

# Positionierung von Flexibilität in der Supply Chain

Dr. Immanuel Zitzmann

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insbes. Produktion und Logistik, Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Feldkirchenstraße 21, 96052 Bamberg,  
immanuel.zitzmann@uni-bamberg.de

1	Einführung .....	39
2	Unsicherheiten und Flexibilität in Supply Chains .....	40
3	Simulationsstudien zur Positionierung von Flexibilität in Supply Chains .....	44
4	Flexibilitätsnutzen aus unterschiedlichen Positionierungen .....	48
5	Schlussbetrachtung .....	53
6	Literaturverzeichnis .....	54

*Abstract:*

*Reale Prozesse sind immer von Unsicherheit geprägt. Dies gilt auch für Prozesse in einer Supply Chain. Um diese robust, resilient und agil zu gestalten, bedarf es Flexibilitätspotenziale. Da deren Aufbau mit Kosten verbunden ist, ist Flexibilität an der Stelle im Güterfluss einer Supply Chain zu positionieren, an dem sie einen hohen Nutzen erzeugt. Der vorliegende Beitrag untersucht, wo Flexibilitätspotenziale in einer Supply Chain den höchsten Beitrag zur Bewältigung von Unsicherheiten leisten können. Dies geschieht anhand der Ergebnisse aus zwei Simulationsstudien.*

JEL Classification: M29

Keywords: Unsicherheit, Flexibilität, Supply Chain

## 1 Einführung

Die Erstellung von Gütern, ob Produkten oder Dienstleistungen, findet in Supply Chains statt.<sup>1</sup> Unter einer Supply Chain kann dabei ein „[...] produkt- und/oder dienstleistungsbezogenes, institutionsübergreifendes Netzwerk zur Leistungserstellung, bestehend aus Ressourcen, welche durch wechselseitige Prozesse in Verbindung miteinander stehen [...]“<sup>2</sup> verstanden werden. Diese, im Unternehmenskontext als Wertschöpfungsnetzwerke bezeichneten Systeme, sind durch globale und komplexe Strukturen gekennzeichnet.<sup>3</sup> Das Ausmaß weltweiter Supply Chains macht diese verletzlich gegenüber Unsicherheiten.<sup>4</sup> Dabei sind sie nicht nur von Ereignissen in der unmittelbaren Nähe der eigenen Produktionsstätten oder der Kunden betroffen, sondern auch von geographisch weit entfernten Entwicklungen.<sup>5</sup> Beispiele für regionale Ereignisse, die Auswirkungen auf globale Supply Chains haben, sind etwa ein Erdbeben in Japan oder ein Unwetter in Neckarsulm.<sup>6</sup> Neben lokalen Schäden wurden durch diese Ereignisse die Lieferketten ganzer Industrien unterbrochen. Ein prominentes Beispiel für diese Zusammenhänge ist der Ausbruch des isländischen Vulkans Eyjafjallajökull im Jahr 2010 und die daraus folgenden Auswirkungen.<sup>7</sup> Neben diesen Ereignissen mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit, aber großer Auswirkung bedrohen auch operative Unsicherheiten Supply Chains.<sup>8</sup> Dies liegt u. a. an dem Fokus auf effizienten Prozessen, welche die Effektivität der Systeme vernachlässigt.<sup>9</sup>

In der Literatur zum Supply Chain Management (SCM) lassen sich verschiedene Ansätze identifizieren, die alle das Ziel verfolgen, Risiken und Unsicherheiten in Leistungsnetzwerken zu begegnen. Demnach soll eine Supply Chain robust, resilient und agil sein.<sup>10</sup> Die Ausprägung der einzelnen Eigenschaft ist dabei von den angestrebten Zielen abhängig.<sup>11</sup> Allen Ansätzen gemeinsam ist jedoch die Notwen-

<sup>1</sup> Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2010), S. 13–14.

<sup>2</sup> Vgl. Zitzmann (2018), S. 16.

<sup>3</sup> Vgl. Meixell/Gargeya (2005).

<sup>4</sup> Vgl. Peck (2006); Peck (2005).

<sup>5</sup> Vgl. Simangunsong et al. (2012).

<sup>6</sup> Vgl. Frankfurter Allgemeine (2016); Neidhart (2016).

<sup>7</sup> Vgl. Spiegel Online (2010); Süddeutsche Zeitung (2010); Welt (2010).

<sup>8</sup> Vgl. Sodhi/Tang (2012); Tang/Tomlin (2008).

<sup>9</sup> Vgl. Craighead et al. (2007), S. 150–151; Svensson (2000), S. 731.

<sup>10</sup> Vgl. Klibi et al. (2010); Christopher/Peck (2004); Naylor et al. (1999).

<sup>11</sup> Vgl. Zitzmann (2018), S. 63–64; Cabral et al. (2012).

digkeit von Flexibilität in der Supply Chain.<sup>12</sup> Ohne diese ist es nicht möglich, auf unerwartete Ereignisse zu reagieren und sich daraus ergebende Risiken zu bewältigen bzw. Chancen zu realisieren.

Im Bereich des Flexibilitätsmanagements sowie der Flexibilität in Supply Chains lassen sich eine Vielzahl an Forschungsfragen stellen.<sup>13</sup> Der Fokus dieses Beitrags liegt auf der Positionierung von Flexibilitätspotenzialen innerhalb des Güterflusses einer Supply Chain. Im Speziellen wird der folgenden Forschungsfrage nachgegangen: *An welcher Stelle in der Supply Chain lässt sich durch den Aufbau von Flexibilitätspotenzial der größte Nutzen erzielen?*

Um eine Antwort auf diese Frage zu finden, werden die Ergebnisse zweier Simulationsstudien betrachtet. Zunächst erfolgt in Abschnitt 2 eine Erläuterung zu Unsicherheiten und zur Flexibilität in Supply Chains. Abschnitt 3 stellt die in den Simulationsstudien betrachtete Supply Chain sowie die durchgeführten Studien vor. Im darauf folgenden Abschnitt 4 werden die Ergebnisse bezogen auf die gestellte Forschungsfrage analysiert, bevor Abschnitt 5 eine abschließende Zusammenfassung vornimmt.

## **2 Unsicherheiten und Flexibilität in Supply Chains**

Der vorliegende Beitrag baut auf der bestehenden Literatur zu Risiken, Unsicherheiten und Flexibilität in Supply Chains auf. Daher erfolgt in Abschnitt 2.1 zunächst eine Differenzierung in operative und disruptive Unsicherheiten, welche in einer Supply Chains auftreten. Anschließend betrachtet Abschnitt 2.2 den komplexen Begriff „Flexibilität“ mit dem Fokus auf der Flexibilität in Supply Chains. Dabei wird auch auf die Möglichkeiten, Flexibilitätspotenzial aufzubauen, eingegangen.

