

Bachelorarbeit
im Bachelorstudiengang
Betriebswirtschaft

an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Neu-Ulm

Anwendungen von Kryptowährungen in der Supply Chain

–

Potentiale für Nachhaltigkeit und Transparenz

Erstkorrektor: Prof. Dr. Elmar Steurer

Zweitkorrektor: Prof. Dr. Erik Rederer

Verfasser: Nik Groepper (Matrikel-Nr.: 306038)

Thema erhalten: 11.04.2025

Arbeit abgegeben: 11.08.2025

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
1. Einleitung.....	1
1.1 Einführung in die Problemstellung	2
1.2 Forschungsstand und Zielsetzung.....	4
1.3 Aufbau der Arbeit.....	8
2. Hauptteil	10
2.1 Theoretische Grundlagen	10
2.1.1 Blockchain-Technologie	10
2.1.2 Kryptowährungen und Token	15
2.1.3 Supply Chain Management	20
2.2 Blockchain im Supply Chain Management.....	23
2.2.1 Technologische Schnittstelle	23
2.2.2 Zwischen Potential und Umsetzung: Der aktuelle Stand	25
2.2.2.1 IBM und Walmart.....	26
2.2.2.2 Weitere Praxisprojekte zur Veranschaulichung des Einsatzpotentials	31
2.3 Chancen von Kryptowährungen und Token im SCM	33
2.3.1 Plastic Bank.....	33
2.4 Use Case „BeeFair“ – Tokenisierung der Honig-Lieferkette.....	37
2.4.1 Ausgangssituation und Problemstellung	37
2.4.2 Motivation und Zielsetzung.....	41
2.4.3 Systemarchitektur und Funktionslogik der BeeFair-Plattform.....	43
2.4.4 Herausforderungen und Lösungsansätze bei der Systemimplementierung	52
2.4.5 Fazit.....	55
3. Zusammenfassung und Ausblick	57
Literaturverzeichnis.....	59

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Komplexe Netzwerkdarstellung eines Lieferkettenkreislaufs.....	2
Abbildung 2: Einsatzbereiche der Blockchain im Supply Chain Management.....	5
Abbildung 3: Verständnis zum Konsensmechanismus in einer Blockchain.....	12
Abbildung 4: Verschiedenen Arten von Krypto-Assets, die die MiCA-Verordnung umfasst.....	19
Abbildung 5: Lebensmittelbedingte Krankheitsausbrüche in der Schweiz.....	26
Abbildung 6: Visualisierung der Lieferkette bei Walmart mit Blockchain-Technologie.....	30
Abbildung 7: Wertschöpfungskreislauf bei Plastic Bank auf Basis digitaler Tokens.....	36
Abbildung 8: Prozessgrafik des BeeFair-Use Cases - Eigene Darstellung.....	42
Abbildung 9: Technologische Architektur - Eigene Darstellung.....	45
Abbildung 10: Beispielhafte punktebasierte Bewertungsmatrix für Chaincode-gesteuerte Tokenemission im BeeFair-System - Eigene Darstellung.....	47
Abbildung 11: Visualisierung zentraler Funktionalitäten - Eigene Darstellung.....	50
Abbildung 12: Abschließende Systemübersicht - Eigene Darstellung.....	56

1. Einleitung

Seit der Veröffentlichung des Bitcoin-Whitepapers durch Satoshi Nakamoto im Jahr 2008 haben Kryptowährungen eine bemerkenswerte Entwicklung durchlaufen. In seinem richtungsweisenden Dokument skizzierte Nakamoto erstmals ein dezentrales elektronisches Zahlungssystem, das ohne zentrale Instanzen wie Banken oder staatliche Institutionen auskommt. Die zentrale Idee war es, mithilfe kryptographischer Verfahren und einer verteilten Datenbank, der sogenannten Blockchain, ein System zu schaffen, das Vertrauen nicht durch Mittler, sondern durch Technologie ersetzt.

Diese Grundidee bildet das Fundament aller heutigen Kryptowährungen und hat seither eine Vielzahl technischer Innovationen und neuer Anwendungen hervorgebracht.¹

Diese Innovationsdynamik spiegelt sich auch in der wachsenden Zahl konkreter Anwendungsfelder wider. Auf Basis der Blockchain-Technologie ermöglichen Kryptowährungen eine sichere, transparente und fälschungssichere Erfassung und Übertragung digitaler Werte, unabhängig von zentralen Institutionen. Durch diese Eigenschaften gewinnen sie zunehmend an Bedeutung in Anwendungsfeldern, die eine hohe Vertrauensbasis, automatisierte Prozesse oder Nachweispflichten erfordern. Dazu zählen neben dem Finanzwesen auch Bereiche wie Energie, Verwaltung, digitale Identitäten oder eben die globale Lieferkette.²

Mit der Weiterentwicklung blockchainbasierter Anwendungen hat sich auch das Einsatzspektrum von Kryptowährungen deutlich erweitert. Neben ihrer Funktion als Zahlungsmittel werden sie zunehmend genutzt, um bestimmte Informationen oder Werte in digitaler Form abzubilden.

¹ Vgl. Liebkind, 2024.

² Vgl. Yaga et al., 2018.

Dieser Prozess wird als Tokenisierung bezeichnet. Dabei können etwa ökologische, soziale oder produktionsbezogene Merkmale, wie Herkunft, CO₂-Ausstoß oder soziale Produktionsbedingungen, als digitale Token auf einer Blockchain dargestellt und nachvollziehbar dokumentiert werden.³

1.1 Einführung in die Problemstellung

Moderne Lieferketten sind in den letzten Jahren zunehmend komplexer, fragmentierter und globaler geworden. Produkte durchlaufen häufig unzählige Produktionsschritte bei Akteuren in unterschiedlichen Ländern, angefangen von der Rohstoffgewinnung bis zum Verkauf.

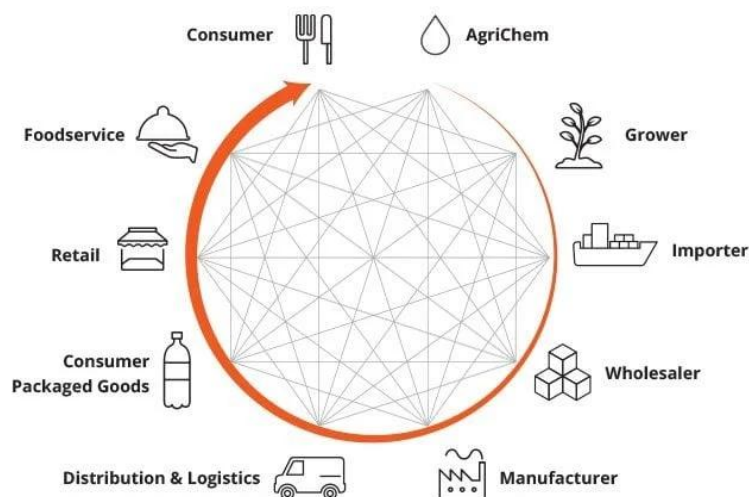


Abbildung 1: Komplexe Netzwerkdarstellung eines Lieferkettenkreislaufs⁴

Diese Entwicklung stellt Unternehmen vor erhebliche Herausforderungen, insbesondere bei der Sicherung der Qualität, der Einhaltung von Nachhaltigkeitsstandards sowie der lückenlosen Rückverfolgung von Produkten. Die mangelnde Transparenz und Sichtbarkeit entlang der gesamten Lieferkette ist dabei ein Kernproblem,

³ Vgl. Craß et al., 2020.

⁴ Vgl. Jones, 2023.

welches traditionelle Überprüfungsverfahren wie Stichproben oder Zertifizierungen oft als unzureichend und anfällig für Betrug und Ineffizienzen erscheinen lässt.⁵

Unternehmen sehen sich zudem wachsenden Anforderungen gegenüber, die Einhaltung von Sorgfaltspflichten im Hinblick auf menschenrechtliche und umweltschutzrelevante Aspekte entlang ihrer Lieferketten nachzuweisen. Eine unzureichende Transparenz erschwert dabei die effektive Überwachung von Umweltauswirkungen und das Ergreifen gezielter Maßnahmen zur Emissionsreduktion. Die Komplexität von Lieferketten resultiert nicht zuletzt auch aus globaler Beschaffung, weiten Transportwegen, Kommunikationsproblemen, rechtlichen Landesunterschieden sowie der Verwaltung und Pflege zahlreicher externer Partnerschaften. Die Suche nach einer Technologie, die diese vielschichtigen Herausforderungen bewältigen kann, ist daher notwendig.⁶

In diesem Kontext wird innovativen Technologien zur Bewältigung dieser Herausforderungen eine steigende Bedeutung beigemessen. Die Blockchain-Technologie, deren Entwicklung ihren Ursprung in Kryptowährungen wie Bitcoin hat und die zunehmend auch außerhalb des Finanzsektors betrachtet wird, ist dabei als besonders vielversprechendes Werkzeug zu betrachten. Durch ihre grundlegenden Eigenschaften verspricht sie, eine fälschungssichere, verifizierbare und transparente Aufzeichnung von Transaktionen und Informationen in der Lieferkette zu ermöglichen.⁷

Trotz dieses erheblichen theoretischen und praktischen Potenzials steht die tatsächliche Implementierung der Blockchain-Technologie im Supply Chain Management vor zahlreichen, vielschichtigen Hürden und Risiken.

⁵ Vgl. Gardner et al., 2018.

⁶ Vgl. Verheyen, 2024.

⁷ Vgl. Casino et al., 2018.

Diese Herausforderungen umfassen unter anderem technische, organisatorische, rechtliche und kulturelle Aspekte. Erschwerend kommt hinzu, dass die öffentliche Wahrnehmung von Kryptowährungen, die oft mit riskanten Spekulationen und hohem Energieverbrauch assoziiert werden, eine zusätzliche Hürde für das Vertrauen in die zugrundeliegende Blockchain-Technologie darstellen kann und Aufklärungsarbeit erfordert.

Die Problemstellung dieser Arbeit liegt somit in der Diskrepanz zwischen dem großen, aber noch nicht vollständig erschlossenen Potenzial der Blockchain-Technologie zur Verbesserung von Lieferketten und den erheblichen, vielschichtigen Herausforderungen, die einer erfolgreichen und breiten praktischen Implementierung dieser Technologie entgegenstehen.⁸

1.2 Forschungsstand und Zielsetzung

Die Blockchain-Technologie hat sich in den letzten Jahren zu einem intensiv diskutierten Thema in Forschung und Praxis entwickelt. Ihre Entstehung ist untrennbar mit dem Bereich der Kryptowährungen verbunden, beginnend mit der Einführung von Bitcoin im Jahr 2008. Kryptowährungen wie Bitcoin erlangten insbesondere durch ihre Kursentwicklungen und das Versprechen dezentraler, fälschungssicherer Transaktionen ohne Intermediäre große öffentliche und wissenschaftliche Aufmerksamkeit. Tatsächlich ist der Einsatz der Blockchain-Technologie in der Finanzbranche, speziell im Bereich der Kryptowährungen, derzeit am weitesten fortgeschritten und wird in vergleichsweise großem Ausmaß praktisch umgesetzt. Forschungsarbeiten befassen sich hier beispielsweise mit ihrer Funktionsweise, Konsensmechanismen,

⁸ Vgl. Mărcuță, 2024.

Sicherheitsfragen, wirtschaftlichen Aspekten und rechtlichen Einordnungen.⁹

Über den Finanzsektor und die reinen Währungsanwendungen hinaus wird das Potenzial der zugrundeliegenden Blockchain-Technologie jedoch zunehmend auch für eine Vielzahl anderer Anwendungsbereiche untersucht. Das Supply Chain Management (SCM) wird dabei als besonders vielversprechendes Feld identifiziert. Angesichts der wachsenden Komplexität, Fragmentierung und globalen Vernetzung moderner Lieferketten verspricht die Technologie signifikante Fortschritte, insbesondere in Bezug auf Transparenz, Effizienz, Rückverfolgbarkeit und Nachhaltigkeit.¹⁰

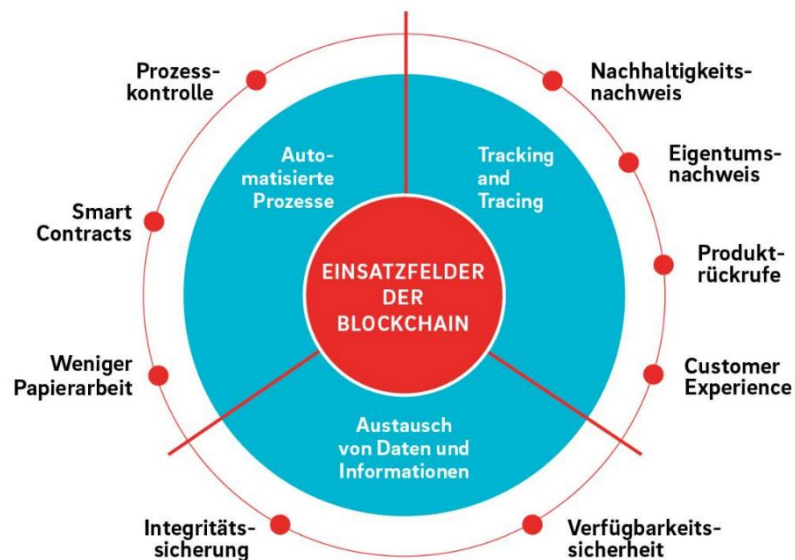


Abbildung 2: Einsatzbereiche der Blockchain im Supply Chain Management¹¹

Sie gilt als potenzielles Werkzeug, um mangelnde Transparenz, Unsicherheiten über Herkunft und Fälschungen zu adressieren und vertrauenswürdiger, sicherer Lieferketten zu ermöglichen.

⁹ Vgl. Evans, 2018.

¹⁰ Vgl. Pal et al., 2018.

¹¹ Vgl. Ditsche et al, 2021.

Der aktuelle Forschungsstand bestätigt ein großes Interesse an der Nutzung der Blockchain-Technologie in Lieferketten und attestiert ihr ein erhebliches theoretisches Potenzial. Dennoch konstatieren die vorliegenden Quellen übereinstimmend eine deutliche Forschungslücke und einen signifikanten Bedarf an weiterer Forschung und praktischer Erprobung. Es gibt bisher nur begrenzte wissenschaftliche Untersuchungen und praktische Anwendungen der Blockchain-Technologie in Lieferketten, insbesondere im Vergleich zum identifizierten Potenzial. Die tatsächliche, breite Implementierung der Technologie im SCM steht noch vor vielschichtigen Herausforderungen. Diese Hürden umfassen technische Schwierigkeiten, Prozess- und Integrationsherausforderungen, erhebliche Kosten bei der Einführung, rechtliche und regulatorische Unsicherheiten sowie kulturelle und akzeptanzbezogene Widerstände. Es fehlen zudem oft etablierte Standards und bewährte Verfahren.¹² Eine zusätzliche Komplexität ergibt sich aus der öffentlichen Wahrnehmung. Aufgrund des Ursprungs der Technologie wird die Blockchain oft primär mit Kryptowährungen wie Bitcoin in Verbindung gebracht. Diese sind für die breite Öffentlichkeit teilweise mit riskanten Spekulationen und regulatorischen Bedenken, wie z.B. Geldwäsche, assoziiert. Diese Assoziation kann Vorbehalte gegenüber der zugrundeliegenden Technologie für SCM-Anwendungen wecken und erfordert gezielte Aufklärungs- und Differenzierungsarbeit.¹³

Der Forschungsbedarf im SCM-Kontext liegt weniger in der Erforschung der Technologie als Kryptowährung per se, sondern vielmehr darin, wie Krypto-Assets, also digitale Vermögenswerte, die auf Blockchain-Technologie basieren, effektiv für die spezifischen Anforderungen und Prozesse in Lieferketten jenseits der reinen Wertübertragung genutzt und breitflächig implementiert werden können. Insbesondere die konkrete Anwendung von (Krypto-)Tokens zur digitalen Abbildung und Bewertung

¹² Vgl. Pal et al, 2018.

¹³ Vgl. Stöcker, 2025.

von Nachhaltigkeitsleistungen und die damit verbundenen technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Herausforderungen in der Lieferkette sind spezifische Aspekte innerhalb dieser breiteren Forschungslücke, die noch vertiefende Untersuchungen erfordern. Während das allgemeine Potenzial von Blockchain für Nachhaltigkeit und Transparenz im SCM erkannt ist, gibt es nur wenig empirische Untersuchungen zu den Auswirkungen von Krypto-Assets, was auf einen Bedarf an konkreter Erforschung ihrer Rolle in diesem spezifischen Kontext hinweist.¹⁴

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist es daher, einen Beitrag zum Verständnis dieses Spannungsfeldes zu leisten und die identifizierte Forschungslücke zu adressieren. Ausgehend von der Forschungsfrage: „Welches Potenzial bieten Kryptowährungen zur digitalen Abbildung und Bewertung von Nachhaltigkeitsleistungen sowie verbesserter Transparenz entlang globaler Lieferketten?“, knüpft diese Arbeit an den identifizierten Forschungsbedarf an. Sie untersucht das Potenzial, das Kryptowährungen zur Verbesserung von Nachhaltigkeit und Transparenz in Lieferketten bieten, und stellt dieses den erheblichen und vielschichtigen Herausforderungen gegenüber, die einer breiten praktischen Implementierung entgegenstehen.

Durch die systematische Untersuchung beider Seiten – Chancen und Hürden – sowie die Analyse von Erfahrungen mit der Implementierung sollen fundierte Erkenntnisse gewonnen werden, die Unternehmen und Entscheidungsträgern helfen können, die Potenziale der Technologie für Nachhaltigkeits- und Transparenzzwecke besser einzuschätzen und die notwendigen Schritte zur Bewältigung der Implementierungshürden zu identifizieren.

¹⁴ Vgl. Difrancesco et al, 2022.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Bachelorarbeit ist in drei Hauptkapitel unterteilt, die in einer logischen Reihenfolge aufeinander aufbauen und den Leser schrittweise von der Problemstellung über die theoretische und empirische Analyse hin zu den abschließenden Ergebnissen und Handlungsempfehlungen führen.

Das erste Kapitel dient der thematischen Einführung und legt den konzeptionellen Rahmen der Arbeit fest. Nach der Darstellung der Problemstellung sowie der Einordnung in den aktuellen Forschungsstand wird die Zielsetzung der Untersuchung formuliert. Das Ziel dieses einleitenden Kapitels besteht darin, die Relevanz des Themas zu verdeutlichen, zentrale Begriffe zu definieren und den Leser auf die nachfolgenden Analysen vorzubereiten.

