

Bachelorarbeit
im Bachelorstudiengang
Wirtschaftsingenieurwesen/Logistik
an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Neu-Ulm

**Praktische Anwendung von Blockchain in Lieferketten: Analyse
und Vergleich realer Anwendungsfälle**

Erstkorrektor: Prof. Dr. Carsten Prenzler
Zweitkorrektor: Professor Dr. Stefan Distel

Verfasser: Dennis Gerdt (Matrikel-Nr.: 279885)

Thema erhalten: 21.11.2024
Arbeit abgegeben: 21.03.2025

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	1
1.1 RELEVANZ DES THEMAS UND NUTZEN DER ARBEIT	1
1.2 FORSCHUNGSFRAGEN	2
1.3 ZIELSETZUNG DER ARBEIT	3
2. THEORETISCHER RAHMEN	5
2.1 GRUNDLAGEN DER BLOCKCHAIN-TECHNOLOGIE	5
2.1.1 <i>Definition der Blockchain-Technologie</i>	5
2.1.2 <i>Grundlegende Funktionsweisen und Arten der Blockchain-Technologie</i>	6
2.1.4 <i>Generationen von Blockchains</i>	8
2.2 GRUNDLAGEN IM SUPPLY CHAIN MANAGEMENT	10
2.2.1 <i>Definition, Aufgabe und Ziele des Supply Chain Managements</i>	10
2.2.4 <i>Herausforderungen und Risiken im Supply Chain Management</i>	11
2.3 BLOCKCHAIN IM SCM: EINE EINORDNUNG (SYNTHESE)	16
2.3.1 <i>Relevanz der Blockchain im Supply Chain Management</i>	16
2.3.2 <i>Funktionsweise der Blockchain im SCM</i>	18
2.3.3 <i>Herausforderungen der Blockchain im SCM</i>	21
2.3.6 <i>Trend nach anderen gleichwertigen Technologien</i>	22
3. METHODIK	25
3.1 EINFÜHRUNG & STRUKTUR DER METHODIK	25
3.1.1 <i>Zielsetzung der Methodik</i>	25
3.1.2 <i>Methodische Grundlage - Herangehensweise</i>	25
3.1.3 <i>Inhaltliche Bewertungsgrundlagen</i>	26
3.1.4 <i>Strukturierung der Methodik</i>	28
3.2 METHODIK: 1. SITUATIONS- UND LÖSUNGSANALYSE	29
3.2.1 – 1.1 <i>Situation & Problemstellung</i>	29
3.2.2 – 1.2 <i>Lösungsansatz mit Blockchain</i>	29
3.3 METHODIK: SYSTEMATISCHE BEWERTUNG	30
3.3.1 <i>Methodik: Entscheidungspfad</i>	30
3.3.2 <i>Methodik: Scoring-Modell</i>	31
3.3.3 <i>Methodik: Kosten-Analyse</i>	33
4. PRAKTISCHE ANALYSE UND ANWENDUNGSFÄLLE	36
4.1 AUSWAHL DER ANWENDUNGSFÄLLE	36
4.2 BESCHREIBUNG DER ANWENDUNGSFÄLLE	38
4.2.1 <i>TradeLens - Digitalisierung von Frachtpapieren und Statusverfolgung von Seefrachtcontainer</i>	38
4.2.2 <i>IBM Food Trust - Erhöhung der Nahrungsmittelsicherheit</i>	40
4.2.3 <i>Everledger - Echtheitsüberprüfung von Diamanten</i>	41
4.2.4 <i>FairChain - Global Coffee Supply</i>	43
4.3 ANWENDUNG: SITUATIONS- UND LÖSUNGSANALYSE	45
4.3.1 <i>Anwendung: Situation & Problemstellung</i>	45
4.3.2 <i>Anwendung: Lösungsansatz mit Blockchain</i>	46
4.4 ANALYSE DER SITUATION UND LÖSUNGSFINDUNG	48
4.4.1 <i>Anwendung: Entscheidungspfad</i>	48
4.4.2 <i>Anwendung: Scoring-Modell</i>	49
4.4.3 <i>Anwendung: Kosten-Analyse – Scenario</i>	52
5. DISKUSSION	55
5.1 INTERPRETATION UND ERGEBNISSE	55
5.2 BEANTWORTUNG DER FORSCHUNGSFRAGE	57
5.4 KRITISCHE REFLEXION UND LIMITATIONEN	60
6. AUSBLICK	61

6.1 PRAKTISCHE EMPFEHLUNGEN.....	61
6.2 AUSBLICK AUF ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN UND FORSCHUNG	62
7. LITERATURVERZEICHNIS.....	63
8. ANHANG.....	66

Tabellenverzeichnis

Table 1 Vergleich der Blockchain-Arten nach Merkmalen, eigene Darstellung mit Informationen aus Zusammenfassung der folgenden Quellen: [1] Blockchain Fundamentals (Haufe Verlag), [2] Vitalik Buterin Blogpost „On Public and Private Blockchains“, [3] Blockchain-A.....	8
Table 2 Alternative Technologien, Eigene Darstellung.....	24
Table 3 Methodik & Vorgehensweise, Eigene Darstellung	29
Table 4 Lösungsansatz mit Blockchain, eigene Darstellung	29
Table 5 Scoring-Modell - individuelle Bewertungskriterien, Eigene Darstellung.....	32
Table 6 Bewertungsscala, Eigene Darstellung.....	33
Table 7 Kategorisierung der Anwendungsfälle, Eigene Darstellung	36
Table 8 Anwendung: Situation & Problemstellung, Eigene Darstellung	45
Table 9 Anwendung: Lösungsansatz mit Blockchain, Eigene Darstellung.....	47
Table 10 Anwendung: Entscheidungspfad , Eigene Darstellung	48
Table 11 Anwendung: Scoring-Modell, Eigene Darstellung	49
Table 12 Kostenrechnung TCO, Eigene Darstellung	54
Table 13 Lösungsansatz mit Blockchain, eigene Darstellung	66
Table 14 Entscheidungspfad Blank	66
Table 15 Anwendung: Scoring-Modell Blank, Eigene Darstellung	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Gartner Hype Cycle for Supply Chain Strategy 2022, Gartner	1
Abbildung 2 Arten von Blockchain, 4initia.....	7
Abbildung 3 Generationen von Blockchain, 2022, E. Holschbach, E. Buss, Blockchain in Einkauf und Supply Chain	9
Abbildung 4 Komplexe Lieferkette, Risikomanagement in der Logistik.....	12
Abbildung 5 Zweck der Blockchain-Anwendung in SCM; Holschbach, E./Buss, E., Blockchain in Einkauf und Supply Chain	16
Abbildung 6 Konsensmechanismen, Million, C., Crashkurs Blockchain.....	19
Abbildung 7 Smart Contracts Leuchtigkeit- und Temperaturüberwachung, Stefano Tempesta, Schutz Ihrer Lieferkette mit Azure IoT und der Blockchaincloud	20
Abbildung 8 Blockchain im Vergleich zu Hashgraph, Hedera: A Public Hashgraph Network & Governing Council	24
Abbildung 9 Entscheidungspfad nach DHS, Eigene Darstellung - Übersetzung von DHS.....	30
Abbildung 10 Architektur von TradeLens, Hinkedyln.....	40
Abbildung 11 Prozessdarstellung FairChain, Blockchain Applications in Food Supply Chain Management.....	44

1. Einleitung und Zielsetzung

1.1 Relevanz des Themas und Nutzen der Arbeit

Wie viele Unternehmen haben die vollständige Transparenz über die Nachhaltigkeitsrisiken ihrer indirekten Lieferanten?

Transparenz in der Lieferkette ist heute entscheidender denn je – doch eine aktuelle Studie des Bundesverbands für Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik (BME) zeigt, dass nur 7% der Unternehmen vollständige Transparenz über die Nachhaltigkeitsrisiken ihrer indirekten Lieferanten haben. 46% der Unternehmen haben nur teilweise Transparenz, während 47% keinerlei Einblick entlang indirekten Lieferketten besitzen.¹ Die Ergebnisse der Studie machen deutlich, dass es in Bezug auf die Transparenz entlang der Lieferketten noch erhebliche Herausforderungen gibt. Dies ist lediglich eine von zahlreichen Herausforderungen, denen sich Unternehmen im Jahr 2025 stellen müssen.

In diesem Zusammenhang wird die Blockchain-Technologie als vielversprechende Lösung angesehen, um die Transparenz, Sicherheit und Effizienz von Lieferketten zu erhöhen. Ein wesentlicher Aspekt der Technologie besteht in der Möglichkeit, Transaktionsdaten dezentral und fälschungssicher zu speichern. Dadurch werden Manipulationen verhindert und die Rückverfolgbarkeit der Daten sichergestellt. Es besteht jedoch noch die Frage, ob die Blockchain-Technologie bereits praxisreif ist oder ob sie noch an entscheidenden Hürden scheitert.

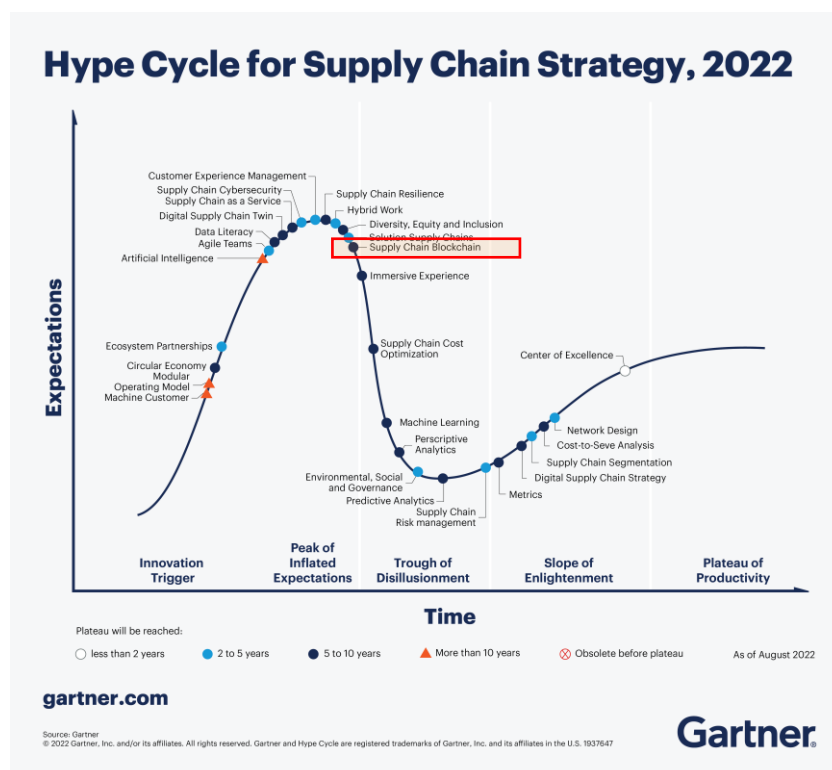


Abbildung 1 Gartner Hype Cycle for Supply Chain Strategy 2022, Gartner

Ein Blick auf den Gartner Hype Cycle for Supply Chain Strategy 2022 (Abb. 1) zeigt, dass sich „Supply Chain Blockchain“ damals auf dem „Peak of Inflated Expectations“ befand. Einer Phase, in der neue Technologien

¹ Statista

große Erwartungen wecken, deren praktische Umsetzung jedoch häufig noch unzureichend erprobt ist. Drei Jahre später, im Jahr 2025, könnte sich die Technologie mittlerweile im „Trough of Disillusionment“ befinden. In einer Phase, in der Unternehmen die tatsächlichen Herausforderungen erkennen.

Trough of Disillusionment – Tal der Enttäuschungen

In der „Trough of Disillusionment-Phase“ setzt nach dem anfänglichen Hype Ernüchterung ein. Erste praktische Anwendungen zeigen, dass die Technologie noch unausgereift ist oder auf unerwartete Herausforderungen stößt. Die hohen Implementierungskosten, die Herausforderungen bei der Skalierung und das Fehlen von Standards führen dazu, dass viele Unternehmen zögern, weitere Investitionen zu tätigen. Dies hat zur Folge, dass sowohl Investoren als auch die Medien ihr Interesse verlieren und der anfängliche Hype abflacht. Technologien, die in dieser Phase scheitern, verschwinden in der Regel vom Markt, da sie sich als wirtschaftlich oder technisch unpraktikabel erweisen. Andere wiederum werden weiterentwickelt und verbessert, um reale Anwendungsfälle zu ermöglichen. Unternehmen, die an der Technologie festhalten und sie optimieren, ebnen den Weg für den "Slope of Enlightenment", in dem nachhaltige Einsatzmöglichkeiten und bewährte Praktiken entstehen.

Nutzen der Arbeit

Wie bereits in der Einleitung dargelegt, ist Transparenz in der Lieferkette von entscheidender Bedeutung. Ein Beispiel aus der Praxis ist die Kobaltproduktion, die für die Herstellung von Lithium-Ionen-Akkus essenziell ist. Etwa 70 % des globalen Kobaltangebots stammen aus der Demokratischen Republik Kongo, wo Menschenrechtsverletzungen, Kinderarbeit und Umweltzerstörung bekannt sind.² Unternehmen stehen somit vor der Herausforderung, die Herkunft ihrer Rohstoffe nachzuvollziehen, was ohne transparente und verlässliche Nachverfolgungsmethoden nahezu unmöglich erscheint.

In der Modeindustrie treten ähnliche Probleme auf, wo Greenwashing-Kampagnen Verbraucher oft durch suggerierte Nachhaltigkeit täuschen, ohne ausreichende Nachweise zu liefern. Gemäß den "Sieben Empfehlungen gegen Greenwashing-Vorwürfe" ist Transparenz ein zentraler Faktor, um derartige Täuschungen zu vermeiden.³ Unternehmen können das Vertrauen der Verbraucher stärken, indem sie ihre Transparenz im Hinblick auf ihre Maßnahmen im Bereich Nachhaltigkeit erhöhen und diese auch nachweisen können.

An dieser Stelle soll die vorliegende Arbeit ansetzen und die verschiedenen Anwendungsfälle der Blockchain-Technologie in Lieferketten eingehend analysieren. In der Analyse sollen sowohl die konkreten Vorteile als auch die Herausforderungen herausgearbeitet werden. Ziel ist es eine Bewertungsgrundlage zu bieten, die zeigt ob Blockchain-Technologie einen nachhaltigen Mehrwert für die Branche bietet oder ob sie lediglich einem kurzfristigen Trend folgt.

1.2 Forschungsfragen

Vor diesem Hintergrund stellt sich die zentrale Forschungsfragen:

² vgl. *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2022, 2022, S. 18*

³ vgl. *Lehmacher, W./Bödecker, J., Circular Economy, 2023, S. 87–94*

"Wie können die Potenziale und Herausforderungen der Blockchain-Technologie im Supply Chain Management systematisch analysiert und verglichen werden, und welche Kriterien und Methoden sind erforderlich, um eine praxisorientierte Bewertung für eine erfolgreiche Implementierung zu ermöglichen?!"

Um diese Hauptforschungsfrage zu beantworten, werden u. a. folgende Unterfragen betrachtet:

FF.1) Welche Methodik oder Kriterien sind notwendig, um die Eignung der Blockchain-Technologie im Supply Chain Management zu bewerten?

FF.2) Welche Methodik oder Kriterien sind notwendig, um die erfolgreiche Nachhaltige Eignung der Blockchain-Technologie im Supply Chain Management zu bewerten?

FF.3) Welche Potenziale und Herausforderungen im Lieferkettenbereich lassen sich aus der Analyse der Anwendungsfälle ableiten?

FF.4) Welche Akteure profitieren von den Potentialen und welche nicht?

FF.5) Welche Technologien bieten vergleichbare Eigenschaften und welche davon stellt die bessere Option dar?

1.3 Zielsetzung der Arbeit

Die Zielsetzung dieser Arbeit wird aus der zentralen Forschungsfrage abgeleitet:

"Wie können die Potenziale und Herausforderungen der Blockchain-Technologie im Supply Chain Management systematisch bewertet werden, und welche Kriterien und Methoden sind erforderlich, um eine praxisorientierte Bewertung für eine erfolgreiche Implementierung?"

Zur Beantwortung der Forschungsfrage werden verschiedene Aspekte untersucht, darunter die Identifikation geeigneter Bewertungskriterien und Methoden, die Analyse realer Anwendungsfälle sowie die Ableitung von Erfolgsfaktoren und Grenzen der Blockchain-Technologie im SCM. Darüber hinaus soll untersucht werden, wie Unternehmen diese Erkenntnisse nutzen können, um fundierte Entscheidungen über den Einsatz von Blockchain zu treffen.

Zur Vorgehensweise:

- 1) Grundlagen schaffen: Die beiden Themenbereiche "Blockchain-Technologie" und "Supply-Chain-Management" separat betrachtet. Im Rahmen einer Synthese werden anschließend die potenziellen Schnittmengen beider Themenbereiche analysiert. Dabei wird insbesondere untersucht, inwiefern Blockchain-Technologie bestehende SCM-Ansätze ergänzen oder ablösen kann und welche neuen Möglichkeiten sich durch ihre Integration ergeben.
- 2) Entwicklung eines Bewertungs-Use-Case: Einen Bewertungs-Use-Case zu entwickeln, der es ermöglicht, den potenziellen Einsatz der Blockchain-Technologie im Supply Chain Management zu bewerten. Dieser Rahmen soll Allgemein dabei unterstützen, systematisch zu entscheiden, ob und unter welchen Bedingungen der Einsatz von Blockchain sinnvoll ist.

- 3) Anwendung des Bewertungs-Use-Case auf reale Anwendungsfälle: Den Bewertungs-Use-Case anwenden, um verschiedene Anwendungsfälle systematisch zu bewerten. Dabei werden Blockchain-basierte Lösungen anhand von verschiedenen Methoden und Vorgehensweisen analysiert und Bewertet. Ziel ist es, spezifische Erfolgsfaktoren, Herausforderungen und Bedingungen für den Einsatz von Blockchain in der Praxis zu identifizieren.
- 4) Vergleich und Synthese: Erkenntnisse aus den bewerteten Anwendungsfällen zusammenführen, Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausarbeiten und zentrale Herausforderungen sowie Erfolgsfaktoren kritisch reflektieren.
- 5) Handlungsempfehlungen und Ausblick: Abschließend sollen auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse praktische Implikationen abgeleitet und ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen im Bereich Blockchain und Supply Chain Management gegeben werden.

2. Theoretischer Rahmen

2.1 Grundlagen der Blockchain-Technologie

2.1.1 Definition der Blockchain-Technologie

Die Blockchain-Technologie ist eine spezielle Form der Distributed-Ledger-Technologie (DLT). Sie speichert digitale Datensätze, Ereignisse oder Transaktionen in einem dezentralen, manipulationssicheren Netzwerk. Es gibt jedoch keine einheitliche Definition der Blockchain-Technologie. Stattdessen existieren verschiedene Ansätze, die jeweils unterschiedliche Aspekte betonen. Dies ist auf die dynamische Natur der Blockchain-Technologie zurückzuführen, die durch ihre stetige Weiterentwicklung, die Vielseitigkeit der Anwendungsbereiche und die unterschiedlichen technologischen Ausprägungen (z. B. Blockchain 1.0, Blockchain 2.0, Blockchain 3.0) geprägt ist.⁴

Verschiedene Perspektiven/Definitionen der Blockchain-Technologie

Technische Perspektive: Ein Bericht aus dem Jahr 2016 "Distributed Ledger Technology: Beyond Blockchain" des UK Government Chief Scientific Adviser beschreibt die Blockchain als eine spezielle Art von Datenbank.⁵ Sie fasst mehrere Datensätze in einem Block zusammen, verknüpft diese Blöcke durch kryptografische Signaturen und bildet dadurch eine Kette. Diese Kette kann wie ein gemeinsames Register (Ledger) genutzt werden, das von berechtigten Personen eingesehen, bestätigt und überprüft werden kann.

Funktionale Perspektive: In einem Diskussionspapier aus dem Jahr 2016 vom Fraunhofer FIT mit dem Titel "Blockchain: Grundlagen, Anwendungen und Potenziale" wird die Blockchain als elektronisches Register für digitale Datensätze, Ereignisse oder Transaktionen beschrieben.⁶ Dieses Register wird von den Teilnehmern eines dezentralen Netzwerks verwaltet. Dabei wird zwischen der Blockchain als Datenstruktur und ihrem Verwaltungssystem unterschieden.

Anwendungsorientierte Perspektive: Ein Artikel der Harvard Business Review aus dem Jahr 2017 mit dem Titel "The Truth About Blockchain" beschreibt die Blockchain-Technologie aus einer anwendungsorientierten Perspektive.⁷ Sie wird als Werkzeug zur Automatisierung von Prozessen durch Smart Contracts definiert, die Transaktionen automatisch ausführen, sobald festgelegte Bedingungen erfüllt sind.

Gemeinsame Eigenschaften

Die Definition der Blockchain-Technologie zeigt, dass sie sowohl technisch als auch funktional und anwendungsorientiert beschrieben werden kann. Dabei bilden die Eigenschaften Dezentralität, Verkettungsprinzip, Konsensmechanismus, Kryptografie und Automatisierung das Fundament einer Blockchain-Technologie:⁸

- 1) **Dezentralität:** Blockchain-Systeme speichern Daten dezentral auf vielen unabhängigen Rechnern in einem Netzwerk. Jeder Rechner fungiert als gleichberechtigter Knoten und kann alle notwendigen

⁴ vgl. *Holschbach, E./Buss, E.*, Blockchain in Einkauf und Supply Chain, 2022, S. 4–7

⁵ vgl. *HANCOCK, M./VAIZEY, E.*, Distributed Ledger Technology, 2016, S. 17

⁶ vgl. *Schlatt, V. u. a.*, Blockchain, 2016, S. 7–8

⁷ vgl. *R. Lakhani, K./Iansiti, M.*, The Truth About Blockchain, 2017

⁸ vgl. *Holschbach, E./Buss, E.*, Blockchain in Einkauf und Supply Chain, 2022, S. 4–6

Funktionen ausführen. Diese Struktur macht das Netzwerk **robust gegen Ausfälle**, da keine zentrale Instanz besteht und Daten in jedem Knoten redundant gespeichert werden.

- 2) **Verkettungsprinzip:** Informationen werden in Blöcken gespeichert, die durch kryptografische Verfahren miteinander verknüpft sind. Diese Verknüpfung bildet die charakteristische „Kette“ der Blockchain. Jeder Block wird mit einem Zeitstempel versehen und in chronologischer Reihenfolge gespeichert, was **Transparenz und Nachvollziehbarkeit** gewährleistet.
- 3) **Konsensmechanismus:** Entscheidungen, z. B. ob ein neuer Block hinzugefügt wird, erfolgen durch Konsensmechanismen. Diese gewährleisten, dass alle Teilnehmer die aktuellste Version der Blockchain besitzen, ohne dass eine zentrale Kontrollinstanz notwendig ist. Konsensmechanismen stellen die **Synchronisation und Integrität** des Netzwerks sicher.
- 4) **Kryptografie:** Digitale Verschlüsselung sichert die in der Blockchain gespeicherten Daten und verhindert nachträgliche Änderungen. Daten können zwar von allen Teilnehmern eingesehen, jedoch nicht ohne weiteres interpretiert werden, was die **Integrität und Sicherheit** der Blockchain gewährleistet.
- 5) **Automatisierung:** Mit Smart Contracts ermöglicht die Blockchain die Automatisierung von Prozessen. Diese Programme setzen „Wenn-Dann-Regeln“ um und führen Transaktionen automatisch aus, sobald festgelegte Bedingungen erfüllt sind. Dies verbessert **Effizienz und Sicherheit** in verschiedenen Anwendungsbereichen.

2.1.2 Grundlegende Funktionsweisen und Arten der Blockchain-Technologie

Um jetzt nicht zu tief in die technischen Details der Blockchain einzutauchen, aber dennoch ein grundlegendes Verständnis für ihre Funktionsweise zu gewinnen, hilft ein einfaches Beispiel: Man kann sich eine Blockchain wie eine Einbahnstraße vorstellen. Sobald eine Transaktion auf der Blockchain gespeichert wurde, gibt es kein Zurück mehr – sie kann nicht geändert oder gelöscht werden. Genau wie man auf einer Einbahnstraße nicht einfach umdrehen und zurückfahren kann, erlaubt auch die Blockchain keine rückwirkenden Anpassungen an den gespeicherten Daten.

Dies ist in erster Linie auf die Verwendung von kryptografischen Hashfunktionen zurückzuführen, welche jeder Transaktion einen eindeutigen Fingerabdruck verleihen. Die Hashfunktionen sind **deterministisch** (die gleiche Eingabe erzeugt immer die gleiche Ausgabe), **kollisionsresistent** (zwei verschiedene Eingaben können nicht denselben Hash erzeugen) und **irreversibel** (der ursprüngliche Wert kann nicht aus dem Hash zurückgewonnen werden).⁹ Diese Eigenschaften gewährleisten, dass Daten unveränderlich, nachvollziehbar und fälschungssicher bleiben.

Arten von Blockchains

Blockchain-Systeme weisen strukturelle, funktionale und kontrolltechnische Unterschiede auf. Die vier Hauptarten, nämlich öffentliche, private und hybride Blockchains, bieten jeweils spezifische Vorteile und Nachteile, die sich nach den Anforderungen des Anwendungsfalls richten.

⁹ vgl. Holschbach, E./Buss, E., Blockchain in Einkauf und Supply Chain, 2022, S. s. 7-13

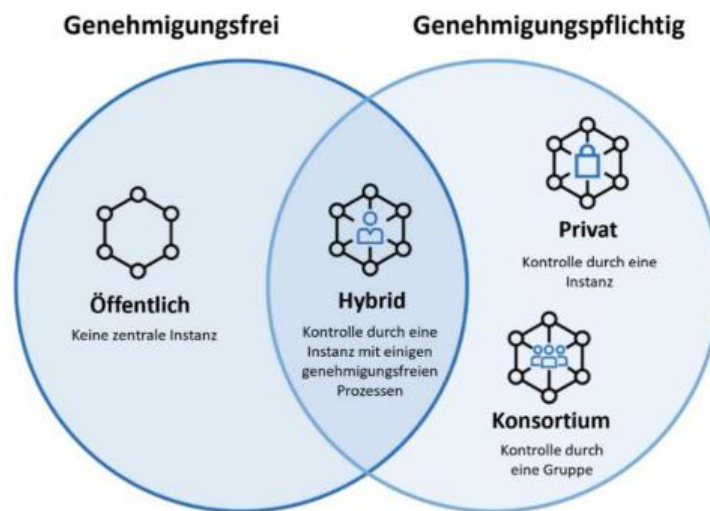


Abbildung 2 Arten von Blockchain, 4initia

Öffentliche Blockchains

Öffentliche Blockchains wie Bitcoin und Ethereum sind als offene Netzwerke konzipiert, die von jeder Person weltweit genutzt werden können. Die Teilnahme an diesen Netzwerken erfordert lediglich Zugang zum Internet, um Transaktionen durchzuführen und die auf der Blockchain gespeicherten Daten einzusehen. Die Dezentralität öffentlicher Blockchains ist dadurch gekennzeichnet, dass keine zentrale Kontrollinstanz existiert. Stattdessen arbeiten alle Teilnehmer gleichberechtigt zusammen.¹⁰

Eine der größten Stärken öffentlicher Blockchains ist ihre Transparenz und Dezentralität. Die Transparenz und Dezentralität öffentlicher Blockchains gewährleistet, dass sämtliche Transaktionen für jeden nachvollziehbar sind, was zu einer erhöhten Sicherheit und Vertrauenswürdigkeit führt. Trotz dieser Vorteile haben öffentliche Blockchains auch Schwächen. So sind sie in der Regel langsam und benötigen hohe Energieaufwendungen, da Konsensmechanismen wie "Proof-of-Work" ein hohes Maß an Rechenleistung erfordern.¹¹ Öffentliche Blockchains sind ideal für Anwendungen, die Offenheit und Sicherheit verlangen, aber weniger passend für Unternehmen, die auf Effizienz angewiesen sind.

Private Blockchains

Private Blockchains sind als geschlossene "Permissioned-Netzwerke" einzuordnen, deren Nutzung auf ausgewählte Teilnehmer beschränkt ist. Der Zugang wird in diesem Fall von einer zentralen Organisation kontrolliert, die als "Owner" bezeichnet wird.¹² Private Blockchains weisen im Vergleich zu öffentlichen Blockchains eine höhere Effizienz auf, da nur eine geringe Anzahl von Knotenpunkten am Permissioned-Netzwerk beteiligt ist. Dadurch können Transaktionen schneller validiert und abgeschlossen werden.

Ein Nachteil von privaten Blockchains ist jedoch, dass sie nicht vollständig dezentral sind. Diese Eigenschaft widerspricht dem ursprünglichen Prinzip der Blockchain-Technologie, welches die Kontrolle durch eine zentrale Instanz ausschließt. Nichtsdestotrotz können private Blockchains eine sinnvolle Wahl für

¹⁰ vgl. Hellwig, D./Karlic, G./Huchzermeier, A., Entwickeln Sie Ihre eigene Blockchain, 2021, S. 19–20

¹¹ vgl. von Million, C., Crashkurs Blockchain, 2019, S. 52–53

¹² vgl. von Million, C., Crashkurs Blockchain, 2019, S. 53–54

Unternehmen sein, die Wert auf Effizienz und Datenschutz legen, aber nicht auf vollständige Dezentralität angewiesen sind.

