



# Ressourcen-FMEA:

Eine Methodik zur ganzheitlichen Berücksichtigung  
versorgungskritischer Ressourcen  
in Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus

Vom Fachbereich Maschinenbau  
an der Technischen Universität Darmstadt  
zur  
Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von  
Sandra Link, M.Sc.  
aus Frankfurt am Main

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Eckhard Kirchner  
Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Joachim Metternich

Tag der Einreichung: 30.05.2017  
Tag der mündlichen Prüfung: 27.09.2017

Darmstadt 2017  
D17

Schriftenreihe Produktentwicklung und Maschinenelemente

Band 2

**Sandra Link**

## **Ressourcen-FMEA**

Eine Methodik zur ganzheitlichen Berücksichtigung  
versorgungskritischer Ressourcen in Unternehmen  
des Maschinen- und Anlagenbaus

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag  
Aachen 2017

**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.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2017

Copyright Shaker Verlag 2017

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5608-2

ISSN 2567-692X

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)

---

## Vorwort

Ressourcen spielen für die Wertschöpfung jedes Unternehmens des Maschinen- und Anlagenbaus eine wichtige Rolle. Sie sind Grundlage für die Produkte der Unternehmen, mit denen diese ihren wirtschaftlichen Erfolg und ihre Zukunftsfähigkeit sichern. Dabei müssen die erforderlichen Ressourcen zuverlässig zur Verfügung stehen. Kommt es aber bei diesen Ressourcen zu Versorgungsengpässen, kann der gesamte Umsatz und somit die Existenz des Unternehmens gefährdet sein.

Auch das Erstellen einer Dissertation erfordert diverse Ressourcen<sup>1</sup>. Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet Produktentwicklung und Maschinenelemente (pmd) der Technischen Universität Darmstadt. Nach mehreren Jahren ressourcenintensiver Arbeit ist es an der Zeit mich bei all den Menschen zu bedanken, die mir diese Promotion ermöglicht und mich auf verschiedenen Ebenen mit unterschiedlichen Ressourcen unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt dabei Herrn Prof. Dr.-Ing. Eckhard Kirchner für seine wertvollen Anregungen sowie für seine Bereitschaft sich auch zu einem fortgeschrittenen Zeitpunkt meiner Forschungstätigkeit noch aktiv einzubringen und mein Promotionsvorhaben zu unterstützen. Herrn Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Joachim Metternich danke ich für die freundliche Übernahme des Korreferates.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Groche für das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse sowie für die fachlichen Diskussionen und konstruktiven Anmerkungen in seiner Zeit als kommissarischer Fachgebietsleiter. Herrn Dr.-Ing. Hermann Kloberdanz möchte ich zusätzlich einen besonderen Dank dafür aussprechen, dass er mich gefördert, unterstützt und in meinem Promotionsvorhaben bestärkt hat.

Ohne die hervorragende Zusammenarbeit mit engagierten Kooperationspartnern wären viele Ergebnisse dieser Arbeit nicht zustande gekommen, weshalb den beteiligten Personen und Unternehmen mein großer Dank gilt. An erster Stelle ist dabei der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA) zu nennen, der die finanziellen Ressourcen für meine Tätigkeit bereitgestellt hat. In diesem Zusammenhang gilt mein Dank insbesondere Frau Naemi Denz, Herrn Sven Laux und Herrn Dr.-Ing. Hermann Kloberdanz, die das Kooperationsprojekt zwischen dem VDMA und dem pmd möglich gemacht haben. Frau Denz war mir während des Projektes stets ein sehr kompetenter Gesprächspartner und hat dabei meine fachliche und persönliche Weiterentwicklung entscheidend mitgeprägt. Weiterhin bedanke ich mich bei allen beteiligten Unternehmensvertretern, die durch das Bereitstellen der Ressourcen Zeit, Wissen, Erfahrung und Praxisbeispiele im Rahmen von Experteninterviews und Workshops wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen

---

<sup>1</sup> Ich erlaube mir den Begriff *Ressource* hier freier zu interpretieren als dies für die vorliegende Arbeit gilt.

haben. Hierbei sind besonders die Mitarbeiter der Alfred Kärcher GmbH & Co. KG und der KHS GmbH hervorzuheben, denen ich für die angenehme und konstruktive Zusammenarbeit danke.

