

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 19421 N / 1

Thema

Entwicklung einer Planungsunterstützung zur Gestaltung von Prüfstrategien und Umsetzung von Qualitätsmaßnahmen in globalen Wertschöpfungsnetzwerken

Berichtszeitraum

01.04.2017 bis 31.03.2019

Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V.

Forschungseinrichtung(en)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) - wbk Institut für Produktionstechnik

Karlsruhe, den 31.05.2019

Ort, Datum

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza

Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der
Forschungseinrichtung(en)

Gefördert durch:

Inhaltsverzeichnis

Thema	1
Berichtszeitraum	1
Forschungsvereinigung	1
Forschungseinrichtung(en)	1
Inhaltsverzeichnis	2
1. Förderhinweis	4
2. Zusammenfassung des Forschungsprojekts PlanQ	5
3. Ausgangssituation und Problemstellung	6
4. Methodisches Vorgehen und Projektergebnisse	8
4.1 Projektziel	8
4.2 Methodische Vorgehensweise	8
4.3 AP 1: Prozess- und Qualitätsmerkmalanalyse	9
4.4 AP 2: Prüfstrategien und QS-Maßnahmen	11
4.5 AP3: Aufbau einer Netzwerksimulation	13
Entity-Relationship-Modell des implementierten Simulationsmodells	13
Vorgänge innerhalb der Entitäten	14
Kennzahlen der Simulation	16
Parametrierbare Eingangsgrößen der Simulation	18
Implementierung in AnyLogic, Schnittstellen und Benutzerinteraktion	20
4.6 AP4: Ableitung der optimaler Maßnahmen und Prüfstrategien	20
4.7 AP5: Aufwands- und Nutzenbewertung von QS-Maßnahmen	24
4.8 AP6: Validierung der Methodik	25
Fall 1: Lieferkette zur Fertigung von Metall-Kunststoff-Hybridbauteilen	25
Fall 2: Netzwerk für hydraulische Systeme und Fahrzeugkomponenten	26
Fall 3: Unternehmen für Beratung im Bereich Global Footprint	27
Softwarefunktionsmuster	28
5. Zuwendung und Angemessenheit der Arbeit	29
5.1 Verwendung der Zuwendung	29
5.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	29
6. Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnissen	30
6.1 Wissenschaftlicher Nutzen der Forschungsergebnisse	30

6.2 Wirtschaftlicher Nutzen der Forschungsergebnisse: Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit von KMU	31
7. Ergebnistransfer in die Wirtschaft	32
8. Durchführende Forschungsstelle und Projektbegleitender Ausschuss	37
8.1 Durchführende Forschungsstelle	37
Name und Anschrift der Forschungsstelle	37
Leiterin der Forschungsstelle	37
Projektleitung	37
8.2 Projektbegleitender Ausschuss	37
Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses	37
I. Abbildungsverzeichnis	39
II. Literaturverzeichnis	40

1. Förderhinweis

„Das IGF-Vorhaben 19421 N/1 der Forschungsvereinigung Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V., Schlachte 31, 628195 Bremen wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.“



Abbildung 1: Logo des Forschungsprojekts PlanQ

2. Zusammenfassung des Forschungsprojekts **PlanQ**

Die zunehmende Internationalisierung kleiner und mittelständischer Unternehmen (KMU) resultiert in der Entstehung globaler Wertschöpfungsnetzwerke mit vielfältigen Liefer- und Leistungsverflechtungen. Eine Herausforderung für Unternehmen besteht darin, diese Netzwerke bestmöglich zu steuern, um die geforderte Produkt- und Prozessqualität zu gewährleisten. Die Gestaltung der Qualitätssicherungsstrategie erfordert eine netzwerkübergreifende und integrierte Betrachtung von Qualitäts-, Produktions- und Logistikprozessen sowie des begleitenden Informationsaustauschs.

Ziel des Forschungsprojekts PlanQ war die Entwicklung einer Planungsunterstützung zur Gestaltung von Prüfstrategien und Umsetzung von Qualitätsmaßnahmen in globalen Wertschöpfungsnetzwerken. Dabei sollten Verbesserungspotentiale in der Qualitätssicherung visualisiert und die standortübergreifende Prüfstrategie optimiert werden. Zudem war es das Ziel, ein Modell zur quantitativen Aufwands- und Nutzenbewertung von Qualitätsmaßnahmen zu erarbeiten. Dieses Modell sollte spezifische Zielsysteme und Rollen der Partner im Netzwerk berücksichtigen.

Von der Motivation und Zielsetzung ausgehend wurde im Rahmen des Projekts eine Methodik zur Analyse und Visualisierung des Status-Quo des netzwerkspezifischen Qualitätswertstroms entwickelt. In enger Zusammenarbeit mit dem Projektbegleitenden Ausschuss konnte festgestellt werden, dass insbesondere die vier Dimensionen „Rechtliche Aspekte“, „Information und Kommunikation“, „Qualitätsmanagement“ sowie „Technische Aspekte“ die Qualität in Wertschöpfungsnetzwerken beeinflussen. Aufbauend auf den Erkenntnissen fand auf Basis von Literaturrecherchen und Experten-Workshop eine Identifizierung und Kategorisierung alternativer Qualitätssicherungsmaßnahmen statt. Insbesondere Maßnahmen wurden betrachtet, die auf eine Verstärkung des Informationsaustauschs in Wertschöpfungsnetzwerken abzielen. Es folgte der Aufbau einer Multimethoden-Simulation in AnyLogic. Die Simulation ermöglicht eine Modellierung des Netzwerkes inklusive der Produktions-, Logistik und Qualitätsprozesse gemäß morphologischer Merkmalschemen. Das Simulationsmodell wurde nach Verfahren der statistischen Versuchsplanung (DoE) und Metamodellierung ausgewertet. Die standortübergreifende optimale Prüfstrategie und Maßnahmen zur Qualitätssteigerung durch verstärkten Informationsaustausch konnten ermittelt werden. Mit einer Aufwand- und Nutzenbewertung der Qualitätssicherungsmaßnahmen endeten die Arbeiten im Projekt PlanQ.

Die Methodik wurde beispielhaft auf eine Lieferkette zur Fertigung von Metall-Kunststoff-Hybridbauteilen (Robert Bosch GmbH und Konecny Gerätebau GmbH) sowie zur Fertigung hydraulischer Systeme und Fahrzeugkomponenten aus der Automobilzulieferindustrie (TI Automotive GmbH) angewendet. Ein mittelständisches Beratungsunternehmen (ROI Management Consulting AG) prüft derzeit den Einsatz von Methodik zur Absicherung von Global Footprint Entscheidungen. Die Unternehmen waren Mitglieder des Projektbegleitenden Ausschusses von PlanQ. Das Simulationsmodell ist als Softwarefunktionsmuster über die Plattform für Software-Entwicklungsprojekte GitHub abrufbar. Die Ergebnisse ermöglichen es, Empfehlungen zur Verbesserung der Qualitätssicherungsstrategie, des Qualitätsmanagements und des Informationsaustauschs in globalen Wertschöpfungsnetzwerken zu formulieren. Sie weisen sowohl einen hohen wissenschaftlich-technischen Nutzen als auch wirtschaftlichen Nutzen für KMU auf. Mit dem Forschungsprojekt PlanQ wurde ein innovativer Beitrag zur Weiterentwicklung und Qualitätssteigerung von globalen Fertigungsprozessen geleistet, wie sie allgemein im verarbeitenden Gewerbe vorzufinden sind.

3. Ausgangssituation und Problemstellung

Sowohl große als auch kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) haben ihre Fertigungstiefen reduziert und produzieren heute zu Tage in globalen Wertschöpfungsnetzwerken (Möller et al. 2011). Wertschöpfungsnetzwerke ermöglichen eine marktnahe Produktion kundenspezifischer und regional differenzierter Produkte. Sie eröffnen Wettbewerbsvorteile durch geringere Produktions- und Beschaffungskosten und bieten Zugang zu lokalen Kenntnissen und Qualifikationen (Abele 2008). Nicht nur privatwirtschaftlich sondern auch volkswirtschaftlich ist die globale Produktion von KMU von großer Bedeutung. KMU tragen in Deutschland einen überproportionalen Beitrag zur Beschäftigung und Entstehung neuer Arbeitsplätze bei (Söllner 2016). Der positive Zusammenhang zwischen der Außenhandelsaktivität von KMU und ihrem Beschäftigungswachstum wurde vom statistischen Bundesamt im Jahr 2016 in der Studie „Der deutsche Mittelstand im Zeichen der Globalisierung“ belegt (vgl. Abbildung 2) (Söllner 2016).

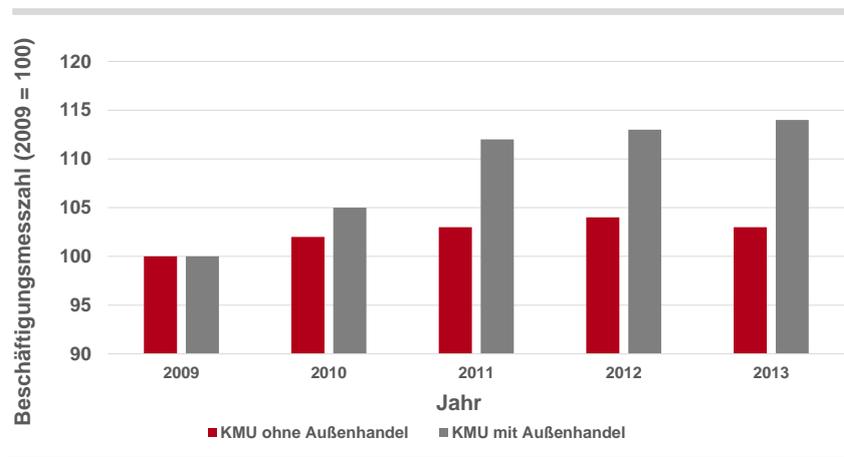


Abbildung 2: Beschäftigungsentwicklung bei KMU mit und ohne Außenhandelsaktivität

Kennzeichnend für die Produktion von KMU in globalen Wertschöpfungsnetzwerken sind vielfältige Liefer- und Leistungsverflechtungen zwischen den einzelnen unternehmensinternen Standorten sowie den Standorten externer Kunden und Zulieferer (Thomas 2011). Aufgrund der Fokussierung auf Kernkompetenzen steuern die beteiligten Partner ihre Produktionssysteme in Abhängigkeit ihres jeweiligen Zielsystems selbst und definieren individuelle Optimierungsmaßnahmen. Hieraus resultieren wechselseitige Interdependenzen, Zielkonflikte und asymmetrische Informationsverteilung (Tapiero & Kogan 2007).

Die Gewährleistung einer herausragenden Produktqualität bei gleichzeitig hoher Prozessflexibilität ist ein Wettbewerbsvorteil von KMU. Im Kontext einer globalen Produktion in Netzwerken ist die Wahrung der Produktqualität mit besonderen Herausforderungen verknüpft (Arndt 2018). Trotz langer Wertschöpfungsketten mit vielen involvierten Partnern und divergierenden Standortfaktoren ist die geforderte Qualität des Endprodukts unter minimalen kumulierten Fehlerverhütungs- und Prüfkosten sowie Lieferzeiten zu gewährleisten. Aktuell ist der Fokus der Qualitätssicherungsstrategie bestehend aus einer Prüfstrategie und der Durchführung von Qualitätsmaßnahmen vollständig auf die zu betrachtenden technischen Prozesse der einzelnen Partner ausgerichtet. Das Zielsystem des gesamten Netzwerks wird nicht angemessen berücksichtigt und die Auswirkungen von Qualitätsmaßnahmen nicht ganzheitlich betrachtet. Aufgrund der auf standortinternen Faktoren begrenzten Bewertung werden Qualitätsmaßnahmen möglicherweise nicht durchgeführt, obwohl diese in einer ganzheitlichen

Betrachtung des Wertschöpfungsnetzwerks eine positive Wirkung hätten (Treber et al. 2018). Auch können standortübergreifende Optimierungspotentiale in der Prüfplanung (z.B. durch höhere Auslastung von teuren Messmitteln an anderen Standorten) nicht realisiert werden. Möglicherweise werden redundante Prüfungen an verschiedenen Standorten durchgeführt. Dies führt zu Ineffizienzen.

Mangelnde Transparenz aufgrund geringem Informationsaustausch im Gesamtprozess führt dazu, dass Fehler aufgrund langer Zeitdauer zwischen dem Auftreten und der Reaktion auf Qualitätsmängel zu spät erkannt werden (Treber und Lanza 2018). Dies bedingt Wertschöpfung an fehlerhaften Vorprodukten sowie den vermehrten Transport von Ausschuss. Weitere Kosten und lange Wiederbeschaffungszeiten sind die Folge. Die Gefahr besteht zudem darin, dass Qualitätsmängel durch die zunehmende Reduktion von Beständen zu erheblichen Störungen führen. Produktionsstillstände in den nachgelagerten Wertschöpfungsstufen sind die Folge. Störungen können sich bis zum finalen Kunden fortpflanzen. Zusätzlich können die Fehlerursachen möglicherweise standortübergreifend nicht eindeutig zurückverfolgt werden. Eine kontinuierliche Verbesserung der Fertigungsprozesse ist nicht möglich.

Die Ausführungen zeigen, dass die Gestaltung von Qualitätssicherungsmaßnahmen in globalen Wertschöpfungsnetzwerken nicht auf einzelne Partner fokussiert sein darf. Vielmehr erfordert sie eine integrierte Betrachtung von Qualitäts-, Produktions- und Logistikprozessen sowie der begleitenden Informationsflüsse (Arndt et al. 2016). Praxisbeispiele für Qualitätsmängel an Produkten mit negativen wirtschaftlichen Folgen gibt es zu Genüge (vgl. Abbildung 3, Rückrufquoten der Automobilindustrie). So betrug im Jahr 2017 die Rückrufquote in der Automobilindustrie, welche die Zahl zurückgerufener Fahrzeuge an den Neuzulassungen des Jahres ausdrückt, einen Wert von 147% für den Referenzmarkt USA (Bratzel 2018). BMW musste aufgrund eines Defekts in der Kurbelgehäuselüftung 740.562 Fahrzeuge in die Werkstätten zurück rufen. VW hatte mit Problemen bei der Motorkühlung (324.867 Fahrzeuge) und der Benzinpumpe (521.402 Fahrzeuge) zu kämpfen. Als strukturelle Ursachen werden einerseits die steigende technische Fahrzeugkomplexität, kürzere Produktentwicklungszeiten sowie Baukasten- und Gleichteilestrategie angeführt. Auch Wertschöpfungsverlagerung sowie die Globalisierung der Produktion werden explizit genannt. Mit 75% an Zulieferer verlagertem Wertschöpfungsanteil steigen insbesondere in der Automobilindustrie die Anforderungen an ein übergreifendes Qualitätsmanagement, welches Lieferanten berücksichtigt. Dabei ist nicht nur die Qualität der zugelieferten Teile sondern auch die Qualität global verteilter Produktionsprozesse abzusichern. (Bratzel 2018)

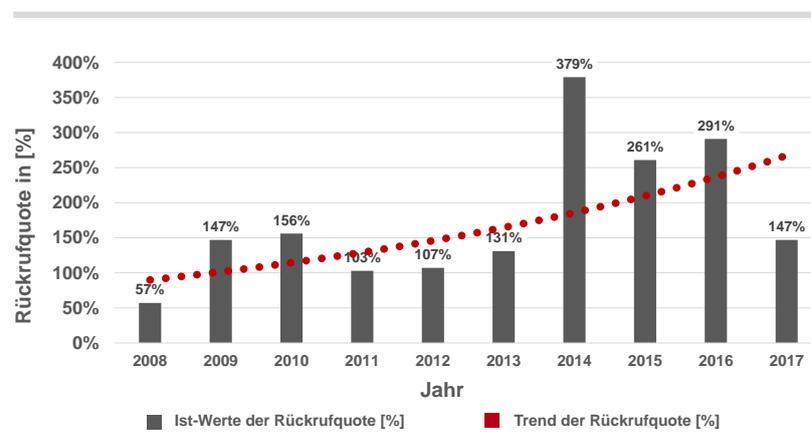


Abbildung 3: Rückrufquoten in der Automobilindustrie in Anlehnung an (Bratzel 2018)

4. Methodisches Vorgehen und Projektergebnisse

4.1 Projektziel

Von der Ausgangssituation und Problemstellung ausgehend war es das Ziel des Projekts PlanQ, eine Planungsunterstützung zur Gestaltung von Prüfstrategien und Umsetzung von Qualitätsmaßnahmen in globalen Wertschöpfungsnetzwerken zu entwickeln. Der Innovationsgrad des Projekts sollte in der integrierten Betrachtung von Qualitätsmerkmalen, Produktions-, Prüf-, Transport- und Informationsaustauschprozessen in Wertschöpfungsnetzwerken liegen. Ablaufsimulation und Multi-Agenten-Modellierung sollten verknüpft werden, um die optimale standortübergreifende Qualitätssicherungsstrategien bei Berücksichtigung von individuellen Standortrollen zu ermitteln. Die zu entwickelnde Methodik sollte es KMU ermöglichen, die geforderte Qualität ihres Endprodukts unter minimalen kumulierten Fehlerverhütungs- und Prüfkosten sowie Lieferzeiten gewährleisten zu können. Die drei Hauptprojektziele waren:

- Entwicklung einer Methodik zur Visualisierung von Verbesserungspotentialen in der standortübergreifenden Qualitätssicherungsstrategie
- Entwicklung eines Simulationsmodells, mit dem KMU die optimale standortübergreifende Prüfstrategie in Abhängigkeit der individuellen Standortrollen ermitteln können
- Erarbeitung eines Modells, das eine standortübergreifende, quantitative Aufwands-/ Nutzenbewertung von Qualitätsmaßnahmen unter Berücksichtigung der netzwerkindividuellen Konfiguration für KMU ermöglicht

4.2 Methodische Vorgehensweise

Zum Erreichen der Zielsetzung unterteilte sich die wissenschaftliche Vorgehensweise in die vier Phasen Analyse, Modellierung, Bewertung und Empfehlung. Die Bearbeitung der vier Phasen erfolgte in sieben Arbeitspakete (APs). Abbildung 4 stellt eine Übersicht der Phasen des Forschungsvorhabens, die Einordnung der Arbeitspakete und deren Zusammenhang dar.

