

Schlussbericht vom 15.04.2022

zu IGF-Vorhaben Nr. 20907 N

Thema

Transparenzsteigerung globaler Wertschöpfungsnetzwerke - Verbesserung des Störungsmanagements durch verstärkten Informationsaustausch

Berichtszeitraum

01.11.2019 – 31.12.2021

Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V.

Forschungseinrichtung(en)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
wbk Institut für Produktionstechnik

Gefördert durch:

Inhaltsverzeichnis

1	Förderhinweis	3
2	Zusammenfassung des Forschungsprojekts TransNet	4
3	Ausgangssituation und Problemstellung	5
4	Methodisches Vorgehen und Projektergebnisse	7
4.1	Projektziel	7
4.2	Methodische Vorgehensweise.....	7
4.2.1	<i>Arbeitspaket 1: Charakterisierung von Störungen und Aufstellung des Kennzahlensystems</i>	8
4.2.2	<i>Arbeitspaket 2: Geschäftsprozesse und Reifegradmodell des Informationsaustauschs</i>	9
4.2.3	<i>Arbeitspaket 3: Agentenbasierte Simulation des Störungsmanagements</i>	11
4.2.4	<i>Arbeitspaket 4: Ermittlung von Wirkzusammenhängen und Zielzustand</i>	13
4.2.5	<i>Arbeitspaket 5: Bewertung von Digitalisierungsmaßnahmen</i>	15
4.2.6	<i>Arbeitspaket 6: Softwaredemonstrator und KMU-Anwenderleitfaden</i>	16
5	Zuwendung und Angemessenheit der Arbeit	19
5.1	Verwendung der Zuwendung	19
5.2	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	19
6	Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse	20
6.1	Wissenschaftlicher Nutzen der Forschungsergebnisse	20
6.2	Wirtschaftlicher Nutzen der Forschungsergebnisse: Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit von KMU	20
7	Ergebnistransfer in die Wirtschaft	22
8	Durchführende Forschungsstelle und Projektbegleitender Ausschuss	25
8.1	Durchführende Forschungsstelle.....	25
8.1.1	<i>Name und Anschrift der Forschungsstelle</i>	25
8.1.2	<i>Leiterin der Forschungsstelle</i>	25
8.1.3	<i>Projektleitung</i>	25
8.2	Projektbegleitender Ausschuss	26
8.2.1	<i>Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses</i>	26
I.	Abbildungsverzeichnis	28
II.	Tabellenverzeichnis	29
III.	Literaturverzeichnis	30

1 Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 20709 N der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V., Schlachte 31, 28195 Bremen, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (ehemals Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Abbildung 1: Logo des Forschungsprojekts TransNet

2 Zusammenfassung des Forschungsprojekts TransNet

In der Automobilzulieferindustrie sowie im Maschinen- und Anlagenbau erbringen kleine und mittlere Unternehmen (KMU) einen Großteil der Gesamtwertschöpfung. Sie stehen vor der Herausforderung, die Transparenz ihrer Wertschöpfungsnetzwerke (WSNs) zu steigern, um einen hohen Lieferservice bieten zu können. Die Verbesserung der Transparenz durch eine Erhöhung des Informationsaustauschs haben das Potential eine Vielzahl von Anwendungsfällen im Produktionsumfeld zu verbessern. Aktuelle Forschungsansätze untersuchen die Potentiale eines verstärkten Informationsaustauschs jedoch lediglich für Teilbereiche des Störungsmanagements wie beispielsweise das Auftragsmanagement. Zudem verknüpfen sie die Betrachtung nur unzureichend mit der Auswahl praxistauglicher Digitalisierungstechnologien.

Vor diesem Hintergrund war es das Ziel des Vorhabens TransNet, die Wirkzusammenhänge zwischen Transparenz und der Leistungsfähigkeit von WSNs mit Hilfe von Multimethoden-Simulation und Regressionsmodellen zu untersuchen (vgl. Abbildung 2). Dabei sollten Störungen integriert betrachtet werden, welche Auftragsänderungen, Qualitätsprobleme oder Endproduktänderungen zur Folge haben. Damit sind die operativen Anwendungsfälle für die Produktion abgedeckt. Die negative Wirkung der Störungen sollte bei unterschiedlicher Intensität des Informationsaustauschs untersucht und ein störungsrobuster Zielzustand für den Informationsaustausch im WSN bestimmt werden. Dem Zielzustand folgend, sollten praxistaugliche Maßnahmen zur Steigerung des Informationsaustauschs in WSNs identifiziert, bewertet und ausgewählt werden.

Im Projekt wurde zu diesem Ziel eine Methodik entwickelt, die Multimethoden-Simulation von WSN mit einer systematischen Analyse mittels Metamodellen verbindet und so die netzwerkspezifische Optimierung des Informationsaustauschs ermöglicht. Die Methodik befähigt KMU der Automobilzulieferindustrie sowie des Maschinen- und Anlagenbaus dazu, Digitalisierungstechnologien für die horizontale Vernetzung mit den Partnern ihrer WSN zielgerichtet auszuwählen und einzuführen. Der darauf aufbauende, verstärkte Informationsaustausch steigert die Reaktionsfähigkeit auf Störungen und verbessert den Lieferservice in den Bereichen Auftragsmanagement (bspw. Durchlaufzeiten, Bestand), Qualitätsproblembehebung (Service Level, Reklamationskosten) und technisches Änderungsmanagement (Zeit zur Abwicklung techn. Änderungen, Vermeidung von Änderungspropagation). Die Arbeiten sind Grundlage für eine nachgelagerte Verbesserung der Kollaboration zwischen den Partnern in WSNs.

Die Methodik wurde im Rahmen eines automobilen Anwendungsfalls erprobt. Dabei konnte die Nutzbarkeit für die Praxis nachgewiesen werden. Ebenso wurden alle entwickelten Bestandteile der Methodik in Form von Softwaredemonstratoren, welche detailliert durch einen Anwenderleitfaden beschrieben sind, umgesetzt. Die Ergebnisse ermöglichen es insbesondere KMU, den Informationsaustausch mit ihren Lieferanten und Kunden für die Aspekte des Auftragsmanagements, der Qualitätsproblembehebung und des technischen Änderungsmanagements zu optimieren. Damit einher geht eine Verbesserung der Liefertreue, der Qualität der Erzeugnisse und eine Minimierung von durch Generationenwechsel induzierten Verlusten. Die Ergebnisse weisen somit sowohl einen hohen wissenschaftlich-technischen als auch einen hohen wirtschaftlichen Nutzen für KMU auf. Mit dem Forschungsprojekt TransNet wurde ein innovativer Beitrag zur Gestaltung des störungsrobusten Informationsaustauschs in WSN geleistet.

3 Ausgangssituation und Problemstellung

Die *Automobilzulieferindustrie* ist mit mehr als 300.000 Beschäftigten eine der wichtigsten Industriebranchen im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland (VDA, 2019). Mit circa 75 % erbringt sie den Großteil der Wertschöpfung am Automobil (Diez, 2016). In ihrer Struktur bestehen Automobilzulieferer zu über 80 % aus KMU (Bratzel et al., 2015). Mehr als 3.000 global verteilte Standorte zeigen, dass die Automobilzulieferindustrie stark internationalisiert und in WSN gruppiert ist (VDA, 2019). Bei WSNs schließen sich Partner wie Lieferanten, Produzenten und Kunden für die unternehmensübergreifende Herstellung von Automobilen und begleitenden Services zusammen und bringen ihre spezifischen Ressourcen und Kompetenzen ein (Váncza, 2016). Herausfordernd für die Automobilzulieferbranche ist ein seit Jahrzehnten andauernder Verdrängungswettbewerb (Ebel & Hofer, 2014). Er zwingt mittelständische Zulieferer zu einem Ausrichten ihrer Unternehmensstrategie auf die Erwartungen und Anforderungen der Automobilisten (OEMs), um Existenz und Profitabilität zu sichern. Diese Anpassung an den OEM verlangt nicht nur die Entwicklung und Markteinführung neuer Innovationen bei den Megatrends Elektromobilität und Autonomes Fahren. Vielmehr sehen sich Mittelständische Automobilzulieferer *hohen Erwartungen im Lieferservice* konfrontiert (Göpfert, 2016). Der deutsche *Maschinen- und Anlagenbau* steht vor ähnlichen Herausforderungen. Mit über einer Millionen Beschäftigten und starker Mittelstandsprägung ist er Hauptausrüster der Automobilindustrie (BMW, 2018). Als Verwerter technologisch anspruchsvoller Vorprodukte steht er übertragbaren Fragestellungen bei der Produktion in globalen WSNs gegenüber.

Auf operativer Planungsebene verspricht insbesondere der verbesserte *Umgang mit Störungen* eine Verbesserung des Lieferservices (Wiendahl, 2011). Störungen sind unvorhersehbare Abweichungen von Planwerten in den Material- und Informationsflüssen (Bendul & Brüning, 2017). Sie wirken sich negativ auf die Leistungsfähigkeit von WSNs aus und haben Produktivitätsverringernungen, steigende Arbeitskosten und Umsatzminderungen zur Folge. Für die Mehrheit der Unternehmen aus dem Automobil- und Maschinenbau stellt die negative Wirkung von Störungen ein großes Problem dar (Bendul & Brüning, 2017) (vgl. Abbildung 1). Einerseits sind ihre WSNs besonders häufig von Störungen betroffen, da aufgrund der geringen Wertschöpfungstiefen der Partner mehr Punkte existieren, an denen Störungen auftreten können (Sodhi & Tang, 2012). Andererseits haben Methoden zur effizienten Gestaltung der Produktionslogistik wie Lean- und Just-in-Time-Konzepte (JIT) Zeit-, Kapazitäts- und Lagerpuffer eliminiert, so dass sich die Anfälligkeit gegenüber besagten Störungen erhöht hat (Pfohl, 2008). Auf den global verteilten Beschaffungs- und Absatzmärkten sind zudem die Wege lang und intransparent, um auf Störungen zu reagieren (Sodhi & Tang, 2012). Nicht zuletzt können mögliche Störungseffekte nur schwer vorab abgeschätzt werden. Die Ursachen von Störungen sind vielfältig. Betriebsausfälle wichtiger Produktionsmaschinen und deren Steuerungssysteme sowie der Ausfall von Lieferanten führen zu Problemen in der Abwicklung von Aufträgen (Bendul & Brüning, 2017; Ohlen, 2017). Häufig treten die Produktqualität betreffende Störungen wie Produktfehler und Qualitätsmängel auf (Bendul & Brüning, 2017). Sicherheits- oder Qualitätsanpassungen, Funktionsverbesserungen oder Fehlerbehebungen können nach Abschluss des Produktentwicklungsprozesses auftreten und Störungen im Produktionsablauf auslösen (Koch et al., 2015). Wiendahl ordnet die Ursachen von Störungen den Themenbereichen *Auftragsmanagement, Qualitätsproblembeseitigung und technisches Änderungsmanagement* zu (Wiendahl, 2011).

