

1 Einleitung

Das vorliegende Kapitel gliedert sich in vier Abschnitte: Zu Beginn wird der Kontext des Forschungsvorhabens, d. h. die heutige sowie zukünftige Umfeldcharakteristik von Produktionsumgebungen, thematisiert. Darauf aufbauend werden Herausforderungen aufgezeigt, welche im Zuge der Konfrontation klassischer Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme mit einem von Dynamik und Komplexität geprägten Umfeld entstehen. Die These, dass Selbststeuerung einen vielversprechenden Ansatz zur Bewältigung dieser Herausforderungen darstellt, motiviert das Vorhaben und bildet gleichzeitig die Grundlage zur Ableitung der Zielsetzung sowie zur Formulierung der Forschungsfragen. Die Beantwortung der aufgestellten Fragestellungen bedingt einen systematischen Prozess der Wissensgenerierung, welcher im Rahmen des vierten Abschnitts mittels einer wissenschaftstheoretischen sowie forschungsmethodischen Positionierung der Arbeit gestaltet wird und in der Strukturierung der Forschungsarbeit mündet.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass im Interesse eines verbesserten Leseflusses nicht ausdrücklich in geschlechtsspezifischen Personenbezeichnungen differenziert wird. Die gewählte männliche Form schließt eine adäquate weibliche Form gleichberechtigt ein.

1.1 Ausgangssituation

„Any customer can have a car painted any colour that he wants so long as it is black.“ ([FC22], S. 72). Eine solche Aussage wie die von Henry Ford aus dem Jahr 1909 können sich heute nur noch wenige produzierende Unternehmen erlauben. Der Verkäufermarkt von damals hat sich inzwischen zu einem Käufermarkt gewandelt, was insbesondere dazu geführt hat, dass die Kundenorientierung zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor avanciert ist (vgl. [Win06], S. 274; [SH06], S. 745; [SSB12], S. 426). Neben der zunehmenden Kundenorientierung haben in den vergangenen Jahren weitere externe Einflussfaktoren an Bedeutung gewonnen. In der wissenschaftlichen Literatur werden diese als nicht selbstinduzierte, d. h. nicht durch das Unternehmen verursachte, Einflussfaktoren bezeichnet (vgl. [GZ11], S. 310). Diese externen Faktoren, welche sich gegenseitig beeinflussen und in ihrem Zusammenwirken verstärken können, wirken als Störgrößen auf Unternehmen und erzeugen dabei ein von Dynamik sowie Komplexität geprägtes Umfeld (vgl. [Her03], S. 4; [HRW08], S. 21; [Aca13], S. 108; [Sod17], S. 3). Da sich die vorliegende Forschungsarbeit auf innerbetriebliche Produktionsumgebungen konzentriert, in denen eine diskrete Fertigung stattfindet, werden nachfolgend primär die externen Einflussfaktoren herausgestellt, welche den genannten Schwerpunkt entsprechend

tangieren. Unter Berücksichtigung der vorangegangenen Erläuterungen werden in Abbildung 1 die erfassten sowie im Anschluss beschriebenen externen Einflussfaktoren aufgezeigt und grafisch eingeordnet.

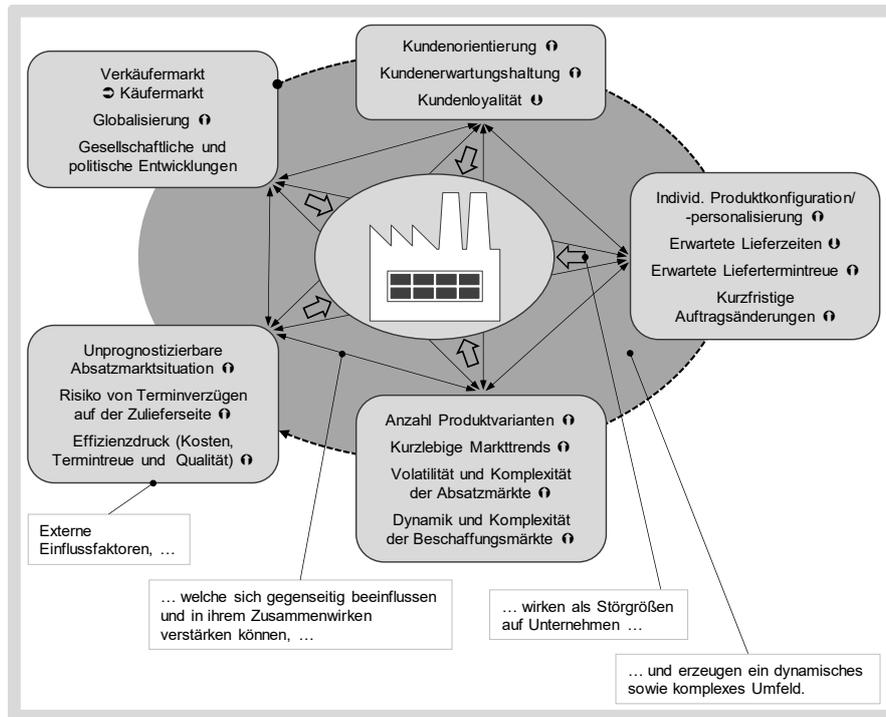


Abbildung 1: Entstehung eines dynamischen und komplexen Unternehmensumfeldes (eigene Darstellung)

Wie bereits angedeutet, hat sich die Erwartungshaltung der Kunden beim Erwerb von Produkten gewandelt (vgl. [Bus17]; [Woll16]). Kunden möchten sich ihr Produkt vermehrt individuell konfigurieren oder gar personalisieren, setzen dabei jedoch das gleiche Qualitäts- und Preisniveau voraus wie bei Serien- oder gar Massenprodukten (vgl. [REG⁺13], S. 84; [HKK14], S. 203–205; [THR14], S. 16). Da Kunden durch das Internet die Möglichkeit gegeben wird, jederzeit Produkte verschiedener Anbieter weltweit vergleichen zu können, verliert gleichzeitig die Kundenloyalität zu Marken an Bedeutung; vielmehr bekommt der Anbieter den Zuschlag, der die Kundenbedürfnisse am schnellsten und kostengünstigsten erfüllt (vgl. [Bus17]; [Hah10], S. 10; [KR17], S. 67). Gepaart mit einer zunehmenden Marktsättigung führt dies insbesondere seit der letzten Dekade zu einer starken Erhöhung bei der Anzahl von Produktvarianten, wobei das Gesamtabsatzvolumen nahezu konstant bleibt (vgl. [Woll16]; [GFL11], S. 204; [Hüt17]). Das folgende Zitat von Prof. Hubert Walzl (Mitglied des Vorstands Produktion und Logistik der Audi AG) „Jeder Audi soll so einzigartig sein wie ein Maßanzug.“ sowie die Tatsache, dass beim Modell A3

theoretisch $1,1 \times 10^{38}$ Konfigurationsmöglichkeiten existieren, unterstreichen beispielhaft die beschriebene Produktindividualisierungsentwicklung (vgl. [Los16]; [KSK⁺18]).

Für zahlreiche Kunden haben sich möglichst kurze Lieferzeiten (Zeitspanne zwischen Bestellauslösung und Produktauslieferung) bei gleichzeitig hoher Liefertermintreue zu entscheidenden Kaufkriterien entwickelt (vgl. [BMP⁺17], S. 541; [KKJ08], S. 91; [SS14], S. 20). Hinzu kommen vermehrt kurzfristige Auftragsänderungen nach Bestellauslösung (vgl. [PMB12], S. 160; [PMB12], S. 160). So wird Kunden in zahlreichen Branchen die Möglichkeit eingeräumt, bspw. eine beauftragte Produktvariante oder Menge noch kurz vor oder, in Abhängigkeit vom Fertigungsfortschritt, während der Produktion anzupassen (vgl. [Win06], S. 277; [WBK10], S. 576; [Aca13], S. 68). Zur Quantifizierung berücksichtigt der Parameter Kundenänderungseinflüsse die Anzahl der Aufträge, die nach der Bestellauslösung kundenspezifischen Änderungseinflüssen unterliegen (vgl. [SSQ12], S. 88). In Kombination mit vermehrt kurzlebigen Markttrends führt die beschriebene Entwicklung zu starken Nachfrageschwankungen auf den Absatzmärkten vieler Unternehmen (vgl. [HKK14], S. 203–205; [Win06], S. 277; [Hüt17]). Ein weiterer externer Einflussfaktor, welcher sich auf das Unternehmensumfeld auswirkt, ist die Globalisierung der Märkte (vgl. [NW12], S. 1; [SSB12], S. 426). Die Globalisierung schafft einerseits neue Absatzmärkte, verstärkt jedoch gleichzeitig die Wettbewerbssituation und erhöht damit den Effizienzdruck auf betroffene Unternehmen (vgl. [WKK⁺17], S. 249; [PMB12], S. 160; [REG⁺13], S. 89). Der Effizienzdruck fußt im genannten Kontext auf gestiegenen Anforderungen in den Bereichen Kosten, Termintreue und Qualität. Als Folge der vorgenannten Einflussfaktoren erfahren die Volatilität und die Komplexität der Absatzmärkte eine enorme Zunahme (vgl. [JW11], S. 49; [Bau14], S. 13). Unternehmen sehen sich heute vielfach einer unberechenbaren, instabilen und damit unprognostizierbaren Absatzmarktsituation ausgesetzt (vgl. [MSK13], S. 350; [Gün10], S. 349; [Sod17], S. 3).

