

# Kapitel 1

## Einleitung

Der Datenaustausch zwischen Unternehmen ist ein entscheidender Aspekt von Industrie 4.0, der die Effizienz der Lieferkette steigert [CFA17, S. 13]. Das Verständnis der Lieferkette als Wertschöpfungsnetzwerk ist jedoch, insbesondere in Zeiten von Krisen und Unterbrechungen, eine komplexe und vielschichtige Aufgabe [DA23, S. 1180]. Die fehlende Transparenz und die hohe Komplexität erschweren es, spezifische Ansätze zur Verbesserung der Multi-Stakeholder-Interaktion zu identifizieren, insbesondere im Hinblick auf den gemeinsamen Umgang mit Daten.

Um diese Herausforderung zu bewältigen, ist es zielführend, sich auf die Fertigung und Produktionsversorgung als Teil der Lieferkette zu konzentrieren, da es klar definierte Eingaben und Ausgaben, Arbeitsschritte sowie verfügbare Daten gibt, die mit Stakeholdern wie Lieferanten oder Kunden geteilt werden können. Dieser Bereich beeinflusst die gesamte Wertschöpfungskette, vom Einkauf bis hin zum Vertrieb [Bán21, S. 21]. Laut einer Studie des Weltwirtschaftsforums, die in Abbildung 1.1 dargestellt ist, wird der Wert der gemeinsamen Datennutzung zur Verbesserung der Fertigung auf über 100 Milliarden US-Dollar geschätzt. Zudem halten 996 befragte Führungskräfte aus der Produktionsbranche die gemeinsame Datennutzung mit anderen Herstellern für entscheidend für den Erfolg [FG20, S. 6].

Der Austausch von Daten innerhalb eines Wertschöpfungsnetzes ermöglicht neue Geschäftsmodelle, wie die geteilte Produktion (engl. Shared Manufacturing), bei der ungenutzte Produktionsressourcen, wie etwa Maschinen, innerhalb eines Netzwerks gemeinsam genutzt werden [Yu+20, S. 1]. Dieser Ansatz erschließt bislang ungenutzte wirtschaftliche Potenziale und bietet Unternehmen die Möglichkeit, von größerer Flexibilität und geringeren Fixkosten zu profitieren. Zudem erlaubt er es Unternehmen, Größenvorteile zu realisieren und gleichzeitig die ökologischen sowie sozialen Auswirkungen der Produktion durch eine optimale Nutzung der Maschinenressourcen zu verringern [II21, S. 3]. Allerdings stellt die Koordination verschiedener

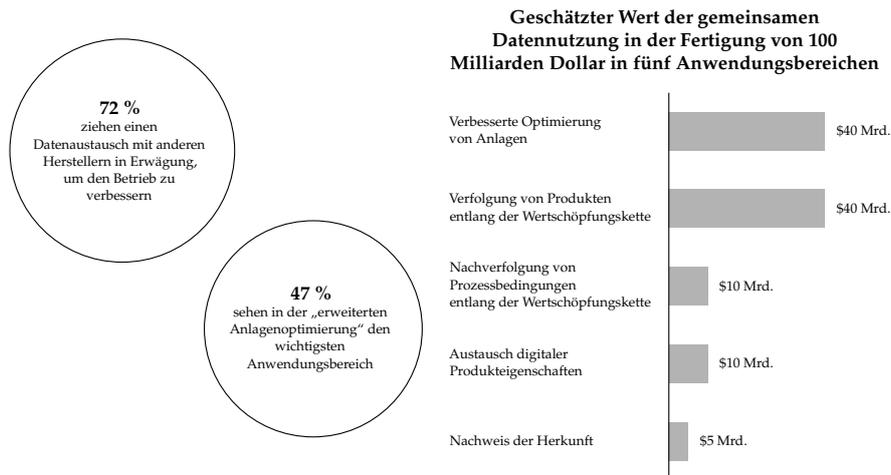


Abb. 1.1 Studie zu geteilten Daten, dargestellt i. A. a. [FG20, S. 6]

Teilnehmer eine Herausforderung dar, die durch Informationsasymmetrien und gegensätzliche, intrinsische Interessen oder inkonsistentes Verhalten der Akteure bedingt ist [Hal+07, S. 287]. Informationsasymmetrien treten beispielsweise bei Produktionsdaten über den Status eines unfertigen Produkts und die damit verbundenen Kosten auf, wenn ungenaue Informationen vorliegen.