Der Hauptteil der vorliegenden Arbeit ist in Kapitel 2 enthalten, welches in mehrere thematische Unterkapitel gegliedert ist. Zunächst werden die theoretischen Grundlagen dargelegt. Im Rahmen dessen erfolgt eine Erläuterung der technologischen Grundlagen der Blockchain, der Funktionsweise von Kryptowährungen und Token sowie der Strukturen und Herausforderungen moderner Lieferketten. Diese Grundlagen stellen die notwendige Wissensbasis dar, um die späteren Anwendungsanalysen einordnen zu können.

Im weiteren Verlauf wird die Rolle der Blockchain im Supply Chain Management untersucht. Neben der technologischen Schnittstelle werden der aktuelle Umsetzungsstand sowie eine Auswahl an Praxisbeispielen präsentiert, um die Chancen und Grenzen der Technologie im realen Wirtschaftsumfeld zu veranschaulichen.

In der Folge werden die spezifischen Potenziale von Kryptowährungen und Token im Kontext von Lieferketten, insbesondere im Hinblick auf Nachhaltigkeit, Transparenz und Anreizsysteme, behandelt.

Im finalen Abschnitt wird das entwickelte Use Case "BeeFair" behandelt. Das vorliegende Fallbeispiel demonstriert die praktische Umsetzbarkeit der zuvor beschriebenen Konzepte anhand einer tokenisierten Honig-Lieferkette. In der vorliegenden Abhandlung werden sowohl die Ausgangslage, die Motivation und Zielsetzung als auch die Systemarchitektur, die Funktionslogik und die Umsetzungsherausforderungen detailliert beschrieben.

Das abschließende Kapitel 3 bündelt die im Verlauf der Arbeit gewonnenen Erkenntnisse und verdichtet diese zu einem Gesamtfazit. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung erfolgt eine Zusammenführung der zentralen Ergebnisse der theoretischen und praxisorientierten Analysen, um eine abschließende Bewertung des Potenzials von Kryptowährungen und tokenbasierten Ansätzen im Supply Chain Management vorzunehmen. Darüber hinaus erfolgt eine Ergänzung durch einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen, der sowohl technologische als auch regulatorische Trends berücksichtigt und mögliche Implikationen für Unternehmen, Forschung und Politik aufzeigt. In der Folge wird ein Rahmen geschaffen, in dem die erarbeiteten Resultate in einen übergeordneten Kontext eingeordnet und strategische Handlungsperspektiven abgeleitet werden.

2. Hauptteil

2.1 Theoretische Grundlagen

Die Analyse der Einsatzpotenziale von Kryptowährungen im Kontext globaler Lieferketten erfordert die Auseinandersetzung mit verschiedenen grundlegenden Konzepten. Das Ziel dieses Kapitels besteht darin, die zentralen theoretischen Grundlagen zu erörtern, die für das Verständnis der nachfolgenden Ausführungen von essentieller Bedeutung sind. Im Fokus der Untersuchung stehen die technologischen Grundlagen der Blockchain, die Funktionsweise und Rolle von Kryptowährungen sowie die strukturellen und organisatorischen Merkmale moderner Lieferketten. Die systematische Darstellung dieser Elemente schafft einen konzeptionellen Rahmen, der die Basis für nachfolgende Untersuchungen bildet.

2.1.1 Blockchain-Technologie

Die Blockchain-Technologie hat sich seit ihren frühen Konzepten in den 1990er Jahren zu einer bahnbrechenden Innovation im Bereich der Distributed-Ledger-Technologien (DLT) entwickelt. Im Kern stellt eine Blockchain ein dezentrales, verteiltes und unveränderliches Register dar, das Informationen in chronologischer Reihenfolge in miteinander verketteten Blöcken speichert. Jeder neu hinzugefügte Block enthält dabei einen Verweis auf seinen Vorgänger, wodurch eine manipulationssichere Kette entsteht.¹⁵

Die hier zugrundeliegende Kryptographie ist ein essenzieller Baustein der Blockchain-Technologie und bildet ihr technisches Rückgrat. Das Wort Kryptographie befasst sich mit der Konzeption, Definition und Konstruktion von Informationssystemen, die widerstandsfähig gegen

¹⁵ Vgl. Zheng et al., 2017.

Manipulation und unbefugtes Lesen sind. Im Kontext der Blockchain dient sie primär dazu, Nachrichten zu signieren, die an die Blockchain gesendet werden, und so Transaktionen auszulösen.¹⁶

Die Funktionsweise der Blockchain beruht auf mehreren Schlüsselmerkmalen, die ihre Robustheit und Vertrauenswürdigkeit definieren.

Zunächst ist die Dezentralität und Verteiltheit des Systems von fundamentaler Bedeutung. Im Gegensatz zu herkömmlichen, zentralisierten Datenbanken, die von einer einzelnen Instanz kontrolliert werden, wird eine Blockchain von einem Peer-to-Peer-Netzwerk von Teilnehmern gemeinsam geführt und validiert. Jeder Knoten im Netzwerk verfügt über eine vollständige Kopie des gesamten Registers, was die Abhängigkeit von einer zentralen Stelle eliminiert und Interaktionen sowie die Übertragung digitaler Werte oder Informationen ohne die Notwendigkeit vertrauenswürdiger Mittler ermöglicht.

Ein weiteres entscheidendes Merkmal ist die Fälschungssicherheit und Unveränderlichkeit der gespeicherten Daten. Einmal in einem Block gespeicherte Informationen sind durch den Einsatz kryptographischer Verfahren und die chronologische Verkettung der Blöcke nahezu manipulationssicher. Eine Änderung an einem früheren Block würde die kryptographischen Verweise der nachfolgenden Blöcke ungültig machen, was sofort erkennbar wäre. Dieses Prinzip ist unter anderem entscheidend, um die mehrfache Ausgabe von digitalem Geld, bekannt als „Double Spending“, zu verhindern.¹⁷

Die Transparenz ist ebenfalls ein Kernaspekt der Blockchain. Auf einer Blockchain sind alle Transaktionen und Informationen für alle Netzwerkteilnehmer einsehbar und nachvollziehbar. Dies fördert ein hohes Maß an Vertrauen innerhalb des Systems, da die Integrität der

¹⁶ Vgl. Long et al., 2023.

¹⁷ Vgl. Tschorsch et al., 2016.

Daten kryptographisch gesichert ist und nicht auf dem Vertrauen in eine dritte Partei beruht.¹⁸

In Blockchain-Systemen ist die Konsensfindung von entscheidender Bedeutung, da zu jedem Zeitpunkt mehrere Teilnehmer an der Erstellung eines neuen Blocks arbeiten und somit potenziell mehrere Blöcke der Kette hinzugefügt werden könnten. Ein Konsensmechanismus ist ein grundlegendes Konzept der Blockchain und ein technischer Kernbestandteil. Er ist ein Algorithmus, der sicherstellt, dass die übereinstimmende Speicherung der Daten auf den verschiedenen Knoten im Netzwerk erreicht wird und alle Knoten Einigkeit über die Ordnung der Blöcke und der logisch zusammenhängenden Transaktionen erzielen.¹⁹

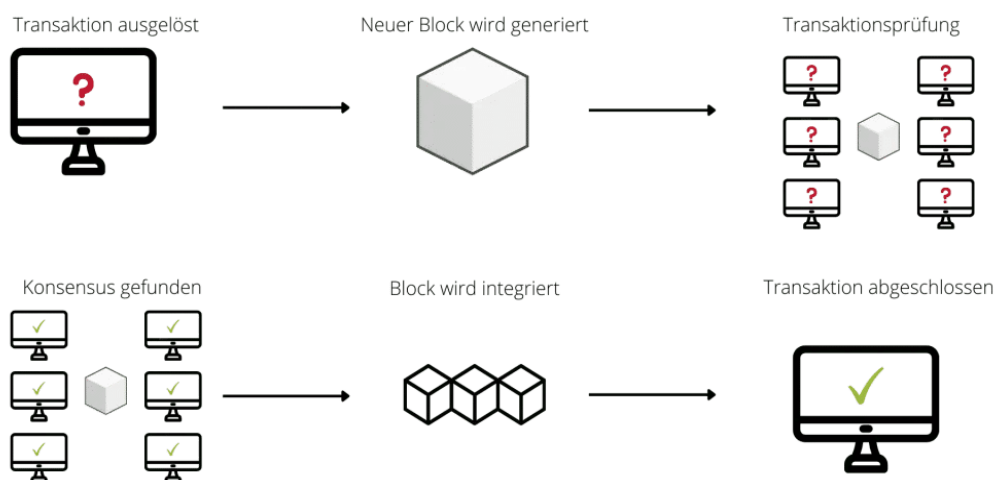


Abbildung 3: Verständnis zum Konsensmechanismus in einer Blockchain²⁰

Die wichtigsten Konsensmechanismen sind Proof of Stake (PoS) und Proof of Work (PoW), wobei PoW am häufigsten verwendet wird. Bei diesem Mechanismus, der insbesondere von Bitcoin verwendet wird, bekommen die Netzwerkteilnehmer eine komplexe kryptografische Aufgabe zugeordnet, die sie in Form eines Wettbewerbs lösen müssen.

¹⁸ Vgl. Difrancesco et al., 2022.

¹⁹ Vgl. Sandner et al., 2023.

²⁰ Vgl. Finanzfolio, 2023.

Die Lösung des mathematischen Rätsels ist erforderlich, damit neue Einträge in die Blockchain vorgenommen werden können, was die Kette schützt und die Eintragung beliebig vieler neuer Blöcke verhindert. Derjenige Knoten, der als erster das Rätsel löst, erhält einen bestimmten Betrag in der zugrunde liegenden Kryptowährung gutgeschrieben, was einen ökonomischen Anreiz zur Teilnahme am PoW darstellt.

Zusammenfassend sind Konsensmechanismen das Herzstück der Blockchain-Technologie, die es einem dezentralen Netzwerk ermöglichen, eine gemeinsame und manipulationssichere Aufzeichnung von Transaktionen zu führen.²¹

Die Entwicklung der Blockchain-Technologie ist von einer enormen Dynamik geprägt und wird oft in drei Phasen unterteilt.

Die Blockchain 1.0 umfasst Lösungen, die sich hauptsächlich auf den Austausch von Kryptowährungen konzentrieren. Ein entscheidender Meilenstein war die Einführung von Bitcoin durch den Entwickler Satoshi Nakamoto mit seinem Whitepaper „Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.“ Bitcoin stellte die erste funktionierende Blockchain-Implementierung dar, die ein dezentrales elektronisches Zahlungssystem ohne vertrauenswürdige Dritte ermöglichte. Der Begriff Kryptowährung gewann mit dieser Kombination aus digitalem Geld und Blockchain im Jahr 2008 an Bedeutung und verbreitete sich um 2012 weit. In ihren ersten Jahren wurde die Blockchain-Technologie oft synonym mit Bitcoin verwendet, wobei die Forschung sich zunächst auf die Schaffung der Infrastruktur konzentrierte, bevor sie sich Anwendungsmöglichkeiten zuwandte.

Der nächste große Schritt war die Einführung von Smart Contracts, die zur Phase Blockchain 2.0 gehören. Diese Phase konzentriert sich auf Wirtschafts-, Markt- und Finanzanwendungen, die über reine Bargeldtransaktionen hinausgehen und automatisierte Transaktionen

²¹ Vgl. Schlatt et al., 2016.

ermöglichen. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die Ethereum Blockchain. Smart Contracts sind computergestützte Transaktionsprotokolle, die Vertragsbestimmungen ausführen und es erlauben, vertragliche Klauseln in ausführbaren Code zu übersetzen, wodurch externe Beteiligung und Risiken minimiert werden. Sie laufen dezentral und sind in der Blockchain gespeichert, ohne auf eine vertrauenswürdige Autorität angewiesen zu sein.

Die Blockchain 3.0 fasst alle Anwendungen zusammen, die keinen direkten Bezug zu Finanzen haben. Hierbei geht es um dezentrale, autonome Organisationseinheiten, die auf gemeinsamen Smart Contracts basieren und Nutzen in verschiedenen Bereichen wie dem Supply Chain Management, Rechtswesen, Gesundheitswesen, aber auch Regierung bieten.²²

Zwecks der Erreichung der funktionalen und sicherheitstechnischen Ziele jeder Blockchain-Anwendung, wird grundsätzlich zwischen zwei Haupttypen unterschieden.

Öffentliche Blockchains sind für jeden frei zugänglich und erlauben es jedem, als neuer Nutzer beizutreten sowie Operationen wie Transaktionen oder Verträge durchzuführen. Sie operieren ohne zentrale Kontrolle und basieren oft auf Open-Source-Software, wodurch sich ein eigenständiges Ökosystem mit zahlreichen Teilnehmern entwickelt. Bekannte Beispiele hierfür sind Bitcoin und Ethereum.

Im Gegensatz dazu haben Private Blockchains einen eingeschränkten Teilnehmerkreis, wobei der Zugriff in der Regel durch Administratoren verwaltet wird. Diese Art von Blockchains wird aufgrund ihrer besseren Kontrolle, schnelleren Transaktionsgeschwindigkeiten und erhöhten Privatsphäre oft für industrielle Anwendungen bevorzugt.²³

²² Vgl. Xu et al., 2019.

²³ Vgl. Thießen, 2020.

2.1.2 Kryptowährungen und Token

Während die Blockchain-Technologie als dezentrale, manipulationssichere und verteilt geführte Datenstruktur das technologische Fundament bildet, finden Kryptowährungen und Token ihre Rolle als digitale Vermögenswerte, die auf dieser Technologie basieren und spezifische Funktionen im digitalen Raum erfüllen.²⁴

Kryptowährungen im engeren Sinne, auch als Payment Token oder Coins bezeichnet, stellen digitale Werteinheiten dar, die nicht von einer Zentralbank oder öffentlichen Stelle emittiert oder garantiert werden und grundsätzlich keinen gesetzlichen Status als Währung oder Geld besitzen. Ihr ökonomischer Wert entsteht allein durch das Vertrauen der Nutzer und bestimmt sich über Angebot und Nachfrage.²⁵

Die technische Funktion von Kryptowährungen beruht auf der Abwicklung von Transaktionen in einem dezentralen Peer-to-Peer-Netzwerk. Diese Transaktionen, die den Transfer von digitalen Werten zwischen Teilnehmern beschreiben, werden kryptografisch gesichert. Wie bereits erwähnt, erfolgt die Speicherung in einer Blockchain, die als öffentlich einsehbares, chronologisches Kontenbuch aller bestätigten Transaktionen dient. Die Pseudonymität der Nutzer ist ein zentrales Merkmal, wobei jedoch durch externe Datenverknüpfungen eine vollständige Anonymität selten gegeben ist.

Aus ökonomischer Perspektive erfüllen Kryptowährungen aus der Sichtweise einiger Zentralbanken noch nicht sämtliche klassischen Funktionen des Geldes, wie etwa Tauschmittel, Recheneinheit oder Wertaufbewahrung, insbesondere aufgrund ihrer Volatilität. Dennoch gewinnt die Kryptowährung sowohl als alternatives Zahlungsmittel als auch spekulatives Investitionsobjekt stetig an Bedeutung.²⁶

²⁴ Vgl. Garrido, 2023.

²⁵ Vgl. Ferrari, 2020.

²⁶ Vgl. Baur et al., 2017.

Der Begriff Token ist umfassender als Kryptowährung und beschreibt Informationseinheiten oder Werteinheiten, die auf einer Blockchain gespeichert und übertragen werden. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, eine Vielzahl von Sachverhalten zu repräsentieren, sofern die involvierten Parteien eine Einigung bezüglich des Gegenstandes erzielt haben. Der Begriff der Tokenisierung bezeichnet den Prozess, durch den eine Rechtsposition, dazu zählen beispielsweise schuldrechtliche Forderungen, Mitgliedschaftsrechte, Rechte an physischen Vermögenswerten, wie Immobilien und Kunstwerken, sowie Immaterialgüterrechte, mit einem Token verknüpft wird. Die Übertragung und Geltendmachung dieser Rechtsposition kann demnach ausschließlich durch den am Token Berechtigten erfolgen, vergleichbar mit der Verbriefung eines Rechts in einem physischen Wertpapier.²⁷

Basierend auf dem Hauptzweck der Token lassen sich diese in diverse Kategorien einteilen, wobei hybride Formen, die Merkmale mehrerer Kategorien aufweisen, eine übliche Erscheinung darstellen.

Der Begriff Payment Token oder Currency Token ist aus dem Bereich der Kryptowährung. Wie bereits dargelegt, fungieren diese Token als Zahlungsmittel oder zur Übertragung von Geld und Wert. Es bestehen keine direkten Ansprüche gegenüber dem Emittenten. Eine Unterkategorie sind sogenannte Stablecoins, deren Wert an eine nationale Währung oder andere Vermögenswerte gebunden ist, um die Volatilität zu reduzieren.

Utility Token sind eine spezielle Form von Kryptowährungen, die dem Inhaber Zugang zu einer digitalen Nutzung oder Dienstleistung gewähren, die auf der Blockchain-Technologie basiert oder diese verwendet. Es besteht die Möglichkeit, sie als Lizenz zu verwenden. Unter der Prämisse, dass es sich weder um Finanzinstrumente noch um Wertpapiere handelt und der Zugang zum entsprechenden Dienst bei

²⁷ Vgl. Garcia-Teruel et al., 2021.

dessen Ausgabe vollumfänglich funktionsfähig ist, unterliegen sie in der Regel keiner Finanzaufsicht.

Security Token respektive Investment Token repräsentieren Vermögenswerte, die außerhalb der Blockchain existieren, wie etwa Anteile an Unternehmen, Immobilien oder andere Wertgegenstände. Im Regelfall sind sie mit finanziellen Ansprüchen assoziiert, zu denen unter anderem Zinszahlungen, Erträge oder eine Beteiligung am Geschäftsergebnis des Emittenten zählen. Diese Token werden rechtlich als Wertpapiere klassifiziert und unterliegen strengen kapitalmarktrechtlichen Vorschriften.²⁸

Für die Interaktion mit Kryptowährungen und Token ist eine sogenannte „Wallet“ unerlässlich, die treffender als „Schlüsselbund“ bezeichnet wird. Die Wallet speichert keine Kryptowerte selbst, sondern generiert und verwaltet die privaten und öffentlichen Schlüssel, die sich stets in der Blockchain befinden. Der öffentliche Schlüssel fungiert als Instrument zur Zuordnung der Kryptowerte innerhalb der Blockchain und dient zudem als Empfangsadresse. Der private Schlüssel stellt den entscheidenden Zugang dar, welcher dem Inhaber die Disposition über das verknüpfte Krypto-Guthaben sowie die Autorisierung bzw. digitale Signierung von Transaktionen ermöglicht. Die sichere Aufbewahrung dieser privaten Schlüssel ist von größter Bedeutung, da ein Verlust oder Diebstahl dieser Schlüssel den Zugriff auf die damit verknüpften Kryptowerte unmöglich macht.²⁹

Die rasante Entwicklung von Kryptowährungen und Token hat eine intensive Auseinandersetzung mit deren rechtlicher Einordnung notwendig gemacht, um Rechtssicherheit zu schaffen, Anlegerschutz zu gewährleisten und Missbrauch, wie etwa Geldwäsche, zu verhindern. Da es keine allgemeingültige Legaldefinition für Kryptowerte gibt, richtet sich

²⁸ Vgl. Blandin et al., 2020.