### **Unsicherheiten in Supply Chains**

Der vorliegende Beitrag versteht unter Unsicherheiten Ereignisse, die sowohl positive wie auch negative Auswirkungen haben können. Bestehen negative Effekte bezogen auf die Zielerreichung des betrachteten Systems, im vorliegenden Kontext der Supply Chain, so werden diese als Risiko bezeichnet.<sup>14</sup> Handelt es sich jedoch um mögliche, positive Abweichungen, so werden diese als Chancen bezeichnet.<sup>15</sup>

<sup>12</sup> Vgl. Zitzmann (2018), S. 89–92; Zitzmann (2014), S. 372–373.

<sup>13</sup> Vgl. Stevenson/Spring (2007).

<sup>14</sup> Vgl. Simangunsong et al. (2012), S. 4493.

<sup>15</sup> Vgl. Thiemt (2003), S. 14.

In ihrem Literaturüberblick identifizieren Simangunsong et al. (2012) 14 Quellen für Unsicherheiten in Supply Chains, welche sie drei Gruppen zuordnen:<sup>16</sup> Unsicherheiten innerhalb einer Supply Chain-Institution, Unsicherheiten innerhalb der Supply Chain, Unsicherheiten außerhalb der Supply Chain. Chopra/Sodhi (2004), Jüttner (2005), Tang/Tomlin (2008), Sodhi/Tang (2012) sowie Tiwari et al. (2015) gliedern die Ursachen von Supply Chain-Unsicherheiten ebenfalls in diese drei Bereiche.<sup>17</sup>

Der Fokus des vorliegenden Beitrags liegt auf der Gestaltung von Supply Chain-Flexibilität und nicht auf der Reduktion von Unsicherheiten, wie es etwa das (Supply Chain-)Risikomanagement tut. Daher stehen im Vordergrund nicht die Quellen, sondern die Auswirkungen von Unsicherheiten in Leistungsnetzwerken. Hier lässt sich eine Unterscheidung gemäß der Stärke der Auswirkungen von Unsicherheiten in operative und disruptive Unsicherheiten vornehmen:

- **Operative Unsicherheiten** bezeichnen inhärente Schwankungen, die Teil einer Supply Chain sind. Dies sind beispielsweise Nachfrageschwankungen, Abweichungen in Produktionszeiten oder von der Planung abweichende Transportzeiten.<sup>18</sup>
- **Disruptive Unsicherheiten** beschreiben Ereignisse, die massiven Einfluss auf das Leistungssystem haben. Hier lassen sich sowohl Maschinenausfälle und Unfälle, aber auch Naturkatastrophen und Streiks einordnen.<sup>19</sup>

Sowohl operative wie auch disruptive Unsicherheiten können aus den zuvor aufgeführten Quellen resultieren und den Güter-, Informations- oder Finanzfluss innerhalb einer Supply Chain stören oder unterbrechen. In diesem Beitrag werden Auswirkungen von Unsicherheiten auf Güterflüsse betrachtet bzw. wie sich diese mithilfe von Flexibilität bewältigen lassen. Da es i. d. R. keine Institution gibt, die eine Supply Chain ganzheitlich managt, lassen sich aus Institutionsperspektive die Auswirkungen von Unsicherheit auf den Güterfluss in drei Bereiche einteilen:<sup>20</sup> dies sind die Güterversorgung, der Prozess der Leistungserstellung und die Nachfra-

<sup>16</sup> Vgl. Simangunsong et al. (2012), S. 4498–4499. Diese Gliederung findet sich auch bei Jüttner et al. (2003), S. 201–202.

<sup>17</sup> Vgl. Tiwari et al. (2015); Sodhi/Tang (2012); Tang/Tomlin (2008); Jüttner (2005); Chopra/Sodhi (2004).

<sup>18</sup> Vgl. Tang/Tomlin (2008), S. 13–14.

<sup>19</sup> Vgl. Svensson (2000), S. 739. Taleb bezeichnet solche Ereignisse als „Black Swan“. Vgl. Taleb (2012), S. 6.

<sup>20</sup> Vgl. Lummus et al. (2003).

geseite.<sup>21</sup> Dabei ist jedoch zu beachten, dass das Auftreten von Unsicherheiten in einem dieser drei Bereiche, unabhängig davon, ob es sich um operative oder disruptive Unsicherheiten handelt, zu Auswirkungen in einem oder mehreren der anderen Bereiche führen kann.

### **Flexibilität in Supply Chains**

Flexibilität stellt eine geeignete Eigenschaft einer Supply Chain dar, um auf Unsicherheiten zu reagieren.<sup>22</sup> Sie lässt sich definieren als „[...] *Fähigkeit eines offenen, dynamischen, sozio-technischen Systems, [sich] mittels eines vorhandenen (Flexibilitäts-) Potentials [an] relevante system- oder umweltinduzierte Veränderungen [anzupassen]*.“<sup>23</sup> Die wesentlichen Merkmale der Flexibilität, welche sich auch in weiteren Definitionen finden, lauten:<sup>24</sup>

- Flexibilität ist eine Fähigkeit.
- Flexibilität dient zum Umgang mit Veränderungen.
- Flexibilität bedeutet die Existenz von Handlungsspielräumen.
- Flexibilität bedeutet Zielgerichtetheit.

Über diese Fähigkeiten verfügt ein System jedoch nicht automatisch. Wie die aufgeführte Definition zeigt, muss sie mithilfe von Flexibilitätspotenzial proaktiv geschaffen werden. Dies kann auf zwei Ebenen geschehen.<sup>25</sup> Flexibilitätspotenzial entsteht auf einer strategischen Ebene durch die Verfügbarkeit zusätzlicher Kapazitäten. Dieses Potenzial kann daher als Kapazitätsflexibilität bezeichnet werden. Es lässt sich beispielsweise durch Reservemaschinen, zusätzlich verfügbare Transportfahrzeuge oder eine Multiple Sourcing-Strategie an Stelle eines Single Sourcing aufbauen. Kommen diese Potenziale zum Einsatz, so bedarf es meist einer Vorlaufzeit zu deren Aktivierung. Zudem ist zu beachten, dass bis zur Verfügbarkeit des benötigten Gutes weiterhin die entsprechende Prozesszeit vergeht. Um eine unmittelbare Verfügbarkeit zu ermöglichen, bedarf es der zweiten Art von Flexibilitätspotenzialen. Dabei handelt es sich um Bestandsflexibilität.<sup>26</sup> Redundante Güter in Form von Lagerbeständen können unmittelbar zur Befriedigung von Nachfrage-

<sup>21</sup> Vgl. Tang/Tomlin (2009); Chopra/Sodhi (2004).

<sup>22</sup> Vgl. Singer (2012), S. 70; Merschmann/Thonemann (2011), S. 50–51; Tang/Tomlin (2008), S. 15–17.

<sup>23</sup> Pibernik (2001), S. 45.

<sup>24</sup> Vgl. Singer (2012), S. 30–31.

<sup>25</sup> Auch hier existieren verschiedenen Kategorien und Gliederungen, vgl. z. B. Sánchez/Pérez (2005), S. 685; Vokurka/O’Leary-Kelly (2000); S. 786; Upton (1994), S. 77.

