

Risk in Manufacturing Supply Networks

Disruption Impact Assessment, Supply Risk
Identification and Exposure Measurement

Marc Wiedenmann



Risk in Manufacturing Supply Networks
—
**Disruption Impact Assessment, Supply Risk Identification and
Exposure Measurement**

Von der Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines Doktors der
Wirtschafts- und Sozialwissenschaften (Dr. rer. pol.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von
Marc Wiedenmann
aus Nördlingen

Hauptberichter: Professor Dr. Andreas Größler

Mitberichter: Professor Dr. Thomas Bauernhansl

Tag der mündlichen Prüfung: 19.01.2022

Betriebswirtschaftliches Institut der Universität Stuttgart

2022

Berichte aus der Betriebswirtschaft

Marc Wiedenmann

Risk in Manufacturing Supply Networks

Disruption Impact Assessment, Supply Risk Identification
and Exposure Measurement

D 93 (Diss. Universität Stuttgart)

Shaker Verlag
Düren 2022

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2022

Copyright Shaker Verlag 2022

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-8542-6

ISSN 0945-0696

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Phone: 0049/2421/99011-0 • Telefax: 0049/2421/99011-9

Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Doktorarbeit entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand an der Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering (GSaME) der Universität Stuttgart. Die Promotion ist der Nachweis der Befähigung zu eigenständiger, vertiefter wissenschaftlicher Arbeit. Dennoch ist die Annahme, dass dieser Weg allein bewältigt werden muss, ein Irrtum. Einige tragen dazu bei, den Weg zu ebnen, andere unterstützen dabei, den richtigen Kurs zu halten.

Mein Dank gilt daher zunächst Herrn Prof. Dr. Größler, meinem Doktorvater, für die wissenschaftliche Betreuung dieser Arbeit. Mit weitreichenden Ideen und einer ganzheitlichen Sichtweise haben Sie eine fundierte Herangehensweise an das Forschungsprojekt gefördert. Sie gewährten mir viel Freiraum bei der thematischen Gestaltung meiner Doktorarbeit und standen jederzeit mit konstruktiver Unterstützung und für Diskussionen zur Verfügung. Ferner danke ich den Mitarbeitern und Professoren der GSaME für die Unterstützung, die gute Zusammenarbeit sowie den fachlichen und persönlichen Austausch.

Ebenso möchte ich meinen Kollegen am Lehrstuhl für Produktionswirtschaft der Universität Stuttgart und an der GSaME danken. In enger Zusammenarbeit wurden Lehrveranstaltungen organisiert und Forschungsprojekte vorangetrieben. Doch das Miteinander begann erst an diesem Punkt. Wenn aus Kollegen Freunde werden, hat sich der Weg gelohnt.

Ein besonderer Dank richtet sich an meine Familie für die unentwegte Unterstützung von Kindesbeinen an und für die Freiheiten, die ich seither genießen durfte. Im Speziellen meinen Eltern Renate und Willi sind meine persönliche Entwicklung sowie mein intellektueller Werdegang zuzuschreiben. Abschließend gilt mein Dank Sara, die mich jeden Tag aufs Neue inspiriert und weiterhin an meiner Seite steht.

Ihnen ist diese Arbeit gewidmet.

Table of Contents

List of Figures	IV
List of Tables.....	V
List of Equations.....	VI
List of Abbreviations.....	VII
Summary	VIII
Zusammenfassung	X
1. Introduction	1
1.1 <i>Problem Statement and Research Questions</i>	<i>5</i>
1.2 <i>Objectives and Scientific Approach.....</i>	<i>7</i>
1.3 <i>Structure of the Dissertation.....</i>	<i>10</i>
2. Supply Risk Management: Defining a Common Ground	13
2.1 <i>Risk in an Economic Context.....</i>	<i>14</i>
2.2 <i>Risk Management</i>	<i>16</i>
2.3 <i>Supply Risk.....</i>	<i>18</i>
2.3.1 <i>Differentiating between Supply Risk, Supply Chain Risk and Supplier Risk</i>	<i>18</i>
2.3.2 <i>Defining Supply Risk</i>	<i>20</i>
2.4 <i>Supply Risk Management.....</i>	<i>22</i>
2.4.1 <i>Defining Supply Risk Management.....</i>	<i>23</i>
2.4.2 <i>Supply Risk Management Process Model</i>	<i>24</i>
2.5 <i>Manufacturing Supply Networks</i>	<i>26</i>
2.6 <i>Summary.....</i>	<i>28</i>