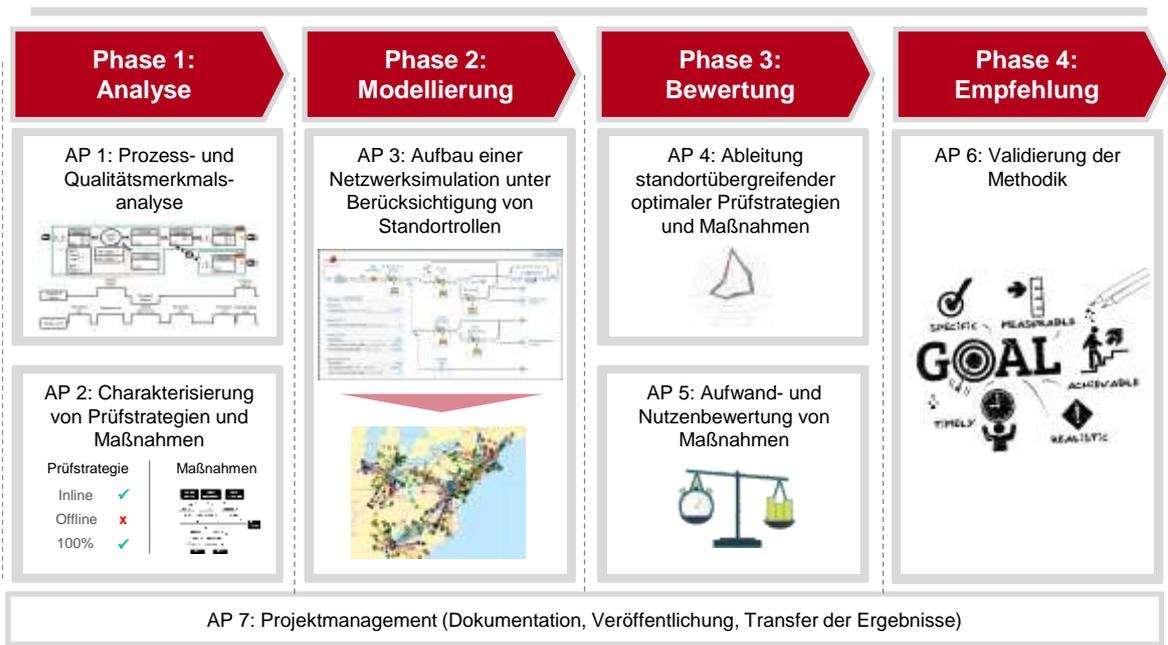


Abbildung 4: Arbeitsprogramm des Forschungsprojekts PlanQ

Die ersten Phase „Analyse“ diente dazu, in AP 1 die netzwerkindividuelle Qualitätssicherungsstrategie bei den produzierenden Unternehmen im Projektbegleitenden Ausschuss zu analysieren und anschließend Verbesserungspotentiale zu identifizieren. Darauf aufbauend sollte eine Methodik zur Visualisierung von Verbesserungspotentialen im Qualitätswertstrom entwickelt werden. Basierend auf den visualisierten Potentialen sollten in AP 2 mögliche Prüfstrategien und Qualitätssicherungsmaßnahmen auf Basis von Literaturrecherchen und Expertenworkshops identifiziert und zu kategorisiert werden. Die sich anschließende zweite Phase der „Modellierung“ diente dazu, in AP 3 eine Simulation von Wertschöpfungsnetzwerken aufzubauen. Ziel der Simulation war es, Prüfstrategien und Qualitätssicherungsmaßnahmen für die einzelnen Standorte beziehungsweise das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk unter Berücksichtigung netzwerkindividueller Besonderheiten und dynamischer Einflussfaktoren abzubilden. Die Phase „Bewertung“ hatte in AP 4 das Ziel, mit der Simulation die optimale standortübergreifende Prüfstrategie zu ermitteln. Mit festzulegenden innovativen Modellierungskonzepten, Heuristiken und Optimierungsverfahren sollten Prüfkombinationen (Prüfzeitpunkt, Prüfmerkmal, Prüfmittel etc.) und weitere Maßnahmen hinsichtlich der definierten Zielsysteme (beispielsweise in den Dimensionen Qualität, Kosten und Zeit) ermittelt und der Nutzen für das Gesamtnetzwerk evaluiert werden. In AP 5 sollte der Nutzen der Maßnahmen zur Verbesserung des Qualitätsniveaus sowohl für jeden Standort als auch für das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk dem erforderlichen Aufwand gegenübergestellt werden. Das Simulationsmodell sollte dabei zu den veränderten Parametern jeder Qualitätsmaßnahmenkombination relevante Kennzahlen zurück geben. Nach jedem Simulationslauf mit veränderten Eingangsparametern sollte die Verbesserung oder Verschlechterung quantifiziert und abschließend das beste Design für die Kombinationen von Qualitätsmanagementmaßnahmen identifiziert werden. Die Phase „Empfehlung“ sollte in AP 6 die Praxistauglichkeit der Planungsunterstützung für KMU sicherstellen und die Projektergebnisse in einem anwenderfreundlichen Softwarefunktionsmuster zusammenfassen. Anwender sollen ihr unternehmensindividuelles Wertschöpfungsnetzwerk abbilden, verschiedene Standortrollen integrieren und die Auswirkungen verschiedener Maßnahmenkombinationen anhand ihres individuellen Kennzahlensystems, bewerten und visualisieren können. Die einfache Bedienung des Softwarefunktionsmusters sollte durch eine benutzerfreundliche Oberfläche sichergestellt werden. Das projektbegleitende AP 7 umfasste die Veröffentlichung und den Transfer der Projektergebnisse. Auch KMU, die nicht am Projekt beteiligt waren, sollten von den Ergebnissen des Forschungsvorhabens profitieren können.

Die durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete werden im Folgenden detailliert erläutert.

4.3 AP 1: Prozess- und Qualitätsmerkmalanalyse

Ziel von AP 1 war es, die netzwerkindividuelle Qualitätssicherungsstrategie bei den produzierenden Unternehmen im Projektbegleitenden Ausschuss zu analysieren und anschließend Verbesserungspotentiale zu identifizieren. Die Methodik der standortübergreifenden Wertstromanalyse sollte aufgegriffen und weiterentwickelt werden.

Zur Erreichung der Zielsetzung wurde in enger Zusammenarbeit mit den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses ein wertstromorientiertes Vorgehensmodell zur Erfassung des Qualitätsniveaus global verteilter Wertschöpfungsnetzwerke entwickelt. Die Methodik unterteilt sich in vier Schritte. Sie besteht aus einem Netzwerk-Quick-Check zur Erfassung des Wertschöpfungsnetzwerks, der Festlegung von Zielen, einer nachfolgenden detaillierteren Netzwerkanalyse und dem Qualitätswertstromdesign.

Ziel des Wertschöpfungsnetzwerks-Quick-Checks ist es, ein erstes grundlegendes Verständnis des zu analysierenden Wertschöpfungsnetzwerks zu erhalten. Dabei sollen die einzelnen Produktions-, Prüf-, oder Transportprozesse nicht im Detail aufgenommen werden. Vielmehr wurde unter Einsatz von Werkzeugen wie Strukturbäumen, SIPOC-Prozessaufnahme (S=Supplier, I=Inputs, P=Process, O=Output, C=Customer) und Prozessmodellierung eine Methodik zur schnellen Erfassung von Produktstrukturen, Fertigungsabläufen und Geschäftsprozessen entwickelt.

Im Rahmen der Festlegung der Ziele wurde durch Zusammenarbeit mit den Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses festgestellt, dass in Wertschöpfungsnetzwerken insbesondere die vier Dimensionen „Rechtliche Aspekte“, „Information und Kommunikation“, „Qualitätsmanagement“ sowie „Technische Aspekte“ die Qualität beeinflussen (vgl. Abbildung 5, links). In der Dimension „Rechtliche Aspekte“ spielen beispielsweise Qualitätssicherungsvereinbarungen und –normen eine Rolle. Sie dienen der präventiven Qualitätslenkung, der Durchsetzung gesetzlicher Ansprüche bei fehlerhaften Lieferungen sowie der Erleichterung des Nachweises der Erfüllung unternehmerischer Sorgfaltspflichten gegenüber anderen Partnern des Wertschöpfungsnetzwerks. In der Dimension „Information und Kommunikation“ wurde insbesondere das Schaffen von Transparenz über den Informationsaustausch und die Kommunikationskultur im Wertschöpfungsnetzwerk als wichtig identifiziert. „Qualitätsmanagement“ und „Technische Aspekte“ beinhalten klassische Dimensionen der Qualitätssteuerung. Sie sind in der Literatur bereits ausführlich für Produktionssysteme auf Ebene einzelner Standorte, Linien oder Ressourcen beschrieben. Alle Dimensionen wurden über einen Scorecard-Ansatz priorisiert und ausgewählt. Der Scorecard Ansatz eignet sich für die Zieldefinition, da er es ermöglicht, über alle vier Dimensionen messbare Kennzahlen zu definieren und diese durch ausformulierte Ziele miteinander in Verbindung zu setzen.

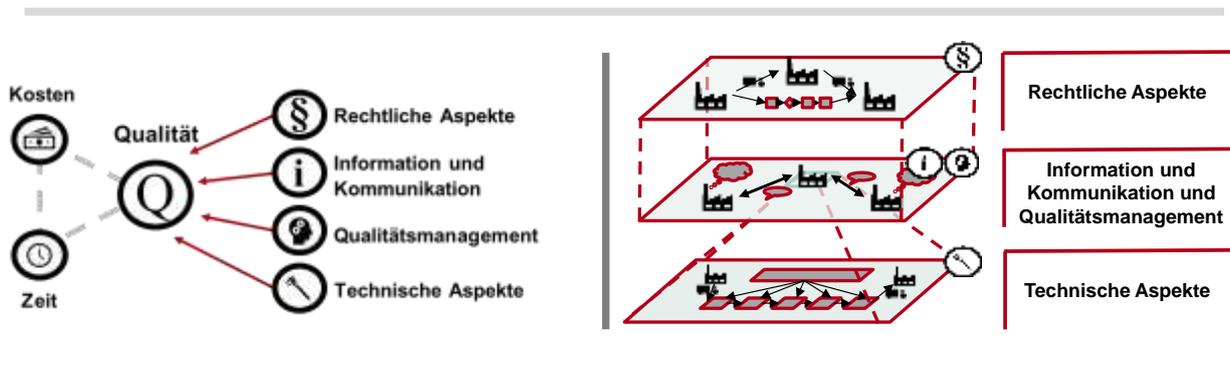


Abbildung 5: Dimensionen und Ebenen der Prozess- und Qualitätsmerkmalanalyse

Im Rahmen der Qualitätswertstromanalyse wurde ein Vorgehen entwickelt, welches das zu untersuchende Wertschöpfungsnetzwerk in den vier Dimensionen hinsichtlich seines Qualitätsniveaus untersucht. Dabei werden die einzelnen Dimensionen auf verschiedenen Netzwerkebenen betrachtet (vgl. Abbildung 5, rechts). Auf dem höchsten Abstraktionslevel werden netzwerkübergreifend die rechtlichen Zusammenhänge analysiert. Hierzu werden global unterschiedliche Gesetzesgrundlagen der beteiligten Handelsräume, vertragliche Bindungen sowie branchenspezifische Zertifizierungen und Normen ermittelt. Eine Ebene darunter folgt auf Netzwerkebene die Analyse der Informationsflüsse und des Qualitätsmanagements. Geschäftsprozesse werden mit Prozessdarstellungsmethoden dokumentiert und insbesondere die Interaktion zwischen den Partnern des Wertschöpfungsnetzwerks dargestellt. Standardisierte

Methoden zur Geschäftsprozessmodellierung wurden um Abbildungselemente der Unternehmensdarstellung sowie der Darstellung von Informationsflüssen und Interaktionen erweitert. Auf Standortebene folgt zuletzt die Aufnahme des technischen Qualitätswertstroms. Hierbei wurde der Ansatz der klassischen Qualitätswertstrommethode angewendet.

Der letzte Schritt des Qualitätswertstromdesigns hatte zum Ziel, erste mögliche Maßnahmen zur Steigerung des Qualitätsniveaus zu identifizieren. Dazu wurde mittels Brainstorming, Best Practices und Benchmark-Ansätzen ein Maßnahmenkatalog entwickelt, der jede der Dimensionen „Rechtliche Aspekte“, „Information und Kommunikation“, „Qualitätsmanagement“ sowie „Technische Aspekte“ mögliche Verbesserungen zuordnet. Anschließend wurden die Maßnahmen durch Expertenmeinungen der Mitglieder des Projektbegleitenden Ausschusses vorab bewertet. Bei der Entwicklung von Verbesserungsmaßnahmen wurden die parallel stattfindenden Arbeiten und Ergebnisse von AP 2 berücksichtigt.

Entsprechend der Zielsetzung konnte in AP 1 eine Methodik zur netzwerkindividuellen Qualitätswertstromanalyse entwickelt werden. Die Methodik setzt auf Standortebene klassische Werkzeuge wie die Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA) und die Qualitätswertstrommethode ein, um den Ist-Zustand von Prüf-, Nacharbeits- und Verschrottungsprozessen zu analysieren. Auf der darüber liegenden Ebene des Netzwerks konnte die Qualitätswertstrommethode in enger Zusammenarbeit mit den begleitenden Industrieunternehmen um Aspekte aus den Bereichen Recht, Informationsflüsse und Qualitätsmanagement erweitert werden. Mit der beschriebenen Vorgehensweise kann der Qualitätswertstrom verteilter Lieferketten und Wertschöpfungsnetzwerke aufgenommen sowie erste Verbesserungspotentiale identifiziert werden. Die Ergebnisse zu AP 1 wurden im Zwischenbericht für den Berichtszeitraum 2017 berichtet.

4.4 AP 2: Prüfstrategien und QS-Maßnahmen

Ziel von AP 2 war es, basierend auf Literaturrecherchen und Experten-Workshops alternative Prüfstrategien und Qualitätssicherungsmaßnahmen für Wertschöpfungsnetzwerke zu identifizieren sowie zu systematisieren.