Konsortial-Blockchains

Konsortial-Blockchains werden von einer Gruppe von Organisationen gemeinsam betrieben, die über die Regeln und den Zugang zum Netzwerk entscheiden. Diese Art von Blockchain vereint die Stärken der Transparenz und Dezentralität öffentlicher Blockchains mit der Effizienz und dem Datenschutz privater Blockchains. Konsortium-Blockchains bieten demnach auch Effizienzvorteile. Die Validierung von Transaktionen wird auf ausgewählte Teilnehmer beschränkt, was zu einer Beschleunigung des Transaktionsabschlusses führt. Die gemeinsam getroffenen Entscheidungen über das Netzwerk bieten ein hohes Maß an Flexibilität. Diese Eigenschaften machen Konsortium-Blockchains ideal für Anwendungsbereiche, in denen eine Zusammenarbeit mehrerer Parteien erforderlich ist und sowohl Transparenz als auch Datenschutz von großer Bedeutung sind.

Table 1 Vergleich der Blockchain-Arten nach Merkmalen, eigene Darstellung mit Informationen aus Zusammenfassung der folgenden Quellen: [1] Blockchain Fundamentals (Haufe Verlag), [2] Vitalik Buterin Blogpost „On Public and Private Blockchains“, [3] Blockchain-A

Merkmal	Öffentliche Blockchain	Private Blockchain	Konsortium-Blockchain
Transparenz	Maximale Transparenz: Alle Transaktionen sind öffentlich einsehbar.	Eingeschränkte Transparenz: Nur autorisierte Teilnehmer haben Einblick in die Daten	Teilweise transparent: Bestimmte Daten sind öffentlich, andere privat
Dezentralität	Vollständig dezentral: Alle Teilnehmer sind gleichberechtigt.	Zentralisiert: Eine Organisation oder ein Unternehmen kontrolliert das Netzwerk	Teilweise dezentral: Kontrolle wird zwischen mehreren Parteien aufgeteilt
Effizienz	Hohe Rechen- und Energiekosten	Wenige Knotenpunkte sorgen für schnelle Transaktionen	Schneller als öffentliche Blockchains, aber langsamer als private
Sicherheit	Sicherheit durch Dezentralität und Kryptografie	Sicherheit durch kontrollierten Zugang und zentrale Überwachung	Kombinierte Sicherheit: Vorteile aus zentralen und dezentralen Ansätzen
Anpassungsfähigkeit	Änderungen sind schwer umzusetzen, da keine zentrale Kontrolle besteht	Regeln können durch die zentrale Instanz flexibel angepasst werden	Änderungen erfordern die Zustimmung der Konsortium-Mitglieder
Beispiele für Anwendungen	Kryptowährungen (z. B. Bitcoin, Ethereum), offene Marktplätze, Crowdfunding	Hyperledger	R3 Corda

Die Wahl des richtigen Blockchain-Typs hängt von den spezifischen Anforderungen eines Unternehmens ab. Öffentliche Blockchains zeichnen sich durch hohe Transparenz und Dezentralität aus, während private Blockchains mehr Kontrolle, Effizienz und Datenschutz bieten. Konsortial-Blockchains kombinieren diese Ansätze und eignen sich besonders für die Zusammenarbeit mehrerer Parteien, z.B. im Supply Chain Management. Eine weitere Option stellen Hybride Blockchains dar, die öffentliche und private Aspekte integrieren und es Unternehmen erlauben, zwischen Transparenz und Vertraulichkeit zu wählen. Die Entscheidung sollte unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren wie Sicherheit, Effizienz, regulatorische Anforderungen und Skalierbarkeit getroffen werden.

2.1.4 Generationen von Blockchains

Seit ihrer Einführung hat sich die Blockchain-Technologie erheblich weiterentwickelt. Ursprünglich für digitale Währungen wie Bitcoin konzipiert, hat sie eine vielseitige Technologie mit Anwendungen in den unterschiedlichsten Branchen entwickelt. Es sei darauf hingewiesen, dass nicht alle Blockchains gleich sind. Vielmehr lassen sie sich in verschiedene Generationen unterteilen, die jeweils neue Funktionen und Einsatzmöglichkeiten mit sich bringen.

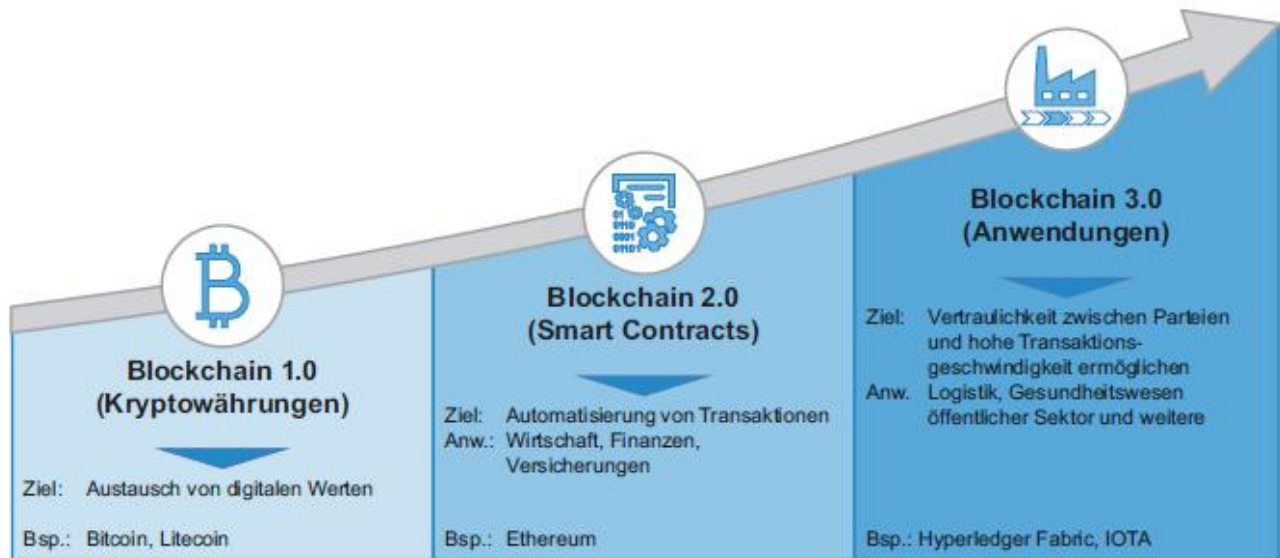


Abbildung 3 Generationen von Blockchain, 2022, E. Holschbach, E. Buss, Blockchain in Einkauf und Supply Chain

Blockchain 1.0 (Kryptowährungen)

Im Jahr 2008 wurde die Blockchain-Technologie durch ihren Erfinder Satoshi Nakamoto bekannt, als das Bitcoin-Whitepaper publiziert wurde. Ursprünglich war die Technologie ausschließlich für den Finanzsektor vorgesehen, um digitale Werte sicher und dezentral zu übertragen. Das Ziel bestand darin, eine unabhängige, transparente und fälschungssichere digitale Währung zu etablieren, die ohne zentrale Autoritäten wie Banken oder Regierungen auskommt. (Quelle)

Blockchain 2.0 (Smart Contracts)

Die Einführung von Smart Contracts hat die Blockchain-Technologie über die reine Verwendung für Kryptowährungen hinaus erweitert. Das Hauptziel dieser Phase besteht in der Automatisierung von Transaktionen durch den Einsatz von programmierbaren Verträgen, die beim Erfüllen vordefinierter Bedingungen selbstständig ausgeführt werden. Die Nutzung dieser Funktion ermöglicht eine höhere Effizienz und Sicherheit, vor allem in Bereichen wie Wirtschaft, Finanzen und Versicherungen.

Blockchain 3.0 (Anwendungen)

In der dritten Entwicklungsstufe findet die Technologie in einer breiteren Palette von Anwendungsbereichen Anwendung. Das Hauptziel dieser Phase besteht in der praktischen Ausweitung des Anwendungsbereichs. Der Anwendungsbereich erstreckt sich über verschiedene Branchen wie beispielsweise die Logistik-, Gesundheitswesen und der öffentliche Sektor. Von besonderer Relevanz sind in diesem Zusammenhang skalierbare und flexible Lösungen, die sich an die spezifischen Anforderungen verschiedener Industrien anpassen lassen. Diese Phase zeigt, wie Blockchain-Technologie zunehmend in reale Anwendungen integriert wird und neue Geschäftsmodelle ermöglicht.

Was sagt die Zukunft? Blockchain 4.0

Obwohl die Blockchain-Technologie bereits signifikante Fortschritte in ihrer Anwendung verzeichnen konnte, blieb sie in Bezug auf bestimmte Aspekte, wie etwa die Skalierbarkeit, die Interoperabilität und die Energieeffizienz, hinter den Erwartungen zurück. Die Entwicklung von Blockchain 4.0 zielt darauf ab, diese Einschränkungen zu überwinden und eine leistungsfähige Infrastruktur zu schaffen, die für die breite Anwendung geeignet ist.¹³

2.2 Grundlagen im Supply Chain Management

2.2.1 Definition, Aufgabe und Ziele des Supply Chain Managements

Die Definition von Supply Chain Management kann wie folgt zusammengefasst werden: „Supply Chain Management ist die kooperative Koordination von Material-, Informations-, und Finanzmittelflüssen in Unternehmensnetzwerken durch Schaffung integrativer, funktionsübergreifender Führungs- und Ausführungsprozesse mit dem Ziel, Wettbewerbsvorteile bei Endkunden zu realisieren und somit die Wirtschaftlichkeit des Gesamtnetzwerkes zu erhöhen.“¹⁴ Diese Definition verdeutlicht die Bedeutung einer engen Zusammenarbeit zwischen allen Akteuren einer Lieferkette. Sie zeigt, dass der Fokus nicht nur auf einzelnen Unternehmen, sondern auf dem gesamten Netzwerk liegt. Ziel ist es, durch ein koordiniertes Prozessmanagement sowohl die Effizienz zu steigern als auch Wettbewerbsvorteile zu sichern.

Ziele und Aufgaben des Supply Chain Managements

Die Aufgaben und Ziele des Supply Chain Managements (SCM) sind umfassend und leiten sich aus gesellschaftlichen, volkswirtschaftlichen und allgemeinen unternehmerischen Anforderungen ab. Diese spielen eine zentrale Rolle bei der Gestaltung moderner Supply Chains, die durch komplexe Netzwerke von Akteuren und vielfältige Interessenskonflikte beeinflusst werden. Im Mittelpunkt stehen die übergeordnete Optimierung der Supply Chain, die Harmonisierung von Zielen sowie die Erfüllung operativer und strategischer Anforderungen.¹⁵

Aufgaben des Supply Chain Managements

Die zentralen Aufgaben des SCM besteht in der Sicherstellung der Versorgung, also der Verfügbarkeit von Gütern und Dienstleistungen entlang der gesamten Lieferkette. Diese umfasst alle Prozessschritte von der „Source of Supply“ über die Produktion bis hin zum „Point of Consumption“ und zum Recycling.¹⁶ Ergänzend dazu ist die Entsorgung sowie das Schließen von Materialkreisläufen durch Recycling zentrale Aufgaben moderner Lieferketten. Dabei müssen Aspekte wie Quantität, Qualität, Preise, Liefer- und Lagerorte sowie Zustelltermine berücksichtigt werden.¹⁷

Eine zentrale Aufgabe des Supply Chain Managements (SCM) ist die Optimierung der Prozesse zur Steigerung von Effizienz und Effektivität (Doing the Right Things “& „Doing Things Right). Während Effizienz die ressourcenschonende Umsetzung von Aufgaben beschreibt, bedeutet Effektivität, die richtigen Maßnahmen zur

¹³ vgl. Codezeros, Blockchain 4.0, 2024

¹⁴ Liebetruth, T., Prozessmanagement in Einkauf und Logistik, 2024, S. 14

¹⁵ vgl. Werner, H., Supply Chain Management, 2020, S. 29

¹⁶ vgl. Werner, H., Supply Chain Management, 2020, S. 6–7

¹⁷ vgl. Werner, H., Supply Chain Management, 2020, S. 29

Zielerreichung zu ergreifen. Dies erfordert die enge Koordination eines komplexen Netzwerkes aus Lieferanten, Herstellern, Händlern, Distributoren, Dienstleistern und Kunden. Da jeder Akteur eigene Interessen verfolgt, entsteht ein **Spannungsfeld zwischen individueller Optimierung und gemeinsamer Zielerreichung**.¹⁸ Die Aufgabe des SCM besteht darin, diese gegensätzlichen Kräfte auszubalancieren und eine effiziente Zusammenarbeit zu ermöglichen, ohne die Eigenständigkeit der Beteiligten zu gefährden.

Darüber hinaus hat das SCM die Aufgabe, Nachhaltigkeit zu treiben und ökologische und soziale Verantwortung zu übernehmen.¹⁹ Im Vordergrund stehen dabei der Einsatz von Recyclingmaßnahmen und die Förderung nachhaltiger Beschaffungspraktiken. Diese Maßnahmen tragen dazu bei, die Nachhaltigkeit in der gesamten Lieferkette zu verbessern, Ressourcen langfristig zu sichern und gesetzliche Vorgaben einzuhalten.

Ziele des Supply Chain Managements

Das Ziel einer Supply Chain ist die Maximierung des erzeugten Gesamtwerts, der sich aus der Differenz zwischen dem Wert des Endprodukts für den Kunden und den zur Befriedigung der Kundennachfrage erforderlichen Kosten ergibt. Diese Wertschöpfung der Supply Chain wird als:

$$\text{Mehrwert der Supply Chain} = \text{Kundenwert} - \text{Kosten der Supply Chain}$$

Ziel der Supply Chain ist es, den Kundennutzen zu maximieren und gleichzeitig die Kosten zu senken. Des Weiteren sind Kosten, Zeit und Qualität entscheidende Wettbewerbsfaktoren, die den Erfolg der Supply Chain maßgeblich beeinflussen.²⁰ Um diese Ziele/Faktoren zu erreichen, setzt das SCM auf die Harmonisierung der zentralen Wettbewerbsfaktoren Kosten, Zeit und Qualität - oft auch als „strategisches Dreieck“ bezeichnet. Darüber hinaus werden Flexibilität und Lernen als ergänzende Faktoren betrachtet, um auf sich schnell ändernde Marktbedingungen reagieren zu können und gleichzeitig die langfristige Weiterentwicklung und Innovationsfähigkeit der Organisation sicherzustellen.²¹

2.2.4 Herausforderungen und Risiken im Supply Chain Management

„*The supply chain stuff is tricky*“ – so brachte es Elon Musk treffend auf den Punkt, als er 2016 auf der Code Conference über die Herausforderungen moderner Lieferketten sprach. Diese Aussage gewinnt eine besondere Bedeutung, wenn sie von einem Mann kommt, der die Vision verfolgt den Mars zu kolonisieren. Tatsächlich spiegelt sie die zunehmende Komplexität und Dynamik wider, mit den Unternehmen heute im Supply Chain Management konfrontiert sind.

Es sei darauf hingewiesen, dass Herausforderungen des SCM selten isoliert betrachtet werden können, da sie oft eng miteinander verknüpft sind. Eine einzelne Herausforderung kann sich zu weiteren Problemen ausweiten und eine Kettenreaktion auslösen. So kann beispielsweise eine Ressourcenknappheit nicht nur zu Produktionsverzögerungen führen, sondern auch die Kosten in die Höhe treiben und gleichzeitig die Lieferketten belasten. Externe Faktoren wie geopolitische Spannungen oder regulatorische Vorgaben können

¹⁸ vgl. Werner, H., Supply Chain Management, 2020, S. 29–30

¹⁹ vgl. Liebetruh, T., Prozessmanagement in Einkauf und Logistik, 2024, S. 309–310

²⁰ vgl. Goudz, A./Erdogan, S., Künstliche Intelligenz im Supply Chain Management – Potenziale und Grenzen der KI, 2024, S. 21–22

²¹ vgl. Werner, H., Controlling der Supply Chain, 2020, S. 513–516

derartige Situationen verstärken. Diese enge Verflechtung verdeutlicht, dass eine strikte Trennung der Herausforderungen nicht möglich ist.

1. Komplexe und lange Lieferketten

Die komplexen Strukturen von Lieferketten, gekennzeichnet durch eine Vielzahl eng verknüpfter Akteure und Prozesse, lassen die potenziellen Auswirkungen von Veränderungen als erheblich erscheinen. Die Abbildung 4, welche eine schematische Supply Chain darstellt, verdeutlicht die Komplexität derartiger Netzwerke, auch wenn sie stark vereinfacht dargestellt ist. Ein Beispiel von Siemens (2009) verdeutlicht dies: Um die Effizienz und Transparenz zu steigern, reduzierte das Unternehmen seine Zahl an Zulieferern von 370.000 auf 300.000.²² Die Maßnahme zielte darauf ab, die Steuerung der Lieferkette zu vereinfachen und eine engere Kontrolle über die verbleibenden Zulieferer zu ermöglichen. Diese Maßnahme verdeutlicht die Schwierigkeiten, die mit der Koordination komplexer Netzwerke einhergehen, insbesondere in Fällen, in denen diese sich über mehrere Länder und Kontinente erstrecken.

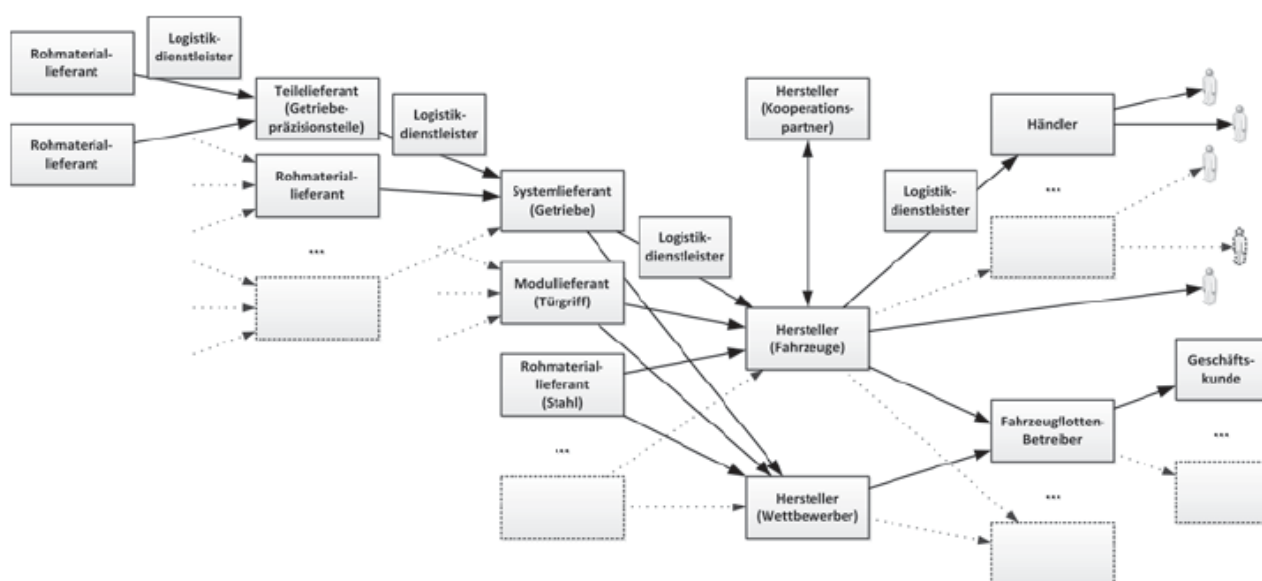


Abbildung 4 Komplexe Lieferkette, Risikomanagement in der Logistik

Neben logistischen Herausforderungen sind auch rechtliche, wirtschaftliche und kulturelle Unterschiede zu berücksichtigen. Globale Lieferketten sind folglich anfällig für Lieferverzögerungen, regulatorische Hürden, geopolitische Risiken oder Naturkatastrophen, die ganze Produktionsabläufe beeinträchtigen können. Die zunehmende Vernetzung erfordert daher eine präzise Abstimmung und strategische Planung, um Effizienz, Transparenz und Risikomanagement in der Lieferkette zu gewährleisten.

Die Länge der Lieferwege trägt zu der bereits hohen Komplexität des Systems bei. Globale Netzwerke haben zur Folge, dass Rohstoffe und Güter oft über viele Stationen transportiert werden müssen, bevor sie den Endkunden erreichen. Dies erhöht nicht nur die Abhängigkeit von funktionierenden Transportketten, sondern auch die Risiken durch Verzögerungen, Naturkatastrophen oder geopolitische Konflikte. Die Anzahl der Akteure und Prozesse erschwert gleichzeitig die Transparenz, da Unternehmen selten alle Lieferanten und Sublieferanten über mehrere Stufen hinweg überwachen können. Dies verdeutlicht, dass die Komplexität und

²² vgl. o.V., Risikomanagement in der Logistik, 2016, S. 32–35

Länge der Lieferwege wesentliche Faktoren sind, die das Risikomanagement und die Resilienz moderner Supply Chains maßgeblich beeinflussen.

Supply Chains sind einem Einfluss dynamischer Veränderungstreiber ausgesetzt. Der gesellschaftliche Wandel, ein verändertes Konsumentenverhalten, Internationalisierung und Digitalisierung erzwingen eine stärkere Marktorientierung und die Beseitigung ineffizienter Prozesse.²³ Gleichzeitig führen kürzere Innovations- und Produktlebenszyklen sowie die zeitgleiche Einführung neuer Modelle zu steigender Komplexität. Unternehmen sind folglich dazu aufgerufen, sich kontinuierlich anzupassen, um Flexibilität und Effizienz in der Supply Chain zu gewährleisten.²⁴ Ein Beispiel aus der Automobilindustrie veranschaulicht die Verkürzung der Produktlebenszyklen und die Zunahme der Variantenvielfalt. So hatte der Golf I von VW (1974) einen Lebenszyklus von neun Jahren, der Golf VIII (2019) nur noch fünf Jahre - eine Verkürzung um 45 %. Gleichzeitig hat sich die Variantenvielfalt enorm gesteigert.²⁵ Während der Golf I über eine geringe Anzahl an Konfigurationsmöglichkeiten verfügte, werden heute zahlreiche Varianten wie verschiedene Motorisierungen (Benziner, Diesel, Hybrid), digitale Cockpits und Fahrerassistenzsysteme etc. angeboten.²⁶ Diese Entwicklung wird durch den technologischen Fortschritt sowie den Trend zur Individualisierung vorangetrieben.

3. Monopolstellungen und Abhängigkeiten

Monopolsituationen stellen Unternehmen vor große Herausforderungen, da sie häufig zu Abhängigkeiten führen. Solche Situationen entstehen durch exklusives Know-how oder durch seltene Ressourcen. Besonders kritisch ist das sogenannte „Sole Sourcing“. Dabei sind Unternehmen von einem einzigen Lieferanten abhängig, nicht aus strategischer Entscheidung wie beim Single Sourcing, sondern aus der Zwangslage heraus. Ein Beispiel sind Hochtemperatur-Parabolspiegel, die weltweit nur von einem Anbieter produziert werden.²⁷ Insbesondere in der High-Tech-Branche, wie etwa im Halbleiterbereich, sind Unternehmen häufig von wenigen Anbietern abhängig. Die Halbleiterkrise in den Jahren 2020 bis 2022, die durch die pandemiebedingten Produktionsstopps bei TSMC und Samsung sowie die starke Nachfrage nach Elektronik ausgelöst wurde, hat zu massiven Engpässen geführt. In der Automobilindustrie kam es zu Produktionsstillständen, da fehlende Chips die Herstellung von Fahrzeugen verhinderten.²⁸ Die beschriebenen Abhängigkeiten erschweren Verhandlungen, erhöhen die Kosten und gehen mit operativen Risiken einher. Es ist daher die Aufgabe von Unternehmen, Strategien zu entwickeln, um ihre Lieferketten resilienter zu gestalten und die Risiken solcher Monopolstellungen zu minimieren. Tendenzen zur Vernetzung und zu Fusionen, wie sie in der Automobilindustrie zu beobachten sind, reduzieren die Anzahl unabhängiger Produzenten und erhöhen die Marktmacht weniger Abnehmer, was den Druck auf Lieferanten erhöht.²⁹

3. Resilienz, Risiko, Umweltfaktoren und Krisen

²³ vgl. Goudz, A./Erdogan, S., Künstliche Intelligenz im Supply Chain Management – Potenziale und Grenzen der KI, 2024, S. 24–25

²⁴ vgl. Liebethuth, T., Prozessmanagement in Einkauf und Logistik, 2024, S. 20–22

²⁵ vgl. Bögemann, I.

²⁶ volkswagen, Golf Generationen

²⁷ vgl. Werner, H., Supply Chain Management, 2020, S. 177–179

²⁸ vgl. Benjamin, F., Die „Halbleiter-Krise“ als Folge der Covid-19-Pandemie, 2021

²⁹ vgl. Goudz, A./Erdogan, S., Künstliche Intelligenz im Supply Chain Management – Potenziale und Grenzen der KI, 2024, S. 24–25

Naturkatastrophen, wie Erdbeben oder Überschwemmungen, stören Lieferketten erheblich und gefährden die Versorgungssicherheit. Die jüngste Pandemie des Coronavirus (SARS-CoV-2) verdeutlicht, wie rasch globale Lieferketten ins Wanken geraten können.³⁰ Laut einer Studie der Bundesvereinigung Logistik existieren drei zentrale Hindernisse für ein effektives Supply Chain Risk Management (SCRM): mangelndes Vertrauen zwischen den Akteuren, fehlende Transparenz der Prozesse und ein uneinheitliches Verständnis über Risiken. Ein wesentlicher Aspekt, der in der Studie beleuchtet wird, ist die Tatsache, dass nur wenige Unternehmen ihre Logistikdienstleister und Lieferanten aktiv in das Risikomanagement einbeziehen.³¹

Die Ergebnisse der BME-Logistikstudie 2024³² zeigen signifikante Defizite im Supply Chain Management (SCM), welche die Resilienz von Lieferketten potenziell gefährden. Nur 26 % der Unternehmen verfügen über ein etabliertes Risikomanagement (SCRM), und lediglich 14 % überwachen tiefere Lieferantenschichten, was zu einer Verstärkung von Transparenzproblemen führt. Darüber hinaus werden Partner wie Logistikdienstleister häufig nicht in das Risikomanagement integriert und bei Störungen werden eher kurzfristige Lösungen anstelle nachhaltiger Strategien eingesetzt. Obwohl gewisse Fortschritte erkennbar sind, bleibt die Lieferkettenresilienz unzureichend, da nur 44 % ihre Lieferketten als robust bewertet wird.

4. Konfliktinteressen der Organisationen

Supply Chains verknüpfen interne und externe Akteure, die oft unterschiedliche Ziele verfolgen. Dies betrifft beispielsweise die Zusammenarbeit zwischen Abteilungen wie Einkauf, Produktion und Logistik sowie mit externen Partnern wie Lieferanten und Kunden. Typische Zielkonflikte betreffen die Balance zwischen Humanisierung, Ökologisierung, Leistungssteigerung und Effizienzstreben. Eine nachhaltige Lieferkette zielt auf Umweltziele wie Ressourcenschonung ab, erhöht jedoch oft Kosten und Lieferzeiten. Darüber hinaus ergeben sich ähnliche Spannungen aus räumlichen, zeitlichen und rechtlichen Einschränkungen sowie strukturellen und organisatorischen Differenzen. So erfordert die Just-in-Time-Fertigung minimale Lagerbestände, während gleichzeitig die Verfügbarkeit für eine zeitnahe Anlieferung sichergestellt werden muss.³³

Ein weiterer Konfliktbereich ist der Bestands-Materialpreis-Konflikt. Der Einkauf versucht, Materialpreise zu drücken, indem er die Bestellmengen erhöht. Das kann aber zu Cashflow-Verlusten führen. Zielkonflikte zwischen finanziellen und logistischen Prioritäten sowie zwischen Kosteneffizienz und Kundenbedürfnissen zeigen die Verflechtung der Ziele. Standardisierte Prozesse senken zwar Kosten, aber die Nachfrage nach individuellen Lösungen erfordert mehr Ressourcen.³⁴

5. Haftung & Absicherung

Entlang der Lieferkette kommt es zu zahlreichen Gefahrenübergängen, bei denen die Verantwortung für Waren von einem Akteur zum nächsten wechselt. Diese Übergänge sind oft mit Risiken verbunden, wie etwa Schäden, Verlust oder Diebstahl der Waren. Unklare Haftungsregelungen, insbesondere im Kontext internationaler Transporte, erschweren die Abwicklung und können im Schadensfall zu erheblichen Kosten führen.

³⁰ vgl. *Werner, H.*, Supply Chain Management, 2020, S. 224–225

³¹ vgl. o.V., Risikomanagement in der Logistik, 2016, S. 20

³² vgl. *Unsel, M.*, BME-Logistikstudie 2024, 2024

³³ vgl. *Werner, H.*, Supply Chain Management, 2020, S. 32–35

³⁴ vgl. *Werner, H.*, Supply Chain Management, 2020, S. 35

Unternehmen sehen sich zudem mit der Herausforderung konfrontiert, Versicherungsschutz für all diese Übergänge zu gewährleisten.

