



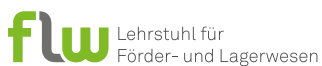
**Fraunhofer**  
IML

# Blockchain im Anlagenmanagement

---

**Potenzialermittlung für die Anwendung der  
Blockchain-Technologie im Anlagenmanagement**

In Kooperation mit:



Gefördert durch das Ministerium für  
Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und  
Energie des Landes Nordrhein-Westfalen



blockchain  
europe.nrw

[www.blockchain-europe.nrw](http://www.blockchain-europe.nrw)



## Blockchain Navigator

### Die Reihe Blockchain Navigator

Die Veröffentlichungs-Reihe Blockchain Navigator gewährt Einblicke in aktuelle Forschungsergebnisse von Blockchain Europe, dem Projekt zum Aufbau des Europäischen Blockchain-Instituts in Nordrhein-Westfalen. Es werden gleichsam wissenschaftlich fundierte »Insights«, wie auch praxisgerecht aufbereitete Leitfäden und Methoden als »Toolbox« präsentiert, um einen effektiven und zielgerichteten Einsatz der Blockchain-Technologie in den Geschäftsprozessen unterschiedlicher Industrien zu ermöglichen – von der initialen Überlegung bis zur tatsächlichen Einführung. Daneben ermitteln die »Studies« die Potenziale für den Einsatz der Blockchain-Technologie in unterschiedlichen logistischen Themenbereichen und liefern somit spannende Anknüpfungspunkte für zukünftige Forschungsaktivitäten im Blockchain-Kontext. Ganz im Sinne einer open community und des open knowledge-Ansatzes stellen wir unsere Ergebnisse über den Blockchain Navigator frei zugänglich zur Verfügung und laden zur Diskussion ein.



## Blockchain Studies

### Blockchain Studies

Die Studies-Reihe dient dem Zweck, das Thema Blockchain aus diversen und möglicherweise bislang noch nicht fokussierten logistischen Blickwinkeln zu beleuchten. Im Sinne einer Potenzialanalyse soll herausgestellt werden, welche Möglichkeiten für den Einsatz der Blockchain-Technologie in unterschiedlichen Themenbereichen bestehen. Dabei können auch einzelne Use Cases innerhalb eines Themenbereichs differenziert betrachtet werden.

### Inhalt

Die vorliegende Studie hat zum Ziel, Potenziale und Einsatzmöglichkeiten der Blockchain-Technologie in ausgewählten Bereichen des Anlagenmanagements zu ermitteln. Nach einer Einführung in das Themenfeld des Anlagenmanagements und in die Grundlagen der Blockchain-Technologie werden ausgewählte Use Cases beleuchtet, die im Anlagenmanagement bedeutsam sind und Möglichkeiten für den Einsatz der Blockchain-Technologie bieten. Dazu gehören das Daten- und Wissensmanagement in Kombination mit der digitalen Lebenslaufakte, Predictive Maintenance als datengetriebene und wissensintensive Instandhaltung und das kollaborative, unternehmensübergreifende Ersatzteilmanagement. Für diese Use Cases erfolgt eine Bewertung der Anwendungsmöglichkeiten der Blockchain-Technologie und die Ergebnisse werden in einem abschließenden Fazit zusammengeführt.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Impressum</b> .....	<b>2</b>
<b>Blockchain Navigator / Blockchain Studies</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Blockchain im Anlagenmanagement: Einführung</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Die Blockchain-Technologie</b> .....	<b>8</b>
2.1. Was ist Blockchain? .....	8
2.2. Eigenschaften der Blockchain .....	8
2.3. Vorteile der Blockchain .....	9
2.4. Herausforderungen der Blockchain .....	9
2.5. Ursprung und Entwicklung der Blockchain .....	10
2.6. Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsbeispiele der Blockchain .....	10
<b>3. Das Projekt Blockchain Europe</b> .....	<b>12</b>
3.1. Was ist Blockchain Europe? .....	12
3.2. Blockchain Europe Basiskomponenten .....	12
<b>4. Use Case: Digitale Lebenslaufakte und Wissensmanagement</b> .....	<b>14</b>
4.1. Einführung in den Use Case .....	14
4.2. Stand der Technik und Potenzialermittlung .....	15
4.3. Bewertung .....	17
<b>5. Use Case: Predictive Maintenance</b> .....	<b>19</b>
5.1. Einführung in den Use Case .....	19
5.2. Stand der Technik und Potenzialermittlung .....	21
5.3. Bewertung .....	26
<b>6. Use Case: Kollaboratives Ersatzteilmanagement</b> .....	<b>27</b>
6.1. Einführung in den Use Case .....	27
6.2. Stand der Technik und Potenzialermittlung .....	28
6.3. Bewertung .....	33
<b>7. Zusammenfassung und Fazit</b> .....	<b>34</b>
<b>8. Literatur</b> .....	<b>37</b>





# 1. Blockchain im Anlagenmanagement: Einführung

Das Anlagenmanagement von heute ist mit tiefgreifenden Veränderungen konfrontiert. Anlagen und Maschinen werden im Zuge der Industrie 4.0 immer komplexer und aufgrund des technischen Fortschritts zunehmend digitaler [1]. Diese Entwicklungen beeinflussen auch ganz entscheidend die Arbeit der Instandhalter. Sie wird anspruchsvoller und ist ebenso durch vielerlei Veränderungen geprägt [2]. Ein wesentliches Merkmal ist hierbei, dass große Mengen an produktions- und instandhaltungsrelevanten Daten erzeugt werden. Sei es durch die Sammlung und Auswertung von Sensordaten, die Dokumentation von Instandhaltungstätigkeiten in einer Instandhaltungssoftware oder im Rahmen der Kommunikation zwischen Anlagenbetreibern und Anlagenherstellern. Daten fallen vermehrt und an zunehmenden Stellen an. Um den Datenmengen einen betriebswirtschaftlichen Zweck zu geben, müssen sie effizient gemanagt und sinnvoll genutzt

werden können. In dieser Studie werden daher Anwendungsfälle im Kontext des Anlagenmanagements und der Instandhaltung betrachtet, bei denen sich eine Blockchain-Technologie für diese Zielerreichung ggf. sinnvoll einsetzen lässt.

Im Rahmen der Instandhaltungstätigkeiten existieren heute eine ganze Reihe an Wertschöpfungspartnern, die ebenfalls Daten und Informationen generieren, welche für den Instandhaltungsprozess von, teilweise großer, Relevanz sind. Dazu gehören zum Beispiel Instandhaltungsdienstleister, die heute mehr und mehr Tätigkeiten für die Anlagenbetreiber übernehmen und dabei neben reinen Daten und Informationen auch wertvolles Instandhaltungswissen generieren. [3] Gleichfalls verfügen Ersatzteillieferanten über wichtige Informationen zu Instandhaltungsvorgängen. Sie können daher als ein wichtiger Baustein einer zukunftsfähigen Instandhaltung bezeichnet werden [2].

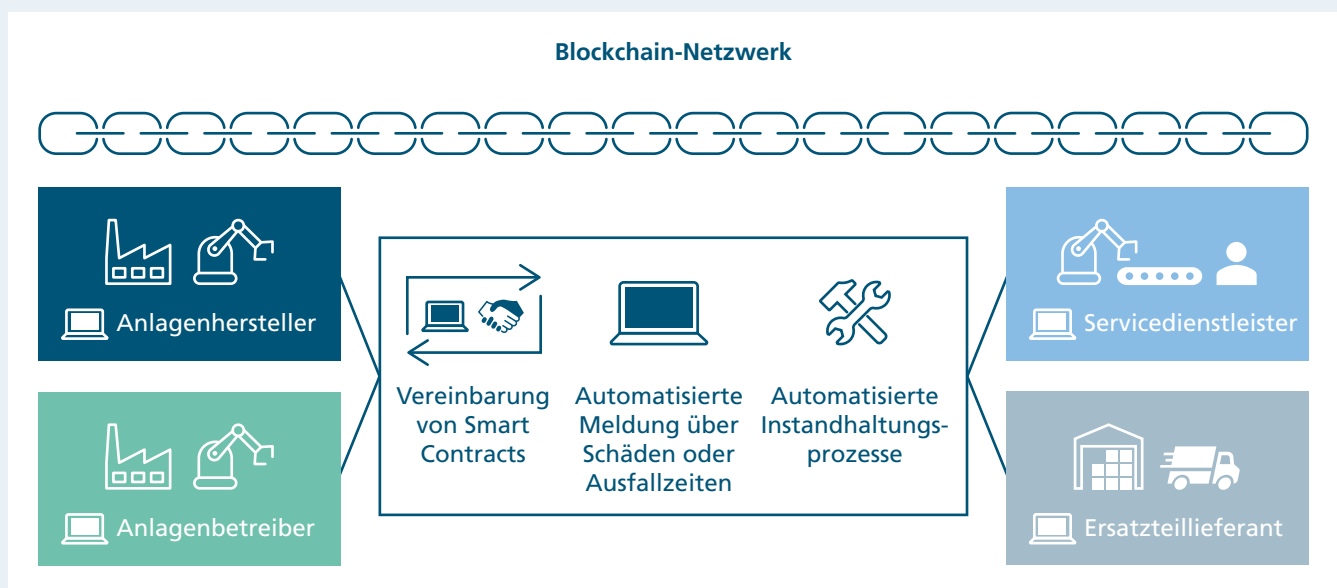


Abbildung 1: Gestaltungsansatz für ein Blockchain-basiertes Netzwerk in der Instandhaltung

Es zeigt sich also, dass die Instandhaltung der Zukunft vermehrt im Netzwerk funktionieren wird. Für einen netzwerkgetriebenen Datenaustausch gilt es, einen Ansatz zu finden, der den unterschiedlichen Wertschöpfungspartnern auf der einen Seite erforderliche Daten und Informationen bereitstellt und ihnen auf der anderen Seite die Möglichkeit eröffnet, sie erfassen und austauschen zu können. In diesem Rahmen ist zu prüfen, ob die Potenziale einer Blockchain-Technologie in einem Instandhaltungsnetzwerk eine vertrauensvolle und transparente Zusammenarbeit ermöglicht.

Den Aufbau eines möglichen Blockchain-basierten Netzwerks in der Instandhaltung zeigt die Abbildung 1 auf. Sie fokussiert im Wesentlichen den Daten- und Informationsaustausch zwischen Anlagenherstellern, Anlagenbetreibern und Instandhaltungsdienstleistern sowie weiteren Netzwerkpartnern, z. B. Ersatzteillieferanten. Die Geschäftsprozesse zwischen den einzelnen Partnern könnten hier auf Basis eines partnerübergreifenden Daten- und Informationsaustauschs und unter Nutzung von Blockchain-Komponenten (z. B. Smart Contracts) gesteuert werden.

Um die Potenziale eines Blockchain-basierten Netzwerkes in der Instandhaltung zu betrachten und zu verdeutlichen, wird in der vorliegenden Studie anhand von ausgesuchten Use Cases den Einsatz einer Blockchain-Technologie untersucht. Dabei werden die Herausforderungen und Hemmnisse und die sich ergebenden Vorteile und Potenziale herausgestellt.

Zunächst wird in einem Einführungskapitel auf die wesentlichen Merkmale und Kernelemente der Blockchain-Technologie auf funktionaler Ebene eingegangen. Ebenso werden hier weitergehende Informationen zum Projekt Blockchain Europe und den innerhalb dieses Projekts entwickelten Basiskomponenten vorgestellt. Darauf aufbauend werden drei spezielle Use Cases im Kontext des Anlagenmanagements und der Instandhaltung als mögliche Anwendungsfelder für die Blockchain-Technologie näher betrachtet. Dabei werden zum einen die bestehenden Herausforderungen, die einem betrieblichen Einsatz heutzutage oft im Wege stehen, und die Chancen und Potenziale aufgezeigt. Abschließend wird zusammengefasst, wie mit der Blockchain-Technologie ein Beitrag zu mehr Prozesseffizienz im Anlagenmanagement und in der Instandhaltung geleistet werden kann und warum sich Unternehmen heutzutage mit Blockchain-Technologien beschäftigen sollten.



© Adobe Stock, Tony Baggett

## 2. Die Blockchain-Technologie

---

Die Studien-Reihe im Rahmen des Blockchain Navigators fokussiert die Anwendung von Blockchain-Technologien in der Praxis. Um die Potenziale dieser Technologien in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen nachvollziehbar und transparent herausstellen zu können, wird nachfolgend auf die wesentlichen Kernelemente der Blockchain-Technologien auf funktionaler Ebene eingegangen.

### 2.1. Was ist Blockchain?

Bei den Blockchain-Technologien handelt es sich um eine spezielle Form der elektronischen Datenverarbeitung und insbesondere -speicherung. Im Gegensatz zu vielen konventionellen Datenspeichertechnologien, wie z. B. Cloud-Systemen oder Client-Server Strukturen, werden bei einer Blockchain die Daten nicht zentral, sondern dezentral verteilt abgespeichert [4].

Aus funktionaler Sicht lässt sich eine Blockchain mit den fünf wesentlichen Kernentitäten beschreiben [5]:

- Die Daten/Informationen werden in Form von sog. Blöcken gespeichert.
- Die Speicherreihenfolge der Blöcke (Zusammenhänge) steht fest und kann im Nachhinein nicht verändert werden.
- Jeder Block besitzt einen eindeutigen »Fingerabdruck« und verifiziert dadurch seinen eigenen Inhalt sowie seinen Bezug zum vorherigen Block.
- Die gesamte Blockchain oder Segmente dieser sind bei mehreren Netzwerkteilnehmern gespeichert.
- Ein demokratisches System (Mehrheitsprinzip) kontrolliert, ob ein Block oder eine Blockreihenfolge korrekt ist oder nachträglich verändert, d. h. manipuliert, wurde.

### 2.2. Eigenschaften der Blockchain

Die Daten innerhalb einer Blockchain werden dezentral verteilt, d. h. bei mehreren Teilnehmern eines Netzwerks gespeichert. Dabei besitzen bestimmte Teilnehmer, die sog. Full Nodes, stets eine vollständige Kopie der gesamten Blockchain. Daher kommt ihnen eine große Bedeutung zu. Im Gegensatz zu den Full Nodes speichern sog. Light Nodes keine Kopie der gesamten Blockchain, sondern übernehmen »nur« bestimmte Aufgaben. Light Nodes können z. B. zum Auslesen bestimmter Informationen aus der Blockchain, dem Schreiben von Informationen in diese und/oder der Verarbeitung bestimmter Informationen eingesetzt werden. [6]

Der Zugang zu einer Blockchain kann entweder öffentlich, privat oder konsortial sein. Öffentliche Blockchains (public) sind frei zugänglich, sodass sich jederzeit neue Teilnehmer selbstständig eine Kopie der Blockchain herunterladen und mit dieser im Sinne eines weiteren Full Nodes interagieren können. Bei privaten Blockchains übernimmt hingegen ein Akteur wichtige Aufgaben, die auch den Zugang zur Blockchain betreffen. Möchte ein neuer Teilnehmer dem Netzwerk beitreten, muss der zentrale Akteur ihn hinzufügen. Bei konsortialen Blockchains können die Aufgaben des zentralen Akteurs auch von mehreren Teilnehmern übernommen werden. [7]

Die Speicherung von Informationen in einer Blockchain erfolgt – bildlich gesprochen – in einzelnen Blöcken. Das heißt, es werden inhaltlich kohärente Informationen zusammengepackt und als ein Block im Netzwerk abgespeichert. Zur Validierung, dass der Inhalt nicht verändert wurde, werden sog. Hash-Verfahren eingesetzt. Dabei handelt es sich um mathematische Verfahren, die den Inhalt eines Blocks als einen sog. Hashwert darstellen. Da diese Verfahren nur in eine Richtung funktionieren, kann der Hashwert eines Blockes auch als sein



eindeutiger Fingerabdruck angesehen werden. Verändert sich nun der Inhalt eines Blocks, verändert sich auch sein Fingerabdruck (Hashwert). [8, 9]

Die Manipulationssicherheit der Daten in einer Blockchain wird zudem durch zwei weitere Eigenschaften sichergestellt. Zum einen kennt jeder Block auch den Hash-Wert seines Vorgängerblocks und zum anderen werden Konsensverfahren zur Sicherstellung, dass jeder Full Node auch die identische Blockreihenfolge und Inhalte besitzt, eingesetzt. Wie bereits in Absatz 2.1 beschrieben, handelt es sich bei einer Blockchain um verkettete Blöcke, die bei mehreren Netzwerkteilnehmern abgespeichert werden. Möchte nun ein Teilnehmer den Inhalt eines Blocks manipulieren, so muss er nicht nur den Inhalt des betroffenen Blocks verändern, sondern auch mindestens den Hashwert aller nachfolgenden Blöcke und das bei allen Full Nodes. Da zudem die Konsensmechanismen zeitaufwändig sind und stetig die Korrektheit der kompletten Blockchain sicherstellen, ist eine Manipulation einer Blockchain nahezu ausgeschlossen. [10]

## 2.3. Vorteile der Blockchain

Die größten Vorteile einer Blockchain sind die Manipulationssicherheit, Nachvollziehbarkeit und Transparenz sowie die Datensouveränität hinterlegter Informationen. Die speziellen technischen Charakteristika einer Blockchain ermöglichen sowohl die eindeutige Validierung der Datenkorrektheit und Nachvollziehbarkeit des Ursprungs als auch die Automatisierung und Autarkisierung von Prozessen. Zur Umsetzung dieser Datensouveränität werden häufig sogenannte Smart Contracts eingesetzt [11, 12]. Smart Contracts sind fest definierte und unveränderbare Programmabläufe, die meist auf der Blockchain selbst hinterlegt sind und auf dieser ausgeführt werden. Sie besitzen ein klar definiertes Startereignis und eine fest vorgegebene Ablauflogik. Tritt ein Ereignis auf oder wird der Smart Contract manuell gestartet, wird das klar definierte Ziel, über vorgegebene Wenn-Dann-Beziehungen, verfolgt und jeder Schritt protokolliert. Smart Contracts eignen sich daher zur Automatisierung von, meist vertrauens- und prüfintensiven, Abläufen. [13, 14]

Generell kann eine Blockchain vertrauensintensive, nachweispflichtige oder auch rechtlich sensible Prozesse unterstützen. Smart Contracts stellen selbst nicht zwangsläufig einen Vertrag dar, sie können jedoch die Einhaltung der rechtlichen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen garantieren und dadurch zur Steuerung von rechtsgültigen Prozessen eingesetzt werden. [15]

Die Blockchain-Technologie stellt die Nachvollziehbarkeit und die Manipulationssicherheit, über Konsensmechanismen und dezentrale Strukturen sicher. Der dezentrale Ansatz zur Datenspeicherung, bei dem jeder Knotenpunkt (Full Node) eine Kopie der Blockchain speichert und das Mehrheitsprinzip gilt, sorgt ebenfalls für eine höhere Robustheit bei Cyberangriffen. Insbesondere im Vergleich zu einer konventionellen, zentralen Datenhaltung sinkt das Risiko für sog. Single Point of Failure-Angriffe enorm. Bei dieser Art von Cyberangriffen wird gezielt ein Bestandteil eines Systems zum Ausfall gebracht, um das Gesamtsystem zu stören und dadurch entweder weitere »Türen« zu öffnen oder die Funktionalität in Gänze außer Kraft zu setzen. Bei einer Blockchain-Technologie müsste ein solcher Angriff eine Vielzahl an Blöcken bei der Mehrheit der Full Nodes korrumpieren. Dieses Risiko kann mit zunehmender Anzahl an Akteuren als immer unwahrscheinlicher eingestuft werden. Eine Blockchain gilt daher als weitestgehend manipulationssicher. [16, 17]

## 2.4. Herausforderungen der Blockchain

Es existieren zahlreiche Untersuchungen, die sich mit unterschiedlichen Nachhaltigkeitsaspekten der Blockchain-Technologie befassen und beispielsweise das damit verbundene Abfallaufkommen oder den Energieverbrauch thematisieren [18, 19, 20]. Derartige Untersuchungen fokussieren jedoch meist Kryptowährungen, da diese häufig in der öffentlichen Wahrnehmung den wichtigsten Blockchain-Anwendungsfall darstellen. Ursache für diese Schlussfolgerungen sind i. d. R. die Konsensmechanismen, welche die Korrektheit von Blockchain-Netzwerken sicherstellen. Je nach Art der verwendeten Konsensmechanismen sowie der Blockchain Architektur können jedoch unterschiedlich stark ausgeprägte Energieverbräuche festgestellt werden. Generell weisen private oder konsortiale Blockchain-Netzwerke deutlich geringere Energieverbräuche als öffentliche Blockchains, die für die meisten Kryptowährungen eingesetzt werden, auf. Im Vergleich zu konventionellen zentralisierten Datenbevorratungslösungen schneiden sie jedoch aus Sicht der Energieeffizienz schlechter ab. [21]

Unter Gesichtspunkten der Energieeffizienz sind daher Anwendungsfälle zu definieren, die auf den gesamten Geschäftsprozess gesehen, ökologische Vorteile erzielen. Aktuell liegt noch keine anwendungsbezogene, einheitliche und vergleichende Studie zur ökologischen Wirkung digitaler Technologien im Vergleich oder im Bezug zu einer Blockchain-Technologie vor. Auch, wenn aktuell noch kein sich aus der Technologie selbst

ergebender Nachhaltigkeitsvorteil nachgewiesen werden kann, sind dennoch bereits Anwendungsfälle zu identifizieren, bei denen der Einsatz einer Blockchain-Technologie als Enabler für eine gesteigerte Nachhaltigkeit angesehen werden kann [22].

Eine weitere Herausforderung betrifft die Identifikation des geeigneten Blockchain-Frameworks. Je nach Reichweite des Netzwerks (öffentlich, privat, konsortial), der Art, Anzahl und Größe der auf der Blockchain zu hinterlegenden Daten und der gewünschten Aufgaben, die die Blockchain übernehmen bzw. unterstützen soll, werden Blockchain-Interessierte aktuell mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Frameworks konfrontiert. Zudem kommen stetig neue Themen, wie z. B. die Teilbarkeit, Einzigartigkeit und Wertigkeit hinzu, die die Auswahl erschweren. Vorteilhaft erweist sich in diesem Bezug, wenn für bestimmte Anwendungsfälle auf bereits bestehende Blockchain-Netzwerke oder auf Bibliotheken, die konkrete Funktionalitäten ermöglichen, zurückgegriffen werden kann. Dabei ist gleichfalls darauf zu achten, dass Entwicklungen, falls vorhanden, Standards einhalten. Dadurch wird die Interoperabilität zwischen verschiedenen Netzwerken und/oder Anwendungsfällen sichergestellt. Diese Anforderung gilt insbesondere für die Verwendung von Blockchain im Kontext des Finanzflusses. Als Beispiel kann hier der ERC-20 (Ethereum Request for Comments-20) Standard für Token auf einer Ethereum-Blockchain angeführt werden [7].