Weiterhin gilt mein Dank den aktiven und ehemaligen Kollegen des Fachgebiets pmd sowie der Abteilung Technik, Umwelt und Nachhaltigkeit des VDMA. Die intensive Zusammenarbeit, der gute Zusammenhalt der Mitarbeiter, die selbstverständliche gegenseitige Unterstützung sowie die vielen fachlichen (und persönlichen) Gespräche haben einen großen Teil zu dieser Arbeit beigetragen. Ich danke außerdem allen Personen, die im Rahmen von studentischen Arbeiten oder Hiwi-Arbeiten einen unterstützenden Beitrag geleistet haben.

Besonderer Dank gebührt an dieser Stelle auch meiner Familie und meinem Freund Dominik für die unermüdliche Stärkung und Motivierung sowie für ihr stets offenes Ohr. Sie haben mich auf meinem Weg begleitet und mich insbesondere im Falle drohender Engpässe unterstützt.

Darmstadt, im Oktober 2017

*Sandra Link*

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>X</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>XII</b>
<b>Abkürzungen</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	1
1.2 Ziel der Forschungsarbeit .....	3
1.3 Aufbau der Arbeit .....	4
<b>2 Stand der Forschung</b> .....	<b>6</b>
2.1 Ressourcen .....	6
2.2 Engpassbetrachtungen in unterschiedlichen Kontexten .....	7
2.2.1 Kritikalitätsstudien .....	7
2.2.2 Supply Chain Management .....	9
2.2.3 Risikomanagement und Supply Chain Risk Management .....	10
2.2.4 Beschaffung .....	11
2.2.5 Verbindung von Beschaffung und Produktentwicklung .....	12
2.2.6 Theory of Constraints .....	13
2.3 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) .....	14
2.3.1 Vorteile der FMEA .....	14
2.3.2 FMEA-Arten .....	15
2.3.3 Prinzipielles Vorgehen bei der FMEA .....	16
2.3.4 Schwachstellen und Kritikpunkte der FMEA .....	17
2.3.5 Weiterentwicklungen der FMEA .....	19
2.4 Erfolgsmessung im industriellen Alltag .....	20
2.4.1 Kennzahlen und ihre Bedeutung .....	20
2.4.2 Anforderungen an Kennzahlen .....	22
2.4.3 Skalenniveaus von Messgrößen .....	23
2.4.4 Darstellungsformen .....	25
2.5 Überblick über die Systemtheorie .....	26
2.5.1 System und Systemstruktur .....	26
2.5.2 Systemkonzepte .....	26
2.6 Modellierung von technischen Prozessen .....	27
2.6.1 Prozessstrukturmodell .....	28
2.6.2 Erweitertes Prozessmodell .....	28
2.7 Modellierung von Objekten mit Hilfe von Eigenschaften .....	29
<b>3 Forschungsbedarf und Konkretisierung der Zielsetzung</b> .....	<b>32</b>
3.1 Ausgangssituation und abgeleitete Problemstellung .....	32
3.2 Abgleich der Problemstellung mit der Praxis .....	35

