

Name: Tobias Binnewies

Hochschule Weserbergland

Studiengang: Wirtschaftsinformatik

Studiengruppe: WI67/21

Dozent: Ralf Hesse

Lösungsorientierte Transferarbeit 2 für Semester 5

(Zeitraum vom 04.12.2023 bis 31.01.2024)

Thema:

Eignungsanalyse von Distributed Ledger Systemen in der Finanz Informatik GmbH
& Co. KG

Praxispartner

Finanz Informatik GmbH & Co. KG

Laatzener Straße 5, 30539 Hannover

I Inhaltsverzeichnis

I	Inhaltsverzeichnis	I
II	Abkürzungsverzeichnis	II
III	Abbildungsverzeichnis	III
1	Einleitung	1
2	Distributed Ledger System	1
2.1	Distributed Ledger	1
2.2	Blockchain	1
2.3	Kryptowährung	2
2.4	Ethereum Virtual Maschine Chain	2
2.5	Smart Contracts	2
2.6	Nodes	3
2.7	Gas Fee	3
2.8	Konsensalgorithmus	3
3	Use Case Zahlungsverkehr	4
3.1	Datenspeicherung	4
3.1.1	Layer 1 Währung	4
3.1.2	ERC20 Token	4
3.1.2.1	Stablecoin	5
3.1.2.2	Neuer Token	5
3.2	Anonymität	5
3.2.1	Account-based vs. UTXO-based Chain	5
3.2.2	HD-Wallets	6
3.2.3	UTXO-based Token	6
3.3	Öffentliche vs. private Chain	6
3.3.1	Sicherheitsrisiken	8
3.4	Transaktionskosten / Troughput	8
3.4.1	Layer 2 Lösungen	8
3.4.2	Transaction Relayers	9
4	Praxis	10
5	Eignungsanalyse	10
5.1	Bewertungskriterien	10
6	Ausblick	10
7	Quellenverzeichnis	11
IV	Anhangsverzeichnis	IV
V	Anhang	A1

II Abkürzungsverzeichnis

DLS	Distributed Ledger System
DL	Distributed Ledger
ERC	Ethereum Request for Comments
EVM	Ethereum Virtual Machine
ETH	Ether (Währung)
EIP	Ethereum Improvement Proposal
PoW	Proof of Work
PoS	Proof of Stake
PoA	Proof of Authority
UTXO	Unspent Transaction Output
HD	Hierarchical Deterministic
ZK	Zero Knowledge

III Abbildungsverzeichnis

1 Einleitung

2 Distributed Ledger System

2.1 Distributed Ledger

Ein Distributed Ledger ist eine Datenbank, die im Konsens geteilt und über ein Netzwerk synchronisiert wird, das sich über mehrere Standorte, Institutionen oder Länder erstreckt.¹ Es ermöglicht, dass Transaktionen und Aufzeichnungen öffentlich und überprüfbar sind, und da es dezentralisiert ist, gibt es keinen einzelnen Ausfallpunkt. Jeder Teilnehmer im Netzwerk hat Zugang zu den Aufzeichnungen, die über dieses Netzwerk geteilt werden, und kann eine identische Kopie der Daten haben. Änderungen oder Ergänzungen am DL werden nahezu in Echtzeit in allen Kopien widerspiegelt, was die Transparenz und Sicherheit erhöht.

Ein Distributed Ledger System ist ein System, das einen Distributed Ledger verwendet, um Transaktionen zwischen Teilnehmern zu verwalten. Am häufigsten wird die Blockchain-Technologie als DL verwendet.²

2.2 Blockchain

Eine Blockchain ist eine spezielle Form eines Distributed Ledgers, die aus einer Kette von Blöcken besteht, die jeweils die zu speichernden Daten enthalten.³ Ein Block besteht aus einem Header und einem Body.⁴

Der Header enthält u. a. den Hash des vorherigen Blocks, einen Zeitstempel und die Nummer des Blocks. Außerdem enthält der Header einen Hash des Bodys. So wird gewährleistet, dass die Blöcke - und so auch die darin beinhalteten Daten - nach ihrem Eintrag nicht verändert werden können, ohne alle nachfolgenden Blöcke abzuändern. (So wird von „Block-Confirmation“ gesprochen, wenn eine bestimmte Anzahl von Blöcken nach diesem Block hinzugefügt wurden - je mehr desto sicherer -, da er erst dann als „unveränderlich“ gilt.⁵)

Der Body enthält die eigentlichen Daten, die gespeichert werden sollen. Im Falle einer Kryptowährung sind dies bspw. die Transaktionen, die in diesem Block gespeichert werden.

