

Bitcoin Mining-Hardware

Jens Meiners

Institut für Wirtschaftsinformatik
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Leonardo-Campus 3
48149 Münster, Deutschland
j_mein07@uni-muenster.de

ABSTRACT

Der Kern dieser Arbeit ist die Leistungsfähigkeit der verschiedenen Mining-Hardwarekategorien zu untersuchen und zu analysieren, ob die neusten Entwicklungen zum Abstoßen von Hardware geführt haben. Dies ist Interessant, weil die Hardwareeffizienz den Gewinn des Nutzers beeinflusst. Die Betreiber dieser Hardware, werden Miner genannt und stellen Rechenleistung für das Veröffentlichen von neuen Blöcken und daher für die Überprüfung von Transaktionen zur Verfügung und erhalten als Anreiz eine Belohnung von Bitcoins, sowie Transaktionsgebühren. Sobald die Betriebskosten, auf Grund von neuerer Hardware, steigen, ist davon auszugehen, dass die alte Hardware verkauft wird. In dieser Arbeit wird die Produktivität der unterschiedlichen Kategorien an Hand von Beispielen analysiert. An Hand dieser Berechnung wird untersucht, in wie weit die Ergebnisse durch das Kaufverhalten von den Hardwarenutzern, belegt werden kann. Danach wird noch eine Zukunftsprognose aufgestellt. Diese Arbeit offenbart, dass die Nutzung der neusten Hardware-Kategorien, der ASICs, ergiebiger ist als die Verwendung vorheriger Klassen. Dieses Resultat wird auf die Steigung der Rechenleistung, im gesamten Bitcoin-System, und dem damit verbundenen Schwierigkeitsanstieg, für das Erzeugen von Blöcken, zurückgeführt.

Keywords

Mining-Hardware, ASICs, FPGAs, Terapeak, Rentabilität, Effizienz,

1. MINING

Bitcoin ist eine virtuelle Währung und wird im Gegensatz zu gesetzlichen Zahlungsmitteln, wie zum Beispiel dem Euro, nicht durch eine zentrale Instanz überwacht und gesteuert. Die Verwaltung und Erzeugung der Bitcoins übernimmt nach Nakamoto (2008) die von einander unabhängigen Clients des dezentralen Peer-to-Peer Bitcoin-Netzwerks.

Jegliche gültige Transaktionen von Bitcoins werden nach Danny Leonhardt (2012) in Blöcken zusammengefasst und in der Block Chain gespeichert. Diese wird unter den Netzwerkteilnehmern ausgetauscht. Somit kann von jedem Teilnehmer die Transaktionsgeschichte nachvollzogen und der rechtmäßige Besitz der Bitcoins selbständig überprüft werden.

Die Erzeuger dieser Blocks werden Miner genannt. Miner fassen Transaktionen zu einem Block zusammen und veröffentlichen diesen anschließend durch Erweiterung der Block Chain. Es wird immer die Kette erweitert, welche am meisten Rechenpower für die Erstellung benötigt hat (Mölleken, 2012) und korrekt ist. Der Vorgang der Blockerzeugung wird Mining genannt und schützt die Systemteilnehmer vor Missbrauch, insbesondere vor der doppelten Ausgabe (Double-Spending) von Bitcoins (Nakamoto, 2008). Dies geschieht, weil dadurch alle Transferbewegungen in der Block Chain gespeichert werden und die Überziehung der Teilnehmerkonten, ähnlich wie bei einem Buchhaltungssystem, nicht möglich ist.

Als Belohnung für das Mining schreiben sich die Blockersteller eine Belohnung von neu generierten Bitcoins zu, den Reward, außerdem erhalten diese die freiwilligen Transaktionsgebühren der neu aufgenommenen Transaktionen (Sorge, 2012). Der Reward wird alle 210.000 Blöcke halbiert und ist zurzeit 25 Bitcoins. Neue Bitcoins werden solange an die Miner ausgegeben bis alle 21 Millionen Bitcoins erzeugt sind.

Beim Mining werden nicht nur die Transaktionen zusammengefasst und überprüft, sondern es muss darüber hinaus noch eine kryptographische Aufgabe mit Hilfe von Rechenleistung gelöst werden. Diese Aufgabe besteht darin einen Hash-Wert mittels zweifacher SHA-256-Berechnung zu finden, welcher einen gewissen Schwierigkeitsgrad (Difficulty) erfüllt, das heißt der Hash-Wert muss kleiner sein als der vorgegebene Grenzwert (Nakamoto, 2008). Infolgedessen ist durch die Blockveröffentlichung der Beweis der Erbringung von Rechenleistung, so genannter Proof-of-Work, nachgewiesen (Becker et al., 2012). Ein Angreifer müsste mehr Rechenleistung investieren als alle anderen Miner zusammen, damit dieser eine

alternative und längere Block Chain bilden kann. Demnach ist der Proof-of-Work ein Schutzmechanismus des Systems.

Der Hash-Wert ergibt sich aus den Werten im Blockkopf, welcher durch Ausprobieren passend gemacht werden muss (Nakamoto, 2008). Der Schwierigkeitsgrad wird durch das Netzwerk alle 2016 Blöcke so angepasst (de la Porte, 2012), dass durchschnittlich ein Block innerhalb von 10 Minuten veröffentlicht wird (Nakamoto, 2008).

Das Finden des passenden Hash-Werts beruht auf einer Einwegfunktion. Zur Lösung der Aufgabe ist somit ein höherer Rechenaufwand nötig als zur Überprüfung der Lösung (Möller, 2012). Der neue Block wird von den Netzwerkteilnehmern nur akzeptiert, wenn der Hash-Wert und die Transaktionen im Block korrekt sind.

Die zur Verfügung stehende Rechenleistung erhöht die Chance einen Block zu veröffentlichen und den Reward, sowie die Transaktionsgebühren zu erhalten. Die Rentabilität des Minings ist demnach von der Effizienz der Mining-Hardware abhängig. Dies führte zu der Entwicklung von Hardware, welche spezifisch für das Mining konzipiert wurde. Die in Betriebnahme dieser Hardware, so genannter ASICs (application-specific integrated circuit – dt. anwendungsspezifische integrierte Schaltung), hatte einen Anstieg der Difficulty zur Folge.

