



Expose zur Bachelorarbeit
**Umsetzung des europäischen
Emissionshandelssystem mit
Blockchain-Technologie**

erstellt von
Wolfgang Landes
Matrikel: 365743

Hochschullehrer: Prof. Dr. Florian Tschorsch, TU Berlin
Betreuer: Elias Rohrer, TU Berlin

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Distributed Security Infrastructures
Institut für Softwaretechnik und Theoretische Informatik
Berlin, 10. Februar 2018

Vorläufiges Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	4
2	Aufbau der Bachelorarbeit	4
2.1	Eu-Emissionshandelssystem	5
2.1.1	Grundidee und Umsetzung	5
2.1.2	Aufbau EU-Emissionshandelssystem in Phase 3	5
2.1.3	Kritikpunkte	5
2.2	Wie kann Blockchain helfen	5
2.2.1	Erklärung Blockchain-Technologie und Begrifflichkeiten	5
2.2.2	Dezentralität und Separate of Interest	5
2.2.3	Tokensystem	5
2.2.4	Transparenz	5
2.2.5	Erweiterbarkeit auf öffentliches Netzwerk	5
2.2.6	Sicherheit	5
2.3	Modellierung einer Blockchain Umsetzung	5
2.3.1	Voraussetzung an Lösungskonzept	7
2.3.2	Vorgehensweise zum erstellen des Modells	7
2.3.3	Schrittweise Erklärung des Aufbaus	7
2.3.4	Überprüfung der Voraussetzung am fertigen Modell	7
2.3.5	Erweiterung des Modells zum öffentlichen Netzwerk	7
2.3.6	Identität und Anonymität innerhalb einer Blockchain	7
2.4	Vergleich zentraler bzw. dezentraler Ansatz	7
2.5	Erstellung eines Prototypens als „Proof of Concept“	8
2.5.1	Erstellung eines Klassendiagramms	8
2.5.2	Implementierung von Solidity „Smart Contracts“ auf Ethereum	8
2.5.3	Erstellen von Frontendschnittstelle	8
2.5.4	Überprüfung auf Funktionalität	8
2.6	Prüfen des Prototypen durch theoretische Simulation von Marktzuständen	8
2.6.1	Globale beziehungsweise länderspezifische Wirtschaftskrise	9
2.6.2	Wirtschaftsboom	9
2.6.3	Technologie Errungenschaft innerhalb spezieller Erneuerbaren Energien	9
2.6.4	Zusammenfassung der theoretischen Simulation	9
3	Abgrenzung der Arbeit	9
3.1	Testen des Prototypen durch automatisierte Marktteilnehmer	9
3.1.1	Aufbau Simulation	9
3.1.2	Globale beziehungsweise länderspezifische Wirtschaftskrise	9
3.1.3	Wirtschaftsboom	9
3.1.4	Technologie Errungenschaft innerhalb spezieller Erneuerbaren Energien	9
3.1.5	Zusammenfassung der automatisierten Simulation	9

3.2	Schritte zur Umsetzung des Projekts	9
3.2.1	Eigener Phasenaufbau	10
3.2.2	Spezielle Anforderungen an die Blockchain und den Nutzer . . .	10
3.2.3	Öffentliches Interesse wecken	10
3.2.4	Politische Initiative	10
4	Ausblick zur Übertragbarkeit des Konzepts innerhalb des öffentlichen Sektors	10