Sollen »Vermögenswerte« über auf einer Blockchain beschrieben werden, werden seit ein paar Jahren sog. »Tokens« diskutiert [23]. Token lassen sich langläufig in Non-Fungible-Token (NFT) und Fungible-Token (FT) unterteilen. NFT sind einzigartig und einmalig und können somit auch zur Beschreibung eines definierten realen Objects verwendet werden. Im Gegensatz dazu repräsentieren Fungible-Token stets den gleichen Wert und können gegenseitig ausgetauscht oder ersetzt werden. [10]

Zur Verdeutlichung soll ein bedeutendes Gemälde und die Währung »Euro« dienen. Ein Gemälde ist einzigartig und kann nicht gegen ein anderes ausgetauscht werden. Hier sind die Eigentumsangaben und der Verlauf (z. B. der Besitzer), den das Bild seit Erstellung genommen hat, von besonderem Interesse. Hingegen besitzen alle Ein-Eurostücke die gleiche Wertigkeit und können beliebig gegeneinander ausgetauscht werden. Die Herkunft und der Verlauf, den ein Eurostück seit Ausgabe genommen hat, ist hier jedoch irrelevant. Daher würde in diesem Fall ein Gemälde eher mittels NFT und die Euro-Währung als FT auf einer Blockchain beschrieben werden. Die Herausforderung besteht dabei, bereits im Vorfeld zu definieren, welche Anforderungen an die Einzigartigkeit, Wertigkeit und Teilbarkeit erfüllt sein müssen.

## 2.5. Ursprung und Entwicklung der Blockchain

Die Blockchain-Technologie erreichte im Jahr 2008 durch eine Veröffentlichung von »Satoshi Nakamoto« über den Bitcoin erstmals Bekanntheit. Die Idee, Informationen als unveränderliche, verkettete Blöcke mithilfe von Algorithmen zu speichern, wurde jedoch bereits 1979 in der Dissertation von Ralph Merkle publiziert. Die Publikation erklärt, wie sich Informationen in Form der heute bekannten »Merkle hash trees«, einer effizienten Form der Speicherung, zusammenführen lassen. Im Jahr 1990 wandten die beiden Wissenschaftler Scott Stornetta und Stuart Haber diese Technologie auf Dokumente mit Zeitstempel an. Sie erforschten die Anwendung des Konsensprinzips, für welches Daten zur Gewährleistung ihrer Integrität abgeglichen werden. Die Ergebnisse trugen zur Einführung des Bitcoins bei und waren der erste Beweis für die Funktionstüchtigkeit der Blockchain-Technologie, welche die Integrität von Daten garantiert. [24]

Über die Finanzindustrie hinaus wächst die Bedeutung von Blockchain-Lösungen auch in diversen weiteren Industrien, wie beispielsweise in der Logistik. Die Lösungen werden bereits in der Realwirtschaft eingesetzt und immer mehr Unternehmen bereiten sich darauf vor, die Technologie in ihre Geschäftsprozesse zu integrieren. Eine aktuelle Befragung von Wirtschaftsexperten schätzt den zukünftigen, globalen Mehrwert von Blockchain-Lösungen bis zum Jahre 2030 auf eine Summe von 1,76 Billionen US-Dollar [25]. Im folgenden Absatz werden wichtige Einsatzmöglichkeiten der Blockchain-Technologie vorgestellt und exemplarisch anhand geeigneter Anwendungsbeispiele veranschaulicht.

## 2.6. Einsatzmöglichkeiten und Anwendungsbeispiele der Blockchain

Die nachfolgend exemplarisch ausgewählten und kurz vorgestellten Einsatzmöglichkeiten einer Blockchain im industriellen Umfeld lassen sich den folgenden drei Kategorien zuordnen:

- Bezahlprozesse und Finanzinstrumente,
- Rückverfolgbarkeit von Produkten sowie
- Verträge und Konflikt-Bewältigung.

### Bezahlprozesse und Finanzinstrumente

Die wohl bekanntesten Anwendungsfälle der Blockchain-Technologie sind Bezahlprozesse und Finanzinstrumente [26]. Hierbei werden die inhärenten Eigenschaften der Blockchain-Technologie ausgenutzt, sodass zum einen die Notwendigkeit einer Kontrollinstanz und zum anderen die Kosten für sie entfallen. Folglich können eine starke Reduktion der Transaktionskosten und ein Geschwindigkeitszuwachs, durch den Wegfall von aufwändigen Prüfmechanismen, erreicht werden. [27]

### Rückverfolgbarkeit von Produkten

Zum Nachweis einer geforderten Qualitätsstufe bei Geschäftsprozessen, Produkten, Dienstleistungen oder Geschäftsmodellen kann die Transparenz über den Lebenszyklus eingesetzt werden. Gleichfalls kann Transparenz den Nachweis von rechtlich geforderten Standards oder Nachhaltigkeitsaspekten unterstützen bzw. herstellen sowie auch eine verbesserte Vermarktung ermöglichen. Gängige Einsatzfelder umfassen zum Beispiel den Nachweis von Lieferketten, durchgeführte Wartungen insbesondere im sicherheitskritischen oder personenbefördernden Bereich, von Arbeitsbedingungen oder auch der richtigen Entsorgung [28]. Aktuell wird insbesondere der Dokumentation von Lieferketten und der damit verbundenen direkten Nachverfolgbarkeit von Transportwegen ein großes Potenzial unterstellt. Manipulationen der gesammelten Daten werden im Blockchain-Netzwerk unmittelbar ersichtlich, wodurch die Integrität der Daten gewährleistet wird [25].

### Verträge und Konflikt-Bewältigung

Die meisten Lieferanten-Kunden-Beziehungen oder überbetrieblichen Zusammenarbeiten sind über Verträge bzw. ähnliche Vereinbarungen geregelt. Smart Contracts sind innerhalb eines Blockchain-Netzwerks autark und selbstständig ablaufende Programme, die unaufhörlich einem zuvor definierten Programmablauf folgen (vgl. Abs. 2.3). Sie können daher zur Sicherstellung der Einhaltung von Verträgen und Regeln eingesetzt werden [29]. Smart Contracts sind im rechtlichen Sinne zwar kein rechtsgültiger Vertrag, können aber über ihre Wenn-Dann-Beziehungen die Einhaltung vertraglicher Inhalte erfassen und nachweisen, um darauf aufbauend weitere Abläufe anzustoßen.

Die vertragstypischen Pflichten bei einem Kaufvertrag werden in § 433 BGB geregelt. Im Sinne dieses Paragraphen ist der Verkäufer verpflichtet, dem Käufer die vereinbarte Sache frei von Sach- und Rechtsmängeln zu übergeben und ihm das Eigentum an der Sache zu verschaffen (Abs. 1). Im Gegenzug verpflichtet sich der Käufer, dem Verkäufer den vereinbarten Kaufpreis zu zahlen und die gekaufte Sache abzunehmen (Abs. 2). [30]

Übertragen auf den Einsatz eines Smart Contracts, kann er feststellen, wann eine Leistung im Sinne des Kaufvertrags erbracht wurde und daraufhin eine Bezahlung einleiten bzw. alle Schritte des Geldtransfers bis hin zum Geldeingang beim Verkäufer erfassen und kontrollieren. Über einen Abgleich mit hinterlegten Fristen kann somit auch die zeitliche Komponente des Vertragsschlusses nachhaltig und transparent erfasst, kontrolliert und gespeichert sowie bei identifizierten Abweichungen festgelegte Deeskalationsstufen eingeleitet werden.

Im aktuellen Projekt »dangerous« wird am Fraunhofer IML mit Hilfe von Smart Contracts z. B. erprobt, wie Gefahrgut-Transporte effizient gestaltet und manipulationssicher dokumentiert werden können [31].

### Zusammenfassung

Zusammenfassend kann dem Einsatzzweck bisheriger Blockchain-Anwendungsfelder konstatiert werden, dass folgende Thematiken im Mittelpunkt stehen [4]:

- Nachweis von Herkunftten
- Digitalisierung von Werten (Tokenisierung)
- Erkennung von Fälschungen und Betrügen
- Tracking von Compliance Vereinbarungen
- Rückverfolgung von Warenströmen
- Überwachung von Status
- Steuerung von Prozessen und/oder Vertragsgegenständen mittels Smart Contracts



© Adobe Stock, fotomek

## 3. Das Projekt Blockchain Europe

### 3.1. Was ist Blockchain Europe?

Das Forschungsprojekt »Blockchain Europe« forciert den Aufbau eines Europäischen Blockchain-Instituts in Nordrhein-Westfalen. Das Konsortium besteht aus den Dortmunder Fraunhofer-Instituten Institut für Materialfluss und Logistik IML und Institut für Software- und Systemtechnik ISST sowie dem Lehrstuhl für Unternehmenslogistik LFO und dem Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen FLW der Technischen Universität Dortmund.

Die Projektpartner haben es sich zur Aufgabe gemacht, in enger Zusammenarbeit mit einer vielfältigen Community das Wissenschafts-, Anwendungs- und Arbeitsfeld Blockchain aus unterschiedlichen Perspektiven zu beleuchten und die Entwicklungen im Bereich der Blockchain-Technologie entscheidend voranzutreiben. Ein Expertenbeirat mit führenden Vertretern aus Wirtschaft und Wissenschaft steht dem Projekt beratend zur Seite.

Langfristiges Ziel ist es, ein europaweit einzigartiges Institut zu schaffen, das die Digitalisierung in Wissenschaft und Praxis antreibt und als nachhaltige und dauerhafte Einrichtung etabliert ist.

Die erste Phase des Projekts wird vom Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen über eine Laufzeit von 3 Jahren mit 7,7 Millionen Euro gefördert.

### 3.2. Blockchain Europe Basiskomponenten

Zur möglichst aufwandsarmen Realisierung einer Blockchain-Infrastruktur werden innerhalb von Blockchain Europe generische Blockchain-Funktionalitäten als sogenannte Basiskomponenten entwickelt und als Open Source bereitgestellt. Diese universellen Software-Bausteine können nach dem Baukastenprinzip einzeln oder auch als sinnvolle Kombination integriert werden [32]. Die Basiskomponenten sollen wichtige Kernfunktionalitäten zum Aufbau einer Blockchain-basierenden Plattformökonomie umfassen und werden kontinuierlich weiterentwickelt.

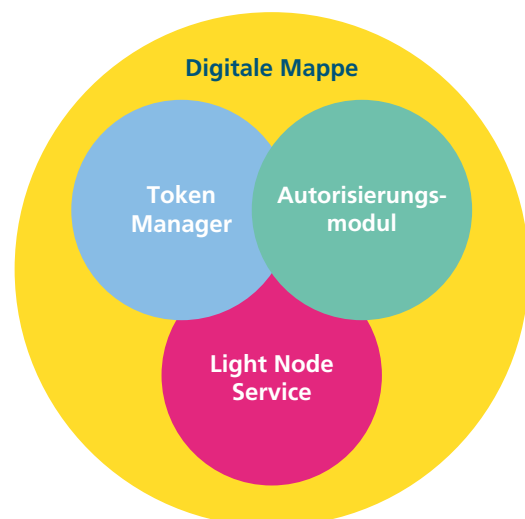


Abbildung 2: Digitale Mappe

Der Token Manager dient der Speicherung und Verwaltung von Dokumenten und Unternehmenswerten. Er ermöglicht Daten als Token in strukturierter Form auf der Blockchain zu speichern. Ein Token steht hierbei für eine Information, ein Dokument oder einen speziellen Unternehmenswert. Jedes Unternehmen (Full Node) erhält ein Wallet, in dem die Daten zu unterschiedlichen (logistischen) Vorgängen gespeichert werden können. Da zu jedem Dokument zudem eine Änderungshistorie existiert, können die erforderlichen Prozesse schlank und einfach gestaltbar gehalten werden. Über entsprechende CLI<sup>1</sup> - und REST<sup>2</sup> Schnittstellen lassen sich die spezifischen Funktionalitäten des Token Managers durch vordefinierte Smart Contracts aufrufen, wodurch die Grundlagen für teil- oder durchgehend automatisierte Prozesse geschaffen sind. Je nach Anwendungsfall können ganze Datensätze oder auch einzelne Dokumente (wie bspw. PDF, Bilddateien, XML) auf der Blockchain gespeichert werden. Die Speicherung mittels Token Manager erfolgt somit persistent, rechts- und fälschungssicher sowie transparent nachvollziehbar und nutzerfreundlich auf der Blockchain. [32, 35]

Die Verwaltung und Steuerung von Zugriffsrechten wird über das Autorisierungsmodul, einer weiteren Basiskomponente, sichergestellt. Innerhalb eines Blockchain-Netzwerks interagieren unterschiedlichste Akteure mit verschiedensten Aufgaben und Kompetenzen. Um klar zu spezifizieren, welcher Nutzer bzw. Blockchain-Account über welche spezifischen Zugriffsrechte auf die Blockchain verfügt, wird ihm eine spezielle Rolle zugewiesen. Über ein »klassisches« Rollen-Rechte-System lassen sich jeder Rolle Zugriffs-, Schreib- und Leserechte individuell zuweisen oder entziehen. Bei jedem Zugriff auf die Blockchain wird überprüft, ob der User über seine zugewiesene Rolle autorisiert ist, die gewünschte Interaktion durchzuführen. Nicht autorisierte (Trans-) Aktionen werden vom Netzwerk abgelehnt. So ermöglicht das Autorisierungsmodul mit Hilfe des Rollen-Rechte-Systems eine anwendungsspezifische und bedarfsgerechte Zugriffssteuerung und das bedarfsgerechte und/oder anwendungsspezifische Ausführen von Smart Contracts. [32, 35]

Der Light Node Service ermöglicht die Integration und Identifikation von Datenquellen in einem Blockchain-Netzwerk, bei denen keine vollständige Speicherung der gesamten Blockchain erfolgt, den sog. Light Nodes. Physische Geräte, wie z. B. Hardware, (mobile) Devices, Scanner, Sensoren oder auch ERP-Systeme, erhalten hierzu mittels Blockchain-Zertifikaten eine individuelle Identität. Die Blockchain-Zertifikate, welche mit einem Personalausweis vergleichbar sind, werden direkt auf dem mobilen Endgerät, IoT-Device oder im IT-System hinterlegt. Durch die Signatur ist jegliche Transaktion mit

der Blockchain und der Urheber zu jeder Zeit nachvollziehbar. Andere Teilnehmer können anschließend den Urheber prüfen und die Transaktion verifizieren. Geräte oder auch Gastteilnehmer, die nur einen reinen lesenden oder schreibenden Zugang zur Blockchain besitzen, werden dadurch zu eigenständigen Akteuren im Blockchain-Netzwerk ohne die Nachvollziehbarkeit, Transparenz oder das Vertrauen zu gefährden. [32, 35]

In der »digitalen Mappe« sind die drei obigen Basiskomponenten »Token Manager«, »Autorisierungsmodul« und »Light Node Service« zusammengefasst. In einer zentralen Wallet lassen sich mehrere »digitale Mappen« anlegen, welche spezifische Dokumente und Unternehmenswerte gleicher Art verwalten und in strukturierter Form als einzelne Token abgelegt werden können. Der Light Node Service integriert hierbei mobile Endgeräte, IoT-Devices oder IT-Systeme. Jegliche Änderungen werden in Form einer Historie durch den Token Manager ersichtlich. Das Autorisierungsmodul überprüft zu jeder Zeit anhand der Rolle des Full oder Light Nodes und seiner zugewiesenen Berechtigungen die Autorisation der gewünschten Transaktion. So können digitale Mappen auch im Umgang mit Behörden, bei der Rückverfolgung wichtiger Waren, Güter und logistischer Prozesse oder zur Überprüfung der Korrektheit von Dokumenten eingesetzt werden. [35]

Die Basiskomponenten sind aktuell für das Blockchain-Framework Tendermint/Cosmos umgesetzt und werden unter der »Open Logistics License« als Open Source zur Verfügung gestellt [36]. Die Überführung der digitalen Mappe ins Blockchain-Framework Quorum, die Entwicklung weiterer Basiskomponenten sowie der Aufbau eines Quorum-Netzwerks werden zurzeit am Fraunhofer IML realisiert.

<sup>1</sup> CLI: command-line interface – Bedienung eines Programms über Kommandozeileingabe [30].

<sup>2</sup> REST: representational state transfer – Softwareparadigma für die Kommunikation innerhalb von Client-Server-Netzwerken [31].

## 4. Use Case: Digitale Lebenslaufakte und Wissensmanagement

---

Das Anlagenmanagement und die Instandhaltung verfolgen unter anderem das Ziel, eine möglichst hohe bzw. anforderungsgerechte Anlagenverfügbarkeit sicherzustellen und dies über den gesamten Lebenszyklus hinweg [37]. Währenddessen entstehen nicht nur zahlreiche Informationen, sondern es werden auch stetig Informationen benötigt [38]. Daher fokussiert der erste Use Case das Wissensmanagement, d. h. die Erfassung und Handling von anlagen- und instandhaltungsbezogenen Informationen sowie die Erfassung und den Austausch bestimmter Informationen über eine sog. digitale Lebenslaufakte [39].

### 4.1. Einführung in den Use Case

Die Transformation der Instandhaltung im Kontext der Industrie 4.0 bringt viele Veränderungen mit sich, die u. a. neue Technologien, insbesondere für ein effizientes Datenmanagement, erfordern [2]. Unternehmen digitalisieren ihre Prozesse immer mehr und damit einhergehend auch ihre Maschinen und Anlagen. Dabei entstehen große Mengen an Daten, die gespeichert, übertragen und analysiert werden müssen. Um in diesem Umfeld ein Daten- und Wissensmanagement zu etablieren, bedarf es Methoden und Verfahren, die die operative Instandhaltung und das Instandhaltungsmanagement bei ihrer Arbeit unterstützen. Eine neuartige Lösung ist in diesem Zusammenhang die digitale Lebenslaufakte (DLA) als Daten- und Wissensmanagement-Tool in Kombination mit der Blockchain-Technologie, um insbesondere eine unternehmensübergreifende Nutzung zu ermöglichen [40].

In diesem Use Case wird daher die Nutzung der DLA auf Blockchain-Basis betrachtet. Neben der Eignung der DLA für das Management von instandhaltungsrelevanten Daten wird

die Vorteilhaftigkeit der Blockchain-Technologie in Bezug auf die Speicherung und Verteilung von Daten und Informationen untersucht. Es wird herausgestellt, wie durch die Speicherung und den Austausch von Daten und Informationen mit Hilfe der DLA auf Blockchain-Basis ein wertvoller Beitrag zum effektiven Wissensmanagement geliefert werden kann. Dabei fungiert die DLA als ein potenziell geeignetes Instrument für die Abbildung und Strukturierung von gesammelten Daten und Informationen des Lebenszyklus einer gesamten Anlage [41].

Die Betrachtung der Ausgangslage und die Identifikation möglicher Potenziale erfolgt innerhalb dieses Use Cases und den damit verbundenen Fragestellungen gemeinsam mit einem Fallstudienpartner, der Weldotherm Wärmetechnischer Dienst GmbH (WTD) aus Essen. WTD ist ein mittelständisches Unternehmen aus dem Instandhaltungsservice, welches seinen Kunden umfangreiche Dienstleistungen rund um das Thema Wärmebehandlung an industriellen Anlagen anbietet. Das Unternehmen ist im Rahmen seiner Tätigkeiten meist vor Ort in und an den Anlagen seiner Kunden tätig und bei der Ausführung ihrer Dienstleistungen (u. a. bei der Wärmebehandlung) auf eine Vielzahl von Informationen angewiesen.

Hierbei stellt sich insbesondere die Informationsermittlung rund um die auszuführende Tätigkeit als teilweise sehr aufwändig dar. So sind Detailfragen zum jeweiligen Serviceauftrag oft aufwändig zu erfragen oder in analogen Dokumentationen zu suchen. Dies stellt gerade im Bereich der Arbeitsvorbereitung einen hohen Aufwand dar. Eine weitere Herausforderung betrifft den immer weiter zunehmenden Dokumentationsbedarf. Selbst für kleine Aufträge sind Dokumentationen von mehr als 20 DIN A4 Seiten oftmals keine Seltenheit. Somit steigt der Aufwand für die Nacharbeit und den Abschluss des Auftrags zunehmend. In der Folge verschiebt sich das Aufwand-Nutzen-Verhältnis für WTD, so dass die vor- und nachgelagerten Tätigkeiten im Zuge der Wärmebehandlung den Gesamtprozess nicht nur aufwändig, sondern teilweise an den Rand der Ineffizienz treiben. Daher wird nachfolgend untersucht, inwiefern die Blockchain-Technologie hier einen Beitrag zur Optimierung leisten kann.

Bei der Untersuchung steht die DLA im Vordergrund. Es wird ermittelt, ob sie innerhalb dieses Use Cases ein Instrument zur Optimierung darstellt. Konkret wird geprüft, ob die DLA eine digitale Dokumentationsmöglichkeit für alle Partner im Wertschöpfungsnetzwerk darstellt und darüber hinaus auch als ein Instrument für ein überbetriebliches Wissensmanagement eingesetzt werden kann. Im Folgenden wird daher kurz auf den aktuellen Stand der Technik in den Bereichen DLA und Wissensmanagement eingegangen, um darauf aufbauend die Potenziale abzuleiten.

## 4.2. Stand der Technik und Potenzialermittlung

Die Bedeutung eines Wissensmanagements für produzierenden Unternehmen nimmt heute immer weiter zu. Das gilt insbesondere dann, wenn diese in umkämpften Märkten agieren und darauf angewiesen sind, ihre eigene Wissensbasis systematisch zu verbessern, um auf diese Weise einen Beitrag zum Erhalt und zur Stärkung der eigenen Wettbewerbsfähigkeit zu leisten [42]. Gleiches gilt für die Instandhaltung, die in einem zunehmend komplexer werdenden Umfeld agiert und somit darauf angewiesen ist, das instandhaltungsrelevante Wissen verfügbar zu halten [2]. Hinzu kommt die gestiegene Bedeutung der Rollen weiterer Partner innerhalb des Wertschöpfungsnetzwerks der Instandhaltung, wie z. B. die der Instandhaltungsdienstleister [3].

Den gewandelten Anforderungen stehen jedoch Untersuchungsergebnisse aktueller wissenschaftlicher Betrachtungen entgegen. Sie belegen überwiegend, dass die tatsächlichen Umsetzungserfolge eines Wissensmanagements in der Instandhaltung i. d. R. den Anforderungen und Erwartungen der Praxis und Wissenschaft nicht adäquat entsprechen, obwohl bereits heute eine Vielzahl an innovativen Möglichkeiten für die Instandhaltung bereitstehen [2]. Folglich liegt das benötigte Instandhaltungswissen nur in den seltensten Fällen beim jeweiligen Anlagenbetreiber anforderungsgerecht vor oder es wird von ihm erst gar nicht generiert.

Im Folgenden wird daher überprüft, ob die Anwendungsmöglichkeiten und die spezifischen Charakteristika der DLA in Verbindung mit der Blockchain-Technologie einen Beitrag zur Schaffung innovativer Lösungen für ein Wissensmanagement in der Instandhaltung leisten können.

Bei der DLA handelt es sich um ein Instrument zur Dokumentation von Daten und Informationen. Hierbei besteht die Besonderheit darin, dass die entsprechende Daten- und

Informationsgewinnung über den gesamten Lebenszyklus einer Anlage erfolgen kann. Dies erfasst den Zeitraum vom Entwurf und der Konstruktion einer Anlage, über den Betrieb, bis hin zur Demontage und Entsorgung. [43] Eine DLA kann somit für den Nachweis von Tätigkeiten und als grundlegende Informationsbasis für unterschiedliche technische Bereiche genutzt werden. In diesem Kontext fungiert sie als eine historische Informationsbasis über alle Lebenszyklusphasen hinweg und kann etwa bei der Produktentwicklung, der Möglichkeit einer virtuellen Inbetriebnahme, dem Wissensmanagement, der Optimierung der Instandhaltung bis hin zum Management stetig wechselnder Produkte und Ersatzteile als Wissensquelle und Wissenssammler eingesetzt werden [44]. Alle Wertschöpfungspartner können hierbei ihren Beitrag leisten und Informationen entnehmen sowie auch einpflegen. Die Speicherung und der Austausch erfolgt komplett digital und über standardisierte Austauschformate.