Im Folgenden wird die Auswirkung von ASICs auf die Difficulty-Kurve und die Reduzierung anderer Kategorien untersucht und analysiert, in wie weit ältere Hardware, angesichts der neueren Technologie und dem damit verbundenen Verlust von Produktivität, abgestoßen wird.

Hierzu werden zunächst die verschiedenen Hardwarekategorien beschrieben, um in der darauf folgenden Passage deren Effizienz an Hand von Beispielen zu ermitteln und die Auswirkung der neusten Entwicklungen auf die Difficulty-Kurve zu untersuchen. Das Ergebnis wird anschließend mit den Werten von blockchain.info verglichen. In Bezug auf die bis dahin ermittelten Analyseergebnisse wird mit Hilfe des Recherchertools Terapeak geprüft, ob ältere Mining-Hardware über die Handelsplattform Ebay.com vermehrt gehandelt und dementsprechend abgestoßen wurde. Im Abschnitt sechs werden die Ergebnisse für eine Zukunftsprognose verwendet. Danach wird der Nachteil von Mining-Hardware beschrieben. Zum Schluss werden die Aussagen dieser Arbeit im Fazit zusammengefasst und die Grenzen des Untersuchten festgelegt.

2. MINING-HARDWARE

Bitcoins wurden in der Vergangenheit mit verschiedenen Hardwarekomponenten erzeugt. Am Anfang wurden die Blocks mit Hilfe der Rechenleistung von Hauptprozessoren erzeugt. Anschließend wurden Grafikkarten aufgrund der besseren Leistungsfähigkeit verwendet. Seit Ende 2011 werden Chips mit FPGAs (Field Programmable Gate Array) für das Mining verwendet. Diese haben nicht nur eine bessere Leistungsfähigkeit als Grafikkarten, sondern haben auch einen geringeren Stromverbrauch und somit geringere Folgekosten (Bitcoin.de, 2012). Seit Ende Januar wird Hardware angeboten, dessen Vertrieb einen weiteren technologischen Fortschritt repräsentiert. Dies sind ASICs. Solche Chips werden spezifisch für eine Anforderung gefertigt (Hermann, 2004), zum Beispiel das Finden des gesuchten Hash-Wertes. ASICs sind folglich besser geeignet

fürs Mining als die FPGAs, allerdings sind diese nicht rekonfigurierbar wie FPGAs und sind nur für das spezifische Problem nutzbar. Dieses bedeutet ein ASIC-Chip muss nicht nur die Kosten für das Mining decken, sondern auch die kompletten Investitionskosten. Sobald die Hashrate für das Mining nicht mehr ausreichend ist, gibt es keine andere Einsatzmöglichkeit für diesen und somit ist dieser dann wertlos und kann nicht weiterverkauft werden.

Hauptprozessoren, Grafikkarten und FPGAs können nicht nur für die spezifische Problemstellung des Mining genutzt werden und verlieren deshalb nicht ihren gesamten Wert. Folglich ist es für Miner sinnvoll die Hardware abzustoßen, sobald es effizientere Möglichkeiten für das Mining gibt.

Diese Idee wird im Folgenden aufgegriffen und es wird mit Hilfe des Recherchertools Terapeak untersucht, ob veraltete Mining-Hardware über die Handelsplattform ebay.com vermehrt gehandelt wurden. Ebay.com war 2011 der größte Online-Marktplatz und die Angebote sind weltweit abrufbar (eBay Inc., 2012). Daher kann durch eine Analyse der Daten von ebay.com das Verkaufsverhalten weltweit und nicht nur regional beurteilt werden, außerdem bietet die Plattform genügend Kennzahlen um ein aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten.

Bevor jedoch das Verkaufsverhalten überprüft wird, ist zu ermitteln, wie rentabel Mining-Hardware ist. Um daraus abzuleiten, welche Kategorien geringen Nutzen für die Miner haben und daher wahrscheinlich veräußert werden. Hierzu wird zunächst die Wirtschaftlichkeit von Modellen der verschiedenen Kategorien geprüft. Am frühesten rentieren sich Einheiten mit einer hohen Hashrate, weil diese am schnellsten den passenden Hashwert finden. Deshalb wird im nächsten Kapitel in jeder Kategorie das Beispiel mit der höchsten Hashrate untersucht und geschätzt wie lukrativ dieses ist. Auf diese Weise lässt sich eine Obergrenze für die Wirtschaftlichkeit jeder Gattung von Mining-Hardware festlegen.

Die Chips werden meistens nicht einzeln vertrieben, sondern als Apparatur, welche bereits funktionsfähig ist. Die Untersuchung solcher einer Konstruktion, bietet die Möglichkeit Kosten für den Erwerb von zusätzlich benötigten Materialien außer Acht zu lassen. Ein weiterer Vorteil ist, dass in diesen mehrere Chips vorhanden sind und dadurch die Hashrate steigt. Die Verbindung von einzelnen Chips oder Grafikkarten wird Mining Rig genannt.

In der Gruppe der ASICs hat das Modell ASIC V1 von Avalon die höchste Hashrate. Es besteht aus drei Modulen zu je 80 Einheiten des ASIC-Chips A3256-Q48 (bitmine.ch, 2013). Der FPGA-Rig mit den meisten Hashes pro Sekunde, welcher ab Werk geliefert wurde, ist der BitForce SHA256 Mini Rig von Butterflylabs. Dieser kann aus bis zu 24 FPGA-Karten bestehen und wurde mit 18 FPGA-Karten ausgeliefert (Bitcoinminer.com, 2012). Nachdem Bitcoin Wiki (2013) gehört zu den meist verwendeten und gleichzeitig leistungsfähigsten Grafikkarten die AMD Radeon HD 7990, daher wird diese im Weiteren betrachtet. Die Effizienz von Hauptprozessoren wird in dieser Arbeit nicht untersucht. Einerseits existiert eine große Anzahl an Hauptprozessoren, so dass nicht ermittelt werden kann, welche von diesen speziell für das Mining genutzt werden, andererseits gibt es für diese viele Einsatzmöglichkeiten, wodurch eine Analyse der Verkaufszahlen zwar möglich ist, aber es lässt sich keine

Erkenntnis daraus schließen. Die technischen Daten der oben genannten Modelle sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1. Technische Daten der Mining-Hardware ¹

Produktname	Hashrate [Mhash/s] ²	Leistung [Watt]
Avalon ASIC V1	66.300	620
Butterflylabs BitForce SHA256 Mini Rig	25.200	1.250
AMD Radeon HD 7990	1.200	555