<sup>26</sup> Vgl. Wang (2008); Vickery et al. (1999).

schwankungen oder auf vorgelagerten Supply Chain-Stufen zur Bewältigung von Maschinenausfällen und Lieferengpässen genutzt werden. Die proaktive Planung von Bestandspotenzial findet i. d. R. auf der taktisch-operativen Planungsebene statt.<sup>27</sup> Abbildung 1 fasst die Möglichkeiten zum Aufbau von Flexibilitätspotenzial zusammen.



Abbildung 1: Zusammensetzung des Flexibilitätspotenzials<sup>28</sup>

Redundante Kapazitäten und Bestände verursachen Kosten. Daher ist der Aufbau von Flexibilitätspotenzial kein Selbstzweck, sondern muss sich an den Zielen der Supply Chain ausrichten und den Nutzen, der aus den Potenzialen hervorgeht, beachten.<sup>29</sup> Da die Operationalisierung von Flexibilität jedoch eine große Herausforderung ist, gelingt es nicht, ein allgemeines Vorgehen zur Dimensionierung des optimalen Flexibilitätsniveaus abzuleiten.<sup>30</sup> Möglichkeiten, wie sich Flexibilitätspotenziale dennoch systematisch planen lassen, finden sich beispielsweise bei Zitzmann (2018) oder Pibernik (2001).<sup>31</sup> Bei diesen Betrachtungen stehen jedoch das Planungsvorgehen bzw. die Art und der Umfang des aufzubauenden Flexibilitätspotenzials im Vordergrund. Der folgende Abschnitt dieses Beitrags betrachtet hingegen die Positionierung des Potenzials innerhalb einer Supply Chain.

<sup>27</sup> Vgl. Zitzmann (2018), S. 166–171.

<sup>28</sup> Quelle: Zitzmann (2018), S. 105.

<sup>29</sup> Vgl. Kaluza/Blecker (2005), S. 9; Hocke (2004), S. 17–18; Pibernik (2001), S. 43.

<sup>30</sup> Vgl. Kaluza/Blecker (2005), S. 10. Vgl. auch Singer (2012), S. 93; Möslein-Tröppner (2010) S. 47; Upton (1994), S. 76. Grundsätzliche Herausforderungen bei der Erfassung von Flexibilität entstehen auch aus der Uneinigkeit über das Konzept der Flexibilität. Vgl. hierzu Sethi/Sethi (1990), S. 289. Laut Slack ist ein Potenzial zudem nicht immer zu erkennen und daher auch nicht zu messen, vgl. Slack (1983), S. 12. Die Multidimensionalität der Flexibilität stellt wohl das grundlegendste Problem bei deren Messung dar. Vgl. dazu Singer (2012), S. 87.

<sup>31</sup> Vgl. Zitzmann (2018); Pibernik (2001).

### 3 Simulationsstudien zur Positionierung von Flexibilität in Supply Chains

Aussagen zu den Orten an denen innerhalb einer Supply Chains Flexibilitätspotenzial aufgebaut werden soll finden sich in der Supply Chain-Literatur lediglich im Kontext des Postponement.<sup>32</sup> Ein Grund hierfür kann sein, dass das Flexibilitätsmanagement selten aus der Supply Chain-Perspektive betrachtet wird. Meist steht die Frage im Vordergrund, wie Flexibilität aus Sicht eines Unternehmens aufzubauen ist. Allerdings kann dies zu falschen Handlungsempfehlungen führen. Treten beispielsweise Unsicherheiten primär in der Endkundennachfrage auf, so können diese nicht mit einem Multiple Sourcing des Produzenten bewältigt werden, auch wenn diese Strategie dessen Flexibilität bei geringer Kostensteigerung erhöht.<sup>33</sup> Besteht ein großes Risiko für die Supply Chain hingegen in unsicheren Produktionsprozessen, so kann dies zwar auch mit Sicherheitsbeständen beim Händler kompensiert werden, die effiziente Lösung wäre jedoch, Potenziale in der Nähe der Quelle der Unsicherheiten zu schaffen. Um solche Fehleinschätzungen zu verhindern, nimmt die nachfolgende Analyse nicht einen einzelnen Akteur, sondern einen Supply Chain-Ausschnitt in den Blick. Abschnitt 3.1 stellt zunächst diesen Ausschnitt, der den Simulationsstudien zugrunde liegt, vor. Abschnitt 3.2 erläutert die in den Studien betrachtete Lokalisierung von Flexibilität und präsentiert die Ergebnisse der Untersuchungen.

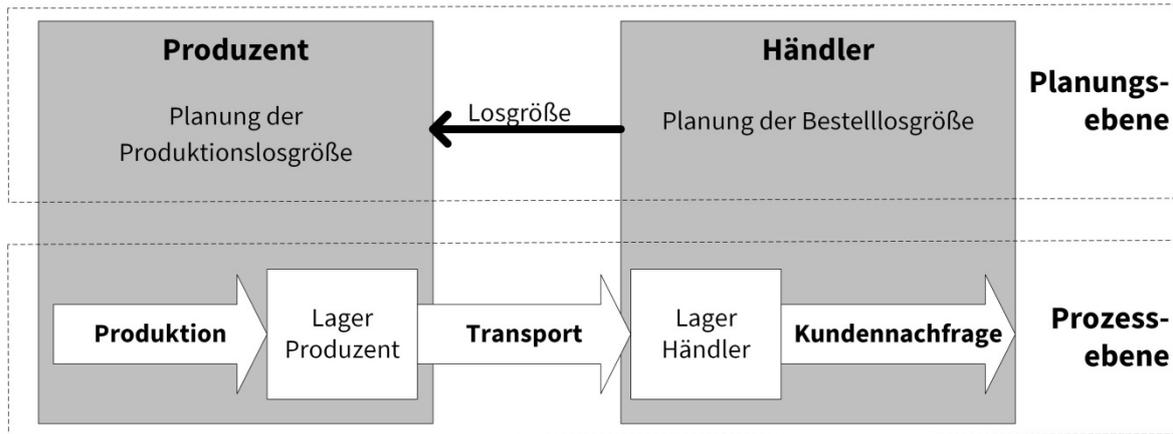
#### Supply Chain-Ausschnitt als Untersuchungsgegenstand

Die durchgeführten Simulationsstudien betrachten einen mehrstufigen Supply Chain-Ausschnitt. Dabei handelt es sich nicht um ein real existierendes System, sondern um ein in der Literatur eingesetztes Referenzbeispiel.<sup>34</sup> Abbildung 2 stellt die Struktur, bestehend aus drei Prozessen, dar.

<sup>32</sup> Vgl. beispielsweise Ernst/Kamrad (2000).

<sup>33</sup> Vgl. Ernst/Kamrad (2000), S. 499–501. Hier findet sich noch eine weitere Differenzierung zwischen Flexibilität und Modularität.