Störungen wirken negativ, da die Partner von Zulieferernetzwerken heutzutage nur unzureichend bei der Identifikation und Reaktion auf Störungen kollaborieren. Einer Studie der Funk Stiftung für Risikoforschung und Risikobewältigung zu Folge arbeiten zwar noch 81 % der Partner von WSNs bei der Beseitigung von Störungen mit ihrem unmittelbar benachbarten Netzwerkpartner

zusammen (Bendul & Brüning, 2017). Sowohl dieser Anteil als auch die Kooperationsintensität nimmt jedoch mit zunehmender Entfernung der Subpartner stark ab (Bendul & Brüning, 2017). Eine Vielzahl der Informationsflüsse zur Identifikation, Kommunikation und Beseitigung von Störungen liegt im Verborgenen. Störungen werden nicht oder zu spät identifiziert. Industrie 4.0 und die fortschreitende Digitalisierung bieten neue Möglichkeiten, den *Informationsaustausch* und die *Kollaboration* zwischen den Partnern industrieller Zuliefernetzwerke zu intensivieren. Grundlage sind technische Enabler wie beispielsweise Sensoren zur Verlinkung von Maschinen und Menschen. Sie sind in der Lage, Daten aufzunehmen, auszuwerten und über ein Kommunikationsnetzwerk zu verbreiten (Lee et al., 2015). Zudem stehen Technologien wie Barcodes, Radio-Frequency Identification (RFID) oder sonstige Mikrochips zur Verfügung, mit denen Objekte gekennzeichnet und nachverfolgt werden können. Die komplexen Datenbestände können mit neuen statistischen Auswertungsmethoden und gesteigerter Rechenleistung schneller und besser interpretiert werden (Han & Kamber, 2010; Manyika et al., 2011). Abbildung 2 stellt die Problemstellung von Störungen und die mögliche Lösung durch Transparenz bildlich dar.

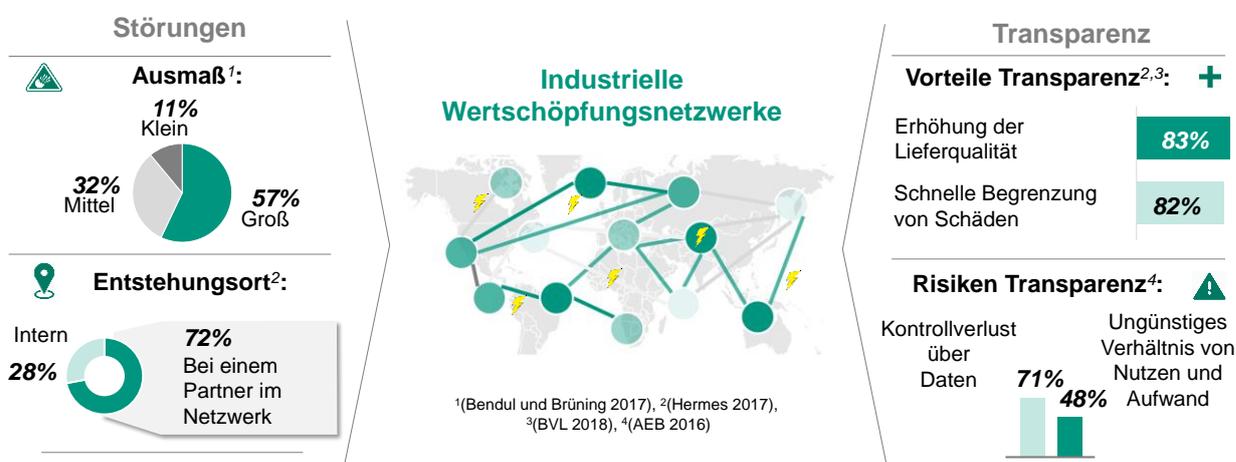


Abbildung 2: Problemstellung Transparenzsteigerung in WSNs der Automobilzuliefererindustrie sowie des Maschinen- und Anlagenbaus

Digitalisierungswerkzeuge werden auf dem Hallenboden von Produktionsstandorten verbreitet eingesetzt. Allerdings sind die Potentiale der Digitalisierung im Netzwerk bisher nicht voll erschlossen (A.T. Kearney & WHU, 2015). Eine Vielzahl neuer Technologien und Methoden erlaubt die intensivere Vernetzung und einen verstärkten Informationsaustausch in WSNs der Zulieferindustrie. Die Bedeutung der dadurch ermöglichten, vertieften Kooperation wird in der Praxis von einer großen Mehrheit der Unternehmen als hoch eingeschätzt (BVL, 2018; Geissbauer et al., 2014). Unternehmen erwarten von der gesteigerten *Transparenz* eine schnellere Schadensbegrenzung im Störfall, eine Verbesserung der Lieferqualität ihrer Netzwerkpartner sowie eine gesteigerte Leistungsfähigkeit ihrer WSNs (vgl. Abbildung 1) (Hermes, 2017). Auf der anderen Seite sieht nahezu die Hälfte der Unternehmen Zeit- und Kostenaufwände als größte Hindernisse beim Aufbau transparenter WSNs (AEB, 2016). Auch werden Nachteile wie der Kontrollverlust über Daten und ein ungünstiges Aufwand- /Nutzenverhältnis erwartet (Hermes, 2017).

4 Methodisches Vorgehen und Projektergebnisse

4.1 Projektziel

Forschungsgegenstand des Projekts TransNet war die Entwicklung einer Methodik zur Verbesserung des Störungsmanagements durch verstärkten Informationsaustausch in WSN der Automobilzulieferindustrie sowie des Maschinen- und Anlagenbaus. Dazu wurden die in Abbildung 3 gezeigten Arbeitspakete im Projektplan beantragt. Aufgrund der aktuellen Corona-Pandemie kam es zu Verzögerungen bei der Zusammenarbeit mit industriellen Partnern und dem Projektbegleitenden Ausschuss (PA), sodass eine Projektverlängerung um 2 Monate erforderlich war. Ebenfalls wurde die Anzahl der Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses von fünf auf vier verringert. Die Erreichung der gesetzten Ziele änderte sich dadurch nicht.

Personalaufwand der Arbeitspakete in Personenmonaten wiss.-tech. Personal (Personenmonate Hilfskräfte in Klammern)		Projektjahr 1				Projektjahr 2				PJ 3	Summe
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	
Analyse											
AP 1	Charakterisierung von Störungen und Kennzahlensystem zur Messung der Leistungsfähigkeit von Wertschöpfungsnetzwerken										5 (5)
AP 2	Geschäftsprozessmodellierung des Störungsmanagements und Reifegradmodell des Informationsaustauschs										5 (5)
Modellierung											
AP 3	Agentenbasierte Simulation des Störungsmanagements in Wertschöpfungsnetzwerken										6 (8)
AP 4	Ermittlung der Wechselwirkungen zwischen Störungen, Informationsaustausch und Leistungsfähigkeit mit Regressionsmodellen										4 (8)
Bewertung											
AP 5	Bewertung von Digitalisierungsmaßnahmen zur Erhöhung des Informationsaustauschs										6 (6)
Handlungsempfehlungen											
AP 6	Anwenderfreundlicher Softwaredemonstrator, Praxisleitfaden und Anwendungsbeschreibung für KMU										6 (4)
Projektmanagement											
AP 7	Projektmanagement, Dokumentation, Veröffentlichung und Transfer der Ergebnisse										4 (0)
Treffen des Projektbegleitenden Ausschusses		1	1	2	2	3	3	4	5	4	
Wissenschaftlicher Mitarbeiter 1		3	3	3	3	3	3	2	2	1	24
Wissenschaftlicher Mitarbeiter 2 (Implementierung)		0	1	2	3	3	2	1	0	0	12
Studentische Hilfskraft 1		3	3	3	3	3	3	2	2	2	24
Studentische Hilfskraft 2 (Implementierung)		0	1	2	3	3	2	1	0	0	12

Legende:	ursprüngliche Planung	wie durchgeführt
-----------------	-----------------------	------------------

Abbildung 3: Projektplan

Entsprechend dem Projektplan wurden im Berichtszeitraum 2019/2020 die Arbeitspakete 1 bis 3 durchgeführt sowie Arbeiten an AP 4 bis 6 begonnen. Letztere wurden im Berichtszeitraum 2021 abgeschlossen. Hinzu kamen organisatorische Maßnahmen im Rahmen des Projektmanagements in AP 7.

4.2 Methodische Vorgehensweise

Im Folgenden ist das methodische Vorgehen in den einzelnen Arbeitspaketen im Detail dargestellt.

4.2.1 Arbeitspaket 1: Charakterisierung von Störungen und Aufstellung des Kennzahlensystems

Ziel von AP 1 war die Identifikation und Beschreibung von Störungen in den Themenfeldern Auftragsmanagement, Qualitätsproblembehebung und technisches Änderungsmanagement. Zur Gestaltung der Simulation in AP 3 war zudem eine idealtypische Einordnung von unterschiedlichen Produktionssystemen hinsichtlich dieser drei Bereiche erforderlich. Darüber hinaus wurde ein Kennzahlensystem zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Produktions- und Logistiksystemen aufgebaut. Das gewählte Vorgehen ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt.



Abbildung 4: Methodische Vorgehensweise in AP 1

Durchgeführte Arbeiten

Zur Identifikation unterschiedlicher Störungen wurde eine umfassende Literaturanalyse durchgeführt. Diese wurde durch bilateralen Austausch und Workshops im PA begleitet. Dabei wurden Störungen mit Auslösern am Produktionsstandort (z. B. Defekt von Produktionsressourcen), im WSN (z. B. Ausfall/Lieferengpass eines Lieferanten) und im globalen Umfeld (z. B. Änderung von Gesetzen und Richtlinien) berücksichtigt. Die identifizierten Störungen wurden bezüglich ihrer Auswirkungen auf Auftragsmanagement, Qualitätsproblembehebung und technisches Änderungsmanagement bewertet. Für die Verwendung der identifizierten Störungen in Simulationsmodellen in AP 3 wurde ein Rezeptormodell entworfen, welches die Quantifizierung der Störungsauswirkung ermöglicht. Auf Basis von Literaturuntersuchungen und Einzelinterviews mit Vertretern des PA wurden als geeignete Rezeptoren Produkt, Stückzahl, Zeit, Qualität und Technologie zur Abbildung der Störungen ausgewählt. Im späteren Simulationsmodell werden Änderungen an den Rezeptoren durch sog. Rauschgrößen abgebildet.