6. Digitalisierung & Technologie

Die Digitalisierung der Supply Chain ist mit erheblichen Herausforderungen verbunden, die ihre Effizienz und Automatisierung einschränken. Lineare Strukturen in ERP-Systemen sind für moderne vernetzte Prozesse nicht geeignet. Dies erschwert eine flexible Steuerung der Lieferkette. Mit der Zunahme der Komplexität steigt auch die zu verarbeitende Datenmenge exponentiell an, was zu Skalierungsproblemen führt. Viele Algorithmen sind nicht auf diese Situation ausgerichtet, wodurch Optimierungen oft nur unzureichend oder mit erheblichem Zeitaufwand durchgeführt werden können. Ein weiteres Kernproblem ist die mangelnde Verfügbarkeit von Echtzeit-Informationen. Die bestehenden Systeme sind in der Regel auf eine transaktionsbasierte Verarbeitung ausgelegt, jedoch ist festzustellen, dass sie keine laufenden und aktuellen Daten für angemessene Entscheidungen liefern. Dies resultiert in einem reaktiven Handeln der Unternehmen. Auch operative Entscheidungen erfolgen vielfach noch manuell, obwohl sie durch Automatisierung deutlich effizienter gestaltet werden könnten. Beispielsweise werden Bestellvorschläge oft von Mitarbeitern geprüft und freigegeben, obwohl eine automatisierte Abwicklung Zeit und Kosten sparen würde.³⁵

7. Regularien & Nachhaltigkeit

Gemäß dem Verursacherprinzip sind Unternehmen dazu aufgefordert, die Rücknahme, Wiederverwertung und Entsorgung ihrer Produkte zu gewährleisten. Diese Regelung hat signifikante Auswirkungen auf die Wertschöpfungsketten und erfordert die Entwicklung nachhaltiger Geschäftsmodelle.³⁶

Mit dem Inkrafttreten des Lieferkettensorgfaltspflichtengesetzes (LkSG) am 1. Januar 2023 in Deutschland werden zunächst Unternehmen mit mehr als 3.000 Beschäftigten, später auch kleinere Unternehmen, verpflichtet, Umwelt- und Sozialstandards entlang ihrer gesamten Lieferkette sicherzustellen. Diese Regelung ist insbesondere für die Kreislaufwirtschaft von Bedeutung.³⁷ Unternehmen sind somit verpflichtet, die Einhaltung sozialer und ökologischer Standards in ihrer Lieferkette zu überwachen und umfangreiche Dokumentationen zu führen, die Transparenz über alle beteiligten Partner hinweg gewährleisten. Zugleich sehen sich Unternehmen einem zunehmenden Druck seitens der Kunden und Stakeholder ausgesetzt, nachhaltige Maßnahmen umzusetzen, was zu einem Mehraufwand und Kostensteigerung für die Unternehmen führt.

Eine Umfrage aus dem Jahr 2022 zeigt eine geteilte Meinung zur Umsetzung des Gesetzes: Rund die Hälfte der befragten Unternehmen sah darin eine Herausforderung, während die andere Hälfte keine Probleme erwartete. Besonders Unternehmen mit mehr als 1.000 Beschäftigten äußerten Bedenken. Unter Firmen mit über 3.000 Beschäftigten rechneten sogar 64 Prozent mit Schwierigkeiten bei der Umsetzung.³⁸

8. Kostenoptimierung & Überwachung

³⁵ vgl. *Becker, T.*, Strategische Gestaltung und Digitalisierung der Supply Chain, 2024, S. 64–66

³⁶ vgl. *Holschbach, E./Buss, E.*, Blockchain in Einkauf und Supply Chain, 2022, S. 29–30

³⁷ vgl. *Bundesministerium für Arbeit und Soziales*, BMAS

³⁸ *Statista*, Lieferkettengesetz

Die Überwachung und Steuerung von Kostenfaktoren stellt eine zentrale Notwendigkeit dar, um eine zielgerichtete Kostenoptimierung zu gewährleisten. Ein systematisches Cost Tracking ermöglicht die detaillierte Erfassung und Analyse von Materialpreisen, Frachtkosten und Beständen, wodurch insbesondere bei Lieferantenwechseln oder internationalen Supply-Chain-Prozessen Herausforderungen entstehen. Unterschiedliche Wechselkurse, Transportkosten sowie Lagerhaltungsstrategien erfordern eine präzise Kostenkontrolle, um Transparenz zu gewährleisten und Optimierungspotenziale zu identifizieren.

Ein Beispiel verdeutlicht dies: Die View AG, ein Hersteller von Fernsehgeräten mit Sitz in Frankfurt, entschied sich im Geschäftsjahr 2020 für einen Lieferantenwechsel ihrer LCD-Panels. Die Beschaffung der Güter, die zuvor aus Italien bezogen wurden, erfolgte nun aus Taiwan. Dies hat die Auswirkung, dass das Cost Tracking den Vergleich von Materialpreisen in unterschiedlichen Währungsräumen zu beachten hat, Frachtkosten durch verschiedene Transportwege (z. B. Seefracht statt Landtransport) zu kalkulieren hat und Bestandsveränderungen aufgrund längerer Lieferzeiten zu bewerten hat.³⁹

2.3 Blockchain im SCM: Eine Einordnung (Synthese)

Nachdem die Blockchain-Technologie und das Supply Chain Management separat betrachtet wurden, wird nun ihre gemeinsame Schnittmenge theoretisch untersucht. Beide Konzepte teilen nicht nur den Begriff „Chain“ im Namen, sondern auch zentrale Themen wie Transparenz, Rückverfolgbarkeit und Automatisierung. Dabei ist zu beachten, dass die Blockchain nicht die zentrale Grundlage des Supply Chain Management bildet, sondern vielmehr als unterstützende Technologie fungiert. Sie dient als eine Art „Add-On“, das vor allem dann Vorteile bietet, wenn viele Akteure beteiligt sind und eine sichere, dezentrale Datenstruktur erforderlich ist.

2.3.1 Relevanz der Blockchain im Supply Chain Management

Die Blockchain-Technologie setzt an den Schnittstellen zwischen verschiedenen Akteuren innerhalb der Lieferkette an und optimiert den Austausch von Daten und Warenströmen. Sie wird vor allem dort eingesetzt, wo Transparenz und Sicherheit besonders von Relevanz ist.

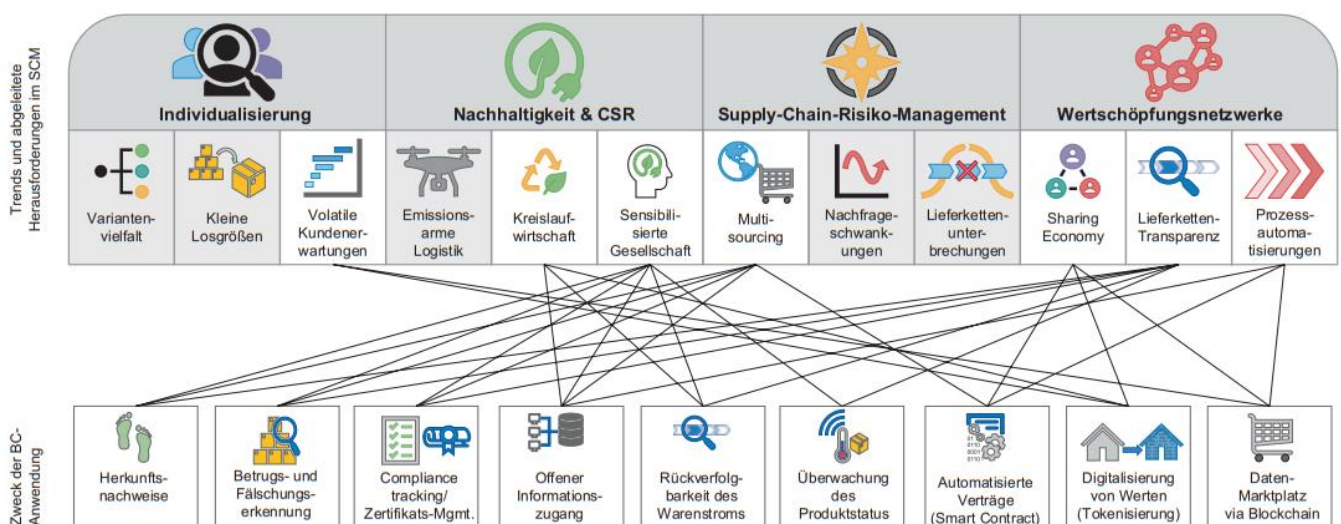


Abbildung 5 Zweck der Blockchain-Anwendung in SCM; Holschbach, E./Buss, E., Blockchain in Einkauf und Supply Chain

³⁹ vgl. Werner, H., Supply Chain Management, 2020, S. 396–402

Automatisierung & Effizienzsteigerung: Die Blockchain-Technologie ermöglicht eine Automatisierung und Effizienzsteigerung von Prozessen innerhalb der Lieferkette. Insbesondere der Einsatz von Smart Contracts gewährleistet eine sichere und automatisierte Abwicklung von Geschäftsprozessen.⁴⁰ Ein Beispiel für eine solche automatisierte Transaktion wäre eine Zahlung oder eine Warenfreigabe, die bei Erfüllen der entsprechenden Bedingungen und nach Lieferung des Produkts automatisch ausgeführt wird. Dieser Ansatz hat den Vorteil, dass manuelle Eingriffe reduziert und Fehlerquellen minimiert werden.

Offene Informationszugang: Der offene Informationszugang stellt einen entscheidenden Aspekt dar. Eine einheitliche und verlässliche Datenbasis, die allen Akteuren entlang der Lieferkette zur Verfügung steht, reduziert Kommunikationsbarrieren, sorgt für eine bessere Zusammenarbeit und erhöht die Nachvollziehbarkeit von Prozessen. Engpässe können so schneller identifiziert werden und Unternehmen können proaktiv auf Veränderungen in der Lieferkette reagieren.⁴¹

Herkunftsnachweise und Rückverfolgbarkeit: Die Herkunftsnachweise und die Rückverfolgbarkeit von Produkten ermöglichen es Unternehmen, die vollständige Historie eines Produkts auf der Blockchain zu dokumentieren und diese Informationen mit Kunden, Partnern oder Regulierungsbehörden zu teilen.⁴² Dadurch wird sichergestellt, dass Produkte aus nachhaltigen Quellen stammen und den gesetzlichen Anforderungen entsprechen.

Durch die Speicherung von Daten über Transportwege, Temperaturbedingungen und Lagerzeiten auf der Blockchain können Unternehmen sicherstellen, dass Produkte unter den vorgeschriebenen Bedingungen transportiert wurden. Dies ist besonders für verderbliche Waren, Medikamente und temperaturempfindliche Güter wichtig.⁴³

Automatisierte Vertragsabwicklung: Smart Contracts ist eine automatisierte Vertragsabwicklung. In der Logistik können sie genutzt werden, um Zahlungs-, Lieferungs- oder Zollprozesse automatisiert und ohne manuellen Eingriff auszuführen. Sobald eine vordefinierte Bedingung, wie die Lieferung einer Ware an einen bestimmten Ort, erfüllt ist, wird eine Transaktion automatisch ausgeführt. Dies reduziert Verzögerungen, verbessert die Liquidität, minimiert den manuellen Aufwand und verringert das Betrugsrisiko.⁴⁴

Fälschungsschutz: Der Fälschungsschutz und die Authentizitätssicherung profitieren erheblich von der Blockchain. Durch digitale Zertifikate, die in der Blockchain gespeichert sind, können Unternehmen sicherstellen, dass ihre Produkte echt sind und nicht durch Fälschungen ersetzt wurden. Das ist insbesondere in der Automobil-, Pharma- und Luxusgüterbranche von großer Bedeutung.⁴⁵

Kreislaufwirtschaft mit Tokenisierung: Ein Thema mit großem Potenzial, das jedoch bislang wenig Aufmerksamkeit erhält, ist die Tokenisierung. Die Tokenisierung kann als ein Prozess verstanden werden, der die Abbildung physischer oder finanzieller Vermögenswerte auf einer Blockchain ermöglicht. Ein Token kann dabei als digitales Zertifikat dienen, das **Eigentum, Herkunft oder den Status eines Produkts** innerhalb

⁴⁰ vgl. *Bundesnetzagentur*, Blockchain-Technologie im Mittelstand

⁴¹ vgl. *Holschbach, E./Buss, E.*, Blockchain in Einkauf und Supply Chain, 2022, S. 34

⁴² vgl. *infokathiago*, Blockchain im Supply Chain Management, 2023

⁴³ vgl. *Dr. Markus Jostock*, Blockchain in der Food Supply Chain, S. 5–8

⁴⁴ vgl. *Fill, H. G./Meier, A.*, Blockchain, 2020, S. 220

⁴⁵ vgl. *Fill, H. G./Meier, A.*, Blockchain, 2020, S. 177

eines Netzwerks darstellt. In der Kreislaufwirtschaft kann die Tokenisierung dazu beitragen, die Rückverfolgbarkeit und Dokumentation von Materialien zu verbessern. Durch die digitale Verknüpfung eines Tokens mit einem physischen Gut ermöglicht die Nachvollziehbarkeit von Informationen bezüglich der Herkunft, der Produktionsbedingungen, der Transportwege und der Recyclingprozesse.

Ein möglicher Bestandteil der Tokenisierung ist der Einsatz von Smart Contracts, die zur Automatisierung bestimmter Prozesse innerhalb der Kreislaufwirtschaft dienen können. Diese können beispielsweise bei der automatischen Werteübertragung für recycelte Materialien, der Abwicklung von Pfandsystemen oder der Einhaltung von Nachhaltigkeitsanforderungen eine Rolle spielen. So lassen sich wirtschaftliche Anreize schaffen, indem etwa Unternehmen oder Verbraucher für die Rückgabe und Wiederverwertung von Ressourcen automatisch belohnt werden.

2.3.2 Funktionsweise der Blockchain im SCM

Damit die Blockchain-Technologie im SCM nicht nur ein theoretisches Konzept bleibt, sondern als praktische Lösung eingesetzt werden kann, müssen verschiedene technologische Stellschrauben justiert werden. Diese Mechanismen sind entscheidend, um die Blockchain an die spezifischen Anforderungen von Lieferketten anzupassen. Sie gewährleisten Datenintegrität, Nachverfolgbarkeit und Effizienz und machen die Technologie in der Praxis nutzbar.

Blockchain-Konsortien:

In der heutigen Zeit ist es meistens nicht zielführend, Geschäftsprozesse isoliert in einer eigenen "Blase" zu betreiben. Gerade im SCM kommt es auf die effiziente Vernetzung und den Datenaustausch zwischen verschiedenen Akteuren an. Obwohl eine Blockchain-Lösung zahlreiche Vorteile bietet, ist ihre Implementierung und Nutzung innerhalb eines einzelnen Unternehmens mit zahlreichen Einschränkungen verbunden. Der tatsächliche Mehrwert von Blockchain-Technologien erschließt sich erst durch die Integration in ein größeres Business-Netzwerk → Konsortium.

Ein Konsortium dient der Zusammenarbeit verschiedener Unternehmen mit dem Ziel der Entwicklung gemeinsamer Standards, Gewährleistung von Interoperabilität und der Nutzung von Synergien. In der Praxis haben sich bereits zahlreiche Banken, Versicherungen und produzierende Unternehmen in solchen Konsortien zusammengeschlossen, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu steigern und Entwicklung aktiv mitzugestalten.⁴⁶

Konsensmechanismen

Konsensmechanismen sind Regeln in einer Blockchain, die mit Algorithmen sicherstellen, dass alle Teilnehmer sich auf den aktuellen Datenstand einigen. Jede Blockchain verwendet dabei einen spezifischen Konsensmechanismus, dessen Gestaltung je nach Anforderungen variiert. Diese Mechanismen definieren, welche Akteure dazu befugt sind, neue Transaktionen zu validieren und neue Blöcke zur Blockchain hinzuzufügen. Dadurch wird gewährleistet, dass die Daten fälschungssicher, nachvollziehbar und einheitlich bleiben.⁴⁷

⁴⁶ vgl. von Million, C., Crashkurs Blockchain, 2019, S. 149

⁴⁷ vgl. Tiana Laurence, Blockchain für Dummies, 2017, S. 28

Die Wahl des Konsensmechanismus beeinflusst maßgeblich die Effizienz und Sicherheit einer Blockchain. Ein zentrales Spannungsfeld besteht zwischen der Offenheit eines Netzwerks und seiner Performance. Grundsätzlich gilt: Je offener und öffentlicher eine Blockchain ist, desto niedriger ist ihre Performance. Dies liegt daran, dass öffentliche Netzwerke, wie sie beispielsweise beim Proof of Work (PoW) verwendet werden, komplexe und ressourcenintensive Validierungsprozesse benötigen.

Im Gegensatz dazu bieten geschlossene oder private Blockchains durch weniger aufwendige Validierungsverfahren eine höhere Geschwindigkeit und Effizienz. Mechanismen wie Delegated Proof of Stake (DPoS) oder Proof of Elapsed Time (PoET) ermöglichen eine schnellere Transaktionsverarbeitung, setzen jedoch eine vertrauenswürdige Umgebung voraus. Die höchste Performance wird in Systemen ohne Validierungsmechanismus (Solo/No Proof) erreicht, die allerdings meist nur für Testzwecke geeignet sind.

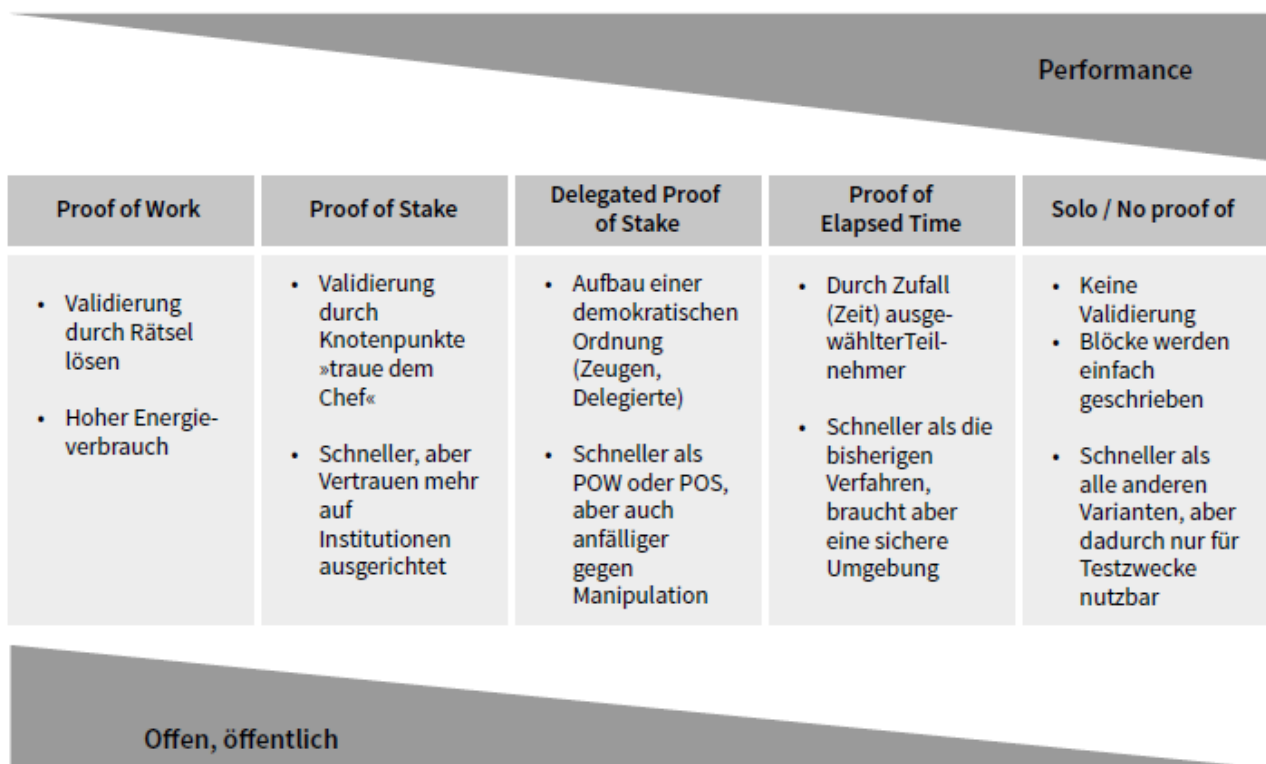


Abbildung 6 Konsensmechanismen, Million, C., Crashkurs Blockchain

Doch welche Konsensmechanismen benutzt man in der Supply Chain?

Das hängt von den Anforderungen der jeweiligen Lieferkette ab. Der Konsensmechanismus sollte so gewählt und angepasst werden, dass es den spezifischen Bedürfnissen der Anwendung entspricht. Das in Bezug auf Transparenz, Geschwindigkeit, Sicherheit und Effizienz.⁴⁸

Beispiel: VeChain (Proof of Authority – PoA): Der Proof of Authority (PoA)-Konsensmechanismus den VeChain in der Supply Chain nutzt bietet mehrere Vorteile. Der ist effizient und skalierbar, da nur eine begrenzte Anzahl von vertrauenswürdigen „Validatoren“ Transaktionen bestätigen dürfen. Dies reduziert den Rechenaufwand und ermöglicht eine schnelle Verarbeitung großer Datenmengen, was für den Einsatz in Lieferketten essenziell ist.⁴⁹

⁴⁸ vgl. von Million, C., Crashkurs Blockchain, 2019, S. 28

⁴⁹ vgl. VeChain, About the VeChain blockchain, 2024

In der Grafik ist Proof of Authority (PoA) nicht explizit aufgeführt. Allerdings sollte es von der Funktionsweise her am ehesten zwischen Proof of Stake (PoS) und Delegated Proof of Stake (DPoS) orientieren.

Smart Contracts

Smart Contracts bieten praktische Lösungen zur Automatisierung von Prozessen. Doch was sind Smart Contracts? Smart Contracts sind Programme, die automatisch Transaktionen auf Grundlage vordefinierter Bedingungen treffen. So können Smart Contracts beispielsweise in der Auftragsabwicklung eingesetzt werden, um **Prozesse erst nach erfolgreicher Prüfung der Vertragskonditionen auszuführen**. Es bietet Potenzial für die automatische Aktivierung von Versicherungen oder die Durchsetzung von Vertragsstrafen.⁵⁰

Als Beispiel im SCM kann die automatische Zahlung nach Warenannahme dienen. Smart Contracts können so programmiert werden, dass er die Zahlung an den Lieferanten erst freigibt, wenn die Ware erfolgreich geliefert, erfasst und geprüft wurde. Die Abbildung zeigt eine Lieferkette, in der Smart Contracts und IoT-Geräte zur automatisierten Überwachung von Temperatur- und Feuchtigkeitswerten eingesetzt werden. Während ein Smart Contract die Bedingungen festlegt und IoT-Sensoren die Werte erfassen, überprüft ein zweiter Smart Contract bei der Ankunft der Ware die Einhaltung der Vorgaben und löst bei Abweichungen automatisch Maßnahmen wie Reklamationen oder Preisanpassungen aus.

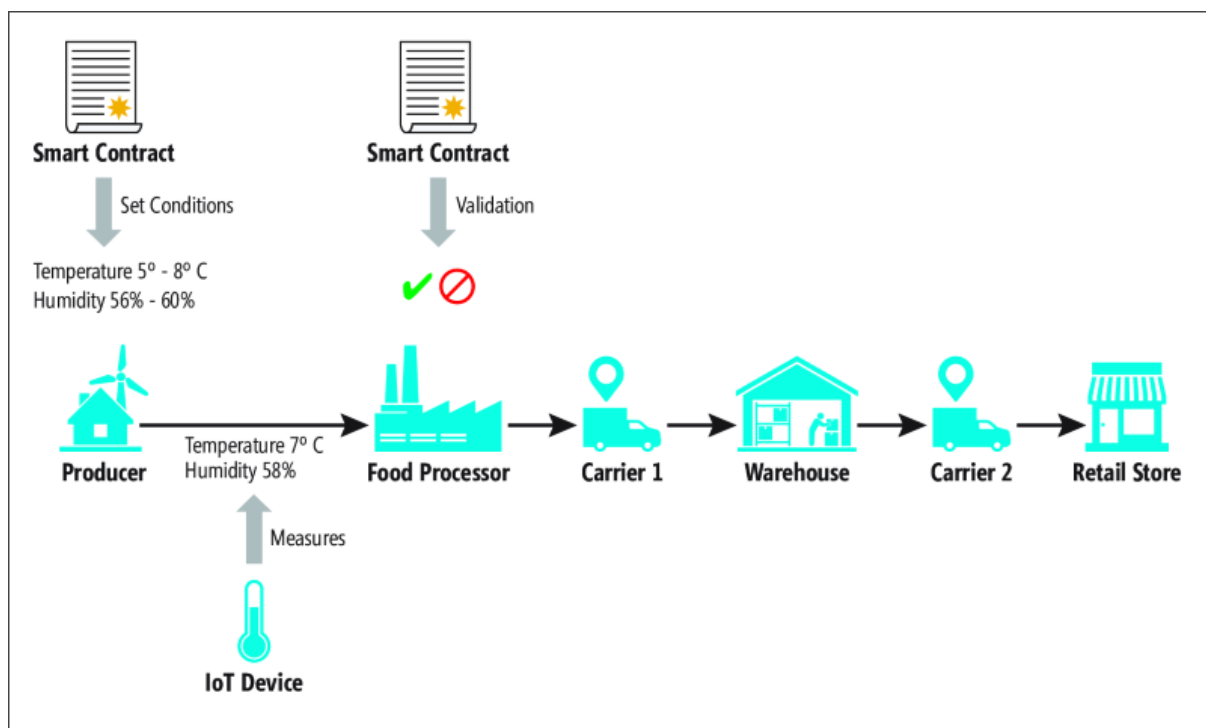


Abbildung 7 Smart Contracts Leichtigkeit- und Temperaturüberwachung, Stefano Tempesta, Schutz Ihrer Lieferkette mit Azure IoT und der Blockchaincloud

⁵⁰ vgl. Holschbach, E./Buss, E., Blockchain in Einkauf und Supply Chain, 2022, S. 34

2.3.3 Herausforderungen der Blockchain im SCM

Implementierungsbarrieren

Bevor man einzelne technische Herausforderungen betrachtet, sollte man sich zunächst mit den tatsächlichen Implementierungsbarrieren auseinandersetzen. Die eigentliche Herausforderung liegt jedoch weniger in der technologischen Umsetzung selbst, sondern vielmehr in der organisationalen Akzeptanz und Integration der Blockchain-Technologie. Dies wurde durch zehn Experteninterviews mit Fachleuten aus der Industrie deutlich. Die befragten Experten, die sowohl über fundierte SCM-Kenntnisse als auch über IT-Erfahrung verfügen, bestätigten, dass das Bewusstsein für die Potenziale der Blockchain-Technologie zwar vorhanden ist, es jedoch an klaren wirtschaftlichen Bewertungsmethoden und strategischer Unterstützung fehlt.⁵¹ Besonders die Transparenz entlang der Lieferkette wurde als größtes Anwendungspotenzial identifiziert. Allerdings betonten die Experten, dass die erfolgreiche Implementierung von drei entscheidenden Faktoren abhängt:

- **Ein klares Bekenntnis des Top-Managements**, um die Einführung der Technologie aktiv voranzutreiben und Ressourcen bereitzustellen.
- **Die verstärkte Einbindung der Lieferanten**, da eine Blockchain-Lösung nur dann funktioniert, wenn alle relevanten Akteure entlang der Lieferkette beteiligt sind.
- **Eine höhere Bereitschaft zur Datenfreigabe**, die für viele Unternehmen noch eine erhebliche Hürde darstellt.

Ohne diese organisatorischen Voraussetzungen bleibt die Einführung der Blockchain-Technologie im SCM eine theoretische Möglichkeit ohne nachhaltige praktische Umsetzung. Diese Erkenntnisse machen deutlich, dass nicht nur technische, sondern vor allem auch organisatorische und strategische Maßnahmen ergriffen werden müssen.

