

Alexander Götzfried

**Analyse und Vergleich fertigungstechnischer
Prozessketten für Flugzeugtriebwerks-Rotoren**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 277

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2013

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 · 2013

ISBN 978-3-8316-4310-3

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.....	ix
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation der Arbeit	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Flugzeugtriebwerks-Rotoren	4
1.3.1 Prinzipieller Aufbau von Flugzeugtriebwerken	4
1.3.2 Konventionelle Bauweise von Rotoren	5
1.3.3 Bliskbauweise von Rotoren	6
1.4 Vorgehensweise	10
2 Stand der Wissenschaft und Technik	13
2.1 Allgemeines	13
2.2 Fertigungstechnische Prozessketten	13
2.2.1 Begriffsdefinition.....	13
2.2.2 Erstellung fertigungstechnischer Prozessketten	18
2.2.3 Strukturierung fertigungstechnischer Prozessketten	20
2.2.4 Strukturmaßnahmen zur Anpassung fertigungstechnischer Prozessketten	22
2.3 Grundlagen qualitätsrelevanter Aspekte.....	24
2.3.1 Qualität und Qualitätsmanagement	24

2.3.2	Produkt- und Prozessqualität	27
2.3.3	Toleranzmanagement	29
2.3.4	Qualitätsplanung mittels der FMEA.....	35
2.4	Grundlagen wirtschaftlicher Aspekte.....	37
2.4.1	Allgemeines	37
2.4.2	Kostenrechnung	38
2.4.3	Bestimmung von Materialkosten.....	43
2.4.4	Bestimmung von Platzkosten	44
2.5	Grundlagen des Variantenmanagements	49
2.6	Die aktuellen Ansätze zur Prozesskettenbetrachtung.....	51
2.6.1	Kostenorientierte Ansätze	51
2.6.2	Qualitätsorientierte Ansätze	54
2.6.3	Thematisch übergreifende Ansätze	56
2.7	Ableitung des Handlungsbedarfs.....	59
3	Methodik zur Prozesskettenbetrachtung für den Flugzeugtriebwerks-Bau	63
3.1	Allgemeines	63
3.2	Definition des Betrachtungsraumes.....	63
3.3	Struktur der Methodik	65
3.4	Datenmanagement der Prozesskettenbetrachtung.....	68
3.4.1	Allgemeines	68
3.4.2	Datenquellen.....	68
3.4.3	Datenabbildung.....	71
3.4.4	Strukturierung von Prozessketten.....	72
3.5	Zusammenfassung	74

4	Methode zur Betrachtung qualitätsrelevanter Aspekte	77
4.1	Allgemeines	77
4.2	Toleranzmanagement für Prozessketten	77
4.2.1	Vorgehensweise	77
4.2.2	Adaption eines bekannten Toleranzsystems.....	78
4.2.3	Aufbau eines neuen Toleranzsystems.....	79
4.2.4	Abgleich von Toleranzen und Abweichungen auf Prozessebene.....	82
4.3	Beschreibung von Fehlerpotenzialen.....	85
4.3.1	Vorgehensweise	85
4.3.2	Bestimmung und Auswahl potenziell kritischer Prozesse.....	86
4.3.3	Ermittlung möglicher Fehler.....	87
4.3.4	Bestimmung der Fehlerauswirkungen	87
4.3.5	Bestimmung der Fehlerursachen	87
4.3.6	Bestimmung des Fehlerpotenzials	88
4.3.7	Ableitung von Maßnahmen	89
4.3.8	Aggregation	90
4.4	Zusammenfassung	90
5	Methode zur Betrachtung wirtschaftlicher Aspekte.....	93
5.1	Allgemeines	93
5.2	Rohteilkosten	94
5.2.1	Bedeutung der Rohteilkosten.....	94
5.2.2	Kosten für Materialeinsatz.....	95
5.2.3	Wertschöpfung beim Urformen.....	97
5.3	Platzkosten.....	97

5.3.1	Allgemeines	97
5.3.2	Einflussgrößen der Platzkosten	98
5.3.3	Maschinenkosten	103
5.3.4	Personalkosten.....	103
5.3.5	Rüstkosten	104
5.4	Zusammenfassung	105
6	Methode zur Betrachtung von Rotorvarianten	107
6.1	Allgemeines	107
6.2	Betrachtung von Prozesskettenvarianten.....	107
6.3	Variantenbetrachtung mittels Skalierungsgrößen	109
6.3.1	Vorgehensweise.....	109
6.3.2	Definition von Skalierungsgrößen.....	110
6.3.3	Überführung in fertigungstechnisch relevante Parameter	112
6.3.4	Beschreibung der Rotorveränderungen mittels Skalierungsgrößen	113
6.3.5	Beschreibung der Einflussgrößen der Fertigungsprozesse mittels Skalierungsgrößen	114
6.3.6	Abgleich anhand der Skalierungsgrößen.....	115
6.3.7	Quantifizierung durch Kostenwachstumsgesetze.....	116
6.4	Zusammenfassung	120
7	Validierung der Methodik am Beispiel einer gefügten Turbinenblisk	121
7.1	Allgemeines	121
7.2	Betrachtungsgegenstand <i>Turbinenblisk</i>	121
7.3	Alternative Prozessketten	123

7.4	Betrachtung qualitätsrelevanter Aspekte	125
7.4.1	Toleranzmanagement.....	125
7.4.2	Fehlerpotenziale.....	127
7.5	Betrachtung wirtschaftlicher Aspekte	129
7.6	Betrachtung von Rotorvarianten.....	133
7.7	Fazit des Anwendungsbeispiels.....	135
8	Schlussbetrachtung.....	137
8.1	Nutzen der Methodik	137
8.1.1	Allgemeines	137
8.1.2	Reduzierung des Entwicklungsaufwandes	138
8.1.3	Vermeidung unternehmerischer Risiken	139
8.2	Zusammenfassung der Arbeit	139
8.3	Ausblick auf weitere wissenschaftliche Arbeiten.....	142
9	Literaturverzeichnis	145
10	Anhang – Datenbasis für das Anwendungsbeispiel <i>gefügte Turbinenblik</i>	161
10.1	Prozesskette für den konventionellen Rotor	161
10.2	Prozesskette für die direkte Turbinenblik	162
10.3	Prozesskette für die indirekte Turbinenblik	163
10.4	Daten für die Fehlerpotenzialbetrachtung	164
10.5	Daten für die Berechnung der Rohteilkosten	167
10.6	Prozessdaten für die Referenzanwendung	168
10.7	Daten für die Variantenbetrachtung	173