Neben den Absatzmärkten erhöht die Globalisierung ebenfalls die Dynamik sowie die Komplexität der Beschaffungsmärkte und damit der Supply Chains von Unternehmen (vgl. [Him13]; [BMP⁺17], S. 541). In der Folge nehmen kurzfristige Lieferterminänderungen durch Lieferanten zu, was wiederum zu einem Anstieg der Unsicherheit bei Wiederbeschaffungszeiten führt (vgl. [JW11], S. 49; [Him13]). Für Unternehmen steigt damit das Risiko von Terminverzügen auf der Zulieferseite an (vgl. [WBK10], S. 576; [Win07], S. 85).

Das Umfeld produzierender Unternehmen wird zusätzlich durch gesellschaftliche und politische Entwicklungen beeinflusst, deren Ursprung sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene liegen kann. Der zunehmende Fachkräftemangel ist bspw. ein nationaler Faktor, der sich seit einigen Jahren verstärkt auf das Umfeld zahlreicher Unternehmensstandorte in Deutschland auswirkt (vgl. [PMB12], S. 160). Verschärfte Umweltschutzaufgaben, geänderte Gesetzgebungen, verstärkt volatile Finanzmärkte und der demografische Wandel können hingegen als Beispiele für internationale Entwicklungen aufgeführt werden, da sie sowohl das Umfeld

deutscher als auch globaler Unternehmensstandorte beeinflussen (vgl. [PMB12], S. 160; [Luf13], S. 1; [Bis16]).

Zwischenfazit

Der vorliegende Abschnitt zeigt auf, wie externe Einflussfaktoren zusammenwirken, in Form von Störgrößen auf produzierende Unternehmen einwirken sowie dort ein von Dynamik und Komplexität geprägtes Umfeld erzeugen (vgl. [Her03], S. 4). Dabei weiß aktuell niemand, wie sich dieses Umfeld genau entwickeln wird; sicher ist jedoch, dass es immer komplexer und dynamischer wird (vgl. [Wei14]). Im sich anschließenden Abschnitt 1.2 wird der Frage nachgegangen, welche Auswirkungen ein solch turbulentes Umfeld auf innerbetriebliche Produktionsumgebungen hat, in denen eine diskrete Fertigung stattfindet.

1.2 Darlegung des Problems

Das im vorangegangenen Abschnitt beschriebene dynamische und komplexe Umfeld stellt produzierende Unternehmen vor neue Herausforderungen. Unter Berücksichtigung des eingangs genannten Konzentrationsschwerpunktes der vorliegenden Forschungsarbeit werden nachfolgend die primären Herausforderungen für innerbetriebliche Produktionsumgebungen mit diskreter Fertigung herausgestellt.

Um den Kundenwünschen jederzeit gerecht werden zu können, müssen Unternehmen die Anzahl von Produktneu- und -weiterentwicklungen pro Zeitintervall erhöhen, was gleichzeitig eine Verkürzung der Time-to-Market sowie der Produktlebenszyklen impliziert (vgl. [GFL11], S. 204; [PMB12], S. 160; [BMP⁺17], S. 541). So liegt heute bspw. der durchschnittliche Produktlebenszyklus eines Autos bei lediglich vier Jahren ([HG17]). Damit Unternehmen eine ausreichende Differenzierung zu internationalen Konkurrenten erreichen und damit den Wettbewerbsanschluss auf hart umkämpften Absatzmärkten nicht verlieren, sehen sie sich gezwungen, insbesondere die Vielfalt ihres Produktportfolios durch Innovationen zu erhöhen (vgl. [Wol16]; [Bau14], S. 13; [Bis16]; [HH16], S. 345). Aufgrund der Tatsache, dass das Gesamtabsatzvolumen in stagnierenden Märkten jedoch nahezu konstant bleibt, nimmt die Stückzahl pro Produktvariante massiv ab; immer größere und sich ständig verändernde Variantenmatrizen pro Produkt sind die Folge (vgl. [Bau14], S. 13; [HKK14], S. 203–205; [GFS17], S. 12; [Wol16]). Für innerbetriebliche Produktionsumgebungen mit diskreter Fertigung bedeutet diese Entwicklung primär einen höheren bzw. unterschiedlicheren Auftragsmix, das Handling kleinerer Losgrößen, den Umgang mit unbeständigen Produktionsplänen sowie eine erschwerte Personalplanung aufgrund ständig schwankender Mitarbeiterbedarfe (vgl. [PMB12], S. 160; [HKK14], S. 203–205; [NW12], S. 1; [PMB12], S. 160). Die hohe Individualität der Kundenwünsche sowie der verschärfte Kostendruck bedingen für Unternehmen das übergeordnete Bestreben, kundenindividuelle Produkte zu den ökonomischen Konditionen von Massenprodukten herzustellen; dieses übergeordnete produktionstechnische Bestreben wird als *Mass Customization* bezeichnet (vgl. [SPT⁺14], S. 277; [BMP⁺17], S. 541; [Gab15], S. 22).

Verstärkt volatile Absatzmärkte, kurzfristige Kundenänderungseinflüsse sowie die zunehmende Produktindividualisierung, welche im Extremfall durch Losgröße eins repräsentiert wird, sind die Hauptgründe dafür, dass betroffene Produktvarianten nicht länger auf Lager produziert werden können (vgl. [SSQ12], S. 88; [Ger15]; [Fra13]). Kurzfristige Auslastungsschwankungen von Kapazitätseinheiten sowie die Bevorratung und Bereitstellung einer großen Anzahl variantenspezifischer Rohmaterialien und Halbfertigerzeugnisse, welche den entsprechenden Transformationsprozessen als Sekundärbedarfe zugeführt werden, können beispielhaft als Auswirkungen dieser Entwicklung genannt werden (vgl. [Ger15]; [SS14], S. 26; [Löd16], S. 269).

Mit Bezug auf die vorangegangenen Ausführungen entsteht für zahlreiche Unternehmen an dieser Stelle ein Zielkonflikt: Aufgrund ihrer klassischen reaktionsträgen

Produktionssysteme sind Betriebe gezwungen die aufgeführten Auswirkungen mit Hilfe von hohen Pufferbeständen (Sicherheits-/WIP-Bestände) und vorgehaltenen Überkapazitäten zu kompensieren, während sie im Gegenzug aus Wirtschaftlichkeitsgründen dazu angehalten sind, genau diese Pufferbestände und Überkapazitäten abzubauen (WIP: Work in Process) (vgl. [BBA⁺17], S. 1; [HSS12], S. 395; [NHQ⁺17], S. 42). Für innerbetriebliche Produktionsumgebungen mit diskreter Fertigung bedeutet diese Entwicklung aus ökonomischen Gründen einen Wechsel von Make-to-Stock- zu Make- oder Assemble-to-Order-Strategien (Wechsel von kunden-/auftragsanonymer zu kunden-/auftragsbezogener Produktion, vgl. Abbildung 2) sowie die Substitution der 1913 von Henry Ford eingeführten Fließfertigung durch einen Produktionsablauf nach dem Verrichtungsprinzip (Werkstattfertigung) (vgl. [SSQ12], S. 87; [Los16]; [BKR⁺16], S. 9). Aktuelle Forschungsprojekte zielen gar auf eine weiterführende Flexibilisierung des Verrichtungsprinzips ab, indem Arbeitsstationen frei miteinander verkettet werden und damit einen hochdynamischen Produktionsauftragsdurchlauf ermöglichen (vgl. [Hüt17]; [BKR⁺16], S. 9; [KSK⁺18]). Weiterführende Informationen zur Topologie der frei verketteten Arbeitsstationen können Abschnitt 4.1 entnommen werden.