Die DLA reduziert folglich Kommunikationsprobleme über Unternehmensgrenzen hinweg, indem sie die gesammelten Daten und Informationen von Anlagenbetreibern, -herstellern und Instandhaltungsdienstleistern sowohl in standardisierter Art und Weise als auch in vorher festgelegtem Umfang zur Verfügung stellt. Sämtliche durchgeführte Instandhaltungstätigkeiten an einer Anlage können mit ihrer Hilfe nachgewiesen werden und bilden durch den digitalen Nachweis wiederum eine Basis, um neues instandhaltungsrelevantes Wissen ableiten zu können. Die DLA stellt somit eine Grundlage oder einen Anknüpfungspunkt für ein unternehmensübergreifendes Wissensmanagement zwischen mehreren Partnern innerhalb eines Instandhaltungsnetzwerks dar [45].

Bei der DLA handelt es sich zwar noch um ein relatives junges technologisches Instrument, jedoch wurde für die genaue Ausgestaltung und Definition vom Deutschen Institut für Normungen bereits eine entsprechende Norm erstellt. Die einzelnen Elemente und der Aufbau einer DLA werden in der DIN SPEC 91303 näher definiert. Ergänzend hierzu liefert die Norm 77005-1 Informationen und Anforderungen für die Sicherstellung eines koordinierten und strukturierten Informationsaustauschs zwischen allen beteiligten Wertschöpfungspartnern. Die folgende Abbildung 3 zeigt die Struktur einer DLA und ihre Beziehungen zu ihren jeweiligen Informationsquellen auf. Es wird deutlich, dass Informationen und Daten vielfältigster Art in der DLA abgelegt werden können. Somit eignet sie sich auch als universeller Datenspeicher nicht nur für die Ablage von Betriebsdaten, sondern auch für weitere Arten von Dokumenten oder Verweise auf andere Datenquellen und -speicher. Zudem wird deutlich, dass sich der Zugriff auf die DLA nicht für jeden Nutzer gleich gestalten muss. So können über die Zuweisung von unterschiedlichen Sichten oder Berechtigungen, verschiedene Rollen und Zugriffsrechte auf die DLA gestaltet werden.

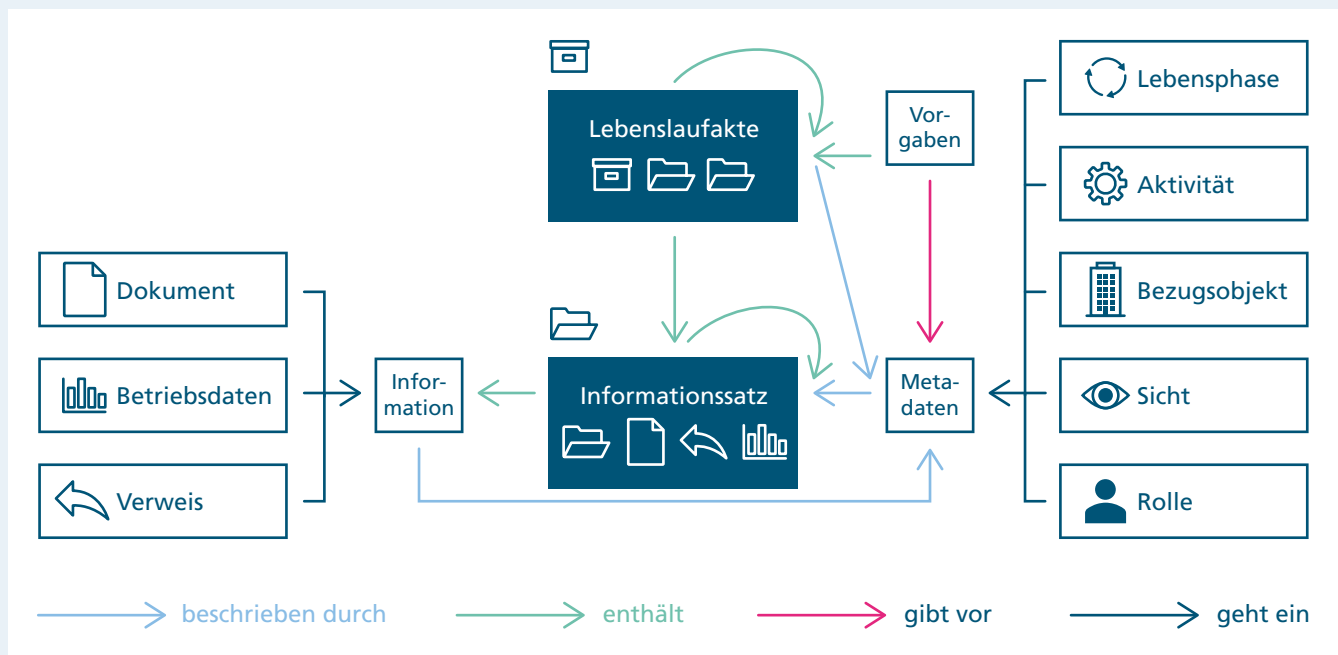


Abbildung 3: Struktur einer digitalen Lebenslaufakte [46]

Der sinnvolle Einsatz einer DLA im betrieblichen Umfeld wurde bereits durch einige Praxisbeispiele nachgewiesen. So wird u. a. im Maschinenbau dieses Instrument zur Optimierung von Wartungs- und Servicedienstleistungen genutzt. Instandhaltungsdienstleister greifen in diesem Zuge auf die Dokumentation der Sensordaten zu und disponieren im Bedarfsfall Instandhaltungseinsätze [45]. Weitere Beispiele lassen sich im betrieblichen Ersatzteilmanagement im Bereich der Dokumentation von ausgetauschten, defekten Teile finden [44].

Die aufgeführten Möglichkeiten sind dabei noch nicht vollends ausgeschöpft. Insbesondere im Zuge der Speicherung und des Austauschs von instandhaltungsspezifischem und künftig relevantem Wissen liegen noch viele Möglichkeiten. Diese Potenziale zeigen sich vor allem in der Vernetzung bisher noch nicht digital zusammenarbeitender Wertschöpfungspartner. Eine DLA kann hier als Basis für neue wissensbasierte Dienstleistungen fungieren und den erforderlichen Wissenstransfer ermöglichen. Das entstehende Netzwerk lässt sich dabei nach außen hin beliebig erweitern.

Neben den klassischen Netzwerkpartnern wie Anlagenbetreibern, Anlagenherstellern oder Instandhaltungsdienstleistern können auch IT-Dienstleister oder Ersatzteillieferanten mit einbezogen werden. Die DLA stellt in diesem Fall die Wissensbasis dar, um die richtigen Partner zusammenzuführen. Alle mitwirkenden Partner erhalten einen schnellen Zugriff auf die benötigten Informationen und einen transparenten Blick auf die einzelnen Bestandteile des Gesamtprozesses und sind so in der Lage, sowohl ihre eigenen Abläufe als auch den Gesamtprozess zu optimieren.

Diesen Potenzialen stehen jedoch Herausforderungen gegenüber, die einem vollumfänglichen Einsatz in der Instandhaltungspraxis noch im Wege stehen. Unternehmen haben ihre Instandhaltungsprozesse immer noch nicht weitestgehend digitalisiert und weisen dementsprechend auch noch nicht flächendeckend die erforderliche Datenbasis zur Nutzung auf [2]. Beide Themen stellen jedoch eine wichtige Grundlage für die Nutzung einer DLA zur unternehmensübergreifenden Kommunikation dar.

Für den unternehmensübergreifenden Einsatz ist individuell genau zu definieren, welche Inhalte im Detail über eine DLA dokumentiert und ausgetauscht werden sollen. Hierbei sind vor allem Vorbehalte einzelner Partner zu berücksichtigen, die im Zuge der Verwendung einer DLA eine mögliche Preisgabe von vertraulichen Informationen oder gar Wettbewerbsvorteilen befürchten. Dies gilt besonders dann, wenn die Struktur einer DLA als Instrument für ein unternehmensübergreifendes Wissensmanagement genutzt werden soll.

Zur Bewertung der Potenziale einer DLA in Verbindung mit dem Einsatz einer Blockchain-Technologie werden im nachfolgenden Abschnitt die Vorteile dieser Kombination gegenüber der Verwendung einer DLA in Verbindung mit einem klassischen Dokumentenmanagementsystems (DMS) betrachtet. Die Bewertung des Anwendungsfalls erfolgt anschließend durch den Praxispartner aus der operativen Instandhaltungspraxis WTD.



## 4.3. Bewertung

Das Unternehmen WTD verfügte bisher über keine Erfahrungen bezogen auf den Einsatz und die grundsätzlichen Funktionalitäten einer DLA. Die ersten Berührungspunkte ergaben sich über das öffentlich geförderte Forschungsprojekt *Sealed Services*<sup>3</sup>, in dem die DLA als ein zentraler Baustein betrachtet wurde. In dem Projekt liegt der Fokus darauf, bestehende Serviceprozesse aus dem Bereich des Industrieservice unter der Verwendung digitaler Instrumente zu optimieren. In diesem Zusammenhang spielt die Verknüpfung der Wertschöpfungspartner eine bedeutende Rolle. Diese sollen dazu befähigt werden, im Zuge industrieller gemeinschaftlicher Arbeit gemeinsam anspruchsvolle Projekte im Bereich des Industrieservice anzugehen. Da es hierbei auch Instrumente bedarf, die es ermöglichen, Daten und Informationen effizient und effektiv bereitzustellen, erfolgte eine Integration der DLA in das Projekt.

Zugleich stellte das Wissensmanagement ebenfalls eine bedeutende aktuelle Herausforderung für das Unternehmen WTD dar. Es wurde bereits erläutert, dass im Zuge der Tätigkeiten der WTD eine Vielzahl an Informationen und Daten anfallen, die für das Unternehmen von Bedeutung und Interesse für ein Wissensmanagement sein können. Im Unternehmen wurde bereits erkannt, dass die Errichtung eines anforderungsgerechten Wissensmanagements einen bedeutenden Erfolgsfaktor für die Zukunft des Unternehmens darstellen kann. Daher erschien es sinnvoll, die Eignung der DLA für den Einsatz im Rahmen dieses Use Cases zu prüfen.

Die Durchführung dieser Fallstudie erfolgte im Rahmen von Gesprächen mit Unternehmensvertretern des Unternehmens WTD. Dabei erfolgte eine Bewertung der Eignung der DLA für die Unternehmenszwecke im Zuge eines Wissensmanagements, sowie die Ermittlung von Randbedingungen, die einem möglichen Praxiseinsatz heute noch im Wege stehen.

### **Bewertung der digitalen Lebenslaufakte auf Blockchain-Basis für den Instandhaltungsservice**

Nach Ansicht der Unternehmensvertreter der Weldotherm Wärmetechnischer Dienst GmbH (WTD) macht der Einsatz einer DLA vor allem bei zwei Anwendungsfällen Sinn: Zum einen, wenn Kundenanlagen wärmetechnisch behandelt werden sollen und zum anderen, wenn eigene Maschinen, wie z. B. Glühanlagen zum Einsatz kommen. Beide Anwendungsfälle bieten unterschiedliche Anforderungen, auf welche im Folgenden separat eingegangen wird.

Im Vergleich der beiden Anwendungsfälle werden insbesondere dem ersten Fall umfassende Potenziale unterstellt. Da sich hierbei der Einsatz der DLA auf eine Anlage oder Maschine des Kunden bezieht, ermöglichen die Vorteile des DLA-Einsatzes eine effizientere Gestaltung zahlreicher Prozesse. So würde vor allem der heute sehr aufwändige Prozess der Informationsbeschaffung, rund um die zu behandelnde Anlage erheblich vereinfacht werden. Für WTD gestaltet sich die Beschaffung aller für Durchführung ihrer Instandhaltungstätigkeiten zwingend erforderlichen Informationen sehr aufwändig. Es müssen im Vorfeld sehr viele proaktive Nachfragen und Recherchen durchgeführt werden. Die Planung, Durchführung und der Abschluss von Instandhaltungstätigkeiten gestalteten sich dadurch wenig effizient. Würden die hierfür notwendigen Informationen und Daten bereits in einem wie die DLA vorliegen, wäre hier eine deutliche Effizienzsteigerung zu erzielen. Ebenso könnten auf der DLA die im Zuge der Arbeiten erforderlichen Dokumentationen und Nachweise erfolgen; wodurch nicht nur eine Steigerung der Transparenz (alle relevanten Parteien haben Zugriff darauf), sondern auch eine verbesserte Informationsbasis für nachfolgende Tätigkeiten unterstellt werden kann.

Läge die DLA auf einer Blockchain, wären zudem alle Informationen und Daten fälschungssicher und transparent abgelegt. Dies führt somit nicht nur zu einer Steigerung der Akzeptanz des Einsatzes einer DLA, sondern auch zur Stabilität der damit verbundenen Prozesse.

Der zweite Anwendungsfall bezieht den DLA-Einsatz bei der Verwendung von eigenen Anlagen. So würde sich eine DLA auf Blockchain-Basis dazu eignen, durchgeführte Tätigkeiten für einen Kunden transparent abzurechnen. Im Falle der Verwendung von Glühanlagen könnten die Betriebs- und Leistungsdaten der jeweiligen Anlage auf der Blockchain, z. B. in einer sich dort befindenden DLA, abgelegt werden. Durch die manipulationssichere und transparente Datenerfassung kann anschließend eine, insbesondere für den Kunden, nachvollziehbare Abrechnung der durchgeführten Leistungen erfolgen. Im Gegensatz zu konventionellen analogen und teilweise nur intransparent nachvollziehbaren Aufzeichnungen und Stundenzettel kann somit nicht nur die Kundenakzeptanz, sondern auch die Qualität des Leistungsprozess erhöht werden.

Durch die Einbeziehung von Smart Contracts könnte es zudem gelingen, differenzierte Leistungspakete abzubilden, die automatisiert abgerechnet werden. Die Grundlage hierfür ist ein stark digitalisierter, transparenter und manipulations-sicherer Prozess, welcher sich durch den Einsatz einer DLA und Blockchain-Technologie ergibt. Je nach Kundenbedürfnis, könnten so auf Basis eines Baukastenmodells kundenindividuell

<sup>3</sup> Sealed Services – Infrastruktur zur Realisierung industrieller Dienstleistungen in Wertschöpfungsnetzwerken im Kontext digitaler Integrität und Souveränität. Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Förderkennzeichen 02K18D137, gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

zugeschnittene Leistungspakete, mit teilweise automatisch durchgeführter oder überwachter Bezahlung angeboten werden. WTD könnte so z. B. neben der reinen Anzahl der Betriebsstunden auch die tatsächlich erbrachte Leistung der Glühanlage, wie z. B. das Glühen in unterschiedlichen Temperaturzonen, berücksichtigen und individuelle Leistungsangebote anbieten.

Dabei muss sich das zu betrachtende und zu erstellende Blockchain-Netzwerk nicht nur auf die Beziehung zwischen dem Auftraggeber und den Auftragnehmern der Dienstleistung, in diesem Anwendungsfall der Wärmebehandlung, beschränken. Ein größeres Netzwerk, bestehend aus unterschiedlichsten Netzwerkpartnern im Bezug zu Instandhaltungsdienstleistungen, ermöglicht zudem die Chance, gemeinschaftlich große Aufträge anbieten und bearbeiten zu können. Umso größer das Netzwerk ist, umso größer wird auch der Bedarf an einem abgesicherten, transparenten und manipulationssicheren Datenaustausch. Eine DAL auf Blockchain-Basis erhöht hier die Qualität der servicebezogenen Kommunikation und ermöglicht zudem die Gestaltung durchweg effizienter Prozesse.

Als Ergebnis der Bewertung des Einsatzes einer digitalen Lebenslaufakte (DLA) auf Blockchain-Basis für den Instandhaltungsservice kann festgehalten werden, dass der Einsatz zur Effizienzsteigerung führen kann, wenn ein vielfältiger Datenaustausch zwischen verschiedenen Wertschöpfungspartnern im Netzwerk existiert. Da die Dienstleistung in diesem Fall meist auf Daten basiert und die Qualität (sowohl der Daten als auch des Services) zur Vertrauensbildung und -steigerung führt, kann einer Blockchain-artigen DLA ein großes Potenzial unterstellt werden. Zudem bietet eine solche gleichfalls auch die Grundlage für weitere Interaktionen, wie z. B. Fiskalflüsse, zwischen allen Beteiligten.

### **Bewertung der digitalen Lebenslaufakte als Grundlage für ein Blockchain-basiertes Wissensmanagement**

Aufbauend auf den Erkenntnissen des vorherigen Abschnitts erfolgt nun eine Betrachtung, ob die Struktur der DLA auch als Grundlage für ein Wissensmanagement in der Instandhaltung verwendet werden könnte. Im Bezug zur Annahme, dass die DLA auf einer Blockchain-Basis vorliegt, wird im Folgenden ein unternehmensübergreifender Wissensmanagementansatz diskutiert. Ein rein unternehmensinterner Ansatz wird an dieser Stelle vorerst ausgeschlossen, da es in dieser Konstellation zu wenige nachweisepflichtige Interaktionen zwischen mehreren Parteien existieren.

Zuvor wurden bereits Bedenken hinsichtlich des unternehmensübergreifenden Charakters dieses Ansatzes beschrieben. So

wurde bereits festgestellt, dass oftmals im unternehmensspezifischen Wissen auch ein gewisser Anteil an speziellem Know-how enthalten ist, der als Wettbewerbsvorteil bzw. aus unternehmerischer Sicht auch als kritisch zu teilen eingestuft werden kann. Dieses Wissen möchten Unternehmen i. d. R. nicht ohne weiteres preisgeben. Daher ist im Vorfeld eine klare Abgrenzung der Wissensinhalte erforderlich, die im Rahmen eines DLA- und Blockchain-basierten Ansatzes geteilt werden sollen.

Unter dieser Prämisse wurden eine Reihe von Vorteilen eines DLA- und Blockchain-basierten Ansatzes mit dem Praxispartner besprochen. Als Ergebnis kann jedoch festgestellt werden, dass der Austausch zu unterschiedlichen Wissensinhalten über Unternehmensgrenzen hinweg grundsätzlich als sehr Positives bewertet wird. Somit kann der DLA unterstellt werden, dass sie grundsätzlich ein Instrument für ein unternehmensübergreifendes Wissensmanagement ist und die Rolle eines technischen Werkzeugs hierfür übernehmen kann.

Das Potenzial eines Blockchain-basierten Ansatzes für ein unternehmensübergreifendes Wissensmanagement wird vor allem in den Bereichen des Wertschöpfungsprozesses angesehen, in dem keine wettbewerbsrelevanten Daten und Informationen ausgetauscht werden müssen. Dies betrifft z. B. Wissensinhalte, die die Planung eines Instandhaltungseinsatzes oder die Arbeitsvorbereitung betreffen. Gleiches gilt auch für Informationen zu Ersatzteilen oder der Vorgehensweise zur Montage und Demontage von Komponenten.

Grundsätzlich sollte der Ansatz geteiltes Wissen nicht allen Teilnehmern in Gänze zur Verfügung zu stellen, sondern die Sichten und Berechtigungen über ein Rollenmanagement und den damit verbundenen Zugriffsrechten einzuschränken. Durch die Zugriffs- oder Änderungsberechtigungen kann somit das Wissensmanagement gezielt gesteuert werden. Da eine DLA auf Blockchain-Basis diesen Anforderungen gerecht wird, eignet sie sich daher gut als Basisinstrument für die Umsetzung eines unternehmensübergreifenden Wissensmanagements. Der Einsatz einer Blockchain-Technologie bietet hier den zusätzlichen Schutz vor einer Manipulation von Daten und unterbindet sofort jeglichen Sabotageversuch. Zusätzlich beugt der dezentrale Ansatz dieser Technologien einem möglichen Datenverlust, z. B. durch Serverausfälle, vor und leistet somit einen zusätzlichen Beitrag zur Datensicherheit.

Insgesamt kann der Einsatz einer DLA auf Blockchain-Basis als ein sehr vielversprechender Ansatz erachtet werden, insbesondere um einen unternehmensübergreifenden Daten- und Informationsaustausch zu ermöglichen. Die Vorteile dieser Kombination begünstigen zudem die Realisierung eines unternehmensübergreifenden Wissensmanagements.

## 5. Use Case: Predictive Maintenance

Zuvor wurde bereits festgestellt, dass eine zentrale Zielsetzung der Instandhaltung die Sicherstellung einer anforderungsgerechten Anlagenverfügbarkeit betrifft. Ausfälle zu produktionsungünstigen Zeitpunkten können nicht nur die Produktionsleistung, sondern auch die Qualität betreffen [47]. Eine Predictive Maintenance Strategie beispielsweise bei Werkzeugen kann den Ausschuss fehlerhafter Teile reduzieren, da in die Produktion eingegriffen wird, bevor verschleißbedingt die Qualität der Produkte nachlässt [48]. Da zudem für eine Instandsetzung der Anlage viele logistische Prozesse zu durchlaufen sind, kann es aus wirtschaftlicher und unternehmerischer Sicht sinnvoll sein, Ausfallzeitpunkte im Vorfeld prognostizieren zu können. Die Strategie einer Predictive Maintenance verfolgt genau dieses Ziel [49]. Da in diesem Kontext die Datenqualität, d. h. insbesondere die Datenkorrektheit und Datenverfügbarkeit, eine besondere Rolle spielen, werden in diesem Use Case die Unterstützungsmöglichkeiten von Blockchain-Technologien in konkretem Bezug zu einer Predictive Maintenance Strategie untersucht.

### 5.1. Einführung in den Use Case

Instandhaltungsmanager und Produktionsplaner versprechen sich mit Predictive Maintenance (PdM) als vorausschauende Instandhaltungsstrategie eine verbesserte Planbarkeit von notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen inklusive der zugehörigen Ressourcen und eine verbesserte Abstimmung der Instandhaltung mit den Abläufen der Produktion. Im besten Fall können die erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen so vorausbestimmt und in das Produktionsprogramm eingeplant werden, dass Stillstandzeiten auf ein Minimum reduziert werden können. PdM wird daher von vielen Unternehmen als sinnvolle Strategie wahrgenommen, um die Anlagenverfügbarkeit zu erhöhen, langfristig Kosten zu senken und neue Geschäftsmodelle aufzubauen.

#### Entwicklung und Systematik der Instandhaltungsstrategien

Die Entwicklung der Instandhaltungsstrategien hat sich von der reaktiven, ausfallbasierten und ungeplanten Instandsetzung hin zu aktiven, ausfallvorbeugenden und geplanten Strategien erweitert (vgl. Abbildung 4) [50].

