

# Simulationsgestützte Netzwerkplanung zur Erbringung hybrider Leistungsbündel

Dissertation

zur  
Erlangung des Grades  
Doktor-Ingenieur

der  
Fakultät für Maschinenbau  
der Ruhr-Universität Bochum

von  
**Henning Lagemann**  
aus Wolfenbüttel

Bochum 2015

Dissertation eingereicht am: 23. März 2015

Tag der mündlichen Prüfung: 08. Mai 2015

Erster Referent: Prof. Dr.-Ing. Horst Meier

Zweiter Referent: Prof. Dr. Marion Steven

Schriftenreihe des Lehrstuhls für Produktionssysteme

Band 5/2015

**Henning Lagemann**

**Simulationsgestützte Netzwerkplanung  
zur Erbringung hybrider Leistungsbündel**

Shaker Verlag  
Aachen 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.

Zugl.: Bochum, Univ., Diss., 2015

Copyright Shaker Verlag 2015

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-3714-2

ISSN 1430-7324

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)

*„Haben Sie keine Angst vor der Zukunft - sie beginnt erst morgen.“*

Žarko Petan



# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionssysteme und wurde von der Fakultät für Maschinenbau der Ruhr-Universität Bochum als Dissertation angenommen. Die Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des Sonderforschungsbereichs (SFB) Transregio 29 „Engineering hybrider Leistungsbündel“ gefördert. An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ganz besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Professor Dr.-Ing. Horst Meier für die Möglichkeit, in einem spannenden Forschungsprojekt zu promovieren und für die gute wissenschaftliche Betreuung und Unterstützung. Frau Professor Dr. Marion Steven, Inhaberin des Lehrstuhls für Produktionswirtschaft der Ruhr-Universität Bochum, danke ich für die Übernahme des Koreferates und die fachlichen Anregungen, welche in die Arbeit eingeflossen sind.

Ich danke dem gesamten Team des Lehrstuhls für Produktionssysteme, mit dem ich während der letzten Jahre auf freundschaftliche Art und Weise zusammenarbeiten durfte. Einen wesentlichen Anteil am guten Arbeits- und Betriebsklima des Lehrstuhls haben durch ihre liebenswerten und unkomplizierte Art insbesondere Herr Professor Dr.-Ing. Dieter Kreimeier als akademischer Direktor sowie unsere Lehrstuhlsekretärin Bettina Vogt, die bei Problemen jeglicher Art mit Rat und Tat zur Seite stehen. Von den wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Lehrstuhls, welche mich während meiner Promotionszeit begleitet haben, möchte ich insbesondere Herrn Dr.-Ing. Mario Boßlau dankend erwähnen, der mit seinen fachlichen Anregungen sowie seinem persönlichen Rat ein wertvoller Diskussionspartner und Ideengeber war. Besonderer Dank gilt auch meinem Kollegen Dr.-Ing. Dipl.-Inf. Thomas Dorka, der bei unzähligen fachlichen sowie informationstechnischen Fragen und Problemen immer ein hervorragender Berater war. Ich danke ebenso Herrn Dipl.-Ing. Friedrich Morlock für die produktive und gleichzeitig humorvolle Zusammenarbeit innerhalb der Arbeitsgruppe und des Transregio 29.

Auch die anderen Bochumer und Berliner Kolleginnen und Kollegen des SFB Transregio 29 sollen nicht unerwähnt bleiben – die interdisziplinäre Zusammenarbeit hat meine persönliche und fachliche Perspektive stets erweitert. Ich bedanke mich ebenso bei den Mitarbeitern des International Service Centers der Firma TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG für die hervorragende Zusammenarbeit im Transferprojekt T3 des Transregio 29, insbesondere bei Herrn Dr.-Ing. Karsten Tonn und Herrn Simon Tonat, MBA.

Meine Eltern Karin und Heinrich Lagemann haben mir meine universitäre Ausbildung bis hin zur Promotion erst ermöglicht. Für das uneingeschränkte Vertrauen und die Unterstützung in allen Lebenslagen werde ich immer dankbar sein. Meinem Vater danke ich darüber hinaus für die wertvollen Korrekturhinweise. Ich danke auch meinen Schwiegereltern Reinhilde und Ewald Lörks, meiner Schwägerin Katharina und ihrem Verlobten Bernhard, die mich so liebevoll in ihre

## Vorwort

---

Familie aufgenommen haben, für die gute Unterstützung in der Endphase meiner Promotion.