<sup>34</sup> Ausführungen, die sich auf das vorgestellte Modell beziehen, finden sich z. B. bei Sucky (2004) und Dobhan (2012). Ursprünglich ist dieser Supply Chain-Ausschnitt von Banerjee (1986) verwendet worden. Im Rahmen der Simulationsstudien wurden verschiedene Anpassungen vorgenommen. Vgl. zu den Anpassungen Zitzmann (2018), S. 189–199.

Abbildung 2: Betrachteter Supply Chain-Ausschnitt<sup>35</sup>

Die zur Modellierung der Prozesse genutzten Parameter sind in Tabelle 1 und 2 angegeben. In dem Supply Chain-Ausschnitt wird ein Gut zunächst vom Produzenten erzeugt, anschließend zum Händler transportiert und dort an die Kunden entsprechend deren Nachfrage weitergegeben. Die einzelnen Prozesse sind jeweils durch ein Lager voneinander entkoppelt. Diese befinden sich beim Produzenten bzw. beim Händler. Des Weiteren ist eine Differenzierung zwischen der Planungs- und der Prozessebene zu sehen.

Parameter	Wert und Erläuterung
Produktionszeit	Dreiecksverteilung, Modus: 36 Minuten/Stück, Untere Grenze: 32,4 Minuten/Stück (-10 %), Obere Grenze: 54 Minuten/Stück (+50 %)
Lagerkapazität (Produzent und Händler)	Unbeschränkt
Transportzeit	Dreiecksverteilung, Modus: 120 Stunden, Untere Grenze: 108 Stunden (-10 %), Obere Grenze: 180 Stunden (+50 %)
Nachfrage	Normalverteilung, Mittelwert: 100 Stück/Monat, Standardabweichung: 20 Stück/Monat, Untere Grenze: 0 Stück/Monat

Tabelle 1: Modellparameter inklusive operativer Unsicherheiten

<sup>35</sup> Quelle: Eigene Darstellung nach Zitzmann/Karl (2018), S. 258.

Ereignis	Wahrscheinlichkeit	Auswirkung
Produktionsunterbrechung	0,1 %/Stunde	Unterbrechung für eine gleichverteilte Dauer zwischen einem Tag (6 Arbeitsstunden) bis zu 10 Tagen (60 Arbeitsstunden)
Transportunterbrechung	0,1 %/Stunde	Unterbrechung für eine gleichverteilte Dauer zwischen einem Tag (6 Arbeitsstunden) bis zu 10 Tagen (60 Arbeitsstunden)
Unerwarteter Nachfragesprung	0,05 %/Stunde	Gleichverteilte Nachfrage von 120 % bis 200 % der aktuellen Periodennachfrage
Unerwarteter Nachfrageeinbruch	0,05 %/Stunde	Gleichverteilte Nachfrage von 0 % bis 80 % der aktuellen Periodennachfrage

Tabelle 2: Modellparameter betreffend der disruptiven Unsicherheiten

Auf der Planungsebene trifft zunächst der Händler eine um zwei Monate vorlaufverschobene Entscheidung über seine Bestelllosgröße. Grundlage dieser Entscheidung sind Prognosedaten über die Kundennachfrage. Nachdem der Produzent die Bestelllosgrößen erhalten hat, trifft er seine Entscheidung über die Produktionslosgrößen. Dieser Prozess wiederholt sich zum jeweiligen Periodenanfang. Eine Periode stellt dabei einen Monat mit 120 Arbeitsstunden dar. Nach Abschluss des Produktionsloses in einer offenen Produktion werden die Güter im Produzentenlager bis zum Periodenende eingelagert. Der Transport erfolgt zu Beginn der Folgeperiode. Erreichen die Güter das Händlerlager, so stehen sie unmittelbar zur Befriedigung der kontinuierlich auftretenden Kundennachfrage zur Verfügung. In allen Prozessschritten des Supply Chain-Ausschnittes können voneinander unabhängige operative und disruptive Unsicherheiten auftreten. Die entsprechende Modellierung ist in Tabelle 1 und 2 zu finden.

### Positionierung von Flexibilitätspotenzial in den Simulationsstudien

Aufbauend auf dem erläuterten Supply Chain-Ausschnitt werden die Ergebnisse zweier Simulationsstudien vorgestellt, welche den Aufbau von Flexibilitätspotenzialen betrachten. Die Studien wurden von Zitzmann (2018) und Zitzmann/Karl (2018) durchgeführt und betrachteten Instrumente zur Flexibilitätsplanung bzw. das

Zusammenspiel zwischen Kapazitäts- und Bestandsflexibilität.<sup>36</sup> Die Analyse der Positionierung von Flexibilitätspotenzialen stand nicht im Vordergrund der jeweiligen Untersuchung. Dies soll hier erfolgen.

<b>Planungsverfahren (zugrundeliegendes Vorgehen)</b>	<b>Durchschnittlicher Bestand im Lager des Produzenten</b>	<b>Durchschnittlicher Bestand im Lager des Händlers</b>
PV1 (Deterministische Planung)	105 Stück	36 Stück
PV2 (Stochastische Optimierung Gewichtung 1)	86 Stück	45 Stück
PV3 (Stochastische Optimierung Gewichtung 2)	106 Stück	28 Stück
PV4 (Robuste Optimierung Erwartungswert)	113 Stück	33 Stück
PV5 (Robuste Optimierung Maximin)	77 Stück	70 Stück
PV6 (Flexible Planung Service 90 %)	100 Stück	72 Stück
PV7 (Flexible Planung Service 70 %)	105 Stück	56 Stück
PV8 (Losfixe Planung ohne Bestand)	117 Stück	63 Stück
PV9 (Losfixe Planung mit Bestand)	156 Stück	120 Stück
PV10 (Periodenfixe Planung ohne Bestand)	89 Stück	36 Stück
PV11 (Periodenfixe Planung mit Bestand)	130 Stück	88 Stück

Tabelle 3: Aus dem Einsatz der unterschiedlichen PV hervorgehende Bestandshöhen

<sup>36</sup> Vgl. Zitzmann (2018), S. 203–232 zu Planungsinstrumenten insbesondere auf der taktisch-operativen Ebene. Vgl. Karl/Zitzmann (2018) zu Kapazitäts- und Bestandsflexibilität.

Laut der Arbeit von Zitzmann (2018) besteht die Möglichkeit, Flexibilität mit Beständen im Lager des Produzenten oder des Händlers aufzubauen. Abhängig davon, welches Planungsverfahren (PV) die Akteure einsetzen, entstehen unterschiedliche Bestandshöhen und somit ein sich unterscheidendes Niveau an Flexibilität güterflussaufwärts auf der Seite des Produzenten oder güterflussabwärts auf Seiten des Händlers. In dieser Simulationsstudie 1 wurden insgesamt 11 PV auf Grundlage von jeweils 100.000 Simulationsläufen untersucht. Tabelle 3 gibt die Bestandshöhen an, die durchschnittlich bei den einzelnen PV entstehen. Das jeweilige Vorgehen bei den unterschiedlichen PV ist ausführlich bei Zitzmann (2018) erläutert.