---

3.3 Zielkonkretisierung und Forschungsfragen .....	37
3.4 Abgrenzung und Charakterisierung der Zielgruppe .....	38
<b>4 Grundlagen der Forschungsarbeit und Methodikansatz .....</b>	<b>40</b>
4.1 Ressourcen im Lebenslauf von Produkten .....	40
4.2 Begriffsverständnis von Ressourcen und deren Kategorisierung .....	41
4.3 Versorgungengpässe bei Ressourcen .....	47
4.3.1 Definieren und Modellieren von Versorgungengpässen .....	47
4.3.2 Entstehen von Engpässen .....	52
4.3.3 Mögliche Folgen von Engpässen .....	56
4.3.4 Charakteristika von Engpässen .....	57
4.3.5 Strategien im Umgang mit Engpässen .....	59
4.3.6 Übergang zur Kritikalitätsbetrachtung .....	61
4.4 Erfassung von Versorgungengpässen – die Kritikalitätsbetrachtung .....	62
4.4.1 Begriffsbestimmung Kritikalität .....	63
4.4.2 Auftretenswahrscheinlichkeit eines Engpasses .....	64
4.4.3 Bedeutung des Engpasses im Falle seines Auftretens .....	65
4.4.4 Charakteristika von Kritikalität .....	68
4.4.5 Kosten als Maß für die Kritikalität .....	69
4.5 Einflussbereich der Produktentwicklung .....	73
4.5.1 Allgemeine Aufgabe der Produktentwicklung .....	74
4.5.2 Einflussmöglichkeit der Entwicklung auf die Kritikalität .....	75
4.5.3 Grenzen der Einflussmöglichkeiten der Entwicklung .....	76
4.6 Methodikansatz .....	77
4.6.1 Anforderungen an die Methodik .....	77
4.6.2 Methodikansatz zur Berücksichtigung von Kritikalität .....	79
<b>5 Ressourcen-FMEA als Kritikalitätsmethodik .....</b>	<b>82</b>
5.1 Grundsätzliches zur Ressourcen-FMEA .....	82
5.1.1 Abgrenzung zur klassischen FMEA .....	82
5.1.2 Betrachtungsgegenstand und Betrachtungstiefe .....	83
5.1.3 Referenzprodukt für die Ressourcen-FMEA .....	85
5.1.4 Leistungsmerkmale der Untersuchungsobjekte .....	85
5.2 Vorgehensmodell der Ressourcen-FMEA .....	86
5.3 Phase 1: Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens .....	87
5.4 Phase 2: Grobanalyse .....	89
5.4.1 Ressourcenüberblick (Schritt I) .....	89
5.4.2 Abgleich mit bekannten kritischen Ressourcen (Schritt II) .....	90
5.4.3 Stücklistenanalyse (Schritt III) .....	90
5.4.4 Ergebniszusammenführung und Auswertung (Schritt IV) .....	93
5.4.5 Flexibler Ablauf der Grobanalyse .....	94

---

5.5 Phase 3: Feinanalyse .....	95
5.5.1 Strukturanalyse (Schritt I) .....	96
5.5.2 Engpassanalyse (Schritt II) .....	99
5.5.3 Implementierte Maßnahmen (Schritt III) .....	107
5.5.4 Engpassbewertung (Schritt IV) .....	109
5.5.5 Maßnahmenplanung (Schritt V) .....	116
5.5.6 Flexibler Ablauf der Feinanalyse .....	119
5.6 Phase 4: Auswertung und Entscheidung .....	120
5.7 Phase 5: Maßnahmenumsetzung und Überwachung .....	121
5.8 Zwischenfazit zur Ressourcen-FMEA .....	121
<b>6 Erweiterte Betrachtung der Maßnahmenfindung in der Produktentwicklung ....</b>	<b>124</b>
6.1 Stellenwert von Maßnahmen im Entwicklungsprozess .....	124
6.2 Entwicklungshinweise als Hilfestellung zur Beeinflussung der Kritikalität .....	125
6.3 Quellen zum Ermitteln von Maßnahmen .....	128
6.3.1 Ableiten von Maßnahmen aus der Ressourcen-FMEA .....	128
6.3.2 Ableiten von Maßnahmen aus allgemeinen Entwicklungshinweisen .....	129
6.4 Übertragbarkeit des Ansatzes auf andere Unternehmensfunktionen .....	129
<b>7 Konsequenzen für die Umsetzung der Kritikalitätsbetrachtung .....</b>	<b>130</b>
7.1 Kritikalitätsbetrachtung als kontinuierlicher proaktiver Prozess .....	130
7.2 Eingebundene Unternehmensfunktionen .....	131
7.3 Früherkennungssysteme .....	133
7.4 Wissenstransfer durch Informations- und Wissensmanagement .....	134
<b>8 Evaluation .....</b>	<b>135</b>
8.1 Theoretische Vorüberlegungen zur Evaluation .....	135
8.2 Anwendung der Methodik am Beispiel einer Getränkeabfüllmaschine .....	136
8.2.1 Beschreibung der analysierten Getränkeabfüllmaschine .....	136
8.2.2 Durchführung der Ressourcen-FMEA .....	138
8.2.3 Erkenntnisse aus der Methodikanwendung .....	146
8.3 Erfüllungsgrad der Anforderungen .....	149
<b>9 Fazit und Ausblick .....</b>	<b>152</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>157</b>
<b>Glossar .....</b>	<b>173</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>178</b>
<b>Eigene Veröffentlichungen .....</b>	<b>192</b>