Zur Charakterisierung unterschiedlicher Produktionssysteme wurde aufbauend auf einschlägiger Literatur ein Klassifizierungsschema für Auftragsmanagement, Qualitätsproblembehebung und technisches Änderungsmanagement entwickelt. Dabei wurden charakteristische Merkmale identifiziert, denen im Folgenden eine Menge logisch unabhängiger Ausprägungen zugeordnet wurde. Dabei handelt es sich beispielweise um das Merkmal *Produktspektrum* mit den Ausprägungen *Standardprodukt ohne Varianten*, *Standardprodukt mit Varianten* und *Produkt mit kundenspezifischen Varianten*. Diese Klassifizierung wurde beispielhaft auf Unternehmen des PA angewendet und mit ihrer Hilfe validiert.

Ferner wurden in AP 1 geeignete Kennzahlen zur Beschreibung der Leistungsfähigkeit des Störungsmanagements in Produktionsnetzwerken bestimmt und ein ganzheitliches Kennzahlensystem entwickelt. Dazu wurden existierende Kennzahlensysteme analysiert und verglichen. Diese wurden mit Projektpartnern diskutiert und hinsichtlich ihrer praktischen Anwendbarkeit untersucht. Die Leistung des Störungsmanagements ist in erster Linie nach den drei klassischen Zielen der Produktion – Zeit, Qualität und Kosten – zu bewerten. Auftretende Zielkonflikte werden über eine geeignete Gewichtung aufgelöst.

Ausgehend von diesen Zielen wurden unter Berücksichtigung von VDMA 66412-1 und ISO 22400-1 Kennzahlen ausgewählt, die eine zeit-, qualitäts- und kostenbezogene Bewertung der Störungsmanagements ermöglichen. Die identifizierten Kennzahlen wurden hinsichtlich Aussagekraft, Relevanz, Messbarkeit und Vergleichbarkeit untersucht. Auf Basis dieser Bewertung wurden acht Kennzahlen ausgewählt, die gemeinsam das Kennzahlensystem bilden, welches im Rahmen von AP 3 der Bewertung der im Simulationsmodell erzielten Ergebnisse dient. Da das hier aufgestellte Kennzahlensystem die Robustheit nicht direkt adressiert, wird diese innerhalb der Simulation durch die Forderung nach erzielter Ergebnishöhe und Stabilität abgebildet.

Zur Validierung der Ergebnisse in der Praxis wurden die erarbeiteten Charakterisierungen und Kennzahlensysteme auf ein WSN in der Automobilbranche angewendet. Dieses WSN wurde auch in der folgenden AP zur Validierung verwendet. Das WSN besteht aus drei Produktionsstandorten, wobei Standort 1 und 2 Standort 3 beliefern, der wiederum einen Kunden beliefert. In AP 1 wurden die Charakteristika der Standorte hinsichtlich Auftragsmanagement, Qualitätsproblembehebung und technischem Änderungsmanagement aufgenommen.

Erzielte Ergebnisse

In AP 1 wurden unterschiedliche Störungen und Produktionssysteme kategorisiert und ein Kennzahlensystem zur Beschreibung der Leistungsfähigkeit des Störungsmanagements entwickelt. Die Ergebnisse wurden mit den beteiligten Industriepartnern diskutiert und abgeglichen. Die erarbeiteten Lösungen wurden an einem WSN exemplarisch implementiert. Die Arbeiten an AP 1 sind somit abgeschlossen.

4.2.2 Arbeitspaket 2: Geschäftsprozesse und Reifegradmodell des Informationsaustauschs

Ziel von Arbeitspaket 2 war die Modellierung relevanter Geschäftsprozesse innerhalb des Auftragsmanagements, der Qualitätsproblembehebung und des technischen Änderungsmanagements. Weiterhin sollten unterschiedliche Informationen, die innerhalb der Geschäftsprozesse ausgetauscht werden, charakterisiert werden. Schließlich sollte ein Reifegradmodell des Informationsaustauschs gestaltet werden. Abbildung 5 zeigt das in AP 2 gewählte Vorgehen schematisch.



Abbildung 5: Methodische Vorgehensweise in AP 2

Durchgeführte Arbeiten

Zunächst wurden die Geschäftsprozesse des Auftragsmanagements, der Qualitätsproblembehebung und des technischen Änderungsmanagements modelliert. Dazu wurden in der Literatur definierte Prozesse in Form von Flussdiagrammen aufgenommen. Diese wurden mit dem industriellen Partner abgeglichen. Zur Modellierung wurde *Business Process Model and Notation* verwendet. Praxisrelevante Unterschiede der Produktionsstandorte wurden durch verschiedene Prozessvarianten in Abhängigkeit der definierten Produktionssystemcharakteristika abgebildet. Neben den Geschäftsprozessen wurden auch die Informationsflüsse im unternehmensübergreifenden Produktionsnetzwerk, sogenannte horizontale Informationsflüsse, untersucht. Dazu wurden zunächst typische produktionsbezogene Informationen des Störungsmanagements identifiziert. Die Informationen wurden eingeteilt in Stamm-, Status- und Transaktionsinformationen. Weiterhin wurde das Produktionsnetzwerk als mehrstufige Hierarchie von Produktionsprozessen, -ressourcen und -standorten modelliert. Zwischen den einzelnen Knoten des Netzwerks findet Informationsfluss sowohl in Richtung des Wertstroms (stromabwärts) als auch gegen den Wertstrom (stromaufwärts) statt. Es wurde eine Kategorisierung für die Reichweite des horizontalen Informationsflusses definiert. Dabei werden jeweils drei Stufen unterschieden. Somit konnten die Formen des Informationsaustauschs umfassend beschrieben werden. Diese Beschreibung wird im Simulationsmodell in AP 3 verwendet.

Zur Beschreibung von Informationsflüssen wurde ein Reifegradmodell für den digitalen Informationsaustausch mit den Partnern definiert. Dabei wurden Regelmäßigkeit des Austauschs, Zugänglichkeit der Information sowie existierende Medienbrüche berücksichtigt. Zusammenfassend konnten vier übergreifende Reifegrade digitaler Geschäftsprozesse im Störungsmanagement definiert werden. Es können analoge, digitalisierte, digital integrierte und digitale selbststeuernde Prozesse unterschieden werden. Diese zeichnen sich durch zugeordnete Ausprägungen der Reichweiten des Informationsflusses, der Art und Merkmale der ausgetauschten Informationen und der verwendeten Anwendungssysteme und Infrastruktur aus. Diese Beschreibung stelle eine zielgerichtete Einordnung in der Praxis vorkommender Zustände dar.

Zur exemplarischen Anwendung der entwickelten Methodik wurde der Reifegrad des Informationsaustauschs des exemplarischen WSN aufgenommen und charakterisiert. Dabei wird jeweils zwischen dem Reifegrad des Informationsaustauschs mit und gegen den Wertstrom zwischen allen beteiligten Standorten unterschieden. Auffällig ist die insgesamt geringe

Ausprägung des Informationsaustausch, insbesondere hinsichtlich der Qualitätsproblembehebung. Auch fand bis dato fast nur bilateraler Austausch statt.

Erzielte Ergebnisse

Entsprechend der Zielstellung von AP 2 wurden Geschäftsprozesse des Störungsmanagements und Ausprägungen des Informationsaustauschs modelliert und zu einem Reifegradmodell zusammengefasst. Dieses Modell wurde exemplarisch an einem WSN angewendet. Die Arbeiten an AP 2 sind abgeschlossen.

4.2.3 Arbeitspaket 3: Agentenbasierte Simulation des Störungsmanagements

Zielstellung von AP 3 war die Erarbeitung und Implementierung eines Multimethoden-Simulationsmodells des Störungsmanagements globaler Produktionsnetzwerke. Abbildung 6 zeigt die Aspekte des Vorgehens von AP 3 schematisch.



Abbildung 6: Betrachtete Aspekte in AP 3

Durchgeführte Arbeiten

Im Rahmen von AP 3 wurde ein Framework für die Simulation entwickelt. Die Module des Frameworks lassen sich in drei Bereiche unterteilen: Produktionssystemmodule zur Abbildung physischer Prozesse, Geschäftsprozessmodule zur Abbildung des Störungsmanagements sowie ein Bewertungsmodul zur Messung der Leistungsfähigkeit auf Basis des in AP 1 definierten Kennzahlensystems. Dieses Bewertungsmodul formalisiert die Kennzahlen zur Messung der Leistungsfähigkeit des WSN im Hinblick auf das Auftragsmanagement, die Qualitätsproblembehebung und das technischen Änderungsmanagement und verknüpft sie zu einem Kennzahlensystem. Zur Implementierung wurde die Simulationsumgebung AnyLogic® gewählt, die die Verknüpfung von ereignisorientierter und agentenbasierter Simulation unterstützt. Die existierenden Bausteine wurden zielgerichtet um Methoden in JAVA ergänzt. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Module vorgestellt.

Die *Produktionssystemmodule* folgen dem Prinzip der Bottom-Up-Modellierung. Die Module auf der niedrigsten Ebene sind der *Produktionsauftrag* sowie die *Produktionsressource*. Die Produktionsressourcen bearbeiten Produktionsaufträge und können in Kombination mit einem *Wareneingang*, einem *Lager* sowie den Geschäftsprozessen des Störungsmanagements zum Modul *Produktionsstandort* zusammengefasst werden. Die Produktionsstandorte sind untereinander und mit *Kunden* durch *Transporte* verbunden und bilden so das Modul *Produktionsnetzwerk*. Für jedes der genannten Module wurden Eingänge, Ausgänge, betrachtete Systemebenen,

Submodule, Rausch- und Steuergrößen sowie Parameter definiert, um die Interaktion zwischen den Modulen zu strukturieren.