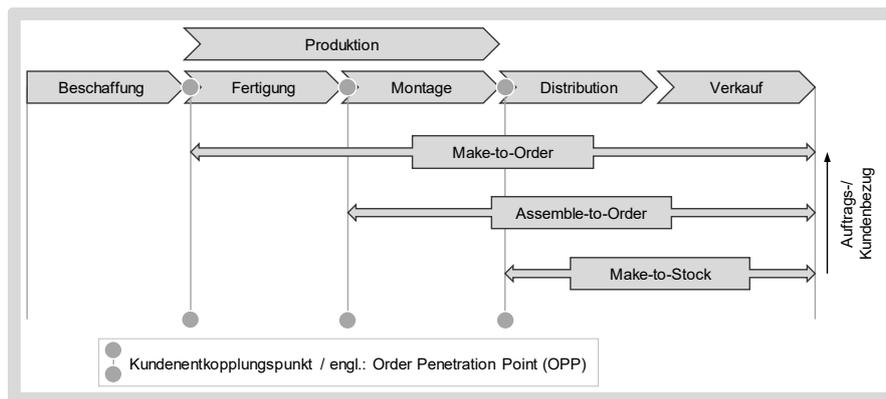


Abbildung 2: Verschiedene Stufen des Auftrags-/Kundenbezugs im Wertschöpfungsprozess (in Anlehnung an [SQC13], S. 53, Abbildung 2.12; [Ost12], S. 15, Abbildung 6)

Die in Abschnitt 1.1 beschriebenen externen Einflussfaktoren, kombiniert mit internen Einflussfaktoren wie z. B. unvorhersehbaren Prozessstörungen, kurzfristigen Eilaufträgen, krankheitsbedingten Mitarbeiter- oder plötzlichen Maschinenausfällen, zwingen innerbetriebliche Produktionsumgebungen dazu, schnell und wirtschaftlich auf Veränderungen in ihrem Umfeld zu reagieren und sich an diese anzupassen (vgl. [JW11], S. 49; [WBK10], S. 576; [GFL11], S. 204; [Bau17], S. 9). Die Relevanz einer hohen systeminhärenten Reaktionsfähigkeit wird in Abbildung 3 verdeutlicht. Dabei wird ersichtlich, dass die ansteigende Umfeldkomplexität i. d. R. eine Erhöhung der benötigten Reaktionszeit (setzt sich zusammen aus: Datenaufnahme/-austausch, Datenaggregation/-verarbeitung, Entscheidungsherbeiführung und -ausführung) bedingt, während die zunehmende Umfelddynamik gleichzeitig zu

einer stetigen Verkürzung der verfügbaren Reaktionszeit führt (vgl. [Rog09], S. 2; [Ble17], S. 107; [Was19]).

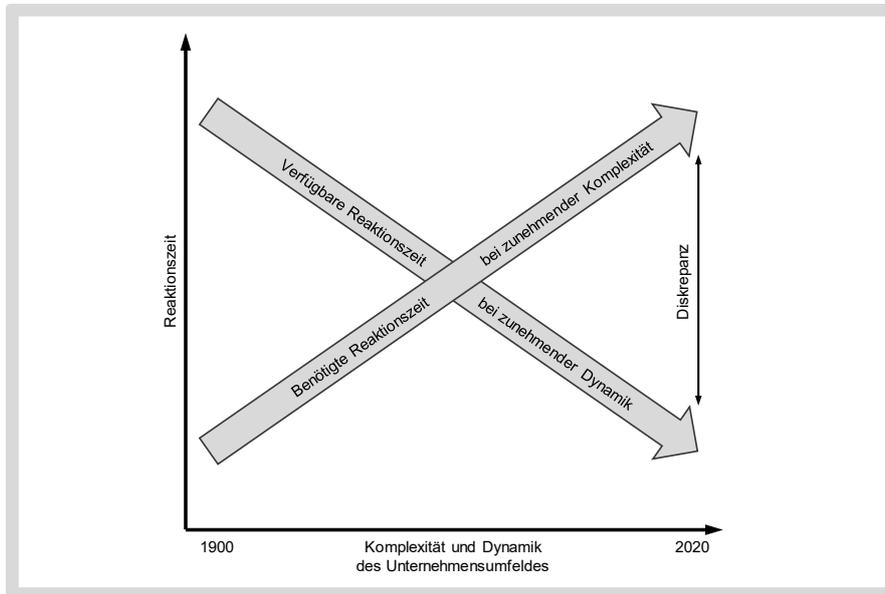


Abbildung 3: Benötigte und verfügbare Reaktionszeit in Abhängigkeit von Umfeldkomplexität und -dynamik (in Anlehnung an [Ble17], S. 107, Abbildung 2.3)

Um trotz des turbulenten Unternehmensumfeldes eine vollständige Kompensation des in Abbildung 3 gezeigten Diskrepanz-Gaps zu erreichen und damit eine bestmögliche Erreichung der vier produktionslogistischen Zielgrößen zu gewährleisten, werden hohe Anforderungen an die Anpassungs- und Reaktionsfähigkeit der zur Produktionsorganisation eingesetzten Systeme gestellt (vgl. [JW11], S. 49; [HKK14], S. 203–205; [TVG⁺16], S. 265; [Was19]). So setzen bspw. stark schwankende Kundenabrufe oder kurzfristige Kundenänderungseinflüsse ein echtzeitnahes, aufwandsarmes und situationsangepasstes Reagieren der Produktionssteuerung voraus (vgl. [JW11], S. 49; [Luf13], S. 8; [Bis16], S. 3).

Zusammenfassend wird an dieser Stelle konstatiert, dass die Anpassungsfähigkeit, welche sich aus den beiden Bausteinen Flexibilität und Wandlungsfähigkeit zusammensetzt, in Kombination mit der Reaktionsfähigkeit die Schlüsselfaktoren für den heutigen und insbesondere zukünftigen Erfolg produzierender Unternehmen darstellen (vgl. [Gün10], S. 349; [Fra17]; [DKS⁺17], S. 12). An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Begriffe Anpassungs- und Reaktionsfähigkeit in Abschnitt 2.3 näher erläutert werden.

Auf die Frage „Wie hoch ist bei Ihnen der Aufwand zur kurzfristigen Steuerung und Koordination in der Produktion?“ gaben laut einer Studie 61,9 Prozent der befragten Unternehmen die Antwort „hoch“ bis „sehr hoch“ [Ger13]. Als Hauptgründe

für diese mangelnde Anpassungs- und Reaktionsfähigkeit in den Produktionsumgebungen zahlreicher Unternehmen gelten der deterministische Steuerungsansatz, die hierarchische Architektur sowie das inflexible sequenzielle Vorgehen der eingesetzten klassischen Planungs- und Steuerungssysteme, welche eine örtlich und zeitlich starr verkettete Transformationsprozessfolge bedingen (vgl. [KKT11], S. 159; [Hüt17]; [HH11], S. 10). Dies bedeutet, dass es sich um Systeme handelt, welche in die klassische Hierarchiearchitektur einer Automatisierungspyramide eingebettet sind und bei denen eine starre Vorabplanung des zukünftigen Systemverhaltens stattfindet (z. B. klassische ERP- oder ME-Systeme) (vgl. [Sch08b], S. 342–343; [HH11], S. 10; [Aca13], S. 68; [Hub16], S. 261; [Kle17], S. 219). Dabei limitiert eine starre Verkettung der Transformationsprozesse die in der betroffenen Produktionsumgebung potenziell herstellbaren Produktvarianten (vgl. [Bau17], S. 17). Die vorgenannten Eigenschaften klassischer Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme führen des Weiteren dazu, dass interne wie auch externe Umfeldveränderungen sehr verzögert detektiert werden, dass Eingangsparameter für Planungs- und Optimierungsalgorithmen/-heuristiken bereits nach kurzer Zeit nicht mehr mit der Real-situation übereinstimmen und, dass steuerungsrelevante Informationen aufgrund der über mehrere Hierarchieebenen stattfindenden Datenaggregation an den notwendigen, meist zentralen Entscheidungsstellen nicht mehr sichtbar sind (vgl. [Mey11], S. 146; [BW11], S. 275; [Win06], S. 279). Erfordern bspw. unvorhersehbare Prioritätsverschiebungen, Qualitätsprobleme oder Maschinenausfälle eine Verlagerung von Produktionsaufträgen auf andere Maschinen, ist dies bei klassischen Systemen i. d. R. mit einem hohen Aufwand verbunden und führt in der Konsequenz zu zeitlichen Verzögerungen (vgl. [USO15], S. 184; [BW07a], S. 73). Der hohe Aufwand wird primär damit begründet, dass Umplanungen aufgrund der hierarchischen Steuerungsarchitektur nicht auf lokal betroffene Kapazitätseinheiten beschränkt werden können, sondern eine Neuberechnung des gesamten Auftrags- und Terminnetzes erfordern (vgl. [USO15], S. 186; [UHK13], S. 115; [Rek13], S. 3).