Zur Erreichung der Zielsetzung fand eine umfassende Literaturrecherche statt. Zunächst wurden klassische QS-Maßnahmen recherchiert und um netzwerkorientierte Qualitätsmethoden erweitert. Die Ergebnisse wurden mit den Teilnehmern des Projektbegleitenden Ausschusses diskutiert. Zunächst wurden klassische QS-Maßnahmen identifiziert und um netzwerkorientierte Qualitätsmethoden erweitert. Die Recherche wurde um Praxismaßnahmen aus dem Erfahrungsbereich der Teilnehmer des Projektbegleitenden Ausschusses komplettiert. Unter Einsatz eines Maßnahmensteckbriefes wurde jede Maßnahme textuell beschrieben (vgl. Abbildung 6). Zudem wurden die Maßnahmen hinsichtlich Kategorien wie Qualitätsaspekte (Wirkung auf Servicequalität, Produktqualität, Systemqualität oder Prozessqualität), Zeitaspekte (Wirkung auf Lieferzeit, Produktionszeit, Prüfzeit oder Nacharbeitszeit) und Kostenaspekte (Wirkung auf Logistikkosten, Herstellkosten, Konformitätskosten oder Non-Konformitätskosten) vorab bewertet und in eine Katalogstruktur eingeordnet (siehe Abbildung 7). In Summe konnten 69 Maßnahmen zur Steigerung der Qualität in Wertschöpfungsnetzwerken ermittelt werden. Diese beinhalten sowohl technische Werkzeuge für die Dimension „Technische Aspekte“ als auch Managementmethoden für den netzwerkübergreifenden Einsatz in den Dimensionen „Qualitätsmanagement“, „Information und Kommunikation“ und „Rechtliche Aspekte“.

Computer Aided Quality Systeme (CAQ)

Kategorisierung			
Aufwand	Mittel / Hoch	Ausmaß	Netzwerkübergreifend
Anwendungszeitraum	Kontinuierlich	Anwendungsfall	Präventiv
Umsetzungszeitraum	Taktisch / Strategisch	Netzwerkakteure	Lieferant und Produzent

Kurzbeschreibung			
<p>CAQ-Systeme sind Qualitätsinformationssysteme, welche Unternehmen bei der produktionsbegleitenden Durchführung von QS-Maßnahmen unterstützen und das klassische QM mit der Digitalisierung verknüpfen. Durch die digitale Qualitätssicherung können unternehmensübergreifende Qualitätsstandards nicht nur zentral festgelegt, sondern auch deutlich effektiver angewandt werden. Die netzwerkweite Transparenz fördert zudem den kontinuierlichen Verbesserungsprozess und ermöglicht eine deutlich schnellere Analyse und Dokumentation von Prozessdaten, weshalb QS-Maßnahmen deutlich effizienter umgesetzt und Qualitätskonflikte zwischen Wertschöpfungspartnern präventiv vermieden werden.</p>			

Abbildung 6: Beispielhafter Steckbrief Computer Aided Quality Systeme (CAQ)

Die einzelnen Maßnahmen wurden nicht nur den einzelnen Dimensionen sondern auch entsprechend der Ablauforganisation den drei Bereichen Beschaffung, Produktion und Absatz zugeordnet. Zu Maßnahmen der Beschaffung gehören beispielsweise Methoden der strategischen Netzwerkgestaltung, Maßnahmen zur Verbesserung der operativen Lieferfähigkeit, standardisierte Qualitätsvereinbarungen, EDV-basierte Werkzeuge zur Materialflussoptimierung sowie enge Lieferbeziehungen. Auf Produktionsseite bieten sich Maßnahmen zur qualitätsorientierten Produktentwicklung (bsp. Advanced Product Quality Planning), zur Effizienzsteigerung von Prozessabläufen (bsp. Kanban) sowie zur Verbesserung von Fehlerbehebungsprozessen (bsp. Poka Yoke) an. Qualitätssteigernde Maßnahmen auf Absatzseite sind ein effektives Customer-Relationship-Management, die Kundenintegration oder der Einsatz des Kano-Modells. Neben den genannten Maßnahmen existieren auch Maßnahmen, welche die Qualität über alle drei Bereiche Beschaffung, Produktion und Absatz verbessern können. Hierbei handelt es sich um Maßnahmen zur Verbesserung der Kollaboration im Wertschöpfungsnetzwerk wie beispielsweise Track&Trace, Company Wide Quality Control oder Plattformsysteme.

Entsprechend der Zielsetzung fand in AP 2 eine Identifikation und Kategorisierung alternativer Maßnahmen der Qualitätssicherung statt. Es wurden Maßnahmensteckbriefe erstellt und eine Kategorisierung gewählt, die an die Struktur von Wertschöpfungsnetzwerken angelehnt ist. Die Ergebnisse von AP 2 wurden den Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse zu AP 2 wurden im Zwischenbericht für den Berichtszeitraum 2017 berichtet.

Maßnahmen & Methoden	Qualität				Zeit				Kosten				
	Produktqualität	Servicequalität	Prozessqualität	Systemqualität	Lieferzeit	Produktionszeit	Prüfzeit	Nachbearbeitungszeit	Reaktionszeit	Logistikkosten	Herstellkosten	Konformitätskosten	Non-Konformitätskosten
Betriebliches Vorschlagswesen	+	o	+	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
DMAIC-Zyklus	o	o	o	o	o	o	+	o	o	o	o	o	o
Fehlerbaumanalyse (FTA)	o	o	o	o	o	o	+	o	o	o	o	o	o
Kleine Regelkreise (PDCA-Zyklus)	o	o	++	+	o	o	o	o	+	o	o	o	+
Kontin. Verbesserungsprozess (KVP)	o	o	++	o	o	o	o	o	o	o	o	+	+
Kreativitätstechniken	o	o	o	o	o	o	+	o	o	o	o	o	o
Kunden-Lieferanten-Prinzip	+	o	++	+	o	-	o	+	o	o	o	+	+
M7	o	o	o	o	o	o	+	o	o	o	o	o	o

Abbildung 7: Ausschnitt von QS-Maßnahmen im Bereich Produktion

4.5 AP3: Aufbau einer Netzwerksimulation

Ziel von AP 3 war es, eine Simulation von Wertschöpfungsnetzwerken aufzubauen. Mit der Simulation sollte die Vorteilhaftigkeit von Prüfstrategien und Qualitätssicherungsmaßnahmen geprüft werden können. Verschiedene Produktions- und Logistikprozesse auf Standort- und Netzwerkebene sollten modelliert sowie individuelle Zielsysteme und Entscheidungsprozesse der Netzwerkakteure abgebildet werden.

Im Folgenden wird zuerst mit einem Entity-Relationship-Modell die Grundstruktur der entwickelten Simulation erläutert. Anschließend wird auf die Vorgänge innerhalb der einzelnen Entitäten sowie die implementierten Kennzahlen eingegangen. Anschließend folgt eine Vorstellung der parametrierbaren Eingangsgrößen. Der Abschnitt endet mit einer Erläuterung der Implementierung in AnyLogic, der Schnittstellen und der Benutzerinteraktion.

Entity-Relationship-Modell des implementierten Simulationsmodells

Das implementierte Simulationsmodell für Wertschöpfungsnetzwerke ist in Abbildung 8 mit einem Entity-Relationship-Modell (Objektbeziehungsmodell) dargestellt. Das Modell besteht im Wesentlichen aus zwei Entitätstypen, welche die Hauptbestandteile des Netzwerk darstellen: Produktionsstandorte und Kunden. Weitere Teilbausteine des Entitätstyps Produktionsstandort sind die Produktionsressourcen.

Der Entitätstyp Kunde stellt einen Akteur im Netzwerk dar, der bei Produktionsstandorten Produkte nachfragt. Die Produkte lagert er anschließend sortiert nach der Art des Produktes als Kundenbestand ein. Es kann eine endliche Anzahl Entitäten des Entitätstyps Kunde modelliert werden. Jeder dieser Kunden hat die Möglichkeit in eine Lieferbeziehung mit einer beliebigen Anzahl an Produktionsstandorten zu gehen.

Der Entitätstyp Produktionsstandort kann beliebig viele Kunden mit Produkten beliefern. Außerdem kann es notwendig sein, Produkte anderer Produktionsstandorte als Zulieferprodukte weiter zu verwenden. Deshalb kann ein Produktionsstandort von einer beliebigen Anzahl Entitäten des Typs Produktionsstandort mit Lieferantenprodukten beliefert werden. Umgekehrt kann jeder Produktionsstandort endlich viele andere Produktionsstandorte beliefern. Die modellierten Produktionsstandorte bestehen aus beliebig vielen Entitäten des Typs Produktionsressource. Sie bilden die Produktion der Produkte ab. Jede Produktionsressource ist eindeutig einem Produktionsstandort zugeordnet.

In der Simulation beliefern die Produktionsstandorte die Kunden mit Produkten. Produkte werden mithilfe von Transporten auf Basis von Lieferaufträgen versandt. Transporte erfolgen immer in Form von Komplettladungen, um eine hohe Auslastung der Transportmittel zu gewährleisten. Innerhalb der Produktionsstandorte durchlaufen die Produkte die Prozessschritte der Fertigung nach dem Push-Prinzip. Jedem Prozessschritt ist genau eine Produktionsressource zugeordnet. Eine Produktionsressource kann hingegen mehreren Prozessschritten zugeordnet sein.

Mit der Simulation wird die Produktion von beliebig vielen Produktvarianten je Produktionsstandort abgebildet. Einzelne Produktvarianten unterscheiden sich im Produktionsablauf. Daraus ergibt sich eine variable Kombination von Produktionsschrittfolgen, denen die Produktionsressourcen zugeordnet sind. Außerdem können für verschiedene Produktvarianten unterschiedliche Lieferantenprodukte benötigt werden. Dadurch ist es möglich, dass mehrere Produktionsverbände Teil des Produktionsnetzwerks sind.

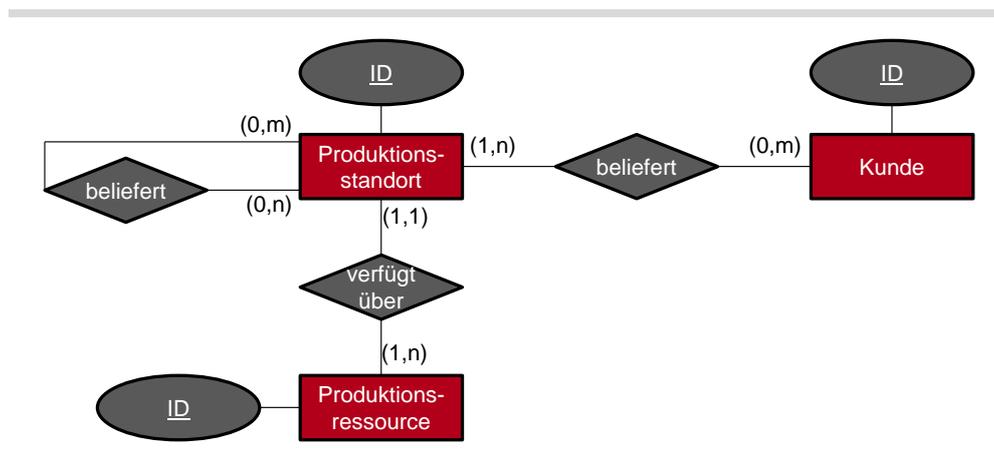


Abbildung 8: Entity-Relationship-Modell des Simulationsmodells

Vorgänge innerhalb der Entitäten

Dem Entitätstypen Kunden kommen zwei wesentliche Aufgaben zu: Die „Bestellung“ und die „Warenannahme“. In Bezug auf die „Bestellung“ kann sich der Kunde im Zustand „Neutral“ oder „Bestellen“ befinden. Im Ursprungszustand befindet sich der Kunde im Zustand „Neutral“. Der Übergang in den Zustand „Bestellen“ ist abhängig von der vergangenen Zeit und wird über die Bestellrate definiert. Die Bestellrate gibt den Zeitraum an, der zwischen einer Bestellung und der zeitlich nächsten Bestellung liegt. Der Zustand „Bestellen“ löst für ein Produkt (vgl. Abbildung 9) die Erzeugung eines Lieferauftrags (vgl. Abbildung 9) bei einem Produktionsstandort aus. Die zweite Aufgabe „Warenannahme“ besteht darin, Lieferungen von Produkten entgegenzunehmen. Bei der „Warenannahme“ werden die Produkte im Kundenbestand eingelagert und der Bestellvorgang abgeschlossen.

Der Entitätstyp Produktionsstandort übernimmt drei Aufgaben: Die „Auftragsabwicklung“, die „Produktionssteuerung“ sowie die „Beschaffungssteuerung“.

Die „Auftragsabwicklung“ nimmt Kundenaufträge der Kunden nach dem First-In-First-Out-Prinzip (FIFO-Prinzip) entgegen. Jeder Kundenauftrag stößt eine Reduktion des disponiblen Lagerbestands des bestellten Produktes an. Die Reduktion des Lagerbestands kann eine Unterschreitung des geforderten Mindestbestandes und einen Anstoß der „Produktionssteuerung“ zur Folge haben. Nach Reduktion des disponiblen Bestands wird geprüft, ob der physische Bestand zur Auslieferung des Auftrags ausreicht. Ist dies der Fall, wird der Versand des Produkts an den Kunden angestoßen. Ist nicht ausreichend physischer Bestand vorhanden, wird die Ausführung des Kundenauftrages solange unterbrochen, bis der physische Bestand durch die „Produktionssteuerung“ erhöht wurde.



Abbildung 9: UML-Diagramme für Klassen des Simulationsmodells

Die „Produktionssteuerung“ simuliert die Produktion von Produktionsaufträgen und das Auftreten von Qualitätsfehlern während der Fertigung. Bei Unterschreitung des disponiblen Bestands wird ein neuer Produktionsauftrag (vgl. Abbildung 9) erstellt und der disponible Bestand um die Produktionsmenge des Produktionsauftrags erhöht. Anschließend wird der disponible Bestand aller Lieferantenteile, die für die Produktion des Auftrags benötigt werden, um die benötigte Menge reduziert. Bei Unterschreitung des Mindestbestands für Lieferantenteile wird die Aufgabe „Beschaffungssteuerung“ ausgelöst. Die Produktion des Produktionsauftrags ist als Abfolge von identisch modellierten Aufgaben „Produktion“ an Produktionsressourcen implementiert (vgl. Abbildung 10). Die Reihenfolge der Aufgaben „Produktion“ ist beliebig und ermöglicht auch die mehrfache Verwendung von Produktionsressourcen im Produktionsablauf. Nach Abschluss der Produktion werden die produzierten Produkte eingelagert und der physische Bestand aktualisiert. Damit endet der Prozess „Produktionssteuerung“ und der Produktionsauftrag wird abgeschlossen.

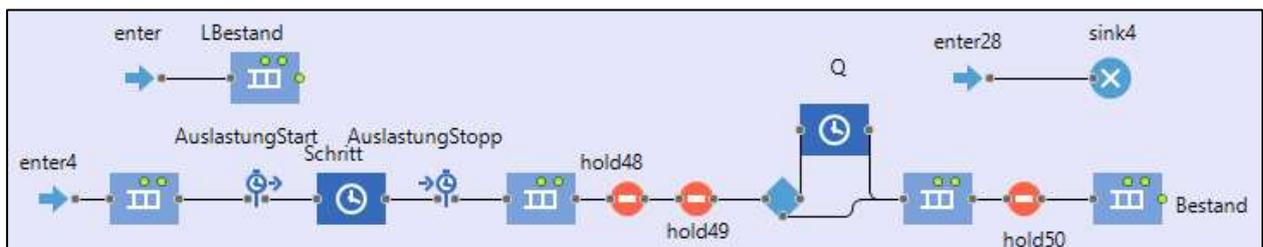


Abbildung 10: Prozessablauf der Produktion an einer Produktionsressource

Die „Beschaffungssteuerung“ koordiniert die Bestellung und Warenannahme von Lieferantenteilen. Die Aufgabe startet, wenn die Produktionssteuerung ein Unterschreiten des disponiblen Lieferantenbestands eines Produkts anzeigt. In diesem Fall wird ein Lieferauftrag an den zuliefernden Produktionsstandort gesendet, der disponible Lieferantenbestand um die Bestellmenge erhöht und auf die Lieferung gewartet. Sobald die Lieferung im Produktionsstandort eintrifft, wird diese im Wareneingang vereinnahmt und im Rahmen der Wareneingangsprüfung auf Fehler geprüft. Eine fehlerhafte Lieferung wird verschrottet und bei Unterschreiten des disponiblen Lieferantenbestands ein erneuter Lieferauftrag platziert. Bei fehlerfreier Lieferung wird der physische Lieferantenbestand um die eingelagerte Menge erhöht und an die „Produktionssteuerung“ zurück gemeldet.