Die *Geschäftsprozessmodule* sind Bestandteil des Moduls Produktionsstandort und können entsprechend der gewünschten Prozessvariante aus AP 2 variiert werden. Das Modul *Auftragsmanagement* enthält die Auftragsabwicklung sowie den Austausch von auftragsbezogenen Informationen. Dabei werden den Produktionsstandorten von Kunden oder im Wertstrom nachgelagerten Standorten Lieferaufträge zugesandt. Hierzu werden die in den Bestellungen enthaltenen Informationen anhand des eingestellten Informationsaustauschreifegrads differenziert. Basierend auf den Informationen werden am Standort unter Berücksichtigung von disponiblen Beständen Produktionsaufträge geplant und durch die Erzeugung und Abarbeitung von Produktionsauftragsmodulen durch Produktionsressourcen erfüllt. Schließlich erfolgen die Aktivitäten Einlagerung sowie Versandabwicklung und Auftrags-Auslieferung. Das Modul *Qualitätsproblembehebung* sorgt für die Entdeckung und Beseitigung von Qualitätsabweichungen sowie den zugehörigen Informationsaustausch. Dabei werden zunächst Qualitätsabweichungen bei der Bearbeitung von Produktionsaufträgen auf Basis von Rauschgrößen erzeugt. Ihre Entdeckung kann dann über Qualitätsprüfungen am Wareneingang oder an den Produktionsressourcen erfolgen. Je nach Art des Fehlers und Ort der Entdeckung können Teile verschrottet oder nachbearbeitet werden. Der Austausch von Qualitätsinformationen erfolgt zudem durch Reklamationen entsprechend dem gewählten Informationsaustauschreifegrad. Auf Basis dieser Informationen können Qualitätsverbesserungen implementiert werden, die durch Verringerung der Fehlerraten simuliert werden. Durch stromabwärts gerichtete Qualitätswarnungen können zudem die Entdeckungswahrscheinlichkeit von Fehlern an nachfolgenden Standorten erhöht werden. Im Modul *Technisches Änderungsmanagement* werden die Abwicklung von technischen Änderungen und der zugehörige Informationsaustausch simuliert. Techn. Änderungen erfolgen dabei durch den Kunden und werden an die Produktionsstandorte versandt. Dort werden die Änderungen implementiert und mögliche Folgeänderungen an vorgelagerte Standorte weitergeleitet. Die Abwicklung wird jeweils an den nachfolgenden Standort oder Kunden übermittelt. Aufträge, die mit der alten Spezifikation erzeugt wurden, werden in den Wareneingängen der Standorte verschrottet.

Im *Bewertungsmodul* werden die Kennzahlen aus den einzelnen Produktionssystemmodulen aufgegriffen und zu einem Kennzahlensystem verknüpft. Die wichtigsten erfassten Größen sind dabei der Umlaufbestand, die Auftragsdurchlaufzeit je Standort, die Liefertreue einzelner Standorte und des Netzwerks, der Fehleranteil auf Standort und Netzwerkebene, Kosten für Prüfung, Nacharbeit und Verschrottung sowie der Anteil von Teilen mit veralteter Spezifikation auf Standort- und Netzwerkebene.

Da aufgrund der Komplexität von einer Korrektheit der Implementierung zunächst nicht ausgegangen werden konnte, wurden zahlreiche Verifikations- und Validierungstechniken eingesetzt. So wurden Teilmodelle strukturiert begutachtet und untersucht. Das Kennzahlensystem wurde mittels Dimensionstests überprüft. Zudem wurden Sensitivitätsanalysen und Grenzwerttests zur Untersuchung der Funktionstüchtigkeit des Frameworks eingesetzt. Zuletzt wurde die Gültigkeit nach dem Prinzip der Validierung im Dialog mit möglichen Anwendern bestätigt.

Schließlich wurde das exemplarische WSN im Simulationsframework implementiert. Dabei fanden die zuvor vorgestellten Module Anwendung. Es wurde ein Modul Produktionsnetzwerk verwendet. Die Standorte wurden über Instanzen des Moduls Produktionsstandort abgebildet. Diese und ihre zugehörigen Ressourcen wurden gemäß der tatsächlichen Wertströme parametrisiert.

Erzielte Ergebnisse

In AP 3 wurde ein modulares Simulationsmodell zur Abbildung des Störungsmanagements erarbeitet. Dieses Modell kann gezielt parametrisiert werden, um die Zusammenhänge im

Störungsmanagement aufzudecken. Das Modell wurde anschließend plausibilisiert und getestet. Die Arbeiten an AP 3 sind somit abgeschlossen.

4.2.4 Arbeitspaket 4: Ermittlung von Wirkzusammenhängen und Zielzustand

Ziel von AP 4 war die Ermittlung von Wirkzusammenhängen zwischen Störungen, dem Grad des Informationsaustauschs und der Leistungsfähigkeit der untersuchten Produktionsnetzwerke. Dabei wurden sowohl allgemeingültige Wirkzusammenhänge ermittelt als auch spezifische Zusammenhänge bei den Partnern untersucht. Schließlich wurde für die beteiligten Partner ein Zielzustand des Informationsaustauschs definiert. Abbildung 7 zeigt das in AP 4 verwendete Vorgehen schematisch auf.

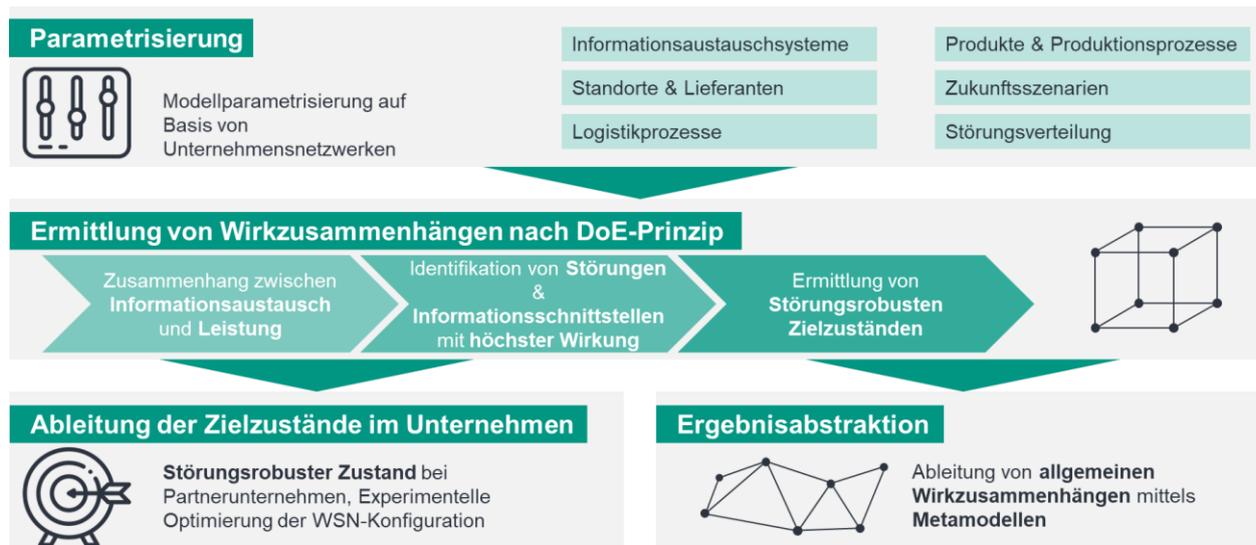


Abbildung 7: Methodische Vorgehensweise in AP 4

Durchgeführte Arbeiten

Zunächst wurde ein Versuchsframework aufgebaut, mit dem die Wirkzusammenhänge ermittelt werden können. Im Framework wurde eine Reihe von Faktoren betrachtet. Es wird unterschieden zwischen Faktoren des Auftragsmanagements, der Qualitätsproblembehebung und des Technischen Änderungsmanagements. Innerhalb dieser werden wiederum *Störgrößen* entsprechend der Ergebnisse von AP 1 durch stochastische Rauschfaktoren abgebildet. Durch Variation der Parameter des Rezeptormodells bezogen auf Produkt, Stückzahl, Zeit, Qualität und Technologie können die Rauschgrößen variiert werden. Die *Reichweite des Informationsaustauschs* wurde als Steuergröße modelliert, die Ausprägungen entsprechen den in AP 2 erarbeiteten möglichen Ausprägungen. Die Bewertung der Maßnahmen erfolgt dann durch die in AP 1 ausgewählten Kennzahlen.

Aufbauend auf den Faktoren wurde ein dreiteiliges Versuchsframework aufgebaut. Dieses Framework besteht aus drei Modulen, die sequentiell zum Verständnis der Wirkzusammenhänge und zur Ermittlung des Zielzustands für den Informationsaustausch dienen. Dieses Framework wurde in MATLAB® implementiert.

Das erste Modul dient der *Ermittlung von signifikanten Faktoren des Informationsaustauschs*. Dazu wurden zunächst Wirkzusammenhänge zwischen dem Informationsaustausch und der resultierenden Leistungsfähigkeit des WSN grundlegend untersucht. Die Wirkzusammenhänge wurden bei fixierten Rauschgrößen mittels eines linearen Regressionsmodells überprüft. Das Signifikanzniveau für Wechselwirkungen zwischen dem untersuchten Faktor des Informationsaustauschs und der Zielgröße der Leistungsfähigkeit wurde auf $\alpha = 0,05$ gesetzt. Anschließend

Screening Versuche dienen der Identifikation der wirkstärksten Faktoren. Dabei wurden Plackett-Burman-Versuchspläne verwendet, die eine simultane Betrachtung von Steuerfaktoren und Rauschfaktoren zulassen. Somit konnte die Anzahl der im Simulations-Framework abgebildeten Steuer- und Rauschfaktoren für die weite Untersuchung reduziert werden. Im Modul *Wiedergabe der Wirkzusammenhänge* wurden Metamodelle an das Verhalten des Simulations-Frameworks antrainiert. Diese Ersatzmodelle erlauben es, in kurzer Zeit die Leistung des Störungsmanagements für beliebige Ausprägungen von Rauschfaktoren und Steuerfaktoren zu prognostizieren. Zur Wiedergabe wurden zunächst Response Surface Modelle (RSM), Gauß-Prozess Regressionen (GPR) und Künstliche Neuronale Netze (KNN) als vielversprechende Metamodellklassen identifiziert. Anschließend wurden geeignete Versuchspläne für die Metamodellklassen ausgewählt, wobei das Central-Composite-Design und das Latin-Hypercube Design Anwendung fanden. Diese wurden Metamodell-spezifisch in einem gekreuzten Versuchsplan integriert. Anschließend fanden Simulationsläufe zur Erstellung eines Trainings- und eines Validierungsdatensatzes statt. Mittels des Trainingsdatensatzes wurden die freien Parameter der Metamodelle angepasst, um so eine bestmögliche Approximation der Versuchsergebnisse zu erzielen. Zur Anpassung wurden jeweils geeignete Verfahren für die Metamodelltypen angewandt. Dabei wurde eine gute Vorhersagegenauigkeit und Interpretierbarkeit der Modelle priorisiert. Zur Gütebewertung wurden die Modelle anschließend mit den Gütekriterien Root Mean Square Error *RMSE* und dem Bestimmtheitsmaß R^2 bewertet. Nach der Validierung wurde schließlich das Metamodell mit der höchsten Prognosegüte genutzt, um die Leistungsfähigkeit des Störungsmanagements hinsichtlich beliebiger Kombinationen von Störungen und Informationsaustausch zu prognostizieren. Auf Basis dieser Metamodelle können für jeden möglichen Wirkzusammenhang Funktionsgraphen gebildet werden, die die einfache Interpretation erlauben.

