

**Ein Beitrag zur Risikoidentifizierung und -bewertung  
in der Betriebsphase hybrider Leistungsbündel**

Dissertation  
zur  
Erlangung des Grades  
Doktor-Ingenieur

der  
Fakultät für Maschinenbau  
der Ruhr-Universität Bochum

von

Feng Jin  
aus Jiangsu (China)

Bochum 2013

Dissertation eingereicht: 20.11.2013

Tag der mündlichen Prüfung: 19.12.2013

Erster Referent: Prof. Dr.-Ing. M. Abramovici

Zweiter Referent: Prof. Dr.-Ing. H. Meier

Maschinenbauinformatik

Band 2/2014

**Feng Jin**

**Ein Beitrag zur Risikoidentifizierung und -bewertung  
in der Betriebsphase hybrider Leistungsbündel**

Shaker Verlag  
Aachen 2014

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

Zugl.: Bochum, Univ., Diss., 2013

Copyright Shaker Verlag 2014

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3194-2

ISSN 1865-3081

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

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

# Kurzfassung

Unter hybriden Leistungsbündel (HLB) versteht man die integrierte Betrachtung von Produkten und begleitenden Services als kundenindividuelle Gesamtlösungen. Aufgrund der zunehmenden Kundenanforderungen an Problemlösungen im Bereich Maschinen- und Anlagenbau bekommen HLB besonders in dieser Industriebranche eine immer größere Bedeutung. Im Kontext von HLB erwirbt der Kunde, statt physischer Produkte, die Garantie eines Nutzens, z.B. Verfügbarkeit. Der HLB-Anbieter ist für die Realisierung des vereinbarten Nutzens verantwortlich.

Mit Fokus auf das verfügbarkeitsorientierte Geschäftsmodell ist die Verfügbarkeit dieser Gesamtlösung HLB vom Anbieter garantiert. Wegen der dynamischen und ungewissen Rahmenbedingungen in der Betriebsphase ist der HLB-Anbieter mit dem Verfügbarkeitsrisiko (*Die im Vertrag festgelegte Verfügbarkeit könnte nicht erreicht werden.*) und Kostenrisiko (*Die Betriebskosten könnten wegen ungeplanter Services ihr Budget überschreiten.*) konfrontiert.

Um die Risikosteuerung zu unterstützen, wird in der vorliegenden Arbeit ein Konzept für die frühzeitige Identifizierung und umfangreiche Bewertung der Verfügbarkeits- und Kostenrisiken in der HLB-Betriebsphase vorgestellt. Da die Risikoidentifizierung die Ermittlung des aktuellen HLB-Zustands voraussetzt, wurde zuerst ein HLB-spezifisches Kennzahlensystem entwickelt. Danach wurde eine Methode zur frühzeitigen Risikoidentifizierung auf Basis der Outlier Detection-Methode entwickelt. Ihr Vorteil liegt besonders in der rechtzeitigen Risikowarnung durch eine integrierte Analyse der Kennzahlenwerte ohne Zuweisung der Grenzwerte für Kennzahlen. Für die umfangreiche Risikobewertung wurde eine Matrix für die integrierte Analyse des Schadensausmaßes und der Möglichkeit der Risikosteuerung erstellt. Die Matrix kann insbesondere einen Beitrag zur Risikopriorisierung leisten. Um die Risikobewertung zu unterstützen, wurde abschließend ein Case-based Reasoning (CBR)-basiertes Modell für die Strukturierung, Speicherung und Wiederverwendung von Risikofällen entwickelt.

Zur Validierung des entwickelten Konzepts wurde eine prototypische Software auf Basis eines HLB-Lifecycle Management (HLB-LM)-Systems realisiert. Anhand eines HLB-Demonstrators in der Mikroproduktionsbranche wird die Anwendung dieses Konzepts für die frühzeitige Identifizierung und umfangreiche Bewertung der Verfügbarkeits- und Kostenrisiken in der HLB-Betriebsphase gezeigt.



## Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand am Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik der Ruhr-Universität Bochum und wurde von der dortigen Fakultät für Maschinenbau als Dissertation angenommen.