Mit Bezug auf den zuvor erläuterten Kontext setzt der effiziente Einsatz solcher klassischer Planungs- und Steuerungssysteme ein Unternehmensumfeld voraus, welches folgende Eigenschaften aufweist: geringe Produktvariantenvielfalt, hohe Kundenabrufe pro Produktvariante, geringe Kundenanzahl, gleichmäßiger Kundentakt sowie geringe Kundenabrufschwankungen (vgl. [OZ13], S. 138; [Löd16], S. 242; [Sch08b], S. 338–339). Hinzu kommt, dass der optimale Betriebspunkt klassischer Systeme einen eingeschwungenen Systemzustand voraussetzt. Die beschriebene Dynamik und Komplexität des Unternehmensumfeldes bringen deterministische Steuerungsansätze jedoch an ihre strukturellen Grenzen (vgl. [Win06], S. 277; [WH07], S. 1; [Fra17]; [Aca13], S. 68). So verhindert bspw. die unprognostizierbare Absatzmarktsituation vieler Branchen die rechtzeitige Bereitstellung einer vollständigen Informationsgrundlage, welche jedoch für die deterministischen Entscheidungsprozesse innerhalb hierarchischer Steuerungsarchitekturen zwingend erforderlich ist (vgl. [Sch12]; [OZ13], S. 139; [SHR14], S. 63). Weiterhin ist insbesondere die Umfeldynamik dafür verantwortlich, dass es zukünftig keinen eingeschwungenen, gleichbleibenden Systemzustand mehr geben wird (vgl. [OZ13], S. 138; [Luf13],

S. 36). Der optimale Betriebspunkt unterliegt einer dynamischen und zugleich unvorhersehbaren Verschiebung, wodurch eine kontinuierliche, reaktionsschnelle Systemanpassung notwendig wird, die jedoch von klassischen Planungs- und Steuerungssystemen aufgrund ihrer Starrheit nicht gewährleistet werden kann (vgl. [Hom17]; [Hüt17]; [DHH⁺97], S. 1359). Trotz der genannten Herausforderungen kommen solche klassische auf deterministischen Ansätzen, starren Vorgehensweisen und hierarchischen Architekturen basierende Systeme auch heute noch flächendeckend in den weltweiten Produktionsumgebungen von Unternehmen zum Einsatz (vgl. [HH11], S. 10; [REG⁺13]; [TVG⁺16]; [Nie10], S. 17).

Hinzu kommt, dass die durch externe Einflussfaktoren hervorgerufene Dynamik und Komplexität, die Fülle möglicher Handlungsoptionen sowie die Interdependenzen zwischen diesen Handlungsoptionen im praktischen Unternehmensalltag nur noch schwer durch den menschlichen Verstand erfasst und überblickt werden können (vgl. [SPR⁺17], S. 85; [BBA⁺17], S. 2; [Sch18c], S. 1). In der Folge nimmt zum einen die Systemeffizienz aufgrund einer verstärkt mangelhaften Entscheidungsgüte ab und kann zum anderen die Situation eintreten, dass sich Mitarbeiter, welche die klassischen deterministischen Systeme nutzen, um Steuerungsentscheidungen zu treffen, in einen temporären Zustand der *Komplexitätsohnmacht* versetzt fühlen.

Um im Rahmen eines turbulenten Umfeldes langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben, sind insbesondere innerbetriebliche Produktionsumgebungen mit diskreter Fertigung gezwungen, ihre Anpassungs- und Reaktionsfähigkeit unter gleichzeitiger Berücksichtigung der klassischen Dimensionen Qualität, Kosten und Zeit zu steigern, z. B. indem Steuerungsentscheidungen echtzeitnah getroffen und Umplanungen hochdynamisch durchgeführt werden (vgl. [SAG⁺17], S. 10; [MBG⁺16], S. 7; [Lei09], S. 979). Die Versuche, klassische Planungs- und Steuerungssysteme zu flexibilisieren, stützen sich jedoch in den meisten Fällen weiterhin auf eine planbare Zukunft sowie damit einhergehend auf hierarchisch organisierte starre Transformationsprozessketten (vgl. [Hom10], S. 3). Unternehmen versuchen, die zunehmend probabilistische Situation in die aus der Vergangenheit bekannten und gewohnten deterministischen Strukturen zu pressen. Im Rahmen eines turbulenten Unternehmensumfeldes gilt diese Herangehensweise bereits im Ansatz als inadäquat und wird betroffene Unternehmen nicht zum gewünschten Ziel führen (vgl. [Win06], S. 279).

Gelingt es Unternehmen nicht, diesen Weiterentwicklungspfad in Richtung gesteigerter Anpassungs- und Reaktionsfähigkeit zu bestreiten, treffen klassische deterministische Steuerungsansätze auf ein dynamisches und komplexes Umfeld, was mit Bezug auf den Kontext der vorliegenden Forschungsarbeit die nachfolgend beschriebenen Auswirkungen mit sich bringen kann: Bezogen auf die Ressourcen treten in innerbetrieblichen Produktionsumgebungen mit diskreter Fertigung verstärkt Bedarfsschwankungen auf (vgl. [PMB12], S. 160). Dies führt zu unausgelasteten oder überlasteten maschinellen Kapazitätseinheiten, zu einem Überangebot oder Engpässen im Zuge der Personaleinsatzplanung sowie zu Über- oder Fehlbeständen an Primär- und Sekundärkomponenten (vgl. [PMB12], S. 160). Auf dem Shopfloor ziehen erhöhte Abstimmungs- und Umplanungsbedarfe sowie häufigere Prozessneugestaltungen Hektik und Unstrukturiertheit nach sich (vgl. [PMB12], S. 160;

[NHQ⁺17], S. 35). Des Weiteren steigt das Risiko von kostenintensiven Sonderlieferungen oder gar von Lieferabbrissen zum Kunden (Fehlmengenkosten). Pönalen bei Lieferverzug, zukünftige Auftragsverluste und ein damit einhergehender Imageverlust sind die Folgen für betroffene Unternehmen (vgl. [PMB12], S. 160; [HSS12], S. 396).

Zwischenfazit

Die Beschreibung der potenziellen Auswirkungen verdeutlicht, dass Unternehmen, welche einem turbulenten Umfeld ausgesetzt sind, den Versuch aufgeben müssen, das zukünftige Systemverhalten mit der Ansammlung und Verarbeitung einer noch größeren Datenmenge oder der Entwicklung noch komplexerer Modelle möglichst genau vorbestimmen zu wollen (vgl. [KKT11], S. 159; [HH17], S. 251; [Hom10], S. 4). Dieses Verhalten führt zu einem exponentiellen Anstieg der Datenmenge, jedoch nicht zu einem flexibleren und reaktionsschnelleren Verhalten (vgl. [HH17], S. 251). Anstatt diesen Weg weiter zu verfolgen, müssen betroffene Unternehmen einen Paradigmenwechsel vollziehen (vgl. [Hüt17]; [DKS⁺17], S. 12; [VHT⁺14], S. 915). Dieser Wechsel basiert auf einer Abkehr von der deterministischen prognosebasierten Steuerung in hierarchischen Architekturen und fokussiert stattdessen die Implementierung einer autonomen, dezentralen Ad-hoc-Steuerung in heterarchischen Architekturen (Selbststeuerung) (vgl. [WH07], S. 1–2; [KKT11], S. 159; [DKS⁺17], S. 5). Mit Bezug auf die vorgenannten steuerungsarchitektonischen Ausprägungen illustriert Abbildung 4 schematisch den Unterschied zwischen Hierarchie und Heterarchie.

Der nachfolgende Abschnitt 1.3 greift das neuartige, zuvor grob skizzierte Steuerungsparadigma auf, setzt es in den Kontext von innerbetrieblichen Produktionsumgebungen mit diskreter Fertigung und erläutert darauf aufbauend die Motivation sowie die Zielsetzung der vorliegenden Forschungsarbeit.

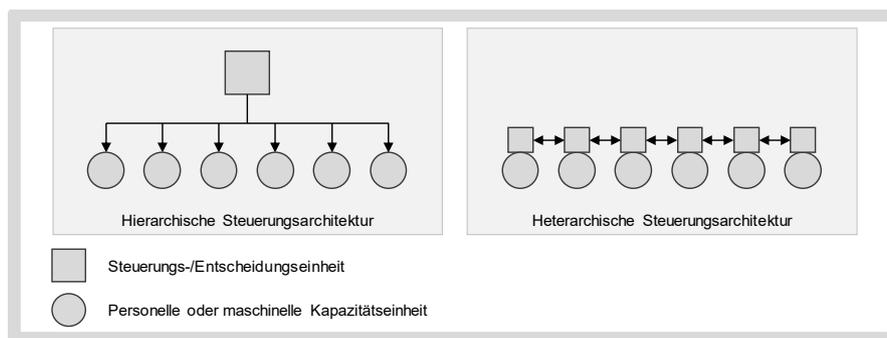


Abbildung 4: Steuerungsarchitektonische Grundformen (in Anlehnung an [GHS⁺17], S. 557, Abbildung 8.3; [SF07], S. 715, Abbildung 5; [Tre09], S. 973, Abbildung 3)