1 Motivation

Seit über sieben Jahren beweist die Existenz von Bitcoin eindrucksvoll, dass die Blockchain-Technologie funktioniert. Der daraus resultierende Markt an potenziellen Blockchain-Lösungen wird derzeit immer unübersichtlicher. Wollen Start-ups Probleme unterschiedlichster Art lösen, scheitert es meist noch am Misstrauen der Kunden bezüglich der Technologie. Selbst Bitcoin ist für viele noch ein Mysterium. Die Unsicherheit führt dazu, dass sich im Allgemeinen nur Technik interessierte Investoren trauen, auf neue Ideen zu spekulieren. Diese Arbeit soll die Einsatzmöglichkeit von Blockchain-Technologie in dem bereits etablierten EU-Emissionshandelssystem (EHS) untersuchen. Ähnlich dem in Blockchainanwendungen typischen System aus tauschbaren Token, sind Emissionszertifikaten ($\equiv 1$ Tonne CO_2) die Grundlage des EHS. Diese werden in begrenzter Anzahl an Firmen verteilt bzw. verkauft, welche damit für den eigenen Emissionsausstoß aufkommen oder im Falle eines Überschusses diese an andere Firmen weiterverkaufen können. Bei Blockchainanwendungen existiert derzeit sowohl Zweifel an der Anwendung sowie der Technologie selbst. Da das EHS bereits die Testphasen überstanden hat, bietet es sich an um Blockchain-Technologie zu implementieren ohne, dass dabei an der Idee der Anwendung gezweifelt wird und sich auf das Potenzial der neuen Technologie konzentriert werden kann. Die Webseite des EHS verkündet stolz: "Die Emissionen der vom System erfassten Anlagen gehen planmäßig zurück." Dieses Statement erzeugt die Frage, warum man ein anscheinend funktionierendes System überhaupt ändern sollte. Grund dafür sind die berechtigten Zweifel daran, ob die Rückgänge der Emissionen wirklich an dem EHS auszumachen sind oder nicht anderen Ursprung haben. Gerade seit der Wirtschaftskrise 2008 und der damit verbundenen Wirtschaftsrezession folglich Emissionsrückgang ist der EU-Emissionshandelmarkt so überflutet mit Emissionszertifikaten das der Preis kaum Anreiz zur Reduzierung geben kann. Gerade jetzt wäre es an der Zeit über mögliche Änderungen ab 2020 nachzudenken. Ab dann geht das EU-EHS in die vierte Phase. Diese Phasenweise Umsetzung ermöglicht es neue Konzepte einzubringen, Teilnehmerzahl und abgedeckten Wirtschaftszweige zu erhöhen sowie Fehler in der bisherigen Struktur auszubessern. Diese Bachelorarbeit strebt an für die Phase 4 des EU-Emissionshandelssystem einen Anreiz zu geben bisherige Strukturschwächen mithilfe von Blockchain-Technologie auszubessern.

2 Aufbau der Bachelorarbeit

Die Bachelorarbeit erfordert Grundkenntnisse im Emissionshandel sowie Blockchain-Technologie. Diese sollen aufgezeigt werden und daraus ein Blockchainmodell zur Umsetzung des Emissionshandels entwickelt werden. Darin sollen neue Blockchainspezifische Konzepte vorgestellt und Analysiert werden inwieweit diese eine dezentrale Lösung benötigen, wie dezentral eine Lösung mit einer zentralen Verwaltungsstelle überhaupt sein kann und ob es Sinn macht private Teilnehmer am Netzwerk teilnehmen zu lassen. Um dabei einen möglichst praxisnahen Bezug zu haben soll ein "Proof of Concept" erstellt werden. An diesen werden die Auswirkungen von bestimmten Marktsituationen

wie zum Beispiel einer Wirtschaftskrise simuliert.

2.1 Eu-Emissionshandelssystem

Im Emissionshandel soll sich auf das Europäische Modell konzentriert werden. Dieses ist sowohl das älteste und größte seiner Art und bietet daher die meisten Erfahrungswerte. Ziel ist es die Grundidee und den derzeitigen Stand des Systems aufzuzeigen. Dabei soll besonders Wert auf Kritikpunkte gelegt werden, welche anschließend Grundlage für eine Überarbeitung liefern.

2.2 Wie kann Blockchain helfen

Gerade auf die Grundlagen der Blockchain-Technologie soll in dieser Arbeit besonderen Wert gelegt werden. Begrifflichkeiten die im Rest der Arbeit verwendet werden müssen hier klar definiert werden. Es gilt aufzuzeigen warum es sich bei einer Blockchain nicht nur um eine dezentrale Datenbank handelt. Vorteile der Blockchain-Technologie sollen Themenspezifisch analysiert werden. Somit liefert dieses Kapitel die Grundlage für die folgende Erstellung des Blockchain Modells.

2.3 Modellierung einer Blockchain Umsetzung

Zuerst gilt es die beiden vorangegangenen Kapitel zusammenzufassen. Ausgehend der Probleme der derzeitigen EU-Emissionshandelsumsetzung sowie der technologischen Vorteile der Blockchain-Technologie gilt es ein Modell zu entwickeln, dass den Anforderungen gerecht wird. Die Funktionalität des Modells und die Rolle der einzelnen Akteure soll schrittweise erklärt werden. Es gilt zu überprüfen inwieweit das System von einem, dem bisherigen EHS ähnlichem privates Tauschnetzwerk mit einer fixen Anzahl (ca. 11000 Firmen) von Teilnehmern zu einem öffentlichen Netzwerk entwickeln werden kann.

