

1 Erfolgsfaktor Beherrschung der Planungsinstabilität in Produktionsnetzwerken

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Im Mai 2017 führte ein Lieferengpass bei Lenkgetrieben zu weltweiten Produktionsausfällen beim Automobilhersteller BMW (vgl. *Arons* 2017). Hervorgerufen wurde der Engpass durch einen italienischen Lieferanten der zweiten Lieferstufe (*Second Tier*), der aufgrund interner Maschinenausfälle bestimmte Lenkungsteile nicht herstellen konnte. Dies führte wiederum zu Versorgungsengpässen bei BMWs direktem Lieferanten (*First Tier*) Bosch. Ein ähnliches Beispiel ereignete sich im November 2018 bei der Volkswagen AG (vgl. *Heintz* 2018). Aufgrund von Versorgungsengpässen bei Motorenkomponenten stoppte zunächst die Produktion des komponentenbauenden Werks der Volkswagen AG in Salzgitter und bedingte, infolge des dadurch entstehenden Lieferengpasses, Stillstände bei den fahzeugaufbauenden Werken der Volkswagen AG in Wolfsburg und Emden.

Diese Beispiele veranschaulichen, wie kurzfristige Ereignisse innerhalb eines komplexen Produktionsnetzwerks die Stabilität der Produktions- und Materialflüsse entlang der Wertschöpfung negativ beeinflussen. Derartige Ereignisse betreffen nicht nur die Original Equipment Manufacturers (OEMs), sondern wirken sich auf das gesamte Produktionsnetzwerk aus (vgl. *Hozak* und *Hill* 2009, S. 4968). Dieses Phänomen wird als Planungsinstabilität bezeichnet und durch Unsicherheitsfaktoren innerhalb und außerhalb des Produktionsnetzwerks verstärkt (vgl. *Pujawan* et al. 2014, S. 469–470). Die Unsicherheit steigt wiederum durch die zunehmende Komplexität und Dynamik (vgl. *Choi* et al. 2001, S. 352–353; *Duncan* 1972, S. 344ff).

Die Automobilindustrie durchlief in den letzten zwei Jahrzehnten einen starken Wandel, der sowohl das Auto als Endprodukt als auch die Wertschöpfungsstrukturen veränderte. (Vgl. *Bauernhansl* 2014, S. 21; *Boppert* et al. 2013, S. 16; *Kropik* 2009, S. 97.) Dieser Wandel trug maßgeblich dazu bei, dass sich das Auto zu dem komplexesten Massenkonsumgut mit bis zu 20.000 unterschiedlichen Materialpositionen pro Fahrzeug und einer herstellerübergreifenden Variantenvielfalt von bis zu 10^{24} Endvarianten entwickelt hat (vgl. *Stadtler* et al. 2015, S. 271). Diesbezüglich kann im Prinzip jedes Auto aufgrund des Variantenreichtums als ein individuelles Produkt bezeichnet werden (vgl. *Dörmer* und *Günther* 2013, S. 2). Die wesentlichen Treiber dieses Wandels sind die Globalisierung, der Klimawandel und die gesellschaftliche sowie die demographische Entwicklung (vgl. *Müller-von der Ohe* und *Kuhn* 2015, S. 1; *Parry* und A. *Graves* 2008, S. 203–204).

Insbesondere die damit einhergehenden Veränderungen der Kundenansprüche und die steigende Individualisierung in volatilen und umkämpften Märkten prägen die Anforderungen in den automobilen Wertschöpfungsnetzwerken (vgl. *McKinsey & Company* 2016, S. 8, 13–14; *Braun* 2011, S. 1; *Klug* 2010, S. 42–43; *Reichhuber* 2010, S. 48–49). Im klassischen Sinne umfassen diese das Zulieferernetzwerk, Logistikdienstleister, den Fahrzeughersteller, Händler und Werkstätten (vgl. *Strassner* 2005, S. 67). Dabei ist der Fahrzeughersteller nicht nur in eine, sondern in viele komplexe und global agierende Wertschöpfungsnetzwerke zugleich eingebunden (vgl. *Wittek* 2013, S. 18; *Wente et al.* 2013, S. 22–23). Wettbewerber sind aufgrund dieser Marktbedingungen sowohl einem Zeit-, Kosten- und Qualitätsdruck als auch einem Innovations- und Individualisierungsdruck ausgesetzt (vgl. *Duerre und Steger* 2010, S. 84–85; *Kropik* 2009, S. 6–7; *Keller und Hellingrath* 2008, S. 55). Die hohe Dynamik und die Reduktion der Fertigungstiefe in Kombination mit einer hohen Teilevielfalt erfordern intensive Vernetzungen sowie Kooperationen und führen zu einem hohen Koordinationsbedarf (vgl. *Thomé et al.* 2014, S. 91–92; *Kersten et al.* 2014, S. 109–110; *Klibi und Martel* 2013, S. 868–869). Darüber hinaus ergänzen die Digitalisierung und das Aufkommen neuer Geschäftsmodelle das unternehmerische Spannungsfeld (vgl. *McKinsey & Company* 2016, S. 13–14).