²⁹ Vgl. Tschorsch et al., 2016.

deren rechtliche Bewertung maßgeblich nach ihrer konkreten Ausgestaltung und Funktion. Zivilrechtlich werden Kryptowerte typischerweise nicht als Sachen oder Rechte im traditionellen Sinne, sondern eher als „sonstige Gegenstände“ angesehen. Die Schaffung von Rechtssicherheit erfordert letztlich die Klärung durch den Gesetzgeber oder die höchstrichterliche Rechtsprechung.³⁰

Deutschland hat frühzeitig nationale Gesetze geschaffen und nimmt damit eine Vorreiterrolle in der Regulierung von Kryptowerten ein. Die Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht (BaFin) stuft Kryptowerte als Finanzinstrumente im Sinne des Kreditwesengesetzes (KWG) ein und hat hierzu umfassende Hinweise gegeben. Ein Kryptowert wird dabei als digitale Darstellung eines Wertes oder Rechts definiert, der bzw. das mittels Distributed-Ledger-Technologie (DLT) elektronisch übertragen und gespeichert werden kann.

Eine bedeutende Neuerung ist die Einführung des Kryptoverwahrgeschäfts als Finanzdienstleistung im KWG, die seit dem 1. Januar 2020 einer Erlaubnispflicht durch die BaFin unterliegt. Dies umfasst die Verwahrung, Verwaltung und Sicherung von Kryptowerten oder privaten kryptografischen Schlüsseln.

Das Gesetz über elektronische Wertpapiere (eWpG), welches am 10. Juni 2021 in Kraft trat, ebnete den Weg für die digitale Begebung und Übertragung von Wertpapieren ohne physische Urkunde. Es unterscheidet dabei zwischen elektronischen Wertpapieren, die in zentralen Registern geführt werden, und Kryptowertpapieren, die auf fälschungssicheren Aufzeichnungssystemen, typischerweise Blockchain-Technologie, basieren. Ziel ist es, den Kapitalmarkt durch die Reduzierung von Intermediären schneller und kosteneffizienter zu gestalten.³¹

³⁰ Vgl. Zetzsche et al., 2020.

³¹ Vgl. BaFin, 2023.

Auf europäischer Ebene wurde mit der MiCA-Verordnung (Markets in Crypto-Assets Regulation) ein umfassender regulatorischer Rahmen für Kryptowerte geschaffen, die im April 2023 verabschiedet wurde. MiCA zielt darauf ab, Regulierungslücken zu schließen, Kryptowerte zu definieren und den Anlegerschutz zu verbessern. Zudem reguliert MiCA Stablecoin-Emittenten und strebt an, dass Stablecoins keine Alternative zu staatlichen Währungen werden.³²

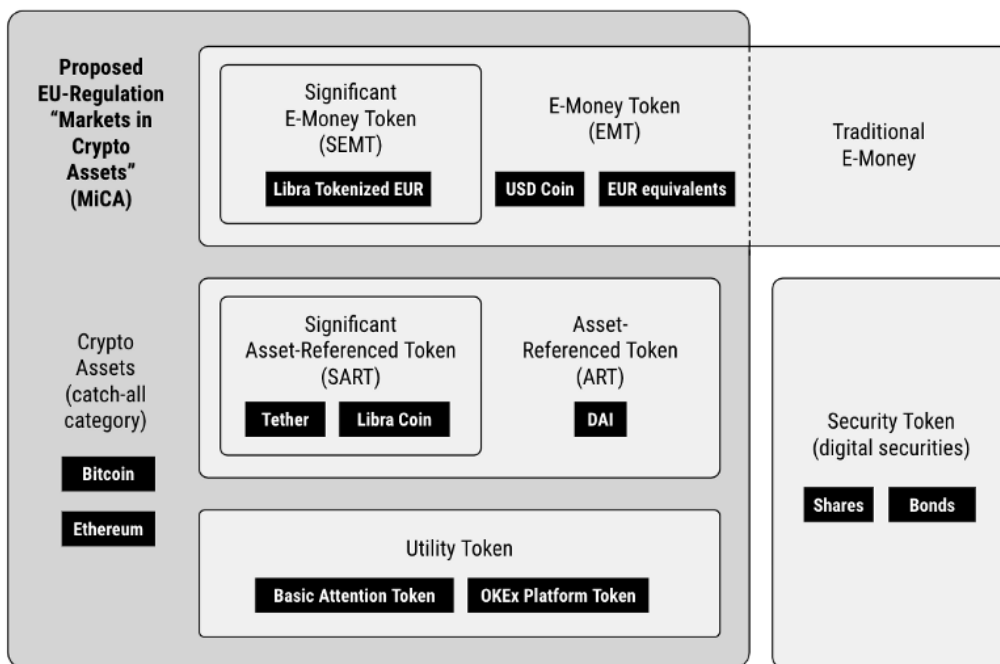


Abbildung 4: Verschiedenen Arten von Krypto-Assets, die die MiCA-Verordnung umfasst³³

Diese regulatorischen Fortschritte sind von entscheidender Bedeutung für die breitere Anwendung von Blockchain-Technologie und Token über den reinen Finanzsektor hinaus, insbesondere im Supply Chain Management.

Der zunehmende Fokus auf Tokenisierung und die Schaffung klarer rechtlicher Rahmenbedingungen ermöglichen es nun, das Potenzial der Blockchain, das über reine Währungstransfers hinausgeht, voll auszuschöpfen.³⁴

³² Vgl. Taik et al., 2024.

³³ Vgl. BondGuide, 2020.

³⁴ Vgl. Difrancesco et al., 2022.

Die Fähigkeit von Token, vielfältige Werte und Rechte digital abzubilden und deren Transaktionen transparent und manipulationssicher in einer Blockchain zu verankern, ist für die Optimierung von Lieferketten besonders vielversprechend. Die Implementierung von Smart Contracts in Verbindung mit Token ermöglicht beispielsweise die Automatisierung von Prozessen wie Zahlungen oder die Freigabe von Waren bei Erfüllung vordefinierter Bedingungen. Dies trägt zur Steigerung von Effizienz, Transparenz und Nachhaltigkeit in globalen Lieferketten bei, indem beispielsweise die Nachverfolgbarkeit von Produkten von der Herkunft bis zum Endkunden lückenlos dokumentiert wird und die Einhaltung von Standards automatisiert überprüft werden kann. Darüber hinaus kann die Tokenisierung einen wesentlichen Beitrag zur Digitalisierung von Eigentumsnachweisen und zur Absicherung von Herkunfts- und Qualitätszertifikaten leisten. Dies führt zu einer signifikanten Stärkung des Vertrauens innerhalb komplexer Lieferketten. Diese Anwendungsfelder demonstrieren die Transformation der Blockchain von einer reinen Kryptowährungs-Technologie hin zu einem vielseitigen Werkzeug für digitale Ökosysteme, das über Unternehmensgrenzen hinweg neue Kooperationsformen ermöglicht.³⁵

2.1.3 Supply Chain Management

Das Supply Chain Management (SCM) stellt einen umfassenden Ansatz dar, der auf die effiziente Planung, Steuerung und Optimierung sämtlicher Prozesse innerhalb einer Wertschöpfungskette abzielt. Das Konzept umfasst die Gesamtheit der unternehmerischen Prozesse, beginnend bei der Rohstoffgewinnung, über die Produktion und Logistik, bis hin zur Endauslieferung an den Kunden. Das übergeordnete Ziel des SCM besteht darin, eine kostenoptimale, transparente und effiziente Lieferkette zu gestalten, um die Kundenzufriedenheit zu maximieren.³⁶

³⁵ Vgl. Kshetri, 2021.

³⁶ Vgl. Voigt, 2018.

Eine effektive Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Akteuren der Lieferkette erfordert dabei eine tiefe Integration von Prozessen und Informationen. Der Informationsfluss nimmt hierbei eine zentrale Rolle ein, um eine reibungslose Koordination und Entscheidungsfindung zu gewährleisten.³⁷

In Anbetracht der zunehmenden Globalisierung und Fragmentierung von Lieferketten, bei der Produkte oft unzählige Produktionsschritte in verschiedenen Ländern durchlaufen, ist die Komplexität im SCM erheblich gestiegen. Dies erfordert eine detaillierte Kenntnis der vor- und nachgelagerten Waren-, Dienstleistungs-, Finanz- und Informationsströme. Die digitale Transformation hat in diesem Zusammenhang neue Möglichkeiten eröffnet, etwa durch elektronische Datenintegration und die Automatisierung von Dienstleistungen, welche als unerlässlich für moderne Lieferketten identifiziert wurden. Die Transparenz bezüglich der Produktionsweisen, die Agilität in den Übergabeprozessen zwischen den Lieferanten sowie die Verifikation der Produktherkunft sind dabei von entscheidender Bedeutung.³⁸

In den zurückliegenden Jahren hat sich das Supply Chain Management signifikant weiterentwickelt und integriert in zunehmendem Maße Aspekte der Nachhaltigkeit, die über rein wirtschaftliche Ziele hinausgehen. Diese Entwicklung manifestiert sich insbesondere in der Einbeziehung von ESG-Kriterien (Environmental, Social, Governance), die ein ganzheitliches Verständnis unternehmerischer Verantwortung in der Lieferkette fördern.

Der Bereich Environmental (Umwelt) adressiert dabei die Umweltauswirkungen entlang der gesamten Lieferkette. Dies umfasst beispielsweise die Vermeidung von Entwaldung im Kontext von Rohstoffbeschaffung, die Reduzierung von Emissionen und den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen. Es obliegt den Unternehmen, sich

³⁷ Vgl. Sundram et al., 2020.

³⁸ Vgl. Schilling et al., 2023.

der Identifizierung umweltbezogener Risiken sowie der Implementierung von Präventionsmaßnahmen zu widmen, insbesondere in Bezug auf gefährliche Chemikalien (z. B. POPs) und Abfälle.

Der Social-Aspekt fokussiert sich auf die Menschenrechte und die Arbeitsbedingungen innerhalb der Lieferkette. Dies umfasst die Sicherstellung fairer Löhne, sicherer Arbeitsbedingungen sowie den Schutz vor Ausbeutung und Kinderarbeit. Die Einhaltung menschenrechtlicher Sorgfaltspflichten ist dabei auch bei mittelbaren Zulieferern von Relevanz, insbesondere bei substantiiertem Kenntnis von Problemen.

Der Bereich Governance (Unternehmensführung) umfasst die Aspekte Transparenz, Rechenschaftspflicht und ethische Unternehmensführung. Für Unternehmen ergibt sich daraus die Notwendigkeit, ihre Strategie für ein nachhaltiges Lieferkettenmanagement offenzulegen, Risikoanalysen durchzuführen und Beschwerdemanagementsysteme einzurichten.³⁹

Die Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) der Europäischen Union nimmt eine maßgebliche treibende Kraft für die Integration von Nachhaltigkeit in das SCM ein. Die CSRD, welche die frühere Non-Financial Reporting Directive (NFRD) ablöst, zielt darauf ab, die Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen zu standardisieren und zu erweitern. Ein Kernkonzept der CSRD ist die „doppelte Wesentlichkeit“, die Unternehmen dazu verpflichtet, über Themen zu berichten, die sowohl aus finanzieller Sicht als auch hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Mensch und Umwelt wesentlich sind. Gemäß der CSRD sind Unternehmen dazu verpflichtet, ihre Nachhaltigkeitsinformationen in ihren Lageberichten zu integrieren und dabei die gesamte Wertschöpfungskette abzudecken, einschließlich vor- und nachgelagerter Aktivitäten. Eine umfassende Analyse der Transparenz der Lieferkette ist erforderlich, um sämtliche relevanten Daten zu erfassen und offenzulegen. Die CSRD stärkt zudem die

³⁹ Vgl. Yawar et al., 2017.

Governance-Pflichten, indem sie die Verantwortung der Verwaltungs-, Leitungs- und Aufsichtsorgane für die Einhaltung der Vorgaben der Nachhaltigkeitsberichterstattung klarstellt. Für Unternehmen, die unter die CSRD fallen, wird eine jährliche Prüfung der Nachhaltigkeitsberichterstattung vorgeschrieben.⁴⁰

Obgleich sich die CSRD in erster Linie an große Unternehmen richtet, sind auch indirekte Auswirkungen auf kleine und mittlere Unternehmen (KMU) zu verzeichnen. Da große Unternehmen ihre Berichtspflichten und Sorgfaltspflichten aus der CSRD und dem deutschen Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz (LkSG) an ihre Zulieferer weitergeben, werden auch KMU verstärkt aufgefordert, Nachhaltigkeitsstandards einzuhalten und entsprechende Daten zur Verfügung zu stellen. Dieser Umstand kann zu einem entscheidenden Wettbewerbsvorteil für KMU führen, die sich frühzeitig mit den vorliegenden Anforderungen auseinandersetzen. Die CSRD zielt darauf ab, eine Kohärenz mit anderen Regelwerken der EU, wie der EU-Taxonomie, zu etablieren und Unternehmen dazu zu motivieren, ESG-Risiken und -Chancen stärker in ihre Strategie zu integrieren.⁴¹

2.2 Blockchain im Supply Chain Management

2.2.1 Technologische Schnittstelle

Die Blockchain-Technologie weist ein beträchtliches Potenzial zur Optimierung von Geschäftsprozessen und zur Revolutionierung von "Business-as-usual"-Praktiken auf. Diese Entwicklung ermöglicht den Aufbau eines neuen Vertrauensfundaments, das über die Grenzen bestehender Modelle hinausreicht.⁴²

⁴⁰ Vgl. Sardal et al., 2024.

⁴¹ Vgl. Rieger-Fels et al., 2024.

⁴² Vgl. Milani et al., 2018.

In traditionellen Lieferketten basierte Vertrauen in der Regel auf zentrale Instanzen, manuelle Prozesse und die Einbindung von Intermediären. Unternehmen verlassen sich auf etablierte Workflows und Technologien wie ERP-Systeme. Die Gewährleistung von Qualität und Nachhaltigkeit in vorgelagerten Produktionsschritten stellte dabei eine erhebliche Herausforderung dar. Multinationale Unternehmen überprüften diese Informationen entweder selbst, und zwar stichprobenartig, oder sie vertrauten auf Zertifizierungsorganisationen. Die Implementierung solcher Verfahren gestaltete sich in der Vergangenheit als kosten- und arbeitsintensiv, sodass sie für kleinere und mittlere Unternehmen häufig nicht umsetzbar waren. Die mangelnde Vernetzung zwischen Lieferanten und Handelspartnern, Kommunikationsprobleme sowie mangelndes Vertrauen zwischen den Beteiligten stellten wiederholt identifizierte Hemmnisse dar. Darüber hinaus basierte die Authentizität von Produkten und die Einhaltung von Standards häufig auf Papierzertifikaten, deren Verlust oder Fälschung ein nicht zu unterschätzendes Risiko darstellte.⁴³

Die Blockchain-Technologie transformiert das Vertrauensparadigma, indem eine technologisch verankerte Vertrauensbasis geschaffen wird, die sich durch die genannten zentralen Eigenschaften auszeichnet. Dies kann zu einer Optimierung der Resilienz und Effizienz von Lieferketten führen.⁴⁴

Das Konzept des "Trustless Trust" bildet das zentrale Paradigma der Blockchain-Technologie. Das Vertrauen wird nicht mehr in zentrale Instanzen oder Mittelsmänner gesetzt, sondern ergibt sich direkt aus den inhärenten, durch Kryptografie und programmierbare Logik gesicherten Eigenschaften des Systems. Die Blockchain gewährleistet durch mathematische und algorithmische Unveränderbarkeit sowie durch die automatische Durchsetzung von Regeln mittels Smart Contracts eine

⁴³ Vgl. Kshetri, 2018.

⁴⁴ Vgl. Hossain et al., 2025.

manipulationssichere und transparente Umgebung. Dies ermöglicht insbesondere im Kontext des Supply Chain Managements die direkte und verifizierbare Interaktion auch zwischen nicht vertrauenden Parteien. Die unveränderliche und transparente Transaktionshistorie schafft ein hohes Maß an Rechenschaftspflicht, während kryptografische Verfahren wie digitale Signaturen und Hashfunktionen die Integrität und Authentizität der Daten sicherstellen. Dadurch wird die Notwendigkeit manueller Überprüfungen oder externer Audits erheblich reduziert, sobald Daten einmal vertrauenswürdig in der Blockchain verankert sind.⁴⁵

Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die Bezeichnung "Trustless Trust" nicht impliziert, dass jegliches Vertrauen obsolet wäre. Vielmehr wird der Vertrauenspunkt in diesem Fall verschoben. Das Vertrauen in die Korrektheit des zugrunde liegenden Codes der Smart Contracts sowie in die Validität der in die Blockchain eingespeisten Daten ist nach wie vor essenziell. Die Schnittstelle zwischen der physischen Welt und der digitalen Abbildung, auch als "Digital-Analog-Link" bezeichnet, bleibt anfällig für Fehler und Manipulationen. Um die Verbindung zwischen physischen Produkten und der Blockchain zu sichern, sind daher zusätzliche technische Maßnahmen erforderlich. Zu diesen Maßnahmen zählen unter anderem Sensoren oder Barcodes.⁴⁶

2.2.2 Zwischen Potential und Umsetzung: Der aktuelle Stand

Die Blockchain-Technologie hat das Potenzial, ganze Lieferketten zu transformieren. Ihre effektive Anwendbarkeit und ihr Nutzen für Unternehmen sind jedoch noch Gegenstand intensiver Forschung und praktischer Erprobung. Dennoch gibt es bereits konkrete Beispiele für die

⁴⁵ Vgl. Tschorsch et al., 2016.