¹ Vgl. hierzu und zum Folgenden LedgerAcademy (2023); Majaski (2023).

² Vgl. Tamalio (2023).

³ Vgl. Greeh, Camilleri (2017), S. 16.

⁴ Vgl. hierzu und zum Folgenden Singhal, Dhameja, Panda (2018), S. 161 ff.; Ethereum.org (2023a).

⁵ Vgl. Singhal, Dhameja, Panda (2018), S. 191.

2.3 Kryptowährung

Ein DLS kann viele Anwendungsmöglichkeiten haben. Am wohl bekanntesten ist die Verwendung als Kryptowährung, wie bspw. Bitcoin.⁶ Hierbei werden die Transaktionen zwischen den Teilnehmern des Netzwerks durchgeführt, die in einer Blockchain festgehalten werden. So können Transaktionen Peer-to-Peer durchgeführt werden, also ohne dass eine zentrale Instanz diese überprüfen muss, da die Korrektheit der Transaktionen von allen Teilnehmern geprüft werden.

2.4 Ethereum Virtual Maschine Chain

EVM-Chains heben das Konzept DLS auf eine neue Ebene, indem sie es ermöglichen, nicht nur Transaktionen abzuwickeln, sondern dazu noch vorprogrammierten Code (Smart Contracts) auszuführen und so viele neue Anwendungsmöglichkeiten erschaffen.⁷ Eine EVM-Chain ist also eine Blockchain-Netzwerk, das die Ethereum Virtual Machine (EVM) verwendet, um Smart Contracts auszuführen. Ethereum selbst ist eine EVM-Chain, die die Kryptowährung Ether (ETH) verwendet. Allerdings gibt es noch weitere Chains, die ebenfalls kompatibel mit der EVM sind, wie bspw. Binance Smart Chain (BSC) oder Polygon (MATIC)⁸. So kann für jede dieser Chains der gleiche Code - sowie Tools für dessen Entwicklung - verwendet werden, um Smart Contracts zu erstellen, die dann auf der jeweiligen Chain ausgeführt werden können.

2.5 Smart Contracts

Smart Contracts (im Sinne von Ethereum) sind Programme, die auf der Ethereum-Blockchain ausgeführt werden.⁹ Sie bestehen aus einer Sammlung von Code (ihre Funktionen) und Daten (ihr Zustand), die - ebenso wie ein Benutzer-Wallet - an einer bestimmten Adresse auf der Ethereum-Blockchain (oder einer anderen EVM-Chain - S. 2.4) residieren. Smart Contracts sind eine Art von Ethereum-Konto, was bedeutet, dass sie ein Guthaben haben und Ziel von Transaktionen sein können. Sie werden jedoch nicht von einem Benutzer kontrolliert, sondern sind im Netzwerk bereitgestellt und laufen wie programmiert. Benutzerkonten können dann mit einem Smart Contract interagieren, indem sie Transaktionen einreichen, die eine auf dem Smart Contract definierte Funktion ausführen. Außerdem können Regeln / Bedingungen definiert werden, nach den Code automatisch durchgeführt wird. Standardmäßig können Smart Contracts nicht gelöscht werden, und Interaktionen mit ihnen sind irreversibel.

⁶ Vgl. hierzu und zum Folgenden Nakamoto (2008), S. 1.

⁷ Vgl. hierzu und zum Folgenden Bianco (2023).

⁸ Vgl. Chainlist.org (2023).

⁹ Vgl. hierzu und zum Folgenden Ethereum.org (2023d).

2.6 Nodes

Teilnehmer des Netzwerks, die über die gesamte Blockchain verfügen und die Transaktionen und Blöcke validieren werden Nodes genannt.¹⁰ Diese Nodes formen das dezentralisierte Netzwerk, das die Blockchain betreibt. Diese sind es auch, die den Code der Smart Contracts und die Transaktionen ausführen. Außerdem validieren sie die Transaktionen und Blöcke, die von anderen Nodes erstellt wurden, und erstellen neue Blöcke, die sie dann an das Netzwerk senden. Dazu verwenden sie einen Konsensalgorithmus, der bestimmt, welche Blöcke gültig sind (s. 2.8). Sowohl für das Ausführen der Smart Contracts als auch für das Validieren der Blöcke erhalten die Nodes eine Belohnung in Form von ETH (oder einer anderen Kryptowährung, je nach Chain), diese Belohnung wird Gas genannt.