Zur *Bestimmung des Zielzustands des Informationsaustauschs* wurde schließlich das dritte Modul entwickelt. Dabei wurde ein robuster Zielzustand angestrebt, das heißt ein Zustand, bei dem die prognostizierte Leistungsfähigkeit hoch und die Anfälligkeit gegenüber Störungen gering ist. Dazu wurden die zuvor entwickelten Metamodelle sowie weitere Metamodelle zur Approximation des Variationskoeffizienten der Kennzahlen genutzt. Letztere sind notwendig, um die Forderung nach geringer Anfälligkeit gegenüber Störungen bewerten zu können. Bei der Erstellung der Metamodelle konnte auf die zuvor dargestellte Methodik zurückgegriffen werden. Anschließend wurde im Modul eine robuste Optimierung implementiert. Die Optimierung greift dabei auf die antrainierten Metamodelle zurück. Es handelt sich um ein multikriterielles Optimierungsproblem, da sowohl der Erwartungswert der Zielfunktion als auch der Variationskoeffizient optimiert werden sollen. Dieses kann durch die Ermittlung der Pareto-optimalen Punkte gelöst werden. Aufgrund der Nichtlinearität des gemischt-ganzzahligen Optimierungsproblems wurde dieses in mehrere Teiloptimierungsprobleme zerlegt, die im Einzelnen optimiert werden konnten. Schließlich konnten die optimalen Punkte aller Teiloptimierungsprobleme zusammengeführt werden. Das resultierende Zielbild enthält eine Menge Pareto-optimaler Punkte, die je nach Risikopräferenz der Entscheider:in ausgewählt werden können.

Das zuvor beschriebene Versuchsframework bildet eine in MATLAB® implementierte Einheit und kann als solches für verschiedene WSN angewendet werden. Das entwickelte Vorgehen und Framework wurden exemplarisch am in AP 1 vorgestellten WSN erprobt. Dabei wurden wie beschrieben zunächst die signifikanten Faktoren bestimmt. Hier konnte sowohl für das Auftragsmanagement und die Qualitätsproblembehebung als auch das technische Änderungsmanagement ein signifikanter Zusammenhang zwischen Informationsaustausch und Leistungsfähigkeit ermittelt werden. Nachfolgend wurden die Wirkzusammenhänge mittels Metamodellen approximiert. Dabei stellten sich KNN als am besten für die Abbildung geeignet heraus. Somit konnten die

Wirkzusammenhänge wie zuvor beschrieben dargestellt werden. Es zeigte sich, dass sowohl die betrachteten Fehlerraten als auch die Einstellung des Informationsaustauschs Auswirkungen auf die Anzahl fehlerhafter Teile hatte. Schließlich konnte der Zielzustand des Informationsaustauschs mittels multikriterieller Optimierung ermittelt werden. Dazu wurden für das Auftragsmanagement, die Qualitätsproblembehebung und das technische Änderungsmanagement jeweils Versuchsstudien durchgeführt. Für risikofreudige und risikoaverse Entscheider:innen lassen sich dabei unterschiedliche Einstellungen des Informationsaustauschs ermitteln.

Erzielte Ergebnisse

Im Rahmen von AP 4 wurden ein Versuchsframework für die Untersuchung der Wirkzusammenhänge im Störungsmanagement sowie die Ableitung von robusten Zielzuständen mittels multikriterieller Optimierung erarbeitet. Dieses wurde beispielhaft an einem automobilen WSN erprobt. Die Arbeiten an AP 4 sind somit abgeschlossen.

4.2.5 Arbeitspaket 5: Bewertung von Digitalisierungsmaßnahmen

In AP 5 sollten die in AP 4 ermittelten Zielzustände in konkrete Digitalisierungsmaßnahmen überführt werden. Dazu wurden konkrete Maßnahmen zur Verbesserung des Informationsaustauschs und ein Vorgehen zur Ermittlung der konkreten Maßnahmen entwickelt. Abbildung 8 zeigt das dazu gewählte Vorgehen schematisch.

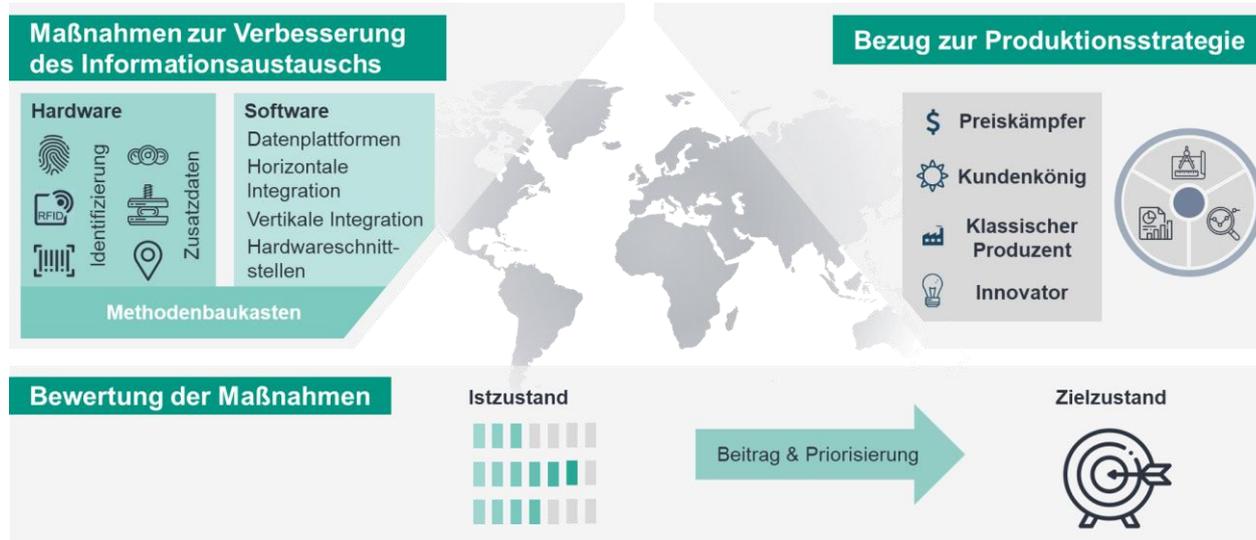


Abbildung 8: Methodische Vorgehensweise in AP 5

Durchgeführte Arbeiten

Die in AP 4 ermittelten Zielzustände des Informationsaustauschs sollten in AP 5 in konkrete Digitalisierungsmaßnahmen umgesetzt werden. Dazu wurde zunächst ein Maßnahmenkatalog erarbeitet, der die Möglichkeiten zur Verbesserung des Informationsaustauschs enthält. Dieser stützt sich auf die in AP 2 definierten Reifegrade und schlägt für jede der Stufen konkrete Maßnahmen vor. Diese wurden jeweils für das Auftragsmanagement, die Qualitätsproblembehebung und das technische Änderungsmanagement in die Kategorien Anwendungssysteme, Infrastruktur und Standards unterteilt. Diese Maßnahmen dienen Anwender:innen als Basis für die Verbesserung des Informationsaustauschs aufbauend auf den Ergebnissen der in AP 4 entwickelten Methodik. Um die Auswahl der Maßnahmen im Einklang mit den Zielen des Unternehmens zu wählen, wurde zudem ein Entscheidungsmodell entwickelt. Dieses berücksichtigt zunächst die Produktionsstrategie des Unternehmens, um sicherzustellen, dass die angestrebten Verbesserungen der strategischen Ausrichtung des Unternehmens entsprechen. Dazu wurden vier idealtypische Produktionsstrategien, die in einschlägiger Literatur Verwendung finden, charakterisiert.

Diese sind „Preiskämpfer“, „Kundenkönig“, „Klassischer Produzent“ und „Innovator“. Auf Basis der Differenzierungsfaktoren, die jeder dieser Idealtypen fokussiert, wurde bewertet, inwiefern die Erhöhung der erwarteten Performance und die Verringerung der Performancevarianz in den Bereichen Auftragsmanagement, Qualitätsproblembehebung und technisches Änderungsmanagement für diese von niedriger, mittlerer oder hoher Bedeutung sind. Für Anwender:innen besteht damit die Möglichkeit, sich einer der vier Idealtypen zuzuordnen und so Verbesserungsmaßnahmen zu priorisieren. Dazu wird zunächst die Differenz zwischen dem entsprechend AP 2 ermittelten Ist-Zustands des Informationsaustauschs und des gemäß AP 4 ermittelten Zielzustands betrachtet. Die dazu notwendigen Maßnahmen werden dann priorisiert, wenn eine mittlere oder hohe Bedeutung der Performance vorliegt.

Um die Umsetzung von Maßnahmen wie der Vernetzung in SCM, CAQ oder PDM Systemen zu vereinfachen, wurden insbesondere im Bereich Anwendungssysteme existierende Produkte verglichen. Dazu wurden zunächst Anforderungen an Anwendungssysteme gestellt. Diese beinhalten sowohl funktionale als auch nicht-funktionale Anforderungen. Funktionale Anforderungen bewerten die grundlegende Eignung der untersuchten Produkte eine Verbesserung des Informationszustands vom Ist- zum Zielzustand zu unterstützen. Nicht-funktionale Anforderungen bewerten die Qualität mit der die Leistungen durch das untersuchte Produkt erbracht werden. Erstere wurden als Ausschlusskriterium genutzt, letztere dienen der Detailbewertung. Für die nicht-funktionalen Kriterien wurden die Kategorien „Kosten“, „Skalierbarkeit“, „Schnittstellen“ und „Support“ bewertet. Zur Entscheidung zwischen verschiedenen Anwendungssystemen unter Berücksichtigung der zuvor definierten Kriterien wurde das Verfahren PROMETHEE aufgrund seiner guten Nachvollziehbarkeit ausgewählt. Zur Unterstützung von Anwender:innen bei der Nutzung dieses Verfahrens wurde ein Anwendungskatalog erarbeitet, der eine initiale Bewertung auf dem Markt existierender Systeme vornimmt. Dieser erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und besitzt nur zum Zeitpunkt der Erstellung Gültigkeit. Für die Nutzung in einem Anwendungsfall müssen die spezifischen Anforderungen und dann gültigen Anwendungssystemcharakteristika untersucht werden.