Um wettbewerbsfähig zu bleiben und sich auf ihre Kernkompetenzen zu konzentrieren, haben die OEMs große Teile der Komponentenfertigung an Lieferanten ausgelagert und auftragsgesteuerte Produktions- und produktionssynchrone Logistikstrategien etabliert (vgl. *Reichhart und Holweg* 2007, S. 1146). Als Folge dieser Maßnahmen ist die durchschnittliche Fertigungstiefe in der Automobilindustrie im vorletzten Jahrzehnt von rund 43 Prozent auf 25 bis 35 Prozent zurückgegangen (vgl. *Krcal* 2008, S. 788) und die Bedeutung globaler Wertschöpfungsnetzwerke hat zugenommen. Diese Entwicklungen prägten maßgeblich die Gestalt heutiger Produktionsnetzwerke, indem sie unter anderem das Heranwachsen großer Modullieferanten sowie den Aufbau stabiler langfristiger und eng verbundener Lieferbeziehungen unterstützten (vgl. *Hegmanns* 2010, S. 21).

Die wachsende Rolle der Produktionsnetzwerke ist mit einer zunehmenden Vernetzung von Lieferanten und Herstellern verbunden, die zu einer höheren Abhängigkeit der Unternehmen in den Produktionsnetzwerken und einer höheren Komplexität der Produktionsnetzwerke führt (vgl. *Liu et al.* 2016, S. 16–17; *Meissner* 2009, S. 18–19; *Christopher und H. Lee* 2004, S. 388–389).

Während mehrstufige, stark vernetzte und synchronisierte Produktionsnetzwerke in einem stabilen Umfeld effizient und wirtschaftlich sind, werden sie in einem komplexen und dynamischen Umfeld anfällig und verwundbar (vgl. *Kamalahmadi und Parast* 2016, S. 116; *Tang und Tomlin* 2008, S. 12–13). Unternehmen in diesem Umfeld nehmen eine hohe Planungsinstabilität wahr (vgl. *Pujawan und Smart* 2012, S. 2260–2261; *Meissner* 2009, S. 63). Planungsinstabilität ist definiert als die häufige Änderung des Produktionsprogramms (vgl. *Law und Gunasekaran* 2010, S. 20). Häufige Anpassungen der Produktionsprogramme ermöglichen es dem OEM, schnell auf Kundenanforderungen zu reagieren und Durchlaufzeiten, Engpässe und Betriebskosten zu reduzieren (vgl. *Hozak und Hill* 2009, S. 4956). Häufige Änderungen führen aber auch, neben erhöhten Lagerbeständen und Auftragskosten sowie einer geringeren Arbeitsmoral, zu einer allgemein geringeren Systemleistung und

Stabilität (vgl. *Hozak und Hill* 2009, S. 4956; *Xie et al.* 2003, S. 65; *Blackburn et al.* 1985, S. 141). Aufgrund der Materialbedarfsplanung in mehrstufigen Produktionsnetzwerken betreffen Produktionsprogrammänderungen unterschiedliche Produktstrukturen und können Störungen, Engpässe und Verschiebungen der internen und externen Prozesse im gesamten Produktionsnetzwerk anstoßen (vgl. *Law und Gunasekaran* 2010, S. 21; *Ho* 1992, S. 125).

Die Gestaltung der Produktionsstrategien zur Bewältigung der Herausforderungen in dynamischen und komplexen Aufgabengebieten wird in Forschung und Praxis diskutiert (vgl. *Friedli et al.* 2014; *Hozak und Hill* 2009, S. 4955; *Zernechel* 2007, S. 367ff; *Ketokivi* 2006, S. 224–225; *Vokurka und O’Leary-Kelly* 2000, S. 499). Diesbezüglich ist zwischen zwei Ansätzen zu unterscheiden. Nach *Thompson* (1967) hat ein Unternehmen seinen technologischen Kern vor Unsicherheit zu schützen, indem es sich in ein geschlossenes System umwandelt (vgl. *Thompson* 1967, S. 13). Hingegen empfiehlt *Bourgeois* (1985) Unternehmen, den Unsicherheiten eines instabilen Umfelds mittels flexibler Prozesse und Strukturen zu begegnen (vgl. *Bourgeois* 1985, S. 570).