1.3 Motivation und Zielsetzung

Im vorangegangenen Abschnitt wurde dargelegt, welche Problematiken der Einsatz klassischer deterministischer sowie auf hierarchischen Architekturen basierender Steuerungsansätze bedingt, wenn diese in einer von hoher Dynamik und Komplexität geprägten Produktionsumgebung mit diskreter Fertigung zum Einsatz kommen. Um den aufgeführten Problematiken entgegenwirken und dem übergeordneten produktionstechnischen Bestreben einer *Mass Customization* nachkommen zu können, gilt es, primär eine Beherrschbarkeit der in Abschnitt 1.1 erläuterten Umfeld-dynamik und -komplexität sicherzustellen (vgl. [NHQ⁺17], S. 36; [Hüt17]). Sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis wird der Ansatz der Selbststeuerung als ein essenzieller Befähiger zur Erreichung dieser Beherrschbarkeit gesehen (vgl. [SH12], S. 295; [Was19]; [Rek13], S. 3; [SPT⁺14], S. 277–280). An dieser Stelle folgt die vorliegende Forschungsarbeit den Ausführungen des Sonderforschungsbe-reichs (SFB) 637, in welchem der Begriff Selbststeuerung wie folgt definiert wird ([SH12], S. 298):

„Selbststeuerung beschreibt Prozesse dezentraler Entscheidungsfindung in heterarchischen Strukturen. Sie setzt voraus, dass interagierende Elemente in nichtdeterministischen Systemen die Fähigkeit und Möglichkeit zum autonomen Treffen von Entscheidungen besitzen. Ziel des Einsatzes von Selbststeuerung ist eine höhere Robustheit und positive Emergenz des Gesamtsystems durch eine verteilte, flexible Bewältigung von Dynamik und Komplexität.“

Mittels der vorgenannten Eigenschaften, bzw. insbesondere mittels der Dezentralisierung von Entscheidungskompetenzen, tragen Selbststeuerungsansätze bei Einsatz innerhalb einer Produktionsumgebung zu einer Steigerung der Anpassungs- sowie der Reaktionsfähigkeit und damit einhergehend zu einer Beherrschung der Umfeld-dynamik und -komplexität bei (vgl. [Ost12], S. 45; [WH07], S. 7; [SFB⁺07], S. 274). Diese These wird in der wissenschaftlichen Literatur bereits durch zahlreiche, in den meisten Fällen simulativ durchgeführte Untersuchungen belegt; vgl. u. a.: [WBJ⁺10], [WPB⁺10], [SRG10], [WBK10], [SGP09], [SFB⁺06], [SJB08], [PMT09], [OSA⁺12], [GFS17], [WJB10], [RMS09]. Mit Bezug auf den Kontext der vorliegenden Forschungsarbeit wird den Untersuchungen zusammenfassend nachfolgende Erkenntnis entnommen: Je weiter die Umfeld-dynamik und -komplexität einer Produktionsumgebung anwachsen, desto weiter übersteigt die Leistungsfähigkeit (Erreichungsgrad der produktionslogistischen Zielgrößen) von Selbststeuerungsansätzen die Leistungsfähigkeit von klassischen deterministischen Steuerungsansätzen (vgl. [SH12], S. 318; [RSZ10], S. 255; [GJW11], S. 182; [JDW⁺12], S. 275). Im Umkehrschluss wird konstatiert, dass eine wachsende Umfeld-turbulenz gleichzeitig einen Anstieg des Selbststeuerungsgrades bedingt (vgl. [HH14], S. 618).

Aufgrund der hierarchischen Architektur wird im Rahmen klassischer Steuerungsansätze versucht, alle Informationen an einem übergeordneten Entscheidungspunkt zu bündeln, um ein globales und gleichzeitig möglichst optimales Gesamtplanungsergebnis zu generieren (vgl. [EKM⁺16], S. 16). Demgegenüber basiert die

Funktion eines Selbststeuerungsansatzes auf der Verteiltheit von Informationen, d. h. dezentral sowie autonom agierende Einheiten nutzen lokal verfügbare Informationen und tauschen diese im Bedarfsfall untereinander aus. Diese mit der heterarchischen Architektur einhergehende Eigenschaft verwehrt die Möglichkeit der Berechnung eines globalen Optimums (vgl. [VU98], S. 131). So kann im Rahmen der Selbststeuerung nicht sichergestellt werden, dass die von den verteilten Einheiten getroffenen Entscheidungen in einer global optimalen Lösung münden (vgl. [Rek13], S. 18). Da ein Anstieg der Umfelddynamik und -komplexität jedoch die Ermittlung globaler Optima erschwert, in einem zeitlich vertretbaren Rahmen nicht zulässt oder gar ausschließt (vgl. Abschnitte 1.2 und 2.2.2), kann der vorgenannte Nachteil der Selbststeuerung weitestgehend entkräftet werden (vgl. [Rek13], S. 18). So ist es innerhalb einer von hoher Umfelddynamik geprägten Produktionsumgebung wichtiger, adäquate Entscheidungen rechtzeitig herbeizuführen, als vermeintlich optimale zu spät (vgl. [Hom10], S. 6; [SAG⁺17], S. 11; [BBA⁺17]; [Tre09], S. 973). Die vorangegangenen Erläuterungen begründen die Notwendigkeit des bereits am Ende von Abschnitt 1.2 genannten Paradigmenwechsels: weg von einer deterministischen Steuerung in hierarchischen Architekturen, hin zu einer autonomen, dezentralen Ad-hoc-Steuerung in heterarchischen Architekturen.

Die vorangegangenen Absätze belegen eine hohe Relevanz der Selbststeuerung, insbesondere für den Einsatz in Produktionsumgebungen, welche von einer steigenden Umfelddynamik und -komplexität betroffen sind. Aus diesem Grund wird im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit die nachfolgende **Zielsetzung** verfolgt:

Entwicklung einer neuartigen Selbststeuerungsmethode, welche bei Integration in ein cyberphysisches Produktionssystem mittels ihrer inhärenten Charakteristiken in der Lage ist, die auftragsbezogene Herstellung kundenindividueller Produkte beherrscht steuern zu können.

Unter Berücksichtigung der genannten Zielsetzung gilt es, die zu entwickelnde Selbststeuerungsmethode so auszulegen, dass diese die Fähigkeit aufweist, ihr Verhalten eigenständig sowie reaktionsschnell an unvorhersehbare Umfeldveränderungen anzupassen und damit die von Kunden gewünschten Produktvarianten in der richtigen Menge und Qualität sowie zeitgerecht und kostenoptimal herzustellen. An dieser Stelle sei für den weiteren Verlauf der Forschungsarbeit darauf hingewiesen, dass die zu entwickelnde Selbststeuerungsmethode auf Basis ihrer primären Charakteristiken als *Autonomous and Decentralized Production Order Control (Method)* (Methode zur autonomen, dezentralen Produktionsauftragssteuerung) bezeichnet und im Interesse eines verbesserten Leseflusses mit dem Akronym *AuDePrOC* abgekürzt wird.

Auf dem Forschungspfad, welcher im Rahmen der Arbeit zur Erreichung der vorgenannten Zielsetzung verfolgt wird, gilt es, vier grundlegende Fragestellungen zu beantworten. Diese vier Forschungsfragen werden nachfolgend aufgeführt und erfahren zudem eine initiale Erläuterung.

Forschungsfragen

Forschungsfrage 1:

Wie gestaltet sich ein generisches Verfahren zur Entwicklung einer Selbststeuerungsmethode für den Einsatz im produktionstechnischen Umfeld?

Im Rahmen der Beantwortung von Forschungsfrage 1 gilt es, ein Verfahren zu gestalten, welches einen nachvollziehbaren, wiederholbaren sowie aus einzelnen Schritten bestehenden Entwicklungsablauf beschreibt. Die Beantwortung der vorliegenden Forschungsfrage erfolgt primär im sich anschließenden Abschnitt 1.4.

Forschungsfrage 2:

Welche Informationen sind für den Ablauf der zu entwickelnden Selbststeuerungsmethode erforderlich und wie sieht ihre strukturierte Beschreibung aus?

Im Rahmen der Beantwortung von Forschungsfrage 2 gilt es, eine methodenablaufspezifische Informationsreferenzstruktur zu schaffen. Die Beantwortung von Forschungsfrage 2 erfolgt primär in Abschnitt 4.1.

Forschungsfrage 3:

Wie gestaltet sich die formale Beschreibung des Ablaufs der zu entwickelnden Selbststeuerungsmethode?

Im Rahmen der Beantwortung von Forschungsfrage 3 gilt es, eine transparente, konsistente und damit nachvollziehbare Beschreibung des Ablaufs der zu entwickelnden Selbststeuerungsmethode vorzunehmen. Die Beantwortung von Forschungsfrage 3 erfolgt primär in Abschnitt 4.2.

Forschungsfrage 4:

Welche Leistungspotenziale weist die zu entwickelnde Selbststeuerungsmethode im Rahmen einer empirischen Untersuchung auf?

Im Rahmen der Beantwortung von Forschungsfrage 4 gilt es, eine reale Versuchsumgebung zu schaffen sowie aufbauend auf dieser eine experimentelle Untersuchung definierter Szenarien mit dem Ziel durchzuführen, die Leistungspotenziale der neuartigen Selbststeuerungsmethode zu ermitteln sowie im Anschluss zu evaluieren. Die Beantwortung der vorliegenden Forschungsfrage erfolgt primär in Kapitel 5.