Bereits in der Vergangenheit wurde ermittelt wie ertragreich verschiedene Arten von Mining-Hardware waren. Im August 2011 stellte Toshi fest, das Bitcoin Mining mit 3 Grafikkarten ATI Radeon 5850 zu einem Gewinn von €0,54 pro Tag führt. Diese Erkenntnis muss erneut überprüft werden, weil sowohl die Difficulty wie auch der Wechselkurs von Bitcoin (BTC) zum US-Dollar (\$) seit diesem Zeitpunkt gestiegen sind. Aus diesem Grund kann auch das Resultat von Buterin (2013), welcher im Januar 2013 behauptete, dass ein Avalon ASIC V1 sich nach weniger als 14 Tagen amortisiert, nicht als Grundlage für diese Arbeit verwendet werden. Im nächsten Kapitel wird deshalb, zuerst die Wirtschaftlichkeit der genannten Modelle errechnet, um darauf aufbauend zu untersuchen, ob die Rentabilität Auswirkungen auf das Angebot von Mining-Hardware bei eBay.com hat.

3. WIRTSCHAFTLICHKEIT DER VERSCHIEDENEN KATEGORIEN

Zur Berechnung des Ertrags von Mining-Hardware werden zusätzlich zu den bereits genannten Kennzahlen weitere benötigt. Diese sind die Höhe der Difficulty, der Preis für die Mining-Hardware, der Umrechnungskurs von Bitcoin zu Dollar, die Stromkosten und die Kosten für den Internetzugang.

Die derzeitige Difficulty und der Umrechnungskurs sind der Statistikseite von blockchain.info (2013) entnommen. Der Schwierigkeitsgrad beträgt 19.399.258,27 und der Wechselkurs von einem Bitcoin zu einem US-Dollar ist beziffert auf BTC 1 : \$ 103,04. Entsprechend ist der Reward von 25 Bitcoins 2.576 US-Dollar wert. Die Kosten für die Mining-Hardware sind dem Bitcoin Wiki (2013) entnommen und in der Tabelle 2 aufgeführt. Der FPGA Rig wird nicht mehr vertrieben, daher ist für diesen kein Preis angegeben. Um trotzdem die Gewinnspanne dieser Hardware zu betrachten wird in Abschnitt 3.5 eine Break-Even-Point-Analyse durchgeführt. Damit Schwankungen von Wechselkursen in der Berechnung nicht berücksichtigt werden müssen, wird als Grundlage die Kosten für den Internetzugang und die des Stroms für einen Miner in den Vereinigten Staaten von Amerika genommen. Eine Kilowattstunde (kWh) kostete dort im Jahr 2011 laut einem Bericht der Nus Consulting Group

¹ Technische Daten sind den Internetauftritten der Hersteller am 31. Mai 2013 entnommen. Falls Daten nicht mehr abrufbar waren, sind diese dem Bitcoin Wiki (2013) entnommen.

² Mhash/s = Millionen Hashes pro Sekunde

(2012) im Mittel 0,0889 \$/kWh. Die durchschnittlichen monatlichen Kosten für die Nutzung eines Internetzugangs bezifferte der WhiteFence Index (2013) auf \$42,66 (~ \$0,06 pro Stunde). Die Auslegung der Begriffe operative Gewinnmarge und Gewinnspanne sind von blockchain.info (2013) übernommen. In der operativen Gewinnmarge werden die Anschaffungskosten und der Preis für die Internetnutzung nicht berücksichtigt. Bei der Berechnung der Gewinnspanne werden diese berücksichtigt, die Investitionskosten werden aber über 2 Jahre abgeschrieben.

Tabelle 2. Mining-Hardware Preis

Produktname	Preis [\$]
Avalon ASIC V1	~ 7.728 (= 75 BTC)
Butterflylabs BitForce SHA256 Mini Rig	-
AMD Radeon HD 7990	999,00

Um eine Aussage über die Rentabilität der Mining-Hardware zu treffen, muss noch die durchschnittliche Zeit bis zum Veröffentlichen eines Blocks berechnet werden. Näherungsweise können die Stunden bis zur Publikation durch die Formel

$$\frac{\text{Difficulty} \times 2^{32}}{3.600 \text{ Sekunden} \times \text{Hashes pro Sekunde}}$$

geschätzt werden (Rosenfeld, 2011). Die 2^{32} im Zähler ergibt sich aus den Möglichkeiten den 32 Bit Integer, des im Blockkopf befindlichen Nonce-Teil, der notwendigen Difficulty anzupassen. Um die Streuung zu reduzieren und häufigere aber geringe Auszahlung zu erhalten, schließen sich Miner in Mining-Pools zusammen. Für die Verwaltung dieser Netzwerke erhalten die Mining-Pool Betreiber einen Anteil an den erschaffenen Bitcoins. Die Untersuchung dieser Pools ist nicht Bestandteil dieser Arbeit. Bei Interesse an den Verteilungsmechanismen verschiedener Pools ist die Publikation „Anreize in Mining Pools“ (Schmidt, 2013) zu empfehlen.

3.1 Avalon ASIC V1

Die technischen Daten der Hardware Avalon ASIC V1 für die Berechnung sind der Tabelle 1 entnommen. Aus den Daten ergibt sich:

$$\frac{19.399.258,27 \times 2^{32}}{3.600[\text{Sekunden}] \times 66.300.000.000[\text{Hashes pro Sekunde}]} \approx 349 [\text{Std.}]$$

Bei gleich bleibender Difficulty benötigt ein Avalon ASIC V1 somit ungefähr 14 1/2 Tage um einen Block zu veröffentlichen und den Reward von derzeit 25 Bitcoins dem Konto des Miners gutzuschreiben. Die Hardware verbraucht in den 14 1/2 Tagen:

$$620 [\text{Watt}] \times 24 [\text{Stunden}] \times 14,5 [\text{Tage}] \approx 216,43 [\text{Kilowattstunden}]$$

Somit entstehen Stromkosten in Höhe von 19,24 US-Dollar. Nach 14 1/2 Tagen beträgt der Netto-Gewinn folglich zirka \$2.556,76. Der Avalon ASIC V1 hat eine operative Gewinnmarge von 99,25% ($\frac{\$2.556,76}{\$2.576}$). Werden zusätzlich noch die Kosten von \$20,34 für den 14 1/2-tägigen Internetzugang und die anteiligen Investitionskosten berücksichtigt ergibt sich eine Gewinnspanne von 92,48% ($\frac{\$1.2382,38}{\$2.576}$). Dieses Modell zeigt beispielhaft die großen Gewinnspannen von Minern mit ASIC-Modellen.