Diese Herausforderungen können durch digitale Zwillinge und die Blockchain-Technologie adressiert werden. Ein digitaler Zwilling beschreibt die virtuelle Darstellung eines physischen Systems in der digitalen Welt, wobei eine bidirektionale Datenübertragung zwischen beiden Welten erfolgt [GV17, S. 94]. Die Blockchain ist eine verteilte und nahezu unveränderbare Datenbank, die von einem dezentralen Netzwerk verwaltet wird ([Nak08, S. 1]; [Bas20, S. 12]). Die Integration beider Technologien ermöglicht transparente Einblicke und reduziert Koordinationsprobleme sowie Informationslücken [Kri+18, S. 1016]. Daten werden über die Blockchain bereitgestellt, wodurch unveränderliche und transparente Transaktionen ohne Zwischenhändler durch verteiltes Vertrauen möglich werden [Tre19, S. 3]. Mikroservices auf der Blockchain, sogenannte Smart Contracts, ermöglichen automatisierte, unumkehrbare und vertrauenswürdige Transaktionen, beispielsweise im Bereich der Finanztransaktionen [ID22, S. 87].

In dem oben genannten Beispiel kann ein Smart Contract die vergangenen und aktuellen Arbeitsschritte eines Produkts dokumentieren und dazu verwendet werden, Zahlungen für erbrachte Leistungen zwischen Maschinen oder Unternehmen nach vordefinierten Regeln sofort zu veranlassen. Durch die Kombination von Blockchain und digitalen Zwillingen kann der Finanzfluss in den Informations- und Materialfluss integriert werden. Pro-

zessdaten, einschließlich Finanzdaten, werden dezentral zwischen allen Beteiligten ausgetauscht, wobei die Integrität der Daten gewährleistet ist und die Ende-zu-Ende-Transparenz erhöht wird [GZZ23, S. 10].

Die Integration der Blockchain-Technologie und von Smart Contracts in den digitalen Zwilling einer geteilten Produktion erscheint daher zielführend, wurde jedoch bisher weder ganzheitlich erforscht noch umgesetzt.

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit besteht daher darin, die Auswirkungen des Smart Contracting auf den digitalen Zwilling einer geteilten Produktion zu untersuchen, um eine fundierte Entscheidungsgrundlage für die Integration von Smart Contracts in Produktionsprozesse zu schaffen. Dieser Ansatz ermöglicht es, das Potenzial des Smart Contracting in der geteilten Produktion voll auszuschöpfen. Es wird ein digitaler Zwilling entwickelt, dessen Daten für alle Beteiligten transparent, dezentral gespeichert, aktuell und manipulationssicher sind. Auf diese Weise wird eine verlässliche Ende-zu-Ende-Transparenz erreicht, die die Grundlage für die Optimierungspotenziale in der geteilten Produktion bildet.

In der bestehenden Forschungslandschaft bleiben viele Ansätze häufig konzeptionell oder beschränken sich auf einfache Simulationsmodelle, während physische Laborumgebungen und validierende Experimente fehlen. Zudem existieren keine systematischen Untersuchungen, die verschiedene Blockchain-Frameworks in Verbindung mit Smart Contracts und digitalen Zwillingen vergleichen. Ebenso gibt es bislang keine Möglichkeit, Smart Contracting im digitalen Zwilling durch aufwandsarme Simulationen der Smart-Contract-Prozesse zur Optimierung von Planungsprozessen zu testen. Obwohl bereits Blockchain-Simulatoren verfügbar sind, sind diese in ihrer Aktualität und Funktionsweise nicht für den in dieser Arbeit angestrebten Einsatz im digitalen Zwilling einer geteilten Produktion geeignet. Diese Forschungslücken werden in Kapitel 3 anforderungsbasiert hergeleitet.

Trotz dieser Lücken ermöglichen die bestehenden Arbeiten, die ebenfalls in Kapitel 3 analysiert werden, die Formulierung von Hypothesen (H) zum Einsatz von Smart Contracting im digitalen Zwilling einer geteilten Produktion, die in dieser Arbeit untersucht werden.

### **H1 Die Funktionalitäten eines digitalen Zwillings in der geteilten Produktion werden durch den Einsatz von Smart Contracting sinnvoll erweitert.**

Stakeholder stellen an den digitalen Zwilling einer geteilten Produktion Anforderungen wie Transparenz sowie die nachvollziehbare und überprüfbare Durchführung von Auftragschritten, die sich mit herkömmlichen Mitteln nur begrenzt realisieren lassen. In diesem Kontext kann Smart Contracting als sinnvolle Erweiterung dienen, indem es die Automatisierung und Verlässlichkeit von Transaktionen und Produktionsprozessen ermöglicht, die selbstständig und regelbasiert ausgeführt werden.

Dadurch werden Aspekte wie Transparenz, Sicherheit und Effizienz in der Produktionssteuerung und Ressourcenverteilung verbessert, was zu einer präziseren und reaktionsfähigeren Produktion führt.