1 Einleitung

1.1 Motivation der Arbeit

„In einer Zeit der globalen Vernetzung sind Industrie und Handel mehr denn je auf schnelle Flugverbindungen zwischen Ländern und Kontinenten angewiesen“ (DFS 2008). Langfristig ist deshalb davon auszugehen, dass der Luftverkehr auf globaler Ebene deutlich zunimmt (DFS 2008). Nach einem Rückgang des weltweiten Passagier- und Frachtgeschäftes durch die Auswirkungen der Wirtschaftskrise im Jahr 2009 konnte ein erhebliches Wachstum, vor allem in Asien, aber auch in Europa verzeichnet werden. In Deutschland wurden im Jahr 2010 neue Höchststände in Bezug auf die Anzahl der Passagiere und die Menge der Luftfracht verzeichnet (DFS 2011). Die Luftfahrt ist „eine Wachstumsbranche und hat somit eine Schlüsselfunktion für ein gesundes Wirtschaftswachstum“ (LBA 2009). Dies lässt sich beispielsweise durch ihren Beitrag zur globalen Mobilität, die Schaffung von Arbeitsplätzen für hochqualifiziertes Personal und den Hochtechnologiecharakter begründen (EUROPEAN COMMISSION 2011).

Dennoch stellt sich die aktuelle Marktsituation für Luftfahrtunternehmen schwierig dar. Ein Zivilflugzeug soll sicher, sauber und bezahlbar sein (YAKINTHOS ET AL. 2007). Darüber hinaus sind auch in dieser Branche „erfolgreiche Produkte (...) eine wichtige Voraussetzung für eine prosperierende Wirtschaft“ (LINDEMANN 2009). Insbesondere der Umweltschutz tritt immer mehr in den Vordergrund und bildet einen zentralen Aspekt bei der Entwicklung neuer Luftfahrzeuge (EUROPEAN COMMISSION 2011). So sollen im Vergleich zum Jahr 2000 bis 2050 durch neue Technologien die CO₂-Emissionen eines Flugzeugs um 75 % und die NO_x-Emissionen um 90 % pro beförderten Passagier und geflogenem Kilometer reduziert werden (EUROPEAN COMMISSION 2011). Über den ökologischen Aspekt hinaus sind Fluggesellschaften zudem mit steigenden Treibstoffpreisen und wachsendem Konkurrenzdruck konfrontiert, wodurch die Forderung nach effizienten Flugzeugen gestärkt wird (LBA 2009). Künftig sollen deshalb durch die Realisierung neuer Technologien Flugzeuge ökonomischer, ökologischer und sicherer werden. Um dies zu erreichen, steht dabei z. B. der Leichtbau durch den Einsatz von Verbundwerkstoffen und nietenfreien Strukturen im Fokus. Zukünftige Flugzeugtriebwerke sollen im Vergleich zu heutigen zuverlässiger sein und dabei geringere Betriebskosten sowie deutlich weniger Emissionen verursachen (WELLS ET AL. 2001). Zukunftsweisende Technologien hierfür sind unter anderem komplexe Schaufelgeometrien und neuartige Rotoren mit integralen Schau-

1 Einleitung

feln, sogenannte Blisks (Blade integrated disks; femininum, da im Deutschen „Scheibe“) (ABELE & REINHART 2011). Aufgabenstellungen ergeben sich aus der Entwicklung solcher ressourceneffizienter Produkte, der anwendungsorientierten Gestaltung von Methoden und Werkzeugen sowie der Forderung nach deren Skalierbarkeit. Hinzu kommt allgemein die zunehmende Individualisierung von Kundenwünschen, ein Trend, der für zahlreiche Neuentwicklungen verantwortlich ist (ZÄH 2003). Daraus ergeben sich auch Forschungsbedarfe im Hinblick auf die Herstellung ressourceneffizienter Produkte. Dabei sind insbesondere die Formgebung und Funktionseinstellung in kombinierten Prozessen, Fertigungskonzepte für Leichtbauprodukte, das Lebenszyklusdesign und die technologieübergreifende Prozesskettengestaltung hervorzuheben (ABELE & REINHART 2011). Letztere ist von „wesentlicher Bedeutung für die Beherrschung der wirtschaftlichen und zugleich ökologischen Fertigung multifunktionaler, ressourceneffizienter Produkte“ (ABELE & REINHART 2011).

Insgesamt ist festzuhalten, dass großer Bedarf an der Verbesserung der Ressourceneffizienz von Flugzeugen besteht. Ein großes Potenzial bieten dabei innovative Triebwerkstechnologien wie z. B. neuartige Rotorkonzepte. Um diese realisieren zu können, ist neben der Produktentwicklung selbst die Gestaltung geeigneter Prozessketten zu deren Herstellung notwendig. Dadurch werden die Sicherstellung der Qualität der Produkte und gleichzeitig eine wirtschaftliche Fertigung unterstützt. Die vorliegende Arbeit greift dies auf und gibt eine methodische Hilfestellung vor dem Hintergrund der im nächsten Abschnitt aufgezeigten Zielsetzung.

1.2 Zielsetzung

In diesem Abschnitt wird die Zielsetzung zur Prozesskettenbetrachtung von Rotoren im Triebwerksbau definiert. Die hierfür notwendige Methodik ist dabei als planmäßiges Vorgehen zu verstehen, das sich aus einer Anzahl verschiedener Methoden bzw. Hilfsmittel zusammensetzt und diese zur Erreichung der Aufgabenstellung in geeigneter Weise kombiniert (PAHL 2005). Im Rahmen dieser Arbeit sollen folgende Anforderungen erfüllt werden:

- **Priorisierung:** Die Ergebnisse der Methodik sollen einen direkten Vergleich von Fertigungsalternativen ermöglichen. Im Hinblick auf den ganzheitlichen Charakter sind hierfür die gesamten Prozessketten als Vergleichsobjekte heranzuziehen.

- **Integration:** Die Methodik soll vornehmlich für die Anwendung im Rahmen einer Produktentwicklung ausgelegt und in diese eingebunden werden. Es soll jedoch auch der serienbegleitende Einsatz der Methodik insgesamt oder in Teilen möglich sein.
- **Datenmanagement:** Die Prozesskettenbetrachtung für Rotoren von Flugzeugtriebwerken erfordert die Ermittlung, Verarbeitung und Abbildung einer Vielzahl von Daten. Die Methodik soll mögliche Informationsquellen und deren Verwendung aufzeigen, um fundierte Ergebnisse zu erreichen.