2.7 Gas Fee

2.8 Konsensalgorithmus

Um sicherzustellen, dass bestehende Blöcke nicht verändert werden können und der Inhalt neuer Blöcke valide ist, wird ein Konsensalgorithmus verwendet.¹¹ Die bekanntesten Algorithmen sind:

- **Proof of Work (PoW):** Miner (Nodes) konkurrieren miteinander, um ein mathematisches Problem zu lösen.¹² Dem ersten, dem dies gelingt, erhält die Blockbelohnung und kann den nächsten Block erstellen. Um einen Block zu erstellen wird also Zeit benötigt, ein Angreifer müsste also eine höhere Rechenleistung als die Hälfte des Netzwerks besitzen, um die Blockchain zu manipulieren.
- **Proof of Stake (PoS):** Es wird zufällig eine Node ausgewählt, die den nächsten Block erstellen darf und so die Belohnung erhält.¹³ Es muss vorab eine Sicherheitsleistung (Stake) hinterlegt werden, die verloren geht, wenn die Node versucht, die Blockchain zu manipulieren. Je höher der Stake, desto höher die Wahrscheinlichkeit, dass die Node ausgewählt wird. So wird verhindert, dass ein Angreifer die Blockchain manipuliert, da er mehr als die Hälfte des Stakes besitzen müsste, um die Blockchain zu manipulieren.
- **Proof of Authority (PoA):** Es wird eine Liste von Nodes festgelegt, die die Blockchain validieren dürfen.¹⁴ Dieser Algorithmus wird häufig bei privaten Chains verwendet, da den Nodes vertraut werden muss. So kann die Blockchain nicht manipuliert werden, ohne dass eine der Nodes dies zulässt. Dieser

¹⁰ Vgl. hierzu und zum Folgenden Bitcoin.org (2023); Ethereum.org (2023i).

¹¹ Vgl. Nakamoto (2008), S. 2 f.

¹² Vgl. hierzu und zum Folgenden Nakamoto (2008), S. 3.

¹³ Vgl. hierzu und zum Folgenden McKinsey & Company (2023), S. 2.

¹⁴ Vgl. hierzu und zum Folgenden BinanceAcademy (2023).

Algorithmus ist sehr schnell, da keine Rechenleistung benötigt wird oder eine Auswahl getroffen werden muss, um einen Block zu erstellen.

3 Use Case Zahlungsverkehr

Ein Use Case dieser Technologie in Bereich einer Bank wäre der Zahlungsverkehr. So wird die Blockchain als Datenbank für die Konten der Kunden verwendet. Eine Blockchain erfüllt automatisch durch ihren Aufbau einige Anforderungen an den Zahlungsverkehr, die in herkömmlichen Systemen beachtet und umgesetzt werden müssen. So können Transaktionen - also in diesem Fall Einträge in diese Datenbank - nicht rückgängig, nicht verändert und so nicht manipuliert werden. Es gäbe dennoch die Möglichkeit - je nach konkreter Implementierung - bestimmte Sicherheitsmechanismen einzubauen, um bspw. gegen Geldwäsche oder fehlerhaft Buchungen vorzugehen. Außerdem ist ein AuditLog automatisch vorhanden, da alle Transaktionen in der Blockchain gespeichert werden. Aufbauend darauf können Smart Contracts verwendet werden, um bestimmte Finanzprodukte (z.B. Sparverträge, Kredite, ...) oder auch Multisign (per Multisign Contracts) abzubilden und so zu automatisieren.

3.1 Datenspeicherung

Um den Kontostand eines Kunden widerzuspiegeln, gibt es folgende Möglichkeiten.

3.1.1 Layer 1 Währung

Bei der Darstellung des Kontostandes als Layer 1 Währung (z. B. ETH) müsste jeder Kunde ein Wallet erhalten / besitzen, das den Wert des Kontos in einer Layer 1 Währung enthält. Das Problem dabei ist, dass diese nicht den Euro darstellt. So müsste der Wert immer in eine andere Währung umgerechnet werden, was zu zusätzlichen Kosten führt. Außerdem ist der Wert einer Layer 1 Währung sehr volatil, was zu Problemen führen kann, wenn der Wert des Kontos nicht mit dem Wert der Layer 1 Währung übereinstimmt. Die Darstellungsart kommt also nicht in Frage.