Der größte Dank gilt meiner Frau Julia Lörks. Dafür, dass sie immer für mich da ist und dafür, dass sie mich während meiner Promotion auf wundervolle Art und Weise abgelenkt und aufgemuntert hat, mir immer wieder gezeigt hat, worauf es im Leben wirklich ankommt und mir dadurch die notwendige Kraft gegeben hat. Ihr ist diese Arbeit in Dankbarkeit gewidmet.

A handwritten signature in black ink, reading "Henning Lagemann". The signature is written in a cursive style with a long horizontal flourish extending to the right.

Essen, im Mai 2015

*Dipl.-Wirtsch.-Ing. Henning Lagemann*

# Liste der Vorveröffentlichungen

- [1] LAGEMANN, Henning; BOSSLAU, Mario; MEIER, Horst: *The Influence of Dynamic Business Models on IPS<sup>2</sup> Network Planning – An Agent-Based Simulation Approach*. In: *Procedia CIRP* 30 (2015), S. 102–107. – ISSN 2212–8271
- [2] DORKA, Thomas M.; LAGEMANN, Henning; MEIER, Horst: *Quantitative Analysis of an IPS<sup>2</sup> Delivery Planning Approach*. In: *Procedia CIRP* 30 (2015), S. 474–479. – ISSN 2212–8271
- [3] LAGEMANN, Henning; TONN, Karsten; MEIER, Horst: *Charakterisierungsdimensionen hybrider Leistungsbündel: Implikationen für die Organisation von Erbringungsnetzwerken*. In: *wt Werkstattstechnik online* 104 (2014), Nr. 7/8, S. 424–429. – ISSN 1436–4980
- [4] LAGEMANN, Henning; DORKA, Thomas; MEIER, Horst: *Evaluation of an IPS<sup>2</sup> Delivery Planning Approach in Industry – Limitations and Necessary Adaptations*. In: *Procedia CIRP* 16 (2014), S. 187–192. – ISSN 2212–8271
- [5] LAGEMANN, Henning; MEIER, Horst: *Robust capacity planning for the delivery of Industrial Product-Service Systems*. In: *Procedia CIRP* 19 (2014), S. 99–104. – ISSN 2212–8271
- [6] MEIER, Horst; LAGEMANN, Henning; MORLOCK, Friedrich: *Erbringungsbewertung industrieller Dienstleistungen: Entwicklung eines Kennzahlensystems für die Planung und Erbringung*. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 108 (2013), Nr. 12, S. 931–935
- [7] MEIER, Horst; LAGEMANN, Henning; MORLOCK, Friedrich; RATHMANN, Christian: *Key performance indicators for assessing the planning and delivery of industrial services*. In: *2nd International Through-life Engineering Services Conference* 11 (2013), S. 99–104. – ISSN 2212–8271
- [8] MEIER, Horst; LAGEMANN, Henning; BOSSLAU, Mario: *Dynamic Influences on Workforce Capacity Planning for IPS<sup>2</sup> Delivery*. In: MEIER, Horst (Hrsg.): *Product-Service Integration for Sustainable Solutions*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013 (Lecture Notes in Production Engineering). – ISBN 978–3–642–30819–2, S. 323–334
- [9] MEIER, Horst; MORLOCK, Friedrich; LAGEMANN, Henning: *Service-Wertstromdesign: Integrativer Ansatz zur verschwendungsfreien Organisation der industriellen Dienstleistungserbringung*. In: *wt Werkstattstechnik online* 103 (2013), Nr. 7/8, S. 549–553. – ISSN 1436–4980
- [10] MEIER, Horst; LAGEMANN, Henning; DORKA, Thomas: *Requirements for transfer and application of IPS<sup>2</sup> resource planning: Case-study of a global machine tool manufacturer*. In: SHIMOMURA, Yoshiki (Hrsg.); KIMITA, Koji (Hrsg.): *The philosopher’s stone for sustainability*. Berlin, New York: Springer, 2012. – ISBN 978–3–642–32846–6, S. 423–428