Über diese Teilziele hinaus sind bezüglich der inhaltlichen Fokussierung der Prozesskettenbetrachtung unterschiedliche Randbedingungen zu beachten:

- **Wirtschaftliche Aspekte:** Die Methodik soll wirtschaftlich relevante Größen innerhalb der Produktherstellung berücksichtigen und über die gesamte fertigungstechnische Prozesskette hinweg abbilden können.
- **Qualitätsrelevante Aspekte:** Die Methodik soll die Einflüsse der Gestaltung der fertigungstechnischen Prozesskette auf die Rotorqualität darstellen. Dies beinhaltet sowohl die Ableitung von Anpassungsmöglichkeiten der Prozesskette an die Anforderungen im Hinblick auf die Maßhaltigkeit als auch die Betrachtung prozessbedingter Quellen für Qualitätsmängel am Rotor.
- **Integration von Rotorvarianten:** Die Methodik soll die Abhängigkeit qualitätsrelevanter und wirtschaftlicher Aspekte vom Betrachtungsgegenstand abbilden können, d. h. es soll ermöglicht werden, die Ergebnisse für die Herstellung verschiedener Rotorvarianten zu vergleichen.

Insgesamt stellen die für eine Referenzanwendung sowie mögliche Rotorvarianten parallel zu betrachtenden Aspekte *Qualität* und *Kosten* die inhaltliche Fokussierung dar. Das hierfür notwendige Datenmanagement ist bereitzustellen und die Methodik in den Produktentwicklungsprozess einzubinden. Dadurch soll eine frühzeitige Priorisierung von Fertigungsalternativen ermöglicht werden.

Bevor die im Rahmen dieser Arbeit angewendete Vorgehensweise zur Erreichung der genannten Ziele aufgezeigt wird, stellt der nachfolgende Abschnitt den Rotor als Komponente eines Flugzeugtriebwerkes, seine Bauweisen sowie die für die Produktion benötigten Fertigungsverfahren vor, um zu verdeutlichen, wie unterschiedlich die Prozessketten möglicher Fertigungsalternativen sein können.

1.3 Flugzeugtriebwerks-Rotoren

1.3.1 Prinzipieller Aufbau von Flugzeugtriebwerken

Als *Flugzeugtriebwerke* im Rahmen dieser Arbeit sind luftatmende Triebwerke zu verstehen, die einen Verdichter und eine Turbine besitzen. Dies können sowohl Turbostrahl- als auch Wellenleistungstriebwerke sein. Erstere erzeugen ihren Schub ausschließlich „durch die aerothermodynamische Beschleunigung des sie durchströmenden Gases“, letztere übertragen die Leistung auf eine Welle, um den Antrieb von z. B. Hubschrauberrotoren, Propellern oder Generatoren zu ermöglichen (BRÄUNLING 2009). Beide zeichnen sich dadurch aus, dass der Druck der einströmenden Luft nicht nur durch den Staudruck entsteht, sondern durch einen oder mehrere *Rotationsverdichter* erhöht wird, bevor die Entzündung zusammen mit Kraftstoff in der Brennkammer erfolgt. Der Antrieb eines Rotationsverdichters wird durch eine *Turbine* realisiert, die nach der Brennkammer angeordnet und über eine Welle mit dem Verdichter verbunden ist. Zur Erhöhung der Effizienz werden in modernen Triebwerken, wie Abbildung 1 zeigt, mehrere Verdichter und Turbinen auf unterschiedlichen Druckniveaus eingesetzt (Nieder-, Mittel- und Hochdruckteil).

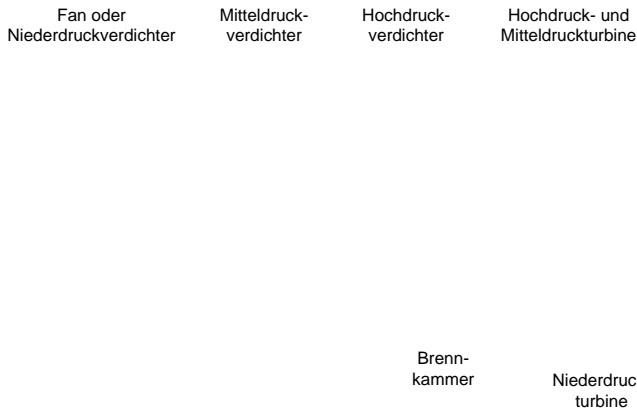


Abbildung 1: *Prinzipieller Aufbau eines Mehrwellen-Turbofan-Triebwerks mit Nieder-, Mittel- und Hochdruckteil (BRÄUNLING 2009)*

Die einzelnen Verdichter und Turbinen wiederum können aus einer oder auch mehrerer *Stufen* aufgebaut sein, wobei eine Stufe immer aus einem *Stator* und einem *Rotor* besteht. Der *Stator* (auch *Leitrad* genannt) besitzt Schaufeln, die mit dem feststehenden Gehäuse verbunden sind. So wird die Luft gezielt auf die Schaufeln des nachfolgenden *Rotors* (auch *Lauftrad* genannt) geleitet, der über eine Scheibe mit der Welle des Triebwerks verbunden ist.

Die Herstellung der durch thermische und mechanische Belastungen hoch beanspruchten Triebwerks-Rotoren ist eine schwierige Fertigungsaufgabe. Prinzipiell existieren zwei Bauweisen, die sich in der Art der Kraftübertragung zwischen der Scheibe und den Schaufeln unterscheiden. Beim *konventionellen Rotor* erfolgt sie form- und kraftschlüssig, bei einer *Blisk* stoffschlüssig. Im Folgenden werden beide Bauweisen sowie die für ihre Produktion eingesetzten Fertigungsverfahren erläutert.

1.3.2 Konventionelle Bauweise von Rotoren

Rotoren in *konventioneller Bauweise* bestehen aus mehreren Bauteilen, die einzeln hergestellt und am Ende einer Prozesskette in einem Montageschritt zusammengesetzt werden. Die Kraftübertragung zwischen den Schaufeln und der Scheibe erfolgt form- und kraftschlüssig über die sogenannten Tannenbaumprofile (Abbildung 2).

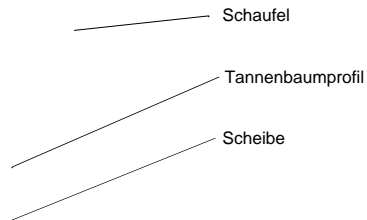


Abbildung 2: Verbindung zwischen den Schaufeln und der Scheibe bei einem konventionellen Rotor (BRÄUNLING 2009)

Zur Herstellung der Profile kommen unterschiedliche Fertigungsverfahren zum Einsatz. So werden die Schaufelfüße mittels *Profilschleifen* bearbeitet. In diesem Prozess werden Schleifscheiben mit dem negativen Profil der herzustellenden Kontur eingesetzt, um die gewünschte Formgebung zu erreichen. Aufgrund der geometrischen Komplexität sind dabei stets mehrere Prozessschritte notwendig, um die Endkontur des Schaufelfußes aus dem Rohteil zu fertigen. Auf Scheibenseite werden die Konturen als Nuten mittels *Räumen* eingebracht. Dabei wird mit dem entsprechenden formgebenden Werkzeug jede Nut einzeln hergestellt, wobei mit dem Vor- und dem Nachräumen zwei Prozessschritte notwendig sind, um die Toleranzanforderungen zu erfüllen (ADAM 1998).