3. Proactive Disruption Impact Assessment in Manufacturing Supply Networks.....	29
3.1 Risk Assessment in the Literature	31
3.1.1 Supply Disruption and Risk Management	31
3.1.2 Disruption Risk Assessment	32
3.1.3 Value-at-Risk and Conditional Value-at-Risk in Disruption Risk Assessment.....	34
3.2 Methodological Approach: Value-at-Risk and Monte Carlo Simulation	38
3.2.1 Identification of Simple Theory of Supply Disruption Impact Assessment	38
3.2.2 Selection of a Simulation Approach	39
3.3 Development of Supply Disruption Indicators.....	40
3.4 A Case Study within Manufacturing Supply Networks	45
3.5 Summary.....	49
4. Identification of Supply Risk in Manufacturing Supply Networks.....	51
4.1 Risk Identification in the Literature.....	52
4.2 Methodological Approach: Mixed Methods Research	53
4.3 Relevant Literature on Supply Risk Management.....	55
4.4 A Framework for Supply Risk in Manufacturing Supply Networks.....	57
4.4.1 Supply Risk Dimensions	58
4.4.2 Supply Risk Factors.....	60
4.5 Summary.....	70
5. Supply Risk Exposure Measurement in Manufacturing Supply Networks	71
5.1 Risk Measurement in the Literature.....	72
5.2 Methodological Approach: Index Construction	75
5.2.1 First-order Construct Operationalization	78
5.2.2 Second-order Construct Operationalization.....	79
5.2.3 Indicator Weighting.....	81
5.3 Data Collection.....	82
5.4 An Index for Measuring Supply Risk Exposure.....	84

5.4.1	First-order Construct Operationalization	85
5.4.2	Second-order Construct Operationalization.....	89
5.4.3	Indicator Weighting	95
5.5	Summary	97
6.	Conclusion	100
6.1	Research Contribution and Practical Relevance	100
6.1.1	Proactive Disruption Impact Assessment in Manufacturing Supply Networks.....	100
6.1.2	Identification of Supply Risk in Manufacturing Supply Networks	102
6.1.3	Supply Risk Exposure Measurement in Manufacturing Supply Networks	103
6.2	Research Limitations and Future Work	103
6.2.1	Proactive Disruption Impact Assessment in Manufacturing Supply Networks.....	104
6.2.2	Identification of Supply Risk in Manufacturing Supply Networks	104
6.2.3	Supply Risk Exposure Measurement in Manufacturing Supply Networks	106
	References	107
	Appendix	125
	<i>Appendix 1: Definitions of the Term SCR</i>	125
	<i>Appendix 2: Explorative Expert Interview Guidelines</i>	126
	<i>Appendix 3: Validation Interview Guidelines</i>	130
	<i>Appendix 4: Results of the Literature Review on existing Supply Risk Typologies</i>	138
	<i>Appendix 5: Detailed Overview of the developed Supply Risk Framework</i>	141
	<i>Appendix 6: Supply Risk Exposure—Aggregated Construct</i>	143
	<i>Appendix 7: Questionnaire—Operationalization of the Supply Risk Exposure Index</i>	144