## **H2 Smart Contracting ermöglicht im digitalen Zwilling einer geteilten Produktion eine verursachungsgerechte und transparente Aufschlüsselung der Kosten.**

Die Kostenaufteilung in einer Produktion erfolgt häufig über Gemeinkostensätze, wobei der Finanzfluss dem Material- und Informationsfluss nachgeordnet ist. Smart Contracting kann die automatische Erfassung und Zuordnung von Kosten in Echtzeit unterstützen, indem Vertragsbedingungen direkt an die Produktion gekoppelt werden und Kosten transparent sowie nachvollziehbar den beteiligten Akteuren und Ressourcen, wie Maschinen, zugewiesen werden. Dadurch wird sichergestellt, dass jede Ressourcennutzung und jeder Produktionsschritt den entsprechenden Parteien exakt zugeordnet wird, was die Kostenverteilung transparent gestaltet und Finanztransaktionen beschleunigt.

## **H3 Smart Contracting kann in einer simulationsbasierten Umgebung ohne Netzwerkintegration abgebildet werden.**

Für Tests und Experimente werden bisher beispielsweise Testnetzwerke von Blockchains eingerichtet, die analog zu realen Blockchain-Netzwerken funktionieren, oder umfangreiche Blockchain-Simulatoren verwendet, die die Funktionsweise der Netzwerke detailliert nachbilden. Diese Ansätze sind jedoch komplex und erfordern viel Expertise. Wenn die entscheidenden Parameter der Testnetzwerke bekannt sind, kann die Funktionsweise einer Blockchain abstrahiert werden, sodass simulativ und ohne Testnetzwerk schnell und aufwandsarm ermittelt werden kann, wie sich der Einsatz der Blockchain-Technologie und von Smart Contracts auf den digitalen Zwilling einer geteilten Produktion auswirkt. Ziel ist es, die Implementierung und das Testen von Smart Contracts zugänglich und effizient zu gestalten.

## **H4 Smart Contracting beeinflusst die Transaktionskosten und Latenzen im digitalen Zwilling einer geteilten Produktion.**

In verschiedenen Blockchain-Frameworks entstehen Transaktionskosten, die je nach Komplexität des Smart Contracts und dem zugrunde liegenden Blockchain-Protokoll variieren. Ein weiterer entscheidender Faktor sind die Latenzen, die durch die Validierungszeiten der Transaktionen verursacht werden. Die Konsensmechanismen in Blockchain-Netzwerken, die für die Validierung erforderlich sind, können zu Verzögerungen führen. Dies legt nahe, dass die Implementierung von Smart Contracts direkten Einfluss auf die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der geteilten Produkti-

on hat. Obwohl Blockchain-Technologien zunehmend genutzt werden, fehlen bislang systematische Untersuchungen, die die Auswirkungen verschiedener Blockchain-Frameworks im Zusammenhang mit Smart Contracting und digitalen Zwillingen in der geteilten Produktion analysieren. Um die Gesamtwirkung von Smart Contracting auf die geteilte Produktion umfassend zu verstehen, ist es daher notwendig, sowohl die Transaktionskosten als auch die Validierungszeiten detailliert zu untersuchen.

**H5 Die Prozesse für Smart Contracting müssen im digitalen Zwilling einer geteilten Produktion sorgfältig ausgewählt werden, um zu vermeiden, dass die Blockchain an ihre Leistungsgrenze stößt.**

In intelligenten Systemen, in denen nicht nur Menschen, sondern auch Maschinen oder Roboter eigenständig mit der Blockchain interagieren, entsteht eine Vielzahl von Transaktionen. Diese hohe Transaktionszahl kann die Kapazität der Blockchain überlasten, was zu Verzögerungen, ineffizienter Verarbeitung und potenziell höheren Kosten führt. Sobald die Blockchain ihre Leistungsgrenze erreicht, werden Transaktionen langsamer validiert oder nicht mehr ordnungsgemäß verarbeitet, was die Effizienz und Stabilität des gesamten Systems beeinträchtigen kann. Aus diesem Grund ist eine gezielte Auswahl der Prozesse für Smart Contracts entscheidend, um die Belastung der Blockchain zu minimieren und eine reibungslose Funktionsweise sicherzustellen.

Die aufgestellten Hypothesen heben zentrale Aspekte hervor, die für die Weiterentwicklung des digitalen Zwillings in der geteilten Produktion von Bedeutung sind. Sie verdeutlichen insbesondere die Anforderungen an die Integration von Smart Contracting, um dessen Potenzial vollständig auszuschöpfen.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich drei zentrale Forschungsfragen (FF), die im weiteren Verlauf untersucht werden, um die Hypothesen zu überprüfen und bestehende Forschungslücken zu schließen.