Charakteristisch für die konventionelle Bauweise ist, dass die formschlüssige Verbindung über die Tannenbaumprofile mit Spiel ausgeführt wird, sodass die Schaufeln nicht starr mit der Scheibe verbunden sind. Dadurch können sie sich durch die Fliehkraft im Betrieb radial ausrichten und die Belastung der Schaufelfüße durch Biegemomente bleibt gering (BRÄUNLING 2009). Eine feste Schaufelverbindung lässt dies nicht zu, was ein Grund für höhere Toleranzanforderungen bzgl. der Schaufelblattstellung bei der Bliskbauweise von Rotoren ist, die im nächsten Abschnitt erläutert wird.

1.3.3 Bliskbauweise von Rotoren

Bei einer *Blisk* bilden die Schaufeln und die Scheibe des Rotors im Gegensatz zum konventionellen Rotor eine integrale Einheit (Abbildung 3). Ein Vorteil besteht dabei in der geringeren Masse. Diese ergibt sich aus dem Wegfall der einzelnen Schaufelfüße, die von der Scheibe aufgenommen werden müssen (BRÄUNLING 2009).

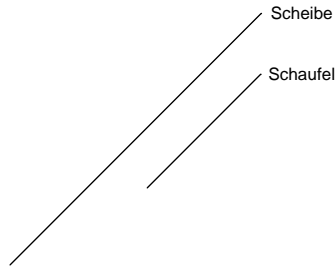


Abbildung 3: Rotor in Bliskbauweise mit integralen Schaufeln (MTU 2012A)

Zudem kann durch die stoffschlüssige, flächige Verbindung der Kraftfluss optimiert werden, sodass eine belastungsgerechtere Gestaltung möglich ist als bei der konventionellen Bauweise (PROKOPCZUK 2011). Ein weiterer Vorteil ist darin zu sehen, dass eine höhere Anzahl an Schaufeln auch bei einem kleinen Rotordurchmesser realisiert werden kann, da bei einem konventionellen Rotor die Schaufelfüße und die Scheibennuten nicht beliebig verkleinert werden können (BRÄUNLING 2009).

Für die Herstellung einer Blisk gibt es zwei verschiedene Vorgehensweisen. Zum einen ist es möglich, ein Rohteil zu verwenden, welches das gesamte Volumen des fertigen Rotors umschließt, und das Material aus den Zwischenräumen der Schaufeln zu entfernen (Abbildung 4 links). Zum anderen können, wie beim konventionellen Rotor, die Schaufeln und die Scheibe einzeln gefertigt werden. Diese werden dann allerdings nicht zusammengesetzt, sondern in einem Schweißprozess gefügt (Abbildung 4 rechts) (UIHLEIN 2010).

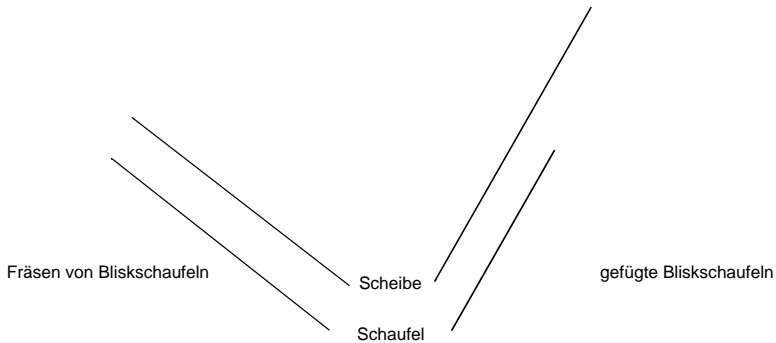


Abbildung 4: Fräsen von Bliskschaufeln (links, MTU 2012C) und Blisk mit gefügten Schaufeln (rechts, MTU 2012D)

Die Auswahl der Vorgehensweise für die Herstellung einer Blisk hängt von ihrer späteren Lage im Flugzeugtriebwerk ab. So nimmt die Schaufellänge i. d. R. sowohl auf Turbinen- als auch auf Verdichterseite zur Brennkammer hin ab. Je länger die Schaufeln sind, desto größer ist das zu zerspannende Volumen bei der Vorgehensweise der *Bliskherstellung mittels Fräsen*. Mit steigender Schaufellänge sinkt deshalb die Wirtschaftlichkeit einer solchen Blisk-Fertigung. Sie ist somit im Vergleich zu einem konventionellen Rotor nur begrenzt gegeben.

Deshalb wurden, zunächst insbesondere für den Einsatz im Verdichter, *gefügte Blisks* entwickelt. Das Problem bei dieser Lösungsmöglichkeit ist, dass die im Flugzeugtriebwerks-Bau eingesetzten Werkstoffe individuelle Eigenschaften für die jeweils auftretenden Belastungsarten besitzen, die während des gesamten Herstellungsprozesses bis zur fertigen Blisk am Ende der Prozesskette beibehalten werden müssen. Kritisch ist dabei insbesondere das Fügen der Schaufeln auf die Scheibe mittels Schweißen, da die hohe Energieeinbringung zu einer lokalen Verschlechterung der Materialeigenschaften in der Füge- und/oder der Wärmeinflusszone führen kann. Etabliert haben sich für diesen Anwendungsfall deshalb die unterschiedlichen Ausprägungen des Reibschweißens, wie z. B. das lineare Reibschweißen oder das Rotationsreibschweißen (PROKOPCZUK 2011). Diese Fügeverfahren zeichnen sich durch eine verhältnismäßig geringe und kurze Wärmeinbringung aus, die erreicht wird, indem die Werkstoffe nur bis knapp unterhalb ihrer Schmelztemperatur erhitzt und die Fügeflächen zusätzlich durch Druckbeaufschlagung zusammengepresst werden.

Allerdings sind für den Einsatz dieser Verfahren umfassende vorbereitende und nachbereitende Tätigkeiten notwendig. Insbesondere die ebenen Fügeflächen müssen mittels Fräsen und/oder Schleifen hergestellt werden. An der Schaufel ist dies die Unterseite des Fußes, an der Scheibe die Mantelfläche, aus der einzelne Fügeflächen herausgearbeitet werden müssen. Zusätzlich müssen Spannmöglichkeiten gegeben sein, um die hohen Prozesskräfte beim Reibschweißen übertragen zu können. Insbesondere an der Schaufel ist dies ein Problem, da das Schaufelblatt nicht beschädigt werden darf. Deshalb sind gegebenenfalls Aufmaße, wie in Abbildung 4 rechts zu sehen, erforderlich, die nach dem Fügen zusätzlich entfernt werden müssen. Darüber hinaus sind weitere Prozessschritte an der Bliks notwendig, um z. B. beim Fügen ausgedrücktes Material zu entfernen, die endgültige Kontur des Übergangs zwischen Schaufel und Scheibe herzustellen, den Werkstoff in der Fügezone zu homogenisieren oder die bearbeiteten Oberflächen zu verfestigen.