⁴⁶ Vgl. Kouhizadeh et al., 2020.

Implementierung in verschiedenen Bereichen des Supply Chain Managements (SCM).

2.2.2.1 IBM und Walmart

Die globale Lebensmittelversorgungskette kann als ein komplexes und fragmentiertes Netzwerk charakterisiert werden, das die Produkte von der Landwirtschaft bis zum Verbraucher transportiert. Das vorliegende System weist Schwachstellen in Bezug auf Herausforderungen wie lebensmittelbedingte Erkrankungen, Lebensmittelbetrug, ineffiziente Rückrufe und Lebensmittelverschwendung auf. Jährlich erkranken Schätzungen der WHO zufolge ca. 600 Millionen Menschen weltweit an Krankheiten durch kontaminierte Lebensmittel, wobei 420.000 Menschen daran sterben.⁴⁷ Als Beispiele für die Erschütterung des Vertrauens der Öffentlichkeit können der EHEC-Ausbruch bei Spinat in den USA im Jahr 2006, der Melamin-Skandal in China 2008 oder der Pferdefleischskandal in der EU 2013 genannt werden. Diese Skandale haben erhebliche wirtschaftliche Schäden verursacht, die auf bis zu 40 Milliarden Dollar jährlich durch Lebensmittelbetrug geschätzt werden.⁴⁸

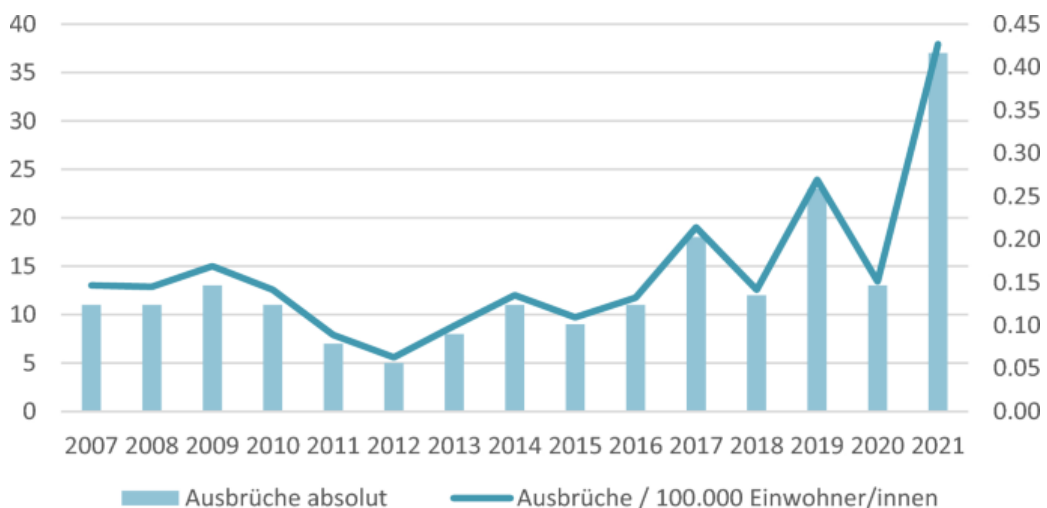


Abbildung 5: Lebensmittelbedingte Krankheitsausbrüche in der Schweiz⁴⁹

⁴⁷ Vgl. World Health Organization, 2024.

⁴⁸ Vgl. Mountcastle et al., 2020.

⁴⁹ Vgl. Lüthi et al., 2023.

Das Kernproblem bei solchen Vorfällen ist die mangelnde Rückverfolgbarkeit und Transparenz in den traditionellen Lieferketten. Das gängige "One up, One down"-Prinzip, bei dem jeder Teilnehmer nur seinen direkten Lieferanten und Kunden kennt, erweist sich als unzureichend. Bei Verdacht auf Kontaminationen können manuelle Überprüfungen von Papierdokumenten einen Zeitraum von Wochen oder sogar Monaten in Anspruch nehmen. Dies erfordert in vielen Fällen umfassende Produktrückrufe, bei denen ganze Produktlinien oder Ernten entsorgt werden müssen, auch wenn nur eine geringe Anzahl von Produkten von dem Fehler betroffen ist.⁵⁰

Walmart, einer der führenden Lebensmitteleinzelhändler in den USA, der wöchentlich 270 Millionen US-Amerikaner versorgt und jährlich 15 Milliarden Dollar für die Beschaffung aufwendet, sah sich einer intensiven Beobachtung gegenüber, als es darum ging, diese Probleme anzugehen.⁵¹ Bereits in der Frühphase seiner Unternehmensgeschichte implementierte das Unternehmen Maßnahmen zur Optimierung der Lieferkette, darunter die direkte Zusammenarbeit mit Herstellern, die Einführung von Vendor Managed Inventory und die Anwendung von Cross-Docking-Logistik zur Kostensenkung. Dennoch sind die Kernprobleme der Rückverfolgbarkeit und Transparenz weiterhin gegeben.⁵²

Frank Yiannas, der damalige Vizepräsident für Lebensmittelsicherheit bei Walmart, erkannte die Dringlichkeit der Situation und die Notwendigkeit einer transparenteren Lieferkette, da das bestehende "One-Step-Up und One-Step-Back"-Modell für das 21. Jahrhundert veraltet war. Obwohl er anfangs gegenüber der Einführung eines weiteren Rückverfolgbarkeitssystems skeptisch eingestellt war, da frühere Versuche mit zentralisierten Datenbanken nicht die erhoffte Skalierbarkeit aufwiesen, wurde ihm durch Karl Bedwell, Senior Director bei Walmart

⁵⁰ Vgl. Subramanian et al., 2023.

⁵¹ Vgl. Walmart, 2025.

⁵² Vgl. Greenspan, 2024.

Technology, deutlich, dass die Blockchain-Technologie mit ihrem dezentralen, gemeinsamen Ledger für das Lebensmittelsystem ideal geeignet war, da sie Vertrauen, Unveränderlichkeit und Transparenz bietet.⁵³

Im Jahr 2016 wurde eine strategische Partnerschaft mit IBM geschlossen, um die Blockchain-Technologie zur Verbesserung der Lebensmittelsicherheit und Rückverfolgbarkeit einzusetzen. Walmart Technology hat sich für die Verwendung von Hyperledger Fabric, auf die in Kapitel 2.4.3 näher eingegangen wird, als zugrundeliegende Blockchain-Technologie entschieden. Die Wahl dieser Technologie erfolgte aufgrund ihrer Eignung für Enterprise-Grade-Anwendungen, ihrer Unterstützung für Permissioned-Netzwerke, ihrer modularen Architektur mit Plug-and-Play-Komponenten wie Konsens- und Mitgliedschaftsdiensten sowie ihrer Open-Source- und Anbieterneutralität. Die Notwendigkeit eines offenen und neutralen Systems war von entscheidender Relevanz, da eine Nutzung durch zahlreiche Akteure, einschließlich Wettbewerber, vorgesehen war.⁵⁴

Im Oktober des Jahres 2016 initiierten die Unternehmen Walmart und IBM das Schweinefleisch- und Mango-Pilotprojekt. Ziel dieser Projekte war es, die Effektivität einer Blockchain-Lösung zu testen.

China nimmt eine herausragende Stellung als globaler Spitzenproduzent und Konsument von Schweinefleisch ein. Allerdings ist das Land auch von einer Reihe von Lebensmittelsicherheitsskandalen und einem damit verbundenem Misstrauen in Bezug auf die Lieferkette betroffen. Im Jahr 2011 wurde Walmart aufgrund der fehlerhaften Kennzeichnung von Schweinefleisch kritisiert. Das Ziel des Projektes bestand in der Stärkung des Vertrauens in die Herkunft und Qualität von Schweinefleisch. Im Rahmen des Schweinefleisch-Pilotprojekts wurde die Rückverfolgung

⁵³ Vgl. Mearian, 2018.

⁵⁴ Vgl. Hyperledger, 2019.

bereits in der Produktionskette begonnen, wobei jedes Schwein mit einem Barcode versehen wurde. Die Bewegungen der Tiere wurden mittels RFID und Kameras aufgezeichnet, ebenso wie der gesamte Produktionsprozess in den Schlachthöfen. Darüber hinaus waren die Versand-Lkws mit Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren sowie GPS-Systemen ausgestattet, um sichere Transportbedingungen zu gewährleisten. Bei Überschreitung der Schwellenwerte wurden Alarmer ausgelöst. Einkaufsmanager hatten dadurch die Möglichkeit, Informationen wie Verfallsdaten und Lagertemperaturen aus der Ferne abzurufen.⁵⁵

Mangos weisen eine erhöhte Anfälligkeit für Kontaminationen mit Listeria und Salmonella auf. Das Projekt zielte darauf ab, die Übertragbarkeit und Verantwortlichkeit über Grenzen hinweg zu demonstrieren. Für das Mango-Pilotprojekt führte Frank Yiannas ein wegweisendes Experiment durch: Er erwarb ein Päckchen geschnittener Mangos und beauftragte sein Team, den Ursprung des Produktes mit möglichst geringem Zeitverzug zu ermitteln. Die manuelle Nachverfolgung erstreckte sich über einen Zeitraum von sieben Tagen. Die Blockchain-Lösung ermöglichte eine Reduzierung der Rückverfolgungszeit auf 2,2 Sekunden. Die Erfassung der Daten erfolgte entlang der gesamten Lieferkette, wobei die Produktionsphase (einschließlich Qualität, potenzielle Verluste durch Saftverbrennungen, Prellungen, Schäden, schlechte Erntemethoden) sowie die Verarbeitung und der Vertrieb miteinbezogen wurden. Im Rahmen des Prozesses wurden Informationen wie landwirtschaftliche Behandlungen, Identifikationsnummern, Hersteller, Audit-Protokolle, Bodengüte, Düngemittel, Lagertemperaturen und Versanddetails in Echtzeit als E-Zertifikate hochgeladen und mittels QR-Codes mit den Produktverpackungen verknüpft.⁵⁶

⁵⁵ Vgl. Kamath, 2018.

⁵⁶ Vgl. Kamath, 2018.

The Walmart Story: With Blockchain

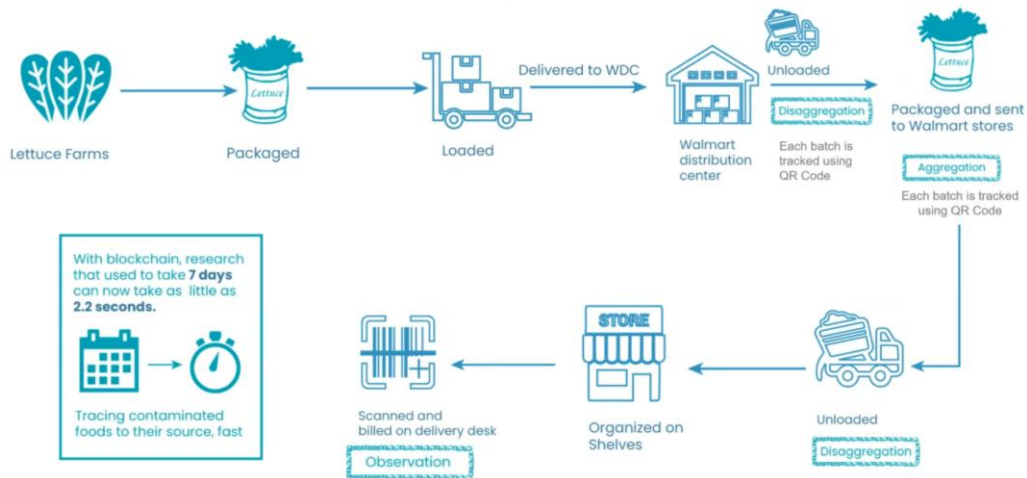


Abbildung 6: Visualisierung der Lieferkette bei Walmart mit Blockchain-Technologie⁵⁷

Nach dem Erfolg der Pilotprojekte plante Walmart nicht nur eine interne Ausweitung der Technologie, sondern auch die Einbeziehung anderer Akteure der Lebensmittelindustrie. Im August 2017 kündigten IBM und Walmart eine erweiterte Zusammenarbeit zur Gründung von IBM Food Trust an. Diese Initiative führte zur Zusammenarbeit weiterer Branchenführer, darunter Dole, Driscoll's, Golden State Foods, Kroger, McCormick and Company, McLane Company, Nestlé, Tyson Foods und Unilever. Der IBM Food Trust stellt eine innovative Entwicklung in puncto Lebensmittelsicherheit dar. Es handelt sich um eine Lösung, die darauf abzielt, die Transparenz und Sicherheit der globalen Lebensmittelversorgungskette zu erhöhen. Das System umfasst eine beachtliche Anzahl von Teilnehmern, die sich auf mehrere hundert belaufen kann.⁵⁸

Walmart hat ebenfalls damit begonnen, seine Zulieferer dazu zu verpflichten, dem System beizutreten. Seit der Implementierung haben sich über 300 Lieferanten und Käufer dem Netzwerk angeschlossen, und Millionen von verpackten Lebensmitteln sind in der Blockchain erfasst. Der US-amerikanische Einzelhandelskonzern Walmart nutzt inzwischen

⁵⁷ Vgl. Big Data Trunk, 2020.

⁵⁸ Vgl. Kamath, 2018.

die Blockchain-Technologie von IBM, die auf der Software Hyperledger Fabric basiert, um den Überblick über mehr als 25 Produkte von fünf verschiedenen Lieferanten zu behalten. Zu den relevanten Nahrungsmitteln zählen frische Produkte, wie beispielsweise Mangos, Erdbeeren und Blattgemüse, sowie Fleisch und Geflügel (Hähnchen, Schweinefleisch), Milchprodukte (Joghurt, Mandelmilch) und Multi-Zutaten-Produkte (verpackte Salate, Babynahrung). Nach einem signifikanten EHEC-Ausbruch, der im Jahr 2018 bei Römersalat festgestellt wurde, forderte Walmart sämtliche Zulieferer von frischem Blattgemüse dazu auf, die Nachvollziehbarkeit ihrer Produkte mittels des Blockchain-Systems zu gewährleisten.⁵⁹

Das Engagement von Walmart in der Blockchain-Technologie erstreckt sich zudem auf andere Regionen und Bereiche. Im Jahr 2019 initiierte Walmart China eine neue Blockchain-Rückverfolgbarkeitsplattform, die auf der VeChainThor-Blockchain basiert. Ziel dieser Initiative ist es, Transparenz und Managementeffizienz zu fördern. Chinesische Verbraucher können mittels eines QR-Codes Informationen zu Herkunft, Inhaltsstoffen und Logistikdaten abrufen. Auch Walmart Kanada nutzt seit 2020 eine Blockchain-basierte Lieferkettenplattform namens DL Freight als nationalen Standard für die Rechnungsstellung und das Zahlungsmanagement, um Einsparungen, Effizienz und Vertrauen zu erhöhen.⁶⁰

2.2.2.2 Weitere Praxisprojekte zur Veranschaulichung des Einsatzpotentials

Ein weiteres prägnantes Fallbeispiel ist das Start-up-Unternehmen Everledger. Es setzt die Blockchain-Technologie ein, um die Rückverfolgbarkeit und Authentizität von hochwertigen Gütern wie Diamanten zu gewährleisten. Die Edelsteinbranche sieht sich seit

⁵⁹ Vgl. Pixelplex, 2022.

⁶⁰ Vgl. Gaur et al., 2020.

Langem mit Herausforderungen wie der Verbreitung von „Blutdiamanten“ oder gestohlener Ware sowie der allgemeinen Schwierigkeit konfrontiert, die Herkunft und Qualität von Edelsteinen lückenlos zu belegen. Traditionelle Verifizierungssysteme sind oft manuell, fehleranfällig und anfällig für Fälschungen, was das Vertrauen der Verbraucher untergräbt. Everledger begegnet diesem Problem mit einem auf der Blockchain basierenden System, das Diamanten anhand einer Vielzahl von Datenpunkten – von der Mine über den Schleifprozess bis zum Verkauf an den Endkunden – eindeutig identifiziert und diese Informationen öffentlich zugänglich macht. Jeder Diamant erhält sozusagen eine digitale „Geburtsurkunde“, die alle relevanten Informationen über seine Eigenschaften und seinen Weg durch die Lieferkette enthält. Diese Daten sind auf der Blockchain unveränderlich und fälschungssicher gespeichert. Potenziellen Käufern wird so ermöglicht, die Herkunft und Echtheit eines Diamanten jederzeit zu überprüfen. Somit können sie sicherstellen, dass es sich weder um einen Konfliktdiamanten noch um Hehlerware handelt.⁶¹

Ein drittes innovatives Beispiel, das sich mit der Herkunftsverfolgung und dem Schutz vor Fälschungen in der Modebranche befasst, ist ein Pilotprojekt der UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) zur Stärkung der Marke „Made in Italy“. Das Projekt wurde ins Leben gerufen, um Fälschungen italienischer Modemarken zu bekämpfen. Mithilfe der Blockchain-Technologie werden alle Aspekte der Herstellung und der Lieferkette auf der Blockchain erfasst und gespeichert. Dadurch ist eine transparente und unveränderliche Dokumentation des gesamten Produktlebenszyklus möglich – von der Rohstoffgewinnung über die Produktion bis zum Endprodukt. Das System kann dabei helfen, die Einhaltung von Nachhaltigkeitsstandards zu dokumentieren, indem Transportdokumente, Rechnungen sowie Qualitäts- und Herkunftszertifikate in die Blockchain geladen werden.

⁶¹ Vgl. Petersen, 2022.

Solche Projekte zielen darauf ab, die Authentizität und Herkunft von Produkten nachzuweisen. Dies dient nicht nur dem Markenschutz, sondern ermöglicht es auch den Verbrauchern, fundierte Entscheidungen bezüglich der Herkunft und Nachhaltigkeit der Produkte zu treffen. Dies ist ein Paradebeispiel dafür, wie die Blockchain-Technologie über rein finanzielle Anwendungen hinausgeht, um die Integrität physischer Güter und die Glaubwürdigkeit von Marken zu sichern.⁶²

2.3 Chancen von Kryptowährungen und Token im SCM

Die bisherigen Beispiele zeigen, wie Blockchain Transparenz und Effizienz in Lieferketten verbessern kann. Doch erst die Verbindung mit Krypto, z. B. durch Tokenisierung von Nachhaltigkeitsleistungen oder Anreizsysteme, eröffnet neue Potenziale, insbesondere im Hinblick auf ESG-Ziele und regulatorische Anforderungen.