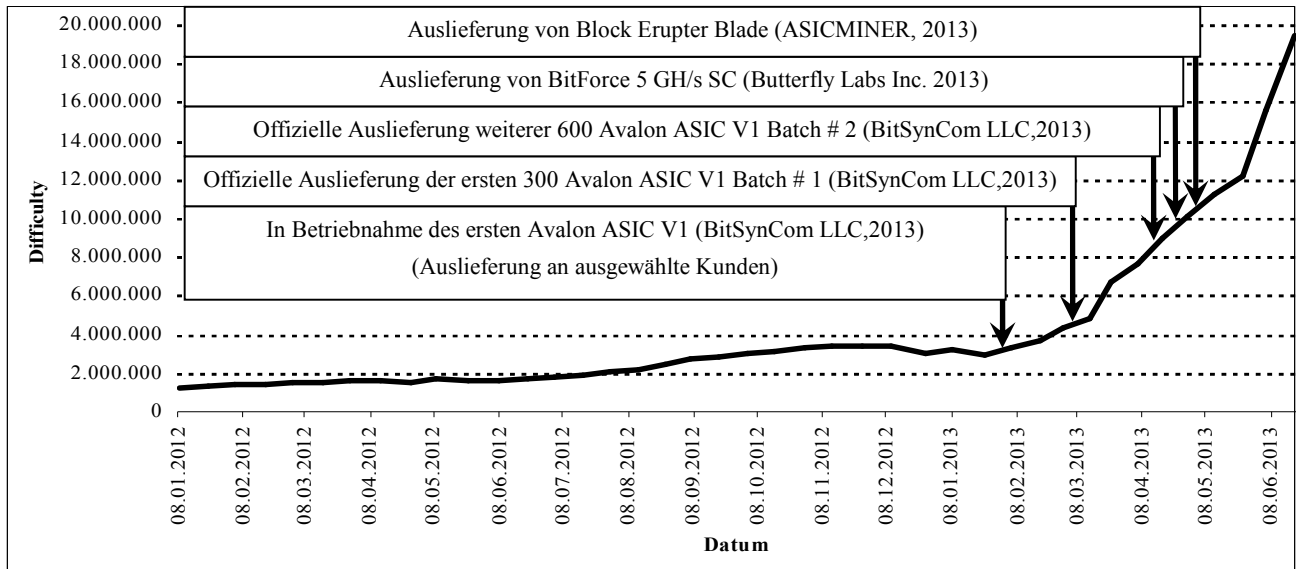


Abbildung 1. Verlauf der Difficulty (blockexplorer.com, 2013)

3.2 Butterflylabs Bitforce Sha256 Mini Rig

Für die FPGA-Ausführung werden ebenfalls die Kennzahlen aus der Tabelle 1 genommen. Aus diesen ergibt sich:

$$\frac{19.399.258,27 \times 2^{32}}{3.600[\text{Sekunden}] \times 25.200.000.000[\text{Hashes pro Sekunde}]} \approx 918,5 [\text{Std.}]$$

Daraus folgt, dass der Butterflylabs BitForce SHA256 Mini Rig, unter der nicht Berücksichtigung der Veränderung der Difficulty, nach etwa 38,5 Tagen einen Block veröffentlicht. In dieser Zeit entsteht ein Verbrauch von:

$$1.250 [\text{Watt}] \times 24 [\text{Stunden}] \times 38,5 [\text{Tage}] \approx 1.148,03 [\text{Kilowattstunden}]$$

Entsprechend entstehen laufende Kosten von 102,06 US-Dollar. Sind die Kosten für die Hardware zum heutigen Zeitpunkt bereits amortisiert, erzielen die FPGA-Chips einen Gewinn von 64,65 US Dollar pro Tag, was einer operativen Marge von 96,04% ($\frac{\$2.473,94}{\$2.576}$) entspricht. Dieses Beispiel zeigt, dass auch FPGA-Chips noch rentabel sein können.

3.3 AMD Radeon HD 7990

Die Ziffern der nachstehenden Berechnung für Rentabilität der AMD Radeon HD 7990 sind aus der Tabelle 1. Diese Grafikkarte veröffentlicht nach

$$\frac{19.399.258,27 \times 2^{32}}{3.600[\text{Sekunden}] \times 1.200.000.000[\text{Hashes pro Sekunde}]} \approx 19.287 [\text{Std.}]$$

den ersten Block. Bei der Unterstellung, dass der Schwierigkeitsgrad sich in dieser Zeit nicht verändert, vergehen beim Mining 803,5 Tage also über zwei Jahre. Die Grafikkarte benötigt in dieser Zeit

$$555 [\text{Watt}] \times 24 [\text{Stunden}] \times 803,5 [\text{Tage}] \approx 10.704,2 [\text{Kilowattstunden}].$$

Die Kosten belaufen sich dementsprechend auf 951,60 US-Dollar. Werden diese zum Einkaufspreis von \$999,00 addiert, übersteigt der Gegenwert des Reward trotzdem die Ausgaben. Allerdings sollte dieses Ergebnis mit Vorsicht betrachtet werden, denn die Annahme, dass die Difficulty innerhalb von zwei Jahren nicht steigt ist unrealistisch. Bei KnCMiner AB, BitSynCom LLC. und

anderen Vertreibern der ASIC-Chips können bereits weitere Modelle geordert werden und sobald diese den Betrieb aufnehmen, wird der Schwierigkeitsgrad voraussichtlich ansteigen. Dies war zumindest der Fall, nachdem die ersten Avalon ASICs V1 Ende Januar 2013 in Betrieb genommen wurden, wie in Abbildung 1 gezeigt. Dieses würde zu einem Verlust beim Mining mit einer AMD Radeon HD 7990 führen. Im Moment beträgt die operative Gewinnmarge noch 63,06% ($\frac{\$1.624,40}{\$2.576}$). Die Gewinnspanne ist bereits negativ, diese beträgt -19,48% ($\frac{\$497,31}{\$2.576}$).