Weitere Herausforderungen

Skalierung: Die Skalierung stellt eine technische Herausforderung dar, da eine höhere Transaktionskapazität oft mit Einbußen bei Sicherheit, Geschwindigkeit oder Dezentralisierung einhergeht. Besonders problematisch ist, dass viele Netzwerke an ihre Kapazitätsgrenzen stoßen, was ihre Effizienz und Praktikabilität einschränken.⁵²

Mangelnde Interoperabilität: Mangelnde Interoperabilität war lange Zeit eine der größten Herausforderungen für Blockchain-Systeme. Im Jahr 2025 wird dieses Problem jedoch weitgehend gelöst sein. Dank der Weiterentwicklung von **Cross-Chain-Technologien**, Interoperabilitätsprotokollen wie *Polkadot* oder *Chainlink* sowie standardisierten Schnittstellen können viele moderne Blockchains effizient miteinander kommunizieren.⁵³

Bewertung der Wirtschaftlichkeit: Die wirtschaftliche Herausforderung besteht darin, dass sich der monetäre Nutzen von Blockchain-Technologien oft nur schwer nachweisen lässt, während gleichzeitig die

⁵¹ vgl. Jede, A./Bensberg, F./Klein, T., Blockchain-Technologie im Supply Chain Management, 2024, S. 279–280

⁵² vgl. Mangrulkar, R. S./Vijay Chavan, P., Blockchain Essentials, 2024, S. 29–30

⁵³ vgl. Wittenberg, S., Blockchain für Unternehmen, S. 114–115

Kosten für die Investition in Blockchain-Technologien hoch sind. Ohne eine fundierte Bewertung der Wirtschaftlichkeit bleibt die Einführung riskant, was viele Unternehmen von einer Implementierung abhält.⁵⁴

Hohe Mortality Rate: Die *Hohe Mortality Rate* von Blockchain-Projekten ist außergewöhnlich hoch. Eine Studie aus dem Jahr 2017 ergab, dass rund 92 % der Blockchain-Projekte scheiterten. Die Open-Source-Plattform GitHub als Grundlage für die Analyse verwendet.⁵⁵ Allerdings ist zu berücksichtigen, dass diese Untersuchung aus einer Zeit stammt, als die Blockchain-Technologie noch in ihrer frühen Entwicklungsphase war. Viele Projekte wurden damals von Enthusiasten gestartet, ohne klare Geschäftsmodelle oder nachhaltige Entwicklungsstrategien.

Erhöhte Investitionen und laufende Kosten: Ein wesentlicher Nachteil von Blockchain-Systemen im Vergleich zu zentralen Datenbanken sind die erhöhten Investitions- und Betriebskosten. Die redundante Speicherung der Daten auf zahlreichen Knoten führt zu einem signifikant höheren Bedarf an Hardware, Speicherplatz und Rechenleistung. Zusätzlich ist das Konsensverfahren, insbesondere Proof of Work, mit einem hohen Ressourcenaufwand verbunden: Es verbraucht enorme Mengen an Energie, da komplexe Berechnungen durchgeführt werden müssen, um Transaktionen zu validieren.⁵⁶

Rechtliche Unsicherheiten: Die rechtliche Herausforderung von Smart Contracts, Kryptoobjekten und regulatorischen Maßnahmen rechtssicher zu gestalten, ohne die Technologie zu beeinträchtigen. Besonders das Spannungsverhältnis zwischen Automatisierung und bestehendem Rechtsrahmen erschwert eine klare Regulierungen.⁵⁷

2.3.6 Trend nach anderen gleichwertigen Technologien

Als mögliche Alternativen oder Ergänzungen zur Blockchain werden neben der Blockchain-Technologie sowohl eigenständige, hybride als auch Blockchain Freie Lösungen betrachtet. Diese Technologien weisen ähnliche Eigenschaften wie Technologie, Datenverwaltung, Transparenz, Sicherheit und Dezentralisierung auf, bieten jedoch oft spezifische Eigenschaften in Bezug auf Skalierbarkeit, Effizienz oder Flexibilität.

Hybride Blockchain-Modelle mit ERP-Systemen

Obwohl die Blockchain-Technologie oft als transformative Lösung für Lieferketten betrachtet wird, ist sie weder die einzige noch eine universell geeignete Option. In vielen Fällen können bestehende Technologien, wie zentrale Datenbanken oder ERP-Systeme.

Ein vielversprechender Ansatz besteht darin, hybride Modelle zu entwickeln, die Blockchain mit etablierten Technologien kombinieren. So könnten beispielsweise klassische Datenbanken für alltägliche Prozesse genutzt werden, während Blockchain nur für besonders sicherheitskritische oder transparente Datenströme zum Einsatz kommt. Solche hybriden Lösungen ermöglichen eine bessere Skalierbarkeit und reduzieren Implementierungskosten.

⁵⁴ vgl. *Jede, A./Bensberg, F./Klein, T.*, Blockchain-Technologie im Supply Chain Management, 2024, S. 280

⁵⁵ *Deloitte Insights*, Evolution of blockchain technology

⁵⁶ vgl. *Wittenberg, S.*, Blockchain für Unternehmen, S. 111–112

⁵⁷ vgl. *Fill, H.-G./Meier, A.*, Blockchain kompakt, 2020, S. 119–120

Ein Beispiel für diese Entwicklung ist SAP Business Blockchain-as-a-Service (BaaS), das Unternehmen die Möglichkeit bietet, Blockchain-Technologie flexibel in ihre bestehenden ERP-Systeme zu integrieren. Mit SAP BaaS können Unternehmen dezentrale Netzwerke nutzen, ohne eine eigene Blockchain-Infrastruktur aufbauen zu müssen.⁵⁸ SAP-BaaS unterstützt mehrere Blockchain-Protokolle, einschließlich Ethereum und Hyperledger Fabric. Je nach Anwendungsfall haben Unternehmen die Wahl zwischen öffentlichen, privaten oder konsortialen Blockchain-Netzwerken. Dadurch lassen sich Blockchain-basierte Lösungen gezielt in Bereichen wie Produktverfolgung oder Vertragsautomatisierung einsetzen, während klassische ERP-Funktionalitäten weiterhin **zentral** verwaltet wird.

Cloud-basierte Plattform - Tracking and Tracing

Tracking & Tracing-Systeme ermöglichen Eigenschaften erinnern stark an die Blockchain-Technologie, da beide Systeme darauf abzielen, Daten zuverlässig zu erfassen und eine durchgehende Nachverfolgbarkeit zu gewährleisten. Tracking & Tracing ermöglicht durch RFID oder GPS die Echtzeitverfolgung, bietet die Blockchain eine dezentrale und fälschungssichere Speicherung dieser Daten.⁵⁹

Ein praktisches Beispiel für die erfolgreiche Implementierung eines Tracking & Tracing-Systems ist die Volkswagen AG in Zusammenarbeit mit der GEDAS GmbH. VW nutzt ein intranetbasiertes System, um den gesamten Transportweg seiner Waren vom Auftragseingang bis zur endgültigen Auslieferung zu verfolgen. Über sogenannte Trackingpunkte wie das Hafentelematik-System in Bremerhaven können Daten zu jeder Warenbewegung digital erfasst und weiterverarbeitet werden.⁶⁰

Hashgraph - Hedera Hashgraph

Die Blockchain-Technologie hat sich als Lösung für transparente und manipulationssichere Lieferketten etabliert. Sie stößt jedoch an Grenzen hinsichtlich Skalierbarkeit, Geschwindigkeit und Kosten. Diese Schwachstellen wurden bei der Entwicklung von Hashgraph gezielt verbessert. Dank der gerichteten azyklischen Graphenstruktur (DAG) und des innovativen Konsensmechanismus „Gossip about Gossip“ werden Transaktionen effizienter und schneller verarbeitet (siehe Abb.7). Zudem bietet es ein hohes Maß an Sicherheit, da keine zentrale Instanz das Netzwerk steuern kann: Manipulationen sind nahezu ausgeschlossen.⁶¹

⁵⁸ vgl. SAP, Blockchain

⁵⁹ vgl. Wannewetsch, H., Integrierte Materialwirtschaft, Logistik, Beschaffung und Produktion, 2021, S. 593–594

⁶⁰ vgl. Wannewetsch, H., Integrierte Materialwirtschaft, Logistik, Beschaffung und Produktion, 2021, S. 594

⁶¹ vgl. Gross, B./Thibeau, D., Hedera Consensus Service

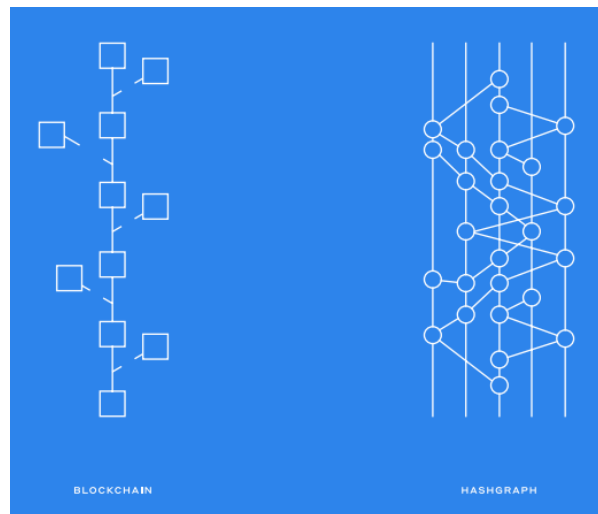


Abbildung 8 Blockchain im Vergleich zu Hashgraph, Hedera: A Public Hashgraph Network & Governing Council

Die hohe Skalierbarkeit von hunderttausenden Transaktionen pro Sekunde (TPS) ermöglicht eine Echtzeit-Verarbeitung von Lieferketten-Daten, was insbesondere für IoT-basierte Systeme von Vorteil ist. Da Hashgraph kein energieintensives Mining benötigt, sind die Transaktionskosten erheblich geringer als bei klassischen Blockchains.⁶² Dies macht die Technologie besonders attraktiv für Unternehmen mit hohem Transaktionsvolumen in der Logistik und im Supply-Chain-Management.

Table 2 Alternative Technologien, Eigene Darstellung

Kategorie	Blockchain	Hybride Blockchain-Modelle mit ERP-Systemen	Cloud-basierte Plattform mit Tracking & Tracing	Hashgraph (Hedera Hashgraph)
Technologie	Distributed-Ledger-Technologie (Blockchain)	Kombination aus Blockchain und traditionellen ERP-Systemen	Zentralisierte Datenbanken mit IoT und KI	Distributed-Ledger-Technologie (directed acyclic graph)
Datenverwaltung	Verteilte Datenbank mit mehreren Teilnehmern (keine zentrale Kontrolle)	Daten werden teils on-chain (Blockchain) und teils in ERP-Systemen gespeichert	Wird von einem Unternehmen oder einer zentralen Plattform kontrolliert	Verteilte Datenstruktur, Konsens durch „Gossip about Gossip“
Transparenz	Hohe Transparenz durch öffentliche, unveränderliche Datenaufzeichnung	Teilweise Transparent	Begrenzte Transparenz, abhängig vom Betreiber der Plattform	Hohe Transparenz durch verifizierbare digitale Signaturen
Sicherheit	Hohe Manipulationssicherheit durch Kryptografie und Dezentralität	Höhere Sicherheit durch Blockchain-basierte Verifizierung kritischer ERP-Daten	Sicherheit hängt vom System ab	Hohe Sicherheit durch virtuelle Abstimmung und Asynchronität
Kosten	Hohe Transaktionskosten je nach Netzwerk (z. B. Ethereum)	Zusatzkosten durch zusätzliche Verwaltung	Abhängig von Infrastruktur und Wartungskosten	Geringe Transaktionskosten, da kein Mining
Plattform: Beispiel	Ethereum	SAP Blockchain Integration; IBM Food Trust	Microsoft Dynamics 365 Supply Chain Management; DHL Smart Sensor Cloud	Hedera: Unbekannt

⁶² vgl. Gross, B./Thibeau, D., Hedera Consensus Service, S. 4–5

3. Methodik

3.1 Einführung & Struktur der Methodik

3.1.1 Zielsetzung der Methodik

Das übergeordnete Ziel dieser Methodik besteht darin, eine fundierte Basis zur Bewertung der Blockchain-Technologie im Supply Chain Management zu schaffen. Sie unterstützt Unternehmen und Entscheidungsträger dabei, den Mehrwert der Technologie einzuschätzen und gleichzeitig Herausforderungen und Potenziale zu analysieren.

Die Methodik untersucht, in welchen Bereichen der Supply Chain, Blockchain signifikante Vorteile bieten kann. Gleichzeitig werden mögliche Herausforderungen identifiziert, die mit der Implementierung dieser Technologie verbunden sind. Durch eine systematische Untersuchung mit etablierten Lieferkettenanwendungsfällen mit BC-Technologie soll herausgearbeitet werden, unter welchen Bedingungen Blockchain einen tatsächlichen Mehrwert schafft. Die Analyse umfasst sowohl theoretische Bewertungsmethoden als auch konkrete Anwendungsfälle, um praxisnahe Erkenntnisse zu gewinnen. Die Untersuchung realer Anwendungsfälle ermöglicht die Ableitung von Erfolgsfaktoren, die für eine erfolgreiche Implementierung von entscheidender Bedeutung sind.

Basierend auf dieser entwickelten Methodik wird eine Entscheidungsgrundlage geschaffen, die als strategisches Instrument zur Bewertung der Blockchain-Technologie im Supply Chain Management dient. Diese Methodik soll einen praxisnahen und wissenschaftlichen Bewertungsrahmen an die Hand zu geben. Das ermöglicht, die Potenziale und Herausforderungen der Blockchain-Technologie realistisch einzuschätzen und strategische Entscheidungen auf einer strukturierten Basis zu treffen.

3.1.2 Methodische Grundlage - Herangehensweise

Die Methodik bildet das Fundament dieser Arbeit. Die Auswahl einer geeigneten Methodik zur Bewertung ist essenziell, um eine fundierte Entscheidungsgrundlage zu schaffen. Diese Methodik orientiert sich an der wissenschaftlichen Literatur von Stefan Wittenberg "Blockchain für Unternehmen – Anwendungsfälle und Geschäftsmodelle für die Praxis", insbesondere am Kapitel "Einführung von Blockchain in Unternehmen".⁶³ Die darin dargestellte methodische Herangehensweise bietet eine praxisorientierte und strukturierte Perspektive auf die Einführung von Blockchain-Technologien in Unternehmen.

Die Literatur stellt jedoch keine expliziten methodischen Vorgehensweisen bereit, sondern formuliert lediglich übergeordnete konzeptionelle Leitlinien für die Analyse und Entscheidungsfindung. Diese enthalten thematische Schwerpunkte und analytische Rahmenbedingungen, aber keine Verfahren zur systematischen Bewertung der Blockchain-Implementierung. Aufgrund der offenen Struktur ist eine eigenständige Interpretation sowie die Auswahl und Anpassung geeigneter betriebswirtschaftlicher Bewertungsmethoden erforderlich, um eine Methodik abzuleiten.

Das methodische Fundament dieser Arbeit

⁶³ vgl. Wittenberg, S., Blockchain für Unternehmen, S. 161–187

Die Literatur unterteilt den Implementierungsprozess in vier Phasen, wobei sich diese Arbeit ausschließlich **nur auf Phase 1 (Bewertung des Use-Cases)** konzentriert. Dieser Scope ergibt sich aus der zentralen Forschungsfrage: „*Wie können die Potenziale und Herausforderungen der Blockchain-Technologie im Supply Chain Management systematisch bewertet werden...*“ Phase 1 bietet die erforderliche Grundlage für die Bewertung, während die nachfolgenden Phasen, die sich mit Implementierung, Skalierung und Optimierung befassen, die außerhalb des Untersuchungsrahmens dieser Arbeit liegen.

Phase 1: Bewertung des Use-Cases

Die erste Phase dient der Identifikation und Analyse eines potenziellen Blockchain-Anwendungsfalls. Zunächst wird ein Steckbrief des Use-Cases erstellt, in dem die Problemstellung, die Anforderungen sowie die Zielsetzung beschrieben werden. Darauf aufbauend erfolgt eine Analyse des Geschäftsmodells, um zu prüfen, ob eine Blockchain-basierte Lösung wirtschaftlich sinnvoll ist und welchen Mehrwert sie gegenüber bestehenden Technologien bietet.

Ein zentraler Bestandteil dieser Phase ist die Bewertung der Vor- und Nachteile der Blockchain-Technologie im spezifischen Kontext des Unternehmens. Dabei werden unter anderem Aspekte wie Datentransparenz, Sicherheit, Dezentralisierung und Automatisierung betrachtet. Parallel dazu erfolgt eine wirtschaftliche und rechtliche Überprüfung.

Am Ende der Phase-1 (Bewertung Use-Cases) wird eine Entscheidung darüber getroffen, ob der Use Case weiterverfolgt und in die Phase-2 (Proof-of-Concept mit Prototyp) überführt wird. Die restlichen Phase, Phase-3 (Implementierung des Produktivsystems) und Phase-4 (Betrieb und Wartung des Produktivsystems) umfassen die Implementierung des Produktivsystems, in der das System final entwickelt, getestet und in Betrieb genommen wird. Und die Betriebs- und Wartungsphase, in der das System stabil und sicher gehalten wird.

3.1.3 Inhaltliche Bewertungsgrundlagen

Um genauer in die Auswahl der Methodik einzusteigen, ist es essenziell zu verstehen, welche Punkte und Ziele in Phase 1 erreicht werden sollen. In dieser Phase werden zentrale Bewertungsaspekte für den Einsatz von Blockchain-Technologie im Supply Chain Management systematisch untersucht. Daher ist es notwendig, eine methodische Herangehensweise zu finden.

Die Reihenfolge der Bewertungsaspekte stellt dabei keine Priorisierung oder Abfolge dar, sondern dient lediglich der Übersichtlichkeit. Die systematische Analyse dieser Kriterien ermöglicht es, die Auswahl und Bewertung der Blockchain-Technologie besser zu verstehen und eine fundierte Basis für die Auswahl der geeigneten Methoden in den folgenden Abschnitten zu schaffen.

Bewertungsaspekte

- 1. Kosten-Nutzen-Sicht der Stakeholder:** Da Blockchain-Systeme von verschiedenen Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette genutzt werden, unterscheiden sich die Kosten-Nutzen-Aspekte je nach Position und Interesse der Beteiligten. Annahme: Während ein Unternehmen am Ende der Lieferkette von vollständiger Transparenz profitieren könnte, sieht ein Zulieferer möglicherweise keinen direkten wirtschaftlichen Vorteil, sondern eher steigende Kosten durch zusätzliche Aufwände. Ebenso profitieren größere Unternehmen oft von Skalierungseffekte, während kleinere Akteure mit höheren relativen

Investitionen konfrontiert sind. Ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Kosten und Nutzen für alle Beteiligten ist entscheidend für die Akzeptanz und langfristige Tragfähigkeit einer Blockchain-Lösung.

2. Das geplante Blockchain-System: Es muss genau spezifiziert werden, welche Blockchain-Plattform verwendet wird. Zudem ist zu prüfen, ob eine öffentliche, private, hybride oder konsortiale Blockchain geeignet ist. Bestehende Konsortien/Plattformen sollten berücksichtigt werden.

3. Governance-Modell: Die Governance des Blockchain-Systems legt fest, wer die Kontrolle über das Netzwerk hat, wie Entscheidungen getroffen werden und welche Akteure (Stakeholder) an der Verwaltung beteiligt sind. Ob es sich um eine zentrale Steuerung durch ein Unternehmen, ein Konsortium oder eine dezentrale Struktur handelt.

4. Geschäftsmodell: Das Geschäftsmodell wird analysiert, ob Blockchain einen direkten Einfluss auf die Wertschöpfung hat, beispielsweise durch die Schaffung neuer Geschäftsmodelle oder die Optimierung bestehender Prozesse.

5. Wirtschaftliche, technische und rechtliche Machbarkeit: Die wirtschaftliche Bewertung umfasst eine Kosten-Analyse. Die technische Analyse untersucht, ob die Lösung skalierbar, sicher und in bestehende Systeme integrierbar ist. Die regulatorische Anforderungen berücksichtigen die Datenschutzvorgaben und branchenspezifische rechtliche Rahmenbedingungen.

6. Projektplanung und Ressourcenbedarf: Ein erfolgreicher Use-Case erfordert eine klare Planung. Ein Projektplan mit definierten Meilensteinen und der Identifikation der benötigten Ressourcen – darunter Personal, Technologien und finanzielle Mittel – hilft dabei, das Vorhaben effizient umzusetzen. Eine strukturierte Roadmap trägt dazu bei, Risiken frühzeitig zu erkennen und die Projektsteuerung zu optimieren.

7. Betriebliche Problemstellung: Blockchain sollte nur dann eingesetzt werden, wenn die konkrete Herausforderung vorliegt. Und mit der „herkömmlichen Technologien“ nicht zufriedenstellend lösbar ist.

8. Lösungsansatz mit Blockchain: Der Lösungsansatz mit Blockchain muss klar definiert werden. Es wird untersucht, welche Funktionen der Blockchain-Technologie, wie Smart Contracts, dezentrale Speicherung oder transparente Transaktionsnachverfolgung, zur Lösung des Problems eingesetzt werden können.

9. Alternative Lösungsansätze ohne Blockchain: Es müssen alternative Lösungsansätze in Betracht gezogen werden. Es wird geprüft, ob bestehende Technologien wie zentrale Datenbanken oder ERP-Systeme das Problem ebenso effizient oder sogar besser lösen können. Damit soll sichergestellt werden, dass die Blockchain nicht nur aus Innovationsgründen, sondern auf Basis eines echten Mehrwerts implementiert wird.

Diese neun Punkte bzw. Bewertungsaspekte bilden die Grundlage für die Analyse der Methodik. Die Untersuchung dieser Aspekte hat den Zweck, einerseits die Potenziale der Technologie zu analysieren und andererseits eine realistische Einschätzung der Grenzen und Herausforderungen der Technologie zu gewährleisten.

3.1.4 Strukturierung der Methodik

Um eine klare Strukturierung der Methodik sicherzustellen, werden die Bewertungsaspekte in zwei Überkapitel eingeteilt. Dabei sind die Methodiken so konzipiert, dass sie aufeinander aufbauen, sodass die Erkenntnisse aus einem Abschnitt als Grundlage für den nächsten dienen können.

1. Situations- und Lösungsanalyse

Hier wird der aktuelle Zustand des Unternehmens oder des Anwendungsfalls untersucht, um bestehende Herausforderungen und Problematiken zu identifizieren. Des Weiteren soll der mögliche Lösungsansatz mit Blockchain analysiert werden, einschließlich des geplanten Blockchain-Systems, seiner Steuerungsmechanismen (Governance) und seines Geschäftsmodells.

Einteilung der Bewertungsaspekte:

1.1 Situation & Problemstellung

7. Betriebliche Problemstellung

1.2 Lösungsansatz mit Blockchain

2. Geplantes Blockchain-System

8. Lösungsansatz mit Blockchain

3. Governance-Modell

4. Geschäftsmodell

2. Systematische Bewertung

In diesem Abschnitt geht es um die systematische Bewertung der Lösung. Dabei wird die Eignung der Blockchain-Technologie untersucht. Es erfolgt eine Bewertung, inwiefern die vorgeschlagene Lösung zur Bewältigung der identifizierten Problematik beiträgt. Sowie eine wirtschaftliche Analyse um die Nutzkosten zu beurteilen. Es sei noch zu erwähnen, dass bei der Systematischen Bewertung die Bewertungsaspekte aufeinander aufbauen können. So kann beispielweise der Nutzen aus der Bewertung der Problembewältigung, für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit verwendet werden. So kann der Nutzen in einen monetären Wert (Nutzwert) bewertet werden.

Einteilung der Bewertungsaspekte:

2.1 Untersuchung Eignung Blockchain und Alternativen

8. Lösungsansatz mit Blockchain

9. Alternative Lösungsansätze ohne Blockchain

2.2 Bewertung der Problembewältigung

8. Lösungsansatz mit Blockchain

1. Kosten-Nutzen-Sicht der Stakeholder

2.3 Bewertung der Wirtschaftlichkeit

1. Kosten-Nutzen-Sicht der Stakeholder
5. Wirtschaftliche, technische und rechtliche Machbarkeit

Übersicht Methodik

Table 3 Methodik & Vorgehensweise, Eigene Darstellung

	Bewertungsaspekte	Geeignete Methoden oder Vorgehensweise
1. Situations- und Lösungsanalyse		
1.1 Situation & Problemstellung	7. Betriebliche Problemstellung	Leitfragen-Methode: Aufstellung der Situation mit Leitfragen
1.2 Lösungsansatz mit Blockchain	2. Geplantes Blockchain-System 8. Lösungsansatz mit Blockchain 3. Governance-Modell 4. Geschäftsmodell	Leitfragen-Methode: Aufstellung des Lösungsansatz mit Leitfragen
2. Systematische Bewertung		
2.1 Untersuchung Eignung Blockchain und Alternativen	8. Lösungsansatz mit Blockchain 9. Alternative Lösungsansätze ohne Blockchain	Entscheidungspfad nach United States Department of Homeland Security
2.2 Bewertung der Problembewältigung	8. Lösungsansatz mit Blockchain 1. Kosten-Nutzen-Sicht der Stakeholder	Scoring-Modell
2.3 Bewertung der Wirtschaftlichkeit	1. Kosten-Nutzen-Sicht der Stakeholder 5. Wirtschaftliche, technische und rechtliche Machbarkeit	Kosten-Analyse: TCO

3.2 Methodik: 1. Situations- und Lösungsanalyse

3.2.1 – 1.1 Situation & Problemstellung

Die Bewertung betrieblicher Problemstellungen ist eine grundlegende Voraussetzung für die gesamte Analyse. Da betriebliche Problemstellungen in jedem Unternehmen oder Anwendungsfälle unterschiedlich ausfallen, ist ein offener, explorativer Ansatz erforderlich. Eine „starre“ Bewertungsmethode wäre in diesem Fall nicht sinnvoll, da zunächst die Ursachen für bestehende Situation & Problemstellung identifiziert werden müssen. Deshalb wird in diesem Kapitel eine flexible Analyse, die **Leitfragen-Methode** ohne Bezug zu Blockchain eingesetzt.

Leitfragen: Siehe im Tabellenanhang - Table. 13 Situation & Problemstellung

3.2.2 – 1.2 Lösungsansatz mit Blockchain

In diesem Abschnitt wird der Blockchain-Ansatz mit gezielten Leitfragen behandelt. Die Methodik basiert auf einer strukturierten Leitfragen-Analyse, die sich aus zentralen Bewertungsaspekten ableitet. Die Leitfragen wurden entwickelt, um die wesentlichen Komponenten eines Blockchain-Systems umfassend zu untersuchen. Sie orientieren sich an den folgenden Bewertungsaspekten: 2. Geplantes Blockchain-System, 8. Lösungsansatz mit Blockchain, 3. Governance-Modell und 4. Geschäftsmodell.

Analyse des Blockchain-Systems

Table 4 Lösungsansatz mit Blockchain, eigene Darstellung

Aspekt	Anwendungsfall
Art der Blockchain	(z. B. öffentliche, private, konsortiale Blockchain)
Blockchain-Konsortien	(z.B Welche Akteure sind beteiligt? Wer verwaltet die Blockchain?)

Governance-Modell	(z.B. Welcher Mechanismus wird verwendet und warum?)
Konsensmechanismus (Proof of Work, Proof of Stake, BFT, etc.)	(z.B. Wie wird die Blockchain verwaltet und wer trifft Entscheidungen?)
Smart Contracts und Automatisierung	(z.B. Welche Prozesse werden durch Smart Contracts automatisiert?)
Skalierungsstrategien und Interoperabilität	(z.B. Wie wird die Blockchain skaliert? Gibt es Interoperabilität mit anderen Systemen?)
Teilnehmer/Akteure	(z.B. Welche Teilnehmer gibt es?)
Generation der Blockchain	(z.B. Welche Generation der Blockchain wird verwendet? Z.B. 2.0)
Transaktionsgebühren (Gas Fees)	(z.B. Gibt es Gebühren für Transaktionen?)
Konsortium Modell	(z.B. Wie sieht das Konsortium aus?)
Besonderheiten	(z.B. Gibt es spezielle Merkmale?)