2.3.1 Plastic Bank

Die Plastic Bank ist ein soziales Finanztechnologieunternehmen (Social Fintech), das ein globales Flaschenpfandsystem betreibt und sich der Aufgabe verschrieben hat, Armut zu beenden und Plastikverschmutzung zu stoppen. Die Vision, die dem Unternehmen zugrunde liegt, wurde am 9. Mai 2013 von dem Gründer und CEO David Katz entwickelt. Er erkannte, dass der Großteil des Plastikmülls, der in die Umwelt gelangt, aus Armutsregionen stammt. Die Auswahl der Einsatzländer durch Plastic Bank erfolgt nach sorgfältiger Evaluation anhand spezifischer Kriterien, darunter das Volumen des ins Meer gelangenden Plastiks, das Armutsniveau, die Bevölkerungsdichte, die vorhandene Sammelinfrastruktur sowie der Zugang zu lokalen Verarbeitern. Derzeit werden von Plastic Bank Sammelstellen in Ländern wie Indonesien, den

⁶² Vgl. UNECE, 2024.

Philippinen, Brasilien, Ägypten, Thailand und Kamerun betrieben.⁶³ Beispielsweise sind die Philippinen sind das Land, das am meisten zur Meeresplastikverschmutzung beiträgt, gefolgt von Indien, Malaysia und China.⁶⁴ Die Mission des Unternehmens besteht darin, durch das Sammeln von Plastik die Umwelt zu regenerieren, Gemeinschaften dabei zu unterstützen, Wege aus der Armut zu finden, indem sie Plastik gegen Geld tauschen, und Unternehmen zu befähigen, im Rahmen der "Purpose Economy" (Wertorientierung vor Profitorientierung) Wirkung zu erzielen und zu wachsen.

Ein wesentliches Problem, mit dem sich Plastic Bank konfrontiert sieht, ist die Tatsache, dass viele Entwicklungsländer über unzureichende Abfallwirtschaftssysteme und Recyclingprogramme verfügen. Dies resultiert in einer signifikanten Menge an Einwegplastik, das letztlich in die Ozeane gelangt. Plastic Bank begegnet dieser Herausforderung, indem es Plastik einen wirtschaftlichen Wert verleiht und es somit zu wertvoll macht, um in der Umwelt zurückgelassen zu werden. Die Mitglieder der Sammlungsgemeinschaften, die als "Collection Members" bezeichnet werden, sammeln weggeworfenes Plastik aus der Umwelt und tauschen es an zertifizierten Sammelstellen ("Collection Branches") von Plastic Bank ein. Das gesammelte Plastik wird als "Social Plastic®" bezeichnet, da es nicht nur die Umwelt reinigt, sondern auch das soziale Wohl der Sammler verbessert. Das Material wird anschließend verarbeitet und als Social Plastic®-Rohmaterial in die globale Lieferkette zurückgeführt, um in neuen Produkten und Verpackungen verwendet zu werden. Dieser Prozess trägt zur Reduzierung des Bedarfs an neuem Plastik und zur Förderung einer Kreislaufwirtschaft bei.⁶⁵

Die von Plastic Bank entwickelte Plattform, die auf der Blockchain-Technologie basiert, stellt das Fundament des Geschäftsmodells des

⁶³ Vgl. Katz, 2019.

⁶⁴ Vgl. Ritchie, 2021.

⁶⁵ Vgl. Katz, 2019.

Unternehmens dar. Die "PlasticBank® App" spielt eine zentrale Rolle bei der Gewährleistung von Rückverfolgbarkeit, Transparenz und der Schaffung von Anreizen auf globaler Ebene.⁶⁶

Anstelle von Bargeld erhalten die Sammler für ihr gesammeltes Plastik digitale Token über die PlasticBank® App. Diese digitalen Wertpapiere werden in einer digitalen Geldbörse innerhalb der Applikation gespeichert und repräsentieren für zahlreiche Sammler*innen das erste eigene Sparkonto. Dieses System ist von entscheidender Bedeutung für die Förderung der finanziellen Inklusion in Regionen, die von Armut betroffen sind. Die digitalen Token fungieren als universelles Zahlungsmittel, das gegen eine Vielzahl von Gütern und Dienstleistungen eingetauscht werden kann. Diese reichen über das reine Bargeld hinaus und sind auf die spezifischen Bedürfnisse der jeweiligen Gemeinschaft zugeschnitten. Exemplarisch seien an dieser Stelle Lebensmittelgutscheine, aber auch der Zugang zu Gesundheits- und Unfallversicherungen, Schulmaterialien, digitaler Konnektivität und sogar zinslosen Krediten. Die Möglichkeit, diese Token zu speichern und gegen lebensverbessernde Leistungen einzutauschen, bietet den Sammlern nicht nur ein Einkommen, sondern erfüllt auch grundlegende soziale Bedürfnisse und trägt zur Verbesserung ihrer Lebenssituation bei. Ein signifikanter Vorteil dieser digitalen Token liegt in ihrer Sicherheit: Im Gegensatz zu Bargeld können sie Sammlern nicht so leicht abgenommen werden, und Smart Contracts gewährleisten, dass vereinbarte Bedingungen erfüllt und Prämien effizient und transparent ausgezahlt werden.⁶⁷

Die zugrunde liegende Blockchain-Technologie ermöglicht eine lückenlose End-to-End-Verfolgung des gesammelten Plastiks. Die Abgabe von Plastik an einer Sammelstelle löst die Vergabe einer einzigartigen digitalen Identifikationsnummer für jedes Kilogramm aus.

⁶⁶ Vgl. Plastic Bank, 2024.

⁶⁷ Vgl. Priyana, 2023.

Diese wird auf der Blockchain-Plattform registriert und nachverfolgt.⁶⁸ Diese Identifikationsnummer ermöglicht es Plastic Bank und ihren Partnern, den gesamten Materialfluss zu überwachen. Die Überwachung umfasst die Sammlung und den Tausch durch die Sammler sowie die Verarbeitung zu Social Plastic®-Rohmaterial und dessen Integration in neue Produkte und Verpackungen. Die detaillierte Rückverfolgbarkeit ist dabei von entscheidender Bedeutung, um die Glaubwürdigkeit der Nachhaltigkeitsaussagen von Unternehmen zu gewährleisten, die mit Plastic Bank kooperieren.⁶⁹



Abbildung 7: Wertschöpfungskreislauf bei Plastic Bank auf Basis digitaler Tokens⁷⁰

Seit der Gründung von Plastic Bank konnten beachtliche Erfolge verzeichnet werden. Die Gemeinschaft, die sich aus über 59.899 Mitgliedern in 556 Gemeinden zusammensetzt, hat bis August 2024

⁶⁸ Vgl. Plastic Bank, 2024.

⁶⁹ Vgl. Plastic Bank, 2023.

⁷⁰ Vgl. Plastic Bank, 2021.

insgesamt 165 Millionen Kilogramm Plastikmüll gesammelt. Plastic Bank kooperiert mit einer Vielzahl globaler Akteure, darunter namhafte Konzerne wie Henkel, Aldi, dm-drogerie markt, SC Johnson, CooperVision, Reckitt, Metro und Lorenz. Diese Partnerschaften ermöglichen es den Unternehmen, ihren ökologischen Fußabdruck auszugleichen und sich an nachhaltigen Lieferketten zu beteiligen.⁷¹

2.4 Use Case „BeeFair“ – Tokenisierung der Honig-Lieferkette

In diesem Abschnitt wird ein innovativer Use Case namens "BeeFair" vorgestellt, der die Blockchain-Technologie zur Optimierung der Honig-Lieferkette nutzt. Das Ziel ist es, die Transparenz, Rückverfolgbarkeit, Fairness und Nachhaltigkeit in einer traditionell intransparenten Branche durch den Einsatz digitaler Token zu fördern.

2.4.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die Honigbranche sieht sich derzeit mit gravierenden Herausforderungen konfrontiert, die hauptsächlich auf intransparente Lieferketten und weitreichende Fälschungspraktiken zurückzuführen sind. In einer weltweiten Analyse der Fälschungshäufe im Lebensmittelbereich wird Honig in vielen Fällen an dritter Stelle aufgeführt, oft nach Milch und Olivenöl. Innerhalb der Europäischen Union wird die Anzahl potenziell gefälschter Honige auf bis zu 46 % geschätzt. Eine von der Europäischen Kommission koordinierte Aktion in den Jahren 2021 bis 2022 bestätigte diese Besorgnis, indem 147 von 320 analysierten Proben aufgrund des Nachweises von Fremdzucker als verdächtig eingestuft wurden. Die vorliegende Verdachtsquote ist signifikant höher als die einer früheren

⁷¹ Vgl. Plastic Bank, 2025.

EU-weiten Kontrollplanung aus den Jahren 2015–2017, in welcher eine Nichtkonformität von 14 % der Proben festgestellt wurde.⁷²

Die am häufigsten angewandte Methode der Honigfälschung besteht in der Beimischung kostengünstiger Zuckersirupe, wie Glukose-, Reis-, Weizen- oder Zuckerrübensirup, mit dem Ziel, das Volumen des Honigs zu erhöhen und die Produktionskosten zu reduzieren. Diese Sirupe sind signifikant kostengünstiger als echter Honig. So betrug der durchschnittliche Preis für importierten Honig in der EU im Jahr 2021 etwa 2,17 EUR pro Kilogramm, während Reissirup für lediglich 0,40 bis 0,60 EUR pro Kilogramm erhältlich war. Neben der reinen Verdünnung werden mitunter auch nicht erlaubte Chemikalien und Zusätze verwendet, um die Honigparameter künstlich zu beeinflussen, beispielsweise zur Verbesserung der Enzymwerte oder der Farbe. In diese Kategorie fallen auch illegale Antibiotika wie Chloramphenicol, die bereits in minimalen Dosen für den Menschen schädlich sein können.⁷³

Um die wahre Herkunft dieser gefälschten Produkte zu verschleiern, wird häufig die Praxis des sogenannten "Honey Laundering" angewandt. In diesem Kontext wird importierter Honig, der häufig aus Ländern wie China stammt und hohen Zöllen oder Einfuhrverboten unterliegt, über Drittländer wie Vietnam umdeklariert, um Ursprungsangaben zu umgehen. Dies erschwert die Rückverfolgung des Honigs zu dessen tatsächlicher Quelle erheblich.⁷⁴

Die Komplexität der Betrugsmaschen sowie die unzureichenden und veralteten offiziellen Analysemethoden zur Echtheitsprüfung von Honig erschweren jedoch eine adäquate Aufdeckung solcher Fälle. Obwohl fortschrittliche Techniken wie DNA-Analysen vielversprechende Ergebnisse im Nachweis gefälschten Honigs zeigen, sind diese Verfahren noch nicht flächendeckend standardisiert, akkreditiert oder in allen amtlichen Kontrolllaboren vollständig implementiert. Diese technologische Lücke ermöglicht es Betrügern, ihre Methoden

⁷² Vgl. European Commission, 2023.

⁷³ Vgl. European Commission, 2021.

⁷⁴ Vgl. Ahmad et al., 2021.

kontinuierlich anzupassen, um gängige Tests zu bestehen. Solange moderne Methoden nicht schnell und ausreichend finanziert eingeführt werden, haben sie somit "freie Hand". Die mangelnde Nachverfolgbarkeit hinsichtlich Herkunft, Qualität und ökologischer Standards konstituiert ein fundamentales Problem. Die aktuelle Kennzeichnung, die lediglich die Herkunft des Honigs aus "EU-Ländern und/oder Nicht-EU-Ländern" angibt, bietet den Verbraucher nur eine unzureichende Transparenz. Obwohl die überarbeitete EU-Honigrichtlinie 2024/1438 ab Juni 2026 eine obligatorische Angabe aller Ursprungsländer und deren prozentualen Anteile vorschreibt, bestehen Bedenken bezüglich einer möglichen "4-Länder-Option", die die vollständige Transparenz weiterhin einschränken könnte. Darüber hinaus erschwert das Fehlen von Listen zugelassener Betriebe in Drittländern, die Honig in die EU exportieren, eine effektive Intensivierung der Importkontrollen gegen Betrug.⁷⁵

Der Einsatz von Billig-Fake-Honig führt zu einem signifikanten Preisverfall auf dem Markt, was zu einem erheblichen Wettbewerbsnachteil für seriöse Imker führt. Eine Vielzahl von Berufsimkereien sieht sich mit der Herausforderung konfrontiert, ihre wirtschaftliche Existenz zu sichern. Einige sind bereits gezwungen, ihre Tätigkeit einzustellen oder die Anzahl ihrer Bienenvölker zu reduzieren. Die Produktionskosten für Honig in der Europäischen Union sind in kurzer Zeit signifikant angestiegen, was die Situation zusätzlich verschärft. Ein Endverbraucherpreis von 1,99 € pro Glas reinen Honigs wird als nicht realistisch angesehen. Diese wirtschaftliche Notlage gefährdet nicht nur die Honigproduktion, sondern auch die Ernährungssicherheit in der EU, da ein Rückgang der Imkerei zu einer unzureichenden Bestäubung landwirtschaftlicher Kulturen führen kann.⁷⁶

Obwohl die Gefahr für die Gesundheit der Verbraucher bei einer reinen Zuckerbeimischung oft als gering eingeschätzt wird, besteht diese

⁷⁵ Vgl. European Commission, 2024.

⁷⁶ Vgl. Deutscher Berufs- und Erwerbssimkerbund e.V., 2024.

insbesondere durch nicht deklarierte und schädliche Substanzen. Beispielsweise zählen zu den nachgewiesenen Schadstoffen Schwermetalle, die in illegal importiertem Honig aus China nachgewiesen wurden. Die unzureichende Überprüfung von Qualitätsparametern, welche eine schonende Verarbeitung und Lagerung des Honigs belegen würden, kann dazu führen, dass Verbraucher Produkte erhalten, welche nicht die erwarteten positiven Eigenschaften eines Naturprodukts aufweisen. Darüber hinaus sind bei der Produktion von als "bienenfreiem" Honig bezeichnetem Produkt mittels gentechnisch veränderter Bakterien potenzielle, bisher noch nicht erkannte Gesundheitsrisiken zu berücksichtigen.⁷⁷

Ein weiteres gravierendes Problem stellt die Gefährdung der Bienenpopulationen dar, die durch menschliche Praktiken verschärft wird. Die intensive Nutztierhaltung der Honigbiene, selbst in der Hobbyimkerei, wird kritisiert, da sie die Bienen ausbeutet und ihre natürlichen Anpassungsfähigkeiten und Widerstandskräfte schwächt. Die Verwendung von Bienenkästen, die hinsichtlich ihrer Größe und Isolation unnatürliche Eigenschaften aufweisen, wird vornehmlich auf die Optimierung der Honiggewinnung und Handhabbarkeit ausgerichtet. Diese Praxis hat oft die Folge, dass das Raumklima ungesund, feucht und kalt wird. In der Folge können sich Pilze, Keime und Parasiten stark vermehren. Zudem wird den Bienen durch die schlechten Haltungsbedingungen ein immenser Energieaufwand abverlangt.

Die hohe Dichte von Bienenvölkern auf kleinem Raum kann als eine Form der Massentierhaltung betrachtet werden, die das Risiko von Krankheitsübertragungen erhöht und die Konkurrenz mit Wildbienen verstärkt. Die systematische Verabreichung von zuckerreichem, aber nährstoffarmem Zuckersirup als Substitut für den entnommenen Honig resultiert in einer Schwächung des Immunsystems der Bienen.⁷⁸

⁷⁷ Vgl. Stephan, 2024.

⁷⁸ Vgl. van Engelsdorp et al., 2009.

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die Honigbranche mit einer vielschichtigen Krise konfrontiert ist. Die Integrität des Honigs als Naturprodukt wird durch ausgeklügelte Fälschungsmethoden und das Fehlen effektiver, standardisierter Kontrollen untergraben, was zu wirtschaftlichen Nachteilen für die ehrlichen Imker führt. Gleichzeitig gefährden zeitgenössische Praktiken der Bienenzucht in Kombination mit Umweltfaktoren, wie dem Pestizideinsatz, die Existenz und Gesundheit der Bienenpopulationen. Diese sind für die Honigproduktion sowie für die globale Ernährungssicherheit von entscheidender Bedeutung.⁷⁹

2.4.2 Motivation und Zielsetzung

Der Use Case "BeeFair" zielt darauf ab, die Honig-Lieferkette durch den Einsatz digitaler Token und der Blockchain-Technologie vollständig transparent und nachvollziehbar zu gestalten – vom Bienenstock bis ins Supermarktregal. Die Motivation ergibt sich aus den vielschichtigen Problemen der Honigbranche, die ausführlich dargelegt worden sind. Der BeeFair-Ansatz adressiert diese Herausforderungen mit einer technologisch und organisatorisch integrierten Lösung.

Der Fokus des vorliegenden Konzepts liegt auf einer eigens entwickelten digitalen Plattform, die eine Applikation umfasst. Über diese Plattform werden sowohl Imker als auch Verbraucher direkt eingebunden.

Imker haben dort die Möglichkeit, Produktionsdaten zu erfassen, Nachhaltigkeitsnachweise hochzuladen und sich zertifizieren zu lassen. Die Daten werden entweder automatisiert (beispielsweise durch IoT-Sensorik wie digitale Waagen oder GPS) oder manuell (beispielsweise Prüfberichte, Zertifikate) in einer Blockchain gespeichert. Die Auslösung eines Smart Contract erfolgt unter der Voraussetzung der Erfüllung eines definierten Kriterienkatalogs. Als Resultat wird ein digitaler Anreiz in Form

⁷⁹ Vgl. Goulson et al., 2015.

von BeeFair-Token emittiert. Dieser ist als ein Instrument zur Förderung nachhaltiger und transparenter Imkereipraktiken konzipiert.

Auch für Verbraucher ergeben sich Vorteile: Der Zugriff auf die Herkunftsinformationen, Umweltstandards und Qualitätsparameter der jeweiligen Charge erfolgt mittels eines QR-Codes auf dem Honigglas, welcher in der App decodiert werden kann. Wer sich bewusst für nachhaltigen Honig entscheidet, kann mit Gegenleistungen rechnen, die sich beispielsweise in Form von Rabatten oder exklusiven Inhalten und Produktaktionen äußern können.