Des Weiteren ist in der Abbildung 1 zu erkennen, dass bereits andere Hersteller ebenfalls mit der Auslieferung von ASIC-Chips begonnen haben. Denn die Kurve stagniert nicht, sondern steigt stetig weiter, was bedeutet, dass weitere Rechenleistung dem Bitcoin-System zur Verfügung gestellt wird. Neben dem Butterfly Labs BitForce 5 GH/s SC, welcher 5 Giga-Hashes pro Sekunde mit 30 Watt produziert, werden zusätzlich verschiedene Modelle von ASICMINER angeboten, deren produktivstes Modell 83Watt benötigt und 10,752 Giga-Hashes pro Sekunde hervorbringt (Bitcoin Wiki, 2013).

Die Aussage dieses Kapital ist, dass sowohl ASIC- wie auch FPGA-Chips bei der derzeitigen Difficulty rentabel sind. Grafikkarten sind wahrscheinlich in Zukunft nur rentabel, wenn der Gewinn den Einkaufspreis bereits getilgt hat. Diese Aussage wird am Ende des nächsten Abschnitts weiter spezifiziert.

3.4 Block Mining Profit

Die Informationsseite blockchain.info (2013) stellt nach jeder Veröffentlichung eines Blockes aktuelle Daten über Bitcoin-Kennzahlen der letzten 24 Stunden zur Verfügung. Unter anderem sind dort eine operative Marge und eine durchschnittliche Gewinnspanne angegeben. Zum Abrufzeitpunkt betrug die Marge 13,99% und die Spanne -36,46%. Die Unterschiede zwischen den bisherigen Ergebnissen und den Aussagen von blockchain.info sind auf verschiedene Annahmen zurückzuführen. Diese sind in der Tabelle 3 gegenüber gestellt.

Tabelle 3. Annahmen der Rentabilitätsanalyse

Kennziffer	Bisherige Annahme	Annahme oder Berechnung von blockchain.info
Strompreis	0,0889 [\$/kWh]	0,15 [\$/kWh]
Leistung	Von dem Modell abhängig	650 [Watt pro Giga-Hash]
Preis der Hardware	Von dem Modell abhängig	1.000 [\$ für zwei Jahre]
Bandbreite/ Internetnutzung	42,66 [\$ pro Monat]	1 [\$ pro Giga-Hash pro Jahr]
Zusammensetzung des Umsatzes	Reward	Reward und Transaktionsgebühren
Hashrate	Von dem Modell abhängig	160.547,08 [GH/s] Von dem gesamten System abhängig

Aus der Tabelle 3 ist ersichtlich, dass die Transaktionsgebühren bisher nicht berücksichtigt wurden. Dies ist deshalb der Fall, weil die Gebühren eine freiwillige Abgabe sind und die Höhe daher von Block zu Block variiert und somit kein fester Betrag eingeplant werden kann. Die Unterschiede im Strompreis und der Abgaben für die Bandbreite beziehungsweise den Internetzugang kommen zu Stande, weil die Angaben auf blockchain.info (2013) nur Schätzungen sind. In den nächsten Schritten wird die Aufstellung von blockchain.info (2013), dem bereits bekannten Schema angepasst, indem der Strompreis und die Kosten für die Nutzung des Internets angepasst werden und die Transaktionsgebühren nicht berücksichtigt werden. Dadurch ist die Aussage dieser Arbeit mit der von blockchain.info vergleichbar.

Die Zeit bis im Mittel laut blockchain.info (2013) ein Block publiziert wird, beträgt

$$\frac{19.399.25827 \times 2^{32}}{3.600[\text{Sekunden}] \times 160.547.080.000.000[\text{Hashes pro Sekunde}]} \approx 0.1441[\text{Std.}]$$

Dies entspricht circa 8,62 Minuten und liegt dementsprechend unter den geforderten 10 Minuten, welche zwischen zwei Blockveröffentlichungen vergehen sollte. Falls diese Grenze weiterhin unterschritten wird, kommt es bei der nächsten Veränderung der Difficulty zu einer Erhöhung. In diesen Minuten verbraucht das System unter Veweiß auf die Watt-Angabe auf blockchain.info (2013):

$$650 [\text{Watt}] \times 160547,08 \times 0,1441 [\text{Tage}] \approx 15.043,74 [\text{Kilowattstunden}]$$

Dies entspricht bei Abgaben von 0,0889 €/kWh ungefähr \$1.337,39. Die Hardwarekosten von \$1.000 pro GH werden auf zwei Jahre verteilt und werden daher mit \$1.321,02 berücksichtigt. Für den Internetzugang wird ein Betrag von \$0,01 angesetzt. Der Reward ist, wie oben auch, \$2.576. Damit werden die Transaktionsgebühren nicht berücksichtigt. Die operative Gewinnmarge ist somit 48,08% ($\frac{1238,61}{2576}$) und die Gewinnspanne -3,20% ($\frac{-82,41}{2576}$). Diese Resultate unterscheiden sich um einen Wert von etwa 34% von denen auf blockchain.info (2013). Daraus lässt sich schließen, dass nicht nur die Hardware entscheiden für die Rentabilität des Mining ist, sondern auch die Kosten für die Ressourcen. Demzufolge kann

eine Mining-Hardware bereits in Deutschland, wo die Kosten für Strom abgerundet \$0,15 (Nus Consulting Group, 2012) betragen unrentabel sein, währenddessen kann die gleiche Hardware in den Vereinigten Staaten von Amerika oder in anderen Ländern, in denen die Kosten für die Bandbreite und den Strom gering ist, noch Ertrag bringen.