Mein derzeitiges Modell zur Blockchainüberarbeitung des Emissionshandelssystems sieht vor die Grundidee des Emissionshandelsprinzip beizubehalten. Firmen sind verpflichtet basierend auf Ihren Emissionen Emissionszertifikate an eine zentrale Verwaltungsstelle abzutreten. Die Emissionszertifikate werden allerdings nicht mehr von derselben Verwaltungsstelle verteilt/verkauft sondern von einem automatisierten Smart Contract. Wie bisher auch haben Firmen nach vorgeschriebenen Metriken ermittelte Emissionsgrenze die jährlich abnimmt. Dieses Grenze legt fest wie viele Zertifikate für den billigen Preis gekauft werden können. Benötigt eine Firma zusätzliche Zertifikate können diese entweder zu einem teureren Preis vom Smart Contract, oder von anderen Marktteilnehmern die Ihre billigen Zertifikate nicht vollständig aufbrauchen, erworben werden. Anders als beim bisherigen System entfällt die viel kritisierte Möglichkeit Zertifikate durch Kompensationsleistungen zu erzeugen. Dies führte schlichtweg zu sehr fragwürdigen Projekten (z.B. Erstellung einer Palmöl Plantage auf zuvor genutzten Ackerland in dritte Welt Ländern) und zugleich sank der Zertifikate Preis durch Inflation des Marktes. Stattdessen ist es Marktteilnehmer erlaubt mit überschüssigen Zertifikaten in Erneuerbare Energie zu investieren. Um dies zu ermöglichen benötigt

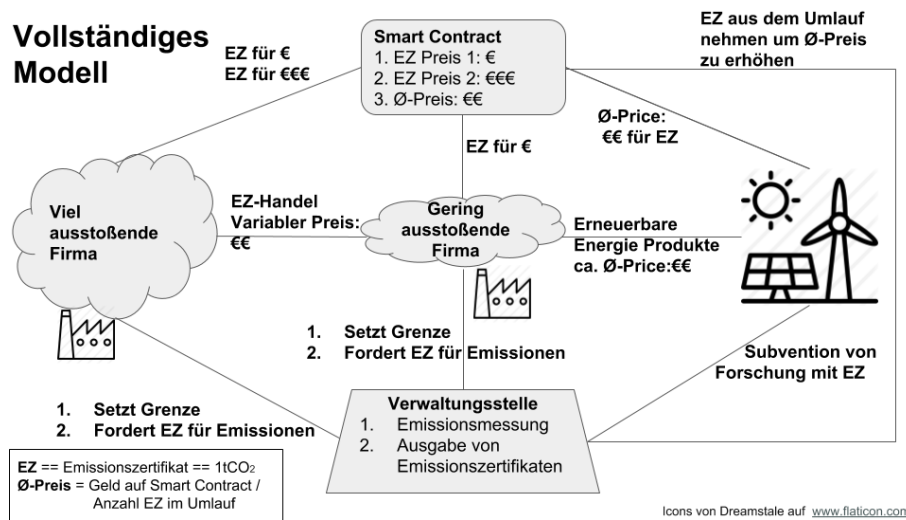


Abbildung 1: Bisheriges Entwurf

es spezielle Accounts welche es erneuerbare Energieerzeugern gestattet im Smart Contract Zertifikate gegen das dort gespeicherte Geld zurückzutauschen. Der Preis des zurücktauschen soll dabei basieren auf dem Gesamtkapital auf dem Smart Contracts geteilt durch die Anzahl von Zertifikate im Umlauf. Der Preis kann somit von der Verwaltungsstelle künstlich erhöht werden, indem die für Emissionen bezahlten Zertifikate ohne Gegenleistung an das Smart Contract zurückgegeben werden. Zudem wird der Preis grundsätzlich zwischen dem billigen und teuren Kaufpreis liegen. Folglich entsteht eine große Nachfrage in Zertifikate die zum billigen Preis gekauft werden können da darin ein Subventionierungsmechanismus für erneuerbare Energien steckt. Die Blockchain wird benötigt um Peer2Peer Transaktionen von Zertifikaten zu ermöglichen mit denen basierend auf Marktteilnehmer unterschiedliche Aktionen betätigt werden können. Das wichtigste ist, dass es nur Erzeugern von erneuerbare Energie gestattet ist im Smart Contract Zertifikate für Geld zurückzutauschen. Dies ist notwendig um einen Investitionsanreiz zu schaffen. Ansonsten würden Marktteilnehmer überschüssige Emissionsberechtigungen erwerben und selbst zurücktauschen. In einer späteren Phase wäre es denkbar Privatpersonen zu ermöglichen an der Subventionierung teilzuhaben. Es bedarf dafür schlichtweg der Möglichkeit sich als Privatperson zu registrieren um eine geringe Anzahl von billigen Emissionszertifikaten zu erwerben die dann zu einem teuren Preis an erneuerbare Energieerzeuger getauscht werden können. Möchte man vermeiden das die zusätzlichen Zertifikate sich auf das gesetzte Ziel an Gesamtemissionen auswirkt müsste man Transaktionen zwischen Privatpersonen und Firmen verbieten. Transaktionen zwischen zwei Firmen oder der Verwaltungsstelle sollen transparent sein. Dies soll einen zusätzlichen Anreiz erzeugen im Sinne von grüner PR sich unterhalb der Emissionsgrenze aufzuhalten oder eher in erneuerbare Energien zu investieren