Das entwickelte Verfahren wurde am oben beschriebenen Anwendungsfall exemplarisch erprobt. Dabei sollte auf Basis der Differenz zwischen dem Ist- und Zielzustand des Informationsaustauschs des Auftragsmanagement auf „digitalisiert“ bzw. „digital integriert“ angehoben werden. Der Informationsaustausch der Qualitätsproblembehebung sollte „digital integriert“ gestaltet werden. Mittels des oben beschriebenen Verfahrens wurde ein Supply Chain Management-System sowie ein geeignetes Computer Aided Quality-System ausgewählt und für den Anwendungsfall vorgeschlagen.

Erzielte Ergebnisse

In AP 5 wurde eine Vorgehensweise für die Auswahl geeigneter Maßnahmen zur Umsetzung des Zielzustands des Informationsaustauschs unter Berücksichtigung der Produktionsstrategie erarbeitet. Es existieren Maßnahmenkataloge zur vereinfachten Auswahl der Maßnahmen. Die erzielten Ergebnisse wurden exemplarisch an einem automobilen Anwendungsfall erprobt. AP 5 ist somit abgeschlossen.

4.2.6 Arbeitspaket 6: Softwaredemonstrator und KMU-Anwenderleitfaden

In AP 6 wurde ein Softwaredemonstrator zur freien Nutzung der erzielten Ergebnisse erarbeitet. Der Demonstrator wird von einem KMU-freundlichen Anwenderleitfaden begleitet, der die Nutzung des Softwaredemonstrators beschreibt. Abbildung 9 zeigt das dazu genutzte Vorgehen.



Abbildung 9: Methodische Vorgehensweise in AP 6

Durchgeführte Arbeiten

Das in vorangegangenen AP erarbeitete Verfahren wurde in AP 6 in einen Praxisleitfaden umgesetzt. Dieser wird begleitet durch mehrere Softwaredemonstratoren, die die eigenständige Durchführung des Verfahrens ermöglichen. Der Leitfaden beschreibt die Schritte, die zur Erarbeitung des Zielbilds des robusten Informationsaustauschs für einen Anwendungsfall notwendig sind. Dabei können zwei Varianten unterschieden werden.

Die erste Variante beinhaltet die Abbildung des untersuchten Wertschöpfungsnetzwerks mittels eines als Applet zur Verfügung gestellten Modells. Dieses wird zunächst parametrisiert. Dazu müssen die Eigenschaften des Produktionsnetzwerks systematisch aufgenommen werden. Diese werden in einer im Praxisleitfaden erläuterten Excel Tabelle aufbereitet. Zur Aufnahme des Netzwerks eignen sich Methoden wie die Wertstromanalyse. Als Ergebnis können für alle relevanten Standorte die zuvor beschriebenen Ausprägungen im Auftragsmanagement, der Qualitätsproblembehebung und im technischen Änderungsmanagement dargestellt werden. Zudem werden relevante Kennzahlen für das Störungsmanagement ermittelt. Dabei werden Nutzer:innen vom Praxisleitfaden unterstützt. Das Applet kann mit dieser Datenbasis ausgeführt werden. Innerhalb des Applets kann die Nutzer:in den Informationsaustausch im untersuchten Netzwerk festlegen und somit die Verbesserungsmöglichkeiten, die sich durch eine Änderung des Informationsflusses ergeben, exemplarisch austesten. Die einzelnen Stufen des Informationsaustauschs und notwendige Maßnahmen für Ihre Implementierung sind dabei im Praxisleitfaden festgehalten. Die erzielten Ergebnisse sind in diesem Fall nicht statistisch abgesichert und eine Optimalität der Maßnahmen kann nicht garantiert werden. Jedoch erlaubt diese Variante auch unerfahrenen Nutzer:innen mit vergleichbar geringem Aufwand die Nutzung der Ergebnisse.

Um eine systematische Untersuchung zu erlauben, wurde auch ein vollfunktionales Modell bereitgestellt, mit dem Nutzer:innen die Wirkzusammenhänge ganzheitlich untersuchen können. Hierzu sind Vollversionen von AnyLogic® und MATLAB® erforderlich. Wie im Praxisleitfaden beschrieben, können zunächst Versuchspläne für die Untersuchungen erstellt werden. Dabei wird die Untersuchung von in AP 4 definierten Rauschgrößen und Einstellungen des Informationsaustauschs sowie passender Kenngrößen der Netzwerkperformance empfohlen. Es ist den Nutzer:innen aber möglich, die Untersuchungsgegenstände frei einzustellen. Diese Versuchspläne können im zur Verfügung gestellten und wie zuvor parametrisierten Simulationsmodell genutzt werden, um Wirkzusammenhänge direkt zu bewerten und um Metamodelle zur Ermittlung des störungsrobusten Zustands des Informationsaustauschs zu ermitteln. Dazu werden die

Ergebnisse gemäß des im Praxisleitfaden detaillierten Formats exportiert. Diese können anschließend in einem dafür entwickelten MATLAB®-Tool genutzt werden. Dieses verwendet als Metamodel ein KNN, nachdem sich dieses in vorangegangenen AP als am besten geeignet für die Abbildung der Zusammenhänge ergeben hat. Das KNN wird zunächst trainiert. Schließlich können mit einem weiteren MATLAB®-Tool die Pareto-effizienten Punkte des Informationsaustauschs für den untersuchten Wirkzusammenhang ermittelt werden. Durch Abgleich der verschiedenen Pareto-effizienten Konfigurationen können Nutzer:innen anschließend den Zielzustand für das untersuchte Wertschöpfungsnetzwerk ermitteln.

Um die Durchführung beider Varianten zu vereinfachen, wurde der Ablauf im Praxisleitfaden ausführlich dokumentiert. Zudem sind jeweils Beispielkonfigurationen vorhanden. Der Praxisleitfaden und die Softwaredemonstratoren werden in Kürze in GitHub einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

Erzielte Ergebnisse

In AP 6 wurden die zuvor erarbeiteten Ergebnisse in ein für Nutzer:innen zugängliches Vorgehen überführt. Dieses umschließt zwei aufwanddifferenzierende Vorgehensvarianten, die durch einen umfassenden Praxisleitfaden und entsprechende Softwaredemonstratoren unterstützt werden. Beide werden in Kürze veröffentlicht. AP 6 ist somit abgeschlossen.

5 Zuwendung und Angemessenheit der Arbeit

5.1 Verwendung der Zuwendung

- **Wissenschaftlich-technisches Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans):** In Summe arbeiteten die wissenschaftlichen Mitarbeiter 33,65 Personenmonate an dem Projekt (2019: 2 PM, 2020: 17,5 PM, 2021: 14,15 PM). Insgesamt wurden im Projekt 178.195,85 € (2019 & 2020: 100.826,51 €, 2021: 77.333,34 €) für wissenschaftlich technisches Personal ausgegeben.
- **Übriges Fachpersonal (Einzelansatz A.2 des Finanzierungsplans):** Es wurden keine Ausgaben für Übriges Fachpersonal getätigt.
- **Hilfskräfte (Einzelansatz A.3 des Finanzierungsplans):** Die Ausgaben für Hilfskräfte betragen insgesamt 16.661,73€ (2019 & 2020: 9.928,17 €, 2021: 6.733,56 €)
- **Pauschale für Personalausgaben (Einzelansatz A.4 des Finanzierungsplans):** Die Pauschale für Personalausgaben belief sich auf 13.588,47 € (2019 & 2020: 7.752,82 €, 2021: 5.835,65 €)
- **Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans):** Es wurden keine Ausgaben für Geräte getätigt.
- **Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans):** Es wurden keine Ausgaben für Leistungen Dritter getätigt.
- **Sonstige Ausgaben (Einzelansatz D des Finanzierungsplans):** Es wurden sonstige Ausgaben in Höhe von 41.541,89 € (2019 & 2020: 15.882,38 €, 2021: 25.659,51 €) getätigt.

5.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die dargestellten inhaltlichen Arbeiten und Ergebnisse der Haushaltsjahre 2019, 2020 und 2021 entsprechen den Vorgaben des Projektplans. Die angestrebten Projektergebnisse konnten erzielt werden. Die Zuwendung des Förderträgers innerhalb der Projektlaufzeit in Höhe von 249.951,94 € diente dem Einsatz von wissenschaftlichen Mitarbeitenden sowie studentischen Hilfskräften. Regelmäßige Arbeitstreffen mit den Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses wurden durchgeführt. Die Abstimmungsgespräche waren notwendig, um eine realistische Abbildung des Störungsmanagements in der industriellen Praxis zu gewährleisten. Aufgrund der beschriebenen Aktivitäten und Ergebnisse war die geleistete Arbeit notwendig und die Verwendung der Zuwendung angemessen.

6 Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse

Die Bearbeitung der Problemstellung des Forschungsvorhabens TransNet erfolgte in enger Zusammenarbeit mit den Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses. Der projektbegleitende Ausschuss setzte sich aus Unternehmen unterschiedlicher Größen und Branchen zusammen. Die enge Kooperation bei der Erarbeitung der Vorgehensweise und Methode sowie die exemplarische Erprobung der Projektergebnisse stellt die Praxisrelevanz und -tauglichkeit der Vorgehensweise sicher. Der projektbegleitende Ausschuss war in Form regelmäßig stattfindender Konsortialtreffen, Arbeitstreffen und durch die Erprobung der Vorgehensweise maßgeblich in die Entwicklung der Projektergebnisse eingebunden.

6.1 Wissenschaftlicher Nutzen der Forschungsergebnisse

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens TransNet leisten einen großen Beitrag zur Verbesserung des Störungsmanagement durch gezielten Informationsaustausch im WSN.