Ein zusätzlicher Vorteil *gefügter Bliks* gegenüber *gefrästen Bliks*, außer der höheren Wirtschaftlichkeit bei großen Schaufellängen, besteht darin, dass für die Schaufeln und die Scheibe unterschiedliche Werkstoffe verwendet werden können (UHLEIN ET AL. 2010). Verdichter-Rotoren bestehen im Allgemeinen aus nur einem Material, in der Turbine hingegen trifft dies nur auf Stufen mit kleinem Durchmesser, z. B. für den Einsatz in Hubschraubertriebwerken, zu. Für die zivile Luftfahrt sind jedoch größere Turbinen-Rotoren erforderlich, bei denen aufgrund der unterschiedlichen Belastungsarten durch thermische und mechanische Einflüsse verschiedene Werkstoffe für die Schaufeln und die Scheibe eingesetzt werden müssen (PROKOPCZUK 2011). Bislang werden deshalb ausschließlich *gefräste und gefügte Verdichterbliks* sowie *kleine Turbinenbliks*, die als Einheit gegossen werden, in Serie produziert. *Gefügte Turbinenbliks* hingegen befinden sich derzeit noch in der Entwicklung, da das Fügen der Schaufeln und der Scheibe aus unterschiedlichen Werkstoffen ein fertigungstechnisches Problem darstellt, das nicht nur das Schweißen an sich betrifft, sondern auch die vor- und nachgelagerten Prozesse und somit die gesamte Prozesskette beeinflusst.

Darauf basierend wird nachfolgend die Vorgehensweise der vorliegenden Arbeit aufgezeigt, die dazu dienen soll, die Entwicklung neuer Rotoren, insbesondere gefügter Turbinenbliks, dahingehend zu unterstützen, dass alternative Prozessketten analysiert und bewertet werden können.

1.4 Vorgehensweise

Um die gestellten Anforderungen und Randbedingungen zu erfüllen, wird bzw. werden ausgehend von der Zielsetzung der aktuelle Stand der Wissenschaft und Technik wiedergegeben, daraus der Handlungsbedarf abgeleitet und anschließend die Gesamtmethodik sowie die Einzelmethoden dargestellt. Zudem wird deren Validierung anhand eines Anwendungsbeispiels aufgezeigt. Insgesamt gliedert sich die Arbeit wie in Abbildung 5 dargestellt in acht Kapitel. Die jeweiligen Inhalte werden nachfolgend erläutert.

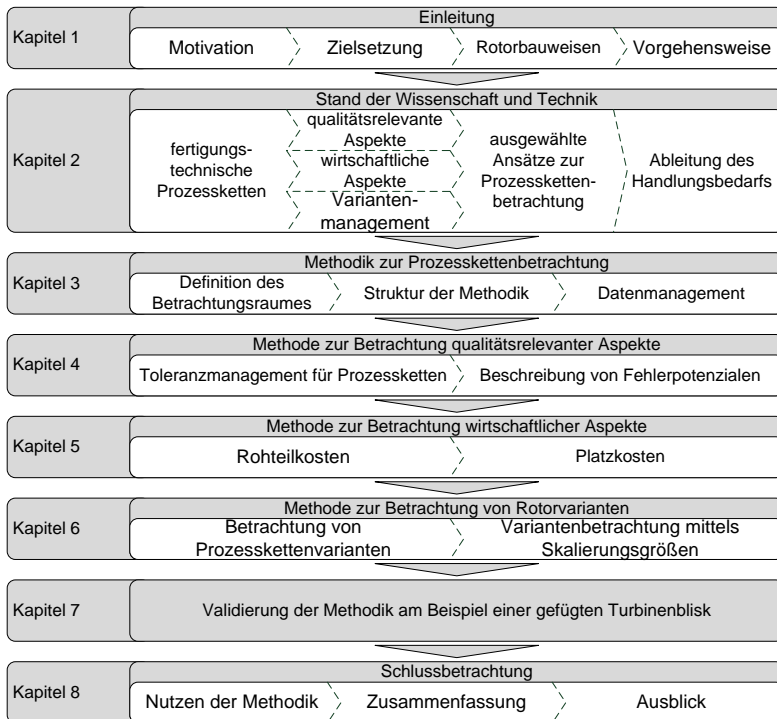


Abbildung 5: Vorgehensweise zur Entwicklung und Validierung der Methodik zur Analyse und zum Vergleich fertigungstechnischer Prozessketten für Flugzeugtriebwerks-Rotoren

Kapitel 1 beinhaltet die grundlegenden Voraussetzungen für diese Arbeit. Ausgehend von der Motivation zur Entwicklung der Methodik werden die Gesamtzielsetzung sowie die hierfür notwendigen Inhalte definiert.

Kapitel 2 gibt den derzeitigen Stand der Wissenschaft und Technik für die relevanten Themengebiete wieder. Zunächst werden grundlegende Begrifflichkeiten dieser Arbeit aufgezeigt sowie bestehende Möglichkeiten zur Erstellung, Strukturierung und Anpassung fertigungstechnischer Prozessketten erläutert. Die anschließende Darstellung qualitätsrelevanter Aspekte adressiert Qualitätsmanagement im Allgemeinen und im Besonderen die Methode FMEA (Failure Modes And Effects Analysis) sowie die Ansätze der Toleranzanalyse und -synthese. Ferner werden die Grundlagen der Prozesskettenbetrachtung hinsichtlich wirtschaftlicher Aspekte beleuchtet. Hierzu werden aus dem Themengebiet der Kostenrechnung die relevanten Methoden für die Bestimmung bauteilbezogener Kosten in der Produktion erläutert. Es folgt eine kurze Einführung in das Variantenmanagement von Bauteilen. Außerdem werden ausgewählte Forschungsarbeiten für Prozesskettenbetrachtungen aufgezeigt, die wirtschaftliche und/oder qualitätsrelevante Aspekte beinhalten. Von diesen Inhalten ausgehend erfolgt die Ableitung des Handlungsbedarfes.