Der Entitätstyp Produktionsressource simuliert die Aufgabe „Produktion“. Bei der Produktion werden Produktionsaufträge an Produktionsressourcen bearbeitet. Bei der Bearbeitung wird über den Parameter „Fehlerwahrscheinlichkeit“ das Entstehen von Qualitätsfehlern abgebildet. Ein aufgetretener Qualitätsfehler kann in einer sich der Bearbeitung anschließenden Prüfung an der Produktionsressource entdeckt und nachgearbeitet werden. Die Qualitätsprüfung ist nach folgendem Prinzipien abgebildet:

- Ergebnis Prüfung Option 1) Es wird kein Fehler entdeckt.
- Ergebnis Prüfung Option 2) Es wird ein Fehler entdeckt, der nachgearbeitet werden kann.
- Ergebnis Prüfung Option 3) Es wird ein Fehler entdeckt, der zur Verschrottung führt.

Die Ergebnisse der Qualitätsprüfung haben unterschiedliche Konsequenzen: Wird kein Fehler entdeckt, wird das Produkt an die nachfolgende Produktionsressource weitergegeben. Wird ein Fehler entdeckt, der nachgearbeitet werden kann, wird das Produkt zur Nacharbeit erneut an der Produktionsressource bearbeitet. Ist Nacharbeit aufgrund der Schwere des Fehlers nicht möglich, wird das Produkt verschrottet. Über eine Fehlerhistorie werden alle aufgetretenen aber nicht entdeckten Qualitätsfehler des Produktionsauftrags protokolliert. Auf Basis der Fehlerhistorie können die Fehler in der Wareneingangsprüfung eines nachgelagerten Produktionsstandorts oder des Kunden entdeckt und reklamiert werden.

Bei der Implementierung von Vorgängen wie die Auftragsabwicklung, Produktionssteuerung, Produktion und Fehlerbehebung wurde darauf geachtet, eine möglichst breite Palette von Produktionssystemtypen abbilden zu können. Im Hinblick auf ideale Produktionssystemstrukturen werden in der Literatur sogenannte Lagerfertiger und Auftragsfertiger unterschieden (Schuh 2012). Lagerfertiger fertigen Standardprodukte in hohen Stückzahlen nach dem Prinzip der Reihen- und Fließfertigung. Ihre Produkte weisen eine einfache Struktur auf. Der Fremdbezug ist unbedeutend und die Produktion erfolgt auf Lager. Auftragsfertiger fertigen hingegen Produkte mit kundenspezifischen Varianten auf Bestellung. Die Produktstruktur ist im Vergleich zum Lagerfertiger komplexer und der Fremdbezug von größerer Bedeutung. Mit der Simulation können beide Idealtypen abgebildet werden. Dies steigert die Anwendung der Simulation über Unternehmen verschiedener Größe und Industriebranchen hinweg.

Kennzahlen der Simulation

Während der Simulation werden mit einem hierarchischen multidimensionalen Kennzahlensystem (vgl. Abbildung 11) verschiedene Konfigurationen der Qualitätssicherungsstrategie im Wertschöpfungsnetzwerk bewertet. Das Kennzahlensystem unterscheidet dabei in Anlehnung an die eingangse definierten Netzwerkebenen (vgl. Abbildung 5, rechts) die drei Bewertungssichten

Ressourcen-, Standort- und Netzwerksicht. Die Ressourcensicht macht Aussagen zur Leistungsfähigkeit der Qualitätssicherung in Bezug zu einzelnen Fertigungszellen oder Produktionsstationen. Die Standortsicht aggregiert die Ressourcensicht mit dem Ziel der standortweiten Bewertung der Leistungsfähigkeit der Qualitätssicherungsstrategie. Die Netzwerksicht betrachtet Vorgänge innerhalb der Entitäten Produktionsstandort sowie Kunde als Black-Box. Sie macht Aussagen zur Leistung des Gesamtsystems Wertschöpfungsnetzwerk. Nicht jede Kennzahlen ist für alle drei Bewertungsansichten definiert. Die Kennzahlen lassen sich unterschiedlich gewichten um individuelle Zielsysteme abbilden zu können. Zudem lassen sich die Kennzahlen neben den Netzwerkebenen den drei thematischen Kategorien Leistungskennzahlen, Qualitätskennzahlen und betriebswirtschaftliche Kennzahlen zuordnen. Die Berechnung der Kennzahlen basiert auf absoluten Kennwerten. Sie werden während der Simulation in Abhängigkeit des Produktionsaufträge, Produktvarianten, Produktionsressourcen, Lieferaufträge, Produktionsstandorte und Kunden erfasst.

Leistungskennzahlen	Qualitätskennzahlen	Betriebswirtschaftliche Kennzahlen
Auftragsdurchlaufzeit	Liefertreue	Prüfkosten
Zeit im Puffer	Anteil fehlerhaft ausgelieferter Teile	Ausschusskosten
Auslastung	Qualitätsfaktor	Nacharbeitskosten
		Transportkosten
		Umlaufbestand

Abbildung 11: Kennzahlen des Simulationsmodells

Im Folgenden werden die einzelnen Kennzahlen definiert:

Leistungskennzahlen

- Die **Auftragsdurchlaufzeit** ist der Mittelwert der Zeitspanne, die zwischen der Erzeugung der Produktionsaufträge und dem Ende ihrer Bearbeitung vergeht.
- Die **Zeit im Puffer** gibt an, wie lange ein Produktionsauftrag durchschnittlich auf die Bearbeitung an einer Produktionsressource wartet.
- Die **Auslastung** beschreibt den Anteil der Ist-Auslastung einer Produktionsressource oder des Produktionsstandort an der verfügbaren Kapazität der Ressource oder des Standorts.

Qualitätskennzahlen

- Die **Liefertreue** gibt prozentual an, wie viele der ausgelieferten Lieferaufträge termingerecht abgeschlossen wurden.
- Die Kennzahl **Anteil fehlerhaft ausgelieferter Teile** beschreibt den Anteil der Fehlerteile an der Gesamtanzahl der ausgelieferten Teile des Lieferauftrags.
- Der **Qualitätsfaktor** gibt den Anteil der Teile, die den Produktionsprozess ohne jegliche Nacharbeiten verlassen.

Betriebswirtschaftliche Kennzahlen

- Die **Prüfkosten** umfassen alle Kosten die durch eine Qualitätsprüfung im Laufe der Produktion anfallen.

- Die **Ausschusskosten** umfassen die Herstellungskosten sowie die Kosten für die Verschrottung eines Teils.
- Die **Nacharbeitskosten** beschreiben die Kosten, die dadurch entstehen, dass Produktionsaufträge nachgearbeitet werden.
- **Transportkosten** setzen sich aus Personal-, Material-, Betriebsmittel- sowie Kapitalbindungskosten für Transporte zusammen.
- **Umlaufbestand** ist definiert als monetärer Wert der Produktionsaufträge, die sich in den Puffern vor den Ressourcen sowie im Wareneingang und Lager befinden.

Parametrierbare Eingangsgrößen der Simulation

Neben der variabel einstellbaren Anzahl an Kunden, Produktionsstandorten und Produktionsressourcen kann das Simulationsmodell bezüglich einer Vielzahl weiterer Parameter an das abzubildende Wertschöpfungsnetzwerk angepasst werden. Der große Freiheitsgrad ermöglicht es, Netzwerke unterschiedlicher Größe und Industriebranche zu modellieren. Die frei einstellbaren Parameter des Simulationsmodells werden nachfolgend aufgeführt:

- **Produktionsschritt:** Gibt den Index des Produktionsschrittes an. Es handelt sich dabei um eine fortlaufende Zahl.
- **Produktionsschrittbezeichnung:** Beschreibt den Produktionsschritt in Worten. Diese Angabe dient nur der Übersichtlichkeit und ist für die Funktion des Simulationsmodells irrelevant.
- **Verwendung des Produktionsschritts:** Gibt an, ob der Produktionsschritt für die Produktion dieser Variante relevant (Wert „1“) ist oder nicht (Wert „0“)
- **Produktionsressource:** Gibt den Index der Produktionsressource an, der für die Bearbeitung des Produktionsschrittes benötigt wird.
- **Anzahl der Einheiten einer Produktionsressource:** Gibt an, wie viele Ressourcen des benötigten Typs im Produktionsstandort vorhanden sind.
- **Fläche je Einheit einer Produktionsressource (in m²):** Gibt an, welche Fläche eine Einheit der Produktionsressource beansprucht.
- **FTE je Einheit einer Produktionsressource:** Gibt an, wie viele 100%-Personalstellen zur Bedienung einer Einheit der Produktionsressource notwendig sind.
- **Mittlere verfügbare Zeit je Produktionsressource (in min):** Gibt an, wie lange eine Produktionsressource durchschnittlich verfügbar ist, bevor sie in den Zustand „nicht verfügbar“ übergeht.
- **Standardabweichung der mittleren verfügbaren Zeit je Produktionsressource (in min):** Gibt die Standardabweichung von der mittleren verfügbaren Zeit an.
- **Mittlere nicht verfügbare Zeit je Produktionsressource (in min):** Gibt an, wie lange eine Produktionsressource durchschnittlich nicht verfügbar ist, bevor sie in den Zustand „verfügbar“ übergeht.
- **Standardabweichung der mittleren nicht verfügbaren Zeit je Produktionsressource (in min):** Gibt die Standardabweichung von der mittleren nicht verfügbaren Zeit an.
- **Verfügbarkeit je Produktionsressource (in %):** prozentuale Verfügbarkeit einer Produktionsressource, die sich aus Kombination der Verluste durch Betriebsferien, das Schichtmodell und Maschinenstörungen ergibt.

- **Betriebsferien je Produktionsressource (in %):** prozentualer Verlust an der Gesamtzeit durch Schließung des Werkes.
- **Schichtmodell je Produktionsressource (in %):** prozentualer Anteil der durch das gewählte Schichtmodell im Vergleich zu einem vollen 21-Schichten-Modell verfügbaren Zeit an der Gesamtzeit.
- **Maschinenstörungen je Produktionsressource (in %):** prozentualer Verlust durch Produktionsressourcenausfälle je Produktionsressource.
- **Bearbeitungsdauer (in h/Stück):** Zeit in Stunden, die für die Bearbeitung eines Produktes an diesem Produktionsschritt benötigt wird.
- **Lieferantenindex (bei Verwendung):** Index des Lieferanten, von dem Produkte zur Durchführung dieses Produktionsschrittes benötigt werden („0“, falls keine Lieferantenteile benötigt werden).
- **Verwendete Produktvariante des Lieferanten:** Index der Produktvariante, die vom Lieferanten für die Bearbeitung des Produktionsschrittes benötigt wird.
- **Anzahl der Lieferantenprodukte je Produkt:** Anzahl der Lieferantenprodukte, die für die Bearbeitung des Produktionsschrittes benötigt werden.
- **Mindestbestand Lieferantenteile:** Minimaler physischer Bestand an benötigten Lieferantenteilen im Lager des Produktionsstandortes.
- **Physischer Bestand Lieferantenteile:** Tatsächlicher physischer Bestand an benötigten Lieferantenteilen im Lager des Produktionsstandortes.
- **Disponibler Bestand Lieferantenteile:** Disponibler Bestand an benötigten Lieferantenteilen im Lager des Produktionsstandortes.
- **Höchstbestand Lieferantenteile:** Maximaler physischer Bestand an benötigten Lieferantenteilen im Lager des Produktionsstandortes.
- **Fehlerwahrscheinlichkeit (in %):** Wahrscheinlichkeit, dass die Bearbeitung dieses Produktionsschrittes fehlerhaft erfolgt.
- **Nacharbeitsschwelle (in %):** Wahrscheinlichkeit, dass ein an diesem Produktionsschritt fehlerhaft bearbeitetes Produkt nachgearbeitet werden kann. Die Alternative zur Nacharbeit ist die Verschrottung des Produktes.
- **Prüfhäufigkeit (in %):** Wahrscheinlichkeit, dass ein Produkt nach Bearbeitung an diesem Produktionsschritt auf seine Fehlerfreiheit überprüft wird.
- **Prüfdauer (in h/Stück):** Zeit, die für die Prüfung eines Produktes im Rahmen dieses Produktionsschrittes benötigt wird.
- **Teilewert (in €/Stück):** Monetärer Wert eines Produktes nach Durchführung dieses Produktionsschrittes.
- **Prüfkosten (in €/Stück):** Kosten, die bei der Prüfung eines Produktes im Rahmen dieses Produktionsschrittes anfallen.
- **Nacharbeitskosten (in €/Stück):** Kosten, die durch Nacharbeit eines Produktes im Rahmen dieses Produktionsschrittes anfallen.
- **Ausschusskosten (in €/Stück):** Kosten, die bei Verschrottung eines Produktes nach Bearbeitung an diesem Produktionsschritt entstehen.
- **Zulieferteilewert (in €/Stück):** Monetärer Wert eines für diesen Produktionsschritt benötigten Lieferanten-Produktes.

- **Bearbeitungskosten** (in €/Stück): Kosten, die durch die Bearbeitung eines Produktes in diesem Produktionsschritt anfallen.
- **Informationsaustausch zu Auftragseingängen:** Benachrichtigung über eingehende Aufträge im Wertschöpfungsnetzwerk werden entgegen des Wertstroms unmittelbaren Partnern, Partnern und deren Subpartnern oder allen Partnern im Netzwerk zugänglich gemacht.
- **Informationsaustausch zu Lieferverzögerungen:** Benachrichtigung über Lieferverzögerungen im Wertschöpfungsnetzwerk werden mit dem Wertstrom unmittelbaren Partnern, Partnern und deren Subpartnern oder allen Partnern im Netzwerk zugänglich gemacht.
- **Informationsaustausch zu Reklamationen:** Reklamationen werden im Wertschöpfungsnetzwerk entgegen des Wertstroms unmittelbaren Partnern, Partnern und deren Subpartnern oder allen Partnern im Netzwerk zugänglich gemacht.
- **Informationsaustausch zu Qualitätswarnungen:** Reklamationen werden im Wertschöpfungsnetzwerk mit dem Wertstrom unmittelbaren Partnern, Partnern und deren Subpartnern oder allen Partnern im Netzwerk zugänglich gemacht.

Implementierung in AnyLogic, Schnittstellen und Benutzerinteraktion

Die Implementierung des Simulationsmodells erfolgte in der Simulationsumgebung AnyLogic 8.3.2. AnyLogic ist eine Multimethodenmodellierungssoftware welche die agentenbasierte, die ereignisdiskrete und die systemdynamische Modellierung unterstützt. Für festgelegte Abläufe, wie die Produktion von Produktionsaufträgen an Produktionsressourcen, wurde der ereignisdiskrete Ansatz verwendet. Die Platzierung von Lieferaufträgen durch den Kunden fand unter Anwendung des agentenbasierten Ansatzes statt. Als Java-basierte Software bringt Anylogic die Vorteile einer objektorientierten Programmiersprache mit sich. Verschiedene Funktionseinheiten wie Kunden, Produktionsstandorte und Produktionsressourcen wurden als Klassen angelegt. Durch die Klassenstrukturierung können Objekte je nach Anwendungsfall mehrmals in der Simulation wiederverwendet werden. Dies steigert die Anpassbarkeit auf verschiedenste Produktionsnetzwerkstrukturen. Um die Praxistauglichkeit insbesondere für KMU Anwender zu steigern, wurde das AnyLogic Simulationsmodell mit dem Tabellenkalkulationsprogramm MS Excel verknüpft. MS Excel eignet sich zur Interaktion, da Daten zur Laufzeit aus MS Excel-Dateien eingelesen und in diese geschrieben werden können. Da der potentielle KMU-Anwender sehr wahrscheinlich im Umgang mit MS Excel bewandert ist, fällt es ihm leichter, die Inputparameter der Simulation in ein Excel-Dokument einzutragen. Auch die Kennzahlenwerte werden als Ergebnis und Output der Simulation in einem übersichtlichen Format in MS Excel geschrieben und können damit unabhängig vom Simulationsmodell weiterverwendet werden.