3.1.2 ERC20 Token

Es gibt diverse Standards für Smart Contracts, die bestimmte Funktionen und Eigenschaften definieren. Einer dieser Standards ist der ERC20 Token Standard, der die Schnittstellen eines Smart Contracts definiert, der als Token verwendet werden soll.¹⁵ Ein Token kann dabei eine beliebige Repräsentation eines Vermögenswertes sein. In diesem Smart Contract wird die Anzahl der Token gespeichert, die eine bestimmte Adresse (also Benutzer-Wallet oder Smart Contract) besitzt. Außerdem

¹⁵ Vgl. hierzu und zum Folgenden Ethereum.org (2023b).

werden Funktionen definiert, um u. a. Token von einer Adresse zu einer anderen zu versenden, die Anzahl der Token einer Adresse abzufragen und anderen Adressen die Erlaubnis zu erteilen, Token von der eigenen Adresse zu versenden.¹⁶

3.1.2.1 Stablecoin

Es gibt bestimmte ERC20 Token, die den Wert anderer Assets (unter anderem auch den Euro) abbilden. Diese werden Stablecoin genannt.¹⁷ Das Problem daran - sowie auch bei der Layer 1 Währung - ist, dass diese einen tatsächlichen Wert haben, und so die Bank dieses Geld nicht für eigene Geschäfte verwenden kann.

3.1.2.2 Neuer Token

Es wäre also die Erstellung eines eigenen Tokens sinnvoll, um den Wert eines Kontos darzustellen, ohne dass dieser einen tatsächlichen Wert hat. So kann die Bank diesen Wert für eigene Geschäfte verwenden, ohne dass der Kunde dadurch einen Verlust erleidet. Außerdem kann so gewährleistet werden, dass nur Kunden der Bank diesen Token verwenden können, da die Bank die einzige ist, die diesen Token ausgibt. Außerdem muss der erstellte Token nicht zwingend die genauen Schnittstellen eines ERC20 Tokens, sondern lediglich die Anforderungen der Bank erfüllen.

3.2 Anonymität

In einem öffentlichen Blockchain-Netzwerk sind alle Transaktionen öffentlich einsehbar. Anonymität wird dadurch gewährleistet, dass die Identität eines Teilnehmers von der Walletaddress getrennt ist.¹⁸ Allerdings können mehrere Transaktionen eines Wallets miteinander in Verbindung gebracht werden, und so die Anonymität eines Teilnehmers gefährden. So wird - zumindest bei Bitcoin - dazu geraten jede Address nur genau zweimal zu verwenden. Einmal um Bitcoin zu empfangen und einmal um dieses wieder zu versenden.¹⁹ Dieses Problem würde ebenfalls bestehen, wenn die Kontostände in einem öffentlichen Netzwerk abgebildet werden würden.

3.2.1 Account-based vs. UTXO-based Chain

Bei einer UTXO-based Chain (bspw. Bitcoin) werden die Anzahl an Coins pro offener Transaktion gespeichert.²⁰ Eine Adresse besitzt also genauso viele Coins wie die Summe der offenen Transaktionen, die an diese Adresse gesendet wurden. Eine Transaktion kann mehrere Ein- und Ausgänge haben, wobei die Summe gleich

¹⁶ Vgl. OpenZeppelin (2023); Ethereum.org (2023b).

¹⁷ Vgl. hierzu und weiterführend Presidents's Working Group on Financial Markets, Federal Deposit Insurance Corporation, Office of the Comptroller of the Currency (2021), S. 4.

¹⁸ Vgl. Nakamoto (2008), S. 6.

¹⁹ Vgl. BitcoinDeveloper (o. J.)

²⁰ Vgl. hierzu, zum Folgenden und weiterführend Singhal, Dhameja, Panda (2018), S. 182 ff.

sein muss. So können auch zwei offene Transaktionen unterschiedlicher Adressen zusammengefasst und einem Empfänger zugesendet werden.

Bei einer Account-based Chain (bspw. EVM-Chains) werden die Anzahl an Coins pro Account / Adresse gespeichert.²¹ So wird bei einer Transaktion die Anzahl an Coins von einem Account auf einen anderen Account übertragen, sprich die Anzahl an Coins wird von einem Account abgezogen und dem anderen Account hinzugefügt. Die Art von Chain wird vor allem bei Smart Contract fokussierten Blockchains verwendet. Im in diesem Modell Coins mehrerer Adressen zusammenzufassen, sind mehrere Transaktionen notwendig.

3.2.2 HD-Wallets

Bei einem HD-Wallet werden beliebig viele Keys (sprich Adressen) aus einem Hauptschlüssel (Seed) generiert.²² So kann ein Wallet verwendet werden, dabei aber für jede Transaktion eine neue Adresse verwendet werden und so eine hohe Anonymität gewährleistet werden. Diese Art von Wallet sind der heutige Standard für UTXO-based Chains. Allerdings können HD-Wallets nicht für Account-based Chains verwendet werden, da diese keine Keys verwenden, sondern die Anzahl an Coins pro Account speichern.