3.3 Methodik: Systematische Bewertung

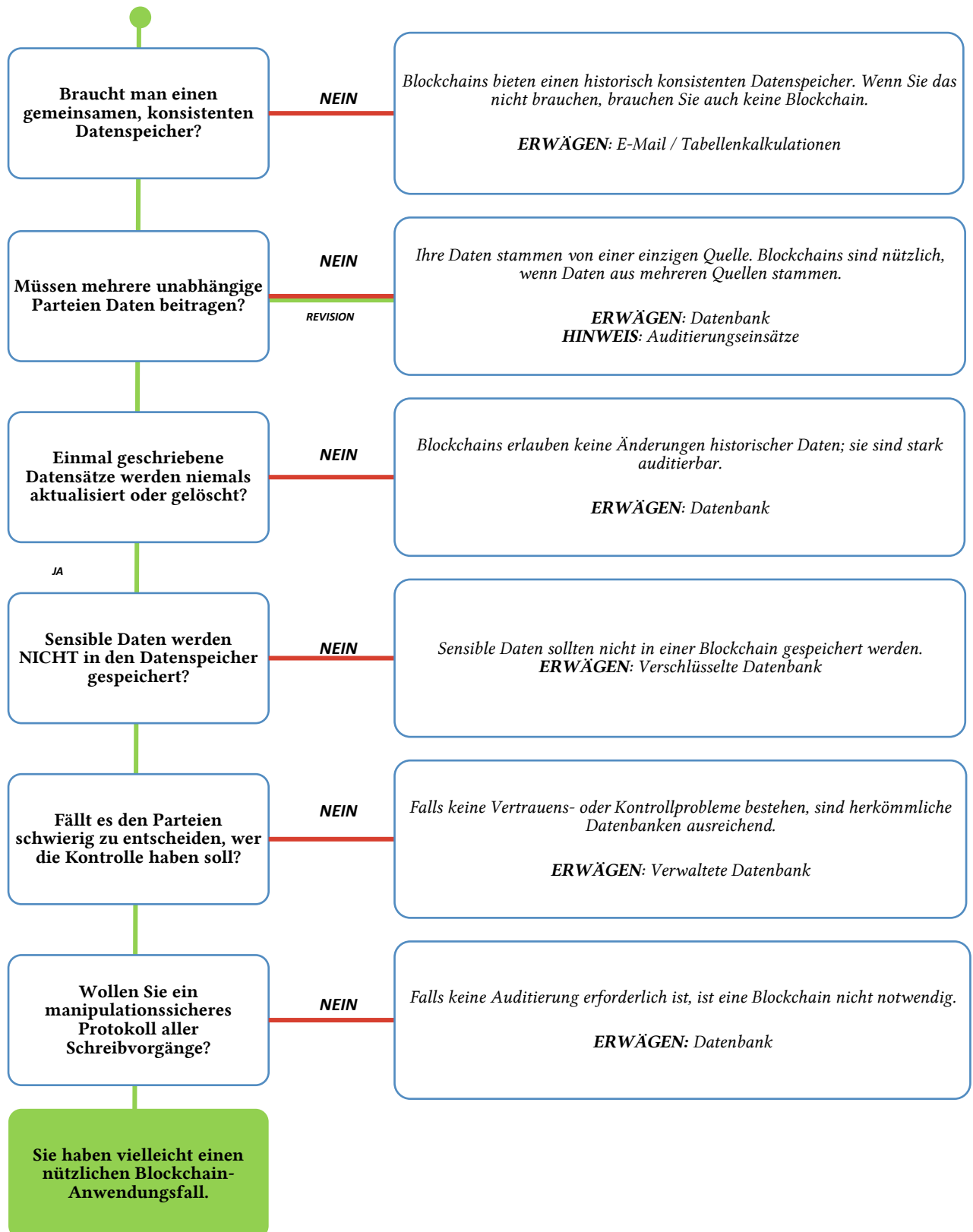
3.3.1 Methodik: Entscheidungspfad

Im Vorfeld einer Implementierung oder Bewertung einer Blockchain-Technologie ist es ratsam, zu prüfen, ob diese für die spezifische Problemstellung geeignet ist. Eine Blockchain ist nur sinnvoll, wenn sie klare Vorteile gegenüber alternativen Technologien bietet. Der Entscheidungspfad ermöglicht eine Beurteilung der Eignung der Problemstellung mit einigen Fragen. So kann die Eignung beurteilt werden, bevor eine Blockchain-Lösung weiterverfolgt wird.

Es gibt viele Entscheidungspfade mit unterschiedlichen Ansätzen, wie zum Beispiel Entscheidungspfad nach Suichies, IBM, Meunier oder Gardner. In dieser Arbeit wird das Modell des United States Department of Homeland Security (DHS) genutzt.⁶⁴ Der Grund für die Wahl dieses Modells ist, dass es eine klare Struktur hat und alternative Lösungen enthält. Es werden keine konkreten Alternativen vorgeschlagen, doch es weist eine Richtung vor und bietet eine Grundlage für weitere Evaluierungen.

Abbildung 9 Entscheidungspfad nach DHS, Eigene Darstellung - Übersetzung von DHS

⁶⁴ vgl. Adam, K., Blockchain-Technologie für Unternehmensprozesse, 2022, S. 98–100



Falls eine der Fragen mit „nein“ beantwortet wird, sollte eine alternative Lösung in Betracht gezogen werden. Der Entscheidungspfad ist rein auf die Bewertung der Eignung von Blockchain fokussiert und behandelt keine alternativen Technologien im Detail. Erst wenn alle wesentlichen Anforderungen erfüllt (mit „Ja“ beantwortet) sind, wird eine **detailliertere Evaluierung** empfohlen.

3.3.2 Methodik: Scoring-Modell

Auswahl der Blockchain spezifische Bewertungskriterien

Im vorherigen Schritt wurde die Eignung der Blockchain-Technologien anhand eines Entscheidungsbaums mit Ja-Nein-Fragen vorgefiltert. In diesem Schritt werden die Entscheidungsgrundlagen des Entscheidungsbaums in Bewertungskriterien überführt und quantifiziert.

Anstatt nur binäre Antworten zu betrachten, werden die zuvor definierten Entscheidungsgrundlagen mit numerischen Werten versehen, um eine genauere Differenzierung zwischen den Optionen zu ermöglichen.

Auswahl der individuelle Bewertungskriterien

Die individuellen Bewertungskriterien für das Scoring können je nach Branche und spezifischem Anwendungsfall flexibel festgelegt werden. In dieser Arbeit werden die Bewertungskriterien aus den in Abschnitt 2.2.4 "Herausforderungen und Risiken im Supply Chain Management" beschriebenen Problemfeldern abgeleitet.

Anmerkung: Es ist wichtig zu beachten, dass die Kostenbewertung in dieser Arbeit nicht in diesem Schritt erfolgt, sondern separat Methodik betrachtet wird.

Table 5 Scoring-Modell - individuelle Bewertungskriterien, Eigene Darstellung

Herausforderungen & Risiken	Nr.	Bewertungskriterien	Beschreibung
1. Komplexe & Lange Lieferketten	1	Reduktion der Lieferkettenkomplexität	Trägt BCT dazu bei, Schnittstellen zu minimieren, Standardisierung von Prozessen und Optimierung der Lieferantenstruktur?
	2	Reaktionsfähigkeit bei Änderungen (Anpassungen)	Unterstützt BCT eine schnelle Anpassung an Marktveränderungen, Lieferausfälle oder Krisensituationen?
	3	Skalierbarkeit auf neue Märkte, Regionen oder Produkte	Kann die BCT-Lösung problemlos für neue Märkte, Regionen oder Produktkategorien erweitert werden?
2. Monopolstellungen & Abhängigkeiten	4	Verringerung der Abhängigkeit von einzelnen Akteuren/Lieferanten	Kann BCT die Abhängigkeit von einzelnen Lieferanten oder zentralen Vermittlern verringern?
3. Resilienz, Risiko, Umweltfaktoren und Krisen	5	Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen externe Störungen	Hilft BCT, Risiken durch Krisen, Naturkatastrophen oder geopolitische Unsicherheiten zu minimieren?
	6	Verringerung des Produktionsstillstands / operative Risiken	Kann BCT potenzielle Engpässe oder Verzögerungen in der Lieferkette reduzieren?
	7	Erhöhung der Vorhersagegenauigkeit bei Störungen	Verbessert BCT Prognosen durch fälschungssichere Daten, Smart Contracts oder automatisierte Prozesse?
4. Konfliktinteressen der Organisationen	8	Akzeptanz und Kooperationsbereitschaft bei Stakeholdern	Ist BCT bei Stakeholdern (z. B. Lieferanten, Kunden, Behörden) akzeptiert?
5. Haftung & Absicherung	9	Manipulation von Gütern	Kann BCT Manipulationen in der Lieferkette verhindern?

	10	Reduzierung der Haftungsrisiken	Kann BCT helfen, einen eindeutigen Gefahrenübergang (z. B. Eigentumswechsel, Zuständigkeiten) nachzuweisen?
6. Digitalisierung & Technologie	11	Datenintegration	Bietet BCT eine nahtlose Integration mit anderen Systemen (ERP, IoT, Datenbanken)?
	12	Automatisierung von Prozessen	Reduziert BCT den Bedarf an manuellen Eingriffen?
7. Regularien & Nachhaltigkeit	13	CO ₂ -Reduktion durch Technologie	Kann BCT die Umweltauswirkungen von Logistik und Produktion verringern?
	14	Einfluss auf Kreislaufwirtschaft	Ermöglicht BCT eine bessere Rückverfolgbarkeit von Materialien für Recycling und Wiederverwendung?
	15	Erfüllung von Vorgaben und Gesetzen	Erleichtert BCT die Einhaltung von Vorgaben und Gesetzen?

Auswahl der Bewertungsskala

Die gewählte Skala von -2 bis +2 berücksichtigt sowohl negative als auch positive Einflüsse. Die Skala bildet negative Auswirkungen (-2 und -1), neutrale Zustände (0) sowie positive Entwicklungen (+1 und +2) ab. Dadurch können sowohl Risiken & Herausforderung als auch Optimierungspotenziale bewertet werden. Neutrale Mitte (0) als Referenzpunkt: Der Wert 0 dient als neutraler Referenzpunkt und zeigt an, dass keine signifikanten positiven oder negativen Auswirkungen bestehen.

Table 6 Bewertungsskala, Eigene Darstellung

Wert	Bewertung	Bedeutung
-2	Sehr schlecht	Deutliche Schwächen mit erheblichen negativen Effekten.
-1	Schlecht	Negativer Einfluss, die auf mögliche Probleme hinweisen.
0	Neutral	Keine signifikanten positiven oder negativen Auswirkungen.
1	Gut	Positiver Einfluss, aber noch Verbesserungspotenzial.
2	Sehr gut	Klare Verbesserungen und erkennbare Vorteile.

3.3.3 Methodik: Kosten-Analyse

Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit ist ein zentraler Aspekt bei der Beurteilung von IT-Projekten. Jede Investition, insbesondere in IT-Bereichen erfordert eine sorgfältige Wirtschaftlichkeitsprüfung. Blockchain-Projekte sind hier keine Ausnahme und bringen zusätzliche spezifische Herausforderungen mit sich. Trotzdem scheitern viele Projekte, weil entweder keine ausreichende Bewertung vorgenommen wurde oder die gewählten Ansätze nicht praxistauglich waren.⁶⁵ Erdle weist darauf hin: „Es gibt keine etablierten und praxiserprobten Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsanalyse von Blockchain-Systemen, sondern nur erste theoretische Modelle.“⁶⁶ Diese Aussage verdeutlicht, dass die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Blockchain-Systemen noch in den Kinderschuhen steckt und es an ausgereiften Instrumenten fehlt, die auf die besonderen Anforderungen dieser Technologie zugeschnitten sind.

⁶⁵ vgl. Wittenberg, S., Blockchain für Unternehmen, S. 132–134

⁶⁶ Wittenberg, S., Blockchain für Unternehmen, S. 136

Aus diesen Grund, wird die Wahl der Methodik zur Wirtschaftlichkeitsprüfung aus dem IT-Bereich hergeleitet. Die Methodik basiert aus der Fachliteratur „IT-Controlling“ von Andreas Gadatsch.⁶⁷ Die orientiert sich an betriebswirtschaftlichen Methoden der IT-Investitionsrechnung. Die Bewertung für die Kosten-Analyse erfolgt anhand einer Cost of Ownership-Analyse, die auf einem praxisnahen Fallbeispiel („Fallstudie TCO Neues Lagersystem“) basiert. Das inhaltlich an die Einführung eines Supply-Chain-Tools angelehnt ist.

Exkurs: Entwicklungskosten einer Blockchain Lösung in Supply Chain

Laut Experten für IT-Beratungs- und Softwareentwicklungsunternehmen, die bereits zwei erfolgreiche Blockchain-Projekte im Supply Chain Management umgesetzt haben. Kostet eine vollständig entwickelte Lösung 400.000–1.500.000 \$. Die Kosten variieren je nach Netzwerktyp, Smart Contracts, Systemintegrationen, Skalierbarkeit und Sicherheitsanforderungen. Für Unternehmen, die zunächst eine erste funktionsfähige Version testen möchten, liegt die Entwicklung bei 80.000–150.000 \$. Ein Beispiel für eine erfolgreiche Umsetzung ist FIDEwine, ein Weinlieferketten-Startup, das eine Blockchain-basierte Rückverfolgbarkeitslösung entwickelt hat.⁶⁸

Szenarien Rechnung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt ausschließlich aus der Perspektive eines einzelnen Akteurs. Dies bedeutet, dass die Szenarien Rechnung gezielt die Kosten-Nutzen-Sicht eines bestimmten Akteurs betrachtet. Eine ganzheitliche Betrachtung aller Akteure entlang der Wertschöpfungskette findet nicht statt.

Vorgehen der Kosten Analyse

1. Identifikation der Kostenarten: Erfassung aller relevanten Kosten, einschließlich Anfangsinvestitionen I_0 und laufender Betriebskosten B_t . Bei Blockchain-Technologien können zusätzlich spezifische Kostenarten anfallen, die in traditionellen Systemen nicht üblich sind. Dazu gehören unter anderem Transaktionskosten (Gas Fees).

2. Bestimmung des Abzinsungssatzes: Der Abzinsungssatz r wird festgelegt, um zukünftige Kosten auf den heutigen Wert zu diskontieren.

3. Berechnung der abgezinsten Kosten: Anwendung der TCO-Formel

Formel:

$$TCO = \sum \frac{B_t}{(1+r)^t} - I_0$$

wobei:

- B_t = Betriebskosten in Jahr t
- r = Abzinsungssatz
- I_0 = Anfangsinvestition

⁶⁷ vgl. Gadatsch, A., IT-Controlling, 2021, S. 81–92

⁶⁸ Scnsoft, Blockchain for Supply Chain in 2025

- $t = \text{Jahr der Zahlung}$

Ergänzung: Wenn man zusätzlich Einsparungen und Nutzwerte in die Berechnung einbezieht, kann man den Return on Investment (ROI) berechnen. Da Nutzwerte und Einsparungen jedoch oft schwer quantifizierbar sind, werden sie in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

4. Praktische Analyse und Anwendungsfälle

4.1 Auswahl der Anwendungsfälle

Der Praxisteil dieser Arbeit stellt das Herzstück der Untersuchung dar. Hierbei werden reale Anwendungsfälle recherchiert, um die praktische Relevanz zu verdeutlichen. Der Fokus liegt dabei auf Anwendungsfällen aus der Lieferkette sowie aus angrenzenden Bereichen wie der Produktion, sofern sie in direktem Zusammenhang mit der Lieferkette stehen. Ziel ist es, eine Auswahl zu treffen, die verschiedene Branchen, unterschiedliche Reifegrade und eine differenzierte Abdeckung der Lieferkette abbildet.

Suchprozess der Anwendungsfälle

Der Suchprozess erfolgt so, dass so viele potenzielle Anwendungsfälle aus der Lieferkette sowie aus angrenzenden Bereichen wie der Produktion erfasst werden, bevor eine gezielte Auswahl und Eingrenzung erfolgt. Zunächst wurde eine breite Recherche durchgeführt, in der eine Vielzahl relevanter wissenschaftlicher Fachbücher, Branchenberichte oder Fachartikel. In dieser Phase lag der Fokus darauf, eine möglichst große Bandbreite an Anwendungsfällen zu sammeln, unabhängig von Branche, Reifegrad oder Abdeckung der Lieferkette.

Kategorisierung der Anwendungsfälle

Die identifizierten Anwendungsfälle wurden anhand Kriterien analysiert und eingeordnet. Zunächst erfolgte eine Zuordnung zu den Branchen, in denen der jeweilige Anwendungsfall von besonderer Relevanz ist. Darüber hinaus wurde der Reifegrad der Technologie bewertet, um zwischen Konzepten, pilotierten Lösungen und bereits etablierten Ansätzen zu unterscheiden. Das dritte Kriterium war die Betrachtung der Abdeckung der Lieferkette. Um sicherzustellen, dass die Anwendungsfälle verschiedene Bereiche der Wertschöpfungskette adressieren.

Table 7 Kategorisierung der Anwendungsfälle, Eigene Darstellung

Nr.	Anwendungsfall – Quelle	Beschreibung	Branche	Reifegrad	Abd. Lieferkette
1.	Blockchain-Integration in ERP-Systeme – Fallbeispiel Daimler AG ⁶⁹	Prototyp mit SAP S/4HANA und Hyperledger Fabric. Aufbau eines Zulieferernetzwerk mit einem Procure-to-Pay-Prozess	Automobilindustrie	Proof-of-Concept mit Prototype	Netzwerk
2.	Hyperledger für Supply Chain in der Luftfahrtindustrie ⁷⁰	Ersatzteil Zertifikaten für Werkstattereignisse im Laufe des Lebenszyklus eines sicherheitsrelevanten Flugzeugsteils	Luftfahrtindustrie	Proof-of-Concept	Netzwerk
3.	Blockchain in der maritimen Logistik ⁷¹	Blockship: Smart Contract mit Überwachung von Temperatur- und Feuchtigkeit in einem Container	Transport- und Logistikbranche: Maritimen	Pilotprojekt	Abbildung ist das Asset (Container)

⁶⁹ vgl. Fill, H. G./Meier, A., Blockchain, 2020, S. 173–194

⁷⁰ Fill, H. G./Meier, A., Blockchain, 2020, S. 195–214

⁷¹ vgl. Fill, H. G./Meier, A., Blockchain, 2020, S. 235–255

4.	TradeLens - Digitalisierung von Frachtpapieren und Statusverfolgung von Seefrachtcontainer ^{72 73 74 75 76}	Austausch von Informationen zwischen verschiedenen Akteuren beim Versand von Seefracht Container	Transport- und Logistikbranche: Maritimen	etablierte Lösung – Eingestellt 2022	Feste Abdeckung Asset (Container)
5.	IBM Food Trust - Erhöhung der Nahrungsmittelsicherheit ⁷⁷	Nachverfolgbarkeit von Lebensmittel vom Hersteller bis zum Handel	Lebensmittelbranche	Plattform etablierte Lösung	Produzenten bis zum Handel
6.	Digitaler Palettschein in der Blockchain bei GS1 und Partnern. ⁷⁸	Erfassung von Tauschvorgang sowie „Palettschulden“	IT & Technologie	Pilotprojekt	Unbekannt
7.	Everledger - Echtheitsüberprüfung von Diamanten ^{79 80}	Nutzt die physikalische Einzigartigkeit von Diamanten um Blockchain-Hashes zu bilden	Luxusgüterbranche	etablierte Lösung	Abbau bis zum Kunden
8.	Wertschöpfungs-Lieferketten am Beispiel der New Silk Road ⁸¹	Hafen in Rotterdam Umschlag der Fracht	Transport- und Logistikbranche: Maritimen	Pilotprojekt	Abbildung ist das Asset (Container)
9.	FairChain - Global Coffee Supply Chain ^{82 83}	FairChain optimiert Kaffeelieferketten mit Blockchain für Transparenz, Fairness und Nachhaltigkeit.	Lebensmittelbranche / Luxusgüterbranche	etablierte Lösung	Abbau bis zum Kunden
10.	Beef Ledger ⁸⁴	Blockchain für Rückverfolgbarkeit und Authentizität in der Rindfleisch-Lieferkette in Australien	Lebensmittelbranche	etablierte Lösung	Abbau bis zum Kunden

Auswahl der finalen Anwendungsfälle

Die Auswahl der zu untersuchenden Anwendungsfälle basiert auf drei zentralen Kriterien, die sicherstellen, dass ein möglichst breites und praxisnahes Spektrum abgedeckt wird:

- (1) **Verschiedene Branchen:** Die Anwendungsfälle wurden aus drei unterschiedlichen Branchen ausgewählt. Dies erlaubt es, branchenspezifische Besonderheiten herauszuarbeiten und gleichzeitig Gemeinsamkeiten und Unterschiede für die Anwendung zu identifizieren.
- (2) **Reifegrad der Anwendungsfälle:** Es wurde darauf geachtet, dass die Anwendungsfälle bereits in der Praxis etabliert und aktiv im Einsatz ist. Obwohl TradeLens im Jahr 2022 eingestellt wurde, bleibt es dennoch ein relevanter Anwendungsfall, da es als früheres Praxisbeispiel wertvolle Einblicke in die Implementierung und Nutzung von Blockchain-Technologien in der maritimen Logistik bietet. Es ist

⁷² vgl. Wittenberg, S., Blockchain für Unternehmen, S. 193–199

⁷³ vgl. Fill, H. G./Meier, A., Blockchain, 2020, S. 235–255

⁷⁴ vgl. Hinckeldeyn, J., Blockchain-Technologie in der Supply Chain, 2019, S. 27–30

⁷⁵ Rotem Hershko, Maersk and IBM to discontinue TradeLen

⁷⁶ PierNext, Why Maersk and IBM's blockchain platform TradeLens is closing down, 2023

⁷⁷ IBM Food Trust, Food logistics on blockchain, 2024

⁷⁸ vgl. Wittenberg, S., Blockchain für Unternehmen, S. 207–211

⁷⁹ vgl. Wittenberg, S., Blockchain für Unternehmen, S. 212–217

⁸⁰ Cointelegraph, Tencent-backed Everledger collapses amid lack of funding, 2023

⁸¹ vgl. Fill, H. G./Meier, A., Blockchain, 2020, S. s.215–234

⁸² Zhang, C./Gong, Y./Brown, S., Blockchain Applications in Food Supply Chain Management, 2023, S. 175–210

⁸³ Bureau, THE GROUNDS FOR SHARING, 2024

⁸⁴ Zhang, C./Gong, Y./Brown, S., Blockchain Applications in Food Supply Chain Management, 2023, S. 99

ebenso wichtig, etablierte Misserfolge oder eingestellte Projekte zu analysieren, da sie wertvolle Erkenntnisse über Herausforderungen und Hindernisse liefern.

- (3) **Abdeckung der Lieferkette:** Die ausgewählten Anwendungsfälle decken verschiedene Bereiche der Lieferkette ab, um eine ganzheitliche Betrachtung zu ermöglichen. Ziel ist es, möglichst viele Aspekte der Wertschöpfungskette – von der Rohstoffbeschaffung über Produktion und Logistik bis hin zum Endkunden – mit einzubeziehen.

Auf dieser Grundlage wurden die folgenden Anwendungsfälle ausgewählt:

- TradeLens - Digitalisierung von Frachtpapieren und Statusverfolgung von Seefrachtcontainer (Nr.4)
- IBM Food Trust - Erhöhung der Nahrungsmittelsicherheit (Nr.5)
- Everledger - Echtheitsüberprüfung von Diamanten (Nr.7)
- FairChain - Global Coffee Supply Chain (Nr.9)

Die identifizierten Anwendungsfälle, die **nicht in die Auswahl** aufgenommen wurden, können dennoch als wertvolle Referenzen dienen. Sie bieten zusätzliche Perspektiven und können herangezogen werden, um spezifische Fragestellungen oder Wissenslücken besser zu begreifen.

4.2 Beschreibung der Anwendungsfälle

4.2.1 TradeLens - Digitalisierung von Frachtpapieren und Statusverfolgung von Seefrachtcontainer

TradeLens ist eine Plattform, die von IBM und Maersk entwickelt wurde und die Blockchain-Technologie nutzt, um die Effizienz und Transparenz im internationalen Seefrachtverkehr zu steigern. Ziel war es, papierbasierte Prozesse durch digitale Lösungen zu ersetzen und Statusinformationen sowie Dokumente wie das Bill of Lading (B/L) unveränderlich in der Blockchain zu speichern. Ein zentraler Vorteil ist die Integration von Echtzeitinformationen, digitalen Dokumenten und automatisierten Prozessen durch Smart Contracts.

Betriebliche Problemstellung

Die globale Seefrachtlogistik ist durch ineffiziente, papierbasierte Prozesse geprägt, die den gesamten Ablauf verlangsamen und Fehleranfällig machen. Oftmals haben Akteure keinen Zugriff auf Echtzeitinformationen bezüglich des Standorts oder des Status ihrer Container. Dadurch kommt es zu Verzögerungen und zusätzlichen Kosten. Die manuelle Weiterreichung von Papierdokumenten, wie beispielsweise dem Bill of Lading, zwischen den Akteuren, darunter insbesondere Reedereien, Banken und Versicherungen. Dies resultiert in einer Zunahme der Prozesse und einem erhöhten Verwaltungsaufwand.

Lösungsansatz mit Blockchain

TradeLens nutzte Blockchain-Technologie, um Transparenz und Effizienz entlang der gesamten Lieferkette zu schaffen. Alle wichtigen Statusinformationen wie das Beladen, die Zollabfertigung oder das Anlegen eines Schiffs werden digital erfasst und unveränderlich in der Blockchain gespeichert. Dies führte dazu, dass alle berechtigten Parteien einen sicheren Zugriff auf Echtzeitdaten erhielten und das Vertrauen zwischen den beteiligten Akteuren stieg.

Ein weiterer Schlüsselansatz war die Digitalisierung papierbasierter Dokumente. Das Bill of Lading wurde durch digitale Versionen ersetzt, die in einer Cloud gespeichert und mit Hash-Werten in der Blockchain gesichert wurden. Das reduziert die Abhängigkeit von physischen Dokumenten reduziert und ermöglicht eine schnelle Verifizierung der Daten.

Die Automatisierung wurde mithilfe von Smart Contracts implementiert. Bestimmte Aktionen entlang der Logistikkette werden automatisch ausgeführt, sobald definierte Bedingungen erfüllt sind. Beispielsweise konnten Zahlungen automatisch ausgelöst oder Genehmigungen für den Containertransport erteilt werden, sobald die erforderlichen Statusupdates oder Dokumente in der Blockchain hinterlegt waren. In diesem Zusammenhang werden die manuelle Bearbeitung deutlich verringert und die damit verbundenen Verzögerungen erheblich reduziert.

Beispiele und Anwendungen

Reedereien und Logistikunternehmen: Automatisierung der Frachtabwicklung, Echtzeit-Transparenz über Containerstatus und Reduktion manueller Prozesse.

Häfen und Terminals: Verbesserte Planbarkeit durch direkte Verfügbarkeit von Statusinformationen und reduzierte Kommunikationsaufwände.

Banken und Versicherungen: Direkter Zugriff auf digital gesicherte Dokumente zur schnellen Verifizierung von Echtheit und Status, wodurch Zahlungen und Versicherungsfälle effizienter bearbeitet werden konnten.

Technische Umsetzung

Die Grafik zeigt die Architektur von TradeLens. Das System besteht aus drei Hauptkomponenten: dem TradeLens Netzwerk, dem Marktplatz für Applikationen und der TradeLens Plattform. Das Netzwerk umfasst verschiedene Akteure wie Speditionen, Reedereien und Zollbehörden, die Daten veröffentlichen (Publish) oder empfangen (Subscribe) können. Der Marktplatz ermöglicht die Nutzung von TradeLens-eigenen, Teilnehmer- und Drittanbieter-Applikationen. Die Plattform selbst basiert auf einem Blockchain-Netzwerk mit mehreren Kanälen und bietet APIs sowie Services für den Datenaustausch und die Dokumentenverwaltung.

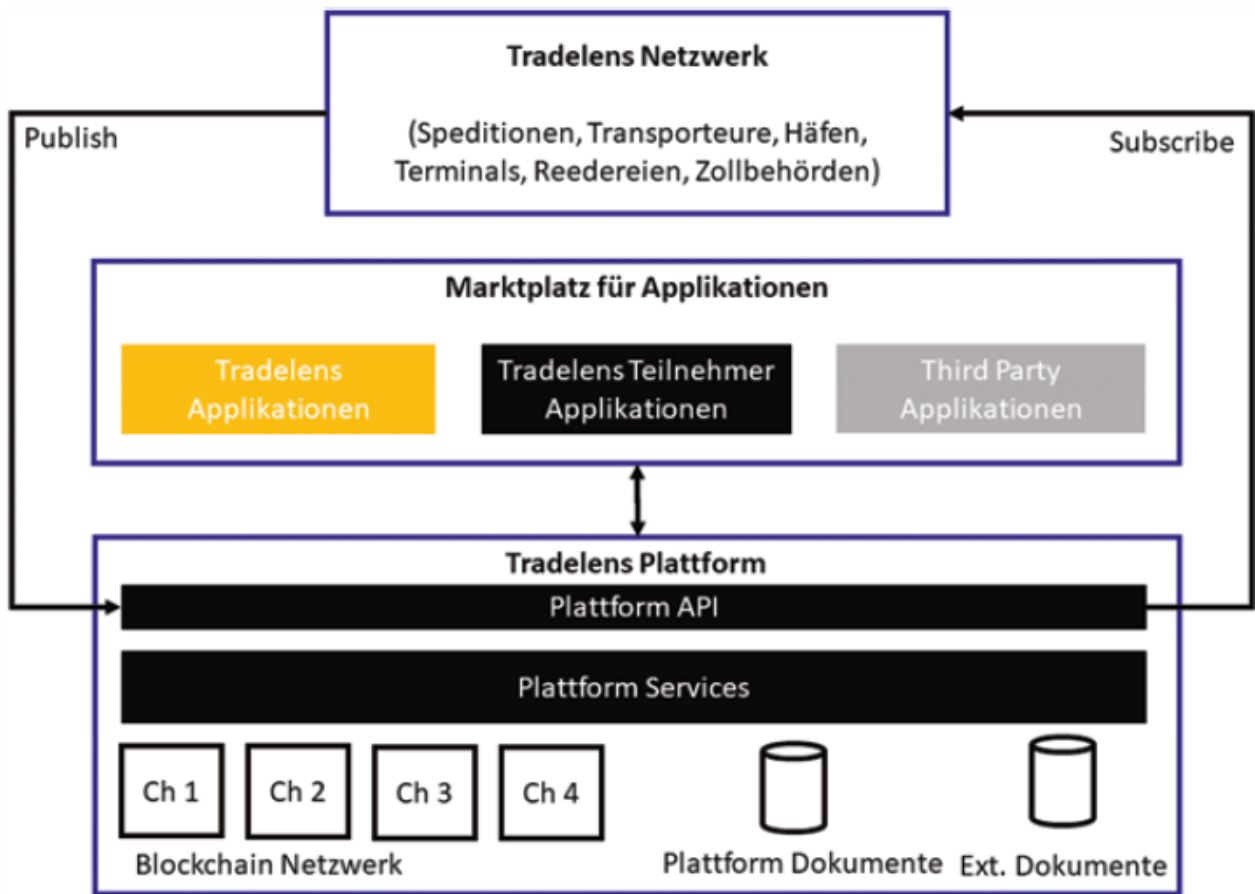


Abbildung 10 Architektur von TradeLens, Hinckedyln

Besonderheit

Die Plattform wurde 2023 eingestellt. Trotz erfolgreicher technischer Umsetzung konnte die Plattform nicht die erforderliche globale Branchenkooperation erreichen, um langfristig wirtschaftlich rentabel zu bleiben. Ein wesentlicher Faktor für mangelnde Kooperation, war die unzureichende Einbindung von Verladern und Spediteuren, die den Mehrwert der Plattform nicht ausreichend anerkannten. Daher mangelte es an der Bereitschaft zu Investitionen. Die Spediteure äußerten die Besorgnisse, dass ihre Position im Logistikprozess an Bedeutung verlieren könnte. Da diese Akteure nicht zur Zusammenarbeit bereit waren, wurde schließlich die Entscheidung getroffen TradeLens einzustellen.