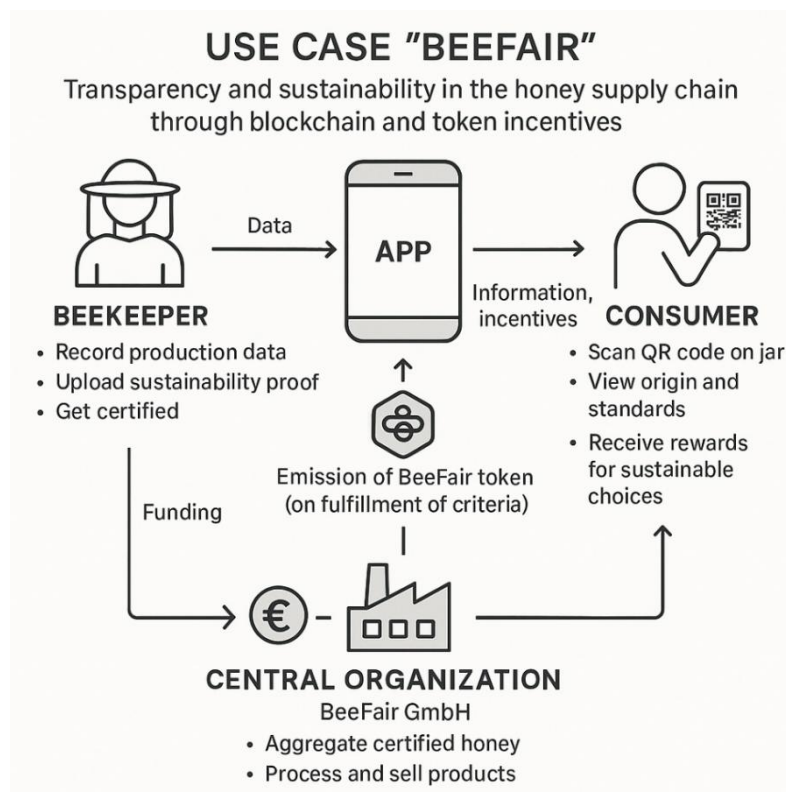


Abbildung 8: Prozessgrafik des BeeFair-Use Cases - Eigene Darstellung

Die Finanzierung des Systems erfolgt durch eine zentrale Organisation, die BeeFair GmbH, die sowohl die Funktion des Betreibers der Plattform als auch die des Einzelhandelsunternehmens übernimmt. Die Organisation aggregiert den zertifizierten Honig der teilnehmenden Imkereien, übernimmt die Verarbeitung, Abfüllung und Etikettierung und vertreibt die Produkte unter der Marke BeeFair im stationären und

digitalen Handel. Die Generierung von Einnahmen aus dem Honigverkauf sowie die Initiierung strategischer Partnerschaften tragen zur Refinanzierung des Ökosystems bei. Langfristig könnten zudem Fördermittel für biodiversitätsfördernde Landwirtschaft sowie CO₂-Zertifikate eine Rolle spielen.

Das Projekt BeeFair zielt demnach auf eine doppelte Wirkung ab. Einerseits wird auf technischer Ebene die Rückverfolgbarkeit entlang der gesamten Lieferkette ermöglicht, andererseits wird auf ökonomischer Ebene ein Belohnungssystem für verantwortungsvolles Handeln etabliert, sowohl auf Seiten der Imker als auch der Konsumenten.

2.4.3 Systemarchitektur und Funktionslogik der BeeFair-Plattform

Die technologische Basis des BeeFair-Use-Cases bildet eine Permissioned Blockchain, konkret die Open-Source-Architektur Hyperledger Fabric, die unter der Schirmherrschaft der Linux Foundation entwickelt wurde. Die Wahl fiel bewusst auf eine private, zugangsbeschränkte Infrastruktur, um die spezifischen Anforderungen der Honig-Lieferkette hinsichtlich der Aspekte Datensicherheit, Skalierbarkeit und Teilnehmerkontrolle zu erfüllen.

Im Gegensatz zu öffentlichen Blockchains wie Ethereum oder Bitcoin, bei denen alle Akteure pseudonym agieren und Transaktionen global sichtbar sind, ermöglicht Hyperledger Fabric eine feingranulare Zugriffssteuerung über sogenannte Membership Service Provider (MSPs). Dadurch kann exakt definiert werden, welche Teilnehmer, beispielsweise zertifizierte Imkereien, unabhängige Prüfinstitutionen, die BeeFair GmbH als Plattformbetreiberin sowie Vertriebspartner, auf welche Informationen und Prozesse innerhalb des Netzwerks zugreifen dürfen. Dies gewährleistet, dass sensible Produktionsdaten, Identitätsinformationen oder betriebliche Nachweise ausschließlich in

Übereinstimmung mit den Bestimmungen der europäischen Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) verarbeitet werden, was von zentraler Relevanz ist.

Ein weiterer Vorteil von Hyperledger Fabric liegt in seiner modularen Architektur. Es konnte festgestellt werden, dass die Transaktionsverarbeitung, die Datenhaltung und die Konsensbildung voneinander entkoppelt sind. In der Konsequenz ermöglichen sie den Aufbau leistungsfähiger, skalierbarer Netzwerke, in denen Transaktionen parallel validiert werden können. Dieser Aspekt stellt einen signifikanten Vorteil gegenüber vielen Public Blockchains dar, bei denen alle Teilnehmer denselben Konsensprozess durchlaufen müssen. Die vorliegende Architektur erweist sich daher als besonders geeignet für den operativen Einsatz im landwirtschaftlichen Umfeld, beispielsweise bei der parallelen Verarbeitung einer Vielzahl von Imkerdaten oder Zertifikatsupdates.⁸⁰

Darüber hinaus unterstützt Hyperledger Fabric die Einrichtung sogenannter Channels, also verschlüsselter Subnetzwerke innerhalb der Blockchain, die den Austausch vertraulicher Informationen auf bilateraler oder sektoraler Ebene ermöglichen. Ein Beispiel ist die Verwendung von Prüfberichten, die ausschließlich mit autorisierten Stellen geteilt werden, während die allgemeinen Produktionsdaten öffentlich einsehbar bleiben. Gleichzeitig ist die Plattform in der Lage, mithilfe von Chaincode, Hyperledgers Form von Smart Contracts, sämtliche Geschäftsregeln automatisiert abzubilden. Dazu zählt etwa die Validierung von Nachhaltigkeitskriterien, die Zuteilung von Token bei erfolgreicher Prüfung oder die Protokollierung von Ereignissen in Lieferketten.⁸¹

⁸⁰ Vgl. Hyperledger, 2021.

⁸¹ Vgl. Hyperledger, 2021.

Die gesamte Blockchain fungiert dabei als fälschungssicheres, dezentrales Hauptbuch (Ledger), in dem sämtliche relevanten Informationen zur Produktion, Herkunft, Qualität und Nachhaltigkeit dokumentiert werden. Es erfolgt eine kryptografische Signatur aller Daten sowie eine Absicherung durch Hashfunktionen, bevor sie gespeichert werden. Dies gewährleistet die Integrität der Daten und ermöglicht eine kontinuierliche Verifizierbarkeit.

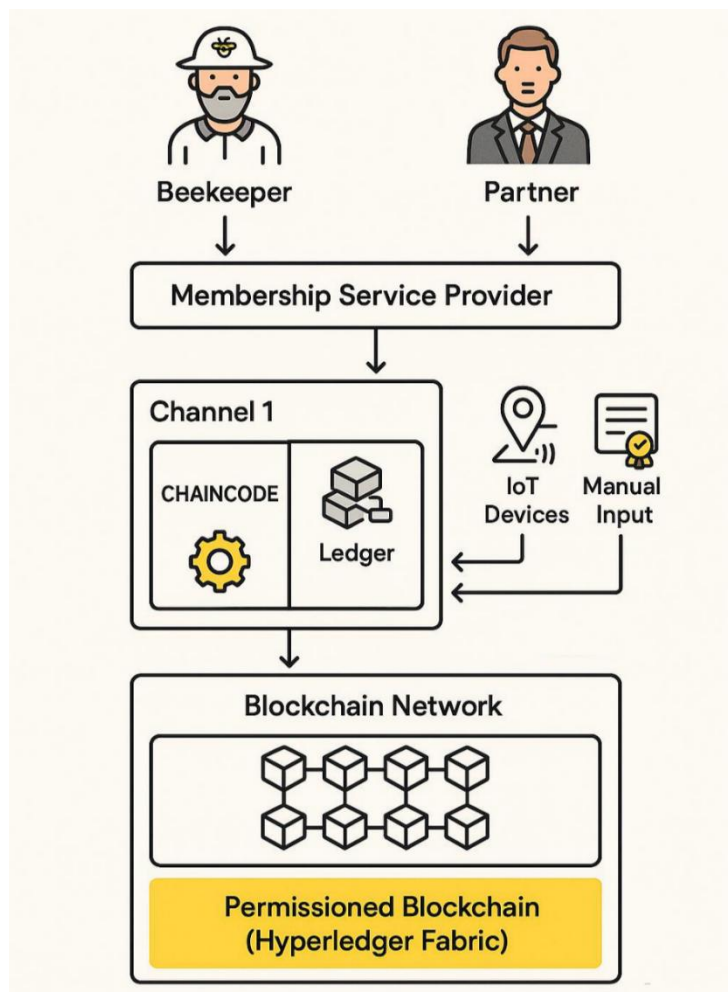


Abbildung 9: Technologische Architektur - Eigene Darstellung

Insgesamt erfüllt Hyperledger Fabric somit alle zentralen Anforderungen des BeeFair-Use-Cases: hohe Transaktionsgeschwindigkeit, Vertraulichkeit sensibler Daten, regulatorische Konformität sowie die technische Möglichkeit, differenzierte Rollenmodelle und Smart Contract-

basierte Prozesse zu implementieren. Die Technologie bildet folglich die stabile und skalierbare Grundlage für ein digitales Lieferkettenökosystem, welches sowohl dem Schutz wirtschaftlicher Interessen als auch gesellschaftlichen Anforderungen an Transparenz und Nachhaltigkeit gerecht wird.

Der Fokus des vorliegenden Fallbeispiels liegt auf der Implementierung eines digitalen Utility-Tokens, der innerhalb des Lieferkettennetzwerks die Funktion eines Anreiz- und Nachweisinstruments erfüllt. Der BeeFair-Token stellt gegenüber klassischen Kryptowährungen, die als Zahlungsmittel konzipiert sind, einen nicht übertragbaren Wertnachweis dar, der ausschließlich innerhalb des BeeFair-Ökosystems genutzt wird. Seine primäre Funktion besteht in der Erfassung nachhaltiger, transparenter und qualitätsgesicherter Imkereipraktiken, die durch einen tokenbasierten Belohnungsmechanismus sichtbar und ökonomisch attraktiv gemacht werden.

Die Zuerkennung des Tokens an Imkereibetriebe erfolgt unter der Maßgabe der Erfüllung spezifischer Kriterien, die in einem öffentlich einsehbaren Nachhaltigkeits- und Qualitätskatalog definiert wurden. Die Erfüllung dieser Anforderungen erfolgt entweder automatisiert oder durch manuelle Einreichung externer Nachweise wie Laborberichte, Zertifizierungen oder Audit-Dokumente. Um jegliche Form der Manipulation zu unterbinden, werden sämtliche Nachweisdokumente vor deren Speicherung auf der Blockchain kryptografisch gehasht und mit einem Zeitstempel versehen.

Die Validierung der eingereichten Daten erfolgt durch den zuvor genannten Chaincode, also selbstausführende Programmteile innerhalb der Blockchain. Diese prüfen auf Basis vorher definierter Regeln unabhängig, ob die Voraussetzungen für eine Token-Vergabe erfüllt sind. Dadurch wird sichergestellt, dass die Belohnung nicht subjektiven Entscheidungen unterliegt, sondern auf transparenten und technisch

überprüfbar basieren. Der Chaincode zeichnet sich durch einen modularen Aufbau aus, der eine Erweiterung um neue Prüfparameter bei Bedarf ermöglicht. Dies kann beispielsweise im Rahmen regulatorischer Anpassungen oder der Integration zusätzlicher Nachhaltigkeitsstandards erforderlich sein.

Zu den zentralen Vergabekriterien zählen unter anderem:

Kriterium	Punkte
Laborbestätigte Reinheit des Honigs (ohne Fremdzucker etc.)	4
Vollständige Standortprotokollierung via GPS-Daten	2
Teilnahme an einem Biodiversitätsprojekt (z. B. Blühstreifen)	3
Upload gültiger Bio-Zertifizierung	3
Einsatz von digitalen Stockwaagen über eine ganze Saison	2
Nachweis fairer Arbeitsbedingungen (Audit, Zertifikat)	2
Teilnahme an Umweltbildungsmaßnahmen	2

Abbildung 10: Beispielhafte punktebasierte Bewertungsmatrix für Chaincode-gesteuerte Tokenemission im BeeFair-System - *Eigene Darstellung*

Nach erfolgreicher Prüfung werden die BeeFair-Token automatisch dem jeweiligen Imkerkonto in einer selbst entwickelten BeeFair-App gutgeschrieben. Die Zuteilung der BeeFair-Token erfolgt auf Basis eines transparenten Punktesystems. Imkereien erhalten für bestimmte Handlungen und Nachweise eine definierte Anzahl an Punkten.

Erreicht der festgelegte Schwellenwert, beispielsweise 50 Punkte, den definierten Wert, wird durch den Chaincode die automatische Emission eines BeeFair-Tokens initiiert. Die Punktevergabe erfolgt auf Grundlage eines Kriterienkatalogs, welcher in Kooperation mit Branchenexperten, Umweltorganisationen und Zertifizierungsstellen entwickelt wird.

Zusätzlich zur Belohnungsfunktion kommt dem Token eine dokumentierende Rolle zu: Gemäß dem Prinzip der Blockchain-Technologie werden sämtliche Transaktionen, folglich auch die Token-Vergaben, dauerhaft und unveränderlich gespeichert. Die vorliegende Methode ermöglicht die Generierung eines lückenlosen, fälschungssicheren Herkunfts- und Qualitätsnachweises. Dieser kann sowohl für interne Zwecke, beispielsweise Audits, als auch für die externe Kommunikation, beispielsweise über einen produktindividuellen QR-Code, der auf jeder Honigverpackung angebracht ist, genutzt werden. Der vorliegende QR-Code nimmt die Funktion einer Schnittstelle zur Verbraucherebene ein. Die Kunden haben die Möglichkeit, den Code mittels der BeeFair-App zu scannen und erhalten dadurch unmittelbaren Zugriff auf sämtliche Nachhaltigkeits- und Qualitätsnachweise, die mit dem jeweiligen Produkt assoziiert sind.

Die genannte BeeFair-Applikation agiert als zentrale Schnittstelle für sämtliche Akteure im digitalen Ökosystem der Honigliefkette, insbesondere für Imkereibetriebe und Endverbraucher. Ihre Funktionalität ist modular aufgebaut und verfolgt das Ziel, sowohl die Eingabe und Validierung produktspezifischer Nachhaltigkeitsdaten als auch die transparente Bereitstellung dieser Informationen an Konsumenten zu ermöglichen. Neben der Datenverarbeitung fungiert die App zugleich als digitales Wallet für den BeeFair-Token und als Anreizplattform für nachhaltiges Verhalten.

Die vorliegende Applikation fungiert für die Imker als Instrument der digitalen Verwaltung. Das System ermöglicht die Erfassung, Übertragung und Speicherung produktionstechnischer und ökologischer Nachweise, wobei eine automatisierte oder manuelle Erfassung und Speicherung möglich ist. Die Nutzeroberfläche assistiert dem Imker sequentiell in den Prozessen der Dateneinreichung, Prüfung und Tokenvergabe. Sobald die erforderlichen Nachweise vollständig vorliegen, initiiert die App, in

Verbindung mit dem zugrundeliegenden Chaincode, automatisiert die Validierung der Daten und informiert den Imker über die erfolgreiche oder fehlgeschlagene Vergabe von Punkten bzw. Token. Die gesammelten Token ermöglichen es den Imkereien, bestimmte Vorteile zu erlangen. Dazu zählen unter anderem Preisnachlässe auf Imkereibedarf, kostenlose Zertifizierungsleistungen oder Bonusvergütungen durch die BeeFair GmbH bei Erreichen spezifischer Nachhaltigkeitsziele. Die Token dienen darüber hinaus als digitales Gütesiegel zur Verbesserung der Marktposition und erleichtern den Zugang zu BeeFair-Vertriebskanälen. Des Weiteren umfasst die App einen Token-Verlauf, ein transparentes Reporting über erreichte Nachhaltigkeitswerte sowie eine Übersicht über potenzielle Belohnungen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, über die Applikation eine Funktion zur Beantragung externer Fördermittel zu nutzen.

Für Konsumenten hingegen sind Information, Transparenz und Belohnung von größerer Bedeutung. Über einen auf jedem Honigglas angebrachten QR-Code gelangen Verbraucherinnen per Scan direkt zu den produktindividuellen Blockchain-Daten, die über die App visuell aufbereitet angezeigt werden. Es erfolgt eine transparente Darstellung der Nachhaltigkeitskriterien der jeweiligen Imkerei, wie beispielsweise die artgerechte Haltung oder Biodiversitätsinitiativen. Neben den Angaben zur Herkunft, zum Erntezeitpunkt und zu den Umweltparametern werden auch die Erfüllung der Nachhaltigkeitskriterien transparent dargestellt. Darüber hinaus bietet die Applikation den Verbrauchern die Möglichkeit, durch regelmäßigen Erwerb von BeeFair-zertifizierten Produkten sogenannte „Consumer-Tokens“ zu sammeln. Diese können auf einem integrierten Marktplatz gegen Vorteile eingetauscht werden. Zu den Instrumenten, die in diesem Kontext zum Einsatz kommen, zählen etwa Preisnachlässe, exklusive Inhalte, Produkt-Specials oder Spendenoptionen für Bienen- und Umweltprojekte.

Aus technologischer Perspektive ist die App als Web- und Mobile-Anwendung mit einer rollenbasierten Zugriffskontrolle konzipiert. Datenschutz und Informationssicherheit genießen dabei höchste Priorität. Die Speicherung sensibler Daten erfolgt ausschließlich verschlüsselt und die Applikation wurde vollständig in Übereinstimmung mit der Datenschutz-Grundverordnung entwickelt. Mittels eines feingliedrigen Berechtigungsmodells wird geregelt, welche Nutzergruppe auf welche Inhalte zugreifen kann. Verbraucher erhalten ausschließlich lesenden Zugriff auf verifizierte Nachhaltigkeitsdaten, während Imkereien sowie autorisierte Prüfstellen weitergehende Berechtigungen zur Datenbereitstellung, Korrektur und Verifizierung besitzen.