Simulationsstudie 2 untersucht neben der Möglichkeit der Bestands- auch die Kapazitätsflexibilität. Zusätzlich zu Beständen im Lager von Produzenten und Händler stehen redundante Kapazitäten im Produktions- und Transportprozess zur Verfügung. Abhängig davon, welche Potenziale aufgebaut sind, verändert sich die Konfiguration der Supply Chain. An allen vier genannten Punkten im Supply Chain-Ausschnitt kann Flexibilität existieren, nur an einzelnen, an keinem oder in einer beliebigen Kombination. So entstehen insgesamt 16 unterschiedliche Konfigurationen des Flexibilitätspotenzials. Für jede Konfigurationsalternative wurden 10.000 Simulationsläufe durchgeführt.

#### **4 Flexibilitätswutzen aus unterschiedlichen Positionierungen**

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der beiden Simulationsstudien hinsichtlich der Positionierung von Flexibilitätspotenzial vorgestellt und analysiert. Als Bewertungskriterium dient dafür die Anzahl an Fehlmengestunden, die im Durchschnitt der Simulationsläufe bei der jeweiligen Konfiguration auftreten bzw. der sich daraus ergebene Servicegrad. Abschnitt 4.1 stellt zunächst die Ergebnisse der beiden Simulationsstudien bezüglich dieser Kennzahlen vor. In Abschnitt 4.2 werden die Ergebnisse näher betrachtet und Erkenntnisse bezüglich der Positionierung von Flexibilitätspotenzial aufgezeigt.

##### **Ergebnisse der Simulationsstudien**

In Tabelle 4 ist die durchschnittliche Performance der Supply Chain angegeben, die sich beim Einsatz des jeweiligen PVs in Simulationsstudie 1 aus 100.000 Simulationsläufen ergibt. Die höchste Anzahl an Fehlmengestunden tritt hier beim PV3 auf. In durchschnittlich 254 der 720 simulierten Stunden treten Fehlmengen auf. Dies entspricht einem Servicegrad von 65 %. Den höchsten Servicegrad mit 98 % erreicht eine Supply Chain, in der das PV9 zum Einsatz kommt. Hier treten lediglich in durchschnittlich 12 Stunden Fehlmengen auf. Die Ergebnisse aller anderen Verfahren liegen zwischen diesen beiden Extrema.

<b>Planungs- verfahren (PV)</b>	<b>Durchschnittliche Anzahl an Fehlmengenstunden</b>	<b>Durchschnittlicher Servicegrad</b>
PV1	193 Stunden	73 %
PV2	150 Stunden	79 %
PV3	254 Stunden	65 %
PV4	206 Stunden	71 %
PV5	77 Stunden	89 %
PV6	77 Stunden	89 %
PV7	120 Stunden	83 %
PV8	98 Stunden	86 %
PV9	12 Stunden	98 %
PV10	200 Stunden	72 %
PV11	33 Stunden	95 %

Tabelle 4: Fehlmengenstunden und Servicegrad beim Einsatz unterschiedlicher PV

Die durchschnittliche Anzahl an Fehlmengenstunden und die sich daraus ergebenden Servicegrade bei unterschiedlichen Konfigurationen von Kapazitäts- und Bestandspotenzial in der Simulationsstudie 2 sind in Tabelle 5 angegeben. Diesen Werten liegend jeweils 10.000 Simulationsläufe pro Supply Chain-Konfiguration zugrunde. Der höchste Servicegrad von 95 % bei 39 Fehlmengenstunden ergibt sich bei der K12. Hier sind alle vier möglichen Arten von Flexibilität vorhanden. Existiert kein Flexibilitätspotenzial (K13) in dem betrachteten Supply Chain-Ausschnitt so treten in durchschnittlich 104 Stunden Fehlmengen auf. Dies entspricht einem Servicegrad von 86 %.

Konfiguration	Kapazitäts- flexibilität Produzent	Bestands- flexibilität Produzente	Transport	Kapazitäts- flexibilität Händler	Fehlmen- gen- stunden	Servicegrad
K1	X				97	87 %
K2	X	X			94	87 %
K3	X			X	52	93 %
K4	X	X		X	51	93 %
K5			X		74	90 %
K6		X	X		69	90 %
K7			X	X	46	94 %
K8		X	X	X	41	94 %
K9	X		X		63	91 %
K10	X	X	X		63	91 %
K11	X		X	X	40	94 %
K12	X	X	X	X	39	95 %
K13					104	86 %
K14		X			98	86 %
K15				X	58	92 %
K16		X		X	57	92 %

Tabelle 5: Fehlmenigenstunden und Servicegrad der unterschiedlichen Konfigurationen

### Erkenntnisse zur Positionierung von Flexibilitätspotenzial

Im vorangegangenen Abschnitt wurden die Ergebnisse der beiden Simulationsstudien aufgeführt. Die nun folgenden Erläuterungen betrachten zunächst isoliert die jeweiligen Ergebnisse der einzelnen Simulationsstudien, um Erkenntnisse bezüglich des Nutzens von Flexibilitätspotenzial in Abhängigkeit von dessen Position in der Supply Chain abzuleiten. Anschließend werden die Schlussfolgerungen zusammengeführt.

In Abbildung 3 sind die Bestandshöhen von Produzenten und Händler aufgeführt, die sich aus dem Einsatz der verschiedenen PV in Simulationsstudie 1 ergeben. Zudem ist der Servicegrad angegeben. Dabei ist die Darstellung entsprechend des Servicegrades aufsteigend von links nach rechts sortiert.<sup>37</sup>