3.2.3 UTXO-based Token

Aufbauend auf der Idee einen neuen Token zu kreieren (s. 3.1.2.2) könnte dieser auch als UTXO-basierter Token implementiert werden. So werden nicht wie üblich bei einem ERC20 Token der Coinstand pro Adresse gespeichert, sondern die offenen Transaktionen pro Adresse. Bei einem Transfer können dann beliebig viele offene Transaktionen als In- und Output verwendet werden. Dabei könnte die Methode so implementiert werden, dass der Contract selbst die Transaktionen zusammensucht, die in Summe den gewünschten Betrag ergeben oder es werden beim Aufruf die zu verwendenden Transaktionen als Parameter übergeben. Letzteres würde weniger Aufrufe benötigen und so Transaktionskosten (Gas) sparen. Auf diese Weise kann ein HD-Wallet fähiger Token erstellt werden, der auf einer Account-based Chain (also auch einer EVM-Chain) verwendet werden kann.

3.3 Öffentliche vs. private Chain

Bei der Verwendung einer Blockchain gibt es die Möglichkeit, einer öffentlichen Chain „beizutreten“ oder dafür eine private Chain zu betreiben.²³ Eine öffentliche Chain ist für alle Teilnehmer offen und kann von jedem verwendet werden.²⁴

²¹ Vgl. hierzu und zum Folgenden Crypto APIs Team (2022).

²² Vgl. hierzu und weiterführend Binnewies (2023), S. 8 ff.

²³ Vgl. Ethereum.org (2023e).

²⁴ Vgl. hierzu und zum Folgenden Ethereum.org (2023c).

Eine private Chain hingegen ist nur für ausgewählte Teilnehmer zugänglich und wird i.d.R. von einer oder mehreren Organisationen / Unternehmen betrieben. Die Auswahl der Art der Chain kann an den Punkten Sicherheit / Unveränderlichkeit, Leistung, Kosten, Berechtigungen und Datenschutz / Anonymität erfolgen:

- **Sicherheit / Unveränderlichkeit:** Die Sicherheit und Unveränderlichkeit einer Blockchain wird durch ihren Konsensalgorithmus bestimmt. Eine öffentliche Chain wird durch die Interaktion von Tausenden unabhängigen Nodes gesichert, die von Einzelpersonen und Organisationen auf der ganzen Welt betrieben werden. Private Chains haben typischerweise eine kleine Anzahl von Nodes, die von einer oder wenigen Organisationen kontrolliert werden. Diese Nodes können streng kontrolliert werden, aber nur wenige müssen kompromittiert werden, um die Chain umzuschreiben oder betrügerische Transaktionen durchzuführen.
- **Leistung:** Bei privaten Chains können Hochleistungsnodes mit besonderer Hardware sowie ein anderer Konsensalgorithmus verwendet werden, um einen höheren Transaktionsdurchsatz auf der Basisschicht (Layer 1) zu erreichen. Bei einer öffentlichen Chain kann ein hoher Durchsatz mit Hilfe von Layer 2 Skalierungslösungen erreicht werden.
- **Kosten:** Die Kosten für den Betrieb einer privaten Chain spiegeln sich hauptsächlich in der Arbeit wider, die Chain einzurichten und zu verwalten, und den Servern zu betreiben, auf denen sie läuft. Während es keine Kosten gibt, um sich mit dem Ethereum Mainnet zu verbinden, muss die Gas Fee (s. 2.7) für jede Transaktion in Ether bezahlt werden. Abhilfe können Transaction Relayers (s. 3.4.2) sein, sodass ein Endkunde diese Gebühr nicht selbst tragen muss.

Einige Analysen haben gezeigt, dass die Gesamtkosten für den Betrieb einer Anwendung auf einer öffentlichen Chain niedriger sein können als beim Betrieb einer privaten Chain.²⁵

- **Berechtigungen:** Bei privaten Chains können nur autorisierte Teilnehmer Nodes einrichten und Transaktionen durchführen. Bei öffentlichen Chains kann jeder Node einrichten und Transaktionen durchführen. So kann ebenfalls jeder auf jeden Contract zugreifen, also dessen gespeicherte Daten auslesen und Funktionen aufrufen. Daher müssen erstellte Contracts so implementiert werden, dass sie nur von den gewünschten Teilnehmern verwendet werden können (s. 3.3.1).
- **Datenschutz / Anonymität:** Der Zugang zu Daten, die auf privaten Chains festgehalten wurden, kann frei vom Betreiber kontrolliert werden. Alle Daten,

²⁵ Vgl. EYBlockchain (2019), S. 14.

die auf einer öffentlichen Chain geschrieben wurden, sind für jeden einsehbar, so dass sensible Informationen off-chain gespeichert und übertragen oder verschlüsselt werden sollten. Es bestehen Designpattern, die dies erleichtern, sowie Layer 2 Lösungen, die Daten abgetrennt und von Layer 1 fernhalten können (s. 3.4.1).