Abbildung 11: Visualisierung zentraler Funktionalitäten - *Eigene Darstellung*

Die BeeFair-App stellt einen integralen Bestandteil des gesamten Systemdesigns dar. Die Entwicklung einer Schnittstelle zwischen Mensch und Blockchain sowie die Übersetzung technischer Prozesse in intuitive und leicht zugängliche Nutzererfahrungen stellen wesentliche Ziele dar. Die Transformation komplexer Datensysteme in konkrete Anwendungen

ermöglicht die Messbarkeit von Nachhaltigkeit und Qualität im Honigmarkt.

Die Durchführung einer kontrollierten Pilotphase ist vorgesehen, um die Funktionsfähigkeit und Akzeptanz des BeeFair-Systems unter realen Bedingungen zu testen. Die vorliegende Untersuchung zielt darauf ab, die praktische Anwendbarkeit sämtlicher technologischer und organisatorischer Komponenten zu evaluieren. Der Fokus liegt hierbei insbesondere auf der Integration der Blockchain-Technologie, der BeeFair-Applikation sowie dem Token-Vergabesystem.

Als geeignete Pilotregion erweisen sich insbesondere ländlich geprägte Honigproduktionsgebiete mit regionalen Imkerzusammenschlüssen. Diese verfügen über gewachsene Netzwerke und zeigen eine höhere Bereitschaft zur Teilnahme an Innovationsprojekten. Die Selektion der involvierten Imkereien erfolgt anhand transparenter Kriterien, wie etwa Zertifizierungsstatus, Betriebsgröße oder Digitalisierungsgrad. Das Ziel besteht darin, innerhalb eines initialen Zeitraums von 6 bis 9 Monaten etwa 10 bis 15 Imkereien in das bestehende System zu integrieren. Parallel dazu ist die Einbindung von zwei bis drei Vertriebs- oder Einzelhandelspartnern vorgesehen, um die QR-Code-Verknüpfung und die Rückverfolgbarkeit auf Endkundenseite zu validieren.

Die Evaluierung des Erfolgs der Pilotphase erfolgt auf Grundlage definierter Key Performance Indicators (KPI).

- Anzahl der erfolgreich vergebenen BeeFair-Token
- Anzahl der verifizierten Nachhaltigkeitsnachweise
- Nutzeraktivität in der App, sowohl auf Seiten der Imker als auch der Konsumenten
- Benutzung des QR-Codes
- Anzahl der eingelösten Verbraucher-Tokens auf dem Marktplatz.

Das Ziel der Pilotphase besteht darin, sowohl technologische Schwachstellen als auch potenzielle Barrieren auf Seiten der Anwender frühzeitig zu identifizieren und zu beheben. Die Ergebnisse dienen als empirische Grundlage für eine skalierbare Ausweitung der Plattform auf weitere Regionen und Akteure. Die Systemarchitektur ist dabei von Beginn an modular und erweiterbar angelegt, sodass eine sukzessive Öffnung für weitere Imkereien, neue Nachhaltigkeitsmodule oder zusätzliche Stakeholder technisch problemlos möglich ist.

Die langfristige Qualität und Glaubwürdigkeit des BeeFair-Systems bedingt eine strukturierte Governance. Aus diesem Grund ist die Einrichtung eines interdisziplinär besetzten Beirats geplant, der die Weiterentwicklung des Kriterienkatalogs, die Freigabe neuer Belohnungsmechanismen sowie technologische Erweiterungen beratend begleitet. Die Zusammensetzung dieses Beirats könnte sich aus Vertretern der Imkerverbände, Umweltorganisationen, wissenschaftlichen Einrichtungen und des Einzelhandels konstituieren. Die operative Verwaltung wird von der BeeFair GmbH übernommen, es werden technische Updates bereitgestellt und die laufende Qualitätssicherung der Plattform verantwortet. Es wird gewährleistet, dass regulatorische Anforderungen, gesellschaftliche Erwartungen und neue technologische Möglichkeiten kontinuierlich in das System integriert werden.

2.4.4 Herausforderungen und Lösungsansätze bei der Systemimplementierung

Ein zentrales Problem ist die digitale Heterogenität innerhalb der Zielgruppe. Es ist evident, dass insbesondere kleinere, traditionell arbeitende Imkereien oft nicht über die notwendige digitale Infrastruktur oder das entsprechende Know-how verfügen, um datengetriebene Plattformlösungen effizient zu nutzen. Große Betriebe verfügen in der

Regel bereits über IoT-Systeme, digitale Erntedokumentationen oder Online-Reporting-Tools, während viele andere Betriebe nach wie vor auf analoge Methoden zurückgreifen. Die daraus resultierenden Unterschiede im Digitalisierungsgrad führen zu Zugangshürden für das BeeFair-System und erschweren eine einheitliche Implementierung. Um dieser Problematik entgegenzuwirken, sollte die BeeFair-Plattform ein gestuftes Onboarding-Modell entwickeln. Es empfiehlt sich, für technikferne Nutzer digitale „Light“-Versionen bereitzustellen und diese mit Schulungsmaßnahmen, Geräteleasing-Modellen sowie regionalen Ansprechpartnern zu kombinieren. Eine intuitive, modular aufgebaute App-Oberfläche mit geführten Eingabeprozessen kann zusätzlich dazu beitragen, die Einstiegshürde zu senken, ohne dabei auf Funktionstiefe zu verzichten.

Ein weiteres strukturelles Risiko ergibt sich aus dem häufig überhöhten Vertrauen in die Unveränderbarkeit von Blockchain-Daten, wobei übersehen wird, dass diese lediglich die Unveränderlichkeit, nicht aber die Richtigkeit der ursprünglichen Information gewährleisten. Insbesondere im Kontext manuell eingereicherter Nachweise, wie etwa Laborzertifikate, Umweltberichte oder Standortdokumentationen, besteht die Gefahr, dass fehlerhafte oder manipulierte Daten hochgeladen und nachfolgend als verlässliche Informationen abgespeichert werden. Um die als „Garbage-in-Blockchain-out“-Problematik bezeichnete Herausforderung zu adressieren, ist eine mehrstufige Validierungsstruktur erforderlich. Für Dokumente, die manuell eingereicht werden, besteht die verpflichtende Vorgabe, diese durch akkreditierte Stellen gegenzuzeichnen oder digital zu signieren. Die Implementierung externer Datenquellen, auch als Oracles bezeichnet, sowie die Einrichtung eines Peer-Review-Systems durch andere Imker können einen Beitrag zur Echtzeitvalidierung leisten und somit zur Qualitätssicherung des Gesamtprozesses beitragen.

Eine weitere Herausforderung manifestiert sich in der missbräuchlichen Nutzung der QR-Codes auf den Honiggläsern im stationären Handel. Da die Codes bereits auf der Verpackung angebracht sind, ist es technisch möglich, diese vor dem Kauf zu scannen und auf produktspezifische Informationen zuzugreifen. Dies umfasst auch die potenziellen Gutscheine von Consumer-Tokens. Dies hat nicht nur Konsequenzen für das Belohnungssystem, sondern birgt auch die Gefahr einer Entwertung der Token-Logik. Die Implementierung dynamischer oder einmalig nutzbarer QR-Codes, deren Aktivierung oder Freischaltung durch einen Kaufakt erfolgt, könnte eine Lösung für das vorliegende Problem darstellen. Alternativ wäre auch eine Kombination aus QR-Code und ablösbarem Sicherheitsetikett oder NFC-Tag denkbar. Die technische Realisierung ist anspruchsvoll, jedoch ist eine datenschutzkonforme Umsetzung möglich. Dies könnte beispielsweise durch das Hochladen von digitalen Kassenbelegen mittels einer App oder die Anbindung an bestehende Kundenkonten erfolgen.

Schließlich muss auch die Rolle der zentralen Organisation, der BeeFair GmbH, kritisch betrachtet werden. Der Plattformbetreiber, Tokenemittent, die Prüforganisation sowie Hersteller und Vermarkter des Endprodukts übernimmt eine Vielzahl an Aufgaben, deren Bündelung ein potenzielles Risiko für operative Überlastung und strukturelle Abhängigkeit darstellt. Um langfristige Stabilität und Skalierbarkeit zu gewährleisten, ist die frühzeitige Etablierung einer Governance-Struktur mit geteilten Verantwortlichkeiten empfehlenswert. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei die Einbindung externer Partnerinstitutionen, wie beispielsweise Umwelt-NGOs, Imkerverbände oder technische Dienstleister, in die Validierungs- und Weiterentwicklungsprozesse. Zudem ist die Implementierung eines Beirats zur Qualitätssicherung und strategischen Ausrichtung erforderlich. Aus technologischer Perspektive ist eine skalierbare Systemarchitektur mit modularen Komponenten, redundanter

Infrastruktur und automatisierten Monitoring-Prozessen von essentieller Bedeutung, um einen dauerhaften Betrieb zu gewährleisten.

2.4.5 Fazit

Der präsentierte Use Case „BeeFair“ demonstriert eindrucksvoll, wie durch den gezielten Einsatz von Blockchain-Technologie, digitalen Token und einer benutzerzentrierten Applikation eine nachhaltige und transparente Transformation in der Honigbranche ermöglicht werden kann. Die Initiative adressiert zentrale Probleme wie Herkunftsintransparenz, Qualitätsfälschungen und fehlende Anreize für ökologisches Handeln mit einer innovativen, technisch konsistenten Lösung.

Die Kombination aus Permissioned Blockchain, smarten Validierungsmechanismen (Chaincode) und einem klar strukturierten Tokenmodell ermöglicht die Erfassung, dauerhafte Dokumentation und ökonomische Belohnung nachhaltiger Imkereipraktiken. Die BeeFair-Applikation agiert dabei als digitale Drehscheibe für alle Beteiligten und etabliert eine intuitive Verbindung zwischen technologischer Infrastruktur und realem Nutzerverhalten. Die konsequente Transparenz der Plattform, von der Datenerfassung über die Tokenvergabe bis zur verbraucherseitigen Rückverfolgbarkeit, bildet dabei das Fundament für Vertrauen und Nachvollziehbarkeit.

Der Use Case demonstriert, dass digitale Rückverfolgbarkeit und tokenbasierte Anreizsysteme nicht nur Transparenz schaffen, sondern auch einen konkreten Beitrag zur Förderung nachhaltiger Wirtschaftsweisen leisten können. Gleichzeitig wird durch den gezielten Einbezug der Verbraucherinnen und Verbraucher eine neue Form des bewussten Konsums unterstützt. Dieser ist fundiert, nachweisbar und wird durch digitale Token belohnt.

Trotz bestehender technologischer und organisatorischer Herausforderungen, wie beispielsweise dem Missbrauch von QR-Codes oder dem Umgang mit sensiblen Betriebsdaten, demonstriert BeeFair, dass diese durch geeignete Lösungsansätze adressierbar sind.

Das System eröffnet perspektivisch vielfältige Erweiterungsmöglichkeiten, etwa durch die Einbindung von CO₂-Zertifikaten, regionalen Förderprogrammen oder die Ausweitung auf andere landwirtschaftliche Erzeugnisse. Der modulare Aufbau des Systems erlaubt eine flexible Skalierung und die Adaption an unterschiedliche Markt- und Nachhaltigkeitsanforderungen.

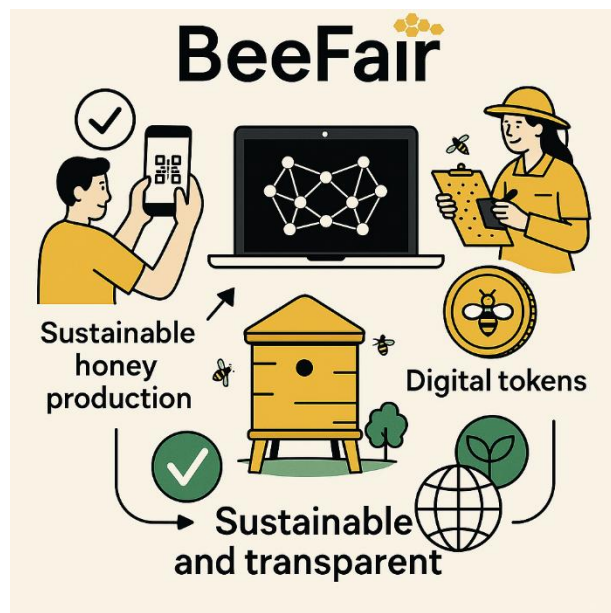


Abbildung 12: Abschließende Systemübersicht - Eigene Darstellung

Insgesamt demonstriert BeeFair, dass durch konsequente Transparenz, messbare Nachhaltigkeit und intelligente Digitalisierung ein zukunftsfähiges Ökosystem entstehen kann, das ökologische, ökonomische und soziale Ziele effektiv miteinander verbindet. Dabei kann es als Blaupause für eine gerechtere und verantwortungsvolle Lebensmittelwirtschaft dienen.

3. Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde der Frage nachgegangen, welches Potenzial Kryptowährungen und tokenbasierte Ansätze zur digitalen Abbildung und Bewertung von Nachhaltigkeitsleistungen sowie zur Steigerung der Transparenz in globalen Lieferketten besitzen.

Aufgrund einer umfassenden theoretischen Grundlage zu Blockchain-Technologie, Kryptowährungen und Supply Chain Management wurde dargelegt, dass die Blockchain durch ihre inhärenten Eigenschaften, ein hohes Innovationspotenzial für das Lieferkettenmanagement aufweist. Die Möglichkeit, Transaktionen und produktbezogene Informationen unveränderlich und nachvollziehbar zu dokumentieren, bildet die Basis für neue Formen des Vertrauens und der Kooperation zwischen den Akteuren einer Supply Chain.

Die vorliegenden Fallstudien legen nahe, dass insbesondere die Rückverfolgbarkeit, die Effizienz der Informationsflüsse und die Dokumentation von Nachhaltigkeitsaspekten signifikant verbessert werden können. Gleichzeitig wurde jedoch deutlich, dass die praktische Implementierung mit einer Vielzahl von Herausforderungen einhergeht. Zu den Herausforderungen zählen technische Integrationsprobleme in bestehende IT-Infrastrukturen, das Fehlen branchenweiter Standards, regulatorische Unsicherheiten sowie Vorbehalte und Akzeptanzprobleme bei den beteiligten Stakeholdern.

Mit dem entwickelten Use Case "BeeFair" wurde ein konkretes Anwendungsszenario entworfen, das die zuvor beschriebenen theoretischen und praktischen Erkenntnisse in einem spezifischen Kontext umsetzt. Die in diesem Kontext erörterte Honig-Lieferkette, die mittels Tokenisierung die Verbindung von Transparenztechnologie mit einem Anreizsystem zur Förderung nachhaltiger Produktionsweisen demonstriert, fungiert als ein exemplarisches Modell. Im Rahmen der

Studie wurde dargelegt, dass Blockchain-basierte Token als nicht übertragbare, digitale Nachweise für nachhaltiges Handeln fungieren können, um sowohl Produzenten als auch Konsumenten in ein gemeinsames Nachhaltigkeitsökosystem einzubinden. Die Kombination aus manipulationssicherer Datenspeicherung, automatisierter Kriterienprüfung mittels Smart Contracts und direkter Einbindung der Endverbraucher veranschaulicht, auf welche Weise technologische Innovationen zu einer Stärkung von Fairness, Nachhaltigkeit und Marktvertrauen beitragen können.

Der vorliegende Ausblick lässt die Prognose zu, dass die Relevanz solcher Lösungen in den kommenden Jahren voraussichtlich weiter zunehmen wird. Die vorliegende Entwicklung ist zum einen auf regulatorische Maßnahmen wie die MiCA-Verordnung und die CSRD zurückzuführen. Diese legen für Unternehmen verpflichtende Transparenz- und Nachhaltigkeitsanforderungen fest. Andererseits resultieren technologische Fortschritte, wie energieeffiziente Konsensmechanismen, in sinkenden Implementierungskosten und höherer Skalierbarkeit.

Langfristig könnte sich die Kombination aus Blockchain-Technologie, Kryptowährungen und Tokenisierung als zentrales Instrument im globalen Nachhaltigkeits- und Lieferkettenmanagement etablieren. In diesem Kontext ist von entscheidender Relevanz, dass die bestehenden Herausforderungen konsequent adressiert werden. Hierzu zählen die Sicherstellung von Datenqualität und -validität entlang der gesamten Wertschöpfungskette sowie die Förderung der Akzeptanz bei Unternehmen, Lieferanten und Endverbrauchern. Die Erfüllung der genannten Faktoren ermöglicht nicht nur eine Steigerung der Effizienz und eine Reduktion der Kosten, sondern auch einen substantiellen Beitrag zur Erreichung globaler Nachhaltigkeitsziele sowie zur Stärkung des gesellschaftlichen Vertrauens in Wirtschafts- und Lieferkettenprozesse.

Literaturverzeichnis

Apolline Blandin, Ann Cloots, Hatim Husain, Michel Rauchs, Rasheed Saleuddin, ... & Katherine Cloud (2020, August). GLOBAL CRYPTOASSET REGULATORY LANDSCAPE STUDY.

<https://www.jbs.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2020/08/2019-04-ccaf-global-cryptoasset-regulatory-landscape-study.pdf>

(zuletzt geprüft am 23.06.2025)

BaFin (2023). Activities relating to DLT, blockchain and crypto assets.

https://www.bafin.de/EN/Aufsicht/FinTech/Geschaeftsmodelle/DLT_Blockchain_Krypto/DLT_Blockchain_Krypto_node_en.html#:~:text=Supervisory%20practice,or%20operate%20crypto%20securities%20registers.

(zuletzt geprüft am 23.06.2025)

Big Data Trunk (2020, Dezember). The Walmart Story: With Blockchain.

<https://www.facebook.com/bigdatatrunk1/videos/how-does-blockchain-work-the-walmart-story/431897664849440/>

(zuletzt geprüft am 14.07.2025)

BondGuide (2020, Oktober). MiCA: Umfassende europäische Regulierung von Kryptowerten steht bevor.

<https://www.bondguide.de/topnews/mica-umfassende-europaeische-regulierung-von-kryptowerten-steht-bevor/>

(zuletzt geprüft am 18.06.2025)

Carsten Stöcker (2025, Januar). The Big Bitcoin Illusion: Environmental Costs and the Rise of Sustainable Alternatives.

<https://cstoecker.medium.com/the-bitcoin-illusion-environmental-costs-and-the-rise-of-sustainable-alternatives-a6e2a9a947f7>

(zuletzt geprüft am 28.05.2025)

Cătălina Mărcuță (2024, August). Overcoming Challenges of Implementing Blockchain in Supply Chain Management.