4.6 AP4: Ableitung der optimaler Maßnahmen und Prüfstrategien

Ziel von AP 4 war es, unter Einsatz des entwickelten Simulationsmodells die optimale standortübergreifende Reaktion auf Störungen und Probleme in den Bereichen Auftrags- und Qualitätsmanagement zu ermitteln. Dabei sollten spezifische Zielsysteme im Wertschöpfungsnetzwerk sowie unterschiedliche Anpassungsmaßnahmen und Reaktionen berücksichtigt werden. Der Einsatz innovativer Modellierungskonzepte, Heuristiken und intelligenter Algorithmen war geplant. Ergebnis der Arbeiten sollte die Kenntnis der Vorteilhaftigkeit alternativer Anpassungsmaßnahmen und Prüfstrategien im Wertschöpfungsnetzwerk sein.

Zur Ableitung optimaler Reaktionen wurde ein Versuchs-Framework in Matlab entwickelt und über Access Datenbanken mit dem Simulationsmodell verknüpft. Ziel des Frameworks ist es, anhand statistischer Experimente und der Auswertung von Ersatzmodellen verschiedene Fragestellungen zu Wirkzusammenhängen und dem störungsrobusten Zielbild des Auftrags- und Qualitätsmanagement zu beantworten. Der Einsatz von Metamodellen ist Gegenstand derzeitiger Forschung auf dem Themengebiet der angewandten Statistik, Datenanalyse sowie der Auswertung von Simulationsexperimenten und zeugt vom hohen wissenschaftlichen Niveau des durchgeführten Forschungsprojekts (vgl. (Kleijnen 2015; Siebertz et al. 2017)). Zur Durchführung der Versuche wurden die Parameter des Simulationsmodells in zwei Klassen unterteilt: Die Klasse der Rauschfaktoren beinhaltet Parameter wie Fehlerwahrscheinlichkeiten und nicht verfügbare Zeiten der Maschinen. Rauschfaktoren übernehmen die Rolle stochastischer nicht beeinflussbarer Störgrößen bezüglich der das Qualitätsmanagement optimiert werden soll. Beeinflussbare Faktoren wie Bestand, Nacharbeitsschwellen und Prüfhäufigkeiten übernehmen die Rolle von Steuerfaktoren. Sie dienen als Anpassungsmaßnahme und sollen bezüglich der Störfaktoren optimiert werden. Das entwickelte Versuchs-Framework besteht in seinem Aufbau aus drei Modulen.

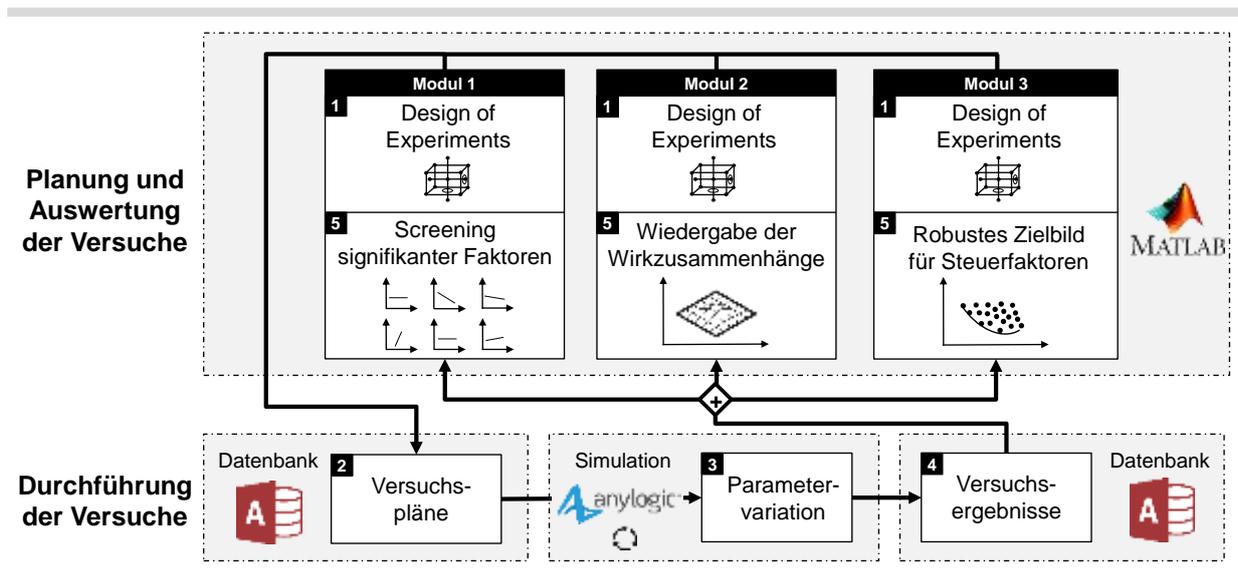


Abbildung 12: Aufbau des Versuchs-Frameworks zur Bestimmung optimaler Maßnahmen

Ziel des ersten Moduls ist es, Haupteffekte zum Zusammenhang qualitätsbezogener Faktoren und Kennzahlen zu analysieren und Screening-Verfahren durchzuführen. Dabei sollen aus der Vielzahl implementierter Stör- und Steuergrößen diejenigen Parameter des Simulationsmodells ermittelt werden, die tatsächlich einen signifikanten Wirkzusammenhang mit dem Qualitätsmanagement aufweisen. Die Analyse der Haupteffekte erfolgte anhand von Ersatzmodellen mit linearen Modelltermen. Zur Effektaufnahme der Parameter wurde eine schrittweise Regression mit einem hierarchisch aufgebauten Regressionsmodell durchgeführt.

Für diejenigen Parameter mit signifikantem Zusammenhang wurden mit dem zweiten Modul Metamodelle antrainiert. Die Metamodelle approximieren das Verhalten der Simulation bei sehr viel kürzerer Laufzeit. Sie ermöglichen es, in kurzer Zeit Wechselwirkungen zwischen Parameter auf Seiten der Störfaktoren sowie mögliche Anpassungen der Steuerfaktoren zu prognostizieren. Als Zielgröße wurden dabei die implementierten Kennzahlen betrachtet. Das Modul ermöglicht die Wiedergabe von Kennzahlenwerten und damit der Leistungsfähigkeit von

Wertschöpfungsnetzwerken für beliebige Kombinationen von Problemen und Anpassungen. Entscheider können die Wirkung von Qualitätsproblemen und anderen Störungen auf Kennzahlen vorhersagen. Auch können Fragestellungen hinsichtlich einer verbesserten Umgang mit Störungen und Qualitätsproblemen durch Implementierung von Anpassungsmaßnahmen beantwortet werden. Die Eignung von Metamodellen ist anwendungsfallspezifisch und nicht a priori bestimmbar. Aus diesem Grund wurden in dem Modul die drei unterschiedlichen Metamodellklassen Response Surface Modelle, Gauß-Prozess Regressionsmodelle und Künstliche Neuronale Netze implementiert. Bei Anwendung des Moduls werden simultan alle Klassen trainiert und zuletzt das Modell mit der besten Prognosegüte für die Approximation der Wirkzusammenhänge ausgewählt. Das Training der Response Surface Modelle erfolgt mit Central-Composite-Design-Versuchsplänen. Für Gauß-Prozess Regressionsmodelle und Künstliche Neuronale Netze werden raumfüllende Versuchspläne für das Training genutzt. Die Validierung der Modelle erfolgt mit einer fünffach Kreuzvalidierung für die Response Surface Modelle und die Gauß-Prozess Regressionen. Die Künstlichen Neuronalen Netze werden mit einer Holdout-Validierung validiert. Nach Auswahl des am besten geeigneten Modells können Zusammenhänge zwischen Störungen, Qualitätsproblemen und Anpassungen über systematische schrittweise Variationen der Stör- und Steuergrößen prognostiziert werden. Visualisierung und Interpretation werden durch eine in MATLAB®-GUIDE implementierte grafische Benutzeroberfläche unterstützt.

Das dritte Modul nutzt die Metamodelle, um ein störungsrobustes Zielbild für die Einstellung der Steuerfaktoren im Qualitätsmanagement zu bestimmen. Die Metamodelle übernehmen in diesem Modul für unterschiedliche Einstellungen der Steuerfaktoren sowie stochastische Ausprägungen der Störgrößen die Funktion von Schätzern des Erwartungswerts μ und des Varianzkoeffizienten σ der implementierten Kennzahlen. Die Schätzer sind Eingangsgrößen einer robusten Optimierung. Sie bestimmt eine pareto-dominante Einstellung der Steuerfaktoren, bei der die Kennzahlen eine hohe und stabile Leistung bezüglich Störungen aufweisen. Diese Einstellung wird als störungsrobustes Zielbild des Qualitätsmanagement zur Umsetzung im Wertschöpfungsnetzwerk empfohlen. Für den Fall einer zu minimierenden Kennzahl KPI_i lässt sich das zugrunde liegende Problem zur Bestimmung der optimalen Einstellung x^{sf*} der Steuerfaktoren x^{sf} wie folgt vereinfacht mathematisch formulieren:

$$\min_{x^{sf}} f_{KPI_i}(x^{sf}) = \left(\min_{x^{sf}} f_1^{KPI_i}(x^{sf}), \min_{x^{sf}} f_2^{KPI_i}(x^{sf}) \right) = \left(\min_{x^{sf}} \mu^{KPI_i}(x^{sf}), \min_{x^{sf}} \sigma^{KPI_i}(x^{sf}) \right)$$

u. d. N.

$$(1) \quad x^{bf_n} \in [0,1] \quad \forall n \in \{1, \dots, N\}$$

$$(2) \quad x^{kfo} \geq UG^{kfo} \quad \forall o \in \{1, \dots, O\}$$

$$(3) \quad x^{kfo} \leq OG^{kfo} \quad \forall o \in \{1, \dots, O\}$$

Der Zielfunktionsvektor des Optimierungsproblems $f_{KPI_i}(x^{sf})$ setzt sich dabei aus den zwei Zielfunktionen $f_{KPI_i}(x^{sf}) = (\mu^{KPI_i}(x^{sf}), \sigma^{KPI_i}(x^{sf}))$ zusammen. Die Entscheidungsvariablen $x^{sf} = (x^{sf_1}, \dots, x^{sf_L})$ sind definiert durch die Menge der zulässigen Einstellungen für die Steuerfaktoren. Der Block der ersten Nebenbedingungen (1) sichert zu, dass Steuerfaktoren bf ,

die in der Simulation (bsp. Informationsaustausch im Qualitätsmanagement) lediglich binäre Werte innerhalb des zulässigen Wertebereichs $x^{bf_n} \in [0,1]$ annehmen können. Der zweite (2) und dritte (3) Block der Nebenbedingungen garantiert, dass die verbleibenden kontinuierlichen Steuerfaktoren kf Werte innerhalb des zulässigen stetigen Parameterbereichs $x^{kf_o} \in (UG^{kf_o}, OG^{kf_o})$ annehmen. Die Optimierung wird unter Einsatz der antrainierten Metamodelle durchgeführt. Die Metamodelle werden dabei nach dem gleichen Prinzip wie im zweiten Modul trainiert. Optimierungsprobleme mit mehreren konkurrierenden Zielfunktionen (f_1, f_2) besitzen keine eindeutige Lösung. Sie müssen mit Verfahren der multikriteriellen Optimierung gelöst werden. Für die Problemklasse der entstehenden nicht-linearen und teilweise-ganzzahligen Optimierungsproblemen existieren in MATLAB® keine geeigneten Lösungsverfahren. Das Optimierungsproblem wird aus diesem Grund in mehrere einzelne Sub-Optimierungsprobleme mit geringerer Lösungskomplexität zerlegt. Für jedes Suboptimierungsproblem wird lediglich die Einstellung der stetigen Steuerfaktoren optimiert. Um eine Gesamtlösung anhand der Teilprobleme bestimmen zu können, werden alle Lösungen der Subprobleme zuletzt zusammengeführt. Es entstehen Graphen pareto-effizienter Einstellungen der Steuergrößen. Sie sind entsprechend der Risikopräferenz der Entscheider zu interpretieren. Entstammen alle pareto-optimalen Punkte ein und derselben Einstellung der Steuerfaktoren, kann die Frage nach dem qualitätsrobusten Zielbild der Steuerfaktoren im Wertschöpfungsnetzwerk unabhängig der Risikopräferenz des Entscheiders beantwortet werden. In jedem Fall sollte die dominierende Einstellung der Steuerfaktoren umgesetzt werden. Entstammen die pareto-optimalen Punkte hingegen abschnittsweise verschiedenen Einstellungen der Steuerfaktoren, hängt die Wahl von der Risikoneigung des Entscheiders im Wertschöpfungsnetzwerk ab. Ein risikoaverser Entscheider sollte als Zielbild eine Einstellung für die Steuerfaktoren mit geringen Werten für den Variationskoeffizienten σ^{kpi^*} der Kennzahl KPI_i wählen. Ein risikofreudiger Entscheider sollte als Zielbild eine Einstellung für die Steuerfaktoren mit hohen Werten für den Erwartungswert μ^{kpi^*} der Kennzahl KPI_i wählen.

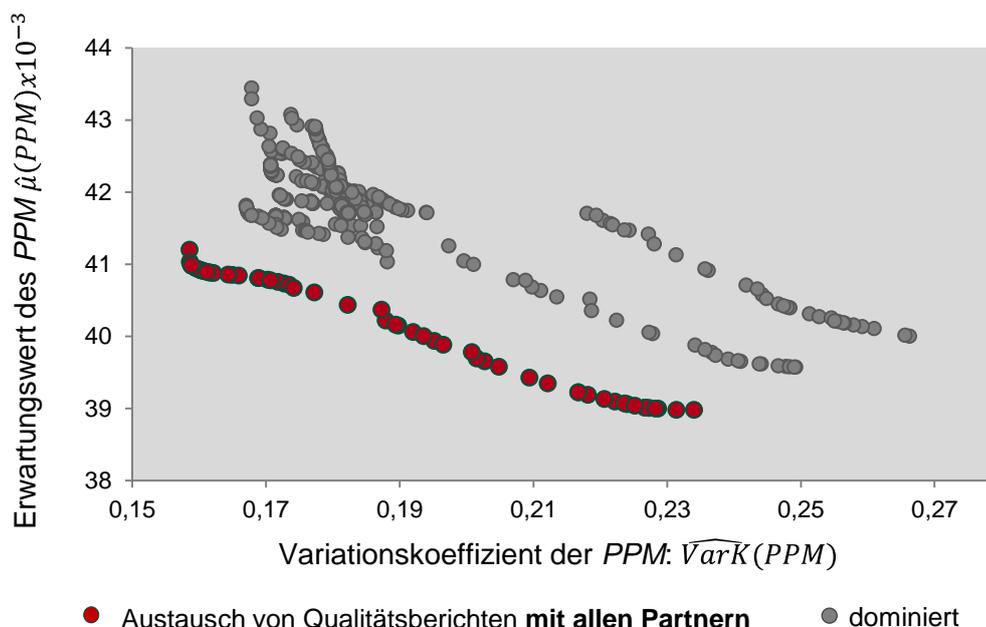


Abbildung 13: Beispielhafte Ergebnisse zur Optimierung des Austauschs von Qualitätswarnungen als Maßnahme zur Verbesserung der Kennzahl „Anteil fehlerhaft ausgelieferter Teile (PPM)“

Ergebnis von AP 4 ist ein in Matlab implementiertes Versuchs-Framework. Mit dem Framework können qualitäts- und allgemein störungsrobuste und damit optimale Einstellungen der Steuerfaktoren wie beispielsweise Prüfhäufigkeiten, Entdeckungswahrscheinlichkeiten von Fehlern, Informationsaustausch zu Reklamationen sowie Informationsaustausch zu Qualitätswarungen bestimmt werden.

4.7 AP5: Aufwands- und Nutzenbewertung von QS-Maßnahmen

Ziel von AP 5 war es, entsprechend der identifizierten Wirkzusammenhänge Qualitätsmaßnahmen sowohl für einzelne Standorte als auch für das gesamte Wertschöpfungsnetzwerk detailliert bezüglich Aufwand und Nutzen gegenüber zu stellen. Der Nutzen sollte aus dem in AP 3 definierten Zielsystem abgeleitet und der Aufwand maßnahmenspezifisch bewertet werden.