List of Figures

Figure 1: Annual publications in supply risk management since 2000.....	4
Figure 2: Research framework of the dissertation	10
Figure 3: Overall structure of the dissertation.....	12
Figure 4: Overview of the structure of Chapter 2	13
Figure 5: Differentiation between risk and opportunity.....	15
Figure 6: The evolution of risk management	16
Figure 7: Differentiating between supply chain risk, supply risk and supplier risk.....	20
Figure 8: The fundamental concept of supply chain risk management.....	23
Figure 9: Supply risk management process model.....	25
Figure 10: Manufacturing supply networks	27
Figure 11: Risk assessment indicators in the literature	33
Figure 12: Methodological approach of Chapter 3	38
Figure 13: Exemplary calculation of I_{SDavg} , SDC, I_{SD95} and I_{SDtail}	44
Figure 14: Supply disruption risk matrix and treatment strategies	45
Figure 15: Graphical representation and results of the case study.....	47
Figure 16: Derived risk treatment strategies for the use case conducted	48
Figure 17: Methodological approach of Chapter 4	55
Figure 18: Annual distribution of publications from 2000 - 2019	57
Figure 19: Number of considerations of various risk dimensions in the literature	59
Figure 20: Supply risk dimensions in manufacturing supply networks	60
Figure 21: Supply risk framework including risk dimensions and risk factors	61
Figure 22: Supply risk exposure—schematic aggregated construct	74
Figure 23: Methodological approach of Chapter 5	77
Figure 24: Convergent validity assessment—schematic structure.....	92
Figure 25: Nomological validity assessment—schematic structure.....	94
Figure 26: Supply risk exposure measurement index	99

List of Tables

Table 1: Historical and current examples of realized supply risk	2
Table 2: Definitions of the term supply risk in the literature	21
Table 3: Publications adopting a VaR / CVaR approach within the field of risk management in supply networks.....	37
Table 4: Supply disruption simulation variables	42
Table 5: Supply disruption indicators developed	42
Table 6: Exemplary input data based on the probability distributions for parameters.....	43
Table 7: Overview of the case study data.....	46
Table 8: Organizational and interviewee characteristics.....	54
Table 9: Distribution of papers according to the databases included.....	56
Table 10: Quality risk factors.....	63
Table 11: Delivery risk factors.....	64
Table 12: Collaboration risk factors.....	66
Table 13: Economic risk factors.....	68
Table 14: Ambience risk factors	69
Table 15: Compliance risk factors	70
Table 16: First-order construct assessment	79
Table 17: Second-order construct assessment.....	81
Table 18: Organizational and respondent characteristics.....	84
Table 19: Indicator collinearity assessment	85
Table 20: Statistical significance and relevance of the indicators (1 st examination)	86
Table 21: Statistical significance and relevance of the indicators (final examination).....	87
Table 22: Individual indicator validity.....	89
Table 23: First-order collinearity assessment.....	90
Table 24: Statistical significance and relevance of the first-order dimensions	90
Table 25: Dimension intercorrelations (1st examination).....	91
Table 26: Dimension intercorrelations (final examination)	91
Table 27: Inbound supply performance measurement construct.....	95
Table 28: Indicator weighting—statistical assessment	96
Table 29: Indicator weighting—evaluation.....	96
Table 30: Index construction—descriptive statistics.....	98

List of Equations

Equation 1: Calculation of indirect financial impact	38
Equation 2: Calculation of the expected period of disruption.....	39
Equation 3: Calculation of the amount of damage per time period (lost profit)	39

List of Abbreviations

AVE.....	<i>Average variance extracted</i>
CB.....	<i>Covariance-based</i>
CVaR.....	<i>Conditional Value-at-Risk</i>
DEA.....	<i>Data envelopment analysis</i>
ICC.....	<i>Intraclass correlation coefficient</i>
I _{SD}	<i>Indirect financial impact</i>
I _{SD95}	<i>Financial impact of supply disruption at a confidence level of 95%</i>
I _{SDavg}	<i>Average financial disruption impact</i>
I _{SDtail}	<i>Mean financial impact of supply disruption of the outlying 5%</i>
MCS.....	<i>Monte Carlo simulation</i>
n _{pavg}	<i>Average net price</i>
PLS.....	<i>Partial least squares</i>
PM.....	<i>Profit margin</i>
P _{SD}	<i>Loss of profit</i>
SCR.....	<i>Supply chain risk</i>
SCRM.....	<i>Supply chain risk management</i>
SDC.....	<i>Supply disruption compensation</i>
SDI.....	<i>Supply disruption indicator</i>
SEM.....	<i>Structural equation modeling</i>
S _{pes}	<i>Expected number of products sold</i>
SR.....	<i>Supply relation</i>
SRM.....	<i>Supply risk management</i>
T _{SD}	<i>Duration of supply disruption</i>
T _{SD_ES}	<i>Estimated time of supply disruption</i>
T _{SR}	<i>Storage range</i>
VaR.....	<i>Value-at-Risk</i>
VIF.....	<i>Variance inflation factor</i>