Ebenso sind alle Transaktionen auf einer öffentlichen Chain öffentlich einsehbar, sodass die Anonymität der Teilnehmer nicht gewährleistet werden kann (s. 3.2.1).

3.3.1 Sicherheitsrisiken

3.4 Transaktionskosten / Troughput

3.4.1 Layer 2 Lösungen

Da sowohl die Ethereum Blockchain als auch die meisten anderen Blockchains nur eine geringe Anzahl an Transaktionen pro Sekunde verarbeiten können und so die Transaktionskosten sehr hoch sind, werden Layer 2 Lösungen eingesetzt, um die Skalierbarkeit zu erhöhen und Transaktionskosten zu senken.²⁶ Layer 2 ist ein grundsätzlicher Begriff für Lösungen, die „off-chain“ - also außerhalb der eigentlichen Blockchain (Layer 1) - betrieben werden, dort die Transaktionen gebündelt werden und nur die Ergebnisse auf die Layer 1 Chain geschrieben werden.²⁷ Dabei gibt es verschiedene Ansätze, unter anderem die Folgenden:

- **Sidechains:** Eine Sidechain ist eine eigene Blockchain, die mit der Layer 1 Chain verbunden ist und so parallel zu dieser läuft. Diese Chain hat ihren eigenen Regeln zum Thema Konsensalgorithmus und Blöcken.²⁸

Da hier eine eigene Blockchain verwendet wird, ist diese Lösung sehr flexibel und kann für viele verschiedene Anwendungsfälle verwendet werden. Allerdings wird nicht die Sicherheit der Layer 1 Chain übernommen, sondern es muss der Sidechain vertraut werden, da ein eigener Konsensalgorithmus verwendet wird.²⁹

- **State Channels:** State Channels ermöglicht es vielfache Transaktionen „off-chain“ zu tätigen und dabei nur zwei Transaktionen auf die Layer 1 Chain zu schreiben - das Öffnen und Schließen des Channels. Es gibt zwei Arten von Channels: Payment Channels und State Channels.³⁰

²⁶ Vgl. Das (2024).

²⁷ Vgl. Ethereum.org (2023f).

²⁸ Vgl. hierzu und weiterführend Ethereum.org (2023g).

²⁹ Vgl. Moreland (2023).

³⁰ Vgl. hierzu, zum Folgenden und weiterführend Ethereum.org (2023h).

Payment Channels sind sicher, da sie den Konsensalgorithmus der Layer 1 Chain verwenden, können allerdings nur für spezifische Anwendungszwecke verwendet werden (bspw. Coin- oder Token-Transaktionen).

State Channels können für beliebige Transaktionen verwendet werden, sind allerdings unsicherer, da die Validität der Transaktionen nur durch die Teilnehmer des Channels geprüft werden und nicht durch die Layer 1 Chain.

- **Rollups:** Rollups führen die Transaktionen ebenfalls „off-chain“ aus, die Ergebnisse werden dann in einem Layer 1 Block gesammelt und so in die Layer 1 Chain geschrieben.³¹ So werden Rollups mit der Layer 1 Chain gesichert. Es gibt zwei Arten von Rollups: Optimistic Rollups und Zero Knowledge Rollups.

Optimistic Rollups gehen davon aus, dass Off-Chain-Transaktionen gültig sind und veröffentlichen keine Nachweise für die Gültigkeit der auf der Kette veröffentlichten Transaktionsbatches.³² Nachdem ein Rollup-Batch auf Ethereum eingereicht wurde, gibt es ein Zeitfenster (die sogenannte Challenge-Periode), in dem jeder die Ergebnisse einer Rollup-Transaktion durch Berechnung eines Betrugsnachweises anfechten kann („Fraud Proof“). Wenn der Betrugsnachweis erfolgreich ist, wird die Transaktion neu ausgeführt und der Zustand des Rollups entsprechend aktualisiert.