4.2.2 IBM Food Trust - Erhöhung der Nahrungsmittelsicherheit

IBM Food Trust ist eine Blockchain-Plattform, die entwickelt wurde, um die Transparenz und Sicherheit von Lebensmitteln über die gesamte Lieferkette hinweg zu gewährleisten. Lebensmittelproduzenten und andere Unternehmen haben die Möglichkeit, sich dem Netzwerk anzuschließen. Ein zentraler Fokus liegt auf der Chargenrückverfolgung, die es ermöglicht, jede Produktionseinheit vom Ursprung bis zum Endkunden lückenlos zu dokumentieren. Die Plattform dient dazu, die Lebensmittelsicherheit zu erhöhen, Qualitätsprobleme frühzeitig zu erkennen und im Falle von eines Produktrückrufen schnell und gezielt reagieren zu können.

Betriebliche Problemstellung

Lebensmittelunternehmen stehen vor der Herausforderung, ihre Lieferketten sicher und effizient zu gestalten, während sie gleichzeitig regulatorische Vorgaben und Verbraucheransprüche erfüllen müssen. Ein Problem ist

die mangelnde Transparenz. Unternehmen haben nur eingeschränkte Einblicke in die Herkunft und Verarbeitung ihrer Produkte. Die Nachverfolgung von Chargen wird oft durch fehlende digitale Lösungen erschwert. Die Verwaltung von Qualitäts- und Nachhaltigkeitszertifikaten erfolgt oft manuell oder in isolierten Systemen, was die Fehleranfälligkeit und Betrugsrisiken erhöht. Dadurch entstehen wirtschaftliche Verluste, ineffiziente Bestandsführung, fehlende Echtzeitdaten und Lebensmittelverschwendung.

Lösungsansatz mit Blockchain

IBM Food Trust ist speziell darauf ausgelegt, die Transparenz, Effizienz und Sicherheit in der Lieferkette zu erhöhen. Jede Produktcharge wird in der Blockchain erfasst, sodass die gesamte Lieferkette von der Erzeugung über die Verarbeitung bis zum Verkauf lückenlos nachvollziehbar ist. Dies ermöglicht es Unternehmen, im Falle von Produktrückrufen präzise auf betroffene Chargen zuzugreifen.

IBM Food Trust hat eine modulare Struktur aus, die Unternehmen eine flexible Anpassung an spezifischen Bedürfnissen ermöglicht. Die wichtigsten Module umfassen:

Modul Trace: Ist die Chargenverfolgung. Dieses Modul ermöglicht jede Charge entlang der gesamten Lieferkette zu überwachen und zu dokumentieren. Dies ist nicht nur bei Rückrufen von entscheidender Bedeutung, sondern auch dient auch zur Erhöhung der Lebensmittelsicherheit.

Modul Certification: Ist die Automatisierung und Digitalisierung der Zertifikatsverwaltung. Die Speicherung von Qualitäts- und Nachhaltigkeitszertifikaten in der Blockchain sichert sie vor Manipulation. Geschäftspartner und Behörden können die Echtheit dieser Zertifikate prüfen.

Modul Fresh Insights: Bietet Echtzeit-Informationen. Mit dem „Modul Fresh Insights“ erhält man Echtzeit-Einblicke in ihre Lieferketten. Dadurch wird die Bestandsführung optimiert und Engpässe vermieden.

Zusätzlich bietet die Plattform weitere Module wie „Onboarding“, das neue Teilnehmer beim Einstieg unterstützt. Und „Documents“, das einen sicheren Austausch von Lieferdokumenten ermöglicht.

Nahtlose Erweiterung: Die Plattform ermöglicht eine schrittweise Integration in bestehende ERP- und Supply-Chain-Systeme, sodass Unternehmen ihre vorhandene Infrastruktur nahtlos erweitern können.

Technische Umsetzung

IBM Food Trust basiert auf Hyperledger Fabric. Das System ist als "permissioned Blockchain" konzipiert, wodurch ausschließlich autorisierte Teilnehmer Zugriff auf die Daten haben.

Beispiele und Anwendungen

- Seafood Watch – Zertifikatsverwaltung für Fischereiprodukte: Im Fischereisektor wird IBM Food Trust genutzt, um Nachhaltigkeitszertifikate für Fischereiprodukte zu verwalten.

4.2.3 Everledger - Echtheitsüberprüfung von Diamanten

Everledger nutzte Blockchain-Technologie zur sicheren und transparenten Dokumentation der Echtheit und Herkunft von Wertgegenständen. Durch digitale Zwillinge werden einzigartige Merkmale manipulationssicher gespeichert. Dadurch kann der gesamte Lebenszyklus eines Produkts lückenlos dokumentiert werden. Von der Mine über die Verarbeitung und den Transport bis hin zum Endkunden bleibt jeder Schritt nachvollziehbar.

Neben Diamanten erweiterte Everledger sein Materialtracking auf Luxusgüter, Kunstwerke, Batterierecycling und kritische Rohstoffe. Obwohl das Unternehmen mit innovativen Konzepten aufwartete, musste Everledger im Jahr 2023 Insolvenz anmelden, da eine geplante Finanzierung nicht realisiert werden konnte. Dies wirft Fragen zur Skalierbarkeit von Blockchain-Lösungen in Lieferketten auf.

Betriebliche Problemstellung

Die Überprüfung der Echtheit von Diamanten stellt seit Jahren eine Herausforderung dar, da herkömmliche Nachweismethoden wie Papierzertifikate (z. B. GIA-Zertifikate) mehrere Schwächen aufweisen. Eine der größten Problematiken ist die Fälschungsgefahr, da Papierzertifikate leicht gefälscht oder dupliziert werden können. Auf globaler Ebene existieren keine einheitliche Register oder Datenbanken, die den Diamantenhandel und die dazugehörigen Zertifikate erfassen und somit eine einheitliche Überprüfung der Zertifikate erschweren oder gar unmöglich machen. Kunden und Händler sind daher oft auf das Vertrauen in den jeweiligen Anbieter angewiesen. Die Herkunft eines Diamanten ist oft ungewiss, da Zertifikate keine Transparenz über die Abbauregion und die ethische Herkunft bieten. Dies ist besonders problematisch im Zusammenhang mit sogenannten „Blood Diamonds“.

Lösungsansatz mit Blockchain

Die grundlegende Idee besteht darin, die einzigartigen Merkmale eines Diamanten unveränderlich in einer Blockchain zu speichern. Diese Merkmale, bekannt als „physical unclonable features“ (PUF), sind aufgrund der natürlichen Eigenschaften des Diamanten einzigartig und nicht kopierbar. Der Ansatz umfasst mehrere Schritte. Zunächst wird für jeden Diamanten ein digitaler Zwilling erstellt. Der digitale Zwilling umfasst Informationen zu den physikalischen Eigenschaften eines Diamanten, darunter Form, Karatgewicht, Farbe und Reinheit, sowie Details zur Verarbeitung und Herkunft. Diese Merkmale werden gemeinsam mit weiteren Daten wie Seriennummern, Zertifikaten, Fotos und Verarbeitungsschritten in einen Hash-Wert umgewandelt und fälschungssicher in der Blockchain gespeichert. Die gesamte Lieferkette, von der Mine über die Sortierung, das Schneiden und Polieren bis hin zum Verkauf, wird in der Blockchain dokumentiert, was eine vollständige Rückverfolgbarkeit ermöglicht. Über eine zentrale Plattform, beispielsweise eine App oder einen Webbrowser, können Händler und Endkunden auf die Blockchain-Daten zugreifen, um die Authentizität und Herkunft eines Diamanten zu verifizieren. Dabei wird der Endkunde in die gesamte Lieferkette eingebunden.

Technische Umsetzung

Hyperledger Fabric ist als „private Blockchain“ konzipiert. Das bedeutet, dass nur autorisierte Teilnehmer Zugriff auf die Blockchain haben. Das heißt, dass ausschließlich autorisierten Partnern wie Minenbetreibern, Händlern und Juwelieren erlaubt, Daten einzupflegen oder zu aktualisieren. Um Geschäftsgeheimnisse zu wahren, können Unternehmen mit Private Data Collections vertrauliche Informationen gezielt mit bestimmten Akteuren teilen.

Beispiele und Anwendungen

- Rock Solid Diamonds: Dieses Unternehmen integriert die Everledger-Lösung in seinen Verkaufsprozess, um die „Diamond Journey“ seiner Produkte zu zeigen.

Besonderheit

Laut einem Artikel musste Everledger Insolvenz anmelden, nachdem eine geplante Finanzierungsrunde gescheitert war. Obwohl das Unternehmen zuvor 51,7 Millionen US-Dollar an Investitionen erhalten hatte konnte es die finanzielle Stabilität nicht aufrechterhalten. Die genauen Gründe für die Insolvenz bleiben unklar. Es wird jedoch spekuliert, dass die mangelnde Branchenkooperation und generelle Herausforderungen bei der Skalierung von Blockchain-Lieferkettenlösungen eine Rolle gespielt haben könnten.

4.2.4 FairChain - Global Coffee Supply

FairChain nutzt die Blockchain-Technologie und die Ungleichheiten und Nachhaltigkeitsprobleme in der globalen Kaffee-Wertschöpfungskette anzugehen. Das Ziel ist es, mindestens 50 % der Wertschöpfung in den Ursprungsländern zu halten, indem Zahlungen mittels Smart Contracts direkt an die Produzenten gehen.

Betriebliche Problemstellung

Kaffeeproduzenten erhalten etwa 4,2 % des Endpreises einer Tasse Kaffee. Das bedeutet, dass von jedem Euro, den ein Verbraucher für eine Tasse Kaffee bezahlt, weniger als fünf Cent tatsächlich bei den Kaffeebauern ankommen. Aufgrund der ungleichen Wertverteilung sind sie gezwungen, lediglich die Rohware zu verkaufen, ohne von den Wertschöpfungsprozessen wie dem Rösten zu profitieren. Diese finden hauptsächlich in Importländern wie den Niederlanden statt. Viele Kaffeelieferanten verfügen über wenig oder keine digitale Infrastruktur. Dies hat zur Folge, dass die Rückverfolgbarkeit der Produkte stark eingeschränkt wird und die Transparenz in der Lieferkette erschwert wird. Ohne einheitliche Tracking-Systeme bleiben Transportwege und Herkunft oft intransparent.

Lösungsansatz mit Blockchain

Der Lösungsansatz besteht in der **Digitalisierung der „Ersten Meile“** der Wertschöpfungskette. Hierbei werden detaillierte Informationen wie Anbauflächen, Baumanzahl und Ernteerträge der Produzenten erfasst und unveränderlich dokumentiert. Gleichzeitig schafft dies Vertrauen zwischen Produzenten, Händlern und Verbrauchern. Die Implementierung von Smart Contracts, welche Zahlungen automatisch auslösen, trägt dazu bei, eine faire Beteiligung der Produzenten an der Wertschöpfung zu fördern. Diese smarten Verträge gewährleisten einen kürzeren Geldfluss, wodurch die Produzenten 20 % mehr als den üblichen Marktpreis erhalten.

Beispiele und Anwendungen

Moeye Coffee: Aktive Nutzung von FairChain

Technische Umsetzung

FairChain basiert auf der Hyperledger-Plattform und wird von KrypC betrieben. Die Lösung kombiniert Online- und Offline-Datenaufzeichnung. Alle Akteure über die komplette Lieferkette mit der Technologie involviert sind. Entscheidend ist, dass die Produzenten selbst die Technologie nutzen können. Jeder Produzent hat Zugang zu einer benutzerfreundlichen Smartphone-App, mit der er Daten wie Erntemengen, Qualitätstests, Prozessschritte und Zahlungen erfassen werden. Die App erlaubt eine intuitive Nutzung, auch für Personen mit geringer technischer Erfahrung. Sensible Daten wie persönliche Informationen der Bauern werden aus Datenschutzgründen „off-chain“ gespeichert. Wertbezogene Daten wie Produktionsmengen und Zahlungen werden hingegen auf der Blockchain hinterlegt.

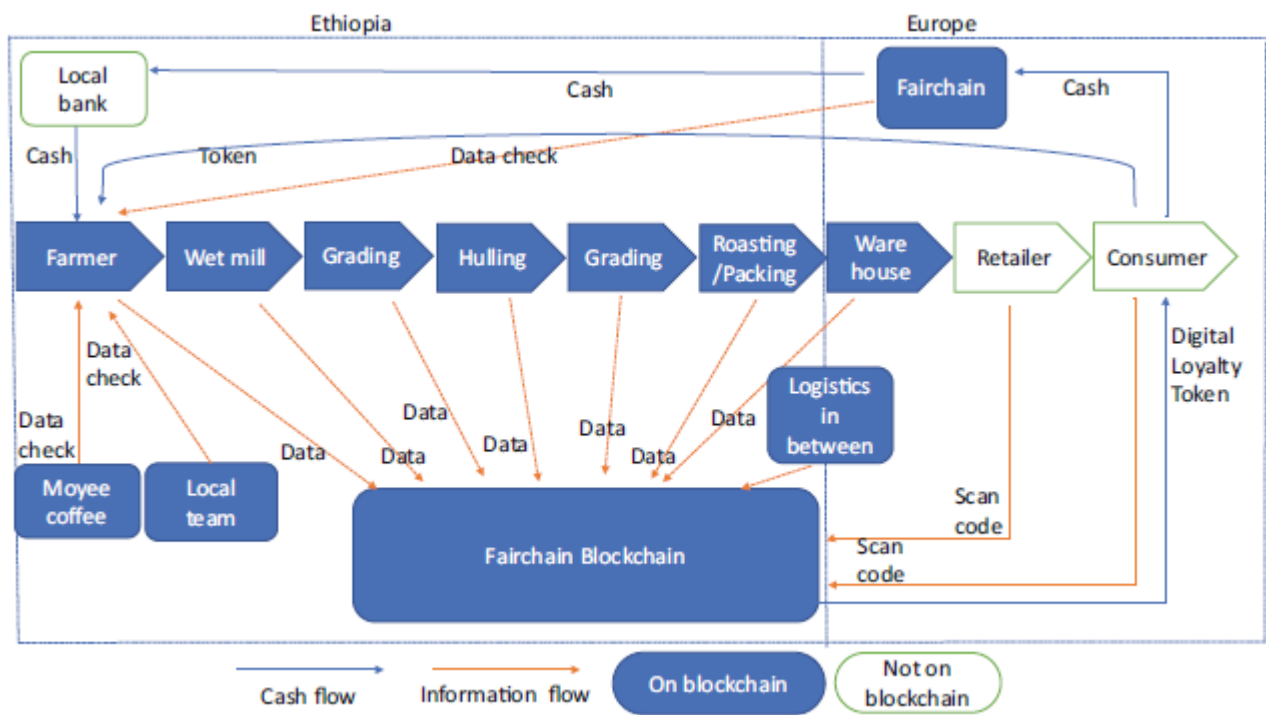


Abbildung 11 Prozessdarstellung FairChain, Blockchain Applications in Food Supply Chain Management

Besonderheiten

Die Einbindung beim Endverbraucher sowie die aktive Vermarktung der Technologie als Geschäftsmodell bzw. als Marketinginstrument sind besonderen Aspekte. Diese Strategie steigert das Vertrauen in die Marke und ermöglicht es den Verbrauchern, bewusste Kaufentscheidungen zu treffen. Dazu können sie digitale Loyalitätstoken sammeln, die als Rabatte bei zukünftigen Käufen oder für Projekte genutzt werden können. Langfristig plant FairChain die Skalierung auf weitere Produkte und die Umstellung auf eine öffentliche Blockchain.

4.3 Anwendung: Situations- und Lösungsanalyse

4.3.1 Anwendung: Situation & Problemstellung

Table 8 Anwendung: Situation & Problemstellung, Eigene Darstellung

Frage / Anwendungsfall	TradeLens - Digitalisierung von Frachtpapieren und Statusverfolgung von Seefrachtcontainer (Nr.4)	IBM Food Trust - Erhöhung der Nahrungsmittelsicherheit (Nr.5)	Everledger - Echtheitsüberprüfung von Diamanten (Nr.7)	FairChain - Global Coffee Supply Chain (Nr.9)
1.) Ist-Situation				
In welcher Branche ist das Unternehmen tätig?	Logistik- und Schifffahrtsbranche	Lebensmittelbranche	Luxusgüterbranche	Lebensmittelbranche
Seit wann existiert das Unternehmen?	2018-2022	2017	2015-2023	2014
Wer sind die wichtigsten / größten Wettbewerber?	Maersk	Nicht bekannt	Tracr von De Beers für Diamanten	Tchibo, Jacobs
Handelt es sich um national oder um internationale Transporte?	Ausschließlich International	Nationale als auch internationale	Ausschließlich International	Ausschließlich International
Welche Ziele verfolgt das Unternehmen?	Digitalisierung der globalen Lieferkette in der Seefrachtlogistik	Sicherheit, Effizienz und Transparenz in der Lebensmittelbranche verbessern	Transparenz und Fälschungssicherheit für Wertgegenstände zu schaffen	Nachhaltigere Kaffeeproduktion zu fördern und die Wertschöpfung, der Abbauländer erhöhen
Gibt es besondere Anforderungen seitens des Marktes oder der Kunden an die Lieferkette (z. B. Just-in-Time,	Zollabfertigung	Lebensmittelsicherheit und Frischegarantie	Herkunftsnachweise und Verifizierung	Nicht bekannt.
Welche Transportwege werden genutzt (Schiff, Flugzeug, Bahn, Lkw)?	Schiffs- und Lkw-Transporte. Das Asset ist der Container	Unterschiedliche Transportwege, je nach Produkt	Unterschiedliche Transportwege, je nach Produkt	Nicht bekannt.
2. Problemstellung	TradeLens	IBM Food Trust	Everledger	FairChain
Welche Herausforderungen ergeben sich durch die zunehmende Komplexität und Länge globaler Lieferketten?	Bestehen aus vielen Akteuren (Reedereien, Häfen, Zollbehörden, Spediteure), mit oft unterschiedlichen Systemen	Frische und Haltbarkeit - begrenzte Haltbarkeit. Bei manchen Transporten ist sogar ein Kühlkettenmanagement notwendig	Die Vielzahl an Akteuren und geografischen Standorten macht die Transparenz, Rückverfolgbarkeit und Echtheitsprüfung zu	Hohe Anzahl an Zwischenhändlern erschwert Transparenz und Rückverfolgbarkeit.

			einer großen Herausforderung	
In welchen Bereichen der Lieferkette gibt es kritische Abhängigkeiten von Anbietern oder Märkten?	Große Unternehmen dominieren den Markt	Lebensmittel wie Kaffee, Kakao oder exotische Früchte sind stark von bestimmten Regionen abhängig	Rohstoffgewinnung nur an bestimmten Regionen der Welt.	Nicht bekannt.
Wie wirken sich Umweltfaktoren und geopolitische Krisen auf die Resilienz der Lieferkette aus?	Handelskonflikte & Sanktionen: Verzögerungen oder Umleitungen von Warenströmen.	Handelskonflikte oder Sanktionen können den Import und Export von Lebensmitteln erschweren. Wetterbedingungen können Ernten beeinträchtigen	Erhöhter Prüfungs- und Zertifizierungsaufwand	Handelskonflikte oder Sanktionen können den Import und Export von Lebensmitteln erschweren. Wetterbedingungen können Ernten beeinträchtigen
Welche Interessenkonflikte entstehen zwischen den verschiedenen Akteuren in der Lieferkette?	Reedereien, Häfen und Spediteure haben unterschiedliche Prioritäten	Nicht bekannt	Nicht bekannt	Nicht bekannt
Welche rechtlichen und finanziellen Risiken bestehen in der Lieferkette	Beschädigungen der Ware, unpünktliche Zahlungen, unbekannte Haftung	Falls ein Produkt kontaminiert ist, können hohe Rückrufkosten entstehen.	Abhängigkeit physischer Dokumente.	Nicht bekannt
Welche Hindernisse bestehen bei der Implementierung digitaler Technologien?	Hohe Investitionskosten und Unterschiedliche IT-Systeme	Viele kleinere Betriebe haben keine Ressourcen oder Bedarf für teure digitale Systeme	Viele kleinere Betriebe haben keine Ressourcen oder Bedarf für teure digitale Systeme	Viele kleinere Betriebe haben keine Ressourcen oder Bedarf für teure digitale Systeme
Welche regulatorischen Anforderungen müssen Unternehmen in der Lieferkette erfüllen?	Zollvorschriften und Handelsgesetze sind in jedem Land unterschiedlich	Lebensmittelhygienestandards und das Lieferkettengesetz (Deutschland)	Nicht bekannt	Lebensmittelhygienestandards und das Lieferkettengesetz (Deutschland)
Was sind die größten Kosten-Faktoren in der Lieferkette?	Treibstoffkosten, Liegegebühren, Umschlagkosten und Containerhandling	Aufgrund der begrenzten Haltbarkeit sind meist schnelle Transporte (z.B. Flugzeug oder Expressversand) notwendig	Zertifizierungskosten und versicherter Transport	Transportkosten

4.3.2 Anwendung: Lösungsansatz mit Blockchain

Die folgende Tabelle zeigt die Lösungsansätze mit Blockchain anhand einer Leitfragen-Analyse (siehe Kapitel 3.2.2).

Table 9 Anwendung: Lösungsansatz mit Blockchain, Eigene Darstellung

Aspekt	TradeLens - Digitalisierung von Frachtpapieren und Statusverfolgung von Seefrachtcontainer (Nr.4)	IBM Food Trust - Erhöhung der Nahrungsmittelsicherheit (Nr.5)	Everledger - Echtheitsüberprüfung von Diamanten (Nr.7)	FairChain - Global Coffee Supply Chain (Nr.9)
Art der Blockchain	Private - Permissioned Blockchain	Private - Permissioned Blockchain	Private - Permissioned Blockchain	Öffentlichen Blockchain
Blockchain-Konsortien	IBM verwaltet die Plattform (IBM und Maersk)	IBM verwaltet die Plattform (IBM und Food Trust)	IBM verwaltet die Plattform (IBM und Oracle)	Es gibt keine spezifischen Hinweise, dass FairChain ein Konsortium nutzt.
Governance-Modell	Alle Teilnehmer sind „Trust Anchor“. Jeder Teilnehmer dient als Knoten	Alle Teilnehmer sind „Trust Anchor“. Jeder Teilnehmer dient als Knoten	Gibt keine allgemeine Einordnung des Governance-Modells	Jeder kann die FairChain-Blockchain nutzen, um den Einfluss auf die Wertverteilung zu überprüfen. Das System wird kontinuierlich verbessert, unter anderem durch Kooperationen mit Wirtschaftsprüfern
Konsensmechanismus	Basiert auf die IBM Blockchain Plattform, die Hyperledger Fabric nutzt. Diese verwendet Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT) als Konsensmechanismus	Basiert auf die IBM Blockchain Plattform, die Hyperledger Fabric nutzt. Diese verwendet Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT) als Konsensmechanismus	Basiert auf die IBM Blockchain Plattform, die Hyperledger Fabric nutzt. Diese verwendet Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT) als Konsensmechanismus	Proof of Stake (PoS) oder ein ähnliches verteiltes Konsensmodell
Smart Contracts und Automatisierung	Digitale Abfertigung von Unterschriften und Stempeln für Papierdokumente wie Packlisten, Konossements, Ursprungszeugnisse und Handelsrechnungen + Banken, automatisierte Abwicklung von Akkreditiven (L/C) + Versicherungsabwicklung	Automatische Speicherung von Qualitäts- und Nachhaltigkeitszertifikaten	Speicherung und Übertragung von Zertifikaten, Eigentumsnachweisen und Bearbeitungsschritten entlang der Lieferkette	Automatisierung von Zahlungen direkt an die Produzenten
Skalierungsstrategien und Interoperabilität	API-Integration die Interoperabilität mit bestehenden IT-Systemen von Logistikunternehmen, Häfen und Behörden	Bietet modulare Lösungen + Es gibt APIs, die Interoperabilität mit anderen Systemen ermöglichen	APIs, die Interoperabilität mit anderen Systemen ermöglichen	Geringe Einstiegs Hürde, man benötigt nur ein Smart-Phone und ein Bankkonto
Teilnehmer (Akteure)	Reedereien, Exporteure, Versicherung, Banken, Häfen, Zollbehörden, Spediteure, Banken und Versicherungen	Lebensmittelproduzenten, Groß- & Einzelhändler, Logistikunternehmen, Zertifizierungsstellen und Verbraucher (per Carrefour App)	Minenbetreiber, Veredler, Verifizierer, Händler, Endkunden	Produzenten, Händler, Banken, Endkonsumenten
Generation der Blockchain	Generation 3.0	Generation 3.0	Generation 3.0	Generation 3.0
Transaktionsgebühren (Gas Fees)	Privat - Es gibt keine klassischen "Transaktionsgebühren" wie es bei	Privat - Es gibt keine klassischen "Transaktionsgebühren" wie es bei	Privat - Es gibt keine klassischen "Transaktionsgebühren" wie es bei	Es gibt keine expliziten Hinweise auf Transaktionsgebühren für die Nutzung der Blockchain

	öffentlichen Blockchains ist.	öffentlichen Blockchains ist.	öffentlichen Blockchains ist.	durch Konsumenten oder Produzenten.
Geschäftsmodell (Konsortium)	Konsortiums Modell und bietet eine lizenzierte Plattform für den digitalen Fracht- und Dokumentenfluss: Einnahmen durch verschiedene Service- und Nutzungsgebühren. Kosten: 25€ pro TEU	Konsortiums Modell und bietet lizenzierte Plattform. Kleine Unternehmen (50 Mio. € Umsatz) ca. 100€/Monat, mittlere Unternehmen (1 Mrd. €) 1.000€. Großunternehmen individuelle Kosten	Konsortiums Modell mit White-Label-Lösungen: Unternehmen können die Technologie nutzen und mit dem „Label“ werben.	FairChain verfolgt ein „Shared Value Chain-Modell“, bei dem nicht nur Kaffee verkauft wird, sondern auch lokale Wertschöpfung in den Herkunftsländern gefördert wird.
Besonderheiten	Wurde 2022 eingestellt wegen mangelnder Branchenkooperation	Modularität der Lösungsansätze	Nutzung von PUF (physical uncloneable feature). Mangelnde Branchenkooperation und generelle Herausforderungen bei der Skalierung	Nutzt Blockchain als Marketinginstrument für Transparenz, fairen Handel und lokale Wertschöpfung

4.4 Analyse der Situation und Lösungsfindung

4.4.1 Anwendung: Entscheidungspfad

Table 10 Anwendung: Entscheidungspfad , Eigene Darstellung

Frage	TradeLens - Digitalisierung von Frachtpapieren und Statusverfolgung von Seefrachtcontainer (Nr.4)	IBM Food Trust - Erhöhung der Nahrungsmittelsicherheit (Nr.5)	Everledger - Echtheitsüberprüfung von Diamanten (Nr.7)	FairChain - Global Coffee Supply Chain (Nr.9)
Braucht man einen gemeinsamen, konsistenten Datenspeicher?	Ja - Gemeinsamer Datenspeicher für verschiedene Akteure wie Reedereien, Häfen und Zollbehörden.	Ja - Einheitlichen Datenpool zur Rückverfolgbarkeit von Lebensmitteln entlang der Lieferkette.	Ja - relevanten Akteure (z. B. Minenbetreiber, Zertifizierer, Händler) die gleichen Daten zugreifen können.	Ja - Einheitlichen Datenpool zur Rückverfolgbarkeit von Kaffee entlang der Lieferkette.
Müssen mehrere unabhängige Parteien Daten beitragen?	Ja - Status von Containern und Frachtpapieren werden unveränderlich gespeichert, um Manipulationen zu verhindern.	Ja - Produzenten, Händler, Einzelhändler und Prüforganismen teilen Produkt und Chargeninformationen.	Ja - Mine, Veredler, Zertifizierer und Händler tragen Herkunft und Daten zu Transaktionen bei.	Ja - Kaffeebauern, Händler, Verbraucher und Fairtrade-Organisationen arbeiten zusammen.
Einmal geschriebene Datensätze werden niemals aktualisiert oder gelöscht?	Ja - Frachtpapieren werden unveränderlich gespeichert, um Manipulationen zu verhindern.	Ja - Chargeninformationen, Prüfberichte und Transportwege werden unveränderlich dokumentiert.	Ja - Echtheitszertifikate und Eigentumsdaten sind unveränderlich.	Ja - Herkunftsdaten sind manipulationssicher gespeichert.
Sensible Daten werden NICHT in den Datenspeicher gespeichert?	Ja - Nur containerbezogene Daten wie Status und Dokumente, keine sensiblen persönlichen Informationen.	Ja - Nur Informationen zu Produkten und Lieferwegen, keine persönlichen Daten.	Ja - Identifikationsdaten der Diamanten (z. B. Herkunft, Zertifikate), keine persönlichen Daten.	Ja - Produktions- und Handelsdaten, aber es werden persönliche Daten von Kaffeebauer veröffentlicht (mit Erlaubnis)
Fällt es den Parteien schwierig zu entscheiden, wer die Kontrolle haben soll?	Ja - Verschiedene Akteure wie Reedereien, Logistikdienstleister und Behörden haben unterschiedliche Interessen an der Kontrolle.	Ja - Viele Stakeholder entlang der Lebensmittel-Lieferkette mit unterschiedlichen Rollen und Verantwortungen.	Ja - Unabhängigkeit vom Zertifizierer Nein - Kontrollrang liegt beim Zertifizierer. Händler vertraut Zertifizierer.	Nein - Wenig Stakeholder entlang der Lieferkette. Die Kontrolle liegt beim einer Zentralen Intuition (Händler?)

