

1 Einleitung

Der Serienanlauf in der produzierenden Industrie ist eine entscheidende Phase im Produktentstehungsprozess, der über den wirtschaftlichen Erfolg eines Produkts und somit eines Unternehmens entscheidet [ELST17, S. 1]. Studien zufolge verfehlten etwa zwei Drittel der befragten Unternehmen ihre wirtschaftlichen und technologischen Ziele im Serienanlauf. Dies führt nicht nur zu erheblichen finanziellen Verlusten, sondern auch zu Imageproblemen. [SLAM11] Trotz jahrzehntelanger Forschung und Bemühungen, die Abläufe im Serienanlauf zu optimieren, bleibt die Verfehlung von Zeit-, Kosten- und Qualitätszielen nach wie vor ein weit verbreitetes Problem [STAU17], [BASS18], [PÖSC21] und [LUTZ22]. Ursachen hierfür liegen darin begründet, dass im Serienanlauf die einzelnen Fertigungsschritte erstmals physisch zu einer Fertigungsfolge verknüpft werden. Eine zu dem Zeitpunkt unzureichende Prozessbeherrschung führt zu hohen Ausschussraten und Qualitätsproblemen. Die unzureichende Prozessbeherrschung lässt sich auf unvorhergesehene Produktionsausfälle aufgrund einer mangelnden Qualifikation von Mitarbeitenden, fehlendes Prozesswissen und unzureichende Fertigungs- und Handhabungsmittelfähigkeiten zurückführen. Dies führt zum einen zu einer zeitlichen Verschiebung im Serienanlauf, zum anderen zu einer Verfehlung von Qualitäts- und Kostenzielen. Diese Problematik wird durch eine mangelnde Koordination der hohen Anzahl von internen und externen Schnittstellen im Serienanlauf sowie durch die zunehmende Komplexität und steigende Anforderungen an die Fertigung verstärkt. [LANZ05] Zusätzlich zu den Fertigungsproblemen sind unvorhergesehene Änderungsmaßnahmen am Produkt und in der Fertigungsplanung im Serienanlauf ein häufig auftretendes Problem. Diese Änderungsmaßnahmen resultieren aus nicht erkannten Problemen in den vorangegangenen Phasen aufgrund der methodischen Trennung von Entwicklung und Serienanlauf, einer mangelnden Kommunikation zwischen verschiedenen Unternehmensbereichen und einer unzureichenden Produkt- und Prozessreife zum Start of Production. Diese Änderungsmaßnahmen sind zeit- und kostenintensiv und führen dazu, dass die Anlaufziele nicht erreicht werden. [BASS18] Zur Steigerung der Reaktionsfähigkeit produzierender Unternehmen auf Änderungen in der Produktentwicklung etablieren sich agile Methoden aus der Softwareentwicklung im Entwicklungsprozess physischer Produkte [REY20]. Vor diesem Hintergrund fokussiert die vorliegende Forschungsarbeit die Übertragung agiler Konzepte auf den Serienanlauf. Dabei wird der agile Serienanlauf als potenzieller Lösungsansatz zur gezielten Adressierung der bestehenden Herausforderungen im Serienanlauf hergeleitet. Dieser Ansatz grenzt sich von der traditionellen methodischen Trennung von Entwicklung und Serienanlauf ab und ermöglicht erstmals eine enge Verzahnung von agiler Produktentwicklung und Serienanlauf in der operativen Technologieplanung. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein neuer Ansatz entwickelt, der es durch die systematische Identifikation und Reduktion von Defiziten ermöglicht, Änderungsmaßnahmen frühzeitig entgegenzuwirken, das Anlaufverhalten der Fertigung und die Produktentwicklung zielgerichtet zu synchronisieren und so den Serienanlauf zu stabilisieren.