als überschüssige Zertifikate an andere Firmen zu verkaufen. Zusätzlich sollen somit Marktmanipulationsversuche einfacher erkannt werden können. Der Verwaltungsstelle obliegt die Aufgabe Marktteilnehmer zu verifizieren, Emissionen zu messen und die damit verbundenen Zertifikate einzufordern. Die Verwaltungsstelle kann Zertifikate an das Smart Contract unentgeltlich zurückgeben womit die Gesamtzahl an sich im Umlauf befindlichen Zertifikate sinkt und der Zurücktauschpreis steigt. Alternativ besteht die Möglichkeit in die Forschung Erneuerbarer Energien zu investieren. Wichtig ist auch hier die Begrenzung, dass es der Verwaltungsstelle nicht Möglich ist Zertifikate an Firmen zu verkaufen, damit ein finanzielles Eigeninteresse verhindert wird.

2.4 Vergleich zentraler bzw. dezentraler Ansatz

Nach abschließender Modellierung gilt es zu analysieren ob das fertige Modell nicht auch auf einer traditionellen zentral verwalteten Datenbank umsetzbar wäre. Es gilt abzuwägen wie aufwendig die Umsetzung des Modells in beiden Szenarien wäre und welche Problemstellungen zu Überwinden sind.

2.5 Erstellung eines Prototypens als „Proof of Concept“

Die Erstellung eines „Proof of Concept“ des resultierenden Modells soll den Hauptteil der Bachelorarbeit bilden. Ziel ist es auf einer Smart Contract fähigen Blockchain (voraussichtlich Ethereum) einen auf dem Testnetzwerk funktionierenden Prototypen zu implementieren. Beispielhaft soll es möglich sein über eine Frontendschnittstelle die Funktionalität zu testen. Als erster Schritt gilt die Erzeugung eines Klassendiagramms des Systems. Es existieren die folgenden Marktteilnehmer/Klassen: Smart Contract, Verwaltungsstelle, Firmen, Erneuerbare Energieerzeuger, Privatpersonen, unregistrierte Privatpersonen. Die Verwaltungsstelle fängt an das Smart Contract zu erzeugen. Dieses soll Token bzw. Emissionszertifikate für zwei verschiedenen Preise (Ether) verkaufen. Zusätzlich soll je eine Adressenliste für Erneuerbare Energieerzeuger, Firmen und Privatpersonen existieren. Dazugehörig zu jedem Marktteilnehmer muss die anfängliche Emissionsobergrenze eingespeichert werden. Diese kann automatisiert zeitlich verringert werden. Es muss entweder zentral auf dem Smart Contract oder dezentral gespeichert werden wie viele Zertifikate jeweils bereits für den billigen Preis erworben wurden. Zudem muss sich das Smart Contract merken wie viele Zertifikate zu jedem Zeitpunkt im Umlauf befinden um daraus den Zurücktauschpreis kalkulieren. Um das System testen zu können bedarf es eines benutzerfreundlichen Frontends. Dabei soll über MetaMask Zugang zum Ethereum Testnetz erreicht werden. Anschließend soll über die JavaScript Schnittstelle von Solidity eine Kommunikation zum dezentralen Backend stattfinden. Ethereum Adressen steht es frei beim Smart Contract Zertifikate zum teuren Preis zu erwerben, oder auf dem Markt angebotene Zertifikate zum Marktpreis zu kaufen um damit Erneuerbare Energien zu erwerben. Dies ist sinnvoll, da erwartungsgemäß der Verkauf von Zertifikaten gegen Geld einen geringeren Marktwert haben wird, als das kaufen von erneuerbaren Energien. Möchte eine Ethereum Adresse allerdings Zertifikate zum billigen Preis kaufen oder Zertifikate gegen Geld auf dem Smart Contract tauschen, müssen sie sich bei der Verwaltungsstelle registrie-

ren um als Erneuerbare Energieerzeuger, Privatpersonen oder Firmen in die jeweiligen Listen des Smart Contracts eingetragen zu werden. Bestmöglich soll das Frontend Interface auch eine Transaktionshistorie beinhalten. Diese soll von der Transparenz der Blockchain profitieren.