Bei der ausfallvorbeugenden, periodischen Instandhaltung werden definierte Tätigkeiten in festgelegten, meist zyklischen, Abständen durchgeführt, unabhängig vom tatsächlichen technischen Zustand bzw. Abnutzungsgrad der betroffenen Systeme. Die ausfallvorbeugende, zustandsbasierte Instandhaltung hingegen orientiert sich möglichst genau am konkreten

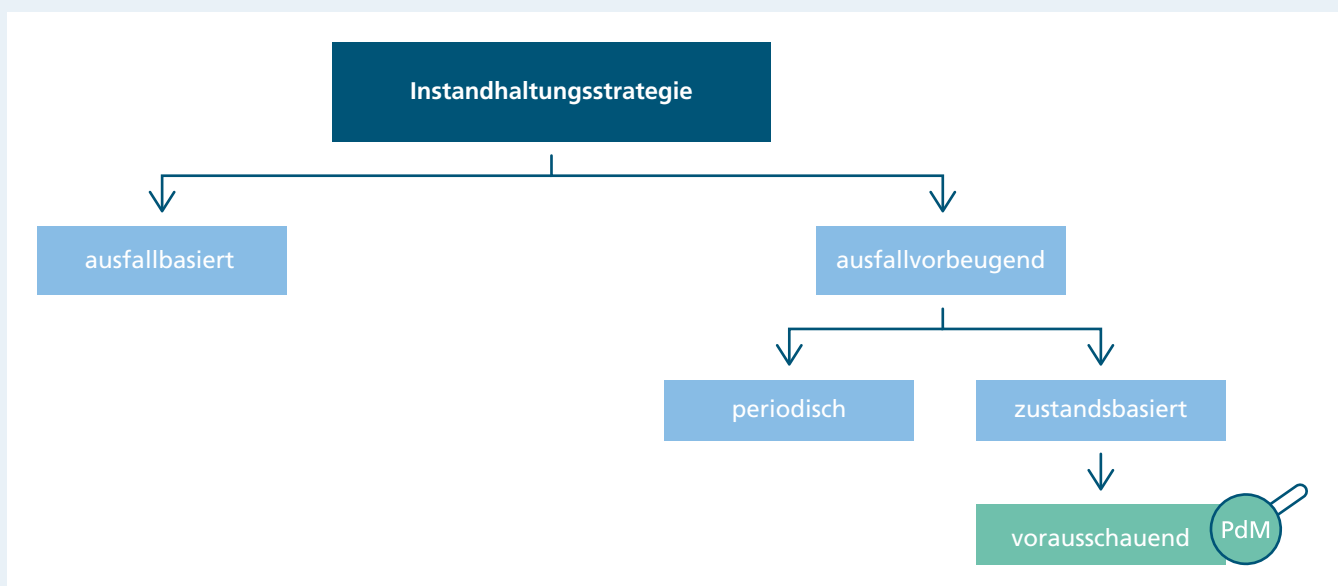


Abbildung 4: Einordnung einer Predictive Maintenance Strategie


Instandhaltungsstrategie		Eigenschaften	Werkzeuge und Assistenzsysteme		
Reaktiv ausfallbasiert		Ungeplante Instandsetzung im Bedarfsfall			
Aktiv ausfall- vorbeugend	Periodisch	Regelmäßige Instandhaltung nach festen Intervallen	Wartungspläne mit festgelegten Intervallen		
	Zustandsbasiert	Instandhaltung auf Basis des aktuellen technischen Zustands	Condition Monitoring-Systeme zur Zustandsdiagnose und -überwachung		
	Vorausschauend 	Instandhaltung auf Basis der verbleibenden Restnutzungsdauer		Systeme zur Prognose der Restnutzungsdauer	Systeme zur Entscheidungsunterstützung und teil-/ vollautomatisierter Eingriff
	Präskriptiv	Systemübergreifende Betrachtung und aktive Maßnahmen zur Verlängerung der Restnutzungsdauer			

Abbildung 5: Merkmale der Instandhaltungsstrategien [i. A. a. [50]]

Abnutzungsgrad, welcher bspw. mit Hilfe geeigneter Condition Monitoring-Systeme ermittelt werden kann. Die ausfallvorbeugende, vorausschauende Instandhaltung (PdM) geht noch einen Schritt weiter: In der DIN EN 13306 wird diese definiert als »Zustandsorientierte Instandhaltung, die nach einer Vorhersage, abgeleitet von wiederholter Analyse oder bekannten Eigenschaften und Bestimmung von wichtigen Parametern, welche den Abbau des Objekts kennzeichnen, durchgeführt wird« [51]. Sie basiert somit auf einer Zustandsbewertung und einer darauf aufbauenden Vorhersage der verbleibenden Restnutzungsdauer. Dadurch wird ermöglicht, dass die Produktionsplanungen für die Bestimmung des optimalen Zeitpunkts für die Durchführung der erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen berücksichtigt werden bzw. beide in enger Absprache zueinander erfolgen können. Darüber hinaus zeigen neueste Entwicklungen bereits weitergehende Ansätze auf, wie bspw. präskriptive Strategien. Präskriptive Ansätze integrieren meist Assistenzsysteme zur Entscheidungsunterstützung, welche auf Basis eines Wissensmanagements Handlungsalternativen vorschlagen, diese teilweise bewerten oder auf dieser Bewertungsgrundlage eine Entscheidung treffen können. Dadurch können teil- oder vollautomatisiert Eingriffe in den zugrundeliegenden Systemen vorgenommen werden. [50]

PdM kombiniert somit die Merkmale einer Zustandsbewertung und einer Prognose mit der vorausschauenden Planung und Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen (vgl. Abbildung 5) und ist in der Systematik der Instandhaltungsstrategien in die Kategorie der ausfallvorbeugenden Strategien einzuordnen (vgl. Abbildung 4).

**Charakteristika von Predictive Maintenance**

PdM basiert auf der Erfassung und Auswertung von bestimmten Echtzeitdaten aus dem betrieblichen Umfeld einer Maschine, bspw. Sensor-, Prozess oder Maschinendaten, in Kombination mit weiteren relevanten Informationen, bspw. aus Inspektions- und Wartungsplänen. Auf Grundlage dieser Daten und Informationen und durch den Einsatz bestimmter Analyseverfahren erfolgen eine Zustandsbewertung und Prognose. Diese haben zum Ziel, bestimmte Ereignisse, bspw. sich anbahnende Schäden oder Ausfälle, vorhersagen zu können. Erst durch die Prognose potenzieller Störungen können Instandhaltungsbedarfe abgeleitet und im Rahmen der Produktionsplanung berücksichtigt und eingeplant werden [52].

Durch PdM wird der Zeitpunkt der Kenntnis, dass eine Instandhaltungsmaßnahme notwendig ist, in der Regel vorverlagert. Somit ergeben sich gänzlich neue Möglichkeiten, um einen geeigneten Zeitpunkt für die erforderliche Maßnahme zu identifizieren, sofern diese nicht zwingend unmittelbar erfolgen muss, sondern – in Abhängigkeit einer Risikoeinschätzung – zu einem späteren Zeitpunkt stattfinden kann. Auf diese Weise entsteht ein Zeitfenster zwischen der Kenntnis des aktuellen Zustands und einem bevorstehenden Schadensereignis, das einen gewissen Spielraum bietet, um in Abstimmung mit dem Produktionsprogramm die erforderliche Instandhaltungsmaßnahme vorausschauend einzuplanen. [52]

### Vorteile von Predictive Maintenance

Die Vorteile von PdM liegen auf der Hand [53]:

- PdM befähigt dazu, bestimmte Ereignisse vorherzusagen. Somit können erforderliche Instandhaltungsmaßnahmen frühzeitig eingeleitet und in Abstimmung mit dem Produktionsprogramm terminiert und in der Folge ungewollte Stillstandzeiten auf ein Minimum reduziert werden.
- Durch PdM lassen sich die mit der Instandhaltung verbundenen Ressourcen besser planen. Dies betrifft das Instandhaltungs- bzw. Servicepersonal und ebenso das Ersatzteilmanagement.
- Die im Kontext von PdM gewonnenen Daten und Informationen können als Grundlage für weitergehende Verwendungen genutzt werden, bspw. zum Ziehen von Rückschlüssen für die Optimierung von Abläufen, Anlagen oder Maschinen.

### Herausforderungen

Neben den Vorteilen von PdM sind jedoch auch die damit verbundenen Herausforderungen nicht zu vernachlässigen:

Eine große Herausforderung liegt im erforderlichen Datenmanagement bzw. in der Notwendigkeit, eine große Menge an vergleichbaren Daten und Informationen aus unterschiedlichen Quellen in unterschiedlichen Formaten zu organisieren. Dazu gehören Echtzeitdaten aus dem Betriebsumfeld einer Maschine, bspw. Sensor-, Prozess oder Maschinendaten, und weitergehende Informationen aus bspw. Inspektions- und Wartungsplänen. Diese Daten müssen in geeignete Systeme überführt, meist langfristig gespeichert und im Zuge der Auswertung in einen gemeinsamen Kontext gebracht werden.

Eine weitere große Herausforderung betrifft in diesem Zusammenhang das Datenmanagement in einem Netzwerk. Häufig müssen im Kontext von PdM auch Daten- und Informationen über verschiedene Bedarfsträger, bspw. Anlagenbetreiber, Anlagenhersteller und Instandhaltungsdienstleister, hinweg ausgetauscht werden. Dabei haben die unterschiedlichen Netzwerkpartner oftmals unterschiedliche Erwartungen an den Daten- und Informationsaustausch sowie insbesondere an die Auswertung

und die weitere Verwendung von generiertem Wissen. Häufig bestehen hier Interessenkonflikte, die erhöhte Anforderungen an die Sicherheit und die Transparenz beim Datenaustausch sowie die Datenverwendung zwischen Netzwerkpartnern betreffen.

## 5.2. Stand der Technik und Potenzialermittlung

PdM als ausfallvorbeugende, vorausschauende Instandhaltungsstrategie ermöglicht Unternehmen das ›Unplanbare planbarer‹ zu gestalten. Mit Hilfe von PdM lassen sich Ausfallzeitpunkte besser prognostizieren und ermöglichen Unternehmen, ihre Produktions- und Instandhaltungsplanung bei sich selbst oder innerhalb einer Kunden-Lieferanten-Beziehung im unternehmerischen Optimum abzustimmen. Hierfür sind jedoch auch einige Herausforderungen zu lösen.

Für den Use Case ›Predictive Maintenance‹ sind daher folgende drei Anwendungsfälle definiert worden, bei denen der Einsatz einer Blockchain-Technologie näher betrachtet wird:

- Datenaustausch im Netzwerk: Hier steht der unternehmensübergreifende Austausch von relevanten Daten im Kontext von PdM im Fokus.
- Pay-Per-Availability: Hier wird das auf PdM aufbauende Geschäftsmodell Pay-Per-Availability und die damit einhergehenden Herausforderungen innerhalb der Kunden-Lieferanten-Beziehung betrachtet.
- Sharing Plant als Beispiel einer Sharing Economy: In diesem Anwendungsfall wird eine leistungsbezogene Abrechnung anhand eines Geschäftsmodells, bei dem mehrere Unternehmen Eigentümer einer Anlage sind, thematisiert.

In allen drei Anwendungsfällen wird untersucht, inwiefern der Einsatz einer Blockchain-Technologie einen Vorteil bringen kann und welche Herausforderungen hierbei zu nehmen sind.

### 5.2.1. Anwendungsfall: Datenaustausch im Netzwerk

PdM soll das Unplanbare planbarer machen. Anlagenstörungen und Produktionsunterbrechungen treten in der Zielsetzung nicht mehr rein zufällig und adhoc auf, sondern der Ausfallzeitpunkt ist bereits im Vorfeld und im Idealfall auch mit genügend Vorlaufzeit bekannt. Instandhaltungsmanager und Produktionsplaner verfolgen mit PdM somit das Ziel, eine Analyse- und Reportingbasis zu erhalten, auf der sie fundierte Entscheidungen treffen können. In diesem Kontext kann z. B.

eine Entscheidung darin bestehen, eine Instandhaltungsmaßnahme (z. B. einen Bauteilaustausch) dann einzuplanen, wenn es aus Sicht von Produktions- und Instandhaltungsplanung sowie Nachhaltigkeitsaspekten optimal ist. Im Idealfall werden alle Planungen zur Maßnahmendurchführung unter wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Aspekten durchgeführt. Dies umfasst z. B. notwendige Beschaffungen von Ressourcen, wie bspw. Ersatzteile oder zusätzlich benötigte Hilfsmittel, und die Zurverfügungstellung von fachkundigem Personal, um ohne Überstunden für die Maßnahme selbst oder für Nacharbeiten die Tätigkeiten einplanen zu können. Auch die Auswirkungen der Produktionsunterbrechung auf Aspekte, die den ökologischen Fußabdruck negativ beeinträchtigen könnten, bspw. energieintensive Ramp-Ups, spielen hier eine Rolle.

Um diese Zielsetzung zu erreichen, müssen die mathematischen Modelle zur Ermittlung eines sich anbahnenden Ausfalls eine hohe Prognosegüte aufweisen. Aus diesem Grund haben Prädiktive Analysemethoden (Predictive Analytics) im Kontext der Instandhaltung zunehmen an Bedeutung gewonnen [54]. Die Basis bilden dabei die vorhandenen Maschinen- und Produktionsdaten, welche mithilfe von Sensorik den aktuellen Zustand der betrachteten Objekte abbilden kann. Für eine optimale Analyse der Daten ist eine ausreichend hohe Datenqualität unerlässlich [55]. Zum einen dienen die Daten zum Erlernen oder zur Optimierung vorhandener mathematischer Modelle und zum anderen zur Verifizierung der Korrektheit neu erlernter Zusammenhänge.

Nicht für jeden Anwendungsfall bzw. jedes Unternehmen ist es wirtschaftlich betrachtet sinnvoll, die benötigte Datenbasis selbstständig aufzubauen [56]. Um möglichst schnell und fortlaufend die erforderlichen großen Datenmengen zu generieren, könnte es wirtschaftlich gesehen deshalb sinnvoll sein, dass sich Unternehmen in einem Netzwerk zusammenschließen und über dieses Netzwerk die relevanten Daten austauschen. Dieses Netzwerk könnte beispielsweise aus Herstellern und Betreibern von Maschinen bestehen. Um wettbewerbskritische Situationen zu vermeiden, ist zwingend darauf zu achten, dass auf Basis der geteilten Daten keine Rückschlüsse auf produktions- und unternehmensrelevante Informationen gezogen werden können. Hier sind Datensouveränität, d. h. die Fähigkeit zur ausschließlichen Selbstbestimmung der Daten [57] und die Korrektheit und Verlässlichkeit der Daten wichtige Aspekte.

Zur Wahrung der geforderten Datensouveränität, Verschlüsselung und Verifizierung der Korrektheit erfasster und ausgetauschter Daten über die Anlage, ihrer Komponenten, ihr Einsatzumfeld und Lebenszyklus wird nun nachfolgend der Einsatz einer Blockchain-Technologie im Detail betrachtet. Dabei werden die Vorteile und die mit dem Einsatz einhergehenden Herausforderungen hervorgehoben und gegenübergestellt.

Blockchain-Technologien stellen die Manipulationssicherheit der in der Blockchain gespeicherten Daten sicher. Mit Hilfe von

Smart Contracts lassen sich zudem Prozesse in unveränderbarer Reihenfolge unterstützen oder steuern. Die Reihenfolge der Prozessabarbeitung ist dabei im Vorfeld fest definiert und im Nachhinein unveränderbar. Smart Contracts könnten somit für die Erfassung, Korrektheitsprüfung und Anonymisierung von Daten bei Unternehmen eingesetzt werden, ohne dass diese an Güte für die Prognosen im Kontext von PdM verlieren.

Würden jedoch alle ausgetauschten Informationen auf einer Blockchain gespeichert, würde das Blockchain-Netzwerk irgendwann Kapazitätsengpässe aufweisen. In der Folge würden sich die Vorteile der dezentralen Speicherung auf einer Blockchain in einen großen Nachteil umwandeln. Um diese Problematik zu umgehen, könnte die Blockchain ausschließlich zur Verifizierung der Echtheit von konventionell gespeicherten Daten verwendet werden. Das bedeutet, dass die ausgetauschten Daten weiterhin konventionell, bspw. auf einem Cloud-Speicher oder in einem sogenannten InterPlanetary File System, gespeichert werden. Die Prozesse der Datenerfassung über die Anonymisierung bis hin zur vereinbarten Verwendung werden zwar über Smart Contracts gesteuert, die Daten selbst verbleiben jedoch auf konventionellen Speichermedien. Innerhalb dieses Prozesses übernehmen wiederum spezielle Smart Contracts die Verifizierung der Datenkorrektheit. Sie erstellen an geeigneten Prozessstellen einen Hashwert im Sinne eines Fingerabdrucks und hinterlegen diesen dann im Blockchain-Netzwerk. Somit kann jederzeit die Manipulationssicherheit der Daten sichergestellt werden.

Durch den Datenaustausch im Netzwerk können Analyseverfahren deutlich schneller die geforderte Prognosegüte erreichen als aufgrund einer Datenbasis von nur einem einzigen Unternehmen. Smart Contracts stellen die Korrektheit ausgetauschter Daten sicher und wahren die Schutzbedürftigkeit von sensiblen und unternehmensspezifischen Daten. Eine Blockchain-Technologie kann somit zur schnellen Realisierung und zur Akzeptanzsteigerung von Predictive Maintenance eingesetzt werden. Zudem werden darauf aufbauend neue Plattform-Ökonomien und Geschäftsmodelle ermöglicht.

### 5.2.2. Anwendungsfall: Pay-Per-Availability

Investitionen, insbesondere in Produktionsanlagen, sind im Vorfeld sorgfältig abzuwägen. Auf der einen Seite stehen die Chancen, die sich mit der Investition ergeben. Auf der anderen Seite stehen Unsicherheiten, die bspw. die Amortisationszeit verlängern oder eine Amortisation gar unmöglich machen. Insbesondere in Krisenzeiten können nicht oder verspätet amortisierte Investitionsentscheidungen unternehmenskritisch sein.

Eine Alternative zu Investitions- bzw. Kaufentscheidungen in Produktionsanlagen sind Geschäftsmodelle, die das

Amortisations- und Kapitalbindungsrisiko reduzieren, bspw. sogenannte Subscription Models. Derartige Geschäftsmodelle sind maßgeblich durch die folgenden vier Charakteristika gekennzeichnet [58]:

1. Kein Eigentumsübergang: Der Kunde bezahlt den Zugang zu einer Leistung, erwirbt jedoch kein Eigentum. Produzierte Güter verbleiben beim Kunden. Übertragen auf eine Produktionsanlage bedeutet dies: Der Produzent wäre als Kunde zwar der Besitzer der Anlage, was bedeutet, dass diese in seinem Produktionsumfeld steht oder er mindestens auf sie zugreifen kann, sie allerdings im Eigentum des Lieferanten verbleibt.
2. Pay-Per-X: Die Abrechnung erfolgt zyklisch oder wiederkehrend auf Basis einer zuvor fest vereinbarten zeit-, nutzungs- oder outputorientierten Leistungsgröße. Übertragen auf eine Produktionsanlage bedeutet dies, dass die Fakturierung bspw. nach der Stand- oder Nutzungsdauer oder der Ausbringungsmenge erfolgt.
3. Kontinuierliche Verbesserung: Auf Basis erfasster Nutzungsdaten wird die Leistung kontinuierlich verbessert und/oder die Funktionalität erweitert. Übertragen auf eine Produktionsanlage könnten diese Aspekte die drei Dimensionen Overall Equipment Effectiveness (OEE), Verfügbarkeit und Leistung bzw. Qualität betreffen. Zur Verbesserung der Verfügbarkeit könnte z. B. die Betriebszeit vergrößert oder Anlagenstillstände reduziert werden. Erhöhte Kapazitäten oder eine Erhöhung der Produktionsgeschwindigkeit würden sich positiv auf die Leistung auswirken; genauso, wie eine Erhöhung der Ist-Menge oder eine Reduzierung des Ausschusses positive Effekte auf die Qualität besitzt. [59, 60].
4. Kurze Kündigungsfristen: Die Leistungsbeziehung wird für eine begrenzte Dauer beschlossen. Im Falle einer Kündigung sind alle Leistungsbestandteile, physischer wie nicht physischer Art, dem Lieferanten wieder auszuhändigen. Übertragen auf eine Produktionsanlage ist selbstverständlich eine gewisse Vorlauf- bzw. Kündigungsfrist zu vereinbaren, da eine Anlage meist nicht adhoc zurückgegeben werden kann; es sei denn, sie steht nicht beim Produzenten bzw. Kunden selbst, sondern er erhält nur Zugriff auf deren Leistung. Die produzierten Güter verbleiben natürlich beim Kunden selbst.

Subscription Models besitzen demnach sowohl für Lieferanten (z. B. Hersteller) als auch für Kunden (Produzenten) Vorteile. Der Kunde minimiert sein Amortisationsrisiko und reduziert seine Eigenkapitalbindung und erhält dennoch den Zugriff auf eine Leistung (z. B. eine Produktionsanlage). Lieferanten können einen stetigen CashFlow generieren und erhalten zudem Zugriff auf Nutzungsdaten, wodurch Sie ihre Anlagen schneller optimieren und an die Kundenbedürfnisse anpassen können. [61]

PdM und Blockchain-Technologien können wichtige Bestandteile eines solchen Geschäftsmodell werden, und zwar aus den folgenden Gründen:

Das primäre Ziel von Produktionsunternehmen ist die Aufrechterhaltung der Produktionsfähigkeit und des Vertriebs ihrer selbst hergestellten Produkte. Hierfür benötigen sie eine möglichst hohe und ausgewogene OEE. Nicht nur müssen die Leistung der Anlage die gewünschte Ausbringungsmenge ermöglichen und die Produktqualität im Einklang mit den Kundenbedürfnissen stehen, sondern die Anlage muss auch eine möglichst hohe Verfügbarkeit aufweisen und zwar genau dann, wenn sie auch benötigt wird. PdM verfolgt das Ziel, die sinngemäße »Gesundheit« der Anlage bzw. ihrer Komponenten zu erfassen, zu bewerten und einen Ausfall zu prognostizieren, so dass erforderliche Maßnahmen in Abstimmung mit der Produktion durchgeführt werden können und Stillstandzeiten sowie Ausschüsse aufgrund von Störungen und unplanmäßigem Anfahren der Anlage reduziert werden.

Aus Sicht eines Kunden und seinen Anforderungen, Risiken minimieren zu müssen, umfasst das ideale Subscription Model die Mietung einer Anlage, welche in seinem Produktionsumfeld steht, und eine Bezahlung auf Basis der Anlagenverfügbarkeit. Innerhalb dieses Rahmens kann der Kunde in seinem Umfeld und unter Berücksichtigung seines eigenen Know-how produzieren, ohne sich um die Aufrechterhaltung der Anlagenverfügbarkeit »kümmern« zu müssen.

Der Anlagenhersteller bzw. Lieferant muss in diesem Fall nicht nur für sich selbst, sondern im Einklang mit dem Kunden die Aufgaben der Instandhaltung vor Ort, d. h. in den Räumlichkeiten des Kunden, einplanen und durchführen. Hierfür eignet sich selbstverständlich PdM. Dadurch erhält er die wichtigsten Informationen über Anlagen- und Komponentenzustände, um seine Instandhaltungsaufgaben im Kundenbezug wahrnehmen zu können.

Bei dieser Art der Pay-Per-Availability handelt es sich um eine sehr enge und datenintensive Partnerschaft mit zwei großen Herausforderungen:

- Der Kunde muss nachweisen, dass die Anlage bestimmungsgemäß betrieben wird, und
- der Lieferant muss nachweisen, dass er seiner Aufgabe der Aufrechterhaltung der Verfügbarkeit nachkommt und die erfassten Daten bestimmungsgemäß behandelt hat.

Diese Anforderungen erhalten bei auftretenden Störungen nochmals eine stärkere Bedeutung, da beide Seiten zur Klärung des Verursachers die zuvor aufgeführten Nachweise erbringen müssen. Denn nur dann kann eine faire und vertragskonforme Beurteilung der Aufwände und Kosten erfolgen.