Introduction

Ramp-up production in the manufacturing industry represents a critical phase in the product development process, significantly impacting the economic success of both a product and a company [ELST17, S. 1]. Studies indicate that approximately two-thirds of surveyed companies fall short of their economic and technological targets during ramp-up production. The consequences are not only considerable financial losses, but also image problems. [SLAM11]. Despite decades of research and efforts to optimize ramp-up production processes, the failure to meet time, cost, and quality targets remains a prevalent issue [STAU17], [BASS18], [PÖSC21] and [LUTZ22]. The reasons for these problems are that individual manufacturing processes are physically linked to a manufacturing sequence for the first time during the ramp-up production. Insufficient process control at this stage leads to high reject rates and quality problems. The inadequate process control can be attributed to unforeseen production downtimes due to a lack of employee qualifications, a lack of process knowledge and insufficient manufacturing and handling equipment capabilities. This leads on the one hand in a delay in the ramp-up production and on the other hand in a failure to achieve quality and cost targets. This problem is increased by a lack of coordination of the high number of internal and external interfaces in the ramp-up phase as well as by the increasing complexity and rising demands on manufacturing. [LANZ05] In addition to manufacturing challenges, change measures to the product and the manufacturing planning during ramp-up production are a frequently encountered issue. These changes result from unrecognized problems in the previous phases due to the methodical separation of development and ramp-up production, inadequate communication between different company departments and insufficient product and process maturity at the start of production. Change measures are time-consuming and costly, further contributing to the failure to achieve ramp-up production targets. [BASS18] To enhance the responsiveness of manufacturing companies to changes in product development, agile methods from software development are becoming established in the development process of physical products [REY20]. In this context, the present thesis focuses on the transfer of agile concepts to ramp-up production. The agile ramp-up production is derived as a potential solution to address existing challenges in ramp-up production more effectively. This approach deviates from the traditional methodical separation of development and ramp-up production and enables for the first time agile product development and ramp-up production to interact more closely in operational technology planning. Within the scope of this thesis, a new approach is developed which enables the systematic identification and reduction of deficits to prevent changes at an early stage, to synchronize the ramp-up behavior of manufacturing and product development in a targeted manner and therefore to stabilize the ramp-up production.

2 Wissenschaftliche Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Scientific Procedure and Structure of the Thesis

Die wissenschaftliche Vorgehensweise der vorliegenden Arbeit orientiert sich an dem von P. ULRICH [ULRI76a, S. 345 ff.] und H. ULRICH [ULRI01, S. 167 ff.] entwickelten Forschungsprozess. Hierzu erfolgt in Abschnitt 2.1 zunächst die Vorstellung des wissenschaftstheoretischen Bezugsrahmens sowie die Einordnung der vorliegenden Arbeit in die Wissenschaftssystematik. Anschließend wird in Abschnitt 2.2 der formale und inhaltliche Aufbau der Arbeit beschrieben.

2.1 Wissenschaftstheoretischer Bezugsrahmen

Scientific Reference Framework

Wissenschaft wird nach P. ULRICH definiert als das menschliche Denken, welches in spezialisierten Institutionen unter Einhaltung definierter Regeln erfolgt. Die Ergebnisse dieses institutionellen Denkens (der wissenschaftlichen Tätigkeit) werden als wissenschaftliche Erkenntnisse bezeichnet. Zur konkreteren Beschreibung der Wissenschaft lässt sich eine **Wissenschaftssystematik** in Abhängigkeit vom heuristischen Entwicklungsstands und dem subjektiven Bild der Wissenschaft erstellen, welche in Abbildung 2.1 dargestellt ist. Grundlegend erfolgt die Unterscheidung zwischen Formal- und Realwissenschaften. [ULRI76b, 305 f.]