1.4 Forschungsdesign und Struktur der Arbeit

Zur Beantwortung der im vorangegangenen Abschnitt erarbeiteten Forschungsfragen gilt es, einen sich über den weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit erstreckenden systematischen Prozess der Wissensgenerierung zu definieren. Da die aufgeführten Forschungsfragen eine ausgeprägte Praxisorientierung aufweisen und im Zuge deren Beantwortung der Einsatz einer theoretisch fundierten Methodik angestrebt wird, lässt sich der zu definierende Prozess der Wissensgenerierung in die Kategorie der wirtschaftsnahen, anwendungsorientierten Forschung einordnen (vgl. [SW14], S. 13). Auf Basis dieser Einordnung werden der vorliegenden Arbeit nachfolgende Charakteristiken zugesprochen, welche zudem in Abbildung 5 schematisch illustriert werden: hohe wissenschaftliche Fundierung (Rigor) bei gleichzeitig hoher thematischer Relevanz (Relevance), Kombination aus einem identifizierten wissenschaftstheoretischen Erkenntnisdefizit und einem bereits absehbaren Bedarf des produzierenden Gewerbes, hohe thematische Transdisziplinarität (Logistik, Maschinenbau, Informatik, Elektrotechnik, Betriebswirtschaftslehre u. v. m.) (vgl. [SW14], S. 35).

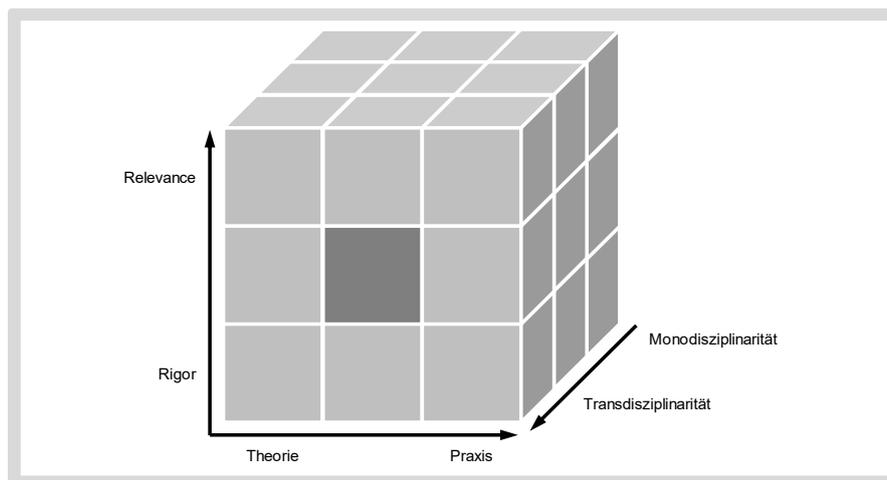


Abbildung 5: Charakteristiken der vorliegenden anwendungsorientierten Forschungsarbeit (Dimensionen der Abbildung in Anlehnung an [SW14], S. 14, Abbildung 2)

Auf Basis dieser ersten vorgenommenen Einordnung setzt sich der weitere Verlauf aus einer stufenweisen wissenschaftstheoretischen sowie forschungsmethodischen Positionierung der Arbeit zusammen. Die vorzunehmende Positionierung erlaubt sowohl eine sich anschließende Bestimmung der inhaltlichen Hauptbausteine der Forschungsarbeit als auch eine strukturierte Verknüpfung dieser Bausteine.

Positionierungsstufe 1

Im Rahmen der ersten Positionierungsstufe wird konstatiert, dass es sich aufgrund der erläuterten Charakteristiken um eine Forschungsarbeit der angewandten Realwissenschaften handelt. Dieser Schluss wird primär damit begründet, dass der vorliegende Forschungsgegenstand – Entwicklung einer neuartigen Selbststeuerungsmethode – ein in der Realität existierendes Objekt bildet bzw. eine direkte Symbiose mit real existierenden Objekten eingeht (vgl. [TW18]; [Hel16], S. 5). Ein weiteres Argument besteht darin, dass zur Bearbeitung der vier aufgestellten Forschungsfragen Erkenntnisse Anwendung finden, welche zum einen der wissenschaftlichen Literatur und zum anderen der ingenieur- sowie wirtschaftswissenschaftlichen Praxis entstammen (vgl. [Sch18c], S. 5). Als Gegenpol zur Realwissenschaft wird häufig die Formalwissenschaft gesehen, welche Disziplinen subsumiert, deren Forschungsgegenstand ein in der Realität nicht existierendes Objekt bildet (z. B. Mathematik, Logik oder Kybernetik) (vgl. [Hel16], S. 4–5; [Tho18b]). Dabei kann die Wahrheit formalwissenschaftlicher Aussagen lediglich in logischer Hinsicht überprüft werden (vgl. [Tho18b]).

Positionierungsstufe 2

Im Rahmen der zweiten Stufe wird Bezug auf die wissenschaftstheoretische Position der vorliegenden Forschungsarbeit genommen, wobei eine Wissenschaftstheorie die Quelle und damit zugleich den Ursprung einer Erkenntnis bestimmt (vgl. [Sch18c], S. 8; [Hel16], S. 1–2). Da die Beantwortung der zugrunde liegenden Forschungsfragen nicht nur eine, sondern multiple und zudem verschiedenartige Erkenntnisquellen erfordert, basiert die Forschungsarbeit in Anlehnung an die von Immanuel Kant entwickelte Transzendentalphilosophie (vgl. u. a. [Kan81]; [Mik]) auf einem wechselseitigen Zusammenspiel der grundlagenwissenschaftlichen Theorien des Empirismus (Sinneswahrnehmungen als Erkenntnisursprung, vgl. u. a. [Loc75]; [Bon85]; [Tho18a]; [Hel16]) und des Rationalismus (Vernunft als Erkenntnisursprung, vgl. u. a. [Loe81]; [Cot84]; [Tho18c]; [Hel16]). Während der Ausdruck „nihil est in intellectu quid non fuerit in sensu: nichts ist im Verstand, das nicht vorher durch die Sinne erfasst worden wäre“ den Grundgedanken des Empirismus beschreibt (vgl. [Spr08a]), bildet die Position Platons „nur die rein intelligible Schau der apriorischen Ideen eröffnet eine voraussetzungslose (d. h. von aller Erfahrung unabhängige) Einsicht in das Wesen der Dinge und der in Begriffen gefassten Zusammenhänge“ das Fundament des Rationalismus (vgl. [Spr08b]).

Das angestrebte wechselseitige Zusammenspiel der beiden vorgenannten Wissenschaftstheorien wird nachfolgend beispielhaft anhand von drei Kernbausteinen der Forschungsarbeit konkret verdeutlicht: Die systematisch abzuleitende Forschungslücke sowie der damit einhergehende Forschungsbedarf repräsentieren eine Erkenntnis a posteriori, da deren Gewinnung eine vorgelagerte Untersuchung des Standes der Technik und Wissenschaft bedingt (Erkenntnis nach vorheriger Sinneswahrnehmung: Empirismus) (I). Das zu ermittelnde Ergebnis der qualitativen Zwischenbewertung von AuDePrOC repräsentiert eine Erkenntnis a priori, da deren Gewinnung

rein auf gedanklichen Reflexionen sowie logischen Schlussfolgerungen (Vernunft) beruht und somit bereits vor jeglicher (realen) Sinneswahrnehmung erfolgen kann (Erkenntnis im Voraus: Rationalismus) (II). Die zu bestimmende Validität sowie die zu ermittelnden Leistungspotenziale von AuDePrOC repräsentieren eine Erkenntnis a posteriori, da deren Gewinnung eine vorgelagerte, auf einer realen Versuchsumgebung basierende experimentelle Untersuchung bedingt (Erkenntnis nach vorheriger Sinneswahrnehmung: Empirismus) (III). An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass der Begriff Sinneswahrnehmung in der wissenschaftlichen Literatur häufig durch alternative Ausdrücke wie z. B. Erfahrung oder Beobachtung substituiert wird (vgl. u. a. [Mik]; [Hil], S. 8; [Sch18c], S. 9; [Hof04], S. 287).