# Kurzfassung

Hybride Leistungsbündel (HLB) sind integrierte, industrielle Sach- und Dienstleistungen, welche durch ihre konsequente Ausrichtung auf den Kundennutzen für Unternehmen des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus einen immer wichtiger werdenden Wettbewerbsfaktor darstellen. HLB werden in Netzwerken mit heterogenen Partnern und vielfältigen technischen und menschlichen Ressourcen erbracht, deren Planung und Gestaltung bestehende und werdende HLB-Anbieter vor große Herausforderungen stellt. Insbesondere die Bestimmung der optimalen Anzahl, Qualifikationen und Standorte von Servicetechnikern als wesentliche Kapazitätsdeterminante ist von äußerster Relevanz für die Fähigkeit des Netzwerks, hybride Leistungsbündel effektiv und effizient zu erbringen. Neben der Auswahl geeigneter Maßnahmen zur Anpassung der Kapazitätsbereitstellung müssen aber auch Veränderungen der Kapazitätsnachfrage berücksichtigt werden, welche z. B. aus der Einführung neuer Dienstleistungen oder Geschäftsmodelle resultieren können. Es ist daher das Ziel der vorliegenden Arbeit, eine Planungsmethode für das beschriebene Problem der strategischen Netzwerkplanung hybrider Leistungsbündel zu entwickeln.

Da analytische Verfahren in der durch eine hohe Komplexität gekennzeichneten HLB-Netzwerkplanung an ihre Grenzen stoßen, wird in dieser Arbeit eine simulationsgestützte Planungsmethode entwickelt. Diese soll Entscheidungsträger dazu befähigen, vielfältige strategische Handlungsalternativen unter Berücksichtigung zukünftiger, zum Planungszeitpunkt unsicherer Bedarfe quantitativ zu bewerten und die zur Sicherstellung einer effektiven und effizienten HLB-Erbringung am besten geeignete Alternative auszuwählen und umzusetzen. Ein wesentlicher Bestandteil der Methode ist ein Phasenmodell, welches die übergeordneten Aktivitäten zur kontinuierlichen Anpassung und Weiterentwicklung des Anbieternetzwerks definiert. Innerhalb der Planungsphase wird zur Untersuchung unterschiedlicher Zukunftsszenarien und möglicher Handlungsoptionen die anhand eines Ablaufmodells beschriebene Technik der simulationsgestützten Netzwerkplanung eingesetzt. Das agentenbasierte Simulationsmodell bildet die wesentlichen Akteure und Prozesse des betrachteten Anbieternetzwerks möglichst realitätsnah ab. Sowohl das Phasenmodell als auch das Simulationsmodell stützen sich auf ein Kennzahlensystem, welches eine umfassende Bewertung der HLB-Erbringung in Netzwerken ermöglicht.

Neben der Beschreibung der Architektur und Konzeption des Simulationsmodells wird auch eine prototypische Implementierung vorgestellt. Mit Hilfe dieser Implementierung konnte die entwickelte Methode im Rahmen eines Transferprojekts des Sonderforschungsbereichs Transregio 29 in realen Anwendungsfällen der Werkzeugmaschinenindustrie erfolgreich evaluiert werden. Ein fiktives, an reale Anwendungsfälle angelehntes Evaluationsszenario ist Bestandteil der Arbeit und wird abschließend vorgestellt.

Schlagwörter: Hybride Leistungsbündel, industrielle Dienstleistungen, Netzwerkplanung, Simulation



# Abstract

Industrial product-service systems (IPS<sup>2</sup>) are integrated, customer-focused solutions which provide superior customer value. They are increasingly gaining importance as a competitive factor for manufacturers in mechanical and plant engineering. IPS<sup>2</sup> are delivered in networks of heterogeneous partners and multiple technical and human resources. Current and future providers of IPS<sup>2</sup>, who need to plan and organize these networks, are facing enormous challenges. Especially determining the optimal number, qualifications and locations of service technicians is crucial for the capability of the provider network to deliver IPS<sup>2</sup> in an effective and efficient way. It is essential not only to select appropriate measures to adapt the capacity within the network but also to consider changes in capacity demand, which might result from internal changes such as the extension of the service portfolio or the change in business models. Accordingly, the objective of this work is to develop a strategic network planning method for IPS<sup>2</sup> delivery.