In Kapitel 3 wird darauf aufbauend die entwickelte Methodik vorgestellt. Sie besteht aus mehreren Einzelmethoden, um qualitätsrelevante und wirtschaftliche Vergleichsgrößen zunächst für eine Referenzanwendung zu ermitteln und diese anschließend auf Rotorvarianten zu extrapolieren. Durch deren Verknüpfung entsteht eine Vorgehensweise zur ganzheitlichen Prozesskettenbetrachtung mit der Möglichkeit des quantitativen Vergleichs von Fertigungsalternativen für Flugzeugtriebwerks-Rotoren. Anschließend wird vor den Detaillierungen der einzelnen Methoden in den Kapiteln 4, 5 und 6 das übergreifende Datenmanagement zur Ermittlung, Verarbeitung und Darstellung aller benötigten Informationen beschrieben.

In Kapitel 4 wird die Methode zur Betrachtung qualitätsrelevanter Aspekte erläutert. Zum einen wird hierbei als Grundlage für die Vergleichbarkeit von Prozessketten eine Vorgehensweise zu deren Anpassung an gegebene Toleranzanforderungen entwickelt, zum anderen wird eine Möglichkeit zur Identifizierung und quantifizierten Beurteilung fertigungstechnischer Fehlerpotenziale präsentiert.

Kapitel 5 beleuchtet das Schema zur Berechnung der bauteilbezogenen Fertigungskosten, bestehend aus monetären Aufwänden für das Rohmaterial und für die Bearbeitung. Insbesondere die Ermittlung von Prozesszeiten sowie die maß-

1 Einleitung

geblichen Einflüsse und Randbedingungen des Flugzeugtriebwerks-Baus werden erläutert.

Kapitel 6 fokussiert die Betrachtung von Rotorvarianten, sodass Abhängigkeiten der Fertigungskosten und der Fehlerpotenziale von geometrischen Parametern ermittelt werden können. Dazu werden in einer Methode standardisierte Skalierungsgrößen eingeführt. Dadurch kann die Kalkulation trotz der geometrischen Komplexität von Triebwerksrotoren mittels Kostenwachstumsgesetzen aufwandsarm durchgeführt werden.

Kapitel 7 beschreibt die Validierung der Methodik. Diese erfolgte im Rahmen eines Forschungsprojektes in Zusammenarbeit mit einem Industriepartner zur Entwicklung eines neuartigen Rotors. Es werden sowohl die Ergebnisse der Einzelmethoden als auch die Resultate der Methodik erläutert.

Kapitel 8 stellt zunächst den erzielbaren Nutzen durch die Anwendung der Methodik heraus, bevor abschließend die gesamte Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick auf mögliche, zukünftige Forschungstätigkeiten gegeben wird.

Seminarberichte iwb

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

Seminarberichte iwb sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utzverlag.de, www.utzverlag.de

- 1 **Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**
115 Seiten - ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**
82 Seiten - ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**
110 Seiten - ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**
134 Seiten - ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**
95 Seiten - ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**
86 Seiten - ISBN 3-931327-06-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**
80 Seiten - ISBN 3-931327-07-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel**
130 Seiten - ISBN 3-931327-08-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**
120 Seiten - ISBN 3-931327-09-5
- 10 **3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**
90 Seiten - ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
110 Seiten - ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**
100 Seiten - ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**
130 Seiten - ISBN 3-931327-13-2
- 14 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 15 **Flexible fluide Kleb-/Dichtstoffe - Dosierung und Prozeßgestaltung**
80 Seiten - ISBN 3-931327-15-9
- 16 **Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart**
80 Seiten - ISBN 3-931327-16-7
- 17 **Industriekeramik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen**
80 Seiten - ISBN 3-931327-17-5
- 18 **Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen**
165 Seiten - ISBN 3-931327-18-3
- 19 **Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung**
85 Seiten - ISBN 3-931327-19-1
- 20 **Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen – Plug & Play – Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme**
105 Seiten - ISBN 3-931327-20-5
- 21 **Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen**
95 Seiten - ISBN 3-931327-21-3
- 22 **Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale**
95 Seiten - ISBN 3-931327-22-1
- 24 **EDM Engineering Data Management**
195 Seiten - ISBN 3-931327-24-8
- 25 **Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele**
152 Seiten - ISBN 3-931327-25-6
- 26 **Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag**
110 Seiten - ISBN 3-931327-26-4
- 27 **Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
111 Seiten - ISBN 3-931327-27-2
- 28 **Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
154 Seiten - ISBN 3-931327-28-0
- 29 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlußseminar**
156 Seiten - ISBN 3-931327-29-9
- 30 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 31 **Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**
183 Seiten - ISBN 3-931327-31-0
- 32 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 33 **3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**
181 Seiten - ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**
102 Seiten - ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**
129 Seiten - ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
124 Seiten - ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätssteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**
95 Seiten - ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**
128 Seiten - ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**
130 Seiten - ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibler und schneller mit modernen Kooperationen**
160 Seiten - ISBN 3-931327-40-X
- 41 **Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**
146 Seiten - ISBN 3-89675-041-0
- 42 **Stückzahlflexible Montagesysteme**
139 Seiten - ISBN 3-89675-042-9
- 43 **Produktivität und Verfügbarkeit - ...durch Kooperation steigern**
120 Seiten - ISBN 3-89675-043-7
- 44 **Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobautteilen**
125 Seiten - ISBN 3-89675-044-5
- 45 **Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**
173 Seiten - ISBN 3-89675-045-3
- 46 **Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation**
108 Seiten - ISBN 3-89675-046-1