Bei Verwendung einer Blockchain-Technologie könnten die Daten erfasst werden, die auch zwingend für die oben angesprochenen Herausforderungen erforderlich sind. Blockchain-zertifizierte Sensoren könnten die Datenerfassung und unmittelbare Speicherung im Blockchain-Netzwerk übernehmen.

Über eine Vorfilterung der Daten wird sichergestellt, dass nur nachweisrelevante Informationen und Manipulationsversuche auf der Blockchain hinterlegt werden. Die anschließende Weiterverarbeitung der Daten wird von Smart Contracts gesteuert. Je nachdem, ob es sich um einen nicht konformen Betrieb oder einen anbahnenden Ausfall handelt, initiieren Smart Contracts die erforderlichen Maßnahmen. Durch die Protokollierung der durchgeführten Tätigkeiten erhalten beide Seiten jederzeit Transparenz über alle erfolgten und ausstehenden Schritte. Dabei stellen zugewiesene Schreib-, Veränderungs- und Leseberechtigungen sicher, dass nur die betroffenen Parteien die Daten einsehen können, die für sie, ggf. im entsprechenden Prozess, vorgesehen sind.

Die Vorteile einer Blockchain-Technologie verstärken sich dann, wenn der Lieferant die Tätigkeiten zur Aufrechterhaltung der Verfügbarkeit an einen Dritten, d. h. an einen Dienstleister, vergibt. Durch die Exkulpation werden weitere Schnittstellen erzeugt, die durch die gesteigerte Transparenz und Rückverfolgbarkeit aller durchgeführten Tätigkeiten mit Hilfe der Blockchain-Technologie und auf ihr ablaufender Smart Contracts sinnvoll und nachhaltig bedient werden. Es ist jederzeit ersichtlich, ob der Dienstleister die erforderlichen Abstimmungen mit dem Kunden (z. B. über den geeigneten Zeitpunkt einer durchzuführenden Wartung) eingeleitet oder Maßnahmen beim Kunden durchgeführt hat. Durchgeführte Maßnahmen können durch Gegenzeichnung, stichprobenartig protokollierte Prüfungen oder auch über Smarte Werkzeuge, die ihre Daten direkt ans Blockchain-Netzwerk übermitteln, nachgehalten und dokumentiert werden.

Durch das Herstellen einer großen Transparenz und einer manipulationssicheren Datenbasis fördert die Blockchain-Technologie im Anwendungsfall ›Pay-Per-Availability‹ die Aufrechterhaltung des Vertrauens in die Partnerschaft, insbesondere bei auftretenden Störungen. Der Einsatz einer Blockchain-Technologie ermöglicht im Ergebnis die nachhaltige Realisierung eines Pay-Per-Availability-Geschäftsmodells.

### 5.2.3. Anwendungsfall: Sharing Plant als Beispiel einer Sharing Economy

Eine sogenannte Sharing Economy wird oftmals als ein wichtiger Baustein für den volkswirtschaftlichen Übergang zur Nachhaltigkeit angesehen [62]. Daher wurde sie hier als Basis für den dritten Anwendungsfall ausgewählt. Eine Sharing Economy beschreibt in diesem Sinne nicht in jedem Fall Eigentümer eines Wirtschaftsgut sein zu müssen, sondern sich die Nutzung über vertragliche Vereinbarungen zu sichern [63]. In Abgrenzung zum vorherigen Anwendungsfall liegt die Besonderheit nun darin, dass sich mehrere Unternehmen eine Produktionsanlage teilen. Die Anlage kann sich entweder bei einem der

partnerschaftlich zusammenarbeitenden Unternehmen oder auch bei einem Dritten befinden. Dementsprechend kann es zu zwei Konstellationen bzw. Geschäftsmodellen kommen:

- a. Die Anlage gehört allen Unternehmen, sie wird aber nur von einem Unternehmen betrieben,
- b. Die Anlage gehört zwar allen Unternehmen, ihr Betrieb ist jedoch an einen Dienstleister fremdvergeben.

In beiden Fällen kommt es zu einer unternehmensübergreifenden Zusammenarbeit (Vertragsbindung) und einer erzeugnisorientierten Bezahlung (Pay-Per-Use). Insbesondere der Pay-Per-Use-Ansatz fördert die indirekte Verpflichtung, eine hohe Anlagenverfügbarkeit herzustellen. Wie bereits weiter oben beschrieben, eignet sich in diesem Fall die Anwendung von PdM. Insbesondere im Geschäftsmodell b, bei welchem der Betrieb der Anlage an einen Dienstleister vergeben wurde, verstärkt sich der Nutzen von PdM. Der Dienstleister muss hier eine möglichst hohe Anlagenverfügbarkeit sicherstellen, da sich seine Fakturierung meist auch an dieser Kennzahl orientiert.

Die Gründe, warum Unternehmen auf eine Sharing Plant zurückgreifen, können vielfältig sein. Es kann z. B. der Wunsch nach einer geringeren Kapitalbindung im Vordergrund stehen. Ebenso kann die Problematik bestehen, dass ein Unternehmen die Anlage selbst nicht auslasten kann und somit die Amortisationsdauer ungewiss oder als zu lang erachtet wird oder es sollen mit der Anlage nur temporäre Bedarfsspitzen ausgeglichen werden. Die wesentlichen Ziele bestehen also in der Senkung der Transaktionskosten und im Wunsch einer höheren Flexibilität [64].

In jedem Fall sind die Produktionsaufträge dem Anlagenbetreiber zu übermitteln, welcher sie dann einplanen, die notwendigen Ressourcen und Logistik organisieren und final abrechnen muss. Im Sinne einer möglichst hohen Transparenz sollte jeder Beteiligte dieser unternehmensübergreifenden Transaktion zu jedem Zeitpunkt Einblick in den aktuellen Status, die bereits getätigten Schritte und prognostizierten Zeitpunkte erhalten. Wie bereits zuvor mehrfach herausgearbeitet, bietet die Blockchain-Technologie die Möglichkeit, den gewünschten Grad an Transparenz sicherzustellen. Zum Aufzeigen der Potenziale einer Blockchain für diesen Anwendungsfall sind die unternehmensübergreifend ausgetauschten Informationsprozesse genauer zu betrachten. Sie umfassen die Prozessketten von:

- Der Auftragserstellung bis zum Versand des produzierten Gutes,
- Der Identifikation von zeitlichen Abweichungen (aufgrund veränderter Zustandswerte) bis hin zur Lösungsfindung,
- Der Rechnungserstellung bis zum Zahlungseingang.

Der idealtypische Prozess von der Auftragserstellung bis zur In-Empfangnahme ist in Abbildung 6 dargestellt. In einem



konventionellen Wirtschaftsverhältnis zweier Unternehmen, bei der weder eine starke Abhängigkeit noch eine hohe Transparenz vorherrscht, gäbe es normalerweise nur zwei bzw. drei Informationsaustausche.

Neben den erforderlichen Übermittlungen der Beauftragung und der Auftragsannahme, mit welcher i. d. R. ein geplanter, jedoch meist unverbindlicher Liefertermin genannt wird, erhält das beauftragende Unternehmen oftmals nur noch die Information über einen bestätigten Versandtermin und ggf. auch über einen fixierten Produktionstermin.

In diesem Anwendungsfall existiert hingegen eine Zusammenarbeit, bei der ein enger und transparenter Informationsaustausch zwingend gewollt ist. Auch die beauftragende Partei möchte sich jederzeit über den aktuellen Status und die geplanten Zeitpunkte ihres Auftrags verbindlich und transparent informieren können. Bei Integration einer Blockchain-Technologie wäre es daher möglich, relevante, auftragsbezogene Prozesszustände direkt im Blockchain-Netzwerk zu hinterlegen. Hierzu könnte z. B. die in Kapitel 3.2 vorgestellte digitale Mappe verwendet werden. Im Ergebnis fände jedes am Auftrag beteiligte Unternehmen auftragsbezogene Dokumente und Informationen zusammengefasst in seiner Wallet. Die jederzeit verfügbare Transparenz über die einzelnen Auftragschritte kann als Basis für unternehmensübergreifend und automatisiert ablaufende Prozesse herangezogen werden. Somit können sich beide Vertragsparteien prozessual optimieren und die Prozesskette von der Auftragserstellung bis zum Versand des produzierten Gutes transparent und effektiv durchlaufen werden.

Die unmittelbare Hinterlegung jeglicher Prozessschritte bzw. des Auftragsstatus in einer digitalen Mappe bietet gleichfalls eine ideale Basis, um Abweichungen von prognostizierten oder verbindlichen Zeitpunkten zu identifizieren. Je später eine Störung im Produktionsprozess in der Prozesskette zur Auftragsabarbeitung bekannt wird, umso größer sind meist die Auswirkungen beim beauftragenden Unternehmen bzw. auf dessen Planung. Eine sinnvolle Möglichkeit in der Prognose

von Ausfallzeitpunkten besteht in der Anwendung von PdM. Der Anlagenbetreiber kann dabei seine Netzwerkpartner möglichst frühzeitig über notwendige Eingriffe und entstehende Verzögerungen informieren. Über eine digitale Mappe bzw. die Informationsabspeicherung im Blockchain-Netzwerk können die Informations- und mögliche Deeskalationsprozesse über Smart Contracts automatisiert und transparent gestaltet werden. Beide Vertragsparteien erhalten dadurch eine optimale Datenbasis, um reagieren zu können.

Gleiches gilt für die Fakturierung innerhalb dieser Geschäftsmodelle. Bei einer Sharing Plant erfolgt die Rechnungstellung und Bezahlung ergebnisorientiert. Das heißt, es werden die laufenden Kosten für die Produktion, Instandhaltung und ggf. Finanzierung gerecht, auf der erzeugten Menge, auf alle Vertragspartner verteilt.

Durch die transparente Erfassung der Auftragszustände, geplanter und zugesicherter Zeitpunkte und erkannter Maßnahmen auf Basis von Predictive Maintenance sind neben automatisiert ablaufenden Rechnungserstellungs-, Prüfungs- und Bezahlprozessen bei den Vertragsparteien, auch weitere Bezahlmodelle realisierbar. So könnte die Preisgestaltung der Auftragsfakturierung in Abhängigkeit der aktuellen und geplanten Anlagenauslastung erfolgen.

Bei der Auslagerung des Betriebs an einen Dienstleister, könnte ebenfalls seine Bezahlung in Abhängigkeit seiner Maßnahmen und Reaktionszeiten zur Aufrechterhaltung der Anlagenverfügbarkeit gestaltet werden. Die hierfür benötigte transparente und manipulations sichere Datenbasis stellt ein Blockchain-Netzwerk aufgrund seiner systemimmanenten Struktur sicher.

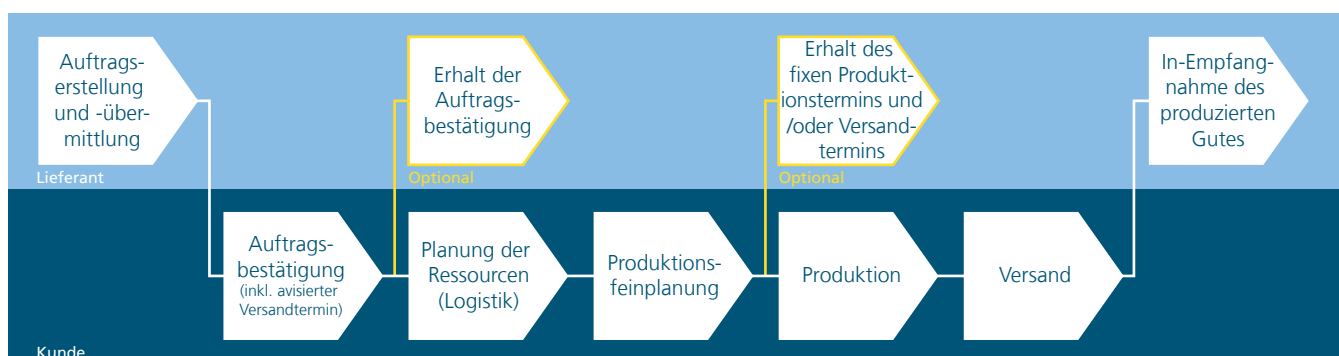


Abbildung 6: Idealtypischer Prozess

## 5.3. Bewertung

In den drei Anwendungsfällen zum Use Case PdM konnte der Nutzen einer Blockchain-Technologie im Kontext von PdM aufgezeigt werden. Im Anwendungsfall: Datenaustausch im Netzwerk konnte aufgezeigt werden, dass eine Blockchain-Technologie zur schnelleren Realisierung der erforderlichen Prognosegüte und insbesondere zur Akzeptanzsteigerung, relevante Daten unternehmensübergreifend zu teilen, führen kann. Die erforderliche Datensouveränität kann über das Blockchain-Netzwerk und definierten und darauf ablaufenden Smart Contracts hergestellt werden.

Die verbesserte Datenbasis ermöglicht ebenfalls die nachhaltige Generierung und Etablierung neuartiger Geschäftsmodelle. So konnte im zweiten Anwendungsfall: Pay-Per-Availability herausgearbeitet werden, inwiefern Blockchain-Technologien die transparente und manipulationssichere Datenbasis sicherstellen können, um Produktionsanlagen nicht mehr in Gänze kaufen oder finanzieren zu müssen, sondern sie auf Basis der Anlagenverfügbarkeit mieten zu können. Hierbei erfolgt die Bezahlung in Abhängigkeit der Anlagenverfügbarkeit, die durch den Hersteller selbst oder durch einen von ihm beauftragten Dienstleister sichergestellt wird. Durch die Verwendung von Blockchain-Technologien kann der Kunde (Betreiber) jederzeit seinen ordnungsgemäßen Betrieb und derjenige, der die Anlagenverfügbarkeit sicherstellen muss, die Rechtzeitigkeit seiner Maßnahmen nachweisen. Im Ergebnis erhalten beide Parteien eine transparente und verlässliche Datenbasis, auf welcher im Falle von Störungen oder sonstigen Beeinträchtigungen der Anlagenverfügbarkeit eine, für beide Seiten, faire Entscheidung treffen zu können.

Im dritten Anwendungsfall wurde der Nutzen eines Blockchain-Netzwerks für einen weiteren Anwendungsfall im Rahmen einer Sharing Economy herausgestellt. Im Anwendungsfall: Sharing Plant als Beispiel einer Sharing Economy wurde der Fall behandelt, dass eine Anlage zwar mehreren Unternehmen gehört, sie aber physisch entweder bei einem Partner oder bei einem beauftragten Dienstleister steht. Unternehmen erhalten bei diesen Geschäftsmodellen, wie auch im Anwendungsfall: Pay-Per-Availability, durch die Senkung der Transaktionskosten und der Kapitalbindungsrisikos eine höhere wirtschaftliche Flexibilität.

Es wurde aufgezeigt, wie Blockchain-Technologien durch eine, zu jeder Zeit verfügbare, Transparenz über jegliche Prozessschritte der Auftragsabarbeitung, eine Pay-per-Use-fähige Abrechnung mit einer fairen Kostenverteilung ermöglichen können. Aufbauend auf dieser Informationsbasis wurden zudem weitergehende Bezahlmodelle und die Notwendigkeit

und den Einfluss von PdM aufgezeigt. Die Verbindung von PdM mit Blockchain-Technologien ermöglicht in diesem Kontext sowohl eine automatisierte und möglichst frühzeitige Information aller Beteiligten und die Einleitung anschließend erforderlicher Deeskalationsprozesse sowie auch eine Bezahlung in Abhängigkeit durchgeführter Maßnahmen und eingehaltener Reaktionszeiten zur Aufrechterhaltung der Anlagenverfügbarkeit.

Im Ergebnis der drei Anwendungsfälle stehen die vielfältigen Potenziale, die sich durch die Verwendung von Blockchain-Technologien bei Anwendung von Predictive Maintenance ergeben. Insbesondere für neue und zukunftssträchtige Geschäftsmodelle kann diese Kombination ein Enabler zur Realisierung und Akzeptanzschaffung bei Unternehmen sein.



© Adobe Stock, Studiorlando

## 6. Use Case: Kollaboratives Ersatzteilmanagement

Produzierende Unternehmen benötigen produktionsfähige Anlagen. Um bei Störungen und Stillständen schnell reagieren und Wartungen fristgerecht durchführen zu können, bevorraten die meisten Unternehmen Ersatzteile. Jedoch bindet die Bevorratung Kapital und kann dadurch die unternehmerische Flexibilität einschränken [65, 66]. Eine Möglichkeit, die Kapitalbindung zu reduzieren und die Teileverfügbarkeit zu erhöhen, kann eine partnerschaftliche Zusammenarbeit in diesem Funktionsbereich sein.

Dieser Use Case repräsentiert eine äußerst vertrauensintensive Zusammenarbeit im Anlagenmanagement. Störungen innerhalb dieser Kollaboration können zu Anlagenstillständen führen und somit ein Fortbestehen der Zusammenarbeit gefährden. Nachfolgend werden die Potenziale herausgestellt, die sich durch Anwendung der Blockchain-Technologie für diesen Use Case ergeben.

### 6.1. Einführung in den Use Case

In einem kollaborativen Ersatzteilmanagement werden Ersatzteile unternehmensübergreifend und partnerschaftlich gehandelt [67]. Ersatzteile dienen dem Zweck, durch den Austausch die Funktionsfähigkeit des Primärobjektes, z. B. einer Anlage, Maschine oder Komponente, zu erhalten [51]. Zum Management von Ersatzteilen gehören die Beschaffung, Lagerung, Transport, Instandsetzung, Entsorgung sowie das Bestands- und Datenmanagement [68]. Das Ziel des Ersatzteilmanagements besteht darin, die Bedarfsträger optimal mit Ersatzteilen zu versorgen.

In einem kollaborativen Ersatzteilmanagement erfolgen diese Tätigkeiten unternehmens-übergreifend und partnerschaftlich

abgestimmt, um die übergeordneten Ziele, die entweder eine Kostenreduktion im Ersatzteilmanagement und/oder eine Erhöhung der Teileverfügbarkeit durch die Kollaboration forcieren, zu erreichen. Eine detaillierte Betrachtung von Potenzialen und Risiken innerhalb der einzelnen Funktionsbereiche, insbesondere unter Berücksichtigung der zuvor genannten Prämissen, ergibt, dass der Fokus eines kollaborativen Ersatzteilmanagements auf das übergreifende Bestandsmanagement zu legen ist, ohne jedoch die weiteren Funktionsbereiche zu vernachlässigen. [67]

Eine Kollaboration im Ersatzteilmanagement mit dem Kerngegenstand des Ersatzteil-Bestandsmanagements ermöglicht die Erschließung von Synergieeffekten durch die gemeinsame Nutzung von Ressourcen, gegenseitiges Unterstützen, unternehmens-übergreifendes Wissensmanagement und die Orchestrierung von Kompetenzen [69]. Durch einen partnerschaftlichen Austausch von Informationen und Ersatzteilen kann somit das Risiko der Nichtverfügbarkeit minimiert bzw. gestreut werden. Die Möglichkeit, Ersatzteile mit weiteren Unternehmen partnerschaftlich austauschen zu können, führt zu zwei Szenarien [70]:

- Durch das gegenseitige »Aushelfen« mit Ersatzteilen bei Bedarfsspitzen kann der bevorratete Ersatzteilbestand reduziert werden, ohne die Teileverfügbarkeit zu minimieren.
- Erfolgt keine Reduzierung des bevorrateten Ersatzteilbestands, kann durch die Zugriffsmöglichkeit auf Partnerbestände eine Erhöhung der Teileverfügbarkeit erzielt werden.

Voraussetzung für beide Szenarien ist der partnerschaftliche Austausch von Informationen, die zur Dimensionierung der Ersatzteilbestandsgrenzen dienen. Auf Basis dieser Daten sind notwendige Bestände für jeden Partner individuell zu bestimmen und unternehmens-übergreifend darzustellen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Teileverfügbarkeit bei Ersatzteilaustausch nicht nachhaltig beeinträchtigt wird. [67]

Hinzu kommt, dass die Bedarfe an Ersatzteilen i. d. R. überraschend und ungeplant entstehen [71] sowie, insbesondere in Krisenzeiten, es zu teilweise sehr langen Lieferzeiten kommt

[72]. Somit kommt dem transparenten, manipulationssicheren und fortwährenden Informationstransfer eine besondere Bedeutung zu. Nur dadurch kann diese vertrauensintensive Kollaboration langfristig bestehen, insbesondere ohne die Produktionsfähigkeit der Partner zu gefährden.

## 6.2. Stand der Technik und Potenzialermittlung

Innerhalb des kollaborativen Ersatzteilmanagements tauschen die partnerschaftlich zusammenarbeitenden Unternehmen Informationen und Ersatzteile aus. Zielsetzung ist, dadurch entweder die Bevorratungskosten zu reduzieren oder die Teileverfügbarkeit zu erhöhen. Um sich innerhalb der Kollaboration gegenseitig mit Ersatzteilen auszuhelfen, wenn ein Partner einen Ersatzteilbedarf selbst nicht durch seinen eigenen Bestand abdecken kann, ist ein transparenter und in möglichst hoher Datenqualität durchgeführter Informationsaustausch zwischen allen Partner erforderlich.

Innerhalb der Kollaboration nehmen die Partner verschiedene Rollen ein. Je nach Situation kann ein Kollaborationspartner Anbieter oder Nachfrager/Bezieher von Ersatzteilen sein. Bei Kollaborationen mit mehr als zwei Unternehmen kann er auch an einem Austausch unbeteiligt sein. In jedem Fall sind alle Kollaborationspartner Informationslieferanten.

Zur Gewährleistung sicherer, fairer und transparenter Abläufe werden neben eindeutigen Prozessen und Regeln auch ein unterstützendes und informationsverarbeitendes Assistenzsystem sowie eine übergeordnete Instanz zur Kontrolle und Überwachung benötigt. [67]

Die Hauptaufgaben des Assistenzsystems bestehen in der Unterstützung der unternehmensübergreifenden Abläufe, der Sicherstellung der Teileverfügbarkeit sowie der Festlegung und systemtechnischen Überwachung der Ersatzteilbestände aller Kollaborationspartner. Die prozessuale Einbindung des Assistenzsystems wird nachfolgend in Abbildung 7 am Beispiel eines Ersatzteiltransfers zwischen zwei Kollaborationspartnern verdeutlicht:

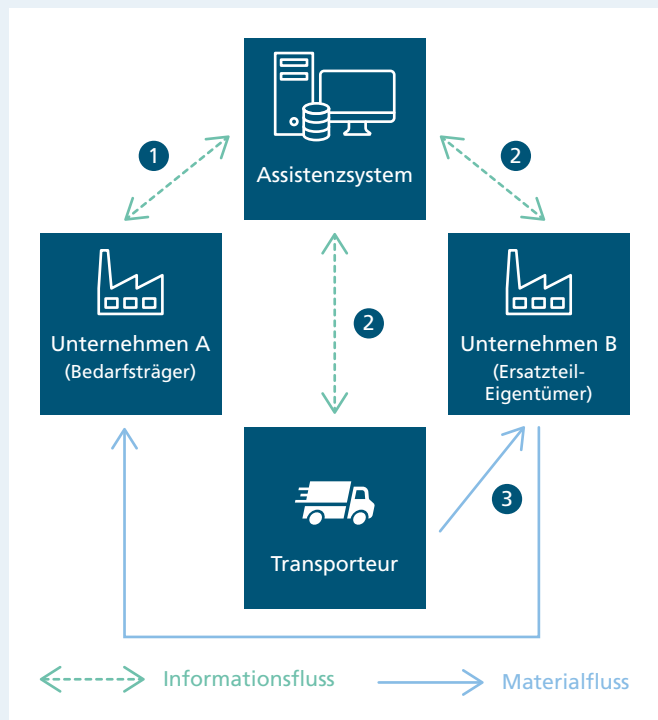


Abbildung 7: Beispielhafter Ersatzteiltransfer innerhalb einer Kollaboration [i. A. a. [67]]

In diesem Beispiel kann Unternehmen A einen Ersatzteilbedarf nicht durch den selbst bevorrateten Bestand abdecken. Das Assistenzsystem ermöglicht in diesem Fall das Suchen nach gleichen bzw. geeigneten Ersatzteilen in der gesamten Kollaboration. Hierfür weist es die zur Verfügung stehenden Ersatzteile aller Kollaborationspartner aus. Unternehmen A kann sich über bauteilcharakterisierende Suchfunktionen – z. B. über eine Eingrenzung über die technischen Merkmale – geeignete Ersatzteile anzeigen lassen. Nach Identifikation eines oder mehrerer Ersatzteile können dann die benötigten Artikel im Assistenzsystem ausgewählt und bestellt werden. Die anschließende Aufgabe des Assistenzsystems besteht nun sowohl in der Benachrichtigung des aushelfenden Unternehmens als auch in der Beauftragung des Transports. Wird der Transport nicht von einem der kollaborierenden Partnern übernommen, ist ein entsprechender Dienstleister zu informieren bzw. zu beauftragen. Das, im Beispiel, mit Ersatzteilen aushelfende Unternehmen B muss daraufhin fristgerecht die benötigten Ersatzteile kommissionieren, verpacken und für den Transport bereitstellen, damit der Transporteur die benötigten Ersatzteile dem Bedarfsträger (Unternehmen A) fristgerecht anliefern kann.