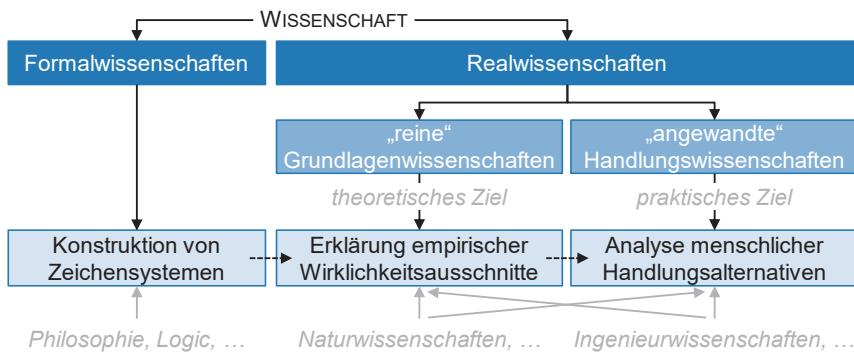


Abbildung 2.1 Wissenschaftssystematik i. A. a. P. ULRICH [ULRI76b, S. 305 f.]

Science Systematics Referring to P. ULRICH [ULRI76b, p. 305 f.]

Formalwissenschaften fokussieren die Konstruktion von Sprachen durch die Entwicklung von Zeichensystemen sowie deren Anwendung basierend auf definierten Regeln. Forschungsgegenstand sind Objekte von nichtmaterieller Beschaffenheit. Zu den Formalwissenschaften zählen bspw. Philosophie, Logik oder Mathematik. Eine Validierung der Aussagen ist durch die hohe Abstraktionsebene lediglich durch logische Überprüfung (logische Wahrheit) möglich. In Abgrenzung zu Formalwissenschaften

fokussieren die **Realwissenschaften** die Beschreibung, Erklärung und Gestaltung empirisch wahrnehmbarer Wirklichkeitsausschnitte. Ziel der Realwissenschaften ist es, die Wirklichkeitsausschnitte zu explizieren, zu generalisieren sowie Handlungsalternativen zu ihrer Gestaltung zu entwerfen. Neben der logischen Wahrheit gilt es, die Ergebnisse der Realwissenschaften hinsichtlich ihrer faktischen Wahrheit zu prüfen. In Abhängigkeit von der Zielsetzung werden Realwissenschaften in Grundlagenwissenschaften (theoretische Zielsetzung) und Handlungswissenschaften (praktische Zielstellung) unterteilt. **Grundlagenwissenschaften** werden von P. ULRICH als „reine“ Wissenschaften bezeichnet und fokussieren die Beschreibung und Erklärung empirisch wahrnehmbarer Wirklichkeitsausschnitte. Den Grundlagenwissenschaften werden bspw. die Naturwissenschaften zugeordnet. **Handlungswissenschaften** werden als „angewandte“ Wissenschaft bezeichnet und fokussieren die Analyse menschlicher Handlungsalternativen mit dem Ziel, soziale und technische Systeme (Entscheidungsmodelle) zu gestalten. Neben den Ingenieurwissenschaften zählen bspw. Sozialwissenschaften zu den Handlungswissenschaften. [ULRI76b, S. 305 f.]

In der vorliegenden Arbeit wird die methodische Unterstützung produzierender Unternehmen bei der Gestaltung von agilen Serienanläufen thematisiert (vgl. Kapitel 1). Somit ist die **vorliegende Arbeit gemäß der Wissenschaftssystematik den „angewandten“ Handlungswissenschaften (Ingenieurwissenschaften) zuzuordnen**.