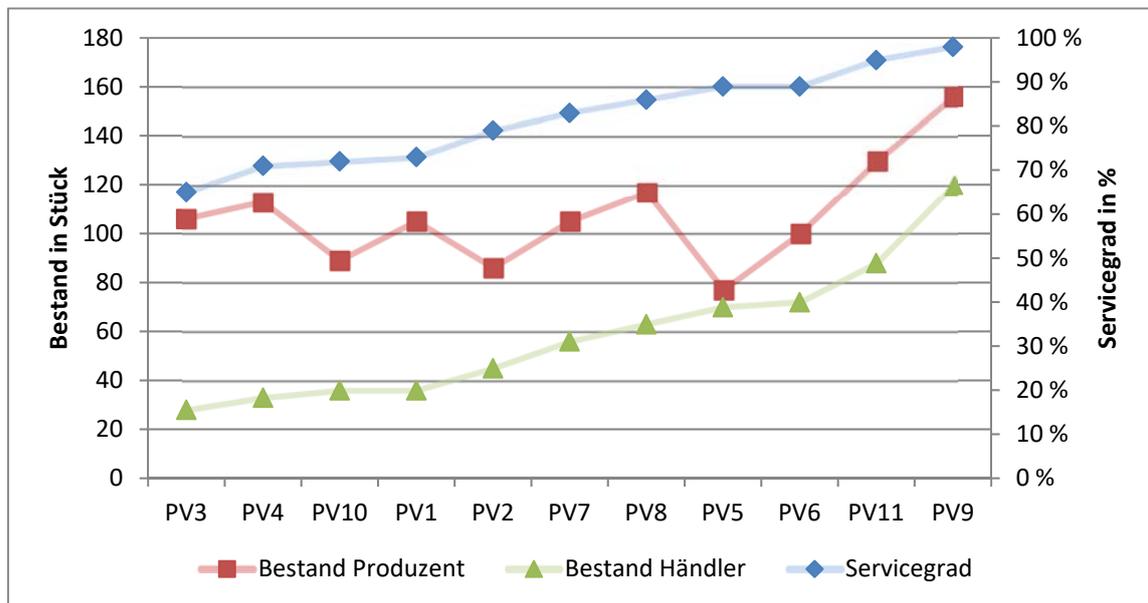


Abbildung 3: Bestandshöhe und Servicegrad in Abhängigkeit vom eingesetzten PV

Es ist zu erkennen, dass der Servicegrad ansteigt, wenn sich der durchschnittliche Bestand im Lager des Händlers erhöht. Zwar ist dieser Effekt nicht linear, aber es besteht ein Zusammenhang zwischen hohen Beständen im Händlerlager und einem hohen Servicegrad. Eine entsprechende Korrelationsanalyse nach Pearson ergibt einen Korrelationskoeffizienten  $r$  in Höhe von 0,95. Dieser ist mit  $\alpha = 0,01$  stark signifikant. Bei Beständen im Produzentenlager lässt sich dieser Effekt nicht erkennen. Zwar führen PV11 und PV9, welche hohe Lagerbestände beim Produzenten ausweisen, zu hohen Servicegraden, jedoch führen diese beiden PV auch zu hohen Händlerbeständen. Diese sind ausschlaggebend für den Servicegrad. Dies zeigt auch die Korrelationsanalyse. Hier lässt sich mit  $r = 0,46$  zunächst ein Zusammenhang des Bestands beim Produzenten mit dem Servicegrad vermuten. Dieser ist jedoch nicht signifikant. Eine partielle Korrelationsanalyse zeigt zudem, dass es sich um eine Scheinkorrelation handelt. Wird der Einfluss des Bestands beim Händler auf den Servicegrad herausgerechnet, so ergibt sich keine positive Korrelation zwischen Produzentenbestand und Servicegrad. Diese Tatsache lässt sich mithilfe des Vergleichs zwischen dem PV2 und PV3 erläutern. In der Summe beträgt die Differenz

<sup>37</sup> Die zugrundeliegenden Daten betreffen lediglich die Datenpunkte. Die Verbindungslinien dienen lediglich zur Veranschaulichung.

der Bestände in beiden Lagern lediglich 3 Stück. Allerdings befindet sich mit durchschnittlich 106 zu 86 Stück bei PV3 eine deutlich größere Menge des betrachteten Gutes im Produzentenlager. Umgekehrt verhält sich die Situation im Lager des Händlers. Hier umfasst der durchschnittliche Bestand aufgrund von PV2 45 Stück. Mit PV3 sind es 28 Stück. Der Servicelevel unterscheidet sich jedoch erheblich. So beträgt dieser bei PV2 79 %, beim Einsatz von PV3 lediglich 65 %. In beiden Fällen handelt es sich, im Vergleich zu den übrigen PV, um relativ niedrige Servicegrade. Anzumerken ist, dass sich die Unterschiede im Servicegrad nicht vollständig durch die Bestandshöhen erklären lassen. Die Logik der PV und deren Integration von Unsicherheiten spielt hier auch eine Rolle.<sup>38</sup>

Bereits in Abschnitt 4.1 wurde festgestellt, dass der höchste Servicegrad (95 %) in Simulationsstudie 2 bei einer Supply Chain-Konfiguration erreicht wird, die über alle vier möglichen Flexibilitätspotenziale verfügt (K12). Der nächsthöchste Servicegrad beträgt 94 %. Er wird bei den Flexibilitätskonfigurationen K7, K8 und K11 erreicht. Gemeinsam ist diesen Konfigurationen, dass sie jeweils über Bestandsflexibilität beim Händler verfügen. Dies deutet darauf hin, dass Flexibilität güterflussabwärts zum Ende einer Supply Chain den höchsten positiven Einfluss auf die Performance hat. Dies ist auch in Abbildung 4 zu erkennen.

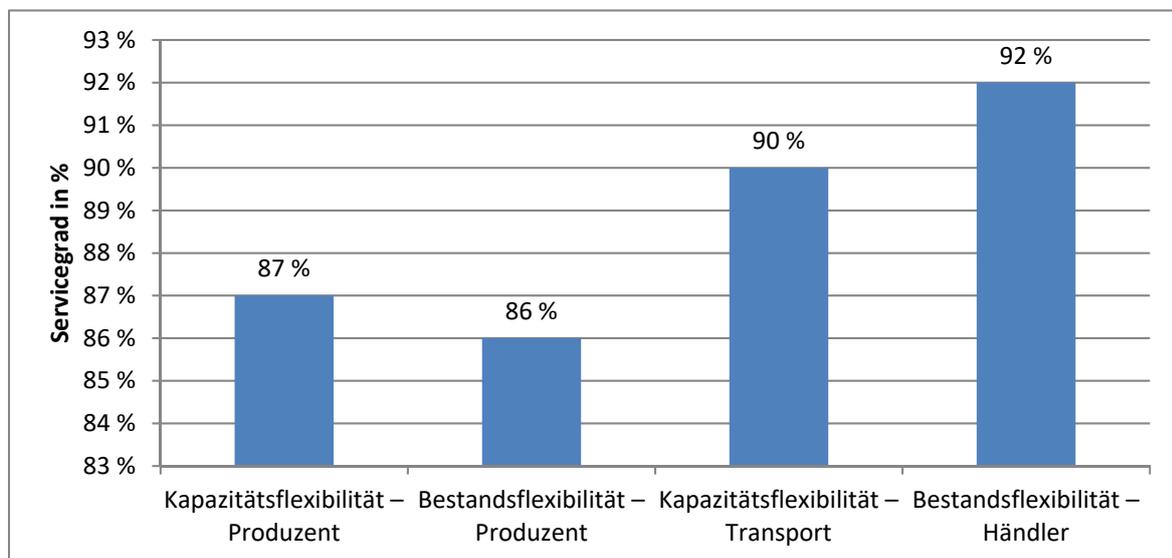


Abbildung 4: Servicegrad bei isoliertem Einsatz der verschiedenen Potenziale

Hier sind die Servicegrade dargestellt, die sich beim isolierten Einsatz der jeweiligen Flexibilitätspotenziale ergeben. Mit 92 % und 90 % ist dieser bei einer Bestandsflexibilität auf Händlerseite bzw. bei Kapazitätsflexibilität im Transport höher

<sup>38</sup> Vgl. Zitzmann (2018), S. 276–281

als bei Flexibilitätspotenzialen auf Seiten des Produzenten. Auch der Vergleich einzelner Konfigurationen zeigt, dass durch zusätzliche Flexibilität auf Seiten des Händlers ein größerer Beitrag zur Performancesteigerung geleistet werden kann, als dies durch zusätzliche Potenziale auf Produzentenseite der Fall ist. So existiert beispielsweise in K6 Bestandsflexibilität beim Produzenten sowie Kapazitätsflexibilität im Transport. Dies führt zu einem Servicelevel von 90 %. Wird zusätzlich Kapazitätsflexibilität beim Produzenten aufgebaut (K10), so kann ein Servicegrad von 91 % erreicht werden. Wird K6 hingegen um zusätzliche Bestandspotenziale auf Seiten des Händlers erweitert (K8), so ist in durchschnittlich 94 % aller betrachteten Stunden die Kundenversorgung sichergestellt.