Mit Kenntnis der Wirkzusammenhänge zwischen Qualitätsproblemen (Störfaktoren aus AP 4), qualitätssteigernder Maßnahmen (Steuerfaktoren aus AP 4) und des in AP 3 entwickelten Kennzahlensystems wurde die in AP 2 entwickelte Katalogisierung der Prüfstrategie- und QS-Maßnahmen aufgegriffen. Anhand der Dimensionen und Wirkbeschreibung der Qualitätsmaßnahmen konnten entsprechend der ermittelten Wirkzusammenhänge potentiell geeignete qualitätssteigernde Maßnahmen aus dem Katalog vorausgewählt werden. Zur Detailevaluation der Maßnahmen wurde das Wirkprinzip der vorausgewählten Maßnahmen innerhalb des ursprünglichen Simulationsmodells im Detail nachgebildet. Um die Maßnahmen in Abhängigkeit der Zielsysteme einzelner Standorte und des Gesamtnetzwerks bewerten zu können, wurde für jede der in AP 3 definierten Kennzahlen ein Zielerreichungsgrad auf dem Intervall $[0,1]$ definiert. Die Zielerreichungsgrade der Einzelkennzahlen wurden über einen standortindividuellen Strategie-Zielerreichungsvektor verdichtet. Der Strategie-Zielerreichungsvektor priorisiert die Einzelkennzahlen entsprechend der produktionsstrategischen Ausrichtung des Standorts in Richtung Kosten, Zeit und Qualität. Im nächsten Schritt wurde der Strategie-Zielerreichungsvektor mit einem standortspezifischen Rollen-Gewichtungsfaktor multipliziert. Der Rollen-Gewichtungsfaktor gibt die Wettbewerbsposition und Wichtigkeit des Produktionsstandorts im Vergleich zu anderen Standorten des Wertschöpfungsnetzwerks wieder. Die standortindividuellen Strategie-Zielerreichungsgrade sowie der Rollen-Gewichtungsfaktor sind jeweils anwenderspezifisch festzulegen. Die einzelnen Strategie-Zielerreichungsvektoren werden mittels eines gewichteten Durchschnitts auf Basis der Rollen-Gewichtungsfaktoren zu einer gesamtheitlichen Kennzahl, der Netzwerkqualitätskennzahl, aggregiert. Die Netzwerkqualitätskennzahl ermöglicht es, in Abhängigkeit der individuellen Zielpriorisierung die im Simulationsmodell implementierten Qualitätsmaßnahmen aus AP 2 detailliert zu bewerten und zu vergleichen. Auf Basis dieser Systematik können entsprechend der störungsrobusten Einstellung der Steuerfaktoren in der Praxis vorhandene Maßnahmen zur Qualitätssteigerung netzwerkübergreifend und zugleich maßnahmenspezifisch bewertet werden.

Um die Aufwände der qualitätsseitigen Verbesserungsmaßnahmen zu bewerten, wurden für jede vorausgewählte qualitätssteigernde Maßnahme die verursachenden Kosten dem Effekt auf die Netzwerkqualitätskennzahl gegenübergestellt. Die Berechnung der verursachenden Kosten erfolgte in Anlehnung an das VDMA-Einheitsblatt 34160:2006 zu Lebenszykluskostenberechnung. Dabei wurden die Aufwände der Qualitätsmaßnahmen auf Basis von einmaligen und dauerhaften Kostenänderungen über einen definierten Betrachtungszeitraum ermittelt. Anschließend fand eine Gegenüberstellung mit der

Verbesserung der Netzwerkqualitätskennzahl statt. Zur Vereinfachung der Interpretation zwischen dem Nutzen in der Qualitätssteigerung und dem Aufwand der Maßnahme wurde eine übersichtliche Grid-Darstellung gewählt (vgl. Abbildung 14). Anhand der Grid-Darstellung kann die optimale qualitätssteigernde Praxismaßnahme anwenderfreundlich ausgewählt und zur Umsetzung im Wertschöpfungsnetzwerk empfohlen werden.

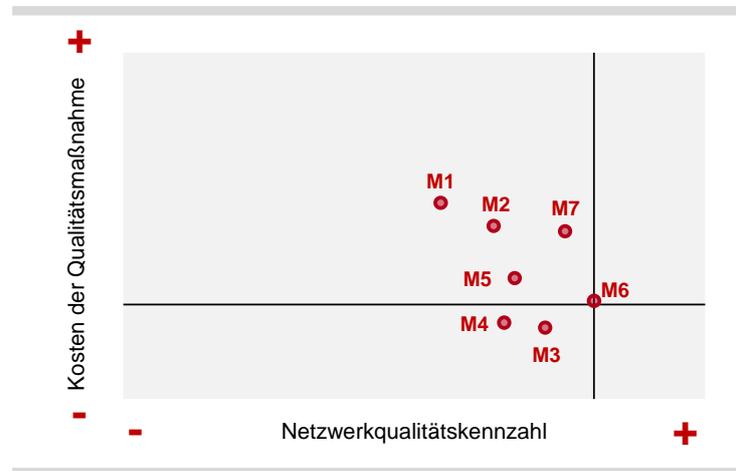


Abbildung 14: Beispielhafte Grid-Darstellung zum Vergleich der Verbesserung der Qualitätskennzahl und den finanziellen Aufwänden durch qualitätssteigernde Maßnahmen

Ergebnis von AP 5 ist eine Systematik für den Aufwand- und Nutzenvergleich qualitätssteigernder Maßnahmen. Die Systematik quantifiziert die Verbesserungen der Qualitätskennzahl durch qualitätssteigernde Maßnahmen und stellt die Verbesserung den entstehenden Implementierungskosten gegenüber. Sie ermöglicht die Erreichung des übergeordneten PlanQ Projektziels zur Entwicklung einer Planungsunterstützung für die Gestaltung von Prüfstrategien und Umsetzung von Qualitätsmaßnahmen in globalen Wertschöpfungsnetzwerken.

4.8 AP6: Validierung der Methodik

Ziel von AP 6 war es, die Projektergebnisse bei den Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses anzuwenden. Zudem sollten die Ergebnisse in einem anwenderfreundlichen Softwarefunktionsmuster zusammengefasst werden, welches eine optimale Gestaltung der Prüfstrategie und Umsetzung von Qualitätsmaßnahmen in Wertschöpfungsnetzwerken unterstützt.

Die entwickelte Methodik wurde im Rahmen der Validierung auf eine KMU-Lieferkette zur Fertigung von Metall-Kunststoff-Hybridbauteilen aus der Automobilzulieferindustrie sowie das Wertschöpfungsnetzwerk eines Automobilzulieferers für hydraulische Systeme und Fahrzeugkomponenten (TI Automotive GmbH) angewendet. Ein mittelständisches Beratungsunternehmen (ROI Management Consulting GmbH) prüft derzeit die Nutzung der Methodik zur Absicherung von Beratungen für Global Footprint Entscheidungen.

Fall 1: Lieferkette zur Fertigung von Metall-Kunststoff-Hybridbauteilen

Die Metall-Kunststoff-Hybridbauteile der KMU-Lieferkette aus der Automobilzulieferindustrie werden in Elektromotoren verbaut. Die Elektromotoren dienen als Antrieb für Klimatisierung, Sitzversteller oder Fensterheber im Automobil. Die betrachtete Lieferkette besteht aus drei mittelständischen Unternehmen, mehreren Lieferanten (u.a. Konecny Gerätebau GmbH) und

einem Kunden (Robert Bosch GmbH) (vgl. Abbildung 14). Die Partner der Lieferkette sind auf mehrere Länder in Europa verteilt. Der Wertstrom ist in Abbildung dargestellt. Unternehmen 1 stanzt (PS11), biegt (PS12) und entgratet (PS13) eine metallische Kontaktfahne. Unternehmen 2 stellt einen Kunststoffkörper her. Während des Fertigungsprozesses wird das Kunststoffgranulat getrocknet (PS 21), ein Spritzguss vorgenommen (PS 22) und die Kontaktfahne in das Formteil eingesetzt (PS 23). Partner 3 komplettiert das Metall-Kunststoff-Hybridbauteil mit anderen Komponenten wie einer Kohlebürsten, Federn, Widerstände, Thermoschalter und Drähte (PS 31-36). Das Verbundbauteil wird direkt an den Kunden, die Robert Bosch GmbH, geliefert. Alle Partner führen Qualitätskontrollen (QC) durch und betreiben eigene Warenein- (IG) und -ausgänge (OG). Die Anwendung des Vorgehens auf den Anwendungsfall zeigte, dass sich mit der entwickelten Methodik der netzwerkübergreifende Qualitätswertstrom aufnehmen und Verbesserungspotentiale identifizieren lassen. Unter Absicherung der Ergebnisse durch Simulation und Versuchsdurchführung hat sich gezeigt, dass das technische Qualitätsniveau in der Lieferkette durch standardisierte Normen und Entwicklungsprozesse bereits auf einem sehr hohen Niveau ist. Durch den frühen Einbezug von Kriterien wie „Qualitätsmanagement“, „Information und Kommunikation“ sowie „Rechtliche Aspekte“ konnten weitere Verbesserungspotentiale verfolgt werden. So wurde mit Unterstützung der Simulation erkannt, dass Maßnahmen wie die Restrukturierung der Prüfprozesse, die Implementierung eines Qualitätsleitbildes und die Weitergabe von Qualitätsinformationen zu Reklamationen und Qualitätswarungen zu einer weiteren Steigerung der Qualität führen können. Auch der Abschluss von Qualitätssicherungsvereinbarungen kann die Qualität weiter steigern.

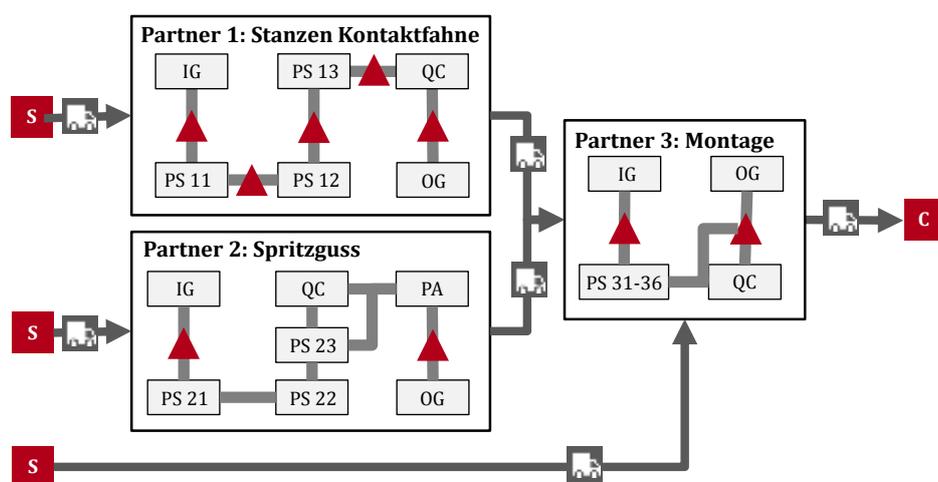


Abbildung 15: Wertstrom des Netzwerks zur Fertigung von Metall-Kunststoff-Hybridbauteilen

Fall 2: Netzwerk für hydraulische Systeme und Fahrzeugkomponenten

Bei dem betrachteten Wertschöpfungsnetzwerk für hydraulische Systeme und Fahrzeugkomponenten (TI Automotive GmbH) wurde ein Subnetzwerk für eine Produktgruppe mit hoher wirtschaftlicher Relevanz betrachtet. Die Produktgruppe löst vermehrt Kundenreklamationen aus und umfasst Rohrleitungen. Die Kunden haben die Möglichkeit, spezifische Produkteigenschaften wie Anschlüsse, Länge und Biegeradien individuell zu bestimmen. Bei der Fertigung werden zunächst angelieferte Bandstahlringe abgerollt, mit dem Ende des jeweils nächsten Bandstahlrings verschweißt, in einem Lötvorgang mittels Induktion zu einem Rohr gefügt. Im nachfolgenden Prozess wird das Rohr auf Coils gerollt und zwischengelagert. Im anschließenden Beschichtungsprozess werden die zwischengelagerten

Coils wieder abgerollt, jeweils mit dem vorherigen Ende verschweißt, mit zugeliefertem Aluminium und Polyamid beschichtet und auf Beschichtungsdefekte hin untersucht. Im Anschluss wird das beschichtete Rohr aufgerollt, für den Trennprozess wieder abgerollt und mittels einer Säge auf die endgültige individuelle Länge gebracht. Anschließend werden die einzelnen Rohrleitungen entgratet und mit jeweils zwei zugelieferten Schrauben montiert. Zuetzt werden die Rohrleitungen in ihre finale Form gebogen. Die beschriebenen Prozesse werden an verschiedenen Standorten im Wertschöpfungsnetzwerk durchgeführt. Während die Fertigung des Coils an einem zentralen Standort stattfindet, ist das finale Biegen an mehreren kundennahen Standorten lokalisiert. Durch die Aufnahme des Qualitätswertstroms konnte die Fehlerentstehung gut nachvollzogen und das Verständnis für die Prozessqualität über den gesamten Wertstrom hinweg vom Beschaffungs- bis zum Vertriebsprozess deutlich verbessert werden. Die Verbindung der Prüfmerkmale mit den Fehlerursachen bezüglich verschiedener Qualitätsmerkmale zeigte, dass einige Qualitätsmerkmale nicht im direkt folgenden Qualitätssicherungsprozess auf ihre Anforderungserfüllung hin untersucht werden. Andere Qualitätsmerkmale dagegen werden gleich mehrfach im Prozess geprüft. Dies gilt beispielsweise für die Prüfung der Kratzerfreiheit der Polyamidbeschichtung. Im Bereich „Information und Kommunikation“ wurde festgestellt, dass redundante Datenbanken und Informationsflüsse innerhalb einiger Standorte existieren. Für andere Qualitätsdaten wie die Fehleranzahl pro Prüfmerkmal hat die Qualitätsmanagementabteilung nur Zugriff auf die vom Mitarbeiter an der Station selektierte und händisch in eine Qualitätssoftware übertragene Daten. Zwischen den Standorten werden keine Qualitätsinformationen ausgetauscht. Mit der Übersicht von Prüfstrategien und QS-Maßnahmen sowie der Anwendung des Simulationsmodells wurden verschiedene Maßnahmen auf ihre Vorteilhaftigkeit zur Steigerung der Qualität im Wertschöpfungsnetzwerk geprüft. Hierbei handelte es sich einerseits um die Einführung eines Automationskonzepts zur automatischen Detektion von Fehlstellungen der Schwimmerposition und Regelung der Induktionstemperatur. Alternativ wurde eine adaptierte Prüfplanung zur besseren Prüfung der Qualitätsmerkmale, die Installation optischer Sensoren sowie ein Prüfverzicht zur Reduktion qualitätsbezogene Kosten in Erwägung gezogen. Für jede Maßnahme wurde die entsprechende Prüfkonfiguration anhand des Ziel- und Kennzahlensystems gegenüber der Ausgangskonfiguration unter Berücksichtigung der über die Zeit veränderlicher Störgrößen mit Hilfe des vorgestellten Simulationskonzepts bewertet. Die Einführung von Automation und optischer Prüfung erwies sich als optimale Qualitätsmaßnahme zur Verbesserung der Prüfstrategie im Wertschöpfungsnetzwerk.