Ergebnis des Forschungsprojekts ist eine Methode zur Bestimmung eines störungsrobusten Zustandes im WSN mittels Informationsaustausches bezüglich Auftragsmanagement, Qualitätsproblembehebung und technischem Änderungsmanagement. Die Ergebnisse adressieren das vorhandene Defizit und erweitern den Stand der Forschung in geeigneter Weise. Zur Bestimmung des Zustands wird Multimethoden-Simulation und Metamodellierung gezielt eingesetzt, um so eine hohe Abbildegenauigkeit zu erreichen und zugleich Wirkzusammenhänge präzise bewerten und Maßnahmen ableiten zu können. Bei der Auswahl der Maßnahmen kann eine individuelle Priorisierung hinsichtlich strategischer Ausrichtung des Unternehmens und der eigenen Risikoaffinität erfolgen. Die Anwenderfreundlichkeit wird dabei mittels den entwickelten Softwaredemonstratoren und dem Praxisleitfaden sichergestellt. Dabei können Entscheider:innen die eigenen WSN sowohl in vereinfachter pragmatischer Weise untersuchen als auch eine umfängliche Optimierung des Informationsaustausch vornehmen.

Das Projekt konnte exemplarisch zeigen, wie durch eine Verbesserung des Informationsaustauschs das Störungsmanagement im WSN verbessert werden kann. So kann der Einsatz von Digitalisierungs- und Industrie 4.0-Methoden in diesem Kontext noch gezielter erfolgen. Das Ergebnis könnte weitergeführt werden, indem Methoden wie das proaktive Störungsmanagement oder die gezielte Kollaboration im WSN mittels Simulation unterstützt werden.

Im Projekt konnte zudem gezeigt werden, dass sich die Kombination aus agentenbasierter und ereignisdiskreter Simulation mit verschiedenen Metamodellierungsmethoden prinzipiell eignet, um komplexe Fertigungsprozesse mit hinreichender Genauigkeit abzubilden und optimale Lösungen zu bestimmen. Dabei stellten sich insbesondere KNN als gut geeignet heraus, um die Ergebnisse der Simulation einer effizienten Weiterverarbeitung zuzuführen.

6.2 Wirtschaftlicher Nutzen der Forschungsergebnisse: Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit von KMU

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens eignen sich für eine breite industrielle, unternehmens- und branchenübergreifende Verwertung.

Generalisierbarkeit und Praxistauglichkeit steigern die industrielle Umsetzung der Forschungsergebnisse. Sie wurden durch die regelmäßig stattfindenden Meilensteintreffen des branchenübergreifend zusammengesetzten PA sichergestellt. Darüber hinaus wurden weitere bilaterale Arbeitstreffen für die Aufnahme von Praxisanforderungen zu Störungsmanagement und

Informationsaustauschs durchgeführt. Auch der Wissensaustausch zu Simulation sowie dem Einsatz von Digitalisierungstechnologien wurde gefördert. Die Unternehmen des PA waren über die Treffen intensiv in das Projektvorhaben eingebunden und trugen direkt zur Erarbeitung der Projektergebnisse bei. Somit wurde der konkrete Nutzen der Methode zur Transparenzsteigerung globaler WSNs unmittelbar dargelegt.

Die nichtkommerziellen Softwaredemonstratoren und der Praxisleitfaden werden nach Projektende der Forschungsvereinigung BVL übergeben. Die Materialien können über die Projekt-Homepage kostenfrei heruntergeladen werden. Damit steht die Methodik zur Transparenzsteigerung einer großen industriellen Basis für die freie Nutzung zur Verfügung. Auch Unternehmen, die nicht Teil des PA sind, können die Methodik für ihre Zwecke nutzen. Die Ergebnisse führen nicht zu einseitigen Wettbewerbsvorteilen. Eine exklusive Nutzung wird vermieden. Im PA wirkten mehrere KMU mit, die während des Projektverlaufs Zweifeln an der Wettbewerbsfähigkeit der Ergebnisse von vorneherein begegnen konnten. Auch diese Maßnahmen trugen zur Sicherung einer breiten industriellen Umsetzung der Forschungsergebnisse bei.

Die industrielle Nutzung der Ergebnisse kann nach Projektende in verschiedenen Branchen mit eng verflochtenen WSN erfolgen.

Die Produktion in WSN ist mit einem hohen Grad an wechselseitigen Verflechtungen und Abhängigkeiten verbunden. Dies gilt insbesondere in den stark integrierten und automobilen Wertschöpfungsnetzwerken. Um den Folgen von sich im Netzwerk ausbreitenden Störungen effizient zu begegnen, ist ein gezieltes Vorgehen notwendig. Da Maßnahmen zum Austausch von Informationen erhebliche Mehrkosten verursachen können, ist eine umfassende Betrachtung ihrer Effektivität notwendig. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts TransNet tragen auf verschiedene Weise dazu bei, die genannten Herausforderungen zu meistern.

Mit den in AP 1 beschriebenen Modellen zur Charakterisierung von Störungen und zur Aufstellung geeigneter Kennzahlen können Unternehmen die Störungen, von denen sie insbesondere betroffen sind, erkennen und ihre Auswirkungen messen. Dies allein dient zur besseren Priorisierung der eigenen Tätigkeiten in diesem Bereich. Mit den in AP 2 definierten Methoden können die eigenen Geschäftsprozesse und der eigene Informationsaustausch charakterisiert werden. So werden die unterschiedlichen Zustände des Informationsaustauschs messbar. Die in AP 3 definierte Modellierungstechnik dient Unternehmen in Verbindung mit dem zur Verfügung gestellten Softwaredemonstrator dazu, ihre Fertigungsabläufe effizient zu modellieren. Damit werden simulationsgestützte Untersuchungen verschiedener Handlungsoptionen möglich. Diese Untersuchungen können innerhalb des in AP 4 entwickelten Versuchs-Frameworks systematisiert werden. Zudem können Unternehmen mittels Metamodellierung neue Systemzustände schneller untersuchen, indem auf die Durchführung zahlreicher Simulationsläufe verzichtet wird. Schließlich können die in AP 5 untersuchten konkreten Maßnahmen zum Informationsaustausch genutzt werden, um eigene Maßnahmen gezielt auszuwählen und so den Zielzustand für den eigenen störungsrobusten Informationsaustausch zu erreichen.

7 Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Für den Ergebnistransfer wurden über die gesamte Projektlaufzeit hinweg mehr als 15 bilaterale Arbeitstreffen mit den Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses durchgeführt. Neben den bilateralen Arbeitstreffen fanden 4 Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses (06.03.2020, 18.09.2020, 19.05.2021, 13.12.2021) statt. Die Sitzungen wurden bei der durchführenden Forschungsstelle, dem wbk Institut für Produktionstechnik am Karlsruher Institut für Technologie, sowie der Hansgrohe GmbH&Co KG. abgehalten. Die letzten beiden Sitzungen mussten aufgrund der Corona-Pandemie digital durchgeführt werden. Aus diesem Grund wurde auch auf eine weitere Sitzung des Projektbegleitenden Ausschusses verzichtet.

Die (Zwischen-)Ergebnisse sowie weiterführende Arbeiten zum Forschungsprojekt TransNet wurden im Rahmen einer Vielzahl von Veranstaltungen einer interessierten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Mehrere Veröffentlichungen thematisieren unter anderem die Verwendung von Simulation als Entscheidungsunterstützung in Wertschöpfungsnetzwerken (CIRP Conference on Manufacturing Systems 2021) und die durch den Informationsaustausch ermöglichte automatisierte Entscheidungsfindung im Fall von Auftragsmanagement bezogenen Störungen (CIRP Conference on Manufacturing Systems 2022). Zudem steht eine Veröffentlichung in der Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb zur praxisnahen Zusammenfassung der Ergebnisse noch aus. Auf diversen Veranstaltungen des wbk konnten die Projektergebnisse in Form eines Posterstandes vorgestellt und diskutiert werden (z. B. wbk Herbsttagung 2020 und 2021).

Im Rahmen des Transfers zwischen Wirtschaft, Forschung und Lehre wurden diverse, teilweise externe, studentische Abschlussarbeiten verfasst (vgl. Tabelle 1). Sie waren während der Bearbeitung in das Forschungsvorhaben und in die Arbeitstreffen bei den Partnern des Projektbegleitenden Ausschusses eingebunden.

Die geschaffene Projekthomepage diente als Anlaufstelle für Interessierte sowie als Austausch- und Kommunikationsplattform für die Mitglieder des Projektbegleitenden Ausschusses. Die Softwaredemonstratoren sowie ein Anwenderleitfaden zur schrittweisen Nutzung der Methode wurden ebenfalls erarbeitet. Sie werden zeitnah an die BVL übersandt und der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Der wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Nutzen der erzielten Ergebnisse wird als hoch eingeschätzt.

Nachfolgend werden die Transfermaßnahmen noch einmal übersichtlich zusammengefasst.

Tabelle 1: Durchgeführte Transfermaßnahmen

Maßnahme	Ziel	Ort/ Rahmen	Zeitraum
Internetauftritt am wbk	<ul style="list-style-type: none"> • Frei zugängliche Informationsbereitstellung und Kontaktforum für Industrie und Forschung • Umfassende Verbreitung der Ziele und Ergebnisse unter den Partnern des wbk 	https://www.wbk.kit.edu/wbkintern/Forschung/Projekte/TransNet/index.php?site=kontakt	Seit Projektstart
Durch das wbk veranstaltete Konferenzen:	<ul style="list-style-type: none"> • Gezielte Verbreitung der Ziele und Forschungsergebnisse unter Unternehmen, 	Tagungsräumlichkeiten am KIT	Herbsttagung 2020, 2021,