3.5 Break-Even-Point-Analyse

In den bisherigen Kapiteln sind verschiedene Faktoren identifiziert worden, welche den Ertrag von Mining-Hardware beeinflussen. Dies sind Strom, Leistung, Hardwarepreis, Preis für die Bandbreite, Transaktionsgebühren, der Reward und die Hashrate. Außerdem wurde festgestellt, dass Mining mit einer AMD Radeon HD 7990 weniger effizient ist, als mit den anderen Modellen, weil diese zu selten Blöcke publiziert. Es ist auch bereits bekannt, dass die Gewinnspanne von dem Avalon ASIC V1 über 90% liegt. Allerdings kann bisher keine Aussage getroffen werden, welche Gewinnspanne ein Butterflylabs BitForce SHA256 Mini Rig hat, weil der genaue Preis von diesem nicht bekannt ist. Mit einer Break-Event-Point-Analyse können wir den Preis ermitteln, bei welchem die Hardware heutzutage rentabel ist. Dazu wird von dem operativen Gewinn (\$2473,94) noch die Internutzungsgebühr (\$53,67) abgezogen, welche für die 918,42 Stunden (5,24% von 2 Jahren) des Mining anfällt, und dieser Betrag entspricht dann 5,24% der gesamten Hardwarekosten. Der Break-Even-Point ist somit bei \$46.169,57 erreicht, wie in Abbildung 2 zu sehen. Dieser Betrag ist Höher als der damalige Verkaufspreis von \$25.200, daher ist das Modell selbst unter der Annahme, dass dieses immer noch den gleichen Preis hat, rentabel.

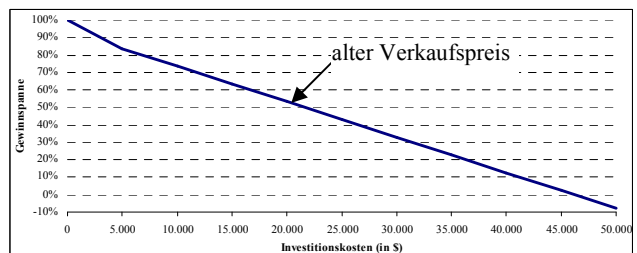


Abbildung 2. Break-Even-Point-Analyse

4. VERKAUF VON MINING-HARDWARE

Terapeak Inc. ist ein Datenanalytikunternehmen und bietet auf seiner Seite die Möglichkeit Information über eBay-Verkäufe und Angebote abzurufen. Als ein von eBay zertifizierter Anbieter (Teraspeak Inc., 2013) von Analysedaten ist diese Seite somit eine gute Quelle für Online-Marktforschung und daher für die Überprüfung von Verkäufen von Mining-Hardware über die Plattform eBay.com geeignet.

Die Seite bietet die Möglichkeit verschiedene Arten der Suche durchzuführen. Es könne Produkt-, Wettbewerber- oder Kategorierecherchen durchgeführt werden. In dieser Arbeit werden Produktrecherchen durchgeführt. Dazu wird das gesuchte Produkt in der Suchmaske eingefügt und dann der Zeitraum und der Marktplatz für die Erhebung der Daten ausgewählt. Die Daten von höchstens 90 Tagen können angezeigt werden. Die im Folgenden durchgeführte Recherche umfasst 90 Tage und wird für den Zeitraum vom 28.03.2013 bis zum 25.06.2013 durchgeführt. In diesem Zeitraum werden Daten des eBay.com Marktplatzes

erhoben, weil dieser der größte zur Verfügung stehende Marktplatz ist. Als Suchbegriffe werden die, soweit nicht anders angegeben, die Produktnamen der Mining-Modelle verwendet. Falls diese aus weiteren Bestandteilen bestehen, werden auch die Komponenten gesucht.

Neben den bereits in dieser Arbeit untersuchten Modellen werden je zwei weitere Modelle jeder Kategorie untersucht, damit die Daten aussagekräftig sind. Bei den Grafikkarten wird jeweils ein kongruentes Produkt untersucht, damit der Einfluss von externen Effekten ausgeschlossen werden kann. Hierzu werden die 3 Leistungsfähigsten Produkte von NVIDIA untersucht. Dies sind: Nvidia Geforce GTX Titan, Nvidia Geforce GTX 780 und Nvidia Geforce GTX 770 (NONSTOPON Media GmbH, 2013). Die untersuchten ASIC-Modelle sind für andere Aufgaben nicht zu verwenden, was an der Beschaffenheit der Chips liegt. Bei den FPGA Beispielen wird davon ausgegangen, dass diese nicht rekonfiguriert werden und deshalb nur Miner diese versuchen günstig zu erhalten. Bei der Auswahl der Modelle werden wieder diejenigen Produkte genommen, welche die höchste Hashrate haben (Bitcoin Wiki, 2013), weil diese am schnellsten Hashes generieren und somit den größten Gewinn haben.

Zusätzlich zu den technischen Daten in der Tabelle 4 werden in Tabelle 5 auch die operativen Gewinnmargen und die Gewinnspannen angegeben. Diese sind mit den oben ebenfalls verwendeten Parametern errechnet. Damit keine Einordnung der Leistung der zu untersuchenden Modelle erfolgen.

Tabelle 4. Technische Daten für Teraspeakanalyse

Name	Hashrate [Mhash/s]	Leistung [Watt]	Preis [\$]
AMD Radeon HD 7990 [Grafikkarte]	1.200	555	999
AMD Radeon HD 6990 [Grafikkarte]	750	375	699
AMD Radeon HD 5970 [Grafikkarte]	750	294	599
Butterflylabs BitForce SHA256 Mini Rig [FPGA]	25.200	1.250	-
KnCMiner Mars [FPGA]	6.000	400	-
ZTEX 1.15y [FPGA]	860	39	-
Avalon ASIC V1 [ASIC]	66.300	620	~ 7.728 (= 75 BTC)
BitForce SC 5Gh/s [ASIC]	5.000	30	274

Block Erupter Blade [ASIC]	10.752	83	5.749
----------------------------	--------	----	-------

Tabelle 5. Gewinnmarge und -spanne für Teraspeakanalyse

Name	Operative Gewinnmarge (%)	Gewinnspanne (%)
AMD Radeon HD 7990 [Grafikkarte]	63,06	-19,48
AMD Radeon HD 6990 [Grafikkarte]	60,06	-37,08
AMD Radeon HD 5970 [Grafikkarte]	68,69	-24,57
Butterflylabs BitForce SHA256 Mini Rig [FPGA]	96,04	-
KnCMiner Mars [FPGA]	94,68	-
ZTEX 1.15y [FPGA]	96,38	-
Avalon ASIC V1 [ASIC]	99,25	92,48
BitForce SC 5Gh/s [ASIC]	99,52	86,21
Block Erupter Blade [ASIC]	99,38	67,08

Die Tabelle verstärkt das bisherige Ergebnis. Die Gewinnspanne aller Grafikkarten ist negativ, obwohl deren operative Gewinnmarge positiv ist. Dies bedeutet das Mining mit diesen immer noch gewinnbringend ist soweit die Karte bereits amortisiert ist. Die Aussage, dass FPGAs und ASICs gewinnbringend Mining betreibt ist ebenfalls untermauert. Allerdings unterscheiden sich die Gewinnspannen der verschiedenen ASICs bereits um 30%. Was bedeutet, dass mit dem Avalon ASIC V1 länger Mining betrieben wird, falls die Difficulty-Kurve weiter steigt.