Positionierungsstufe 3

Die vorangegangene wissenschaftstheoretische Einordnung der Arbeit bildet die Grundlage für die im Rahmen der vorliegenden Positionierungsstufe stattfindende Betrachtung des forschungsmethodologischen Aspekts. Dabei bestimmt der Gebrauch eines forschungsmethodischen Ansatzes das systematische Vorgehen zur Gewinnung einer Erkenntnis (vgl. [SW14], S. 35). Aufgrund der vorgenommenen wissenschaftstheoretischen Einordnung (Zusammenspiel aus Empirismus und Rationalismus) wird die Verwendung eines einzelnen für die gesamte Arbeit geeigneten forschungsmethodischen Ansatzes ausgeschlossen. Stattdessen erfolgt die Gewinnung der zur Forschungsfragenbeantwortung notwendigen Erkenntnisse mit Hilfe eines kontextsensitiven Konglomerats aus Induktivismus, Deduktivismus und Hermeneutik. Nachfolgend werden die zentralen Charakteristiken der drei genannten forschungsmethodischen Ansätze kurz erläutert: Beim Induktivismus bildet das logische Schließen vom Einzelnen/Speziellen auf das Allgemeine die Grundlage für die Gewinnung neuer Erkenntnisse (von sinneswahrnehmbaren Einzelereignissen auf die Allgemeinheit schließen) (vgl. [GBK03], S. 19; [Sch18c], S. 8–10; [Hel16], S. 30). Demgegenüber bildet beim Deduktivismus das logische Schließen vom Allgemeinen auf das Einzelne/Spezielle die Grundlage für die Gewinnung neuer Erkenntnisse (Ableitung des Individuellen aus dem Generellen) (vgl. [Sch18c], S. 8–10; [GBK03], S. 19; [Hel16], S. 31). Die Hermeneutik beschreibt die Interpretation sowie das damit einhergehende Verstehen von Sachverhalten durch Menschen (vgl. [Höf16], S. 16; [Sch18c], S. 10; [Hil], S. 10). Dieser Verständnisprozesses läuft i. d. R. zyklisch ab und wird als hermeneutischer Zirkel bezeichnet (vgl. [Höf16], S. 17; [Hel16], S. 36). Ein zugehöriger Zyklus ist dabei so aufgebaut, dass ein Mensch seine Vorerfahrungen sowie sein Alltagswissen nutzt, um mittels der Interpretation weiterer Sachverhalte neue Erkenntnisse zu gewinnen, welche seinen Wissensstand erweitern und ihm gleichzeitig ein tieferes thematisches Verständnis gewähren (vgl. [Sch18c], S. 10; [Höf16], S. 17).

Die drei im Rahmen der vorangegangenen Positionierungsstufe beispielhaft verwendeten Kernbausteine der Forschungsarbeit werden nachfolgend erneut aufgegriffen, um den kontextsensitiven Gebrauch der eingeführten forschungsmethodischen Ansätze konkret zu verdeutlichen: Mit Bezug auf Kernbaustein I weist die

Arbeit einen hermeneutischen Charakter auf, da domänenspezifisches Vorwissen als Grundlage verwendet wird, um darauf aufbauend eine zyklische Interpretation der Literatur zum Stand der Technik und Wissenschaft durchzuführen (Verstehen fremder und Ausbau der eigenen Wirklichkeitskonstruktionen (vgl. [Höf16], S. 24)). Die damit einhergehende Wissensstanderweiterung mündet in der Identifikation der Forschungslücke sowie des damit einhergehenden Forschungsbedarfs. Die im Rahmen von Kernbaustein II stattfindende Erkenntnisgewinnung basiert auf dem Ansatz des Deduktivismus. Die vorgenommene Einordnung wird damit begründet, dass die generellen/allgemeinen Charakteristiken von AuDePrOC als Grundlage herangezogen werden, um die Eignungsgrade dieser neuartigen Selbststeuerungsmethode zur Erfüllung einzelner/spezieller Anforderungen logisch abzuleiten (qualitatives Zwischenbewertungsergebnis). Mit Bezug auf Kernbaustein III erfolgt eine Ausrichtung am Induktivismus, da hier innerhalb der realen Versuchsproduktionsumgebung einzelne/spezielle Szenarien experimentell sowie quantitativ untersucht werden und von den dabei generierten sinneswahrgenommenen Einzelergebnissen logisch auf die generelle/allgemeine Validität sowie Leistungsfähigkeit von AuDePrOC geschlossen wird. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass bei Anwendung der Induktion lediglich ein Ausschnitt der Realität mittels Sinneswahrnehmung erfasst werden kann und damit nicht alles, was die Realität in Gänze ausmacht: logischer Schluss auf das Allgemeine birgt die Möglichkeit des Irrtums (vgl. [Hil], S. 10; [Sch18c], S. 11). Übertragen auf Kernbaustein III bedeutet dieser Hinweis, dass eine (externe) Untersuchung weiterer, über den Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit hinausgehender Szenarien abweichende Erkenntnisse hervorbringen und in der Folge eine Anpassung von AuDePrOC bedingen kann.

Positionierungsstufe 4

Im Zuge der vierten Positionierungsstufe wird Bezug auf das der Forschungsarbeit zugrunde liegende Rahmenwerk genommen, welches eine übergeordnete sowie systematische Verknüpfung der in Stufe 3 erläuterten forschungsmethodischen Ansätze sicherstellt. Zur Beantwortung der vier aufgestellten Forschungsfragen kommt ein pluralistisches Rahmenwerk zur Anwendung, welches eine Symbiose aus Design Science Research (vgl. u. a. [HMP⁺04]; [HC10]; [PTR⁺07]) und Method Engineering (vgl. u. a. [MCF⁺95]; [BLW96]; [SS18]) darstellt.

Die Design Science Research bildet einen konstruktionsorientierten Ansatz, dessen Fokus auf der ingenieurwissenschaftlichen Erstellung und Evaluation von IT-Artefakten liegt ([Sch18c], S. 6–7; [HC10], S. 126; [GH13], S. 337–338). Unter der Berücksichtigung, dass AuDePrOC ein solches Artefakt darstellt, wird die Anwendung der Design Science Research primär damit begründet, dass das vorliegende Forschungsvorhaben einen ausgeprägten Gestaltungsfokus sowie gleichzeitig den Anspruch einer hohen wissenschaftlichen Fundierung aufweist (vgl. [Tre15], S. 13). Weitere Argumente sind die hohe, auf Iterationsschritten basierende Flexibilität sowie die strukturierte Vorgehensweise des Ansatzes (vgl. [Tre15], S. 13).

Zur Detaillierung des Design-Zyklus findet eine zusätzliche Integration des Method Engineering statt, welches sich in die beiden Ausprägungen Method Tailoring und Situational Method Engineering untergliedert (vgl. [Tre15], S. 19). Da unter Method Engineering die Erforschung neuer Methoden mittels Engineeringpraktiken verstanden wird, begründet sich dessen Nutzung direkt aus dem der Forschungsarbeit zugrunde liegenden Ziel (Entwicklung einer neuartigen Selbststeuerungsmethode) ([Tre15], S. 19). Im Rahmen der Arbeit wird angestrebt, das hermeneutisch gewonnene Wissen über bereits bestehende Selbststeuerungsmethoden als Fundament zu nutzen, um darauf aufbauend die Entwicklung von AuDePrOC zu vollziehen. Damit liegt der Arbeit die Ausprägung des Method Tailoring zugrunde.

Abbildung 6 illustriert die beschriebene Verknüpfung aus Design Science Research und Method Engineering (Method Tailoring), welche als pluralistisches Rahmenwerk für die Bearbeitung des vorliegenden Forschungsvorhabens fungiert.

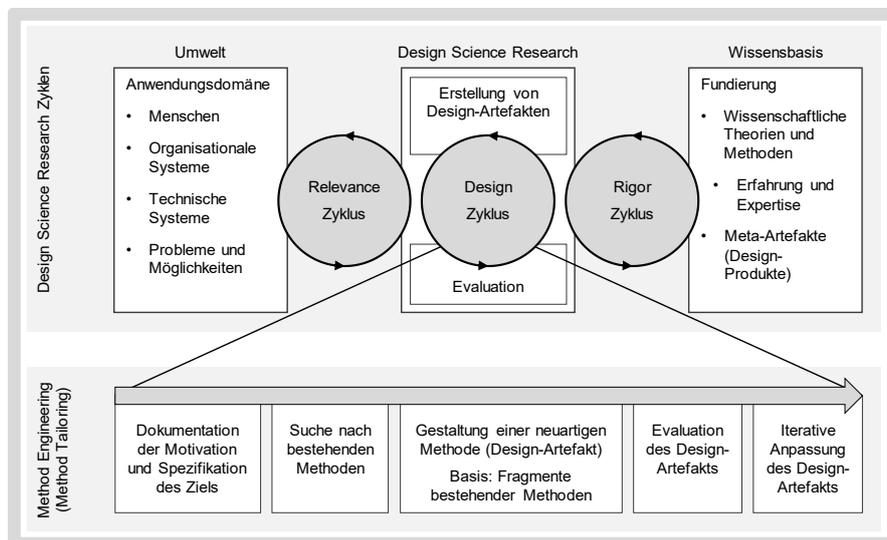


Abbildung 6: Pluralistisches Rahmenwerk aus Design Science Research und Method Engineering (in Anlehnung an [Tre15], S. 28, Abbildung 7; [HC10], S. 16, Abbildung 2.2; [MCF+95], S. 7, Abbildung 3)

Die in den vorangegangenen vier Stufen beschriebene wissenschaftstheoretische sowie forschungsmethodische Positionierung der Arbeit wird als Forschungsdesign bezeichnet. Eine schematisch illustrierte Zusammenfassung der vorgenommenen stufenweisen Positionierung kann Abbildung 7 entnommen werden.