		Nein – Die Kontrolle liegt beim der Zentralen Intuition (Händler?)		
Wollen Sie ein manipulationssicheres Protokoll aller Schreibvorgänge?	Ja - Containerbewegungen und Dokumenten-Updates	Ja - Lückenlose Dokumentation der Qualität (Bio-Zertifizierung), der Lebensmittelchargen und Ursprung entlang der Lieferkette. Aber nicht zwingend notwendig	Ja - Nachweis der Herkunft und des Besitzes (Händler) von Diamanten.	Ja - Lückenlose Dokumentation der Qualität (Bio-Zertifizierung) und Ursprung entlang der Lieferkette. Aber nicht zwingend notwendig
Sie haben vielleicht einen nützlichen Blockchain-Anwendungsfall.	Ja – Potenzial vorhanden	Ja - Potenzial vorhanden aber Empfehlung auf eine Kontrollierte/ Managed Datenbank (z.B ERP)	Ja - Potenzial vorhanden aber Empfehlung auf eine Kontrollierte/ Managed Datenbank (z.B ERP)	Nein – keine Empfehlung auf Blockchain. Empfehlung auf eine Kontrollierte/ Managed Datenbank (z.B ERP)

4.4.2 Anwendung: Scoring-Modell

Die in der Tabelle (XXX) dargestellten Ergebnisse basieren auf der Anwendung der Scoring-Methode. Diese Methode wird eingesetzt, um verschiedene Lösungen hinsichtlich spezifischer Herausforderungen und Risiken zu bewerten. Die Einschätzungen basieren auf den zuvor definierten Bewertungskriterien, der „Ist-Situation & Problemstellung“, „Lösungsansatz mit Blockchain“ und „Beschreibung der Anwendungsfälle“.

Table 11 Anwendung: Scoring-Modell, Eigene Darstellung

Herausforderungen & Risiken	Nr.	Bewertungskriterien	Beschreibung	TradeLens - Digitalisierung von Frachtpapieren und Statusverfolgung von Seefrachtcontainer (Nr.4)	IBM Food Trust - Erhöhung der Nahrungsmittelsicherheit (Nr.5)	Everledger - Echtheitsüberprüfung von Diamanten (Nr.7)	FairChain - Global Coffee Supply Chain (Nr.9)
A: Blockchain spezifische Bewertungskriterien							
Datenmanagement	A 1.	Gemeinsamer Datenspeicher	Benötigt der Anwendungsfall einen gemeinsamen Datenspeicher?	[2]	[2]	[2]	[2]
Interoperabilität und Akzeptanz	A 1.	Beteiligung an der Datenerfassung	Müssen mehrere unabhängige Parteien Daten erfassen, austauschen und verarbeiten?	[2]	[2]	[2]	[2]
Korrekturmöglichkeiten	A 1.	Unveränderlichkeit der Datensätzen	Müssen einmal gespeicherte Daten verändert oder gelöscht werden?	[2]	[2]	[2]	[2]
Datenschutz und Compliance	A 1.	Ausschluss sensibler Daten	Müssen sensible Daten gespeichert werden?	[2]	[2]	[2]	[1]

Governance und Entscheidungsstrukturen	A1.	Herausforderung bei der Kontrollvergabe	Ist es schwierig zu bestimmen Prozesse haben soll?	[2]	[0]	[0]	[0]
Sicherheit und Effizienz	A1.	Manipulationssicheres Protokoll	Wird ein manipulationssicheres System unbedingt benötigt?	[2]	[0]	[2]	[0]
B: Inviduelle Bewertungskriterien							
1. Komplexe & Lange Lieferketten	B1.	Reduktion der Lieferkettenkomplexität	Trägt BCT dazu bei, Schnittstellen zu minimieren von Prozessen und Optimierung der Lieferantenstruktur?	[0] Keine Optimierung der Lieferantenstruktur? Generelle Reduzierung der Prozesse	[0] Keine Optimierung der Lieferantenstruktur? Generelle Reduzierung der Prozesse	[1] + Zwischenhändler und Verifizierter könnten an Bedeutung verlieren	[0] Keine Optimierung der Lieferantenstruktur? Generelle Reduzierung der Prozesse
	B2.	Reaktionsfähigkeit bei Änderungen (Anpassungen)	Unterstützt BCT eine schnelle Anpassung an Marktveränderungen, Lieferausfälle oder Krisensituationen?	[0] Kein bekannter Einfluss	[0] Kein bekannter Einfluss	[0] Kein bekannter Einfluss	[0] Kein bekannter Einfluss
	B3.	Skalierbarkeit auf neue Märkte, Regionen oder Produkte	Kann die BCT-Lösung problemlos für neue Märkte, Regionen oder Produktkategorien erweitert werden?	[-2] - Dominiertes Markt, wenig Skalierbarkeit den Markt zu erweitern oder für Erweiterungen	[1] + Das modulare System erlaubt eine problemlose Erweiterung für neue Märkte und Produktkategorien.	[1] Skalierbarkeit in auch andere Märkte wie Wein und Kunst.	[1] + Skalierbarkeit in auch andere Regionen/Ländern. Besonders freundlich für Skalierung gestaltet (geringe Hürden und öffentliche Blockchain). -Signifikanter Wachstum bleibt aus.
2. Monopolstellungen & Abhängigkeiten	B4.	Verringerung der Abhängigkeit von einzelnen Akteuren/Lieferanten	Kann BCT die Abhängigkeit von einzelnen Lieferanten oder zentralen Vermittlern verringern?	[0] Kein bekannter Einfluss	[0] Kein bekannter Einfluss	[0] Kein bekannter Einfluss	[0] Kein bekannter Einfluss
3. Resilienz, Risiko, Umweltfaktoren und Krisen	B5.	Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen externe Störungen	Hilft BCT, Risiken durch Krisen, Naturkatastrophen oder geopolitische Unsicherheiten zu minimieren?	[0] Die Daten werden dezentral auf den Knoten gespeichert, jedoch besteht eine gewisse Abhängigkeit von der Plattform.	[0] Die Daten werden dezentral auf den Knoten gespeichert, jedoch besteht eine gewisse Abhängigkeit von der Plattform.	[0] Die Daten werden dezentral auf den Knoten gespeichert, jedoch besteht eine gewisse Abhängigkeit von der Plattform.	[0] Die Daten werden dezentral auf den Knoten gespeichert, jedoch besteht eine gewisse Abhängigkeit von der Plattform.

	B6	Verringerung von operative Risiken	Verbessert die BCT Prognosen durch fälschungssichere Daten, Smart Contracts oder automatisierte Prozesse?	[2] + Kein Handling von papierbasierten Dokumenten nötig. Sichere Abwicklung von wichtigen Daten.	[0] Kein bekannter Einfluss	[2] + Sofortigen Zugriff auf Zertifikationen. + Wenig Aufwand und Risiko bei der Zertifizierung	[1] + Frühzeitige Rückmeldung von Lieferanten bezüglich Qualität und Menge
	B7:	Erhöhung der Vorhersagegenauigkeit bei Störungen	Kann BCT potenzielle Engpässe oder Verzögerungen in der Lieferkette reduzieren?	[1] + schnellere Abwicklung von Prozessen + Kein Echtzeit-Tracking, sondern nur ereignisbasierte Updates	[1] + Kein Echtzeit-Tracking, sondern nur ereignisbasierte Updates. + Frühzeitige Rückmeldung von Lieferanten bezüglich Qualität und Menge	[0] Kein bekannter Einfluss	[1] + Frühzeitige Rückmeldung von Lieferanten bezüglich Qualität und Menge
4. Konfliktinteressen der Organisationen	B8	Akzeptanz und Kooperationsbereitschaft bei Stakeholdern	Ist BCT bei Stakeholdern (z. B. Lieferanten, Kunden, Behörden) akzeptiert?	[-2] - Fehlende Akzeptanz war der Hauptgrund für die Einstellung von TradeLens. - Viele Stakeholder wollten sich nicht von einer zentralen Plattform abhängig machen.	[1] + Wird vereinzelt von großen Unternehmen akzeptiert - Kleine Unternehmen haben Schwierigkeiten das anzuerkennen	[-2] Mangelnde Branchenkooperation und generelle Herausforderungen bei der Skalierung	[0] + Geringe Einstiegshürde für Produzenten und Bezahlungen 20% über den Marktpreis ist. - Die Akzeptanz liegt nur Upstream und nicht Mid-Lowstream
5. Haftung & Absicherung	B9	Manipulation von Gütern	Kann die BCT, Manipulationen in der Lieferkette verhindern?	[0] Kein bekannter Einfluss	[1] + zwar keine Manipulation aber Überwachung der Güter bspw. (nicht fälschbare Temperaturüberwachung. - nur mit IoT-Überwachung möglich	[2] + physical unclonable features (Eigenschaften des Diamanten digitalisiert)	[0] Kein bekannter Einfluss
	B10.	Reduzierung der Haftungsrisiken	Kann BCT helfen, einen eindeutigen Gefahrenübergang (z. B. Eigentumswechsel, Zuständigkeiten) nachzuweisen?	[2] + Lückenlose Dokumentation von Gefahrenübergängen Dokumentation von Gefahrenübergängen. + Automatische Übermittlung der Gefahrenübergänge	[1] + Lückenlose Dokumentation von Gefahrenübergängen + Überwachung der Güter bspw. (nicht fälschbare Temperaturüberwachung. - nur mit IoT-Überwachung möglich	[2] + Dokumentation von Gefahrenübergängen + Automatische Übermittlung der Gefahrenübergänge	[0] Kein bekannter Einfluss

6. Digitalisierung & Technologie	B1 1.	Datenintegration	Bietet BCT eine nahtlose Integration mit anderen Systemen (ERP, IoT, Datenbanken)?	[1] + Anbindung an bestehende ERP- und IoT-Systeme war vorgesehen - Hoher Aufwand der Integration wegen fehlender Standards	[1] + Anbindung an bestehende ERP- und IoT-Systeme war vorgesehen - Hoher Aufwand der Integration wegen fehlender Standards	[0] Kein bekannter Einfluss	[0] Kein bekannter Einfluss
	B1 2.	Automatisierung von Prozessen	Reduziert BCT den Bedarf an manuellen Eingriffen?	[1] + Reduzierten manuelle Dokumentenabwicklung - Nicht alle Prozesse konnten automatisiert werden (z.B. Behörden)	[2] - Automatisierung von Zahlungsfreigaben, von Zertifikaten und Aktualisierung von Beständen	[0] Kein bekannter Einfluss	[0] Kein bekannter Einfluss
7. Regularien & Nachhaltigkeit	B1 3.	CO ₂ -Reduktion durch Technologie	Kann BCT die Umweltauswirkungen von Logistik und Produktion verringern?	[0] Kein bekannter Einfluss	[1] + kann Lebensmittelverschwendung vermeiden	[0] Kein bekannter Einfluss	[1] + Durch die Steuerungsmechanismen wird sichergestellt, dass eine faire Wertschöpfung eingehalten wird (nachhaltiger Anbau).
	B1 4.	Einfluss auf Kreislaufwirtschaft	Ermöglicht BCT eine bessere Rückverfolgbarkeit von Materialien für Recycling und Wiederverwendung?	[0] Kein bekannter Einfluss	[0] Kein bekannter Einfluss	[0] Kein bekannter Einfluss	[0] Kein bekannter Einfluss
	B1 5.	Erfüllung von Vorgaben und Gesetzen	Erleichtert BCT die Einhaltung von Vorgaben und Gesetzen?	[0] Kein bekannter Einfluss	[2] + Volle Transparenz der Lieferkette von kritischen Waren (Lebensmittelvorgaben)	[1] + Nachweis von konfliktfreien Gütern	[2] + Volle Transparenz der Lieferkette von kritischen Waren (Lebensmittelvorgaben)

4.4.3 Anwendung: Kosten-Analyse – Scenario

Eine Reederei (Stakeholder 1 von x) mit einem jährlichen Umschlag von 1 Mio. TEU plant die Einführung von TradeLens als fünfjähriges Pilotprojekt. Das Unternehmen arbeitet mit SAP und beabsichtigt, eine Schnittstelle zu TradeLens aufzubauen. Um Kosten zu reduzieren, wird die Technologie nur für 5 % der besonders kritischen Güter genutzt. Es soll eine geeignete Kosten-Analyse verwendet werden.

Kosten der Anschaffung und Inbetriebnahme

- Hardwarekosten: 900 - 9.900 € (**)
- Softwarekosten: 70.000 € (***)

- Installation & Customizing: 12.000 € (**)
- Support & Beratung: 60.000€ (**)
- Entwicklungskosten: 0 – Nutzung von TradeLens
- Schulungskosten: 20.000 - 30.000 € (**)

Kosten der Nutzung

- Betriebskosten: 25 € pro TEU
- Wartungskosten: 0 – Nutzung von TradeLens
- Lizenzkosten (Konsortium): 1.200 - 12.000 € (*)
- Verwaltungskosten: 70.000 € (**)
- Softwarekosten: 30.000 € (*)
- Transaktionskosten (Gas Fees): 0 – Nutzung von TradeLens

Zusätzliche Angaben

Berücksichtigung eines Zinssatzes von 5 %: Über den geplanten Nutzungszeitraum von fünf Jahren hinweg wird ein Zinssatz von 5 % auf die laufenden Betriebskosten angerechnet.

Anmerkung

() Quelle mit Bezug zu TradeLens: Diese Werte stammen aus einer Quelle, die Informationen oder Berechnungen im Zusammenhang mit TradeLens liefert.*

*(**) Quelle ohne Bezug zu TradeLens: Diese Werte basieren auf externe Blockchain Quellen, jedoch ohne direkten Bezug zu TradeLens.*

*(***) Eigene Annahme: Diese Werte wurden auf Basis interner Überlegungen oder allgemeiner Erfahrungswerte geschätzt.*

Kostenrechnung TCO

Table 12 Kostenrechnung TCO, Eigene Darstellung

	0	1	2	3	4	5
Anschaffung und Inbetriebnahme						
Hardwarekosten (d. K)	-9.900					
Softwarekosten (d. K)	-70.000					
Installation & Customizing (d. K)	-12.000					
Support & Beratung (d. K)	-60.000					
Entwicklungskosten (d. K)	0					
Schulungskosten (d. K)	-30.000					
Summe	-181.900					
Nutzung						
Betriebskosten (d. K)		-1.250.000	-1.250.000	-1.250.000	-1.250.000	-1.250.000
Wartungskosten (d. K)		0	0	0	0	0
Lizenzkosten (d. K)		-12.000	-12.000	-12.000	-12.000	-12.000
Verwaltungskosten (id. K)		-70.000	-70.000	-70.000	-70.000	-70.000
Softwarekosten (d. K)		-30.000	-30.000	-30.000	-30.000	-30.000
Transaktionskosten (d. K)		0	0	0	0	0
Summe Anschaffung und Inbetriebnahme	-1.362.000	-1.362.000	-1.362.000	-1.362.000	-1.362.000	-1.362.000
Nutzen/Erlös						
Sonstige Erlöse oder Nutzen						
Summe Nutzen Erlöse		0	0	0	0	0
Summe (netto)	-181.900	-1.362.000	-1.362.000	-1.362.000	-1.362.000	-1.362.000
Summe (abgezinst)	-6.078.647					

Antwort: Die durchschnittlichen jährlichen Kosten betragen 1.362.000 € pro Jahr über den Zeitraum von fünf Jahren.

5. Diskussion

5.1 Interpretation und Ergebnisse

Diskussion: 1.1 Ist-Situation und Problemstellung

Wenn man sich die Ist-Situation und die Problemstellung der verschiedenen Anwendungsfälle betrachtet, lassen sich einige Muster erkennen. Alle der Anwendungsfälle wurde zwischen 2014-2018 Gegründet. Die Ziele der Unternehmen unterscheiden sich ebenfalls je nach Branche. In der Logistik liegt der Fokus auf der Digitalisierung und Effizienzsteigerung der Lieferketten. Unternehmen in der Lebensmittelbranche setzen hingegen auf Sicherheit und Nachverfolgung. In der Luxusgüterbranche steht die Fälschungssicherheit und die Nachverfolgbarkeit von Wertgegenständen.

Branchenübergreifend sind Lieferketten durch ineffiziente, fehleranfällige Prozesse, mangelnde Transparenz und fehlende digitale Integration geprägt. Papierbasierte Abläufe und unzureichende Echtzeitinformationen führen zu Verzögerungen, höheren Kosten und Sicherheitsrisiken. Betroffen sind Unternehmen mit komplexen Herkunfts- und Nachweisanforderungen. Die mangelnde Standardisierung sowie die eingeschränkte Nutzung IT Systeme stellen große Herausforderungen für die Zusammenarbeit zwischen den Akteuren, insbesondere in kleineren Unternehmen dar.

Diskussion: 1.2 Lösungsansatz mit Blockchain

Grundsätzlich kommen private Blockchains und Konsortien zum Einsatz. Als Konsensmechanismus wird PBFT verwendet. Die Smart Contracts sind speziell auf die jeweiligen Anwendungsfälle zugeschnitten. Sie automatisieren Prozesse wie direkte Zahlungen, die digitale Abfertigung von Unterschriften und Stempeln für papierbasierte Dokumente sowie die automatisierte Abwicklung von Versicherungsnachweisen. Im Hinblick auf Skalierung und Interoperabilität werden modulare Lösungen eingesetzt, die sich nahtlos in bestehende Systeme über APIs integrieren lassen und somit eine niedrige Einstiegshürde aufweisen. Alle Lösungsansätze basieren auf Blockchain 3.0-Technologien. Klassische Transaktionsgebühren (Gas Fees) entfallen, da das System auf privaten Blockchains operiert.

Diskussion: 2.1 Entscheidungspfad

In drei von vier Fällen ist eine zentral verwaltete Datenbank, wie ein ERP-System, ausreichend, um die Anforderungen zu erfüllen. Eine der zentralen Herausforderungen im Kontext der Eignung besteht in der mangelnden Kontrolle über das Netzwerk, wobei dies insbesondere in komplexen Lieferketten mit einer Vielzahl an Stakeholdern zum Ausdruck kommt. In der Regel liegt die Verantwortung hierfür bei einer zentralen Institution, wie beispielsweise einem Händler oder Zertifizierer.

Die Notwendigkeit einer manipulationssicheren Speicherung ist nicht in jedem Fall gegeben. Sofern die Herkunfts- und Transportdaten oftmals unverändert dokumentiert werden sollten, ist in anderen Fällen eine flexible, kontrollierte Datenbank ausreichend.

Diskussion: 2.2 Scoring-Modell

Die Auswertung aus dem Scoring Modell zeigt ein differenziertes Bild bezüglich ihres Einflusses auf Herausforderungen in Supply Chain Management. Einzelne Bewertungskriterien lassen sich deutlich hervorheben, während andere nur begrenzt oder gar keinen messbaren Beitrag leisten.

Besonders ausgeprägtes Potenzial zeigt sich in folgenden Bereichen:

B6) Verringerung operativer Risiken: Die Reduzierung operativer Risiken kann durch automatisierte Prozesse und den Wegfall papierbasierter Dokumentation erreicht werden. Dies ermöglicht eine sichere und effiziente Abwicklung und trägt zur Vermeidung von Fehlerquellen in operativen Abläufen bei.

B7) Erhöhung der Vorhersagegenauigkeit bei Störungen: Die Erhöhung der Vorhersagegenauigkeit bei Störungen kann durch die frühzeitige Bereitstellung von Informationen seitens der Lieferanten bezüglich Qualität und Menge erzielt werden.

B10) Reduzierung der Haftungsrisiken: Die Reduzierung der Haftungsrisiken erfolgt durch die Gewährleistung manipulationssicherer Gefahrenübergänge. Dies wird durch eine lückenlose Dokumentation von Eigentumswechseln und Zuständigkeitsverlagerungen sichergestellt.

B12) Automatisierung von Prozessen: Die Automatisierung von Prozessen reduziert manuelle Dokumentenabwicklungen und gestaltet Zahlungsfreigaben und Zertifikatsverwaltung effizienter.

B15) Erfüllung gesetzlicher Vorgaben: Die Erfüllung gesetzlicher Vorgaben wird durch die Transparenz entlang der Lieferkette kritischer Waren wie Lebensmittel sowie die Unterstützung des Nachweises konfliktfreier Waren erreicht.

Bewertungskriterien, bei denen kein oder nur ein geringer Einfluss festzustellen war:

B1) Reduktion der Lieferkettenkomplexität

B2) Reaktionsfähigkeit bei Änderungen

B4) Verringerung der Abhängigkeit von Akteuren

B5) Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegenüber externen Störungen

B9) Manipulation von Gütern

B11) Datenintegration

B13) CO₂-Reduktion

B14) Beitrag zur Kreislaufwirtschaft

Besonders kritisch sind zwei Aspekte zu betrachten, bei denen die Technologie negative oder herausfordernde Effekte haben kann:

B8) Akzeptanz und Kooperationsbereitschaft: Die Akzeptanz und Kooperationsbereitschaft stellen wesentliche Herausforderungen dar. Viele Stakeholder lehnen die Abhängigkeit von einer zentralen Plattform ab.

B3) Skalierbarkeit auf neue Märkte, Regionen oder Produkte: neue Märkte, Regionen oder Produkte ist stark kontextabhängig. Während modulare Systeme eine problemlose Expansion ermöglichen können, bleibt das Wachstum in dominierten Märkten oft begrenzt, da Skalierungsmöglichkeiten eingeschränkt sind.

Diskussion: 2.3 Kosten-Analyse – Scenario

Die Kostenanalyse dient als grundlegendes Beispiel, um zu veranschaulichen, wie eine Wirtschaftlichkeitsrechnung aussehen kann. Das bietet eine Orientierung für die Bewertung zukünftiger Investitionen und ermöglicht eine fundierte Entscheidungsgrundlage für Unternehmen.

Dargestellt wird die Unterteilung der Kosten in Anschaffungs- und Nutzungskosten. Die anfänglichen Investitionskosten 181.900 € betragen. Die jährlichen Betriebskosten belaufen sich auf 1.362.000 €. Die Betriebskosten machen pro TEU 25 € aus. Weitere relevante Kostenpunkte sind Lizenzgebühren von bis zu 12.000 €, Schulungskosten zwischen 20.000 und 30.000 € sowie Softwarekosten von 70.000 €.

Die Berechnung macht deutlich, welche wesentlichen Kostenfaktoren einbezogen werden sollten und welche variablen Posten, wie Lizenzgebühren oder Betriebskosten, auf lange Sicht ins Gewicht fallen. Dies zeigt auch wie hoch sich der Nutzwert in monetären Wert belaufen müssen.

5.2 Beantwortung der Forschungsfrage

" Wie können die Potenziale und Herausforderungen der Blockchain-Technologie im Supply Chain Management systematisch analysiert und verglichen werden, und welche Kriterien und Methoden sind erforderlich, um eine praxisorientierte Bewertung für eine erfolgreiche Implementierung zu ermöglichen?"

Um diese Hauptforschungsfrage zu beantworten, werden folgende Unterfragen betrachtet:

FF. 1) Welche Methodik oder Kriterien sind notwendig, um die Eignung der Blockchain-Technologie im Supply Chain Management zu bewerten?

A1) Ein Entscheidungspfad eignet sich als Methodik zur grundsätzlichen Bewertung der Eignung, ohne dabei direkt auf Kosten-Nutzen-Faktoren oder Wirtschaftlichkeitsaspekte einzugehen. Aus der Studie verwendeten Entscheidungspfad leitet sich folgende Kriterien raus:

- 1) Notwendigkeit eines gemeinsamen Datenspeichers:
- 2) Datenverarbeitung durch mehrere unabhängigen Parteien
- 3) Unveränderlichkeit von gespeicherten Daten
- 4) Keine Speicherung von sensiblen Daten
- 5) Fehlende klare Prozessverantwortlichkeit
- 6) Anforderung an Manipulationssicherheit

FF. 2) Welche Methodik oder Kriterien sind notwendig, um die erfolgreiche Nachhaltige Eignung der Blockchain-Technologie im Supply Chain Management zu bewerten?

A2) Methodik zur Bewertungsgrundlage: Der Nutzen sollte klar bewertet werden, um fundiert einschätzen zu können, ob der Einsatz der Blockchain-Technologie zur Lösung der identifizierten Problematik beiträgt. Untersucht werden sollte, inwiefern die Technologie einen konkreten Mehrwert schafft. Für die Praxis eignet sich eine Nutzwertanalyse, um unterschiedliche Kriterien strukturiert zu bewerten und individuelle Branchenspezifische Schwerpunkte zu gewichten.

Methodik zur Erfassung der Wirtschaftlichkeit. Eine geeignete Methodik kann hier die Total Cost of Ownership (TCO)-Analyse sein. Die Gesamtkosten über einen definierten Zeitraum hinweg abbildet. Aufbauend darauf lässt sich der Return on Investment (ROI) ermitteln. Die Herausforderung der Methodik besteht darin, blockchain-spezifische Kostenfaktoren wie Transaktionsgebühren miteinzubeziehen.

Methodik zur Stakeholder-Analyse (Limitation): Eine umfassende Stakeholder-Analyse mit einer Methodik wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt. Dennoch ist sie für Untersuchungen von Bedeutung, da der Erfolg von Blockchain-Lösungen stark von der Akzeptanz verschiedener Akteure entlang der Wertschöpfungskette abhängt. Die Methodik könnte potenzielle Diskrepanzen in der Kosten-Nutzen-Bewertung aufzeigen. Es wird angenommen, dass beispielsweise Mid-Stream Akteure stärker von Transparenzgewinnen profitieren, während Upstream Akteure eher mit erhöhtem Aufwand konfrontiert sind. Auch unternehmensspezifische Faktoren wie Größe oder Digitalisierungsgrad beeinflussen die Bewertung. Durch eine Stakeholder-Analyse würde sich ein besseres Verständnis für unterschiedliche Interessen und mögliche Zielkonflikte gewinnen.

Methodik zur Untersuchung des Geschäftsmodells (Limitation): Im Rahmen dieser Arbeit wurde keine spezifische Methodik zur Analyse des Geschäftsmodells angewendet. Dennoch könnte eine solche Untersuchung dazu beitragen, die Wertschöpfung besser zu verstehen. Dabei könnte analysiert werden, ob durch den Einsatz von Blockchain neue Geschäftsmodelle entstehen oder bestehende Prozesse optimiert werden.

FF.3) Welche Potenziale und Herausforderungen im Lieferkettenbereich lassen sich aus der Analyse der Anwendungsfälle ableiten?

A3) Aus der Analyse der betrachteten Anwendungsfälle ergeben sich folgende Potenziale und Herausforderung. Ein Potenzial liegt in der **Verringerung operativer Risiken**. Durch die Automatisierung von Abläufen und den Wegfall papierbasierter Dokumentation können Fehlerquellen in der operativen Abwicklung minimiert werden.

Durch die frühzeitige Bereitstellung relevanter Lieferanteninformationen lässt sich die **Vorhersagegenauigkeit bei Störungen** erhöhen. Das ermöglicht eine gezieltere Steuerung von Abweichungen und trägt zur Stärkung der Resilienz bei.

Ein weiteres wichtiges Potenzial liegt in der **Reduzierung von Haftungsrisiken**. Die manipulationssichere Dokumentation von Gefahrenübergängen, Eigentumswechselln und Zuständigkeitsverlagerungen schafft rechtliche Klarheit. Durch lässt sich das Risiko von Streitfällen oder unklaren Verantwortlichkeiten entlang der Lieferkette senken.

Auch die **Automatisierung**, wie etwa bei der Zahlungsfreigabe, Verwaltung von Zertifikaten oder Dokumenten wird reduziert. Prozesse werden beschleunigt und standardisiert.