Bode et al. (2011) zeigen auf, dass zwar den Ursachen von Supply-Chain-Störungen, den Schwachstellen in der Supply Chain, den Leistungsimplicationen und dem Management von Supply-Chain-Risiken viel Aufmerksamkeit gewidmet wurde, jedoch das Verständnis über das Verhalten von Unternehmen und über die Wahl und Umsetzung jeweiliger Strategien begrenzt ist (vgl. *Bode et al.* 2011, S. 833).

In der Praxis wurden im Laufe der Zeit unterschiedlichste Notfallstrategien und Notfallinstrumente zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit entwickelt und etabliert (vgl. *Marr* 2013, S. 57). Ebenso hat sich die Wissenschaft dieses Feldes angenommen und einzelne Strategien und Instrumente untersucht und bewertet. Aufgrund des praxisnahen Ursprungs und der stark erfahrungsgeprägten Anwendung wird der Einsatz dieser Maßnahmen in der Wissenschaft jedoch als unsystematisch eingestuft (vgl. *Henke* 2009, S. 151).

Diese Erkenntnis trifft auch auf den Forschungsbereich der Planungsinstabilität zu (vgl. *Pujawan et al.* 2014, S. 470). Einerseits widmete sich die Erforschung der Strategien zur Handhabung der Planungsinstabilität hauptsächlich mathematischen und simulationsbasierten Analysen von lokalen Optimierungsstrategien. Hierzu zählen u. a. unterschiedliche Losgrößen (*Carlson et al.* 1979), die Länge von Sperrperioden bei der Neuplanung des Produktionsprogramms (*Xie et al.* 2003), Lagerbestandsstrategien (*van Donselaar und Gubbels* 2002) oder die Anzahl der Neuplanungszyklen (*Hozak und Hill* 2009). Andererseits adressiert die bestehende Forschung primär das Phänomen der Planungsinstabilität auf Werksebenen und in dyadischen Kunden-Lieferanten-Beziehungen. Dem steht jedoch die Notwendigkeit gegenüber, Planungsinstabilität in komplexen Produktionsnetzwerken zu untersuchen (vgl. *Sivadasan et al.* 2013, S. 254; *Pujawan und Smart* 2012, S. 2254–2255). Großes Potential wird diesbezüglich in der empirischen, netzwerkorientierten Erforschung der Planungsinstabilität gesehen (vgl. *Gruchmann und Gollmann* 2017, S. 457; *Hozak und Hill* 2009, S. 4968).

1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

An diesem Punkt setzt diese Arbeit mit der Forschungsfrage an:

Wie kann Planungsinstabilität in Produktionsnetzwerken beherrscht werden?

Durch die Entwicklung von Prinzipien zum Design eines Verfahrens zur Beherrschung der Planungsinstabilität in Produktionsnetzwerken wird diese Forschungsfrage adressiert. Der Taxonomie zur Klassifizierung von Information-Systems-(IS-)Theorien nach *Gregor* (2006) zufolge sind Forschungsziele dieser Natur dem Theorietyp **Design und Handeln** zuzuordnen (vgl. *Gregor* 2006, S. 619). Dieser Theorietyp basiert auf einem Erkenntnisprozess, der die Analyse und Beschreibung der kontextuellen Eigenschaften, die Erklärung der Wirkungszusammenhänge und die Entwicklung der Designprinzipien umfasst. Ausgehend von diesen Designprinzipien ist in einem anschließenden Schritt ein Verfahren zur Beherrschung der Planungsinstabilität in Produktionsnetzwerken zu formulieren.

Bei der Wahl des Forschungsansatzes ist der bestehende Kenntnisstand über das zentrale Phänomen zu berücksichtigen (vgl. *Peffer* et al. 2007, S. 49–52). Diesbezüglich ist zu konstatieren, dass die Planungsinstabilität in Forschung und Praxis zwar wahrgenommen wird, es jedoch an einem grundsätzlichen Verständnis des Phänomens und seiner Ursache-Wirkungs-Beziehungen innerhalb von Produktionsnetzwerken mangelt (vgl. *Gruchmann* und *Gollmann* 2017, S. 457; *Pujawan* und *Smart* 2012, S. 2254; *Law* und *Pujawan* 2009, S. 3).