Der Verkauf und Angebotsverlauf über alle Monatstage lässt sich nicht exportieren. Deshalb sind in der Tabelle 6 die durchschnittlichen Werte der untersuchten Monate gegeben. Der Suchbegriff ist dieser Tabelle ebenfalls zu entnehmen.

Tabelle 6. Suchergebnisse

Suchwort	Durchschnittsverkaufspreis [€]	Verkäufe	Angebote	Verkaufsgote(%)
Nvidia Geforce GTX Titan	1.248,00	38	88	43,18
Nvidia Geforce GTX 780	501,43	10	49	20,41
Nvidia Geforce	346,56	12	27	51,85

GTX 770				
AMD Radeon HD 7990	3.825,00	23	53	33,96
AMD Radeon HD 6990	370,56	29	67	82,09
AMD Radeon HD 5970	261,71	30	70	77,14
Butterflylabs BitForce SHA256 Mini Rig	Keine Suchresultate, deshalb wurde der Suchbegriff der nächsten Spalte verwendet			
BitForce SHA256	809,49	34	79	64,56
KnCMiner	383,73	1	2	50
ZTEX 1.15y	826,97	6	13	23,08
Avalon ASIC	3.124,00	204	473	60,68
BitForce SC 5Gh/s	443,64	3	7	57,14
Block Erupter Blade	5.228,00	6	13	92,31

Die Auswertung hat ergeben, dass die AMD Radeon HD 7990 im Gegensatz zu den anderen Grafikkarten, welche zum Minen benutzt werden, zu einem höheren Preis verkauft wird als für diese bezahlt wird (€3.825 ~ \$4.979,77). Dieses Resultat ist nicht aus der vorherigen Analyse erklärbar, deshalb wird auf einen anderen Effekt geschlossen. Eine weitere Erkenntnis aus den Daten ist, dass über die Plattform eBay.com 204 Einheiten von den Avalon ASIC verkauft wurden. Dies sind 22% der gesamten Avalon ASIC. Daraus kann geschlossen werden, dass die Miner sich frühzeitig von Hardware trennen, sobald Hardware mit höherer Hashrate angepriesen wird (s.h. Kapitel 6). Daher sind auch keine erhöhten Verkaufswerte bei den anderen Modellen zu erkennen. Außerdem unterstreicht dies die These, dass die Miner den Avalon ASIC bereits amortisiert haben und sich von diesem trennen bevor er weiter an Wert verliert.

5. KEHRSEITEN VON MINING HARDWARE

Mining-Hardware hat im Moment drei Nachteile. Zwei Mankos betreffen insbesondere die Käufer neuer Hardware, während der dritte Makel ein Defizit des Systems ist.

Im Moment sind ASIC-Modelle beliebt, auf Grund der hohen Rentabilität, welche in Kapitel 3 beispielhaft an dem Avalon ASIC VI gezeigt wurde. Diese Beliebtheit führt dazu, dass Scheinangebote von Betrügern kursieren. Vor solchen Betrugsversuchen, wird in verschiedenen Bitcoin Blogs gewarnt. Es wird daher geraten nur Modelle zu kaufen, welche von den Herstellern vertrieben werden oder die Anpreisung auf Echtheit

zu prüfen, indem beispielsweise um einen Besichtigungstermin gebeten wird.

Der zweite Nachteil der neusten Mining-Hardware entsteht durch die Zeit zwischen der Vorbestellung und der Lieferung dieser. In der Zeit steigt die Difficulty und es kann nicht mehr der Profit erwirtschaftet werden, welcher am Tag der Order noch erreichbar war. Eine Vorbestellung bietet den Herstellern die Vorteile von einer besseren Produktionsplanung und der sicheren Abnahme der Ware. In Abbildung 3 ist illustriert, wie lange der Avalon ASIC VI benötigt hat einen Block zu finden, ab dem Datum der Vorbestellung der zweiten Auslieferungsmenge und der endgültigen Lieferung dieser. Die Zeit um einen Block zu finden hat sich in dieser Zeit mehr als verdoppelt. Dieser Zeitraum wurde gewählt, weil in dieser Zeit bereits Modelle auf dem Markt waren und die Difficulty, somit von ASIC-Chips beeinflusst wurde.

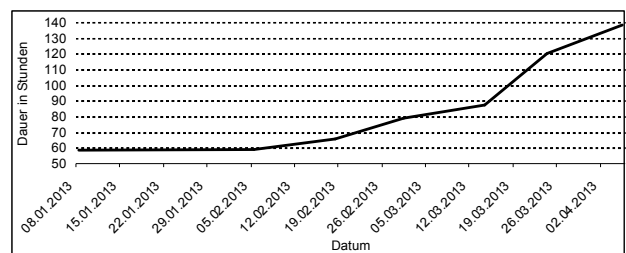


Abbildung 3. Dauer der Blockveröffentlichung

Das letzte Mango ist der Hohe Energieverbrauch für den Proof-of-Work. Nach blockchain.info (2013) werden an einem Tag 2.504.530 Kilowattstunden an Strom verbraucht. Dieses entspricht 914,15345 Millionen Kilowattstunden im Jahr. Die deutschen Haushalte haben im Jahr 2010 laut des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2012) 141.700 Millionen Kilowattstunden verbraucht, folglich benötigt das Bitcoinnetzwerk genau soviel Strom, wie 0,65 % der deutschen Haushalte. Das deutsche Umweltbundesamt (2013) beziffert die CO²-Emission in Deutschland in 2010 auf 546 Gramm Kohlendioxid pro Kilowattstunde, demzufolge würde das Bitcoinnetzwerk für 492.290,4168 Tonnen Kohlendioxid im Jahr verantwortlich sein. Neben der Onlinewährung Bitcoin gibt noch andere Internetwährung, wie zum Beispiel PPCoin oder Litecoin bei denen der Stromverbrauch geringer ist. Diese sind in der Arbeit „Bitcoin –Alternative Protokolle und Verwendung“ von Radezweski erläutert.