Fall 3: Unternehmen für Beratung im Bereich Global Footprint

Das mittelständische Unternehmen für Global Footprint Beratung (ROI Management Constuling GmbH) prüft derzeit die Anwendung der Methodik auf das Wertschöpfungsnetzwerk eines seiner Beratungskunden. Das betrachtete Netzwerk besteht aus zwei in Deutschland befindlichen Produktionsstandorten sowie einem in Frankreich ansässigen Abnehmer. Es dient der Fertigung verschiedener Getriebeteile wobei Fertigungsprozesse wie die „Belagfertigung“, „Heißkleben“, „Vorwaschen“, „Aufkohlen“ und „Verpackung und Versand“ betrachtet werden. Die jährliche Produktionsmenge liegt bei mehreren 100.000 Getrieben pro Jahr. Mit der Methodik sollen spezifische Fragenstellung zur Absicherung von Global-Footprint-Entscheidungen wie beispielsweise die Wirkung der Fremdvergabe von Produktionsumfängen beantwortet werden. Zudem ist es das Ziel, Qualitätsmaßnahmen wie einfache Poka Yoke Maßnahmen oder komplexerer Maßnahmen wie Lieferantenentwicklung zu prüfen. Die Fremdvergabe von Produktionsumfängen wird durch die Erweiterung des Produktionsnetzwerks um einen weiteren Standort modelliert. Poka Yoke Maßnahmen sind über geringere Fehlerwahrscheinlichkeiten einzelner Ressourcen abgebildet. Die Modellierung der Lieferantenentwicklung findet über

höhere Entdeckungswahrscheinlichkeiten und geringere Fehlerwahrscheinlichkeiten aller Ressourcen statt. Die Änderung von Kennzahlen wie „Anteil fehlerhafter Teile beim Endkunden“ zeigen die positiven Auswirkungen der Qualitätsmaßnahmen an. Die Simulationsergebnisse sind sinnvoll und für einfache Beispiele rechnerisch verifizierbar. Sie untermauern das Potential einer weiteren möglichen Anwendung der Simulation in zukünftigen Global Footprint Beratungsprojekten.

Softwarefunktionsmuster

Das entwickelte AnyLogic Simulationsmodell wurde zu Validierungszwecken weiter abstrahiert und in ein Softwarefunktionsmuster überführt. Einzelne Entitäten der Simulation sind dazu modularisiert und die Module miteinander verknüpft worden. Über Excel-Schnittstellen ermöglicht das Softwarefunktionsmuster es den Anwendern, unternehmensindividuelle Wertschöpfungsnetzwerke über einfache Parametereingabe abzubilden. Mittels Gewichtung von Kennzahlen können verschiedene Standortrollen integriert und die Auswirkungen von Prüfstrategien und Qualitätsmaßnahmenkombinationen in den Dimensionen Kosten, Zeit und Qualität bewertet werden. Verbesserungspotenziale für das entsprechende Netzwerk werden auf diese Weise identifiziert und mögliche Maßnahmen insbesondere für KMU anwenderfreundlich bewertet und dargestellt.

Das Softwarefunktionsmuster kann über den Onlinedienst für Software-Entwicklungsprojekte GitHub frei zugänglich herunter geladen und von KMU weiter verwendet werden. Auch auf der Projekthomepage ist der Link zur GitHub Entwicklungsplattform aufgeführt. GitHub bietet sich im Vergleich zur Projekthomepage zur Verbreitung des Funktionsmusters besser an, da bereits viele AnyLogic Modelle anderer Forschungsprojekte über die Plattform verfügbar sind. Der Kenntnisgrad über die Plattform ist bei potentiellen Anwendern höher. GitHub unterstützt zudem eine potentielle parallele Weiterentwicklung des Softwarefunktionsmuster durch mehrere Entwickler. Außerdem können Wiki-Funktionen für das Softwarefunktionsmuster angelegt werden. Zur Unterstützung der praktischen Anwendung wird über GitHub ein englischsprachiger Anwenderleitfaden zur Verfügung gestellt. Er beschreibt neben der grundlegenden Funktionalität des Softwarefunktionsmuster insbesondere die Eingabe der notwendigen Inputdaten sowie das Auslesen der Kennzahlenwerte aus den MS Excel Schnittstellen-Dateien.

5. Zuwendung und Angemessenheit der Arbeit

5.1 Verwendung der Zuwendung

Für die Verwendung der Zuwendung wurden im Abrechnungszeitraum 2017 zwei wissenschaftliche Mitarbeiter des wbk Institut für Produktionstechnik eingesetzt, die anteilig auf dem Projekt gearbeitet haben. In Summe arbeiteten die wissenschaftlichen Mitarbeiter 10 Personenmonate auf dem Projekt. Zusätzlich wurden studentische Hilfskräfte im Umfang von 320 Stunden zur Unterstützung der Projektarbeit eingesetzt. Die Zuwendung des Förderbetrags belief sich im Berichtszeitraum 2017 auf 60.040€.

Für die Verwendung der Zuwendung wurden im Abrechnungszeitraum 2018 zwei wissenschaftliche Mitarbeiter des wbk Institut für Produktionstechnik eingesetzt, die anteilig auf dem Projekt gearbeitet haben. In Summe arbeiteten die wissenschaftlichen Mitarbeiter 13 Personenmonate auf dem Projekt. Zusätzlich wurden studentische Hilfskräfte im Umfang von 655 Stunden in dem Projekt eingesetzt. Die Zuwendung des Förderbetrags belief sich im Berichtszeitraum 2018 auf 106.400€.

Für die Verwendung der Zuwendung wurden im Abrechnungszeitraum 2019 zwei wissenschaftliche Mitarbeiter des wbk Institut für Produktionstechnik eingesetzt, die anteilig auf dem Projekt gearbeitet haben. In Summe arbeiteten die wissenschaftlichen Mitarbeiter im Umfang von 5 Personenmonaten auf dem Projekt. Studentische Hilfskräfte wurden nicht mehr zur Erarbeitung der Projektergebnisse eingesetzt. Die Zuwendung des Förderbetrags belief sich im Berichtszeitraum 2019 auf 30.000€.

In Summe beläuft sich die Zuwendung des Förderbetrags somit auf 196.440€. Dies entspricht den beantragten Zuwendungen.

5.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die dargestellten inhaltlichen Arbeiten und Ergebnisse der Haushaltsjahre 2017, 2018 und 2019 entsprechen den Vorgaben des Projektplanes und sind als fortschrittlich einzustufen. Die angestrebten Projektergebnisse konnten erzielt werden. Die Zuwendung des Förderträgers innerhalb der Projektlaufzeit in Höhe von 196.440€ wurde für den Einsatz von wissenschaftlichen Mitarbeitern und studentischen Hilfskräften in dem in Kapitel 5.1 beschriebenen Umfang verwendet. Es wurden regelmäßige Arbeitstreffen mit den Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses durchgeführt. Die Abstimmungsgespräche waren notwendig, um den Ist-Stand der Unternehmen bezüglich der Aufgabenstellung einheitlich aufzunehmen, praxisnahe Hinweise für die Umsetzung der theoretischen Vorgehensweise zu erhalten, die erarbeitete Methodik intensiv zu diskutieren und zu erproben. Aufgrund der beschriebenen Aktivitäten und Ergebnisse war die geleistete Arbeit notwendig und die Verwendung der Zuwendung erscheint angemessen.

6. Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnissen

Die Bearbeitung der Problemstellung des Forschungsvorhabens PlanQ erfolgte in enger Zusammenarbeit mit den Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses. Der Projektbegleitende Ausschuss setzte sich aus Unternehmen unterschiedlicher Größen aus den Bereichen Automobilzulieferbranche, Softwareentwicklung und Unternehmensberatung zusammen. Die enge Kooperation bei der Erarbeitung von Methodik und Vorgehensweise sowie die exemplarische Erprobung der Projektergebnisse bei vier Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses (Robert Bosch GmbH, Konecny Gerätebau GmbH, TI Automotive GmbH sowie ROI Management Consulting AG) 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 PlanQ leisten einen großen Beitrag zur Verbesserung des Qualitätsmanagements in globalen Wertschöpfungsnetzwerken.

Ergebnis des Projekts ist eine auf Simulation aufbauende Planungsunterstützung zur Gestaltung von Prüfstrategien sowie zur Umsetzung von Qualitätsmaßnahmen in Wertschöpfungsnetzwerken. Die Ergebnisse adressieren das vorhandene Defizit und erweitern den Stand der Forschung geeignet. Erstmalig wird ein wertstrombasiertes Vorgehen vorgestellt, welches nicht nur die systematische Analyse sondern auch die Steigerung der Qualität von Wertschöpfungsprozessen in globalen Netzwerken ermöglicht. Verbesserungsmaßnahmen werden unter Berücksichtigung hierarchischer und multidimensionaler Zielsysteme ausgewählt. Die Multi-Methoden-Simulation betrachtet Beziehungen zwischen Standorten, Lieferanten und Kunden des Netzwerks und erlaubt eine dynamische Evaluation einzelner technischer und informationsgetriebener Maßnahmen unter Berücksichtigung divergierender Zielsysteme einzelner Akteure des Netzwerks. Im Themenbereich der Auswertung und Analyse von Simulationsmodellen wurden neue methodische Grundlagen durch die Ermittlung von Wirkzusammenhängen zwischen Steuer-, Stör- und Zielgrößen mit Metamodellen geschaffen.

Weitere Forschung kann insbesondere den Mehrwert eines durch die Digitalisierung und Industrie 4.0 verstärkten Informationsaustauschs in Wertschöpfungsnetzwerken betrachten. Nicht nur im Bereich der Qualitätsproblembehebung sondern auch im Auftragsmanagement und im technischen Änderungsmanagement verspricht ein verstärkter Informationsaustausch einen besseren Umgang mit Problemen und Störungen. Auch im Bereich der Versuchsplanung (DoE) und Metamodellierung kann die Forschung fortgeführt werden. Durch die Anwendung einer adaptiven Screening-Phase könnte eine größere Menge an Steuer- und Störfaktoren in der Simulation betrachtet werden. Mit optimalen Versuchsdesigns könnten Versuchspunkte effizienter im Lösungsraum verteilt und die Auswertung des Simulationsmodells weiter beschleunigt werden.

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

Eine globale Produktion mit vielfältigen Liefer- und Leistungsverflechtungen verlangt ein wirksames Qualitätsmanagement. Eine sehr gute Beherrschung der Produktionsprozesse am Heimatstandort ist nicht ausreichend. Vielmehr ist zur Sicherstellung der Produktqualität eine Betrachtung und Gestaltung des gesamten Herstellungsprozess im Wertschöpfungsnetzwerk erforderlich. Dies gilt insbesondere für die Automobilzulieferindustrie und den Maschinenbau mit ihrer typischerweise durch KMU geprägten Zulieferstruktur aufwärts der Tier-2-Ebene. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts PlanQ tragen auf verschiedene Weise zur Qualitätssteigerung bei und leisten einen Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit von KMU.

Mit der in AP 2 entwickelten Methode der Qualitäts-Wertstromanalyse können sowohl KMU als auch große Unternehmen ihre globalen Wertströme unter Berücksichtigung von Qualitätsaspekten mit wirtschaftlichem Aufwand darstellen. Ein tiefergehendes Verständnis der Zusammenhänge und Schnittstellen wird entwickelt. Die Unterscheidung der Dimensionen „Rechtliche Aspekte“, „Informationen und Kommunikation“, „Qualitätsmanagement“ und „technische Aspekte“ adressiert industriespezifische Anforderungen an eine Methode zur Verbesserung der Prozessführung in der Produktion.

Mit Hilfe der Netzwerksimulation können Unternehmen ihre optimale standortübergreifende Prüfstrategie ermitteln und Effizienzpotentiale realisieren. Qualitätsmaßnahmen werden bereits vor der Implementierung für das spezifische Wertschöpfungsnetzwerk hinsichtlich ihres Aufwand- und Nutzenverhältnis abgesichert. Dieses Vorgehen vermeidet Fehlinvestitionen und wirkt sich positiv auf die standortübergreifenden produktions-, logistik- und qualitätsbezogenen Kosten aus. Das Vorgehen gleicht spezifische Schwächen von KMU aus, die aufgrund ihrer mangelnden Personal- und Ressourcenausstattung üblicherweise auf den Einsatz von Planungstools zur Absicherung von Qualitätsmaßnahmen verzichten. Die Netzwerksimulation ist individuell parametrierbar und frei über die Software-Entwicklungsplattform GitHub abrufbar. KMU ist eine Planungssoftware zur Verfügung gestellt worden, welche zur bestmöglichen Steuerung von Wertschöpfungsnetzwerken bei geringen Lieferzeiten und einer durchweg hohen Qualität der Produkte beiträgt. Mit dem Planungswerkzeug können KMU die Qualitätssicherungsstrategie ihres Wertschöpfungsnetzwerks optimal gestalten sowie ihre globale Wettbewerbsfähigkeit erhalten und ausbauen.

Die Arbeiten im Projekt PlanQ wurden an den Bedürfnissen des verarbeitenden Gewerbes ausgerichtet und sind in ihrer Anwendung und Übertragbarkeit nicht auf bestimmte Industriezweige beschränkt. Die Übersicht alternativer Prüfstrategien und QS-Maßnahmen wurde allgemeingültig gehalten und das implementierte Simulationsmodell an morphologischen Merkmalsschemen ausgerichtet. Mit diesen Eigenschaften können die Forschungsergebnisse von einer Vielzahl produzierender Unternehmen unterschiedlicher Branchen, Strukturen und Größen angewendet werden. Die in Abbildung 3 dargestellte ansteigende Trendlinie an Rückrufquoten in der Automobilindustrie ist ein Beleg dafür, dass die Thematik der Qualitätssicherung von Wertschöpfungsprozessen in Zukunft weiter an Relevanz gewinnen wird. Diese Entwicklung tragen zur Steigerung des wirtschaftlichen Nutzens der Forschungsergebnisse und ihres Potentials zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit von KMU bei.

7. Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Für den Ergebnistransfer mit dem Projektbegleitenden Ausschusses wurden über die gesamte Projektlaufzeit hinweg mehr als 25 bilaterale Arbeitstreffen mit den Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses durchgeführt. Neben den bilateralen Arbeitstreffen fanden 5 Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses (11.05.2017, 10.11.2017, 04.05.2018, 09.11.2018, 17.05.2019) statt. Die Sitzungen wurden bei der durchführenden Forschungsstelle, dem wbk Institut für Produktionstechnik am KIT Karlsruhe, abgehalten.

Die (Zwischen-)Ergebnisse des Forschungsvorhabens PlanQ wurden im Rahmen einer Vielzahl von Veranstaltungen einer interessierten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Neben der Veröffentlichung der erarbeiteten Methodik und Ergebnisse in nationalen und internationalen Zeitschriften (BVL Magazin Eins 2019, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology) und auf internationalen Konferenzen (CIRPe Global Web Conference 2018) erfolgte die Verbreitung über die Medien des wbk (z.B. wbk Jahresbericht, wbk Newsletter topics) an eine breite Öffentlichkeit von Industrie- und Wissenschaftsvertretern. Auf diversen Veranstaltungen des wbk konnten die Projektergebnisse in Form eines Posterstandes vorgestellt und diskutiert werden. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts wurden beim 2. Expertenforum „Globale Produktion“ am 04.10.2018 in einem Vortrag von Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza einem Teilnehmerkreis von über 80 Personen aus der Industrie vorgestellt und diskutiert. Das Projekt konnte auch beim SciencePitch des 35. Deutschen Logistikkongress der BVL in Berlin vorgestellt werden.

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

Neben den studentischen Arbeiten konnte eine themenbezogene Dissertation zum Thema abgeschlossen werden:

Arndt, T. (2018): Bewertung und Steigerung der Prozessqualität in globalen Produktionsnetzwerken. Dissertation, KIT Karlsruhe.

Eine zweite Dissertation befindet sich in Ausarbeitung:

Treber, S. (2020): Transparenzsteigerung globaler Produktionsnetzwerke: Verbesserung des Störungsmanagements durch verstärkten Informationsaustausch. Dissertation, KIT Karlsruhe.

Die geschaffene Projekthomepage diente als Anlaufstelle für Interessierte sowie als Austausch- und Kommunikationsplattform für die Mitglieder des Projektbegleitenden Ausschusses. Das AnyLogic Simulationsmodell zur optimalen Gestaltung der Prüfstrategie und Umsetzung von Qualitätsmaßnahmen in globalen Wertschöpfungsnetzwerken ist über GitHub verfügbar. Der Onlinedienst zur Bereitstellung von Software-Entwicklungsprojekten bietet nach kostenloser Registrierung eine Möglichkeit zum Download an.

Ein Anwenderleitfaden zur schrittweisen Nutzung der Methodik und des Simulationsmodells befindet sich aktuell in Ausarbeitung. Er wird zeitnah der BVL übersandt und der interessierten Öffentlichkeit über GitHub und die Projekthomepage zur Verfügung gestellt werden. Die

Planungsunterstützung zur Gestaltung von Prüfstrategien und Umsetzung von Qualitätsmaßnahmen in globalen Wertschöpfungsnetzwerken konnte bei den drei Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses Robert Bosch GmbH, Konecny Gerätebau GmbH und TI Automotive GmbH erfolgreich angewendet werden. Die ROI Management Consulting AG (KMU Beratungsunternehmen im Bereich Lean, IoT und Supply Chain Management) nutzt das entstandene Simulationsmodell für Kundenprojekte im Bereich der Gestaltung und des Betriebs globaler Wertschöpfungsnetzwerke. Aufgrund der unmittelbaren Anwendung der erzielten Ergebnisse wird der wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Nutzen der erzielten Ergebnisse als hoch eingeschätzt.