Summary

In recent years, various trends such as just-in-time delivery, shorter product lifecycles, outsourcing, or lean management strategies have changed the way supply networks are administered. The implementation of these philosophies promises an improvement of the company's performance, but at the same time may lead to a reduction of redundant stocks and operational slack. Companies are therefore increasingly exposed to the risk profile of their supply network and managing this risk is gaining in importance in a tightly interconnected global and competitive business environment. To manage and alleviate potential negative impacts, supply risk management aims to prevent failure and disruptions and the adverse effects arising from the upstream supply chain from having negative impact on inbound supply performance. The focus of this doctoral thesis is on supply risk within manufacturing supply networks. Particularly in this industrial sector, where the value added by a company is often less than one third, supply risk management is increasingly gaining in importance. Nevertheless, there is a lack of systematic approaches to supply risk management. To advance the development of a comprehensive approach in the manufacturing industry, this dissertation addresses three corresponding aspects: Supply disruption impact assessment, supply risk identification as well as the development of a measurement instrument to evaluate supply risk exposure of manufacturing companies.

Failure to manage supply risk can be very costly for companies and can cause significant delays in the subsequent supply chain. In past years, more frequent and more severe supply disruptions have led to a growing interest in assessing their potential consequences. Thus, in this dissertation, four supply disruption indicators are derived to proactively assess the potential financial impact of supply disruptions. The stochastic nature of potential supply disruptions is modeled adopting a Monte Carlo and Value-at-Risk simulation approach. Quantitative, objective data and qualitative, subjective estimates by managers are combined to improve proactive risk-related decision-making at a company-level.

Furthermore, identifying the actual and relevant risks is the foundation of any risk management process. To manage risks effectively, they must be known to the company. Therefore, within this doctoral thesis, a holistic framework of supply risk valid within the manufacturing industry is developed based on a mixed methods research approach. This leads to the distinction of six supply risk dimensions and 27 subordinate risk factors. A holistic foundation for the management of supply risk is thus created. This overview of identified risks offers a novel

perspective on risk within manufacturing supply networks that can be helpful in researching assessment and mitigation strategies.

Decision-makers must quantify risks ex-ante to evaluate and compare various responses aimed at limiting the supply risk to which a company is exposed. Therefore, an instrument to measure the exposure of supply risk a company is confronted with is required. Thus, the holistic supply risk framework developed within this dissertation is operationalized to allow for empirical observation. Concretely, a validated index to estimate a manufacturing company's supply risk exposure is provided which contributes to recent scientific developments in the field. This helps managers to better assess the potential impact of supply risk on inbound supply performance and to derive appropriate countermeasures.