<https://moldstud.com/articles/p-navigating-the-challenges-of-implementing-blockchain-in-supply-chain-management>

(zuletzt geprüft am 27.05.2025)

David Katz (2019, März). Plastic Bank: launching Social Plastic® revolution.

<https://journals.openedition.org/factsreports/5478>

(zuletzt geprüft am 17.07.2025)

Dave Goulsen, Elizabeth Nicholls, Christina Botias & Ellen Rotheray (2015, Februar). Combined stress from parasites, pesticides and lack of flowers drives bee declines.

https://www.researchgate.net/publication/272836185_Combined_stress_from_parasites_pesticides_and_lack_of_flowers_drives_bee_declines

(zuletzt geprüft am 30.07.2025)

Dennis van Engelsdorp & Marina Doris Meixner (2009, September). A Historical Review of Managed Honey Bee Populations in Europe and the United States and the Factors that May Affect Them.

https://www.researchgate.net/publication/38086099_A_Historical_Review_of_Managed_Honey_Bee_Populations_in_Europe_and_the_United_States_and_the_Factors_that_May_Affect_Them

(zuletzt geprüft am 30.07.2025)

Deutscher Berufs- und Erwerbssimkerbund e.V (2024, Oktober). Schock nach DNA-Test: 80 Prozent beprobter Honige gefälscht!

<https://www.presseportal.de/pm/59392/5877461>

(zuletzt geprüft am 30.07.2025)

Dirk Baur, Kihoon Hong & Adrian Lee (2017, September). Bitcoin: Medium of Exchange or Speculative Assets?

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2561183

(zuletzt geprüft am 23.06.2025)

Dirk Zetsche, Douglas Arner & Ross Buckley (2020, September). Decentralized Finance.

<https://academic.oup.com/jfr/article/6/2/172/5913239>

(zuletzt geprüft am 23.06.2025)

Dr. Harald Stephan (2024, November). Schadstoffe im Honig – Wann ist Honig giftig?

<https://bienen.info/schadstoffe-im-honig-wann-ist-honig-giftig/>

(zuletzt geprüft am 30.07.2025)

Dr. Roda Verheyen (2024, Juni). Das Lieferketten-Sorgfaltspflichtengesetz: Auslegung der Umweltsorgfaltspflichten und Ansätze zur praktischen Umsetzung.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/90_2024_texte_lieferketten_sorgfaltspflichtengesetz_0.pdf

(zuletzt geprüft am 27.05.2025)

Dylan Yaga, Peter Mell, Nik Roby & Karen Scarfone (2018, Oktober). National Institute of Standards And Technology Internal Report: Blockchain Technology Overview.

<https://doi.org/10.6028/nist.ir.8202>

(zuletzt geprüft am 14.05.2025)

European Commission (2023, März). From the hives.

https://food.ec.europa.eu/system/files/2023-03/official-controls_food-fraud_2021-2_honey_report_euca.pdf

(zuletzt geprüft am 30.07.2025)

European Commission (2024, Oktober). Honey (Agriculture and rural development).

https://agriculture.ec.europa.eu/farming/animal-products/honey_en

(zuletzt geprüft am 30.07.2025)

European Commission (2021, April). Fragen und Antworten im Zusammenhang mit der Verfälschung von Honig.

https://food.ec.europa.eu/document/download/7186ec16-8f9d-4459-b155-f424ee6c7e3e_de?filename=official-controls_food-fraud_2021-2_honey_qandas_de.pdf

(zuletzt geprüft am 30.07.2025)

Fabian Sardal, Hampus Wallin & William Thoren (2024, März). Balancing Transparency and Supply Chain Strategy.

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1876669/FULLTEXT01.pdf>

(zuletzt geprüft am 01.07.2025)

Finanzolio (2023, November). Was sind Kryptowährungen?

<https://finanzolio.com/kryptowaehrungen/was-sind-kryptowaehrungen/>

(zuletzt geprüft am 16.06.2025)

Florian Tschorsch & Björn Scheuermann (2016, März). Bitcoin and Beyond: A Technical Survey on Decentralized Digital Currencies.

<https://eprint.iacr.org/2015/464.pdf>

(zuletzt geprüft am 16.06.2025)

Fran Casino, Thomas Dasaklis & Constantinos Patsakis (2018, Dezember). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues.

<https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006>

(zuletzt geprüft am 27.05.2025)

Frederik Milani & Luciano Garcia–Banuelos (2018, Juni). Blockchain and Principles of Business Process: Re-Engineering for Process Innovation.

<https://arxiv.org/pdf/1806.03054>

(zuletzt geprüft am 12.07.2025)

Friedrich Thießen (2020, Juni). Öffentliche vs. Private Blockchains in der Finanzwirtschaft.

<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/221762/1/1702836762.pdf>

(zuletzt geprüft am 16.06.2025)

Hannah Ritchie (2021, Mai). Woher kommt das Plastik in unseren Ozeanen?

<https://de.oceanmaterial.com/woher-kommt-das-plastik-in-unseren-ozeanen/>

(zuletzt geprüft am 17.07.2025)

Hyperledger (Ende 2018 / Anfang 2019). How Walmart brought unprecedented transparency to the food supply chain with Hyperledger Fabric.

https://8112310.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/8112310/Hyperledger/Printables/Hyperledger_Case_Study_Walmart_Printable_V4.pdf

(zuletzt geprüft am 16.07.2025)

Hyperledger (2021, September). Hyperledgers Fabric Documentation.

<https://app.readthedocs.org/projects/hyperledger-fabric/downloads/pdf/release-1.4/>

(zuletzt geprüft am 30.07.2025)

I Putu Okta Priyana, Made Ayu Jayanti Prita Utami & Upayana Wiguna Eka Saputra (2023, April). Blockchain Technology For Circular Economy In Plastic Bank.

<https://jurnal.polgan.ac.id/index.php/sinkron/article/view/12210>

(zuletzt geprüft am 17.07.2025)

Jochen Ditsche & Martin Streichfuß (2021, Mai). Potenzial auch für die Industrie: Blockchain abseits von Kryptowährungen.

<https://www.rolandberger.com/de/Insights/Publications/Potenzial-auch-f%C3%BCr-die-Industrie-Blockchain-abseits-von-Kryptow%C3%A4hrungen.html>

(zuletzt geprüft am 11.06.2025)

José Garrido (2023, Juli). Digital Tokens: A Legal Perspective.

<https://www.elibrary.imf.org/view/journals/001/2023/151/article-A001-en.xml>

(zuletzt geprüft am 23.06.2025)

Kai-Ingo Voigt (2018, Februar). Supply Chain Management (SCM).

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/supply-chain-management-scm-49361/version-272597>

(zuletzt geprüft am 01.07.2025)

Katy Jones (2023, Juli). Supply Chain Complexity and the Importance of Traceability.

<https://blog.trustwell.com/supply-chain-complexity-importance-of-traceability>

(zuletzt geprüft am 11.06.2025)

Kazi Hossain, Tahera Shabnam, Abdul Ahad, Bilkish Nurani & Ekramul Hoque (2025, Januar). Blockchain Technology in Supply Chain Management: Enhancing Transparency and Efficiency.

<https://www.oalib.com/articles/6848605>

(zuletzt geprüft am 12.07.2025)

Lara Schilling & Stefan Seuring (2023, Februar). Linking the digital and sustainable transformation with supply chain practices.

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2023.2173502>

(zuletzt geprüft am 01.07.2025)

Liebkind, Joe (2024, Oktober). Investopedia: Bitcoin Years Later: Was the Nakamoto White Paper Right?

<https://www.investopedia.com/tech/return-nakamoto-white-paper-bitcoins-10th-birthday/>

(zuletzt geprüft am 14.05.2025)

Lucas Mearian (2018, Oktober). Q&A: Walmart's Frank Yiannas on the use of blockchain for food safety

<https://www.computerworld.com/article/1702907/ga-walmarts-frank-yiannas-on-the-use-of-blockchain-for-food-safety.html>

(zuletzt geprüft am 16.07.2025)

Mahtab Kouhizadeh, Sara Saberi & Joseph Sarkis (2020, Juni).
Blockchain technology and the sustainable supply chain:
Theoretically exploring adoption barriers.

[https://de.scribd.com/document/641769211/2-Blockchain-
technology-and-the-sustainable-supply-chain-Theoretically](https://de.scribd.com/document/641769211/2-Blockchain-technology-and-the-sustainable-supply-chain-Theoretically)

(zuletzt geprüft am 12.07.2025)

Markus Rieger-Fels & Jonas Löher (2024, März). Nachhaltigkeit im
Mittelstand. Die CSRD als Chance oder Herausforderung?

[https://www.bertelsmann-
stiftung.de/de/publikationen/publikation/did/nachhaltigkeit-im-
mittelstand](https://www.bertelsmann-stiftung.de/de/publikationen/publikation/did/nachhaltigkeit-im-mittelstand)

(zuletzt geprüft am 01.07.2025)

Min Xu, Xingtong Chen & Gang Kou (2019, Dezember). A systematic
review of blockchain.

[https://www.researchgate.net/publication/334232559_A_systemati
c_review_of_blockchain](https://www.researchgate.net/publication/334232559_A_systematic_review_of_blockchain)

(zuletzt geprüft am 16.06.2025)

Monir Taik & Rainer Gallei (2024, November). Regulierung von
Kryptowerten unter der MiCA-Verordnung.

[https://www.jura.uni-
leipzig.de/fileadmin/Fakult%C3%A4t_Juristen/Professuren/Haertlei
n/Boersenrechtstag/ Taik_Gallei_Vortrag_MiCA_final_.pdf](https://www.jura.uni-leipzig.de/fileadmin/Fakult%C3%A4t_Juristen/Professuren/Haertlein/Boersenrechtstag/Taik_Gallei_Vortrag_MiCA_final_.pdf)

(zuletzt geprüft am 23.06.2025)

Moritz Petersen (2022, März). Identifikation und Bewertung von
Einsatzpotentialen für Blockchains in Logistik und SCM.

[https://www.bvl.de/files/1951/2125/2131/Abschlussbericht_ChainL
og_20951N_21062022_update.pdf](https://www.bvl.de/files/1951/2125/2131/Abschlussbericht_ChainLog_20951N_21062022_update.pdf)

(zuletzt geprüft am 16.06.2025)

Narayan Subramanian, Atharva Joshi & Daksh Bagga (2023, Mai).
Transparent and Traceable Food Supply Chain Management.

<https://arxiv.org/pdf/2305.12188>

(zuletzt geprüft am 16.07.2025)

Nir Kshetri (2018, April). Blockchain's roles in meeting key supply chain
management objectives.

<https://daneshyari.com/article/preview/7429032.pdf>

(zuletzt geprüft am 12.07.2025)

Nir Kshetri (2021, Oktober). Blockchain and sustainable supply chain
management in developing countries.

https://libres.uncg.edu/ir/uncg/f/N_Kshetri_Blockchain_Sustainable_2021.pdf

(zuletzt geprüft am 23.06.2025)

Nisaa Ahmad & Siti Khairatun (2021, Juli). Exploring Fraudulent Honey
Cases from Readily Available Food Fraud Databases.

https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3873890

(zuletzt geprüft am 30.07.2025)

Olaniyi Evans (2018, Juni). Blockchain Technology and the Financial
Market: An Empirical Analysis.

https://mpra.ub.uni-muenchen.de/99212/2/MPRA_paper_99212.pdf

(zuletzt geprüft am 28.05.2025)

Philipp Sandner & Benjamin Schaub (2023). Grundlagen und
Anwendungsszenarien der Blockchain-Technologie.

<https://www.kas.de/documents/252038/22161843/Token+Studie.pdf/e88c02ca-ce70-ef4d-d38d-0db025b01b73>

(zuletzt geprüft am 16.06.2025)

Pixelplex (2020, September). Wie Walmart mit Hilfe von Blockchain-Technologie-Lösungen die Qualität und Sicherheit von Lebensmitteln verbessern will.

<https://pixelplex.ch/blog/walmart-strebt-fuer-lebensmittel-sicherheit-mittels-blockchain/>

(zuletzt geprüft am 16.07.2025)

Plastic Bank (2021, Oktober). The Plastic Bank Ecosystem.

https://www.unescap.org/sites/default/files/Presentation_PlasticBank.pdf

(zuletzt geprüft am 14.07.2025)

Plastic Bank (2023, Mai). How Plastic Bank guarantees its impact claims.

<https://plasticbank.com/blog/how-plastic-bank-guarantees-its-impact-claims/>

(zuletzt geprüft am 17.07.2025)

Plastic Bank (2024, August). Our technology.

<https://docs.plasticbank.com/en/articles/9807657-our-technology>

(zuletzt geprüft am 17.07.2025)

Plastic Bank (2024, Dezember). Global Impact.

<https://plasticbank.com/global-impact/>

(zuletzt geprüft am 17.07.2025)

Plastic Bank (2024, Mai). Transparency and trust in ESG: The blockchain advantage.

<https://plasticbank.com/blog/transparency-and-trust-in-esg/>

(zuletzt geprüft am 17.07.2025)

Reshma Kamath (2018, Juni). Food Traceability on Blockchain:
Walmart's Pork and Mango Pilots with IBM

<https://jbba.scholasticahq.com/article/3712-food-traceability-on-blockchain-walmart-s-pork-and-mango-pilots-with-ibm/attachment/20459.pdf>

(zuletzt geprüft am 16.07.2025)

Rita Maria Difrancesco, Purushottam Meena & Gopal Kumar (2022, Dezember). How blockchain technology improves sustainable supply chain processes: a practical guide.

<https://doi.org/10.1007/s12063-022-00343-y>

(zuletzt geprüft am 11.06.2025)

Roberta Greenspan (2024, Oktober). Walmart's Inventory Management.

<https://panmore.com/walmart-inventory-management>

(zuletzt geprüft am 16.07.2025)

Rosa Garcia-Teruel & Héctor Simón-Moreno (2021, Juli). The digital tokenization of property rights. A comparative perspective.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0267364921000169>

(zuletzt geprüft am 23.06.2025)

Sadaat Ali Yawar & Stefan Seuring (2017, März). Management of Social Issues in Supply Chains: A Literature Review Exploring Social Issues, Actions and Performance Outcomes.

https://www.researchgate.net/publication/281235506_Management_of_Social_Issues_in_Supply_Chains_A_Literature_Review_Exploring_Social_Issues_Actions_and_Performance_Outcomes

(zuletzt geprüft am 01.07.2025)

- Sophie Mountcastle & Lorna Christie (2020, May). Food Fraud
<https://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/POST-PN-0624/POST-PN-0624.pdf>
(zuletzt geprüft am 16.07.2025)
- Stefan Craß, Alexander Eisl, Nedim Begic, Romana Polt (2020, August).
Die Rolle moderner Technologien, insbesondere Blockchain, in der
Lieferkettenverantwortung.
https://fiw.ac.at/wpcontent/uploads/2023/02/FIW_RR_06_2022_BI_ockchain.pdf
(zuletzt geprüft am 14.05.2025)
- Sudhir Pal, Manuel Sevilla, Jerome Buvat, Ralph Schneider-Maul, Olivier
Lise, Adrien Calvayrac, Tarun Karanam & Ramya Puttur (2018,
Oktober). Does blockchain hold the key to a new age of supply chain
transparency and trust?
<https://www.capgemini.com/gb-en/wp-content/uploads/sites/5/2022/05/Digital-Blockchain-in-Supply-Chain-Report-1.pdf>
(zuletzt geprüft am 28.05.2025)
- Thomas Lüthi & Francoise Fridez (2023, Juni). Lebensmittelbedingte
Krankheitsausbrüche in der Schweiz von 2007 bis 2021.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00003-023-01442-z>
(zuletzt geprüft am 14.07.2025)
- Toby Gardner, Magnus Benzie, Jan Börner, Elena Dawkins, Stephen
Fick, Rachael Garrett, ... & Paul Wolvekamp (2018, Mai). World
Development: Transparency and sustainability in global commodity
supply chains.
<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.05.025>
(zuletzt geprüft am 27.05.2025)

UNECE (2024, Juni). Enhancing traceability and transparency of sustainable value chains in the garment and footwear industry.

https://unece.org/sites/default/files/2024-06/SustainabilityPledge-3yrsMonitoringReport_0.pdf

(zuletzt geprüft am 17.07.2025)

Valeria Ferrari (2020, Juni). The regulation of crypto-assets in the EU – investment and payment tokens under the radar.

<https://journals.sagepub.com/doi/epub/10.1177/1023263X2091153>

[8](#)

(zuletzt geprüft am 23.06.2025)

Veera Pandiyan Kaliani Sundram, Prem Chhetri & Atika Shamsul Bahrin (2020, März). The Consequences of Information Technology, Information Sharing and Supply Chain Integration, towards Supply Chain Performance and Firm Performance.

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.24006/jilt.2020.18.1.015/full/html>

(zuletzt geprüft am 01.07.2025)

Vincent Schlatt, Andre Schweizer, Nils Urbach, Gilbert Fridgen (2016). Blockchain: Grundlagen, Anwendungen und Potenziale.

<https://publica.fraunhofer.de/entities/publication/dc9322f0-3063-4792-b69a-b2006982d857>

(zuletzt geprüft am 16.06.2025)

Vishal Gaur & Abhinav Gaiha (2020, Juni). Building a Transparent Supply Chain.

<https://hbr.org/2020/05/building-a-transparent-supply-chain>

(zuletzt geprüft am 16.06.2025)

Walmart (2025, April). Annual Report 2025.

<https://corporate.walmart.com/content/dam/corporate/documents/newsroom/2025/04/24/walmart-releases-2025-annual-report-and-proxy-statement/walmart-inc-2025-annual-report.pdf>

(zuletzt geprüft am 16.07.2025)

World Health Organization WHO (2024, Oktober). Food safety.

<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>

(zuletzt geprüft am 16.07.2025)

Ying Long, Yinyan Gong, Weihong Huang, Jiahong Cai, Nengxiang Xu, Kuan-ching Li (2023, März). Cryptography of Blockchain.

https://www.researchgate.net/publication/369672172_Cryptography_of_Blockchain

(zuletzt geprüft am 16.06.2025)

Zibin Zheng, Shaoan Xie & Hong-Ning Dai (2017, Juni). An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends.

https://www.researchgate.net/publication/318131748_An_Overview_of_Blockchain_Technology_Architecture_Consensus_and_Future_Trends

(zuletzt geprüft am 16.06.2025)

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen angefertigt habe, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind als solche gekennzeichnet.

Günzburg, den 11.08.2025

Ort, Datum



Nik Groepper

