten · ISBN 978-3-8316-0874-4
- 230 *Andreas Trautmann*: Bifocal Hybrid Laser Welding - A Technology for Welding of Aluminium and Zinc-Coated Steels
314 Seiten · ISBN 978-3-8316-0876-8
- 231 *Patrick Neise*: Managing Quality and Delivery Reliability of Suppliers by Using Incentives and Simulation Models
226 Seiten · ISBN 978-3-8316-0878-2
- 232 *Christian Habicht*: Einsatz und Auslegung zeitfensterbasierter Planungssysteme in überbetrieblichen Wertschöpfungsketten
204 Seiten · ISBN 978-3-8316-0891-1
- 233 *Michael Spitzweg*: Methoden und Konzept für den Einsatz eines physikalischen Modells in der Entwicklung von Produktionsanlagen
180 Seiten · ISBN 978-3-8316-0931-4

- 234 *Ulrich Munzert*: Bahnplanungsalgorithmen für das robotergestützte Remote-Laserstrahlschweißen
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0948-2
- 235 *Georg Völlner*: Röhrengeschweißen mit Schwerlast-Industrierobotern
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-0955-0
- 236 *Nils Müller*: Modell für die Beherrschung und Reduktion von Nachfrageschwankungen
286 Seiten - ISBN 978-3-8316-0992-5
- 237 *Franz Decker*: Unternehmensspezifische Strukturierung der Produktion als permanente Aufgabe
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0996-3
- 238 *Christian Lau*: Methodik für eine selbstoptimierende Produktionssteuerung
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-4012-6
- 239 *Christoph Rimpau*: Wissensbasierte Risikobewertung in der Angebotskalkulation für hochgradig individualisierte Produkte
268 Seiten - ISBN 978-3-8316-4015-5
- 240 *Michael Loy*: Modularer Vibrationswendelförderer zur flexiblen Teilezuführung
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-4027-0
- 241 *Andreas Ersch*: Konzept eines immersiven Assistenzsystems mit Augmented Reality zur Unterstützung manueller Aktivitäten in radioaktiven Produktionsumgebungen
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-4029-4
- 242 *Florian Schwarz*: Simulation der Wechselwirkungen zwischen Prozess und Struktur bei der Drehbearbeitung
282 Seiten - ISBN 978-3-8316-4030-0
- 243 *Martin Georg Prasch*: Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die varianterneiche Serienmontage
261 Seiten - ISBN 978-3-8316-4031-1
- 244 *Johannes Schipf*: Adaptive Montagesysteme für hybride Mikrosysteme unter Einsatz von Telepräsenz
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4063-8
- 245 *Stefan Lutzmann*: Beitrag zur Prozessbeherrschung des Elektronenstrahl schmelzens
242 Seiten - ISBN 978-3-8316-4070-6
- 246 *Gregor Branner*: Modellierung transienter Effekte in der Struktursimulation von Schichtbauverfahren
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-4071-3
- 247 *Josef Ludwig Zimmermann*: Eine Methodik zur Gestaltung berührungsloser arbeitender Handhabungssysteme
186 Seiten - ISBN 978-3-8316-4091-1
- 248 *Clemens Pörnbacher*: Modellgetriebene Entwicklung der Steuerungsoftware automatisierter Fertigungssysteme
280 Seiten - ISBN 978-3-8316-4108-6
- 249 *Alexander Lindworsky*: Teilautomatische Generierung von Simulationsmodellen für den entwicklungs begleitenden Steuerungstest
294 Seiten - ISBN 978-3-8316-4125-3
- 250 *Michael Mauderer*: Ein Beitrag zur Planung und Entwicklung von rekonfigurierbaren mechatronischen Systemen – am Beispiel von starren Fertigungssystemen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4126-0
- 251 *Roland Mork*: Qualitätsbewertung und -regelung für die Fertigung von Karosserie teilen in Presswerkten auf Basis Neuronaler Netze
228 Seiten - ISBN 978-3-8316-4127-7
- 252 *Florian Reichl*: Methode zum Management der Kooperation von Fabrik- und Technologieplanung
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-4128-4
- 253 *Paul Gebhard*: Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen bei Anwendung für das Röhrengeschweißen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4129-1