Due to the complexity of strategic IPS<sup>2</sup> network planning, analytical methods are of limited use for this planning task. For this reason, this thesis develops and introduces a suitable simulation-based planning method. This method enables decision makers to quantitatively analyze and evaluate diverse strategic management options. Considering expected future changes in demand, which are highly uncertain at the time of planning, the method supports in selecting and implementing the most beneficial measures to ensure the effective and efficient delivery of IPS<sup>2</sup>. An essential element of the presented method is a procedure model which defines the generic activities of continuously adapting and developing the provider network. Within the planning phase of this procedure model, the technique of simulation-based network planning is used to examine different management options in alternative future scenarios. For this purpose, the agent-based simulation model represents the major elements and processes of the regarded provider network as realistically as possible. Both the procedure model and the simulation model are based on a system of key performance indicators which allows for a comprehensive evaluation of IPS<sup>2</sup> delivery.

Besides describing the architecture and the concept of the simulation model, this work presents a prototypical implementation of the simulation model. This prototype has served to successfully apply and evaluate the developed method within a transfer project of the Collaborative Research Centre Transregio 29 in real use cases within the machine tool industry. A fictional but realistic evaluation scenario is presented at the end of this work.

Keywords: Industrial Product-Service Systems, industrial services, network planning, simulation



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung . . . . .	1
1.2	Zielsetzung. . . . .	4
1.3	Aufbau der Arbeit . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Begriffsabgrenzungen und Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1	Industrielle Dienstleistungen . . . . .	7
2.1.1	Dienstleistungen . . . . .	7
2.1.2	Definition industrieller Dienstleistungen . . . . .	9
2.2	Hybride Leistungsbündel. . . . .	11
2.2.1	Definition und Begriffsabgrenzung. . . . .	11
2.2.2	Lebenszyklus hybrider Leistungsbündel. . . . .	15
2.2.3	Charakteristika der Erbringung hybrider Leistungsbündel. . . . .	17
2.3	Netzwerkplanung zur Erbringung hybrider Leistungsbündel . . . . .	20
2.3.1	Grundlagen der HLB-Netzwerkplanung. . . . .	21
2.3.2	Kapazitätsplanung im Kontext der HLB-Netzwerkplanung . . . . .	23
2.4	Begriffliche und methodische Grundlagen der Planung . . . . .	27
2.4.1	Planung als Managementfunktion . . . . .	28
2.4.2	Phasen des Planungsprozesses . . . . .	29
2.4.3	Charakterisierung von Planungsaufgaben und -arten . . . . .	31
2.4.4	Modellbasierte Planung . . . . .	33
2.4.5	Planung als modellgestützter Strukturierungsprozess . . . . .	35
2.4.6	Simulationsgestützte Planung. . . . .	37
2.4.7	Szenariotechnik. . . . .	39
2.5	Fazit . . . . .	43
<b>3</b>	<b>Stand der Forschung und Technik</b>	<b>45</b>
3.1	Ansätze der Produktionsplanung . . . . .	45
3.1.1	Produktionsplanung und -steuerung . . . . .	45
3.1.2	Supply Chain Planung. . . . .	50
3.2	Ansätze der Planung der Dienstleistungserbringung . . . . .	52
3.2.1	Ansätze des Kapazitäts- und Ressourcenmanagements . . . . .	53
3.2.2	Analytische Lösungsansätze . . . . .	56