Am obigen Beispiel des Ersatzteiltransfers wird ersichtlich, dass eine Vielzahl an Abläufen auf die Bedürfnisse der Kollaborationspartner abzustimmen ist. Verzögerungen, falsche oder fehlerhafte Informationen sowie sonstige Abweichungen von definierten Abläufen beeinflussen unmittelbar die Teileverfügbarkeit, verursachen nicht unerhebliche Kosten und beeinträchtigen auch das Vertrauen innerhalb der Zusammenarbeit.

Der Einsatz einer Blockchain-Technologie zur manipulations-sicheren Absicherung des Informationsaustausches und der Herstellung der gewünschten Transparenz für alle Teilnehmer kann sich hier vorteilhaft auswirken. Smart Contracts, als fest definierte und unveränderbare Programmabläufe, können die Einhaltung der definierten Abläufe sicherstellen. Es wäre nicht nur transparent ersichtlich, sondern auch jederzeit nachvollziehbar, wann welcher Prozess auf welcher Datenbasis und mit welchem Inhalt gestartet und durchgeführt wurde. Durch die systemimmanente Datensicherheit sind zudem inhaltliche Datenmanipulationen ausgeschlossen und zeitliche Manipulationen (z. B. durch bewusste Verzögerungen) jederzeit ersichtlich, so dass erforderliche Deeskalationsprozesse jederzeit und unverzüglich automatisch eingeleitet werden können.

### 6.2.1. Assistenzsystem als Plattform für die Kollaboration

Das Assistenzsystem vernetzt die unterschiedlichen bestands-führenden IT-Systeme aller Partner miteinander und unterstützt jegliche verbundbezogenen Tätigkeiten. Die wichtigsten Aufgaben sind im Detail in der nachfolgenden Abbildung 8 einmal zusammengefasst:

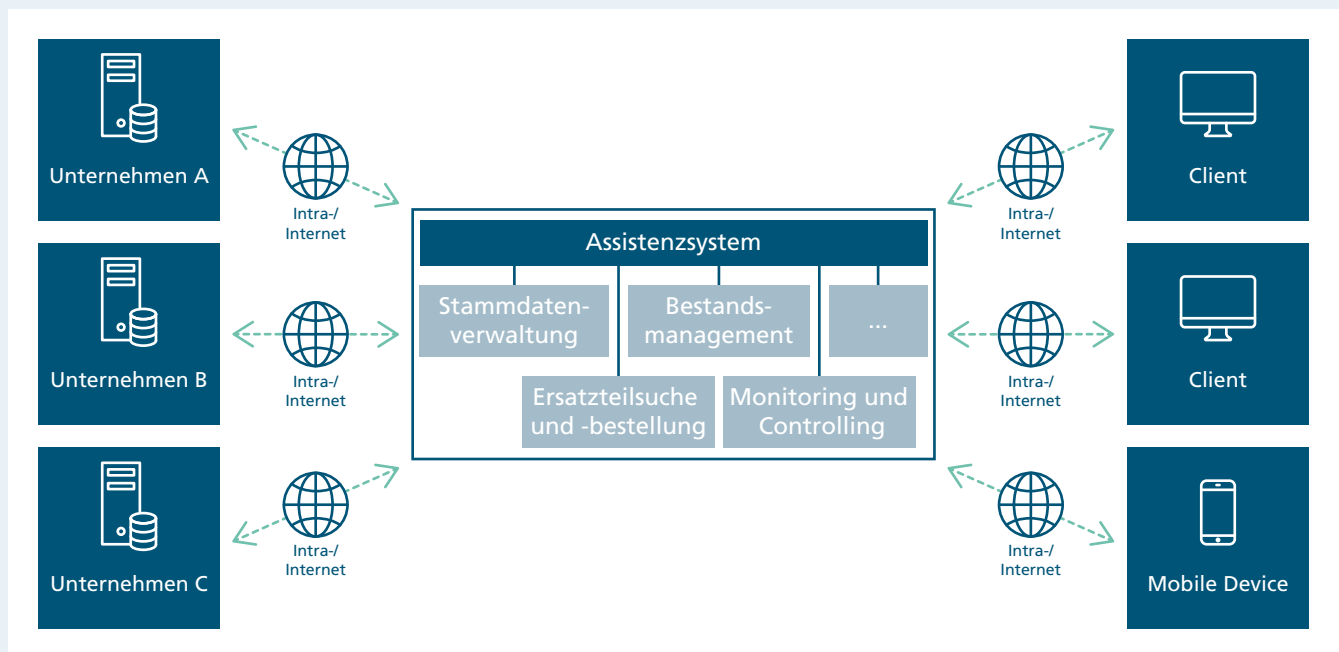


Abbildung 8: Einbindung des Assistenzsystems [i. A. a. [67]]

Um die Anwender, die Ersatzteile beziehen, verwalten und/oder nachbeschaffen, ideal zu unterstützen, muss das Assistenzsystem mindestens die Funktionalitäten des übergreifenden Stammdatenmanagements, des Such- und Bestellprozesses und der Bestandsdimensionierung im Verbund umfassen.

Im Hinblick auf Transparenz und Bestandssicherheit (Teileverfügbarkeit) sind die oben genannten Funktionen kontinuierlich durch Prüfregele zu überwachen. Bei festgestellten oder auch simulierten Abweichungen können die Partner unmittelbar benachrichtigt und entsprechende Maßnahmen eingeleitet

werden. Dieses proaktive Vorgehen gewährleistet die geforderte Datenqualität, ohne die kein Vertrauen aufgebaut bzw. aufrechterhalten werden kann. [73, 74]

Ersatzteile werden in IT-Systemen durch Stammdaten beschrieben. Die dort hinterlegten Daten müssen eine eindeutige Identifikation des Ersatzteils ermöglichen [75]. Die zentralen Aufgaben der Stammdatenverwaltung im Assistenzsystem bestehen daher, zum einen in der Herstellung und zum anderen in der Sicherstellung der unternehmensübergreifenden Verknüpfung gleicher Stammdatensätze in unterschiedlichen IT Systemen der Kollaborationspartner. Meist wird hierfür ein zentrales Datenbanksystem aufgebaut, welches in einem zentralen Datensatz nicht nur die Verbindung zu den unterschiedlichen Datensätzen, sondern auch alle Informationen des digital abgebildeten Ersatzteils selbst enthält. Die Datenqualität wird meist durch zyklische und prozessorientiert durchgeführte Datenabgleiche sichergestellt. Abweichungen werden in der Regel zentral erfasst, protokolliert und entsprechende Eskalationsstufen manuell eingeleitet. [67]

Der Einsatz einer Blockchain-Technologie für die Speicherung der sog. »zentralen Datensätze« würde die Manipulations-sicherheit erhöhen. Da zudem diese Informationen bei jedem Fullnode vorhanden sind, können sich Unternehmen leichter mit diesen direkt vernetzen.

Zur Ablage der Stammdatensätze könnte ebenfalls die digitale Mappe (vgl. Kapitel 3.2) eingesetzt werden. Der Token Manager übernehme hierbei die Speicherung der Informationen des übergreifenden Stammdatensatzes, samt einer nachvollziehbaren Versionierung jeglicher Änderungen. Die Zugriffsberechtigungen verwaltet und steuert das Autorisierungsmodul. So kann sichergestellt werden, dass jeder Kollaborationspartner nur die allgemeinen und die für ihn relevanten und vor allem zulässigen Informationen einsehen und ggf. abändern darf.

Über Smart Contracts lassen sich alle Zugriffe, Datenabgleiche und die Einleitung von möglichen Deeskalationsstufen regeln. So werden alle Tätigkeiten automatisch gesteuert und kontrolliert sowie jegliches Stammdatenhandling und unbewusst oder bewusst getätigte Datenqualitätsfehler transparent identifiziert und dokumentiert. Die Basis für ein unverzügliches Gegensteuern bzw. Handeln wäre somit durch den Einsatz einer Blockchain-Technologie gegeben.

Die von den Usern wahrscheinlich am häufigsten genutzte Funktionalität des Assistenzsystems umfasst die Suche und anschließende Bestellung von Ersatzteilen bei Kollaborationspartnern. Um die vertrauensintensive Partnerschaft im Ersatzteilmanagement nicht nachhaltig zu gefährden, sind nicht nur korrekte Daten erforderlich, sondern auch durchgehend transparent gesteuerte und protokollierte Prozesse nach der Bestellung von Ersatzteilen. Da alle Partner weiterhin eigenständige

Unternehmen bleiben und auch in bestimmten Märkten als Konkurrenten auftreten könnten, kann ebenfalls der Einführung einer Blockchain-Technologie zur Prozesskontrolle, -protokollierung und ggf. auch zur Prozesssteuerung ein hohes Potenzial unterstellt werden. Neben den ersatzteilbezogenen Informationen (Stammdatensätze) könnten auch vorgangsbezogene Informationen in einer digitalen Mappe hinterlegt und die dazugehörigen Prozesse durch entsprechende Smart Contracts durchgeführt werden.

Wie oben bereits angedeutet, bedeutet rechtlich gesehen, jegliches »Aushelfen mit Ersatzteilen« ein Verkauf von Ersatzteilen an einen Kollaborationspartner. Jegliche verkaufsbezogenen Informationen ließen sich ebenfalls in einer »digitalen Mappe« hinterlegen. Somit wären jegliche Transaktionen sicher auf der Blockchain hinterlegt. Die Blockchain-Integration könnte sogar auch die finanzielle Abwicklung der Transaktion umfassen. Smart Contracts stellen dabei sicher, dass Bezahlvorgänge nahezu in Echtzeit unmittelbar nach oder direkt vor einer Aktion (Prozessschritt oder Event) durchgeführt werden oder, dass für Transaktionen erforderliche Sicherheiten geleistet werden.

In einem kollaborativen Ersatzteilmanagement besitzt die übergreifende Bestandsverwaltung zur Sicherstellung der Teileverfügbarkeit – unabhängig der jeweiligen Zielsetzung der partnerschaftlichen Zusammenarbeit – eine elementare Bedeutung. Die Bestandsverwaltung umfasst alle Tätigkeiten zur Berechnung, Verteilung und Kontrolle der Netzwerkbestände. Sobald sich Eingabeparameter für die Berechnung ändern, muss der Algorithmus erneut durchgeführt werden. Die Ursache hierfür kann in der Aufnahme eines neuen Ersatzteils oder auch »einfach« in Bedarfsänderungen bestehen. Die Bestandsverwaltung muss immer in der Lage sein, durch Überwachung der Stamm-, Bestands- und Verbrauchsdaten Veränderungen zu erkennen. Bei Abweichung sind Bestände automatisch neu zu berechnen und die Ergebnisse mit den realen Beständen abzugleichen, um ggf. eine Nachbeschaffung bei den jeweiligen Partnern zu veranlassen. Ebenfalls müssen bei übermittelten Entnahmebuchungen und bei automatisch durchgeführten Bestandsabgleichen (zyklisch oder adhoc bei Warenkorbbestellung) die Bestände hinsichtlich gewünschter Teileverfügbarkeit bewertet werden. Der zusätzliche Austausch von Informationen über eingeleitete bzw. auch erhaltene Nachbeschaffungen erhöht zudem die Berechnungsgüte des übergreifenden Bestandsalgorithmus. [67]

Aufgrund der zentralen Steuerungswirkung des Bestandsmanagements innerhalb eines kollaborativen Ersatzteilmanagements besitzt die Datenqualität innerhalb des Netzwerks eine überaus hohe Bedeutung. Falsche oder verzögerte Informationen beeinträchtigen sofort einen reibungslosen Ablauf. Jegliche ausgetauschte Informationen sind jederzeit zu überprüfen und bei identifizierten Abweichungen unmittelbar

entsprechende Handlungen durchzuführen. Werden jegliche ausgetauschte Informationen auf einer Blockchain gespeichert, lassen sich die fünf gängigen Datenqualitätsdimensionen nach Otto & Österle [76] z. B. mittels Smart Contracts zeitnah überprüfen. Die begutachtenden Smart Contracts kontrollieren die Korrektheit, Vollständigkeit, Konsistenz und Aktualität der transferierten Daten. Wird weiterhin das Autorisationsmodul der digitalen Mappe oder ein vergleichbares Blockchain-basiertes Tool, welches die Zugriffsautorisation regelt, eingesetzt, kann auch die personenbezogene Verfügbarkeit hergestellt werden. Eine allgemeine Verfügbarkeit bringt die Blockchain-Technologie systemimmanent mit sich.

Eine weitere Kernfunktionalität des Assistenzsystems umfasst das Monitoring und Controlling jeglicher Abläufe übers und mit dem Assistenzsystem. Ein kollaboratives Ersatzteilmanagement ist nur solange effizient und sicher umsetzbar, solange die ausgetauschten Daten den korrekten Sachverhalt wiedergeben und stetig aktuell gehalten werden. Es sind Prozesse und Regeln festzulegen, die von allen Partnern einzuhalten sind. Das Assistenzsystem unterstützt und steuert möglichst viele dieser Prozesse. Im Sinne aktueller und korrekter Daten sind im Assistenzsystem Prüfregelein, sog. Monitoring-Gates, zu berücksichtigen. Monitoring-Gates überwachen und analysieren ausgetauschte Daten im Hinblick auf Konsistenz und Korrektheit und können diese bewerten. Sie dienen somit der Sicherstellung der Datenqualität. Natürlich ersetzt diese automatisierte Überprüfung nicht den intrinsischen Anspruch an jeden Partner, korrekte Daten bereitzustellen. Jedoch können Monitoring-Gates als Funktionen des (Daten-)Qualitätsmanagements zur Vertrauenssicherung in die partnerschaftliche Zusammenarbeit beitragen. Hierfür werden schwerpunktmäßig die ausgetauschten Bestandsdaten, die Bedarfsparameter für die Bestandsverwaltung sowie die Liefer- und Bestandstreue überwacht und bewertet. [67]

Abweichungen bei synchronisierten Bestandsdaten wirken sich unmittelbar auf das kollaborative Ersatzteilmanagement aus und beeinflussen direkt die Teileverfügbarkeit. Bestandsdaten werden i. d. R. zyklisch zu Zeiten mit geringer Systemlast von den Partner-Systemen an das Assistenzsystem transferiert (idealerweise 1-2-mal täglich). Daneben erfolgt ein adhoc Abgleich von bestimmten Ersatzteilbestandsinformationen bei Bestellung dieser Teile aus dem Warenkorb heraus. Da der Anwender diese Abweichung bei Nichtrealisierbarkeit seiner Bestellung unverzüglich wahrnimmt, wirkt sich die Unregelmäßigkeit direkt auf das Vertrauen in die Kollaboration aus. Monitoring-Gates müssen zur Sicherstellung der Datenqualität sowohl den zyklischen als auch den adhoc-Austausch überwachen. [67]

Wird bei einem Bestandsabgleich eine Abweichung festgestellt, sind die Auswirkungen zu bewerten und entsprechend zu dokumentieren. Das heißt, dass der übermittelte Bestand hinsichtlich der Auswirkungen auf die Teileverfügbarkeit,

sowohl des Partners als auch des Verbunds, zu analysieren und hinsichtlich der Auswirkungen zu bewerten ist. Je nach prozentualer Beeinflussung der Teileverfügbarkeiten ist auch die Bestandsdifferenz zu bewerten. [67]

Die oben, im Rahmen der Monitoring- und Controlling-Funktionalität detaillierter aufgeführten Prozesse, untermauern noch einmal die Vorteile des Einsatzes einer Blockchain-Technologie in einem kollaborativen Ersatzteilmanagements. Durch das Potenzial ausgetauschte Informationen in Echtzeit durch Smart Contracts steuern, kontrollieren und überwachen zu können, wird die erforderliche Datenqualität sichergestellt. Da zudem jegliche Informationen hinsichtlich Datum, Absender, Empfänger und Prozesszugehörigkeit analysiert werden können, werden nicht nur Anreize geschaffen, im Sinne der Kollaboration zu interagieren, sondern auch eine valide Datenbasis für jegliche Kontrollen und Prozessüberwachungen hergestellt.

### 6.2.2. Trägerorganisation als übergeordnete und neutrale Kontrollinstanz

Zusätzlich zu einem operativ steuernden Assistenzsystem ist eine übergeordnete und neutrale Instanz erforderlich, die im Namen aller Kollaborationspartner Abläufe beschließt, Prozesse anpasst, Transaktionen überwacht, in strittigen Situationen schlichtet und Entscheidungen im Sinne der Kollaboration trifft. Diese Instanz soll nicht stetig operativ eingreifen, sondern schwerpunktmäßig eine überwachende Funktion übernehmen. [67] Sie ist vergleichbar mit einem Lenkungsausschuss aus dem Bereich des Projektmanagements und kann ähnlich gestaltet werden. Ein Lenkungsausschuss ist dort für die Planung, Durchführung, Überwachung und Steuerung eines Projekts verantwortlich, ohne in den operativen Projektaktivitäten unmittelbar aktiv zu werden. Der Lenkungsausschuss benennt verantwortliche Personen, weist Verantwortungen zu, wird bei projektrelevanten Entscheidungen miteinbezogen und erhält Berichte über den aktuellen Projektfortschritt. [77, 78]

Bei einem kollaborativen Zusammenschluss von mehreren Unternehmen ist der Lenkungsausschuss in einer definierten Organisationseinheit anzusiedeln. Dieses kann z. B. eine speziell gegründete juristische Person sein (z. B. Projekt-GmbH, e. V., Genossenschaft). [67] Somit wird die Organisationseinheit zur Trägerorganisation [79] der partnerschaftlichen Zusammenarbeit aller Kollaborationspartner (vgl. Abbildung 9).

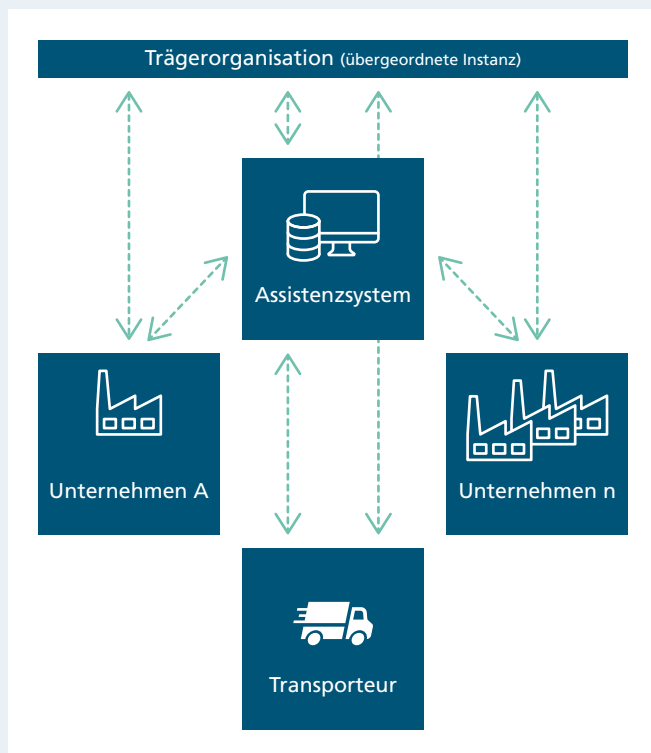


Abbildung 9: Gestaltungsrahmen eines kollaborativen Ersatzteilmanagements [i. A. a. [67]]

Die kollaborierenden Partner sind demnach nicht nur gefordert die personelle Besetzung und Aufgaben der Trägerorganisation zu bestimmen, sondern auch alle unternehmensspezifischen Vorgaben im Sinne eines Cooperative Governance zusammenzutragen. Es muss ein verbindliches Regelwerk erstellt werden, welches die Arbeitsteilung zwischen den einzelnen Akteuren innerhalb des kollaborativen Ersatzteilmanagements entweder festlegt oder mindestens mittelbar beeinflusst. Die Aufgabe der Trägerorganisation umfasst somit auf der einen Seite generelle Vorgehensweisen, die die Kollaboration an sich betreffen, festzuhalten und zu überwachen. Diese können z. B. die Hinzunahme eines weiteren Partners oder die Beauftragung von Dienstleistern für den Ersatzteiltransport umfassen. Auf der anderen Seite sind auch Regeln aufzustellen und auf Einhaltung zu kontrollieren, die konkret den operativen Ablauf betreffen. Hierunter fallen u. a. das Definieren von Prioritäten bei Ressourcenengpässen, das Auftreten als Schlichter bzw. Mediator bei entstandenen Interessenskonflikten sowie die Definition der auszutauschenden Informationen zur unternehmensübergreifenden Identifikation von Ersatzteilen. [67]

Gefährdet ein Partner z. B. durch eine zu geringe Bevorratung von Ersatzteilen oder falsch übermittelte Daten zur Berechnung der Bevorratungsmenge die Teilverfügbarkeit innerhalb der Kollaboration, so ist dieser nicht nur zu identifizieren, sondern es sind auch Eskalationsregeln und/oder Pönalen (z. B. unter Berücksichtigung der resultierenden Abweichung geforderter Teilverfügbarkeiten) festzulegen. [67]

Zur Überwachung werden Technologien benötigt, die nicht nur die erforderliche Datenqualität zu einem gewissen Zeitpunkt sicherstellt, sondern sie auch zu jedem Zeitpunkt in der Zukunft gewährleistet. Es muss eindeutig und transparent nachvollziehbar sein, wer wann welche Informationen für die Steuerung des kollaborativen Ersatzteilmanagements teilt und auf welcher Informationslage welche Entscheidung getroffen wurde. Diesen Anforderungen kann eine Blockchain-Technologie gerecht werden und ihre systemimmanenten Potenziale hier ausspielen. Innerhalb eines Blockchain-Netzwerks ist jederzeit ersichtlich, wann wer welche Information erzeugt oder verändert hat. Durch den Aufbau sind zudem Manipulationen ausgeschlossen und Versuche unmittelbar ersichtlich. Die Trägerorganisation besitzt somit jederzeit einen transparenten Überblick und kann zu jederzeit Ihren Aufgaben gerecht werden.