- 47 Virtuelle Produktion - Prozeß- und Produktsimulation
131 Seiten - ISBN 3-89675-047-X
- 48 Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen
106 Seiten - ISBN 3-89675-048-8
- 49 Rapid Prototyping - Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung
150 Seiten - ISBN 3-89675-049-6
- 50 Rapid Manufacturing - Methoden für die reaktionsfähige Produktion
121 Seiten - ISBN 3-89675-050-X
- 51 Flexibles Kleben und Dichten - Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle
137 Seiten - ISBN 3-89675-051-8
- 52 Rapid Manufacturing - Schnelle Herstellung von Klein- und Prototypenserien
124 Seiten - ISBN 3-89675-052-6
- 53 Mischverbindungen - Werkstoffauswahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung
107 Seiten - ISBN 3-89675-054-2
- 54 Virtuelle Produktion - Integrierte Prozess- und Produktsimulation
133 Seiten - ISBN 3-89675-054-2
- 55 e-Business in der Produktion - Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele
150 Seiten - ISBN 3-89675-055-0
- 56 Virtuelle Produktion – Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug
150 Seiten - ISBN 3-89675-056-9
- 57 Virtuelle Produktion – Datenintegration und Benutzerschnittstellen
150 Seiten - ISBN 3-89675-057-7
- 58 Rapid Manufacturing - Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien
169 Seiten - ISBN 3-89675-058-7
- 59 Automatisierte Mikromontage - Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik
114 Seiten - ISBN 3-89675-059-3
- 60 Mechatronische Produktionssysteme - Genauigkeit gezielt entwickeln
131 Seiten - ISBN 3-89675-060-7
- 61 Nicht erschienen – wird nicht erscheinen
- 62 Rapid Technologien - Anspruch – Realität – Technologien
100 Seiten - ISBN 3-89675-062-3
- 63 Fabrikplanung 2002 - Visionen – Umsetzung – Werkzeuge
124 Seiten - ISBN 3-89675-063-1
- 64 Mischverbindungen - Einsatz und Innovationspotenzial
143 Seiten - ISBN 3-89675-064-X
- 65 Fabrikplanung 2003 – Basis für Wachstum - Erfahrungen Werkzeuge Visionen
136 Seiten - ISBN 3-89675-065-8
- 66 Mit Rapid Technologien zum Aufschwung - Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder
185 Seiten - ISBN 3-89675-066-6
- 67 Mechatronische Produktionssysteme - Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvorgehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder
148 Seiten - ISBN 3-89675-067-4
- 68 Virtuelle Produktion - Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik
139 Seiten - ISBN 3-89675-068-2
- 69 Kooperationsmanagement in der Produktion - Visionen und Methoden zur Kooperation – Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation – Kooperation entlang der Wertschöpfungskette
134 Seiten - ISBN 3-98675-069-0
- 70 Mechatronik - Strukturndynamik von Werkzeugmaschinen
161 Seiten - ISBN 3-89675-070-4
- 71 Klebtechnik - Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten
ISBN 3-89675-071-2 - vergriffen
- 72 Fabrikplanung 2004 Erfolgsfaktor im Wettbewerb - Erfahrungen – Werkzeuge – Visionen
ISBN 3-89675-072-0 - vergriffen
- 73 Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion - Erwartungen – Erfahrungen – Entwicklungen
179 Seiten - ISBN 3-89675-073-9
- 74 Virtuelle Produktionssystemplanung - Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik
133 Seiten - ISBN 3-89675-074-7
- 75 Nicht erschienen – wird nicht erscheinen
- 76 Berührungslose Handhabung - Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapsel zur aseptischen Ampulle
95 Seiten - ISBN 3-89675-076-3
- 77 ERP-Systeme - Einführung in die betriebliche Praxis - Erfahrungen, Best Practices, Visionen
153 Seiten - ISBN 3-89675-077-7
- 78 Mechatronik - Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen
155 Seiten - ISBN 3-89675-078-X
- 79 Produktionsmanagement
267 Seiten - ISBN 3-89675-079-8
- 80 Rapid Manufacturing - Fertigungsverfahren für alle Ansprüche
154 Seiten - ISBN 3-89675-080-1
- 81 Rapid Manufacturing - Heutige Trends – Zukünftige Anwendungsfelder
172 Seiten - ISBN 3-89675-081-X
- 82 Produktionsmanagement - Herausforderung Variantenmanagement
100 Seiten - ISBN 3-89675-082-8
- 83 Mechatronik - Optimierungspotenzial der Werkzeugmaschine nutzen
160 Seiten - ISBN 3-89675-083-6
- 84 Virtuelle Inbetriebnahme - Von der Kür zur Pflicht?
104 Seiten - ISBN 978-3-89675-084-6
- 85 3D-Erfahrungsforum - Innovation im Werkzeug- und Formenbau
375 Seiten - ISBN 978-3-89675-085-3
- 86 Rapid Manufacturing - Erfolgreich produzieren durch innovative Fertigung
162 Seiten - ISBN 978-3-89675-086-0
- 87 Produktionsmanagement - Schlink im Mittelstand
102 Seiten - ISBN 978-3-89675-087-7
- 88 Mechatronik - Vorsprung durch Simulation
134 Seiten - ISBN 978-3-89675-088-4
- 89 RFID in der Produktion - Wertschöpfung effizient gestalten
122 Seiten - ISBN 978-3-89675-089-1
- 90 Rapid Manufacturing und Digitale Fabrik - Durch Innovation schnell und flexibel am Markt
100 Seiten - ISBN 978-3-89675-090-7
- 91 Robotik in der Kleinserienproduktion – Die Zukunft der Automatisierungstechnik
ISBN 978-3-89675-091-4
- 92 Rapid Manufacturing - Ressourceneffizienz durch generative Fertigung im Werkzeug- und Formenbau
ISBN 978-3-89675-092-1
- 93 Handhabungstechnik - Innovative Greiftechnik für komplexe Handhabungsaufgaben
136 Seiten - ISBN 978-3-89675-093-8
- 94 iwB Seminarreihe 2009 Themengruppe Werkzeugmaschinen
245 Seiten - ISBN 978-3-89675-094-5
- 95 Zuführtechnik - Herausforderung der automatisierten Montage!
111 Seiten - ISBN 978-3-89675-095-2
- 96 Risikobewertung bei Entscheidungen im Produktionsumfeld - Seminar »Risiko und Chance«
151 Seiten - ISBN 978-3-89675-096-9
- 97 Seminar Rapid Manufacturing 2010 - Innovative Einsatzmöglichkeiten durch neue Werkstoffe bei Schichtbauverfahren
180 Seiten - ISBN 978-3-89675-097-6

- 98 Handhabungstechnik · Der Schlüssel für eine automatisierte Herstellung von Composite-Bauteilen
260 Seiten · ISBN 978-3-89675-098-3
- 99 Abschlussveranstaltung SimuSint 2010 · Modulares Simulationssystem für das Strahlenschmelzen
270 Seiten · ISBN 978-3-89675-099-0
- 100 Additive Fertigung: Innovative Lösungen zur Steigerung der Bauteilqualität bei additiven Fertigungsverfahren
200 Seiten · ISBN 978-3-8316-4114-7
- 101 Mechatronische Simulation in der industriellen Anwendung
91 Seiten · ISBN 978-3-8316-4149-9
- 102 Wissensmanagement in produzierenden Unternehmen
ISBN 978-3-8316-4169-7
- 103 Additive Fertigung: Bauteil- und Prozessauslegung für die wirtschaftliche Fertigung
ISBN 978-3-8316-4188-8
- 104 Ressourceneffizienz in der Lebensmittelkette
ISBN 978-3-8316-4192-5
- 105 Werkzeugmaschinen: Leichter schwer zerspanen! Herausforderungen und Lösungen für die Zerspanung von Hochleistungswerkstoffen
120 Seiten · ISBN 978-3-8316-4217-5
- 106 Batterieproduktion – Vom Rohstoff bis zum Hochvoltspeicher
108 Seiten · ISBN 978-3-8316-4221-2
- 107 Batterieproduktion – Vom Rohstoff bis zum Hochvoltspeicher
150 Seiten · ISBN 978-3-8316-4249-6

Forschungsberichte iwb

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

Band 1–121, herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, sind im Springer Verlag,
Berlin, Heidelberg erschienen