3.2.3	Simulationsbasierte Lösungsansätze . . . . .	58
3.3	Ansätze der Erbringungsplanung hybrider Leistungsbündel . . . . .	65
3.4	Fazit . . . . .	68
<b>4</b>	<b>Forschungsbedarf</b>	<b>69</b>
4.1	Vergleich und Bewertung der untersuchten Planungsansätze . . . . .	69
4.2	Forschungsfragen . . . . .	72
4.3	Methodisches Vorgehen . . . . .	73
<b>5</b>	<b>Konzeptionelle Vorüberlegungen</b>	<b>75</b>
5.1	Einfluss des Leistungsangebots auf die Erbringungsorganisation . . . . .	75
5.2	Rahmenkonzept für die Planung der HLB-Erbringung . . . . .	78
5.2.1	Ablaufmodell eines Erbringungsprozesses . . . . .	78
5.2.2	Ordnungsrahmen der Planungsaufgaben . . . . .	80
5.2.3	Gestaltungsrahmen der strategischen Netzwerkplanung . . . . .	83
5.3	Anforderungen an die simulationsgestützte HLB-Netzwerkplanung . . . . .	85
5.4	Fazit . . . . .	89
<b>6</b>	<b>Simulationsgestützte HLB-Netzwerkplanung</b>	<b>91</b>
6.1	Zielsystem der HLB-Erbringung . . . . .	91
6.1.1	Kennzahlen der HLB-Erbringung . . . . .	93
6.1.2	Entwicklung eines Kennzahlensystems . . . . .	96
6.2	Vorgehensmodell der HLB-Netzwerkplanung . . . . .	98
6.2.1	Phasenmodell des HLB-Netzwerkmanagements . . . . .	99
6.2.2	Ablaufmodell der simulationsgestützten HLB-Netzwerkplanung . . . . .	102
6.3	Architektur und Konzeption des Simulationsmodells . . . . .	105
6.3.1	Auswahl der Modellierungstechnik . . . . .	106
6.3.2	Komponenten des Simulationsmodells . . . . .	107
6.3.3	Zufallsvariablen im Simulationsmodell . . . . .	114
6.3.4	Lernen und Erfahrungsaufbau . . . . .	119
6.3.5	Parameter und Stellgrößen . . . . .	121
6.4	Prototypische Implementierung des Simulationsmodells . . . . .	123
6.4.1	Sichten des Simulationsmodells . . . . .	123
6.4.2	Schnittstellen und Datenaustausch . . . . .	126
6.5	Verifikation und Validierung . . . . .	127
6.6	Fazit . . . . .	129
<b>7</b>	<b>Evaluationsszenario</b>	<b>131</b>
7.1	Anwendung der simulationsgestützten HLB-Netzwerkplanung . . . . .	131
7.1.1	Analyse der Ausgangssituation . . . . .	132
7.1.2	Prognose der zukünftigen Entwicklung . . . . .	133
7.1.3	Simulationsgestützte Maßnahmenableitung und -bewertung . . . . .	134
7.2	Abschließende Bemerkungen und Reflektion der Methodik . . . . .	137

<b>8 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>139</b>
8.1 Zusammenfassung. . . . .	139
8.2 Ausblick. . . . .	141
<b>Anhang A Abbildungen zu Forschungsansätzen</b>	<b>143</b>
A.1 Kapazitätsmanagement von Dienstleistungsunternehmen nach SCHNITTKA . .	143
A.2 Personalbedarfsplanung in der Instandhaltung nach MJEMA . . . . .	144
A.3 Methode zur Serviceplanung und simulativen Bestimmung der Servicefähigkeit auf Basis des Ausfallverhaltens von Maschinenkomponenten nach BEHMANN .	146
A.4 Datenmodell der Kapazitätsplanung nach HÜBBERS. . . . .	147
<b>Anhang B Mathematische Erläuterungen</b>	<b>149</b>
B.1 Lineares Lerngesetz . . . . .	149
B.2 Berechnung der Ressourcenflexibilität . . . . .	150
B.2.1 Ressourcenflexibilitätpotential . . . . .	150
B.2.2 Ressourcenflexibilitätsnutzungsgrad . . . . .	150
B.2.3 Berechnungsbeispiele . . . . .	151
<b>Anhang C Bildschirmfotos des prototypisch implementierten Simulationsmo- dells</b>	<b>153</b>
<b>Anhang D Ergänzende Informationen zum Evaluationsszenario</b>	<b>161</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>165</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>167</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>201</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>203</b>
<b>Schriftenreihe des Lehrstuhls für Produktionssysteme</b>	<b>205</b>
<b>Lebenslauf</b>	<b>213</b>