2.6 Prüfen des Prototypen durch theoretische Simulation von Marktzuständen

Nach Prüfen der Funktionalität des fertigen Prototypen gilt es diesen ausgiebig in einer Simulation von verschiedenen Marktsituationen zu testen. Ziel ist es potenziell auftretende Probleme bestimmter Ereignisse zum Beispiel der Wirtschaftskrise im bisherigen EU-EHS zu erkennen. Das Verhalten der verschiedenen Marktteilnehmer soll analysiert werden um festzustellen ob es einzelnen Teilnehmern möglich ist das System auszunutzen bzw. dessen Funktionalität zu gefährden.

3 Abgrenzung der Arbeit

Im folgenden sollen zusätzliche Leistungen beschrieben werden, die abhängig von Zeitaufwand und Umfang der bisherigen Teile ergänzend die Arbeit verbessern können.

3.1 Testen des Prototypen durch automatisierte Marktteilnehmer

Um eine noch aussagekräftigere Simulation zu erzeugen gilt es Skripts für die einzelnen Marktteilnehmer zu schreiben. So sollen bestimmte Verhaltensmuster und Marktsituationen realisiert werden. Das automatisierte Testen soll es ermöglichen, die gewonnene Datenmenge anhand von festgelegten Metriken zu analysieren.

3.2 Schritte zur Umsetzung des Projekts

Um negative Auswirkungen einer radikalen Marktänderung zu vermeiden, hat sich das bisherige EU-EHS für eine phasenweise Umsetzung entschieden. Es stellt sich die Frage, wie sich eine Umstellung zum entwickelten Blockchainansatzes gestalten könnte. Dabei soll analysiert werden, was die notwendigen Schritte sind um dies zu erwirken.

4 Ausblick zur Übertragbarkeit des Konzepts innerhalb des öffentlichen Sektors

Zum Abschluss der Bachelorarbeit sollen gewonnene Erkenntnisse zusammengefasst werden. Zusätzlich soll eine realistische Prognose über die Umsetzung erstellt werden. Es gilt auch einen Ausblick über die Übertragbarkeit des Blockchainansatzes auf andere Bereiche des öffentlichen Sektors.

Literatur

- [1] A.M. Antonopoulos. *Mastering Bitcoin: Unlocking Digital Cryptocurrencies*. O'Reilly Media, 2014.
- [2] F. Bitzer and K.M. Brisch. *Digitale Signatur: Grundlagen, Funktion und Einsatz*. Springer Berlin Heidelberg, 1999.
- [3] J. Clark, S. Meiklejohn, P.Y.A. Ryan, D. Wallach, M. Brenner, and K. Rohloff. *Financial Cryptography and Data Security: FC 2016 International Workshops, BITCOIN, VOTING, and WAHC, Christ Church, Barbados, February 26, 2016, Revised Selected Papers*. Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg, 2016.
- [4] Chris Dannen. *Introducing ethereum and solidity : Foundations of cryptocurrency and blockchain programming for beginners*, 2017.
- [5] Michael Dutschke and Axel Michaelowa. *Issues and open questions of greenhouse gas emission trading under the kyoto protocol*. HWWA Discussion Paper 68, Hamburg, 1998.
- [6] Vivid Economics et al. *State and trends of carbon pricing 2017*. 2017.
- [7] M. Gerhard. *Theorie und Praxis einer nachhaltigen Umweltpolitik mit handelbaren Emissionsrechten: eine theoretische und empirische Analyse der Anwendungsbedingungen und Erfolgsfaktoren mengensteuernder Allokationsverfahren in der Umweltpolitik*. Akademische Abhandlungen zu den Wirtschaftswissenschaften. VWF, 2000.
- [8] Godefroy Grosjean. *Reforming the european union emissions trading system (eu ets)*, 2017.
- [9] J. Panko and R.R. Panko. *Business Data Networks and Security, Global Edition*. Always learning / Pearson. Pearson Education, Limited, 2014.
- [10] T.H. Tietenberg. *Emissions Trading: Principles and Practice*. An RFF Press book. Resources for the Future, 2006.