Aus diesem Grund ist der Forschungsansatz dieser Arbeit an den problemzentrierten Ansatz der Methodologie und an die zentralen Aktivitäten der Design Science Research (DSR) nach *Peffer* et al. (2007) angelehnt. Kernbestandteil des Forschungsansatzes ist die Differenzierung zwischen der primär Verhaltensforschung geprägten Analyse des Phänomens der Planungsinstabilität in Produktionsnetzwerken und der primär entwurfstheoretisch geprägten Entwicklung der Designprinzipien (vgl. *Hevner* et al. 2004, S. 79). Dies ermöglicht, zunächst das Verständnis des Phänomens der Planungsinstabilität in automobilen Produktionsnetzwerken durch das Erfassen von Strukturen und Zusammenhängen sowie durch das Erklären von Konstrukten in ihrem situationsspezifischen Kontext zu stärken.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen erfolgt die Entwicklung des Verfahrens zur Beherrschung der Planungsinstabilität im kurzfristig-operativen Planungshorizont in automobilen Produktionsnetzwerken. Die Entwicklung umfasst zunächst die Bestimmung der Lösungsziele des Verfahrens sowie deren Spezifizierung um technische und nicht-technische Anforderungen. Auf Basis der Gegenüberstellung der Lösungsziele und Anforderungen mit in der Forschung und Technik bestehenden Modellen und Ansätze sind abschließend die Designprinzipien zur Gestaltung des Verfahrens zu entwickeln. Weiterhin wird gemäß den Lösungszielen, Anforderungen und Designprinzipien das Verfahren zur Beherrschung der Planungsinstabilität in ein mathematisches Modell überführt, prototypisch implementiert und validiert.



Abb. 1.1: Aufbau dieser Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist entsprechend Abbildung 1.1 in fünf Teile und insgesamt zehn Kapitel gegliedert. Der einleitende Teil I dient der **Einführung und Forschungskonzeption** und umfasst das Kapitel 1 mit der Ausgangssituation und Motivation sowie der Zielsetzung und Vorgehensweise. Dem folgt in Kapitel 2 die Gestaltung des Forschungs-

ansatzes für den Forschungsprozess auf Basis der Forschungsstrategien und Handlungsempfehlungen der Design Science Research (DSR). Das Kapitel 2 schließt mit der Vorstellung und Erläuterung des Forschungsansatzes dieser Arbeit.

Teil II adressiert die **Theoretischen Grundlagen der Planungsinstabilität in automobilen Produktionsnetzwerken**. In Kapitel 3 wird diesbezüglich zunächst allgemein in die Thematik der automobilen Produktion und der Produktionsnetzwerke eingeführt und der Forschungsgegenstand eingegrenzt. Dem folgt im Speziellen die Erläuterung der Planungs- und Steuerungsprozesse und der damit einhergehenden Herausforderungen der Automobilindustrie. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen schließt Teil II in Kapitel 4 mit der Ableitung des bestehenden Forschungsbedarfs und der Konkretisierung des Forschungsziels.

Gegenstand des Teils III ist die **explorative Studie zur Planungsinstabilität in Produktionsnetzwerken**. Zunächst erfolgt in Kapitel 5 die Erweiterung der bestehenden Theorie zur Planungsinstabilität auf das Produktionsnetzwerk als Untersuchungseinheit. Diese Erkenntnisse befähigen die Spezifizierung des Handlungsbedarfs zur Beantwortung der eingangs aufgezeigten Forschungsfrage. Dem Handlungsbedarf wird durch die Entwicklung eines konzeptionellen Modells für ein Verfahren zur netzwerkfokussierten Resequenzierung nachgekommen. Die Entwicklung des konzeptionellen Modells gliedert sich in die Bestimmung der Lösungsziele und der Anforderungen in Kapitel 6 und die Entwicklung der Designprinzipien in Kapitel 7.

In Teil IV erfolgt die **Formulierung und Validierung des Verfahrens zur netzwerkfokussierten Resequenzierung** als hierarchisch dezentraler Entscheidungsprozess bestehend aus den zwei Formalmodellen Resequenzierung und Ressourcenermittlung. Die Formulierung des Formalmodells Resequenzierung und des Formalmodells Ressourcenermittlung erfolgt in Kapitel 8 als Relaxierung des konzeptionellen Modells. Die Validierung und prototypische Implementierung des Verfahrens ist Gegenstand des Kapitels 9. Dies umfasst die empirische Validierung des konzeptionellen Modells, die Strukturvalidierung der Formalmodelle sowie die Entscheidungsvalidierung des Verfahrens anhand von sechs Szenarien.

Die Arbeit schließt in Teil V mit der **Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse, der kritischen Würdigung und einem Ausblick**.