Es lässt sich durch die Betrachtung beider Simulationsstudien sagen, dass Flexibilitätspotenziale, unabhängig davon wo sie in einer Supply Chain positioniert sind, einen Beitrag zur Bewältigung von Unsicherheiten leisten. Allerdings ist festzustellen, dass der Nutzen von Flexibilität für die Supply Chain höher ist, wenn die entsprechenden Potenziale güterflussabwärts, nahe dem Kunden existieren. Dies betrifft insbesondere Bestandspotenziale beim Händler. Die besondere Bedeutung dieses Potenzials liegt in dessen Position im Leistungsnetzwerk sowie in den Quellen von Unsicherheiten begründet. Treten Abweichungen von geplanten Werten auf, so können diese – mit Ausnahme von Nachfrageveränderungen – nur von nachgelagerten Flexibilitätspotenzialen ausgeglichen werden. Daher können Potenziale auf Seiten des Produzenten lediglich Produktionsstörungen kompensieren. Die in Simulationsstudie 2 vorhandene Kapazitätsflexibilität im Transport ermöglicht sowohl im Transportprozess auftretende Unsicherheiten sowie Störungen aus der Produktion zu bewältigen; allerdings keine Nachfrageschwankungen, die unmittelbar, also ohne Vorlauf, auftreten. Dies gelingt nur durch Bestandsflexibilität auf Seiten des Händlers und somit am güterflussabwärts gelegenen Ende der Supply Chain. Hier können zudem Unsicherheiten bewältigt werden, für die in den vorherigen Supply Chain-Stufen nicht ausreichend Flexibilität existiert.

## **5 Schlussbetrachtung**

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit der Positionierung von Flexibilitätspotenzialen in Supply Chains. Diese müssen proaktiv aufgebaut werden, um Supply Chains in die Lage zu versetzen, operative und disruptive Unsicherheiten zu bewältigen. Nur mit entsprechenden Potenzialen ist es möglich, robuste, resiliente und agile Netzwerke zu gestalten. Nach der Vorstellung der theoretischen Grundlagen und bisheriger Forschungserkenntnisse wurden in diesem Beitrag die Ergebnisse zweier Simulationsstudien betrachtet. Ziel der Analyse ist es, festzustellen, wo in einer Supply Chain der größte Nutzen durch Flexibilität erzielt werden kann. Als Antwort auf diese Frage ist festzuhalten, dass der größte Nutzen durch Flexibilitäts-

potenziale erzielt wird, wenn diese möglichst nahe am Kunden und somit güterflussabwärts in einer Supply Chain geschaffen werden. Insbesondere Bestandspotenziale spielen hier eine wichtige Rolle, da nur sie in der Lage sind, unmittelbar auftretende Unsicherheiten in der Kundennachfrage zu bewältigen. Allerdings ist auch festzustellen, dass Flexibilität in anderen Bereichen einer Supply Chain die Möglichkeit des Leistungsnetzwerkes, auf Unsicherheiten adäquat zu reagieren, ebenfalls steigert. Jedoch fällt der Nutzen hier geringer aus.

Die vorgestellten Untersuchungen sind dadurch limitiert, dass die Simulationsstudien lediglich einen Supply Chain-Ausschnitt betrachtet haben. Analysen anderer Strukturen von Leistungsnetzwerken sind nötig, um die gewonnenen Erkenntnisse zu generalisieren. Zudem wurden keine Kostengesichtspunkte betrachtet. Investitionen in Flexibilitätspotenzial verursachen Kosten, die dem Nutzen der verbesserten Supply Chain-Performance gegenüber zu stellen sind. Eine solche Untersuchung ist anzustreben.

Für Entscheidungsträger in Supply Chains, die sich mit Unsicherheiten konfrontiert sehen, lässt sich die Handlungsempfehlung ableiten, den Lean-Gedanken zu überdenken. Zwar verursachen redundante Bestände und Kapazitäten Kosten, jedoch sind sie notwendig, um Flexibilität zu schaffen. Werden sie an den richtigen Stellen innerhalb einer Supply Chain aufgebaut lassen sich durch diese Potenziale höhere Servicegrade realisieren, die die Kosten für die Flexibilität vermutlich übersteigen.

## 6 Literaturverzeichnis

- Banerjee, A. (1986): A Joint Economic-Lot-Size Model for Purchaser and Vendor, in: *Decision Science*, 17, 3, S. 292–311.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2010): *Im Fokus: Industrieland Deutschland; Stärken ausbauen – Schwächen beseitigen – Zukunft sichern*, Berlin.
- Cabral, I./Grilo, A./Cruz-Machado, V. (2012): A decision-making model for Lean, Agile, Resilient and Green supply chain management, in: *International Journal of Production Research*, 50, 17, S. 4830–4845.
- Christopher, M./Peck, H. (2004): Building the Resilient Supply Chain, in: *The International Journal of Logistics Management*, 15, 2, S. 1–14.
- Chopra, S./Sodhi, M. S. (2004): Managing Risk to Avoid Supply-Chain Breakdown, in: *MIT Sloan Management Review*, 46, 1, S. 53–61.
- Craighead, C. W./Blackhurst, J./Rungtusanatham, M. J./Handfield, R. B. (2007): The Severity of Supply Chain Disruptions: Design Characteristics and Mitigation Capabilities, in: *Decision Sciences*, 38, 1, S. 131–156.