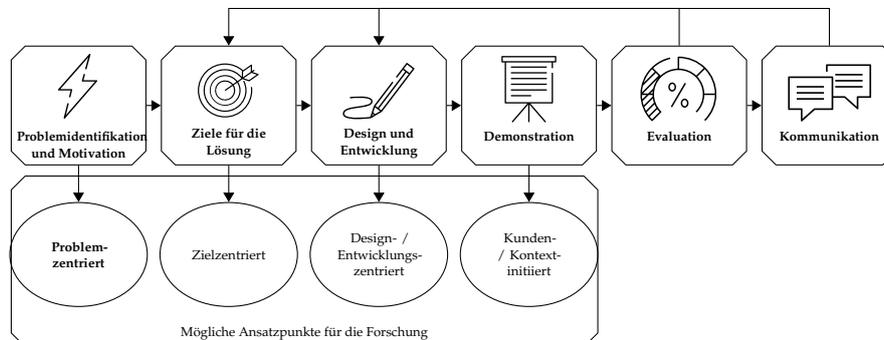
**FF1** Wie sieht ein Zusammenspiel eines digitalen Zwillings und der Blockchain-Technologie und Smart Contracting in der geteilten Produktion aus?

**FF2** Auf welche Weise kann Smart Contracting in der geteilten Produktion simuliert werden, um Simulationen im Zeitraffer und mit weniger technischem Aufwand zu ermöglichen?

**FF3** Welchen Einfluss hat Smart Contracting auf den digitalen Zwilling einer geteilten Produktion hinsichtlich Kosten, Skalierbarkeit und Latenzen?

Zusammenfassend sind die Auswirkungen von Smart Contracting auf den digitalen Zwilling einer geteilten Produktion anhand von Anforderungen, eines Konzepts sowie eines implementierten Anwendungsfalls und durch Experimente zu analysieren. Der zentrale wissenschaftliche Beitrag dieser Arbeit besteht daher in der Entwicklung eines anforderungsbasierten digitalen Zwillings für die geteilte Produktion, der durch Smart Contracting gezielt Informationsasymmetrien reduziert, Transaktionskosten adressiert und dem Nutzer als Entscheidungshilfe für die Integration von Smart Contracting dient.

Das Vorgehen in dieser Arbeit orientiert sich an der etablierten Design Science Research (DSR)-Methodologie, die als Verfahrensmodell für die Entwicklung eines Methodenartefakts dient. Artefakte können dabei Konstrukte, Modelle, Methoden oder Instanziierungen sein ([Hev+04, S. 77]; [Pef+07, S. 49]). Der DSR-Ansatz ist in sechs Aktivitäten unterteilt, die in Abbildung 1.2 dargestellt sind.



**Abb. 1.2** Design Science Research i. A. a. [Pef+07, S. 54]

Die Arbeit gliedert sich in die in Tabelle 1.1 dargestellten Schritte und basiert auf einem problemzentrierten Ansatz. Der Problemraum wird in Kapitel 1 und Kapitel 3 diskutiert, wobei das Problem identifiziert und motiviert wird, um ein gemeinsames Verständnis zu schaffen. Kapitel 2 legt die terminologischen und technischen Grundlagen der Arbeit dar, indem

die grundlegenden Konzepte der geteilten Produktion, des digitalen Zwillings, der Blockchain und des Smart Contracting erläutert werden. Darauf aufbauend wird in Kapitel 3 die bestehende Forschungslücke hergeleitet. Die Anforderungen an das System werden durch eine systematische Literaturrecherche analysiert, und bestehende Forschungsansätze werden im Hinblick auf diese Anforderungen untersucht. Dies entspricht der zweiten Aktivität im DSR-Prozess. Kapitel 4 beschreibt als dritte Aktivität die Entwicklung eines Konzepts zur Schließung der Forschungslücke in drei Schritten: Zunächst werden die Anforderungen in den Dimensionen des digitalen Zwillings verortet, anschließend werden ausgewählte Anforderungen durch Blockchain und Smart Contracting adressiert. Die entwickelten Komponenten werden dann in ein Gesamtkonzept integriert, das in Kapitel 5 durch eine Simulationsstudie validiert wird. Anhand eines Anwendungsfalls, der als Demonstration dient, werden Simulationsexperimente durchgeführt, und die Ergebnisse werden abschließend bewertet. Damit wird gezeigt, inwiefern das Artefakt den Problemraum adressiert und wie es zur Lösung des Problems beiträgt. Kapitel 6 fasst die Ergebnisse und Forschungsbeiträge zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Forschungsarbeiten. Dies stellt die letzte Aktivität des DSR-Prozesses dar, bei der die Forschungsergebnisse kommuniziert werden. Diese Struktur ermöglicht eine systematische Erreichung des Forschungsziels durch die Kombination von theoretischen Grundlagen, Identifikation der Forschungslücke sowie die Entwicklung und Validierung des Konzepts. Durch die Integration des DSR-Prozesses wird ein rigoroser Ansatz in Bezug auf Entwicklung und Evaluierung sichergestellt [Hev+04, S. 87].

Tabelle 1.1 Vorgehensweise der Arbeit