Nachfolgend werden die Transfermaßnahmen noch einmal übersichtlich zusammengefasst:

Tabelle 1: Übersicht der Transfermaßnahmen

Typ	Autor und Titel bzw. Beschreibung	Datum
Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses (PA) und bilaterale Treffen		
1. Sitzung	Sitzung des PA am wbk Institut für Produktionstechnik, KIT Karlsruhe, Karlsruhe	11.05.2017
2. Sitzung	Sitzung des PA am wbk Institut für Produktionstechnik, KIT Karlsruhe, Karlsruhe	10.11.2017
3. Sitzung	Sitzung des PA am wbk Institut für Produktionstechnik, KIT Karlsruhe, Karlsruhe	04.05.2018
4. Sitzung	Sitzung des PA am wbk Institut für Produktionstechnik, KIT Karlsruhe, Karlsruhe	09.11.2018
5. Sitzung	Sitzung des PA am wbk Institut für Produktionstechnik, KIT Karlsruhe, Karlsruhe	17.05.2019
Mehr als 25 bilaterale Treffen	Treffen mit den Projektpartner zum gezielten Wissensaustausch, zur Spezifizierung der Problemstellung und Diskussion konkreter Arbeitsinhalte	Regelmäßig über die Projektlaufzeit
Weiterbildung		
Studentische Arbeit	Steffen Knoblauch: Klassifizierung und Charakterisierung von Qualitätssicherungsmaßnahmen für globale Wertschöpfungsnetzwerke.	2017
Studentische Arbeit	Stefan Schott: Methodik zum gezielten Einsatz von Industrie 4.0-Technologien zur Transparenzsteigerung in Wertschöpfungsnetzwerken	2017
Studentische Arbeit	Nele Fanck: Wertstrombasierte Methode zum Aufbau der für die Simulation globaler Produktionsnetzwerke von Kunststoff-Metall-Bauteilen notwendigen Datenbasis.	2018
Studentische Arbeit	Benedikt Hauger: Agentenbasierte Simulation von Produktionsnetzwerken zur Transparenzsteigerung.	2018
Studentische Arbeit	Marc-Philipp Mathieu: Konzeption und simulationsbasierte Realisierung eines Kennzahlensystems zur Bewertung der Leistungsfähigkeit von Produktionsnetzwerken.	2018
Studentische Arbeit	Ning Wang: Software Prototype for a Meta-Modelling-Based Analysis of Interaction Between Disruptions and Transparency in Global Production Networks.	2018

Studentische Arbeit	Christoph Bubeck: Entwicklung eines Simulations- und Metamodells zur systematischen Leistungsanalyse eines Produktionsnetzwerkes.	2018
Studentische Arbeit	Mathis Hauber: Entwicklung einer multikriteriellen Auswahlmethodik für Technologien zur Steigerung des Informationsaustausches in globalen Produktionsnetzwerken.	2018
Studentische Arbeit	Suzan Ertas: Definition eines Reifegradmodells und Zuordnung von Digitalisierungs-technologien für den Informationsaustausch in Produktionsnetzwerken.	2019
Studentische Arbeit	Roman Breig: Vorgehensmodell zur Metamodellierung und Analyse der Leistungsfähigkeit globaler Produktionsnetzwerke bei variierbarem Informationsaustausch.	2019
Externe Arbeit stud.	Christian Stockmann: Technische Lieferantenbewertung zur Erweiterung der Lieferantenbasis für komplexe Bauteile.	2016
Externe Arbeit stud.	Roman Linzbach: Entwicklung eines wertstromorientierten Vorgehensmodells zur Erfassung und nachhaltigen Verbesserung des Qualitätsniveaus global verteilter Wertschöpfungsnetzwerke.	2017
Externe Arbeit stud.	Samuel Kern: Erarbeitung eines Prozessstandards für die proaktive sowie reaktive Unterstützung kritisch eingestufte Lieferanten	2017
Externe Arbeit stud.	Tobias Müller: Methodik zur Steigerung der Fertigungsbereitschaft in global verteilten Wertschöpfungsketten der Automobilzulieferindustrie.	2018
Externe Arbeit stud.	Florian Müller: Technologiekettenbasierte Planung unternehmensinterner Produktionsnetzwerke unter Berücksichtigung der Produktions- und Netzwerkstrategie.	2018
Externe Arbeit stud.	Fortesa Abdyl: Statistische Prozessdatenanalyse einer automatisierten Fertigungsanlage zur Verbesserung der Anlageneffektivität.	2019
Externe Arbeit stud.	Joana Maier: Baukastensystem zur Verkürzung der Implementierungszeit von Simulationsmodellen für das Qualitäts- und Auftragsmanagement globaler Produktionsnetzwerke.	2019
Integration in Lernfabrik Globale Produktion	Erkenntnisse des Forschungsprojekts PlanQ fließen während der Projektlaufzeit in die Weiterentwicklung des Schulungsmodells „Six Sigma 4.0“ der Lernfabrik Globale Produktion ein	Während der Projektlaufzeit
Transfer an das GAMI	Erkenntnisse des Forschungsprojekts wurden bei der Weiterentwicklung von Schulungskonzepten und bei der Durchführung von Lieferantentwicklung am Global Advanced Manufacturing Institute (GAMI) in Suzhou berücksichtigt	Während der Projektlaufzeit
Anwenderleitfaden und Schulungskonzept	Ausarbeitung eines Anwenderleitfadens zum Vermitteln der erarbeiteten wissenschaftlichen Methoden in die Praxis und zur Anwendung des Simulationsmodells	In Ausarbeitung

Veröffentlichungen		
Projekt-Website	Projekthomepage als Kontaktforum für Industrie und Forschung: http://www.qualitaet-netzwerk.de/	Eingerichtet seit 11/2017
wbk Newsletter Topics	Ankündigung des Forschungsprojekts inkl. Vorstellung der Ziele sowie Arbeitsinhalte und Aufruf zur Mitarbeiter im PA für Industrieunternehmen	02/2017
Wissenschaftliches Kolloquium	Präsentation und Diskussion der Zwischenergebnisse im Rahmen des wissenschaftlichen Kolloquiums von Hr. Treber „Transparenzsteigerung globaler Produktionsnetzwerke: Verbesserung des Störungsmanagements durch verstärkten Informationsaustausch“ am wbk (Zeitdauer 90 Minuten)	12.01.2018
Zwischenberichte	Zusammenfassung der Zwischenergebnisse des Forschungsvorhabens in jährlichen Berichten	Frühjahr 2018 Sommer 2019
Präsentation des Projekts auf wbk Veranstaltungen	Vorstellung und Diskussion der Projektinhalte und aktueller Zwischenergebnisse anhand eines Posterstandes auf diversen Veranstaltungen (u.a. wbk Herbsttagung 2017, wbk Herbsttagung 2018)	Kontinuierlich über Projektlaufzeit
BVL Logistik-kongress 2018	„Qualitätssteigerung in globalen Wertschöpfungsnetzwerken“ – Vorstellung des Forschungsprojekts PlanQ beim Science Pitch des 35. Deutschen Logistik-Kongress der BVL in Berlin durch Stefan Treber	Oktober 2018
2. Expertenforum Globale Produktion	„Kollaborative Produktionsnetzwerke in einer digitalisierten Welt“ – Vorstellung von methodischen Inhalten und Ergebnissen des Forschungsprojekts PlanQ beim 2. Expertenforum „Globale Produktion“ in Stuttgart durch Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza	Oktober 2018
Nationale Veröffentlichung	Lanza, G.; Treber, S.: „Planen mit PlanQ. Mit methodischen Handlungsempfehlungen für Qualitätsmanagement will ein Forschungsprojekt am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) fehlerhafte Bauteile in Produktionsnetzwerken verhindern. Vor allem die Automobilbranche profitiert von diesem Projekt.“	BVL Magazin Eins 2019
Nationale Veröffentlichung	Vorstellung des Forschungsvorhabens im wbk Jahresbericht 2017 zur umfassenden Verbreitung der Ziele des Vorhabens unter den Industrie- und Wissenschaftspartnern des wbk.	wbk Jahresbericht Q2.2017
Internationale Veröffentlichung	Treber, S.; Bubeck, C. & Lanza, G. (2018), „Investigating Causal Relationships between Disruptions, Product Quality and Network Configurations in Global Production Networks“. Procedia CIRP.	CIRPe Global Web Conference 2018.
Internationale Veröffentlichung	Hochdörffer, J.; Bürgin, J.; Vlachou, E.; Zogopoulos, V.; Lanza, G.; Mourtzis, D. (2018): Holistic approach for integrating customers in the design, planning, and control of global production networks. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology.	CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 2018.
Dissertation	Arndt, T. (2018): Bewertung und Steigerung der Prozessqualität in globalen Produktionsnetzwerken. Dissertation, KIT Karlsruhe.	Frühjahr 2018

Dissertation	Treber, S. (2020): Transparenzsteigerung globaler Produktionsnetzwerke: Verbesserung des Störungsmanagements durch verstärkten Informationsaustausch. Dissertation, KIT Karlsruhe.	In Ausarbeitung – voraussichtlich Frühjahr 2020
Verbreitung Software-Demonstrator	Nutzung von GitHub (Onlinedienst zur Bereitstellung von Software-Entwicklungsprojekten) zur Verbreitung des Demonstrator für die Simulation zur Gestaltung von Prüfstrategien und Umsetzung von Qualitätsmaßnahmen in globalen Wertschöpfungsnetzwerken	Frühjahr 2019

8. Durchführende Forschungsstelle und Projektbegleitender Ausschuss

8.1 Durchführende Forschungsstelle

Name und Anschrift der Forschungsstelle

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

wbk Institut für Produktionstechnik

Campus Süd

Kaiserstraße 12

76131 Karlsruhe

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

Projektleitung

Stefan Treber

Akademischer Mitarbeiter, Bereich Produktionssysteme

Telefon: +49 1523 9502623

E-Mail: stefan.treber@kit.edu

8.2 Projektbegleitender Ausschuss

Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses

Robert Bosch GmbH (Herr Frank Henke)

Robert-Bosch-Str. 1

77815 Bühl

LuK GmbH & Co. KG (Herr Heiko Wöhner)

Bußmatten 1

77815 Bühl

TI Automotive (Herr Sebastian Meier)

Dischingerstraße 11
69123 Heidelberg

Konecny Gerätebau GmbH (Herr Matthias Konecny)

Greschbachstraße 20
76229 Karlsruhe

FormiKA GmbH (Herr Dr.-Ing. Markus Herm)

Klara-Siebert-Str. 2
76137 Karlsruhe

Porsche Consulting GmbH (Herr Benjamin Bulander)

Flughafenstr. 32
70629 Stuttgart

ROI Management Consulting AG (Herr Dr.-Ing. Sebastian Grundstein)

Infanteriestraße 11
80797 München

Suzhou SILU Production Engineering Services Co., Ltd. (Herr Dr.-Ing. Tobias Arndt)

Room 1101, Building A, Wisdom Center
No.10 Yue Liang Wan Road
Suzhou Industrial Park
215123, Suzhou, P.R. China

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Logo des Forschungsprojekts PlanQ	4
Abbildung 2: Beschäftigungsentwicklung bei KMU mit und ohne Außenhandelsaktivität	6
Abbildung 3: Rückrufquoten in der Automobilindustrie in Anlehnung an (Bratzel 2018)	7
Abbildung 4: Arbeitsprogramm des Forschungsprojekts PlanQ	8
Abbildung 5: Dimensionen und Ebenen der Prozess- und Qualitätsmerkmalanalyse	10
Abbildung 6: Beispielhafter Steckbrief Computer Aided Quality Systeme (CAQ)	12
Abbildung 7: Ausschnitt möglicher QS-Maßnahmen im Bereich Produktion	13
Abbildung 8: Entity-Relationship-Modell des Simulationsmodells	14
Abbildung 9: UML-Digramme für Klassen des Simulationsmodells	15
Abbildung 10: Prozessablauf der Produktion an einer Produktionsressource	15
Abbildung 11: Kennzahlen des Simulationsmodells	17
Abbildung 12: Aufbau des Versuchs-Frameworks zur Bestimmung optimaler Maßnahmen	21
Abbildung 13: Beispielhafte Ergebnisse zur Optimierung des Austauschs von Qualitätswarnungen als Maßnahme zur Verbesserung der Kennzahl „Anteil fehlerhaft ausgelieferter Teile (PPM)“	23
Abbildung 14: Grid-Darstellung zum Vergleich der Verbesserung der Qualitätskennzahl und den finanziellen Aufwänden qualitätssteigernder Maßnahmen	25
Abbildung 15: Wertstrom des Netzwerks zur Fertigung von Metall-Kunststoff-Hybridbauteilen	26

II. Literaturverzeichnis

Abele, Eberhard; Meyer, Tobias; Näher, Ulrich; Strube, Gernot; Sykes, Richard (2008): Global Production. A Handbook for Strategy and Implementation. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-71653-2>.

Arndt, Tobias: Bewertung und Steigerung der Prozessqualität in globalen Produktionsnetzwerken. Dissertation. Shaker Verlag GmbH.

Arndt, Tobias; Lemmerer, Christina; Sihn, Wilfried; Lanza, Gisela (2016): Target System Based Design of Quality Control Strategies in Global Production Networks. In: Procedia CIRP 50, S. 336–341. DOI: 10.1016/j.procir.2016.04.167.

Bratzel, Stefan (2018): Die Rückruf-Trends der globalen Automobilhersteller im Jahr 2017. Hg. v. Center of Automotive Management (CAM). Center of Automotive Management (CAM). Bergisch Gladbach.

Czaja, Lothar (2009): Qualitätsfrühwarnsysteme für die Automobilindustrie. Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2008 u.d.T.: Czaja, Lothar: Einsatz und Bedeutung von Qualitätsfrühwarnsystemen zur Unterstützung des Supply Chain Risk Management in automobilen Wertschöpfungsnetzwerken : eine empirische Untersuchung in der deutschen Automobilindustrie. Wiesbaden: Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden (Gabler Edition Wissenschaft). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8349-9418-9>.

Gausemeier, Jürgen; Wiendahl, Hans-Peter (Hg.) (2011): Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Kleijnen, Jack P. C. (2015): Design and Analysis of Simulation Experiments. 2nd ed. 2015. Cham: Springer (International Series in Operations Research & Management Science, 230). Online verfügbar unter <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=1023024>.

Möller, Klaus; Klatt, Tobias; Drees, Alexander (2011): Heutige und zukünftige Paradigmen des Produktionsstandorts Deutschland. In: Jürgen Gausemeier und Hans-Peter Wiendahl (Hg.): Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 19–33.

René Söllner (2016): Der deutsche Mittelstand im Zeichen der Globalisierung. Wiesbaden.

Siebertz, Karl; van Bebber, David; Hochkirchen, Thomas (2017): Statistische Versuchsplanung. Design of Experiments (DoE). 2nd ed. Berlin, Heidelberg: Vieweg (VDI-Buch Ser). Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=5143216>.

Stefan Thomas (2011): Produktionsnetzwerksysteme – Ein Weg zu effizienten Produktionsnetzwerken. Dissertation. Universität St. Gallen, St. Gallen.

Tapiero, C. S.; Kogan, K. (2007): Risk and quality control in a supply chain: competitive and collaborative approaches. In: Journal of the Operational Research Society 58 (11), S. 1440–1448. DOI: 10.1057/palgrave.jors.2602420.

Treber, S.; Lanza, G. (2018): Transparency in Global Production Networks: Improving Disruption Management by Increased Information Exchange. In: Procedia CIRP 72, S. 898–903. DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.009.

Treber, Stefan; Bubeck, Christoph; Lanza, Gisela (2018): Investigating Causal Relationships between Disruptions, Product Quality and Network Configurations in Global Production Networks. In: Procedia CIRP 78, S. 202–207. DOI: 10.1016/j.procir.2018.08.172.