<ul style="list-style-type: none"> • Herbsttagung am wbk • 3. Expertenforum “Globale Produktion 2020” 	<p>darunter vor allem auch KMU</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diskussion der Ergebnisse 		Expertenforum 2020
Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses (PA) und Dokumentation der Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Aufnahme der Anforderungen der Unternehmen, insbesondere KMU • Transfer der aktuellen Projektergebnisse an Unternehmen • Abgleich der Anwendbarkeit, Sicherstellung der Allgemeingültigkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse 	Karlsruhe und Offenburg	Während der Projektlaufzeit
Bilaterale Arbeitstreffen mit Unternehmen des PA (unter anderem mit Schaeffler, Hansgrohe, ROI, Porsche Consulting)	<ul style="list-style-type: none"> • Gezielter Wissensaustausch zu spezifischen Problemstellungen und Diskussion konkreter Arbeitsinhalte 	Unternehmenssitz der PA-Mitglieder	Mehrere Arbeitstreffen durchgeführt
Durchführung von Abschluss- sowie Studienarbeiten zu Fragestellungen innerhalb des Vorhabens: Wu, H. 2020; Bliß, F. 2020; Schülle, S. 2020; Liu, L: 2021	<ul style="list-style-type: none"> • Vermitteln von wissenschaftlichen Methoden sowie Aufarbeiten wesentlicher Grundlagen zum Forschungsthema 	KIT und extern bei PA-Mitgliedern	Ständig während der Projektzeit
<p>Vortrag bei internationalen Fachkonferenzen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • CIRP Conference on Manufacturing Systems (Benfer, M., Peukert, S., & Lanza, G. (2021). A Framework for Digital Twins for Production Network Management. Procedia CIRP, 104, 1269-1274. • CIRP Conference on Manufacturing Systems (Feßenmayr, F., Benfer, M., Gartner, P., Lanza, G. (2022) Selection and implementation of traceability based automated decision-making methods in global production networks. Procedia CIRP (in press). 	<ul style="list-style-type: none"> • Nationale und internationale Verbreitung der Forschungsergebnisse • Kenntnisnahme laufender Arbeiten zum Thema des Vorhabens • Diskussion des Forschungsinhalts mit nationalem und internationalem Fachpublikum 	Konferenzort, englischsprachige Artikel	2021, 2022

Tabelle 2: Ausstehende Transfermaßnahmen

Maßnahme	Ziel	Ort/ Rahmen	Zeitraum
Veröffentlichungen in industrienahe- nen Fachzeitschriften: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Industrie 4.0 Management	<ul style="list-style-type: none"> • Breitenwirksame Ver- breitung der Ergeb- nisse unter Praktikern 	Deutschspra- chige Artikel	(In Aus- arbei- tung)
Publikation eines Praxisleitfadens und zur Verfügungstellung des Softwaredemonstrators	<ul style="list-style-type: none"> • Öffentlicher Zugang zu den Projektergebnis- sen sowie Möglichkeit zur Anwendung der Methodik zur Transpa- renzsteigerung inkl. Softwaredemonstra- tors in der Praxis 	Vertrieb über die For- schungsver- einigung	Zum Pro- jektende (In Aus- arbei- tung)
Vorstellung der Ergebnisse in Ver- bänden und Vereinen (z. B. IHK, AHK, bw-i)	<ul style="list-style-type: none"> • Breitenwirksame Ver- mittlung und Diskus- sion der Ergebnisse des Vorhabens mit in- teressierten Unterneh- men 	Veranstal- tungsort/digi- tal	Ab 2022
Lernfabrik „Globale Produktion“	<ul style="list-style-type: none"> • Wissensvermittlung der praxistauglichen Forschungsergeb- nisse im Rahmen von Schulungen und einer universitären Lehrver- anstaltung 	wbk Lernfab- rik am KIT	Ab 2022

8 Durchführende Forschungsstelle und Projektbegleitender Ausschuss

8.1 Durchführende Forschungsstelle

8.1.1 Name und Anschrift der Forschungsstelle

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
wbk Institut für Produktionstechnik
Campus Süd
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe

8.1.2 Leiterin der Forschungsstelle

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Institutsleitung, Bereich Produktionssysteme
Telefon: +49 721 608 44017
Telefax: +49 721 608 45005
E-Mail: gisela.lanza@kit.edu

8.1.3 Projektleitung

Martin Benfer, M.Sc.
Akademischer Mitarbeiter, Bereich Produktionssysteme
Telefon: +49 1523 9502651
E-Mail: martin.benfer@kit.edu

8.2 Projektbegleitender Ausschuss

8.2.1 Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses

BSH Hausgeräte GmbH (Herr Rainer Babel)

Carl-Wery-Str. 34
81739 München

Daimler Truck AG (Frau Franziska Feßenmayr)

Plant 0001 / HPC DTF4A
70771 Leinfelden-Echterdingen

flexis AG (Herr Hansjörg Tutsch)

Schockenriedstraße 46
70565 Stuttgart

Glencore International AG (Herr Alexander Görzen)

Baarermattstrasse 3
CH-6340 Baar
Schweiz

Hansgrohe SE (Herr Martin Jäggle)

Austraße 5-9
77761 Schiltach

Hansgrohe SE (Herr Markus Rothfuß)

Austraße 5-9
77761 Schiltach

Pickert & Partner GmbH (Herr Sven Rimmelspacher)

Händelstraße 10
76327 Pfinztal

Porsche Consulting GmbH (Herr Benjamin Bulander)

Porschestraße 1
74321 Bietigheim-Bissingen

ROI Management Consulting AG (Herr Sebastian Grundstein)

Infanteriestraße 11
80797 München

Schaeffler Automotive Buehl, GmbH & Co. KG (Herr Heiko Wöhner)

Industriestraße 3
77815 Bühl

Schaeffler Automotive Buehl, GmbH & Co. KG (Frau Andrea Kopp)

Industriestraße 3
77815 Bühl

Schaeffler Automotive Buehl, GmbH & Co. KG (Herr Andreas Drexler)

Industriestraße 3

77815 Bühl

SenseING GmbH (Herr Sven Kruse)

Kapellenstr. 16

76131 Karlsruhe

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Logo des Forschungsprojekts TransNet	3
Abbildung 2: Problemstellung Transparenzsteigerung in WSNs der Automobilzulieferer-industrie sowie des Maschinen- und Anlagenbaus	6
Abbildung 3: Projektplan.....	7
Abbildung 4: Methodische Vorgehensweise in AP 1	8
Abbildung 5: Methodische Vorgehensweise in AP 2.....	10
Abbildung 6: Betrachtete Aspekte in AP 3.....	11
Abbildung 7: Methodische Vorgehensweise in AP 4.....	13
Abbildung 8: Methodische Vorgehensweise in AP 5.....	15
Abbildung 9: Methodische Vorgehensweise in AP 6.....	17

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Durchgeführte Transfermaßnahmen	22
Tabelle 2: Ausstehende Transfermaßnahmen	24

III. Literaturverzeichnis

- A.T. Kearney & WHU. (2015). *Digital Supply Chains: Increasingly Critical for Competitive Edge: European A.T. Kearney/WHU Logistics Study 2015*.
- AEB. (2016). *Global Trade Management Agenda 2016: Supply Chain Collaboration in der Unternehmenspraxis. Und die wichtigsten Aufgaben beim Management internationaler Lieferketten*.
- Bendul, J. & Brüning, M. (2017). *Kooperatives Supply Chain Risikomanagement: Neue Wege für den Umgang mit existenzbedrohenden Supply Chain Störungen*. Jacobs University Bremen.
- BMWl. (2018). *Branchenskizze Maschinen- und Anlagenbau*.
- Bratzel, S., Retterath, G. & Hauke, N. (2015). *Automobilzulieferer in Bewegung: Strategische Herausforderungen für mittelständische Unternehmen in einem turbulenten Umfeld* (1. Aufl.). *Forschung aus der Hans-Böckler-Stiftung: Bd. 171*. Nomos edition sigma.
<http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=2049815>
<https://doi.org/10.5771/9783845262192>
- BVL. (2018). *Digitale Netzwerke sind Treiber des Wandels. BVL Infografik Digitale Netzwerke Januar 2018*. Bremen.
- Diez, W. (2016). *Sprenu und Weizen. Welche KMU-Automobilzulieferer schaffen den Strukturwandel, welche nicht? Expertenstudie von Struktur Management Partner und dem Institut für Automobilwirtschaft*. Struktur Management Partner GmbH.
- Ebel, B. & Hofer, M. B. (2014). *Automotive Management: Strategie und Marketing in der Automobilwirtschaft* (2., überarb. und aktualisierte Aufl.). Springer Gabler.
<http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-34068-0> <https://doi.org/10.1007/978-3-642-34068-0>
- Geissbauer, R., Schrauf, S., Koch, V. & Kuge, S. (2014). Industrie 4.0–Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution. *PricewaterhouseCoopers (PWC)*, 227, 13.
- Göpfert, I. (Hrsg.). (2016). *Logistik der Zukunft - Logistics for the Future* (7., aktualisierte und erweiterte Auflage). Springer Gabler. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-12256-0>
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-12256-0>
- Han, J. & Kamber, M. (2010). *Data mining: Concepts and techniques* (2. Aufl.). *The Morgan Kaufmann series in data management systems*. Elsevier/Morgan Kaufmann.
- Hermes. (2017). *Transparenz in der Supply Chain.: Die 6. Ausgabe des Hermes-Barometers präsentiert die Ergebnisse einer Telefonbefragung unter rund 200 Logistikentscheidern*.
- Koch, J., Brandl, F., Hofer, A. & Reinhart, G [G.]. (2015). *Änderungsmanagement in der Produktion*. TU München.
- Lee, J., Bagheri, B. & Kao, H.-A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23.
<https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C. & Hung Byers, A. (2011). *Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity*. McKinsey Global Institute.
- Ohlen, O. (2017). *SCM in deutschen Industrieunternehmen 2017: Zwischen Wunsch und Wirklichkeit*. EMPORIAS Management Consulting.

- Pfohl, H.-C. (Hrsg.). (2008). *Schriftenreihe Wirtschaft & Logistik. Sicherheit und Risikomanagement in der Supply Chain: Gestaltungsansätze und praktische Umsetzung*. DVV-Media-Group Dt. Verkehrs-Verl.
- Sodhi, M. S. & Tang, C. S. (2012). *Managing Supply Chain Risk* (1. Aufl.). *International Series in Operations Research & Management Science*, 172. Springer-Verlag.
<http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10538849>
- Váncza, J. (2016). Production Networks. In T. I. A. f. Produ, L. Laperrière & G. Reinhart (Hrsg.), *CIRP Encyclopedia of Production Engineering* (S. 1–8). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7_16829-1
- VDA. (2019). *Automobilindustrie und Märkte: Zulieferindustrie und Mittelstand*. Verband der Automobilindustrie (VDA). <https://www.vda.de/de/themen/automobilindustrie-und-maerkte/mittelstand/zulieferindustrie-und-mittelstand.html>
- Wiendahl, H.-H. (2011). *Auftragsmanagement der industriellen Produktion: Grundlagen, Konfiguration, Einführung*. *VDI-Buch*. Springer Berlin Heidelberg. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-19149-7>