2.2 Formaler und inhaltlicher Aufbau der Forschungsarbeit

Formal and Content Structure of the Research Approach

Wie in Abschnitt 2.1 hergeleitet, wird die vorliegende Arbeit den angewandten Handlungswissenschaften (Realwissenschaften) zugeordnet. Somit gilt es, neben der logischen Wahrheit (Widerspruchslösigkeit) die faktische Wahrheit (empirische Erkenntnisse) der Modelle und Hypothesen zu prüfen. KARL POPPER kritisierte die bisherige Idee der Verifikation und somit endgültigen Bestätigung wissenschaftlicher Hypothesen. Dabei wird die Wissenschaft als einen Prozess ständiger Kritik und Prüfung von Theorien durch empirische Tests gesehen. Als Reaktion auf den klassischen Empirismus entwickelte POPPER den Kritischen Rationalismus als wissenschaftstheoretische und erkenntnistheoretische Position und betont die Rolle der Kritik in der Wissenschaft. [POPP94] Dem Verständnis des Kritischen Rationalismus folgend, ist eine vollständige Induktion induktiver Forschungsansätze (vom Einzelfall generell gültige Aussagen ableitend – Bottom-Up) als direkte Verifikation allgemeiner Aussagen durch wiederholte Bestätigung von Einzelbeobachtungen nicht möglich. Der Kritische Rationalismus unterliegt der Annahme, dass das n -fache Eintreffen einer Behauptung (n -fache Bestätigung einer Einzelbeobachtung) nicht automatisch auf die generelle Gültigkeit der Behauptung bei der $n+1$ -ten Überprüfung schließen lässt. [ALBE00] Somit ist es nicht möglich, Hypothesen als endgültig wahr zu beweisen. Vielmehr sind Hypothesen vorläufig so lange als wahr beizubehalten, wie sie nicht durch Einzelbeobachtungen intersubjektiv wiederholbar widerlegt bzw. falsifiziert werden. Die Falsifikation einer Hypothese durch eine empirische Aussage mittels Einzelbeobachtung wird als

zentrales und zulässiges Verfahren im Erkenntnisprozess der Realwissenschaften betrachtet. [ULRI76a, S. 345 f.] Liegt dem Forschungsvorhaben ein deduktiver Forschungsansatz zu Grunde (von einer allgemeinen Aussage auf den Einzelfall schließen – Top-Down), ist es zielführend nur solche Hypothesen und Modelle zu kombinieren, welche weder falsifiziert werden noch deren Falsifikation als wahrscheinlich angesehen wird. Empirische Überprüfungen, mit einer als hinreichend anerkannten statistischen Wahrscheinlichkeit die Wirklichkeit richtig zu beschreiben, gelten als zulässiges Verfahren, mögliche falsifizierte Hypothesen bzw. Modelle zu nutzen, obwohl sie im Einzelfall wegen unbekannter Störgrößen nicht zutreffen. Beim Auftreten von Störgrößen ist die Präzisierung der Hypothese zu prüfen. Zu beachten gilt, dass Relativierungen einer Hypothese durch weitere Bedingungen zwar deren Präzision erhöhen, gleichzeitig aber die Allgemeingültigkeit und somit den Informationsgehalt reduzieren. [ULRI76b, 346] Annahmen und Eingrenzungen (Präzisierungen) der vorliegenden Forschungsarbeit werden in Abschnitt 6.2 beschrieben. Basierend auf dem Verständnis des Kritischen Rationalismus [ALBE00] sowie dem von H. ULRICH [ULRI01, S. 167 ff.] und P. ULRICH [ULRI76a, S. 345 ff.] entwickelten Forschungsprozesses erfolgt im Folgenden die Ableitung der wissenschaftlichen Vorgehensweise und somit des formalen und inhaltlichen Aufbaus der Arbeit (siehe Abbildung 2.2). Als **Forschungsprozess** werden in der vorliegenden Arbeit die Gesamtheit der Forschungsaktivitäten zur Entwicklung, empirischen Überprüfung und Weiterentwicklung bestehender Forschungsansätze definiert.