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 Produktionssysteme
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 *Ralf Diesch*: Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
160 Seiten · ISBN 978-3-89675-618-3
- 129 *Werner E. Lulay*: Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination 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 Partnerverbänden
152 Seiten · ISBN 978-3-89675-645-9
- 133 *Knut Heitmann*: Sichere Prognosen für die Produktionsptimierung 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 Industriekeramik
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. Schiffenbacher*: Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen kompetenznetzwerken
187 Seiten · ISBN 978-3-89675-754-8
- 141 *Andreas Sprenzel*: 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 Lehner:** Beschreibung des Nd:YAG-Laserstrahlweißprozesses von Magnesiumdruckguss
205 Seiten - ISBN 978-3-8316-0004-5
- 148 **Frank Rick:** Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlweißungen
145 Seiten - ISBN 978-3-8316-0008-3
- 149 **Michael Höhn:** Sensorgeführte 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 978-3-8316-0021-2
- 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 Teilbereitstellung
136 Seiten - ISBN 978-3-8316-0028-1
- 154 **Wolfgang Rudorfer:** 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 Laserstrahlweißens 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 Loferer:** Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen
178 Seiten - ISBN 978-3-8316-0118-9
- 163 **Jörg Führer:** Ganzheitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0124-0
- 164 **Jürgen Höppler:** Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker 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 Roggoderer:** System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
175 Seiten - ISBN 978-3-8316-0154-7
- 169 **Robert Klingel:** Anziehfverfahren für hochfeste Schraubverbindungen auf Basis akustischer Emissionen
164 Seiten - ISBN 978-3-8316-0174-5
- 170 **Paul Jens 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
250 Seiten - ISBN 978-3-8316-0208-5
- 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 telepräzenter Montagesysteme
158 Seiten - ISBN 978-3-8316-0215-5
- 176 **Welf Broser:** Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke
224 Seiten - ISBN 978-3-8316-0217-9
- 177 **Frank Breitingler:** Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen
156 Seiten - ISBN 978-3-8316-0227-8
- 178 **Johann von Pieveling:** 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 Kaustems
132 Seiten - ISBN 978-3-8316-0251-3
- 181 **Jochim Berlak:** Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen
244 Seiten - ISBN 978-3-8316-0258-2
- 182 **Christian Meierloh:** 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 kompetenzzentrierten 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 Meindl:** 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 Konturfolgssysteme
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 Produktionssystemen
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0475-3
- 192 **Florian Auer:** Methode zur Simulation des Laserstrahlsschweißens 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 Kostensenkung 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 Schlip:** 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 Eirener:** Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding
114 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 Roeren:** 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-Gribsch:** Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia
150 Seiten - ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 **Michael Ehrenstraßer:** Sensoreinsatz 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 Schlickeneder:** Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 **Niklas Möller:** Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme
260 Seiten - ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 **Daniel Siedl:** Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrenbewegungen
226 Seiten - ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 **Dirk Ansoerg:** Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen
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 Oertli:** Strukturmehranalytische Berechnung und Regelungssimulation von Werkzeugmaschinen mit elektromechanischen Vorschubantrieben
194 Seiten - ISBN 978-3-8316-0798-3
- 217 **Bernad 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 Mürtl:** 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:** Laserstrahlbigen 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 kraftrückkopplenden Handschuhen
230 Seiten - ISBN 978-3-8316-0833-1
- 223 **Matthäus Sigl:** Ein Beitrag zur Entwicklung des Elektronenstrahlintensens
200 Seiten - ISBN 978-3-8316-0841-6
- 224 **Mark Harfensteller:** Eine Methodik zur Entwicklung und Herstellung von Radiumtargets
198 Seiten - ISBN 978-3-8316-0849-2
- 225 **Jochen Werner:** Methode zur roboterbasieren 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 zeitenfensterbasierter Planungssysteme in überbetrieblichen Wertschöpfungsketten
204 Seiten - ISBN 978-3-8316-0891-1
- 233 **Michael Spitzweg:** Methode und Konzept für den Einsatz eines physikalischen Modells in der Entwicklung von Produktionanlagen
180 Seiten - ISBN 978-3-8316-0931-4
- 234 **Ulrich Münzert:** Bahnplanungsalgorithmen für das robotergestützte Remote-Laserstrahlschweißen
176 Seiten - ISBN 978-3-8316-0948-2
- 235 **Georg Völlner:** Rührreibschweißen 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 978-3-8316-4015-7
- 240 **Michael Loy:** Modulare Vibrationswendelförderer für flexiblen Teilezuführung
190 Seiten - ISBN 978-3-8316-4027-0
- 241 **Andreas Eursch:** 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 variantenreiche Serienmontage
261 Seiten - ISBN 978-3-8316-4033-1
- 244 **Johannes Schlip:** Adaptive Montagesysteme für hybride Mikrosysteme unter Einsatz von Telepräsenz
192 Seiten - ISBN 978-3-8316-4063-8
- 245 **Stefan Lutzmann:** Beitrag zur Prozessbeherrschung des Elektronenstrahlschmelzens
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 berührungslos arbeitender Handhabungssysteme
186 Seiten - ISBN 978-3-8316-4091-1
- 248 **Clemens Pörnbacher:** Modellgetriebene Entwicklung der Steuerungssoftware automatisierter Fertigungssysteme
280 Seiten - ISBN 978-3-8316-4108-6
- 249 **Alexander Lindworsky:** Teilautomatische Generierung von Simulationsmodellen für den entwicklungsbegleitenden 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 Mark:** Qualitätsbewertung und -regelung für die Fertigung von Karosserieteilen in Presswerken auf Basis Neuronaler Netze
228 Seiten - ISBN 978-3-8316-4127-7
- 252 **Florian Reichl:** Methode zum Management der Kooperation von Fabrik- und Technologieplanung
232 Seiten - ISBN 978-3-8316-4128-4
- 253 **Paul Gebhard:** Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen bei Anwendung für das Rührreibschweißen
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4129-1
- 254 **Michael Heinz:** Modellunterstützte Auslegung berührungsloser Ultraschallgreifsysteme 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 Lacour:** Modellbildung für die physikbasierte Virtuelle Inbetriebnahme materialflussintensiver Produktionsanlagen
222 Seiten - ISBN 978-3-8316-4162-8
- 258 **Thomas Hensel:** 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 Radi:** 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 Rühstorfer:** Rührreibschweißen 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 pulverbettbasierten 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 pulverbettbasierte 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 Faserverbund-Vorförmlingen
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-Reibschweißen durch modellbasierte Regelungsverfahren
220 Seiten - ISBN 978-3-8316-4245-8
- 272 **William Brice Tekouo Moutchiho**: 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 Eschey**: 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 Hennauer**: 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