Im Rahmen der Ausübung ihrer Entscheidungs- und Kontrollfunktion besitzt die Trägerorganisation zudem die Aufgabe die durch die Kollaboration erzielten monetären Einsparungen gerecht zwischen allen Partnern zu verteilen. Ein kollaboratives Ersatzteilmanagement fokussiert primär die Reduktion der zu lagernden Bevorratungsmengen. Daher ist zur Bewertung auf der einen Seite die ideale Kostensituation ohne Teilnahme an der Kollaboration zu bestimmen, welche durch die Kollaboration maßgeblich reduziert werden. Auf der anderen Seite entstehen durch den bei einem Ersatzteilaustausch resultierenden notwendigen Transport und durch den Betrieb unterstützender Infrastrukturen (z. B. Assistenzsystem) zusätzliche neue Kostenarten, welche dem Reduktionspotenzial entgegenstehen. Mittels Ausgleichzahlungen werden die Einsparungspotenziale gerecht auf alle Kollaborationspartner verteilt. Die Aufgabe der Trägerorganisation ist, die Berechnung der Ausgleichzahlungen zu kontrollieren und mögliche Berechnungsweisen anzupassen. [67]

Grundvoraussetzung für diese Aufgaben sind korrekte Daten. Werden die notwendigen Informationen an geeigneten (prozessualen) Stellen auf eine Blockchain transferiert, stellt die Blockchain-Technologie die notwendige Datenqualität sicher, so dass die Trägerorganisation Ihrer Tätigkeit das kollaborative Ersatzteilmanagement nachhaltig und im Sinne aller Partner aufrecht halten zu können. Nur mit einer sichergestellten Datenqualität kann innerhalb des vertrauensintensiven »Geschäfts« schnellstmöglich gegengesteuert und alle gemeinschaftlich abgestimmten »Spielregeln« innerhalb der Kollaboration überwacht werden.



## 6.3. Bewertung

Bei einer partnerschaftlichen Zusammenarbeit im Ersatzteilmanagement handelt es sich um ein freiwilliges Zusammenwirken zweier oder mehrerer Unternehmen mit dem Ziel, Informationen und Ersatzteile zur Bedarfsdeckung im Rahmen der individuell gewünschten Teileverfügbarkeit auszutauschen. Das Ziel besteht in der Generierung eines wirtschaftlichen Nutzens, welcher alleine nicht realisierbar wäre. Zur Realisierung sind enge und partnerschaftliche Prozesse mit einer starken Verzahnung und ein unternehmens-übergreifender Informationsaustausch notwendig. Es ist zwingend erforderlich, Strukturen, Regeln und Abläufe zu schaffen, die es im Sinne einer Win Win Situation ermöglichen, Informationen und Ressourcen kollaborativ zu verwenden. Im Hinblick auf ein nachhaltiges Fortbestehen der Kollaboration muss sie auf Veränderungen, sowohl innerhalb der Zusammenarbeit als auch durch das Umfeld, schnell und flexibel reagieren können. Ein kollaboratives Ersatzteilmanagement fordert demnach Transparenz, Eindeutigkeit, Veränderungsfähigkeit und Robustheit. [67]

In der Potenzialermittlung konnten zahlreiche Anwendungsfälle aufgezeigt werden, in denen sich der Einsatz einer Blockchain-Technologie für diese spezielle Art einer vertrauensintensiven Zusammenarbeit vorteilhaft erweist. Die Speicherung der zahlreich ausgetauschten Informationen in sinnvoller Art und Weise auf einer Blockchain unterstützt die erforderliche Transparenz und Manipulationssicherheit innerhalb des Verbundes. Insbesondere die Vielzahl an Prozessen, die über das Assistenzsystem gesteuert werden, erfordern eine hohe Datenqualität. Angefangen bei der Stammdatenverwaltung, die die zwingend erforderliche Verbindung aller unternehmensbezogenen Datensätze eines spezifischen Ersatzteils herstellt, über die darauf zugreifende Ersatzteilsuche und Ersatzteilbestellung, bis hin zum übergreifenden Bestandsmanagement, welches die erforderlichen Teileverfügbarkeiten für alle Partner berechnet und managet und dem Monitoring und Controlling aller Kollaborationsprozesse, beruhen jegliche Entscheidungen und Tätigkeiten auf qualitativ hochwertigen Daten. Sie müssen verfügbar, aktuell, konsistent, vollständig und vor allem korrekt sein. Blockchain-Technologien stellen dies durch ihren systemischen Aufbau sicher. Die Daten werden in einzelnen verketteten Blöcken an mehreren Stellen zugleich in definierter Reihenfolge und hoch komplex verschlüsselter Form abgespeichert. Somit werden durch die Blockchain-Technologie die geforderten Anforderungen an die Datenqualität sichergestellt.

Smart Contracts, als fest definierte und unveränderbare Programmabläufe können in einem kollaborativen Ersatzteilmanagement vielfach eingesetzt werden. Sie dienen nicht nur zur Gewährleistung der Datenkorrektheit und, bei identifizierten

Abweichungen oder unplausiblen Datenzuständen, zur Einleitung von Deeskalationsprozessen, sondern auch zur Prozesssteuerung vielfältiger Abläufe. Smart Contracts können z. B. den Ersatzteilverkauf und den Transport der Ersatzteile, nachdem sie über das Assistenzsystem bei Kollaborationspartnern »bestellt« wurden, steuern, die Bezahlung der Teile einleiten und ggf. auch durchführen oder auch kollaborationssteuernde Tätigkeiten, die die übergeordnete und neutrale Instanz der Trägerorganisation betreffen, umfassen. Die Hauptaufgaben der Trägerorganisation beinhalten u. a. das Monitoring der Abläufe und Prozesse auf die Einhaltung eines verbindlichen Regelwerks, die Kontrolle, ob bestandsrelevante Informationen richtig übermittelt werden und der Berechnung von Ausgleichszahlungen, um alle Einspareffekte der Kollaboration gerecht auf die Partner zu verteilen. In der Potenzialanalyse konnte ebenfalls sinnvoll aufgezeigt werden, dass der Einsatz einer Blockchain-Technologie und von Smart Contracts zu einer deutlich besseren Datenqualität führen. Dies kommt auch insbesondere der Datengrundlage zugute, auf der die Trägerorganisation ihre Entscheidungen treffen muss. Ebenfalls konnte im Rahmen der Potenzialbetrachtung aufgezeigt werden, dass hierdurch die Prozesse der Trägerorganisation deutlich aufwandsärmer werden würden.

Zusammenfassend kann daher im UseCase »kollaboratives Ersatzteilmanagement« herausgestellt werden, dass sich der Einsatz sowohl eines Blockchain-Netzwerks, als auch von digitalen Mappen (z. B. für gemeinsame Stammdatensätze oder verkaufsbezogene Transaktionen) und von, im Idealfall standardisierten, Smart Contracts vorteilhaft für ein kollaboratives Ersatzteilmanagement auswirken.

## 7. Zusammenfassung und Fazit

---

Die Tätigkeiten im Anlagenmanagement werden zunehmend komplexer, vernetzter und damit auch datenintensiver. Um dieser neuen Dimension von Datenmengen einen betriebswirtschaftlichen Nutzen zu geben, müssen sie effizient und sinnvoll genutzt werden. Hier rücken vermehrt unternehmensübergreifende Ansätze in den Vordergrund, die ein Datenmanagement im Netzwerk fokussieren, ohne die Wettbewerbsfähigkeit der teilnehmenden Unternehmen einzuschränken oder zu gefährden. Den Blockchain-Technologien wird attestiert, dass sie ein äußerst hohes Maß an Manipulationssicherheit, Nachvollziehbarkeit und Transparenz sowie die Souveränität der abgelegten Daten und Informationen sicherstellen können. Die speziellen technischen Charakteristika ermöglichen sowohl die eindeutige Feststellung der Datenkorrektheit und die Nachvollziehbarkeit des Ursprungs als auch die Automatisierung und Autarkisierung von Prozessen (vgl. Abs. 2). In dieser Studie wurden daher konkrete Use Cases im Kontext des Anlagenmanagements und der Instandhaltung ausgewählt und Potenziale und Anwendungsmöglichkeiten einer Blockchain-Technologie herausgearbeitet.

Die steigende Komplexität der Anlagen und das benötigte Know-how stehen einer zunehmend geringeren Anzahl an Fachkräften gegenüber. Das Daten- und Wissensmanagement der Instandhaltung wird zukünftig mehr und mehr im Netzwerk stattfinden. Daten, Informationen und Wissen zwischen Wertschöpfungspartnern müssen über den Lebenszyklus einer Anlage hinweg manipulationssicher erfasst und ausgetauscht werden können. Diese Anforderungen fokussiert daher der erste Use Case dieser Studie mit der kombinierten Betrachtung des Wissensmanagements und der digitalen Lebenslaufakte (DLA). Bei der DLA handelt es sich um ein Instrument zur Dokumentation von Daten und Informationen. Auch, wenn die DLA aktuell noch ein relativ junges technologisches Instrument ist, existieren dazu bereits Normierungsaktivitäten (u. a. DIN SPEC 91303 oder DIN 77005-1). Somit kann ihr ein gewisser Grad an Industrietauglichkeit, Akzeptanz und Langlebigkeit unterstellt werden.

Im Rahmen einer Fallstudie mit dem Praxispartner Weldotherm Wärmetechnischer Dienst GmbH (WTD) konnte der Nutzen einer DLA auf Blockchain-Basis sowohl für ein unternehmensübergreifendes Wissensmanagement als auch für den Instandhaltungsservice herausgestellt werden.

Die größten Vorteile eines Blockchain-basierten Ansatzes innerhalb eines unternehmensübergreifenden Wissensmanagements konnten in den Bereichen des Wertschöpfungsprozesses festgestellt werden, in dem keine wettbewerbsrelevanten Daten und Informationen ausgetauscht werden müssen. Dies betrifft z. B. Wissensinhalte, die die Planung eines Instandhaltungseinsatzes oder die Arbeitsvorbereitung betreffen, ebenso wie Informationen zu Ersatzteilen oder der Vorgehensweise zur Montage oder Demontage von Komponenten. Über die Berücksichtigung von Lese-, Schreib- und Veränderungsberechtigungen konnten weitere Vorbehalte gegenüber einem unternehmensübergreifenden Wissensmanagement eliminiert werden. Im Ergebnis konnte aufgezeigt werden, dass der Einsatz einer Blockchain-Technologie einen zusätzlichen Schutz vor einer Datenmanipulation bietet. Die Blockchain-Technologien unterbinden durch ihren systemischen Aufbau und ihre Struktur jeden Versuch. Zusätzlich beugt der dezentrale Ansatz dieser Technologien einem möglichen Datenverlust, z. B. durch Serverausfälle, vor und leistet somit einen zusätzlichen Beitrag zur Datensicherheit. Insgesamt konnte herausgestellt werden, dass der Einsatz einer DLA auf Blockchain-Basis für einen unternehmensübergreifenden Daten- und Informationsaustausch und ein damit verbundenes Wissensmanagement im Anlagenmanagement sinnvoll ist und darauf aufbauende Services begünstigt.

Im Rahmen des Instandhaltungsservices führt der Einsatz einer Blockchain-Technologie zu einer stark erhöhten Transparenz und Prozesseffizienz, insbesondere durch die Reduzierung von Prüf- und Informationsbeschaffungsprozessen. Umso vielfältiger der Datenaustausch zwischen verschiedensten Wertschöpfungspartnern im Netzwerk ist, umso größer wird der Nutzen einer DLA auf Blockchain-Basis eingeschätzt. Die DLA ermöglicht die Optimierung der Qualität, sowohl bezogen

auf die Daten als auch auf den Instandhaltungsservice, und führt dadurch zu einer verbesserten Vertrauensbildung. Zudem bietet die Einführung einer Blockchain-Technologie eine gute Grundlage für weitere Interaktionen, wie z. B. Fiskalflüsse, zwischen allen beteiligten Akteuren.

Eine wesentliche Zielsetzung in der Instandhaltung ist die Sicherstellung einer anforderungsgerechten Anlagenverfügbarkeit. Um die Zeitpunkte, zu denen Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen, im Vorfeld prognostizieren zu können, ist eine Predictive Maintenance (PdM) Strategie erforderlich. Dieses Thema behandelt der zweite Use Case. PdM als ausfallvorbeugende, vorausschauende Instandhaltungsstrategie ermöglicht, unter Berücksichtigung der Produktionsplanung den optimalen Zeitpunkt für die Durchführung der erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen festzulegen. Im Ergebnis verbessern sich dadurch die Verfügbarkeit, Leistung und Qualität der Produktionsanlagen.

Im Rahmen dieses Use Cases wurden drei Anwendungsfälle mit Bezug zu PdM nähergehend untersucht. Im Anwendungsfall »Datenaustausch im Netzwerk« stand der unternehmensübergreifende Austausch von relevanten Daten im Kontext zum PdM im Fokus. Der zweite Anwendungsfall »Pay-Per-Availability« betrachtete das auf PdM basierende Geschäftsmodell und im dritten Anwendungsfall wurde darauf aufbauend das Geschäftsmodell einer »Sharing Plant« beleuchtet.

Der Einsatz einer Blockchain-Technologie zur Feststellung der Korrektheit erfasster Daten und zur Sicherung des anonymisierten Austauschs kann zu einer Steigerung der Akzeptanz führen, wodurch PdM schneller realisiert werden kann. In der Folge lässt sich nicht nur die erforderliche Prognosegüte zur effizienten Anwendung von PdM steigern, sondern auch eine Basis für innovative, auf PdM basierende Plattform-Ökonomien und Geschäftsmodelle schaffen.

Ein Geschäftsmodell kann z. B. in der Realisierung eines Pay-Per-Availability-Modells bestehen. Bei einem solchen Geschäftsmodell erwirbt der Kunde nicht das Eigentum an einer Anlage, sondern bezahlt auf Basis ihrer Verfügbarkeit eine zyklische Rate. Da die Anlage in der Produktionsumgebung des Betreibers eingebettet ist, reduziert dieser seine Amortisations- und Finanzierungsrisiken. Da bei einem Pay-Per-Availability-Modell die Aufrechterhaltung der Verfügbarkeit jedoch in Obhut des Lieferanten liegt, handelt es sich hierbei um eine sehr enge und datenintensive Partnerschaft. Auf der einen Seite muss der Kunde bzw. Betreiber nachweisen, dass er die Anlage bestimmungsgemäß betreibt. Auf der anderen Seite muss der Lieferant aufzeigen, dass er seiner Aufgabe der Aufrechterhaltung der Verfügbarkeit jederzeit nachkommt und die erfassten Daten bestimmungsgemäß behandelt. Insbesondere in der Abstimmung notwendiger Maßnahmen existiert eine weitere, enge Schnittstelle zwischen beiden Parteien.

Innerhalb dieses Anwendungsfalls konnte der Nutzen einer Blockchain-Technologie aufgezeigt werden. Der Einsatz einer solchen Technologie ermöglicht eine hohe Transparenz und eine manipulationssichere Datenbasis. Smart Contracts können zudem für die Steuerung wichtiger, übergreifender Prozesse eingesetzt werden. Zudem konnte aufgezeigt werden, dass sich der Nutzen einer Blockchain-Integration nochmals erhöht, wenn die Instandhaltung an einen spezialisierten Dienstleister fremdvergeben wird. Innerhalb dieses Anwendungsfalls ermöglicht eine Blockchain-Technologie die Aufrechterhaltung des Vertrauens, insbesondere bei auftretenden Störungen.

Der dritte Anwendungsfall im Use Case PdM betrachtete eine Sharing Plant als Beispiel einer Sharing Economy. Hierbei teilen sich mehrere Unternehmen eine Produktionsanlage. Zwar reduzieren die Unternehmen auch bei diesem auf PdM aufbauenden Geschäftsmodell ihre Amortisations- und Finanzierungsrisiken, jedoch wurde hier eine Pay-Per-Use-Bezahlung in den Mittelpunkt der Betrachtung gesetzt. Durch die Hinterlegung aller auftragsgebundenen Informationen, zusammenhängend in einem Blockchain-Netzwerk mit partnerbezogenen Lese-, Schreib- und Änderungsrechten, kann nicht nur die erforderliche Transparenz geschaffen werden, sondern lassen sich auch eine Vielzahl, von diesen Daten abhängigen, Prozessen via Smart Contracts steuern. Im Ergebnis können alle beteiligten Parteien, z. B. bei Abweichungen, frühzeitig reagieren oder auch abrechnungsrelevante Prozesse automatisiert über Smart Contracts ablaufen lassen. Blockchain-Technologien liefern hierfür die erforderliche Datenqualität.

Insbesondere für neue und zukunftssträchtige Geschäftsmodelle kann die Kombination aus PdM und Blockchain-Technologien ein Enabler zur Realisierung und Akzeptanzschaffung bei Unternehmen sein.

Der dritte Use Case legt den Fokus auf ein unternehmensübergreifendes Ersatzteilmanagement. Produzierende Unternehmen benötigen produktionsfähige Anlagen. Um bei Störungen und Stillständen schnell reagieren und Wartungen fristgerecht durchführen zu können, bevorraten die meisten Unternehmen Ersatzteile. Jedoch bindet die Bevorratung von Ersatzteilen Kapital und kann dadurch die unternehmerische Flexibilität einschränken. Ein kollaboratives Ersatzteilmanagement, bei dem mehrere Unternehmen im Ersatzteilwesen partnerschaftlich zusammenarbeiten, ohne jedoch ihre rechtliche Eigenständigkeit abzulegen, eröffnet die Möglichkeit, die Kapitalbindung zu reduzieren und die Teilverfügbarkeit zu erhöhen.

Im Rahmen dieses Use Cases wurden wichtige übergreifende Prozesse betrachtet, die für einen reibungslosen Ablauf und eine möglichst langanhaltende partnerschaftliche Zusammenarbeit erforderlich sind. Es konnte aufgezeigt werden, dass der Einsatz von Blockchain-Technologien, Smart Contracts und digitalen Mappen die geforderte Transparenz, Eindeutigkeit,

Veränderungsfähigkeit und Robustheit innerhalb eines kollaborativen Ersatzteilmanagements herstellen kann. Diese Technologien fördern somit die kollaborative Verwendung von Informationen und Ressourcen innerhalb des Zusammenschlusses und ermöglichen den Unternehmen, schnell und flexibel auf Veränderungen außerhalb und Störungen innerhalb des Netzwerkes reagieren zu können. Den Anforderungen eines kollaborativen Ersatzteilmanagements nach Strukturen, Regeln und Abläufen im Sinne einer Win-Win-Situation kann dadurch nachgekommen werden.

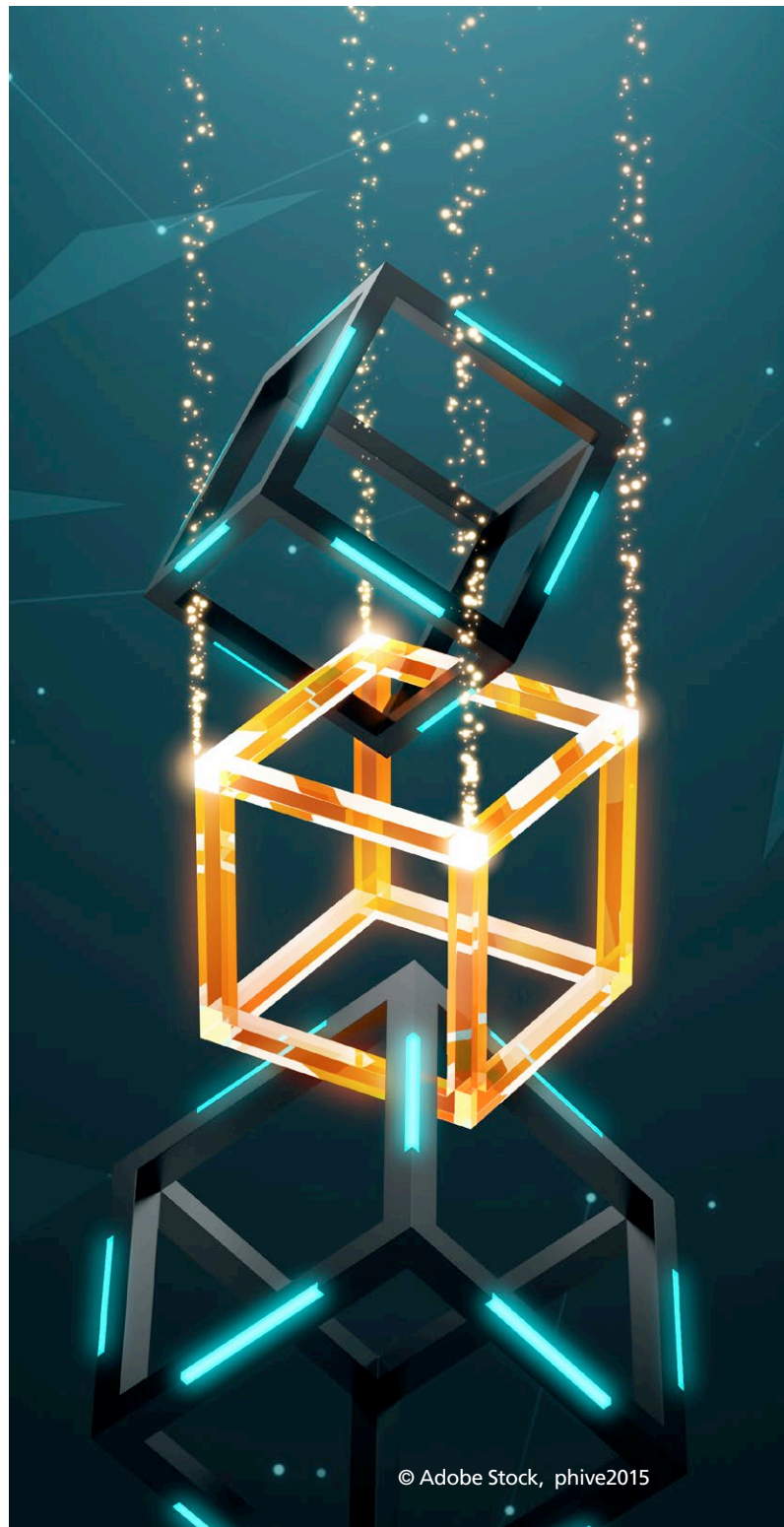
### Gesamtfazit

Innerhalb der Studie Blockchain im Anlagenmanagement wurden Potenziale für die Anwendung einer Blockchain-Technologie im Anlagemanagement anhand von drei Use Cases herausgearbeitet. Es wurde aufgezeigt, dass es für Unternehmen sinnvoll ist, die Einführung einer Blockchain-Technologie zu prüfen, wenn eine enge Zusammenarbeit mit weiteren Unternehmen stattfindet. Aufgrund des demographischen Wandels, der zunehmenden Komplexität und der Spezifizierung des Instandhaltungsbezogenen Wissens ist anzunehmen, dass Unternehmen zukünftig verstärkt partnerschaftliche Beziehungen eingehen werden.