Ich danke in erste Linie Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Abramovici, Leiter des Lehrstuhls für Maschinenbauinformatik (ITM), für die wissenschaftliche Anleitung und Förderung dieser Arbeit, die zahlreichen wertvollen Anregungen sowie das mir entgegengebrachte Vertrauen.

Herrn Prof. Dr.- Ing. Horst Meier, Leiter des Lehrstuhl für Produktionssysteme der Ruhr-Universität Bochum, danke ich für das Interesse an meiner Arbeit und die völlig problemlose Übernahme des Koreferats.

Ein großer Dank geht an die Kolleginnen und Kollegen sowie alle studentische Hilfskräfte des Lehrstuhls für Maschinenbauinformatik für die hilfreiche Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit. Besonderer Dank gilt meinen Kollegen Dr. Hans-Peter Prüfer, Youssef Aidi und Hoang Bao Dang für die stets hilfreichen Diskussionen und Vorschläge im Rahmen meins Promotionsprojekts.

Mein besonderer Dank gilt CSC (China Scholarship Council), die meine Forschung und die Erfassung dieser Arbeit durch ein Stipendium finanziert hat. Außerdem danke ich Prof. Shen Bin, Dekan des CDHK (chinesisch-deutsches Hochschulkolleg) der Tongji Universität Shanghai für seine Empfehlung und Unterstützung meiner Promotion an der Ruhr-Universität Bochum.

Ganz besonders danke ich meinen Eltern, die mich immer tatkräftig unterstützt haben. An letzter und zugleich erster Stelle möchte ich meiner lieber Frau Zhao Aihong und meiner Tochter Jin Sissy Zhaoxi danken, die auf viele gemeinsame Zeit mit mir verzichtet und mir den Freiraum für die Anfertigung dieser Arbeit gegeben haben.



*Für Aihong und Sissy Zhaoxi*



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung .....	1
1.2 Zielsetzung und Abgrenzung .....	3
1.3 Vorgehensweise .....	5
<b>2 Grundlagen und Begriffsabgrenzungen .....</b>	<b>7</b>
2.1 Hybride Leistungsbündel (HLB) .....	7
2.1.1 Definition hybrider Leistungsbündel .....	7
2.1.2 HLB-Geschäftsmodelle .....	9
2.1.3 HLB-Lebenszyklus .....	11
2.1.4 HLB-Qualität in der Betriebsphase .....	13
2.2 Abgrenzung der Risiken in der HLB-Betriebsphase .....	14
2.2.1 Definition des Risikos .....	15
2.2.2 Abgrenzung von Verfügbarkeits- und Kostenrisiken .....	16
2.3 HLB-Anpassung in der Betriebsphase .....	17
2.3.1 Flexibilität von HLB .....	17
2.3.2 Typen der HLB-Anpassungen .....	17
2.3.3 Rolle der HLB-Anpassung für die Risikosteuerung .....	18
<b>3 Anforderungen an ein Konzept für die Risikoidentifizierung und -bewertung .....</b>	<b>19</b>
3.1 HLB-Demonstrator in der Mikroproduktionsbranche .....	19
3.1.1 Gestaltung des HLB-Demonstrators M-FullService .....	19
3.1.2 Risiken und Problemstellung aus Anbietersicht .....	21
3.2 Anforderungen an ein HLB-spezifisches Kennzahlensystem .....	22
3.3 Anforderungen an die Risikoidentifizierung .....	24
3.4 Anforderungen an die Risikobewertung .....	25
<b>4 Stand der Forschung und der Technik .....</b>	<b>27</b>
4.1 Risikomanagement für HLB .....	27
4.1.1 Kennzahlensysteme für HLB .....	27