Zusammenfassung

In den vergangenen Jahren haben verschiedene Trends wie Just-in-time-Lieferung, kürzer werdende Produktlebenszyklen, Outsourcing oder Lean-Management Strategien die Art und Weise verändert, wie Liefernetzwerke organisiert sind. Die Umsetzung dieser Philosophien verspricht zwar eine Steigerung des Unternehmensergebnisses, kann aber gleichzeitig zu einem Abbau von redundanten Beständen und operativen Spielräumen führen. Die Unternehmen sind deshalb verstärkt dem Risikoprofil ihres Liefernetzwerks ausgesetzt. Daher gewinnt das Risikomanagement innerhalb von Liefernetzwerken in einem eng verflochtenen, globalen und kompetitiven Unternehmensumfeld zunehmend an Bedeutung. Zur Steuerung und Minderung potenziell negativer Auswirkungen auf die Performance von Unternehmen, zielt das Supply Risk Management darauf ab, Störungen und Unterbrechungen in Liefernetzwerken zu verringern. Der Fokus dieser Dissertation liegt auf dem Versorgungsrisiko innerhalb von Liefernetzwerken der verarbeitenden Industrie. Gerade in diesem Industriesektor, in dem der Wertschöpfungsanteil eines Unternehmens am Gesamtprodukt oft weniger als ein Drittel beträgt, gewinnt das Supply Risk Management zunehmend an Bedeutung. Dennoch mangelt es an systematischen Ansätzen für das Management dieser Risiken. Um die Entwicklung eines umfassenden Ansatzes in der verarbeitenden Industrie voranzutreiben, befasst sich diese Dissertation mit drei entsprechenden Aspekten: Der proaktiven Bewertung der Auswirkungen von Disruptionen in Liefernetzwerken, der Identifikation der Versorgungsrisiken sowie der Entwicklung eines Messinstruments zur Bestimmung der Risikoexposition verarbeitender Unternehmen.

Ein mangelndes Management des Versorgungsrisikos kann für Unternehmen sehr kostspielig sein und zu erheblichen Verzögerungen in der nachfolgenden Lieferkette führen. In den vergangenen Jahren haben häufigere und schwerwiegendere Disruptionen in Wertschöpfungsnetzwerken zu einem wachsenden Interesse an der Bewertung ihrer möglichen Folgen geführt. Daher werden in dieser Dissertation vier Indikatoren abgeleitet, um die potenziellen finanziellen Auswirkungen von Disruptionen in Liefernetzwerken proaktiv zu bewerten. Die stochastische Natur solcher potenziellen Lieferunterbrechungen wird durch die Anwendung eines Monte Carlo- und Value-at-Risk-Simulationsansatzes modelliert. Quantitative, objektive Daten und qualitative, subjektive Beurteilungen durch Experten werden verknüpft, um die proaktive risikobezogene Entscheidungsfindung auf Unternehmensebene zu verbessern.

Zudem stellt die Identifikation der tatsächlichen und relevanten Risiken die Grundlage jedes Risikomanagementprozesses dar. Um Risiken effektiv zu managen, müssen diese dem Unternehmen bekannt sein. Daher wird in der vorliegenden Dissertation basierend auf der Kombination von theoretischem Wissen und empirischen Erkenntnissen ein ganzheitlicher Rahmen für das Versorgungsrisiko in der verarbeitenden Industrie entwickelt. Dies führt zur Unterscheidung von sechs Dimensionen des Versorgungsrisikos und insgesamt 27 untergeordneten Risikofaktoren. Damit wird eine ganzheitliche Grundlage für das Management des Versorgungsrisikos geschaffen. Der Überblick über die identifizierten Risiken eröffnet eine neue Perspektive auf das Risiko innerhalb der Liefernetzwerke der verarbeitenden Industrie, die bei der Erforschung von Bewertungs- und Minderungsstrategien hilfreich sein kann.

Des Weiteren müssen Entscheidungsträger die Risikoexposition eines Unternehmens ex-ante quantifizieren können, um verschiedene Maßnahmen zur Begrenzung des Versorgungsrisikos, dem ein Unternehmen ausgesetzt ist, bewerten und vergleichen zu können. Es wird daher ein Instrument zur Bestimmung der Risikoexposition, welches Unternehmen ausgehend von ihren Liefernetzwerken erfahren, benötigt. Hierfür wird das im Rahmen dieser Dissertation entwickelte ganzheitliche Rahmenwerk zum Versorgungsrisiko operationalisiert, um es anhand empirischer Beobachtung fassbar zu machen. Konkret wird ein validierter Index zur Bestimmung der Risikoexposition eines Unternehmens der verarbeitenden Industrie entworfen, der an die jüngsten wissenschaftlichen Entwicklungen auf diesem Gebiet anknüpft. Aus praktischer Perspektive können damit die potenziellen Auswirkungen des Versorgungsrisikos auf die Leistung der eingehenden Lieferungen besser eingeschätzt und geeignete Gegenmaßnahmen abgeleitet werden.