In ZK-Rollups wird ein Stapel (engl. „Batch“) von Transaktionen auf dem Ethereum-Netzwerk auf Korrektheit überprüft.³³ Nach dieser Prüfung, wird der Stapel von Transaktionen als endgültig betrachtet, genau wie jede andere Ethereum-Transaktion. Dafür wird ein kryptographischer Gültigkeitsnachweis (allgemein als Zero-Knowledge-Nachweise bezeichnet) verwendet. Bei jedem Stapel von Off-Chain-Transaktionen generiert der ZK-Rollup-Betreiber einen Gültigkeitsnachweis für diesen Stapel. Sobald der Nachweis generiert ist, wird er an Ethereum übermittelt, um den Roll-up-Stapel in der Layer 1 Chain einzubinden.

3.4.2 Transaction Relayers

Um es Account zu ermöglichen Transaktionen zu tätigen, ohne ETH zu besitzen, besteht die Möglichkeit, dass ein Dritter die Transaktion für den Account tätigen und so auch bezahlen.³⁴ Dieser Dritte wird Transaction Relayer genannt. Dabei wird die Transaktion vom Benutzer zwar signiert, dann aber nicht direkt ans Netzwerk gesendet und so ausgeführt, sondern an den Dritten gesendet, der die Transaktion dann

³¹ Vgl. hierzu und zum Folgenden Ethereum.org (2023f).

³² Vgl. hierzu, zum Folgenden und weiterführend Alchemy (2022).

³³ Vgl. hierzu, zum Folgenden und weiterführend ZkSync (2024).

³⁴ Vgl. hierzu, zum Folgenden und weiterführend Sandford et al. (2020); Bloemen, Logvinov, Evans (2017).

ausführt. Es muss auf der Chain ein Smart Contract existieren, der die Transaktionen entgegennimmt, die Signatur prüft und dann die Transaktion durchführt.³⁵ Allerdings können nur speziell dafür angepasste Funktionen eines Smart Contracts auf diese Weise ausgeführt werden, da der eigentliche „Ausführende“ nicht der Sender ist und deshalb anders geprüft werden muss (nicht über *msg.sender* sondern über bspw. *msgSender()*).³⁶

4 Praxis

5 Eignungsanalyse

5.1 Bewertungskriterien

6 Ausblick

³⁵ Vgl. Clement (2020).

³⁶ Vgl. Lundfall (2020); Sandford et al. (2020).

7 Quellenverzeichnis

Alchemy (2022):

How Do Optimistic Rollups Work (The Complete Guide), <https://www.alchemy.com/overview/rollups>, Stand: 18.01.2024.

Bianco, A. (2023):

What are EVM Chains?, <https://www.datawallet.com/crypto/evm-chains>, Stand: 21.12.2023.

BinanceAcademy (2023):

Proof of Authority Explained, <https://academy.binance.com/en/articles/proof-of-authority-explained>, Stand: 08.01.2024.

Binnewies, T. (2023):

Analyse des Aufbaus eines Crypto-Wallets sowie die Einbindung desselben in eine Banking-App am Beispiel der Sparkassen-Banking-App der Finanz Informatik.

Bitcoin.org (2023):

What Is A Full Node?, <https://bitcoin.org/en/full-node#what-is-a-full-node>, Stand: 08.01.2024.

BitcoinDeveloper (o. J.):

Transactions, <https://developer.bitcoin.org/devguide/transactions.html>, Stand: 12.01.2024.

Bloemen, R. / Logvinov, L. / Evans, J. (2017):

EIP-712: Typed structured data hashing and signing - A procedure for hashing and signing of typed structured data as opposed to just bytestrings., <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-712>, Stand: 18.01.2024.

Chainlist.org (2023):

Chainlist - Helping users to connect to EVM powered networks, <https://chainlist.org>, Stand: 22.12.2023.

Clement (2020):

ETH - Pre-Paid smart contract so users don't pay transactions, <https://ethereum.stackexchange.com/questions/88276/pre-paid-smart-contract-so-users-dont-pay-transactions/88276#88276>, Stand: 18.01.2024.

Crypto APIs Team (2022):

UTXO and Account-Based Blockchains, <https://cryptoapis.io/blog/7-utxo-and-account-based-blockchains>, Stand: 12.01.2024.

Das, L. (2024):

What Are Ethereum Layer 2 Blockchains and How Do They Work?, <https://www.ledger.com/en/articles/what-are-ethereum-layer-2-blockchains-and-how-do-they-work>, Stand: 17.01.2024.