- Dobhan, A. (2012): *Internal Supply Chain Management – Entwicklung und experimentelle Analyse hybrider Losgrößenplanungsverfahren*, Bamberg.
- Ernst, R./Kamrad, B. (2000): Evaluation of supply chain structures through modularization and postponement, in: *European Journal of Operational Research*, 124, 3, S. 495–510.
- Frankfurter Allgemeine (2016): Audi unterbricht Produktion nach Unwetter, 30.05.2016, <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/audi-werksteht-nach-unwettern-unter-wasser-14259743.html>, Stand: 06.07.2017.
- Hocke, S. (2004): *Flexibilitätsmanagement in der Logistik: systemtheoretische Fundierung und Simulation logistischer Gestaltungsparameter*, Frankfurt a. M.
- Jüttner, U. (2005): Supply chain risk management – Understanding the business requirements from a practitioner perspective, in: *The International Journal of Logistics Management*, 16, 1, S. 120–141.
- Jüttner, U./Peck, H./Christopher, M. (2003): Supply Chain Risk Management: Outlining an Agenda for Future Research, in: *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 6, 4, S. 197–210.
- Kaluza, B./Blecker, T. (2005): Flexibilität – State of the Art und Entwicklungstrends, in: Kaluza, B./Blecker, T. (Hrsg.): *Erfolgsfaktor Flexibilität: Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen*, Berlin, S. 1–28.
- Klibi, W./Martel, A./Guitouni, A. (2010): The design of robust value-creating supply chain networks: A critical review, in: *European Journal of Operational Research*, 203, 2, S. 283–293.
- Lummus, R. R./Duclos, L. K./Vokurka, R. J. (2003): Supply Chain Flexibility: Building a New Model, in: *Global Journal of Flexible Systems Management*, 4, 4, S. 1–13.
- Merschmann, U./Thonemann, U. W. (2011): Supply chain flexibility, uncertainty and firm performance: An empirical analysis of German manufacturing firms, in: *International Journal of Production Economics*, 130, 1, S. 43–53.
- Meixell, J.M./Gargeya, V.B. (2005): Global supply chain design: A literature review and critique, in: *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41, 6, S. 531–550.
- Möslein-Tröppner, B. (2010): *Produktionswirtschaftliche Flexibilität in Supply Chains mit hohen Absatzrisiken – Strategische Konzepte und operative Erfolgspotenziale*, Bamberg.

- Naylor, J. B./Naim, M. M./Berry, D. (1999): Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain, in: *International Journal of Production Economics*, 62, 1-2, S. 107–118.
- Neidhart, C. (2016): Produktionsstopp in Japan, in: *Süddeutsche Zeitung*, 18.04.2016, <http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/erdbeben-produktionsstopp-in-japan-1.2954529>, Stand: 06.07.2017.
- Peck, H. (2006): Reconciling supply chain vulnerability, risk and supply chain management, in: *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 9, 2, S. 127–142.
- Pibernik, R. (2001): *Flexibilitätsplanung in Wertschöpfungsnetzwerken*, Wiesbaden.
- Sánchez, A. M./Pérez, M. P. (2005): Supply chain flexibility and firm performance – A conceptual model and empirical study in the automotive industry, in: *International Journal of Operations & Production Management*, 25, 7, S. 681–700.
- Sethi, A. K./Sethi, S. P. (1990): Flexibility in manufacturing: A Survey, in: *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 2, 4, S. 289–328.
- Simangunsong, E./Handry, L. C./Stevenson, M. (2012): Supply-chain uncertainty: a review and theoretical foundation for future research, in: *International Journal of Production Research*, 50, 16, 4493–4523.
- Singer, C. (2012): *Flexibilitätsmanagement zur Bewältigung von Unsicherheit in der Supply Chain*, Köln.
- Slack, N. (1983): Flexibility as a Manufacturing Objective, in: *International Journal of Operations & Production Management*, 3, 3, S. 4–13.
- Sodhi, M. S./ Tang, C. S. (2012): *Managing Supply Chain Risk*, New York u. a.
- Spiegel Online (2010): Vulkanasche zwingt BMW zum Produktionsstopp, 20.04.2010, <http://www.spiegel.de/wirtschaft/unternehmen/ fehlende-teile-vulkanasche-zwingt-bmw-zum-produktionsstopp-a-690138.html>, Stand: 06.07.2017.
- Stevenson, M./Spring, M. (2007): Flexibility from a supply chain perspective: definition and review, in: *International Journal of Operations & Production Management*, 27, 7, S. 685–713.
- Sucky, E. (2004): *Koordination in Supply Chains – Spieltheoretische Ansätze zur Ermittlung integrierter Bestell- und Produktionspolitiken*, Wiesbaden.

- Süddeutsche Zeitung (2010): Große Asche-Pause, 20.05.2010, <http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/bmw-produktionsstopp-grosse-asche-pause-1.933881>, Stand: 06.07.2017.
- Svensson, G. (2000): A conceptual framework for the analysis of vulnerability in supply chains, in: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 30, 9, S. 731–750.
- Taleb, N. N. (2012): *Antifragile – Things that Gain from Disorder*, London.
- Tang, C. S. (2006): Perspectives in supply chain risk management, in: *International Journal of Production Economics*, 103, 2, S. 451–488.
- Tang, C./Tomlin, B. (2008): The power of flexibility for mitigating supply chain risks, in: *International Journal of Production Economics*, 116, 1, S. 12–27.
- Tang, C./Tomlin, B. (2009): How Much Flexibility Does It Take to Mitigate Supply Chain Risks?, in: Zsidisin, G. A./Ritchie, B. (Hrsg.): *Supply Chain Risk – A Handbook of Assessment, Management, and Performance*, New York (NY), S. 155–174.
- Thiemi, F. (2003): *Risikomanagement im Beschaffungsbereich*, Göttingen.
- Tiwari, A. K./Tiwari, A./Samuel, C. (2015): Supply chain flexibility: a comprehensive review, in: *Management Research Review*, 38, 7, S. 767–792.
- Upton, D. M. (1994): The Management of Manufacturing Flexibility, in: *California Management Review*, 36, 2, S. 72–89.
- Vickery, S./Calantone, R./Dröge, C. (1999): Supply Chain Flexibility: An Empirical Study, in: *Journal of Supply Chain Management*, 35, 3, S. 16–24.
- Vokurka, R. J./O'Leary-Kelly, S. W. (2000): A review of empirical research on manufacturing flexibility, in: *Journal of Operations Management*, 18, 4, S. 485–501.
- Wang, Y.-C. (2008): Evaluating flexibility on order quantity and delivery lead time for a supply chain system, in: *International Journal of Systems Science*, 39, 12, S. 1193–1202.
- Welt (2010): Flugverbote treffen Autoindustrie mit voller Wucht, 20.04.2010, <https://www.welt.de/wirtschaft/article7258797/Flugverbote-treffen-Autoindustrie-mit-voller-Wucht.html>, Stand: 06.07.2016.
- Zitzmann, I. (2014): How to Cope with Uncertainty in Supply Chains? – Conceptual Framework for Agility, Robustness, Resilience, Continuity and Anti-Fragility in Supply Chains, in: Kersten, W./Blecker, T./Ringle, C. M. (Hrsg.): *Next Generation Supply Chains*, Berlin, S. 361–377.

Zitzmann, I. (2018): Supply Chain-Flexibilität zur Bewältigung von Unsicherheiten – Taktisch-operative Potenzialplanung zur Schaffung von Robustheit, Resilienz und Agilität, Bamberg.

Zitzmann, I./Karl, D. (2018): Adequate Flexibility Potential to handle Supply Chain Uncertainties, in: Kersten, W./Blecker, T./Ringle, C. M. (Hrsg.): The Road to a Digitalized Supply Chain Management, Berlin, S. 251–270.