- 254 *Michael Heinz*: Modellunterstützte Auslegung berührungsloser Ultraschallgrefsysteme für die Mikrosystemtechnik
302 Seiten - ISBN 978-3-8316-4147-5
- 255 *Pascal Krebs*: Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-4156-7
- 256 *Gerhard Straßer*: Greiftechnologie für die automatisierte Handhabung von technischen Textilien in der Faserverbundfertigung
290 Seiten - ISBN 978-3-8316-4161-1
- 257 *Frédéric-Felix Lacur*: Modellbildung für die physikbasierte Virtuelle Inbetriebnahme materialflussintensiver Produktionsanlagen
222 Seiten - ISBN 978-3-8316-4162-8
- 258 *Thomas Hense*: Modellbasierter Entwicklungsprozess für Automatisierungslösungen
184 Seiten - ISBN 978-3-8316-4167-3
- 259 *Sherif Zaidan*: A Work-Piece Based Approach for Programming Cooperating Industrial Robots
212 Seiten - ISBN 978-3-8316-4175-8
- 260 *Hendrik Schellmann*: Bewertung kundenspezifischer Mengenflexibilität im Wertschöpfungsnetz
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-4189-5
- 261 *Marwan Radj*: Workspace scaling and haptic feedback for industrial telepresence and teleaction systems with heavy-duty teleoperators
172 Seiten - ISBN 978-3-8316-4195-6
- 262 *Markus Rührstorfer*: Röhrengeschweißen von Rohren
206 Seiten - ISBN 978-3-8316-4197-0
- 263 *Rüdiger Daub*: Erhöhung der Nahttiefe beim Laserstrahl-Wärmeleitungsschweißen von Stählen
182 Seiten - ISBN 978-3-8316-4199-4
- 264 *Michael Ott*: Multimaterialverarbeitung bei der additiven strahl- und pulververbettbasierte Fertigung
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4201-4
- 265 *Martin Ostgathe*: System zur produktbasierten Steuerung von Abläufen in der auftragsbezogenen Fertigung und Montage
278 Seiten - ISBN 978-3-8316-4206-9
- 266 *Imke Nora Kellner*: Materialsysteme für das pulververbettbasierte 3D-Drucken
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-4223-6
- 267 *Florian Oefele*: Remote-Laserstrahlschweißen mit brillanten Laserstrahlquellen
238 Seiten - ISBN 978-3-8316-4224-3
- 268 *Claudia Anna Ehinger*: Automatisierte Montage von Faser verbund-Vorformlingen
252 Seiten - ISBN 978-3-8316-4233-5
- 269 *Tobias Zeilinger*: Laserbasierte Bauteillagebestimmung bei der Montage optischer Mikrokomponenten
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4234-2
- 270 *Stefan Krug*: Automatische Konfiguration von Robotersystemen (Plug&Produce)
208 Seiten - ISBN 978-3-8316-4243-4
- 271 *Marc Lotz*: Erhöhung der Fertigungsgenauigkeit beim Schwungrad-Reibscheiben durch modellbasierte Regelungsverfahren
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4245-8
- 272 *William Brice Tekouo Moutchivo*: A New Programming Approach for Robot-based Flexible Inspection systems
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4247-2
- 273 *Matthias Waibel*: Aktive Zusatzsysteme zur Schwingungsreduktion an Werkzeugmaschinen
158 Seiten - ISBN 978-3-8316-4250-2
- 274 *Christian Escher*: Maschinenspezifische Erhöhung der Prozessfähigkeit in der additiven Fertigung
216 Seiten - ISBN 978-3-8316-4270-0
- 275 *Florian Aull*: Modell zur Ableitung effizienter Implementierungsstrategien für Lean-Production-Methoden
270 Seiten - ISBN 978-3-8316-4283-0
- 276 *Marcus Henauer*: Entwicklungsbegleitende Prognose der mechatronischen Eigenschaften von Werkzeugmaschinen
214 Seiten - ISBN 978-3-8316-4306-6

- 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 Workerführung
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 Groß*: 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 Röscher*: 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 Fliegmontage
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 Strahloscillation
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
Ganzheitliche Produktionssysteme
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 thermoelastischen 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