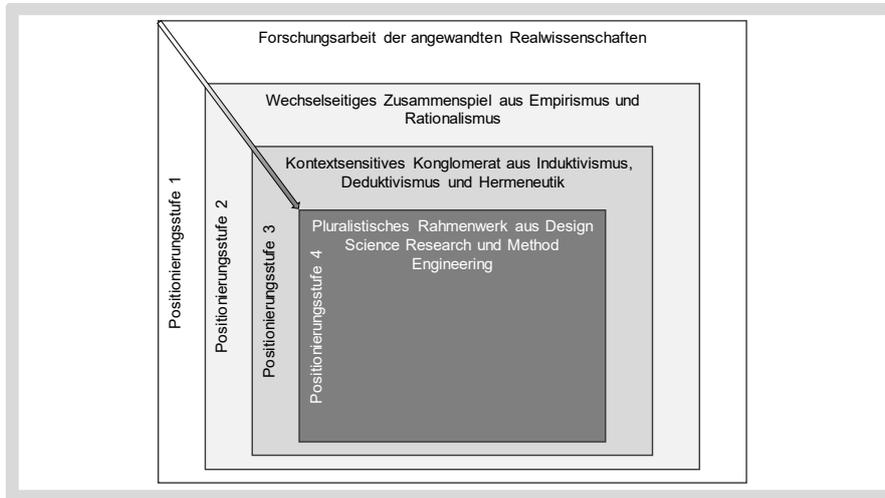


Abbildung 7: Schematische Zusammenfassung des Forschungsdesigns (eigene Darstellung)

Im nächsten Schritt wird das erarbeitete Forschungsdesign als wissenschaftliche Grundlage zur Beantwortung von Forschungsfrage 1 herangezogen. Aufbauend auf dieser Grundlage wird ein generisches Verfahren zur Entwicklung einer Selbststeuerungsmethode für den Einsatz im produktionstechnischen Umfeld geschaffen, welches in Abbildung 8 gezeigt wird. Da das gestaltete Verfahren im weiteren Verlauf der Arbeit zur Beantwortung der Forschungsfragen 2 bis 4 angewendet wird, erfolgt eine umfassende Erläuterung der inkludierten Verfahrensbausteine im Zuge deren individueller Inanspruchnahme. Übergeordnet sei an dieser Stelle jedoch darauf hingewiesen, dass sich die Durchläufe der in Abbildung 8 erkennbaren Rückkopplungsschleifen in einer schriftlichen Ausarbeitung nur schwer explizit und umfassend darstellen lassen (vgl. [Tre15], S. 25). Dennoch wurde im Rahmen der Verfahrensanwendung deutlich, dass die Rückkopplungen zu vorgelagerten Stufen ein unverzichtbares Element darstellen, da über diese bspw. neue Erkenntnisse in den Entwicklungsprozess von AuDePrOC eingebracht werden konnten.

| Stufe | Hauptaufgabe | Aufgabenergebnis | Methodische Unterstützung |
|-------|---|--|---|
| | Teilaufgabe | | |
| 1 | Untersuchung des Standes der Technik und Wissenschaft | | <ul style="list-style-type: none"> Literaturrecherche Experteninterview Fokusgr.-diskussion ... |
| 1.1 | Vorstellung, Analyse und Bewertung bestehender Selbststeuerungsmethoden | Forschungslücke/-bedarf | |
| 1.2 | Selektion der bestehenden Selbststeuerungsmethode, welche den höchsten durchschnittlichen Eignungsgrad aufweist | Basismethode für Gestaltungsprozess | |
| 2 | Gestaltung einer neuartigen Selbststeuerungsmethode | | <ul style="list-style-type: none"> Siehe Stufe 1 + Design Thinking Analogiestudie Prototyping ... |
| 2.1 | Bestimmung einer generischen Produktionsumgebung, welche als Grundlage zur Festlegung der beteiligten Entitäten sowie zur Definition der Entitätsschnittstellen fungiert | Methodenstruktur (statischer Anteil) | |
| 2.2 | Gestaltung des räumlich-zeitlichen Ablaufs: Interaktionsmechanismen zwischen Entitäten, entitätsinterne Vorgänge, Entscheidungspunkte etc. | Methodenverhalten (dynamischer Anteil) | |
| 3 | Empirische Untersuchung der neuartigen Methode | | <ul style="list-style-type: none"> Analytischer Ansatz Experimenteller Ansatz Feldstudie Fallstudie Beobachtung Datenanalyse ... |
| 3.1 | Bestimmung einer spezifischen Produktionsumgebung (Use Case) und Definition von Untersuchungsszenarien | Use Case und Szenarien | |
| 3.2 | Schaffung der notwendigen technologischen Infrastruktur und Implementierung der neuartigen Selbststeuerungsmethode | Reale Versuchsumgebung | |
| 3.3 | Experimentelle Untersuchung der definierten Szenarien; Intentionen: <ul style="list-style-type: none"> Validierung der neuartigen Selbststeuerungsmethode Ermittlung und Evaluation der Leistungspotentiale | Validität und Leistungspotentiale | |

Abbildung 8: Generisches Verfahren zur Entwicklung einer Selbststeuerungsmethode für den Einsatz im produktionstechnischen Umfeld (eigene Darstellung)

Da das gestaltete Verfahren im weiteren Verlauf zur Beantwortung der Forschungsfragen 2 bis 4 angewendet wird, bestimmt dieses gleichzeitig die inhaltlichen Hauptbausteine der vorliegenden Arbeit sowie die strukturierte Verknüpfung dieser Bausteine. Die Verbindung aus Hauptbausteinen und deren Anordnung manifestiert sich im strukturellen Aufbau der Forschungsarbeit, welcher in Abbildung 9 dargestellt wird und den Abschluss des vorliegenden Abschnitts markiert.

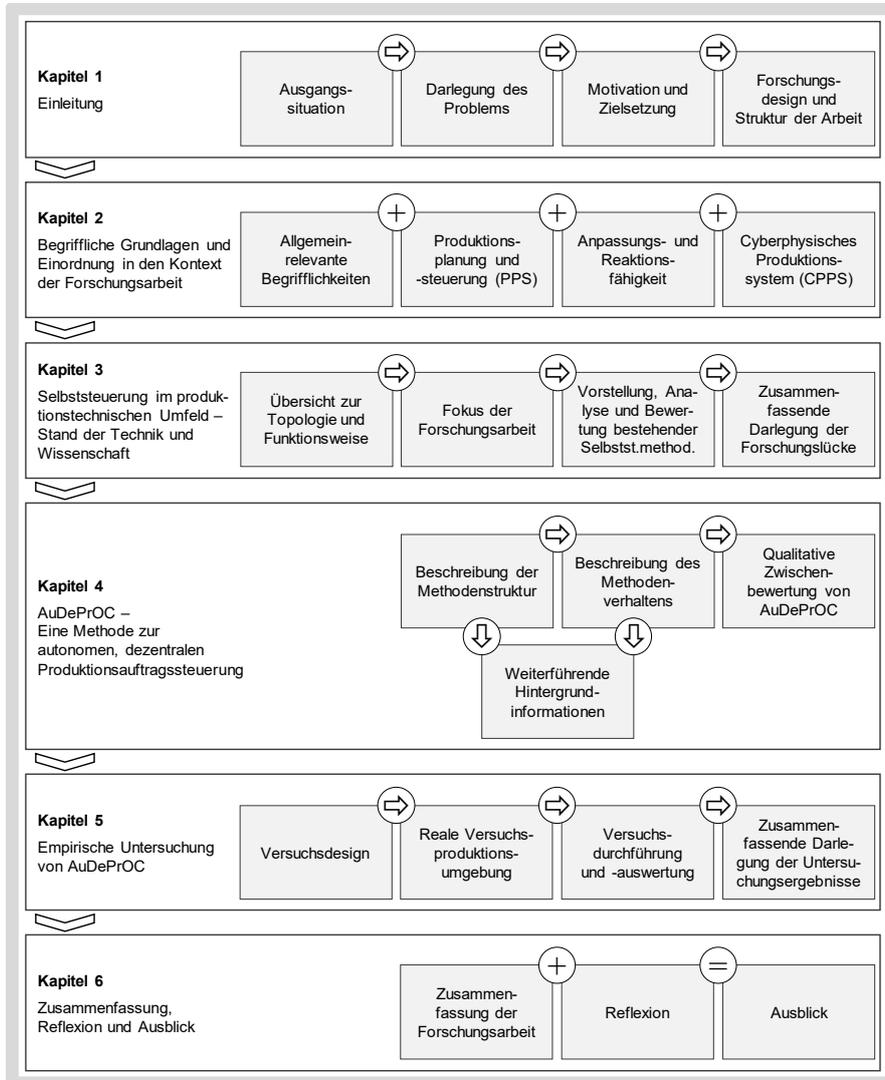


Abbildung 9: Struktur der Forschungsarbeit (eigene Darstellung)