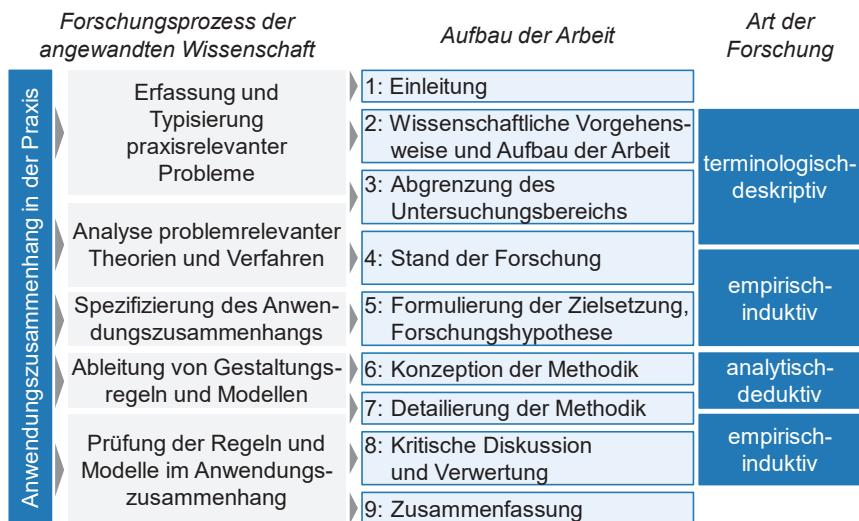


Abbildung 2.2 Wissenschaftliches Vorgehen und Aufbau der Arbeit i. A. a. P. ULRICH [ULRI76a, S. 345 ff.] und H. ULRICH [ULRI01, S. 167 ff.]

Scientific Procedure and Structure of the Approach Referring to P. ULRICH [ULRI76a, p. 345 ff.] and H. ULRICH [ULRI01, p. 167 ff.]

Die Forschungsaktivitäten werden hinsichtlich der Art der Forschung (Aufgabenstellung) in terminologisch-deskriptive, empirisch-induktive und analytisch-deduktive Forschungsaufgaben unterschieden [ULRI76a, S. 347 f.]. Basierend auf der Einführung in die Thematik (Kapitel 1) erfolgt zunächst der terminologisch-deskriptive Aufbau der Arbeit. **Terminologisch-deskriptive** Forschungsaktivitäten dienen der Definition und Operationalisierung eines einheitlichen Begriffsverständnisses und deren Anwendung sowie der Beschreibung des Forschungsobjekts [ULRI76a, S. 347 f.]. Hierzu erfolgte in Kapitel 2 (siehe oben) die Beschreibung der wissenschaftlichen Vorgehensweise sowie des inhaltlichen und formalen Aufbaus der Arbeit. Anschließend werden in Kapitel 3 unter Abgrenzung des Untersuchungsbereichs praxisrelevante Probleme erfasst und der Forschungsrahmen beschrieben. **Empirisch-induktive** Forschungsaktivitäten umfassen in der vorliegenden Arbeit die Analyse beobachtbarer Zusammenhänge (problemrelevanter Theorien und Forschungsansätze) in Kapitel 4, die Ableitung von Forschungsdefiziten sowie die Spezifizierung des Anwendungszusammenhangs durch Formulierung von Zielsetzung und Forschungshypothese in Kapitel 1. **Analytisch-deduktive** Forschungsaktivitäten fokussieren die Ableitung von Prognosen, die deduktive Konstruktion von Modellen sowie Transformation der Ergebnisse in konkrete Handlungsanweisungen [ULRI76a, S. 347 f.]. Hierzu erfolgt die Konzeptionierung der Methodik in Kapitel 6. Die konzeptionierte Methodik wird in Kapitel 7 deduktiv entwickelt und detailliert beschrieben. Da die Forschungsaktivitäten in den einzelnen Kapiteln nicht trennscharf einzelnen Aufgabenstellungen zugeordnet werden können und teils weitere Forschungsaktivitäten implizieren, werden die Übergänge als partiell fließend betrachtet. Um während der Entwicklung der Methodik sicherstellen zu können, dass die entwickelten Modelle und Methoden widerspruchsfrei und als vorläufig richtig oder wahr angenommen werden können (nicht falsifiziert, siehe Abschnitt 2.1), erfolgt die Durchführung von Realisierungsuntersuchungen (**empirisch-induktive** Forschungsaktivitäten) [ULRI76a, S. 347 f.]. Zur Prüfung der formulierten Forschungshypothese erfolgt in Kapitel 8 die kritische Diskussion der erzielten Forschungsergebnisse hinsichtlich der Zielerreichung sowie der wissenschaftlich und wirtschaftlichen Verwertungsmöglichkeiten [ULRI76a, S. 347 f.]. Abschließend erfolgt in Kapitel 9 die Zusammenfassung der vorliegenden Arbeit.