Die lückenlose Dokumentation und Nachvollziehbarkeit entlang der Lieferkette unterstützt die **Einhaltung gesetzlicher Vorgaben**. Dies gilt insbesondere für die Nachweisführung kritischer oder konfliktfreier Waren, wie es etwa durch das Lieferkettensorgfaltspflichtgesetz oder branchenspezifische Regularien gefordert wird.

FF.4) Welche Akteure profitieren von den Potentialen und welche nicht?

A4) Um diese Frage anzunähern, wäre ein Beispiel wie TradeLens ganz hilfreich. Die Einführung von Blockchain-Technologie in der Lieferkette bietet unterschiedlichen Akteuren verschiedene Vor- & Nachteile.

Am meisten profitieren Midstream-Akteure wie Spediteure, Häfen und Zollbehörden. Sie profitieren durch automatisierte Prozesse, fälschungssichere Dokumentationen und eine effizientere Zollabfertigung am meisten. Allerdings entstehen Integrationsaufwände und eine gewisse Abhängigkeit von der Plattform.

Kunden, Importeure und Händler profitieren nur bedingt. Die profitieren zwar von einer besseren Nachverfolgbarkeit und Haftungsabsicherung. Die Nutzung ist mit zusätzlichen Kosten verbunden, die letztlich an die Endverbraucher und die Endstreams der Lieferkette weitergegeben werden. Diese Transparenz und Haftungsabsicherung hat ihren Preis, da höhere Gebühren oder Produktpreise weitergegeben werden. Zudem besteht eine Abhängigkeit von der Plattform, da Zertifikate und Herkunftsdaten nur innerhalb des Systems anerkannt werden.

Upstream-Akteure wie Reedereien und Exporteure bieten hingegen keinen wirklich deutlichen Mehrwert. Die Lieferkette ist in diesem Bereich noch zu „kurz“, um signifikante Effizienzgewinne zu erzielen.

Zusammengefasst lässt sich annehmen, dass die größten Vorteile für die Midstream-Teilnehmer entstehen. Downstream-Akteure profitieren zwar von erhöhter Transparenz, tragen jedoch gleichzeitig die zusätzlichen Kosten. Upstream-Akteure hingegen bieten keinen wirklichen Mehrwert, da die Blockchain-Technologie in diesem Bereich noch nicht ausreichend Wirkung entfaltet.

Für eine fundierte Antwort dieser Forschungsfrage wäre eine separate Stakeholder-Analyse notwendig. Aufgrund des Umfangs der Arbeit konnte dies jedoch nicht mehr berücksichtigt werden.

FF5) Welche Technologien bieten vergleichbare Eigenschaften und welche davon stellt die bessere Option dar

A5) Diese Frage lässt sich nicht anhand der Anwendungsbasierten Methodik beantworten, sondern ergibt sich aus dem theoretischen Teil der Arbeit.

Von der Theorie her wäre Hashgraph die bessere Technologie, denn hat die Stärken der Blockchain ohne deren Nachteile. Doch Obwohl Hashgraph als technologisch überlegene Distributed-Ledger-Technologie (DLT) gilt, hat es sich bislang nicht am Markt durchgesetzt. Im Vergleich zur Blockchain ist Hashgraph noch relativ jung und konnte trotz seiner Leistungsfähigkeit (Geschwindigkeit und Energieeffizienz) bisher keine breite Akzeptanz finden. Die Annahme ist, dass die fehlende Open-Source-Verfügbarkeit und die Kontrolle durch Hedera die Verbreitung von Hashgraph hemmen.

Aus der Praxis heraus bieten ERP-Systeme mit Schnittstellen zu Blockchain-Plattformen die beste Option. Sie kombinieren die dezentrale Sicherheit der Blockchain mit den etablierten Strukturen und Prozessen in **bestehende Unternehmensinfrastrukturen**. Kritische, unveränderbare Daten (z.B. Protokolle) können sicher und nachvollziehbar in der Blockchain gespeichert werden, während weniger sicherheitsrelevante

Informationen im ERP-System verbleiben. Durch standardisierte Schnittstellen der ERP-Anbieter lässt sich die Integration einfach umsetzen. Dadurch profitiert man weiterhin von der hohen Effizienz eines ERP-Systems. Zu beachten ist jedoch, dass die Integration und Synchronisation beider Systeme zu einem höheren Verwaltungsaufwand führen.

5.4 Kritische Reflexion und Limitationen

Reflexion der angewandten Methodik: War sie passend oder gab es Einschränkungen?

Im Rahmen der Methodik, die auf Leitfragen basiert, kann es zu Informationsverlusten kommen. Bei prozessualen Verknüpfungen oder Abhängigkeiten werden diese nicht vollständig erfasst. Dies betrifft vor allem komplexe Strukturen in Lieferketten.

Die Auswahl der Anwendungsfälle erfolgte **nicht systematisch nach Plattformen oder Konsortien**. Eine solche Differenzierung hätte jedoch einen methodischen Mehrwert geboten. Dadurch wären Unterschiede in der Struktur, Governance oder Skalierbarkeit der Konsortien gezielter analysierbar gewesen. Die Varianz in Bezug auf die verwendeten Plattformen blieb begrenzt, was die Aussagekraft der Analyse einschränkt.

Zudem fehlt eine methodische Grundlage zur Analyse der Geschäftsmodelle. Dass die Rollen und Funktionen der beteiligten Akteure in den Systemen untersucht. Dies erschwert eine Einschätzung, inwieweit die Blockchain-Technologie strukturelle Veränderungen in der Wertschöpfungskette begünstigt oder neue Geschäftsmodelle unterstützt.

Das verwendete Scoring-Modell basiert auf individuellen Bewertungskriterien ohne Berücksichtigung auf die branchenspezifische Herausforderung. Je nach Branche und spezifischen Anforderungen können sich die Perspektiven der Akteure deutlich unterscheiden.

Eine eigene Methodik zur gezielten Untersuchung der Stakeholder, ihrer Rollen, Einflussmöglichkeiten und Nutzenpotenziale wurde nicht entwickelt. Dadurch bleibt offen, in welchem Ausmaß einzelne Akteure tatsächlich profitieren oder welchen Einfluss sie auf das System haben.

Diskussion möglicher Verzerrungen oder Unsicherheiten

Ein Großteil der betrachteten Blockchain-Anwendungen basiert auf IBM-Plattformen – konkret drei von vier untersuchten Lösungen. Diese Abhängigkeit von einem einzelnen Technologieanbieter kann die Vielfalt möglicher technologischer Ansätze einschränken und zu einem gewissen Informationsbias führen.

In der Analyse wurden ausschließlich Konsortien-basierte Plattformlösungen betrachtet. Eigens entwickelte, unabhängige Blockchain-Lösungen wurden nicht einbezogen.

Im Fall von FairChain bestand das Problem einer eingeschränkten Informationsverfügbarkeit, was die Analyse deutlich erschwerte. Aufgrund der unzureichenden Datenlage war die Auswahl dieses Anwendungsfalls im Rückblick nicht optimal und führte möglicherweise zu einer verzerrten Bewertung.

Die Analyse erfolgt zudem überwiegend qualitativ, da quantitative Daten, insbesondere im Hinblick auf die wirtschaftliche Bewertung, weitgehend fehlen.

6. Ausblick

6.1 Praktische Empfehlungen

Wichtigsten Erkenntnisse für eine Erfolgreiche Implementierung

Geringe Eintrittshürden: Blockchain-Lösungen, die mit vergleichsweise einfacher technischer Implementierung einhergehen, weisen eine deutlich höhere Akzeptanz auf. Anwendungsfall wie IBM Food Trust oder FairChain zeigen, dass niedrige Integrationshürden (z.B. über standardisierte Schnittstellen) dazu beitragen den Einstieg zu erleichtern. Die Bereitschaft der Akteure sich anzuschließen ist höher, je geringer das erforderliche technische und organisatorische Voraussetzungen benötigt wird.

Stärke des Konsortiums und Netzwerks: Ein starker Verbund kann die Vorteile und Akzeptanz einer Plattform fördern. IBM Food Trust hat sich beispielsweise durch die Beteiligung großer Unternehmen als in der Plattform positioniert. Solche Partnernetzwerke schaffen Synergien und gemeinsames Wachstum.

Akzeptanz durch Partner und Stakeholder: Die Akzeptanz auf Seiten der beteiligten Unternehmen ist ein zentraler Erfolgsfaktor für die erfolgreiche Implementierung von Blockchain-Lösungen im Supply Chain Management. Das Beispiel TradeLens verdeutlicht, dass selbst technologisch ausgereifte Systeme scheitern können, wenn wichtige Marktteilnehmer das System nicht akzeptieren. Eine fehlende Bereitschaft zur Kooperation kann dadurch ganze Plattformen zum Erliegen bringen. Entscheidend ist in diesem Zusammenhang auch ein klares Bekenntnis des Top-Managements, das die Einführung der Technologie strategisch vorantreibt, Ressourcen bereitstellt und interne Veränderungsprozesse unterstützt. Gleichzeitig stellt die Bereitschaft zur Datenfreigabe für viele Unternehmen weiterhin eine große Hürde dar, insbesondere aufgrund von Bedenken hinsichtlich Wettbewerbsfähigkeit oder Datenschutz. Ohne einen offenen Austausch relevanter Informationen lässt sich das Potenzial der Blockchain für Transparenz, Effizienz und Vertrauen in Lieferketten nur eingeschränkt entfalten.

Klare wirtschaftliche Anreize: Blockchain-Anwendungen müssen für die Akteure einen klaren, direkt nachweisbaren wirtschaftlichen Nutzen bieten. Bei FairChain zeigt sich dies beispielsweise in Form von höheren Margen für die Produzenten, die durch festgelegte Regeln (Steuerungsmechanismus) auf der Blockchain hinterlegt ist.

Interoperabilität mit bestehenden Systemen: Die Kompatibilität mit vorhandenen IT-Strukturen ist entscheidend für die praktische Umsetzbarkeit. Plattformen wie IBM Food Trust bieten etwa offene API-Schnittstellen, die eine nahtlose Integration in bestehende ERP- oder Warenwirtschaftssysteme ermöglichen. Je besser sich eine Blockchain-Lösung in vorhandene Prozesse einfügt, desto geringer ist der Aufwand für die Umstellung.

Nachweisbare wirtschaftliche Tragfähigkeit: Ein häufiger Schwachpunkt ist die fehlende wirtschaftliche Nachweisbarkeit vieler Blockchain-Projekte. So führten unklare Finanzierungsmodelle und das Fehlen tragfähige Erlöse zum Rückzug von Plattformen, wie etwa es bei Everledger der Fall war. Auch in Experteninterviews wurde die unzureichende wirtschaftliche Bewertung als größte Implementierungsbarriere genannt. Ohne belastbare nachweisbare wirtschaftliche Tragfähigkeit fehlt es an Investitionsbereitschaft.

6.2 Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und Forschung

Blockchain als Marketinginstrument für Nachhaltigkeit und Transparenz

In den Anwendungsfällen Everledger und FairCahin zeigt sich, dass Blockchain nicht nur funktionale Vorteile bringt, sondern zunehmend auch als Marketinginstrument. Unternehmen nutzen die Technologie, um Herkunftsnachweise, Produktionsbedingungen oder Umweltstandards gezielt als Verkaufsargument. Ein interessanter Ansatz ist dabei das „White-Labeling“ von Blockchain-Lösungen. Dadurch eröffnen sich neue Marketingstrategien, wie etwa durch die Einbindung von Kunden in die Blockchain-Anwendung. Über einfache Schnittstellen (zum Beispiel QR-Codes auf Produkten), können Kunden die Herkunft, Lieferwege oder Recyclinginformationen eines Produkts einsehen.

Kreislaufwirtschaft in der Logistik mit Blockchain

Ein besonders zukunftsweisender, bisher jedoch wenig beachteter Ansatz ist die Tokenisierung in der Kreislaufwirtschaft. Dabei handelt es sich um die digitale Abbildung physischer oder finanzieller Werte auf einer Blockchain. In der durchgeführten Analyse wurde deutlich, dass keiner der betrachteten Anwendungsfälle die Tokenisierung in Bezug auf Lieferketten aktiv einsetzt. Dennoch zeigt sich in der Theorie ein großes Potenzial in der Kreislaufwirtschaft. So kann beispielsweise ein Token den Wert von 1 kg recyceltem Kunststoff abbilden und damit sowohl den ökologischen Nutzen als auch den wirtschaftlichen Fluss dieses Materials innerhalb des Kreislaufsystems digital erfassbar machen. Diese Thematik ist somit vielversprechende Perspektiven für zukünftige Entwicklungen

Nutzung von Blockchain ähnliche Eigenschaften außerhalb von Blockchain Systemen

Ein interessanter Aspekt für zukünftige Forschung betrifft die Übertragbarkeit spezifischer Merkmale der Blockchain-Technologie. Dabei stellt sich insbesondere die Frage, ob und inwiefern einzelne Elemente, etwa die Automatisierung durch Smart Contracts, auch unabhängig von der zugrunde liegenden Blockchain-Infrastruktur nutzbar sein könnte.

7. Literaturverzeichnis

Adam, Katarina (Blockchain-Technologie für Unternehmensprozesse, 2022): Blockchain-Technologie für Unternehmensprozesse: Sinnvolle Anwendung der neuen Technologie in Unternehmen, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2022

Becker, Torsten (Strategische Gestaltung und Digitalisierung der Supply Chain, 2024): Strategische Gestaltung und Digitalisierung der Supply Chain: Wettbewerbsvorteile mit der digitalen Supply Chain erzielen, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2024

Benjamin, Frieske (Die „Halbleiter-Krise“ als Folge der Covid-19-Pandemie, 2021): Die „Halbleiter-Krise“ als Folge der Covid-19-Pandemie, IMU Institut GmbH, 2021

Bögemann, Ingo: Produktlebenszyklen werden immer kürzer, Ihre Entwicklungszeiten auch?, <https://www.modularmanagement.com/de/blog/produktlebenszyklen-kuerzer-entwicklungszeiten-geringer> (Zugriff: 2025-01-12)

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS): BMAS - Lieferkettengesetz, <https://www.bmas.de/DE/Service/Gesetze-und-Gesetzesvorhaben/Gesetz-Unternehmerische-Sorgfaltspflichten-Lieferketten/gesetz-unternehmerische-sorgfaltspflichten-lieferketten.html> (Zugriff: 2025-03-15)

Bundesnetzagentur (Blockchain-Technologie im Mittelstand): Bundesnetzagentur - Blockchain-Technologie im Mittelstand, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/Digitalisierung/Technologien/Blockchain/BC_Mittelstand/start.html (Zugriff: 2025-03-15)

Bureau (THE GROUNDS FOR SHARING, 2024): THE GROUNDS FOR SHARING, 2024

Codezeros (Blockchain 4.0, 2024): Blockchain 4.0: The Next Generation of Blockchain Technology, 2024

Cointelegraph (Tencent-backed Everledger collapses amid lack of funding, 2023): Tencent-backed Everledger collapses amid lack of funding: Report, <https://cointelegraph.com/news/tencent-backed-everledger-collapses-amid-lack-of-funding-report> (Zugriff: 2025-03-16)

Deloitte Insights (Evolution of blockchain technology): Evolution of blockchain technology: A research report by the Deloitte Center for Financial Services, Deloitte Insights

Dr. Markus Jostock (Blockchain in der Food Supply Chain): Blockchain in der Food Supply Chain: Grundlagen, Praxisbeispiele, Perspektiven, Fachzentrum Lebensmittel

Fill, Hans Georg, Meier, Andreas (Blockchain, 2020): Blockchain: Grundlagen, Anwendungsszenarien und Nutzungspotenziale, Springer Vieweg, 2020

Fill, Hans-Georg, Meier, Andreas (Blockchain kompakt, 2020): Blockchain kompakt: Grundlagen, Anwendungsoptionen und kritische Bewertung, in: *Hans-Georg Fill/Andreas Meier* (Hrsg.), Blockchain kompakt: Grundlagen, Anwendungsoptionen und kritische Bewertung, Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 31–117

Gadatsch, Andreas (IT-Controlling, 2021): IT-Controlling: Von der IT-Kosten- und Leistungsverrechnung zum Smart-Controlling, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021

Goudz, Alexander, Erdogan, Sibel (Künstliche Intelligenz im Supply Chain Management – Potenziale und Grenzen der KI, 2024): Künstliche Intelligenz im Supply Chain Management – Potenziale und Grenzen der KI: Grundlagen, Anwendungsfelder, Konzepte, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2024

Gross, Bryan, Thibeau, Donald (Hedera Consensus Service): Co-Founder & Chief Scientist Hedera Hashgraph

HANCOCK, MATTHEW, VAIZEY, ED (Distributed Ledger Technology, 2016): Distributed Ledger Technology: beyond block chain, in: Government Office for Science (2016)

Hellwig, Daniel, Karlic, Goran, Huchzermeier, Arnd (Entwickeln Sie Ihre eigene Blockchain, 2021): Entwickeln Sie Ihre eigene Blockchain: Ein praktischer Leitfaden zur Distributed-Ledger-Technologie, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2021

Hinckeldeyn, Johannes (Blockchain-Technologie in der Supply Chain, 2019): Blockchain-Technologie in der Supply Chain: Einführung und Anwendungsbeispiele, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2019

Holschbach, Elmar, Buss, Eugen (Blockchain in Einkauf und Supply Chain, 2022): Grundlagen, in: *Elmar Holschbach/Eugen Buss* (Hrsg.), Blockchain in Einkauf und Supply Chain : Technologie, Anwendungen und Potentiale in der Praxis, Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 3–44

Holschbach, Elmar, Buss, Eugen (Blockchain in Einkauf und Supply Chain, 2022): Grundlagen, in: *Elmar Holschbach/Eugen Buss* (Hrsg.), Blockchain in Einkauf und Supply Chain : Technologie, Anwendungen und Potentiale in der Praxis, Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 3–44

IBM Food Trust (Food logistics on blockchain, 2024): Food logistics on blockchain, <https://www.ibm.com/blockchain/resources/food-trust/food-logistics/www.ibm.com/blockchain/resources/food-trust/food-logistics> (Zugriff: 2025-02-10)

infokathiago (Blockchain im Supply Chain Management, 2023): Blockchain im Supply Chain Management: Eine In-Depth-Analyse, <https://www.kathiago.ch/post/blockchain-im-supply-chain-management-eine-in-depth-analyse> (Zugriff: 2025-03-15)

Jede, Andreas, Bensberg, Frank, Klein, Tabea (Blockchain-Technologie im Supply Chain Management, 2024): Blockchain-Technologie im Supply Chain Management – Anwendungspotenziale und Kompetenzlücken, in: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 61 (2024), Heft 1, S. 266–283

Lehmacher, Wolfgang, Bödecker, Johann (Circular Economy, 2023): Circular Economy: 7. Industrielle Revolution: Der Weg zu mehr Nachhaltigkeit durch Kreislaufwirtschaft, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2023

Liebethuth, Thomas (Prozessmanagement in Einkauf und Logistik, 2024): Prozessmanagement in Einkauf und Logistik: Instrumente und Methoden für das Supply Chain Process Management, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2024

Mangrulkar, Ramchandra Sharad, Vijay Chavan, Pallavi (Blockchain Essentials, 2024): Blockchain Essentials: Core Concepts and Implementations, Berkeley, CA: Apress, 2024

von Million, Christian (Crashkurs Blockchain, 2019): Crashkurs Blockchain, 2019

PierNext (Why Maersk and IBM's blockchain platform TradeLens is closing down, 2023): Why Maersk and IBM's blockchain platform TradeLens is closing down, 2023

R. Lakhani, Karim, Iansiti, Marco (The Truth About Blockchain, 2017): The Truth About Blockchain, in: Harvard Business Review (2017)

Romeike, Frank (Hrsg.) (Risikomanagement in der Logistik, 2016): Risikomanagement in der Logistik: Konzepte – Instrumente – Anwendungsbeispiele, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016

Rotem Hershko (Maersk and IBM to discontinue TradeLen): A.P. Moller - Maersk and IBM to discontinue TradeLens, a blockchain-enabled global trade platform, <https://www.maersk.com/news/articles/2022/11/29/maersk-and-ibm-to-discontinue-tradelens> (Zugriff: 2025-03-16)

- SAP* (Blockchain): Blockchain: Die neue Technologie, die Vertrauen schafft, <https://www.sap.com/germany/products/artificial-intelligence/what-is-blockchain.html> (Zugriff: 2025-03-15)
- Schlatt, Vincent u. a.* (Blockchain, 2016): Blockchain: Grundlagen, Anwendungen und Potenziale, in: (2016)
- Scnsoft* (Blockchain for Supply Chain in 2025): Blockchain for Supply Chain in 2025, <https://www.scnsoft.com/blockchain/supply-chain> (Zugriff: 2025-03-16)
- Statista* (Lieferkettengesetz): Lieferkettengesetz: Meinung zur Umsetzbarkeit 2022, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1331634/umfrage/lieferkettengesetz-umfrage-unternehmen-in-deutschland/> (Zugriff: 2025-03-15)
- Statista*: Lieferkettentransparenz hinsichtlich Nachhaltigkeit, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1362623/umfrage/beruecksichtigung-von-nachhaltigkeit-bei-lieferanten/> (Zugriff: 2025-03-15)
- Tiana Laurence* (Blockchain für Dummies, 2017): Blockchain für Dummies, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co, 2017
- Unsel, Melanie* (BME-Logistikstudie 2024, 2024): BME-Logistikstudie 2024: Lieferketten noch nicht resilient genug, Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik e.V., 2024
- U.S. Geological Survey* (Mineral Commodity Summaries 2022, 2022): Mineral Commodity Summaries 2022, in: (2022)
- VeChain* (About the VeChain blockchain, 2024): About the VeChain blockchain | VeChain Docs, <https://docs.vechain.org/introduction-to-vechain/about-the-vechain-blockchain> (Zugriff: 2025-03-15)
- volkswagen* (Golf Generationen): Der VW Golf 8 | Golf Generationen | Volkswagen Österreich, <https://www.volkswagen.at/50-jahre-golf/golf-generationen/golf-8> (Zugriff: 2025-01-12)
- Wannenwetsch, Helmut* (Integrierte Materialwirtschaft, Logistik, Beschaffung und Produktion, 2021): Integrierte Materialwirtschaft, Logistik, Beschaffung und Produktion: Supply Chain im Zeitalter der Digitalisierung, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2021
- Werner, Hartmut* (Controlling der Supply Chain, 2020): Controlling der Supply Chain, in: *Hartmut Werner* (Hrsg.), Supply Chain Management: Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling, Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 393–538
- Werner, Hartmut* (Supply Chain Management, 2020): Grundlagen, in: *Hartmut Werner* (Hrsg.), Supply Chain Management: Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling, Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 1–96
- Werner, Hartmut* (Supply Chain Management, 2020): Supply Chain Management: Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2020
- Wittenberg, Stefan* (Blockchain für Unternehmen): Blockchain für Unternehmen: Anwendungsfälle und Geschäftsmodelle für die Praxis, 1. Aufl., Schäffer-Poeschel Verlag Stuttgart
- Zhang, Chen, Gong, Yu, Brown, Steve* (Blockchain Applications in Food Supply Chain Management, 2023): Blockchain Applications in Food Supply Chain Management: Case Studies and Implications, Cham: Springer Nature Switzerland, 2023

8. Anhang

Table 13 Lösungsansatz mit Blockchain, eigene Darstellung

Frage / Anwendungsfall	Anwendungsfall
1.) Ist-Situation	
In welcher Branche ist das Unternehmen tätig?	
Seit wann existiert das Unternehmen?	
Wer sind die wichtigsten / größten Wettbewerber?	
Handelt es sich um national oder um internationale Transporte?	
Welche Ziele verfolgt das Unternehmen?	
Gibt es besondere Anforderungen seitens des Marktes oder der Kunden an die Lieferkette (z. B. Just-in-Time,	
Welche Transportwege werden genutzt (Schiff, Flugzeug, Bahn, Lkw)?	
2. Problemstellung	
Welche Herausforderungen ergeben sich durch die zunehmende Komplexität und Länge globaler Lieferketten?	
In welchen Bereichen der Lieferkette gibt es kritische Abhängigkeiten von Anbietern oder Märkten?	
Wie wirken sich Umweltfaktoren und geopolitische Krisen auf die Resilienz der Lieferkette aus?	
Welche Interessenkonflikte entstehen zwischen den verschiedenen Akteuren in der Lieferkette?	
Welche rechtlichen und finanziellen Risiken bestehen in der Lieferkette	
Welche Hindernisse bestehen bei der Implementierung digitaler Technologien?	
Welche regulatorischen Anforderungen müssen Unternehmen in der Lieferkette erfüllen?	
Was sind die größten Kosten-Faktoren in der Lieferkette?	

Table 14 Entscheidungspfad Blank

Frage	Anwendungsfall
Braucht man einen gemeinsamen, konsistenten Datenspeicher?	
Müssen mehrere unabhängige Parteien Daten beitragen?	
Einmal geschriebene Datensätze werden niemals aktualisiert oder gelöscht?	
Sensible Daten werden NICHT in den Datenspeicher gespeichert?	

Fällt es den Parteien schwierig zu entscheiden, wer die Kontrolle haben soll?	
Wollen Sie ein manipulationssicheres Protokoll aller Schreibvorgänge?	
Sie haben vielleicht einen nützlichen Blockchain-Anwendungsfall.	

Table 15 Anwendung: Scoring-Modell Blank, Eigene Darstellung

Herausforderungen & Risiken	Nr.	Bewertungskriterien	Beschreibung	Anwendung
A: Blockchain spezifische Bewertungskriterien				
Datenmanagement	A1.	Gemeinsamer Datenspeicher	Benötigt der Anwendungsfall einen gemeinsamen Datenspeicher?	
Interoperabilität und Akzeptanz	A1.	Beteiligung an der Datenerfassung	Müssen mehrere unabhängige Parteien erfassen, austauschen und verarbeiten?	
Korrektur Möglichkeiten	A1.	Unveränderlichkeit der Datensätzen	Müssen einmal gespeicherte Daten verändert oder gelöscht werden?	
Datenschutz und Compliance	A1.	Ausschluss sensibler Daten	Müssen sensible Daten gespeichert werden?	
Governance und Entscheidungsstrukturen	A1.	Herausforderung bei der Kontrollvergabe	Ist es schwierig zu bestimmen Prozesse haben soll?	
Sicherheit und Effizienz	A1.	Manipulationssicheres Protokoll	Wird ein manipulationssicheres System unbedingt benötigt?	
B: Inviduelle Bewertungskriterien				
1. Komplexe & Lange Lieferketten	B1.	Reduktion der Lieferkettenkomplexität	Trägt BCT dazu bei, Schnittstellen zu minimieren von Prozessen und Optimierung der Lieferantenstruktur?	

	B2.	Reaktionsfähigkeit bei Änderungen (Anpassungen)	Unterstützt BCT eine schnelle Anpassung an Marktveränderungen, Lieferausfälle oder Krisensituationen?	
	B3.	Skalierbarkeit auf neue Märkte, Regionen oder Produkte	Kann die BCT-Lösung problemlos für neue Märkte, Regionen oder Produktkategorien erweitert werden?	
2. Monopolstellungen & Abhängigkeiten	B4.	Verringerung der Abhängigkeit von einzelnen Akteuren/Lieferanten	Kann BCT die Abhängigkeit von einzelnen Lieferanten oder zentralen Vermittlern verringern?	
3. Resilienz, Risiko, Umweltfaktoren und Krisen	B5.	Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen externe Störungen	Hilft BCT, Risiken durch Krisen, Naturkatastrophen oder geopolitische Unsicherheiten zu minimieren?	
	B6.	Verringerung von operative Risiken	Verbessert die BCT Prognosen durch fälschungssichere Daten, Smart Contracts oder automatisierte Prozesse?	
	B7:	Erhöhung der Vorhersagegenauigkeit bei Störungen	Kann BCT potenzielle Engpässe oder Verzögerungen in der Lieferkette reduzieren?	
4. Konfliktinteressen der Organisationen	B8.	Akzeptanz und Kooperationsbereitschaft bei Stakeholdern	Ist BCT bei Stakeholdern (z. B. Lieferanten, Kunden, Behörden) akzeptiert?	

5. Haftung & Absicherung	B9.	Manipulation von Gütern	Kann die BCT, Manipulationen in der Lieferkette verhindern?	
	B10.	Reduzierung der Haftungsrisiken	Kann BCT helfen, einen eindeutigen Gefahrenübergang (z. B. Eigentumswechsel, Zuständigkeiten) nachzuweisen?	
6. Digitalisierung & Technologie	B11.	Datenintegration	Bietet BCT eine nahtlose Integration mit anderen Systemen (ERP, IoT, Datenbanken)?	
	B12.	Automatisierung von Prozessen	Reduziert BCT den Bedarf an manuellen Eingriffen?	
7. Regularien & Nachhaltigkeit	B13.	CO ₂ -Reduktion durch Technologie	Kann BCT die Umweltauswirkungen von Logistik und Produktion verringern?	
	B14.	Einfluss auf Kreislaufwirtschaft	Ermöglicht BCT eine bessere Rückverfolgbarkeit von Materialien für Recycling und Wiederverwendung?	
	B15.	Erfüllung von Vorgaben und Gesetzen	Erleichtert BCT die Einhaltung von Vorgaben und Gesetzen?	