4.1.2	Risikoidentifizierung mittels des Ist-Soll-Vergleichs .....	33
4.1.3	Risikoidentifizierung auf Basis der Outlier Detection-Methode .....	35
4.1.4	Methoden zur Risikobewertung .....	40
4.2	Verfahren zur Verfügbarkeitserhöhung .....	44
4.2.1	Relevante Kennzahlen für die Verfügbarkeit .....	44
4.2.2	Zustandsbasierte Instandhaltung .....	46
4.2.3	Total Productive Maintenance (TPM) .....	48
4.2.4	Risikobasierte Instandhaltung .....	48
4.3	Stand der Forschung im Bereich Lebenszykluskosten .....	49
4.3.1	Kalkulationsmodelle der Lebenszykluskosten .....	50
4.3.2	Anwendungen der Lebenszyklusrechnung .....	54
4.3.3	LCC-relevante Forschungsaktivitäten für HLB .....	58
4.4	Case-based Reasoning (CBR) .....	60
4.4.1	Modell von Case-based Reasoning .....	60
4.4.2	Generische Methode für die Erkennung ähnlicher Fälle .....	62
4.4.3	Textuelles Case-Based Reasoning .....	63
4.4.4	Potenziale der Anwendung vom CBR für die Risikobewertung .....	63
4.5	Bewertung des Standes der Forschung und Technik und resultierender Handlungsbedarf .....	64
<b>5</b>	<b>Konzept für die Risikoidentifizierung und -bewertung in der HLB-Betriebsphase ...</b>	<b>67</b>
5.1	Gesamtkonzept .....	67
5.2	Entwicklung des HLB-spezifischen Kennzahlensystems .....	69
5.2.1	Kennzahlen für die HLB-Verfügbarkeit .....	70
5.2.2	Kennzahlen für die HLB-Betriebskosten .....	74
5.2.3	Kennzahlen für die Produktqualität innerhalb von HLB .....	77
5.2.4	Kennzahlen für die Servicequalität innerhalb von HLB .....	82
5.2.5	Kennzahlen für die Kooperation zwischen HLB-Anbietern und -Kunden .....	86
5.3	Konzipierung der frühzeitigen Risikoidentifizierung in der HLB-Betriebsphase .....	87
5.3.1	Analyse der Datenquellen von Kennzahlen .....	88
5.3.2	Risikowarnung auf Basis der Outlier Detection-Methode .....	90

5.3.3	Gültigkeitsprüfung von Risikowarnungen .....	103
5.4	Konzipierung der CBR-basierten Risikobewertung .....	104
5.4.1	Matrix für die Risikobewertung in der HLB-Betriebsphase .....	104
5.4.2	CBR-basiertes Modell für die Unterstützung der Risikobewertung .....	107
5.4.3	Metamodell der Risikofälle .....	108
5.4.4	Algorithmus für die Erkennung der ähnlichen Risikofälle .....	110
<b>6</b>	<b>Prototypische Realisierung und Verifikation .....</b>	<b>113</b>
6.1	Realisierung des entwickelten Konzepts als eine Erweiterung der HLB-Lifecycle Management-Lösung .....	113
6.1.1	HLB-Lifecycle Management-Lösung .....	113
6.1.2	IT-Architektur .....	115
6.1.3	Metadatenmodell für das Datenmanagement bei der Risikoidentifizierung und -bewertung .....	116
6.1.4	Implementierung und Funktionsweise des Konzepts für die Risikoidentifizierung und -bewertung .....	118
6.2	Verifikation der Anforderungen an ein Konzept für die Risikoidentifizierung und -bewertung .....	126
6.2.1	Verifikation der Anforderungen an das HLB-spezifische Kennzahlensystem ....	126
6.2.2	Verifikation der Anforderungen an die Risikoidentifizierung .....	127
6.2.3	Verifikation der Anforderungen an die Risikobewertung .....	129
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>131</b>
7.1	Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit .....	131
7.2	Weitere Forschungspotenziale .....	133
<b>8</b>	<b>Literatur- und Quellenverzeichnis .....</b>	<b>135</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>149</b>
9.1	Übersicht des HLB-spezifischen Kennzahlensystems .....	149
9.2	Beispielhafte Kennzahlenkombinationen .....	150
<b>10</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>151</b>
<b>11</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>153</b>
<b>12</b>	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>155</b>