Blockchain-Technologien eignen sich im Anlagenmanagement hervorragend, um die erforderliche Transparenz und Datenvalidität im Netzwerk sicherzustellen. Durch diese Eigenschaften wird das Vertrauen zwischen den Partnern gefestigt, welches insbesondere in der Instandhaltung eine große Bedeutung besitzt, da sie durch die Sicherstellung der Anlagenverfügbarkeit einen großen Beitrag zur Produktionsfähigkeit eines Unternehmens leistet.

Um die bei der Einführung bzw. Verwendung von Blockchain-Technologien bestehenden Herausforderungen realistisch abschätzen und gleichzeitig die mit dem Technologieeinsatz verbundenen Potenziale ausschöpfen zu können, ist es auf der einen Seite wichtig, dass sich Unternehmen mit den wesentlichen Funktionalitäten und Merkmalen auseinandersetzen und ein gewisses Maß an Technologie-Know-how aufbauen. Auf der anderen Seite ist es gleichsam wichtig, dass eine Integration der Technologie in den Unternehmensalltag und vor allem in den der Instandhaltungspraxis stattfindet. In diesem Zusammenhang ist eine rechtzeitige Beteiligung aller relevanten Mitarbeiter notwendig, damit eine Akzeptanz von Beginn an gefördert werden kann. Das ist wichtig, da eine Akzeptanz die Basis ist für neue Impulse oder Modifikationen und Anpassungen der eingesetzten Lösung. In diesem Zusammenhang sind bspw. Schulungen und weitere Lernformate von Bedeutung, um sicherzustellen, dass alle Beteiligten die Technologie verstehen und eigenständig vollumfänglich nutzen können.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte kann es gelingen, mit dem Einsatz von Blockchain-Technologien bestehenden Herausforderungen im Anlagenmanagement und in der Instandhaltung zu begegnen und die Prozesse insgesamt effizienter und zukunftssicherer auszugestalten.



© Adobe Stock, phive2015

## 8. Literatur

---

- [1] **Kuhn A, Henke M (2015)** Smart Maintenance für Smart Factories. Mit intelligenter Instandhaltung die Industrie 4.0 vorantreiben. acatech POSITION. utzverlag, München
- [2] **Henke M, Heller T, Stich V (2019)** Smart Maintenance - Der Weg vom Status quo zur Zielvision. Acatech Studie. utzverlag GmbH, München
- [3] **Weinrauch M (2005)** Wissensmanagement im technischen Service. Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2004, Dt. Univ.-Verl
- [4] **Holschbach E, Buss E (2022)** Blockchain in Einkauf und Supply Chain. Technologie, Anwendungen und Potentiale in der Praxis. Springer Gabler, Wiesbaden, Heidelberg
- [5] **Fill H-G, Härer F, Meier A (2020)** Wie funktioniert die Blockchain? In: Fill H-G, Meier A (Hrsg) Blockchain. Grundlagen, Anwendungsszenarien und Nutzungspotenziale. Springer Vieweg, Wiesbaden, S 3–19
- [6] **Sparer D, Günther MD, Heyer C (2020)** A Multi-Light-Node Blockchain Architecture. Whitepaper. Future Challenges in Logistics and Supply Chain Management. Fraunhofer-Gesellschaft, Dortmund
- [7] **Hellwig D, Karlic G, Huchzermeier A (2021)** Entwickeln Sie Ihre eigene Blockchain. Ein praktischer Leitfaden zur Distributed-Ledger-Technologie. Springer Gabler, Berlin
- [8] **Gronwald K-D (2023)** Globale Kommunikation und Kollaboration. Globale Supply Chain Netzwerk-Integration, interkulturelle Kompetenzen, Arbeit und Kommunikation in virtuellen Teams. Springer Vieweg, Wiesbaden
- [9] **Tanwar S (2022)** Blockchain Technology. From Theory to Practice. Studies in Autonomic, Data-driven and Industrial Computing. Springer, Singapore
- [10] **Adam K (2022)** Blockchain-Technologie für Unternehmensprozesse. Sinnvolle Anwendung der neuen Technologie in Unternehmen, 2. Aufl. Springer Gabler, Berlin
- [11] **Deutscher Ethikrat (2017)** Big Data und Gesundheit. Datensouveränität als informationelle Freiheitsgestaltung. Stellungnahme. Deutscher Ethikrat, Berlin
- [12] **Koller R, Kampheus J (2021)** Blockchain und Smart Contracts. In: Ten Hompe M, Henke M, Otto B (Hrsg) Silicon Economy. Wie digitale Plattformen industrielle Wertschöpfungsnetzwerke global verändern. Springer Vieweg, Berlin, S 122–139
- [13] **Groß D (2022)** Vertragsdurchführung mit Smart Contracts – rechtliche Rahmenbedingungen und Herausforderungen. In: Rohde M, Bürger M, Peneva K, Mock J (Hrsg) Datenwirtschaft und Datentechnologie. Wie aus Daten Wert entsteht. Springer Vieweg, Berlin, S 145–159
- [14] **Jakob S, Schulte AT, Sparer D, Koller R, Henke M (2018)** Social Networked Industry ganzheitlich gestalten. »Future Challenges in Logistics and Supply Chain Management. Fraunhofer IML, Dortmund
- [15] **Hoffmann T, Skwarek V (2019)** Blockchain, Smart Contracts und Recht. Smart Contracts als Risiko für Informatiker. Informatik Spektrum 42(3):197–204. doi:10.1007/s00287-019-01180-3
- [16] **Chowdhury MJM, Colman A, Kabir MA, Han J, Sarda P (2018)** Blockchain Versus Database: A Critical Analysis 2018 17th IEEE International Conference On Trust, Security And Privacy In Computing And Communications/ 12th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering (TrustCom/BigDataSE). IEEE, S 1348–1353

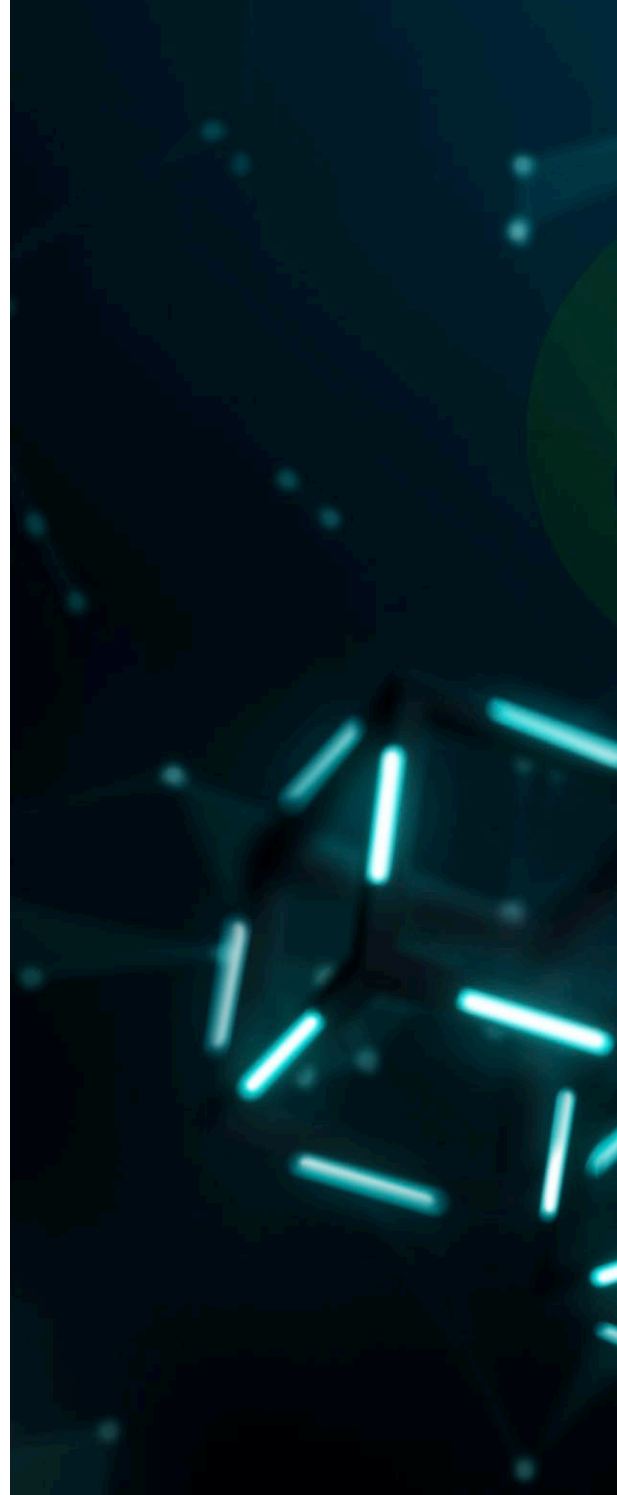
- [17] **Ali O, Jaradat A, Kulakli A, Abuhlimeh A (2021)** A Comparative Study: Blockchain Technology Utilization Benefits, Challenges and Functionalities. *IEEE Access* 9:12730–12749. doi:10.1109/ACCESS.2021.3050241
- [18] **Digiconomist (2021)** Bitcoin Electronic Waste Monitor - Digiconomist. <https://digiconomist.net/bitcoin-electronic-waste-monitor/>. Zugegriffen: 05. Dezember 2022
- [19] **Digiconomist (2022)** Bitcoin Energy Consumption Index - Digiconomist. <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>. Zugegriffen: 05. Dezember 2022
- [20] **Digiconomist (2022)** Ethereum Energy Consumption Index - Digiconomist. <https://digiconomist.net/ethereum-energy-consumption>. Zugegriffen: 05. Dezember 2022
- [21] **Sedlmeir J, Buhl HU, Fridgen G, Keller R (2020)** The Energy Consumption of Blockchain Technology: Beyond Myth. *Bus Inf Syst Eng* 62(6):599–608. doi:10.1007/s12599-020-00656-x
- [22] **Rusch M, Schöggli J-P, Baumgartner RJ (2022)** Application of digital technologies for sustainable product management in a circular economy: A review. *Bus Strat Env*. doi:10.1002/bse.3099
- [23] **Rohde M, Bürger M, Peneva K, Mock J (Hrsg) (2022)** Datenwirtschaft und Datentechnologie. Wie aus Daten Wert entsteht. Springer Vieweg, Berlin
- [24] **Sherman AT, Javani F, Zhang H, Golaszewski E (2018)** On the Origins and Variations of Blockchain Technologies
- [25] **PwC (2020)** Time for Trust. The trillion-dollar reasons to rethink blockchain
- [26] **Henke M (2017)** Blockchain - Von Supply Chain Finance über Smart Payment bis zu Smart Contracting. <https://www.de-hub.de/blog/post/blockchain-von-supply-chain-finance-ueber-smart-payment-bis-zu-smart-contracting/>. Zugegriffen: 01. März 2023
- [27] **Sixt E (2017)** Bitcoins und andere dezentrale Transaktionssysteme. Blockchains als Basis einer Kryptoökonomie. Business book summary. Springer Gabler, Wiesbaden
- [28] **Schulze A, Bender J, Weber F (2019)** Blockchain in der Bundesverwaltung. *Verwaltung und Management* (2):83–89
- [29] **Meitinger TH (2017)** Smart Contracts. *Informatik Spektrum* (4):371-175
- [30] **Güllemann D (2004)** Wichtige Gesetze des Wirtschaftsprivatrechts, 6. Aufl. NWB-Textausgaben. Verlag Neue Wirtschafts-Briefe, Herne
- [31] **Klink P, Brüning S (2022)** BLOCKCHAIN. Booster für ein optimiertes, durchgängig digitales Gefahrgutmanagement. *Logistik entdecken* 22:40–41
- [32] **blockchain europe.nrw (2022)** Open Source Baukasten. Universelle Bausteine für Ihre Infrastruktur. <https://blockchain-europe.nrw/open-source/open-source-baukasten/>. Zugegriffen: 22. Dezember 2022
- [33] **Singer AB (2018)** Practical C++ Design. From Programming to Architecture. Apress, New York
- [34] **Patni S (2017)** Pro RESTful APIs. Design, Build and Integrate with REST, JSON, XML and JAX-RS. Apress, New York
- [35] **Kiebler L, Jornitz T, Musa A, Grötz F (2022)** Blockchain: Einsatzmöglichkeiten in Zoll- und Exportkontrollumfeld. *Außenwirtschaftliche Praxis : AW-Prax* 28(6)
- [36] **Open Logistics Foundation (2022)** Licenses. <https://openlogisticsfoundation.org/licenses/>. Zugegriffen: 22. Dezember 2022
- [37] **Pawellek G (2016)** Integrierte Instandhaltung und Ersatzteillogistik. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
- [38] **Zimmermann R, Zscheile F (2016)** Von der Maschinenakte zur Lebenslaufakte. [https://www.frankzscheile.de/images/arbeitsproben/Von-derMaschinenakte-zurLebenslaufakte\\_prod\\_16-1.pdf](https://www.frankzscheile.de/images/arbeitsproben/Von-derMaschinenakte-zurLebenslaufakte_prod_16-1.pdf). Zugegriffen: 12. Dezember 2022
- [39] **Kiklhorn D, Wolny M, Austerjost M, Michalik A (2020)** Digital lifecycle records as an instrument for inter-company knowledge management. *Procedia CIRP* 93:292–297. doi:10.1016/j.procir.2020.03.062
- [40] **Wolny M, Rademacher R, Broza-Abut N (2021)** Anwendungsfälle für die Blockchain-Technologie in der smarten Instandhaltung. In: Henke M (Hrsg) Tagungsband des 19. InstandhaltungsForums. Netzwerke und Kooperationen in der Instandhaltung. Fraunhofer-Gesellschaft, S 56–62
- [41] **Brumby L (2021)** Digitale Transformation in der Instandhaltung. In: Altenfelder K, Schönfeld D, Krenkler W (Hrsg) Services Management und digitale Transformation. Impulse und Beispiele für die erfolgreiche Umsetzung digitaler Services. Springer Gabler, Wiesbaden, S 379–396

- [42] **Probst G, Raub S, Romhardt K (2012)** Wissen managen. Gabler Verlag, Wiesbaden
- [43] **Schmidt J (2016)** Die digitale Lebenslaufakte: Informationsmodell, Prozesse und Integration. <https://docplayer.org/38074663-Die-digitale-lebenslaufakte.html>. Zugegriffen: 09. Dezember 2022
- [44] **Lennart Brumby (2017)** Normen und Standards sind Basis der Smart Maintenance. Aktuelle Standardisierungen zum Asset Management und zur digitalen Lebenslaufakte sind Enabler der Industrie 4.0. <https://www.industrie-management.de/node/75>. Zugegriffen: 12. Dezember 2022
- [45] **Kiklhorn D, Wolny M, Große N (2021)** Blockchain basierte digitale Lebenslaufakte als Instrument für ein überbetriebliches Daten- und Wissensmanagement. In: Biedermann H (Hrsg) Instandhaltung als Erfolgsfaktor. Strategie, Lebenszyklusorientierung und Digitalisierung. TÜV Media GmbH TÜV Rheinland Group, Köln, S. 313–328
- [46] **Schmidt J (2017)** CVtec: Ein integratives Rahmenwerk zum ganzheitlichen Wissensmanagement im Lebenslauf von technischen Anlagen. Schlussbericht, Universität Leipzig
- [47] **Focke M, Steinbeck J (2018)** Steigerung der Anlagenproduktivität durch OEE-Management. Definitionen, Vorgehen und Methoden - von manuell bis Industrie 4.0. essentials. Springer Gabler, Wiesbaden
- [48] **Schuh G, Kelzenberg C, Lange J de, Busch M, Stracke F, Frey C (2022)** Predictive Maintenance. WBA Aachener Werkzeugbau Akademie GmbH, Aachen
- [49] **Ippolito M, Nikolakis N, Cerquitelli T, O'Mahony N, Makris S, Macii E (2021)** Industrial Digitisation and Maintenance: Present and Future. In: Cerquitelli T, Nikolakis N, O'Mahony N, Macii E, Ippolito M, Makris S (Hrsg) Predictive Maintenance in Smart Factories. Architectures, Methodologies, and Use-cases. Springer Nature, Singapore, S 3–18
- [50] **Uwe Frieß** Was ist die Smart Maintenance Community und wie kann sie helfen Produktionsausfälle zu vermeiden? <https://www.kognitive-produktion.de/smart-maintenance-community/>. Zugegriffen: 15. März 2023
- [51] **DIN EN 13306:2018-02**, Instandhaltung\_ - Begriffe der Instandhaltung; Dreisprachige Fassung EN\_13306:2017. Beuth Verlag GmbH, Berlin. doi:10.31030/2641990
- [52] **Fabian Förster** PlatonaM - Plattform-Ökosystem für innovatives Instandhaltungsmanagement durch Predictive Maintenance. Schlussbericht für das Teilvorhaben: Prädiktives Instandhaltungsmanagement
- [53] **Stefan Weinzierl (2021)** Predictive Maintenance - der große Überblick. <https://www.instandhaltung.de/instandhaltung-4-0/predictive-maintenance/predictive-maintenance-der-grosse-ueberblick-101.html>. Zugegriffen: 15. März 2023
- [54] **Förster F, Schier A, Henke M, Hompel M ten (2019)** Dynamische Risikoorientierung durch Predictive Analytics am Beispiel der Instandhaltungsplanung. Wissenschaftliche Gesellschaft für Technische Logistik
- [55] **Zhang S, Zhang C, Yang Q (2003)** Data preparation for data mining. Applied Artificial Intelligence 17(5-6):375–381. doi:10.1080/713827180
- [56] **Klees M, Evirgen S (2022)** Building a smart database for predictive maintenance in already implemented manufacturing systems. Procedia Computer Science 204:14–21. doi:10.1016/j.procs.2022.08.002
- [57] **Opiel S, Schmelting J (2021)** Datensouveränität. In: Ten Hompel M, Henke M, Otto B (Hrsg) Silicon Economy. Wie digitale Plattformen industrielle Wertschöpfungsnetzwerke global verändern. Springer Vieweg, Berlin, S 41–54
- [58] **Kenner K, Seiter M (2022)** Kundenakzeptanz von Subscription Models. Akzeptanzhürden und Lösungsansätze. In: Bruhn M, Hadwich K (Hrsg) Smart Services. Band 3: Kundenperspektive - Mitarbeiterperspektive - Rechtsperspektive. Springer Gabler, Wiesbaden, S 197–217
- [59] **Deutsches Institut für Normung e. V. (2022)** Instandhaltung. Wesentliche Leistungskennzahlen für die Instandhaltung (15341). Beuth, Berlin
- [60] **Heller T, Prasse C (2018)** Total Productive Management - ganzheitlich. Einführung in der Praxis. Springer Vieweg, Berlin
- [61] **Pähler P, Rundshagen M (2018)** Das Internet der Dinge erfordert neue Finanzdienstleistungen. Wie die Pay-per-Use Supply Chain neue Finanzprodukte ermöglicht. In: Brühl V, Dorschel J (Hrsg) Praxishandbuch Digital Banking. Springer Gabler, Wiesbaden, S 343–356
- [62] **Ritter M, Schanz H (2019)** The sharing economy: A comprehensive business model framework. Journal of Cleaner Production (213):320–331. doi:17452

- [63] **Brühl V (2015)** Wirtschaft des 21. Jahrhunderts. Herausforderungen in der Hightech-Ökonomie. Springer Gabler, Wiesbaden
- [64] **Lukesch M (2019)** Sharing Economy in der Logistik. Ein Theoriebasiertes Konzept Für Online-Mitfahrdienste. Zugl.: Regensburg, Univ., Diss., 2019. Springer Gabler, Wiesbaden
- [65] **Biedermann H (2008)** Ersatzteilmanagement. Effiziente Ersatzteillistik für Industrieunternehmen, 2. Aufl. VDI-Buch. Springer, Berlin
- [66] **Heß Y (2021)** Leasing – Eine Kapitalgebersicht. In: Hoppe C (Hrsg) Praxishandbuch Finanzierung von Innovationen. Von der Idee bis zum Exit. Springer Gabler, Wiesbaden, S 309–320
- [67] **Buß D (2019)** Gestaltungs- und Erklärungsmodell als Beitrag für ein kollaboratives Ersatzteilmanagement. Zugl.: Dortmund, Techn. Univ., Diss. Unternehmenslogistik. Verlag Praxiswissen, Dortmund
- [68] **Schröter M (2006)** Strategisches Ersatzteilmanagement in closed-loop supply chains. Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2005, Dt. Univ.-Verl
- [69] **Weißbach A (2012)** Verbundinstandhaltung bei Kleinunternehmen, kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Ein Konzept für neue Organisationsformen der Instandhaltung. Zugl.: Ilmenau, Techn. Univ., Diss. Univ.-Verl., Ilmenau
- [70] **Wortmann B, Buß D (2014)** Ressourcenschonende Instandhaltungslogistik: Der Weg zur netzwerkgetriebenen, unternehmens- und chemieparkübergreifenden Materialwirtschaft. In: K. Nienhaus & P. Burgwinkel (Hrsg) AKIDA Tagungsband 2014. Tagungsband zum 10. Aachener Kolloquium für Instandhaltung, Diagnose und Anlagenüberwachung - 19./20. November 2014. Aachener Schriften zur Rohstoff- und Entsorgungstechnik des Instituts für Maschinentechnik der Rohstoffindustrie (IMR) - ASRE, 84, Stolberg (Rhld.): Ralf Zillekens, S 335–345
- [71] **Vahrenkamp R, Kotzab H, Siepermann C (2012)** Logistik. Management und Strategien, 7. Aufl. Management 10-2012. Oldenbourg Verlag, München
- [71] **Straub M, Luban K (2021)** Consumer Electronics – Profiteure der Corona-Pandemie. In: Luban K, Hänggi R (Hrsg) Erfolgreiche Unternehmensführung durch Resilienzmanagement. Branchenübergreifende Praxisstudie am Beispiel der Corona-Krise. Springer Vieweg, Berlin, S 47–59
- [73] **Fladnitzer M (2006)** Vertrauen als Erfolgsfaktor virtueller Unternehmen. Zugl.: Klagenfurt, Univ., Diss., 2006, Dt. Univ.-Verl
- [74] **Krüger J (2012)** Kooperation und Wertschöpfung. Mit Beispielen aus der Produktentwicklung und unternehmensübergreifenden Logistik. Springer, Berlin, Heidelberg
- [75] **Buß D (2021)** Hochwertige Stammdaten im Ersatzteilmanagement. ERP Management 3(17):38–40
- [76] **Otto B, Österle H (2016)** Corporate Data Quality. Voraussetzung erfolgreicher Geschäftsmodelle, 1. Aufl. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg
- [77] **Nees H, Wabra K (2013)** Projektmanagement in der Finanzdienstleistungsbranche. In: Ahlemann F, Eckl C (Hrsg) Strategisches Projektmanagement. Praxisleitfaden, Fallstudien und Trends. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, S 269–302
- [78] **Sandkuhl K, Wißotzki M, Stirna J (2013)** Unternehmensmodellierung. Grundlagen, Methode und Praktiken, 1. Aufl. Xpert. press Ser. Springer Berlin / Heidelberg, Berlin, Heidelberg
- [79] **Angermeier G (2013)** Trägerorganisation. <https://www.projektmagazin.de/glossarterm/traegerorganisation>. Zugegriffen: 22. Februar 2023







## Kontakt

---

Dr. Dominik Buß, Fraunhofer IML  
Michael Wolny, Fraunhofer IML  
Britta Wortmann, Fraunhofer IML  
Marina Klees, Fraunhofer IML  
Dr. Thomas Heller, Fraunhofer IML

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML  
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2-4  
44227 Dortmund  
[www.ima.fraunhofer.de](http://www.ima.fraunhofer.de)