Ethereum.org (2023a):

Blocks, <https://ethereum.org/en/developers/docs/blocks/>, Stand: 03.01.2024.

Ethereum.org (2023b):

ERC-20 Token Standard, <https://ethereum.org/en/developers/docs/standards/tokens/erc-20/>, Stand: 22.12.2023.

Ethereum.org (2023c):

Ethereum Mainnet for Enterprise, <https://ethereum.org/en/enterprise/>, Stand: 08.01.2024.

Ethereum.org (2023d):

Introduction to Smart Contracts, <https://ethereum.org/en/developers/docs/smart-contracts/>, Stand: 21.12.2023.

Ethereum.org (2023e):

Private Ethereum for Enterprise, <https://ethereum.org/en/enterprise/private-ethereum/>, Stand: 08.01.2024.

Ethereum.org (2023f):

Scaling, https://ethereum.org/developers/docs/scaling, Stand: 17.01.2024.

Ethereum.org (2023g):

Sidechains, https://ethereum.org/developers/docs/scaling/sidechains, Stand: 17.01.2024.

Ethereum.org (2023h):

State Channels, https://ethereum.org/developers/docs/scaling/state-channels, Stand: 17.01.2024.

Ethereum.org (2023i):

What are nodes and clients?, <https://ethereum.org/en/developers/docs/nodes-and-clients/>, Stand: 08.01.2024.

EYBlockchain (2019):

Total cost of ownership for blockchain solutions.

Greeh, A. / Camilleri, A. (2017):

Blockchain in Education.

LedgerAcademy (2023):

Distributed Ledger Meaning, <https://www.ledger.com/academy/glossary/distributed-ledger/>, Stand: 21.12.2023.

Lundfall, M. (2020):

ERC-2612: Permit Extension for EIP-20 Signed Approvals - EIP-20 approvals via EIP-712 secp256k1 signatures, <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-2612>, Stand: 19.01.2024.

Majaski, C. (2023):

Distributed Ledgers: Definition, How They're Used, and Potential, <https://www.investopedia.com/ledger-technology/101/>, Stand: 21.12.2023.

McKinsey & Company (2023):

What is proof of stake?.

Moreland, K. (2023):

What is Polygon (MATIC)?, <https://www.ledger.com/academy/blockchain/what-is-polygon-matic/>, Stand: 17.01.2024.

Nakamoto, S. (2008):

Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.

OpenZeppelin (2023):

ERC20.sol, <https://github.com/OpenZeppelin/openzeppelin-contracts/blob/master/contracts/token/ERC20/ERC20.sol>, Stand: 22.12.2023.

Presidents's Working Group on Financial Markets / Federal Deposit Insurance Corporation / Office of the Comptroller of the Currency (2021):

Report on Stablecoins.

Sandford, R. / Siri, L. / Tirosh, D. / Weiss, Y. / Forshtat, A. / Croubois, H. / Tomar, S. / McCorry, P. / Venturo, N. / Vogelsteller, F. / John, G. (2020):

ERC-2771: Secure Protocol for Native Meta Transactions - A contract interface for receiving meta transactions through a trusted forwarder, <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-2771>, Stand: 18.01.2024.

Singhal, B. / Dhameja, G. / Panda, P. S. (2018):

Beginning Blockchain, 1. Aufl., Apress.

Tamalio, M. (2023):

Wie funktioniert die Distributed-Ledger-Technologie?, <https://btv-bank.de/wissen/distributed-ledger-technologie/>, Stand: 21.12.2023.

ZkSync (2024):

Intro to Rollups, <https://docs.zksync.io/build/developer-reference/rollups.html#what-are-zk-rollups>, Stand: 18.01.2024.

IV Anhangsverzeichnis

Anhang 1 - Interviewleitfaden für Technikverantwortlicher/ Entwickler	A1
Anhang 2 - Gesprächsprotokoll 1	A2
Anhang 1 - Template	A3
Anhang 2 - Template	A3

V Anhang

Anhang 1 - Interviewleitfaden für Technikverantwortlicher/ Entwickler

Interviewfragen	Bezugskapitel
1. Frage 1	Kapitel 1
2. Frage 2	eigene Ergänzung

Anhang 2 - Gesprächsprotokoll 1

Protokoll: Gespräch mit X Y

Teilnehmer: X Y - RolleX

Tobias Binnewies - Dual Student

Thema: ThemaX

Dauer: XY min

Frage: Frage1

Antwort: Antwort1

Frage: Frage2

Antwort: Antwort2

Anhang 1 - Template



Anhang 2 - Template