6. ZUKUNFTSPROGNOSE

In der näheren Zukunft wird die Difficulty weiter steigen, denn die Leistung der ASIC-Modelle nimmt weiter zu und somit werden weitere und bessere Ausführungen auf den Markt gebracht. Das Bitcoin Wiki (2013) listet bereits vier Typen von ASICs auf, die eine höhere Hashrate haben als der Avalon ASIC VI und ein voraussichtliches Erscheinungsdatum in diesem Jahr haben. Diese Modelle sind in der Tabelle 7 aufgeführt. Auf Grundlage dieser Aussicht ist davon auszugehen, dass Grafikkarten endgültig nicht mehr zum Mining gebraucht werden.

Tabelle 7. ASICs der Zukunft

Produktname	Hashrate [Mhash/s]	Leistung [Watt]	Voraussichtliches Erscheinungsdatum
-------------	--------------------	-----------------	-------------------------------------

			m
BitFury Asic	120.000	170	dieses Jahr
KnCMiner Jupiter	350.000	nicht bekannt	September 2013
KnCMiner Saturn	175.000	nicht bekannt	September 2013
BFL Mini Rig 'SC'	500.000	nicht bekannt	dieses Jahr

7. DANKSAGUNGEN

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Professor Dr.-Ing. Rainer Böhme, Juniorprofessor für Wirtschaftsinformatik, speziell IT-Sicherheit an der Westfälischen-Wilhelms-Universität Münster, für die informative Einführung in das Thema Bitcoin und die konstruktiven Diskussionen.

Dieser Dank gilt ebenso meinem Betreuer Herrn Dominic Breuker, MSc und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Informationsmanagement an der Westfälischen-Wilhelms-Universität Münster, welcher mich durch seine förderlichen Anregungen und seine hilfreiche Kritik stets motivierte.

Ich danke dem anonymen Gutachter des Reviews 1 für seine Anmerkungen und Anregung zur Gestaltung des 4. Kapitels. Ebenso gilt mein Dank dem anonymen Verfassers des Reviews 2 für seine strukturierten Kritikpunkte und insbesondere für seine Verbesserungsvorschläge bezüglich der Gewinnspanne im Abschnitt 3.4. Zu letzt möchte ich dem anonymen Autor des Reviews 3 danken für Ratschlag den Abstract und die Einleitung umzuformulieren und die Fragestellung besser herauszustellen.

8. FAZIT

In dieser Arbeit ist die Leistungsfähigkeit der Hardware-Kategorien mit Hilfe von den Beispiel-Modellen Avalon ASIC V1, Butterflylabs BitForce SHA256 Mini Rig und AMD Radeon HD 7990 untersucht worden. Das Resultat dieser Analyse war das Grafikkarten die geringste Effizienz haben und in Zukunft nicht mehr genutzt werden. Die Gewinnmarge des ASIC- und des FPGA-Modells lag über 90% und daher ist davon ausgegangen worden, dass diese noch rentabel eingesetzt werden. Die Ergebnisse wurden mit Hilfe von blockchain.info überprüft und daraus resultierte, dass unterschiedliche Strom- und Bandbreitkosten einen großen Anteil an den Gewinnmargen und -spannen haben. Mit Hilfe des Rechertools Terapeak wurde gezeigt, dass vermehrt Avalon ASIC V1 verkauft wurden, dies lässt darauf schließen, dass die Erstbesitzer die Hardware bereits amortisiert haben und dieser daher abstoßen, weil diese mit der Zeit immer weniger Wert werden. Denn es wird in Zukunft bessere Hardware Angebote.

In dieser Arbeit wurden keine Transaktionskosten oder Transportkosten berücksichtigt. Außerdem wurde angesprochen dass die Kosten für Strom und die Bandbreite unterschiedlich sind, daher ist die Analyse nur spezifisch für Miner in den Vereinigten Staaten von Amerika gültig. Bei der Auszahlung des Reward ist davon ausgegangen, dass dieser immer Ende erfolgt und zwischen der Berechnung der Hashes keine Änderung der Difficulty erfolgt. Dies beides ist in der Realität so nicht immer gegeben. Miner können mit Hilfe von Mining Pools eine

regelmäßigere, aber geringere Auszahlung erhalten. Außerdem steigt Difficulty alle 2.016 Blöcke was etwa 840 Stunden entspricht.

In weiteren Forschungsprozessen kann unter anderem die Rentabilität von Mining-Hardware in Miningpools untersucht werden. Außerdem ist eine wichtige Frage was passiert, wenn der Reward zunächst verringert wird und schließlich wegfällt, weil alle Bitcoins verteilt sind. Steigt dann zunächst der Wert von Bitcoins in Bezug zum US-Dollar und werden schließlich die Transaktionsgebühren ausreichen um das Mining zu finanzieren. Werden dann nur noch Energieeffiziente Hardware zum Einsatz kommen, wodurch auch der Verursachte CO²-Ausstoß verringert werden würde. Gegebenfalls sinkt auch die Hashrate, weil viele Miner aussteigen und dadurch erhält ein Miner 50% der Rechenleistung und kann dann das System boykottieren.

9. REFERENCES

- [1] AISICMINER. 2013. Updates. <http://www.asicminer.co/index.html>. Abrufdatum: 28.06.2013
- [2] Becker, J., Breuker, D., Heide, T., Holler, J., Rauer, H. P., & Böhme, R. (2012). Geld stinkt, Bitcoin auch – Eine Ökobilanz der Bitcoin Block Chain. In *Proceedings of the 42. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik (Workshop Bitcoin (BTC)*, Braunschweig, Deutschland, September 16 – 21, 2012)
- [3] Bitcoin.de. 2012. Neues Bitcoin-Zeitalter steht bevor: Mining-Effizienz mit neuer Hardware wird um ein Vielfaches ansteigen. (Herford, Germany, September 17-2012)
- [4] Bitcoinminer.com. 2012. BFL's \$15,295 Mini Rig – 25 Ghash/s. <http://bitcoinminer.com/post/20696688096/bitforce-sha256-mini-rig>. Abrufdatum: 23.06.2013
- [5] Bitcoin Wiki. 2013. Mining hardware comparison. https://en.bitcoin.it/wiki/Mining_hardware_comparison. Abrufdatum: 23.06.2013
- [6] Bitmine.ch.2013. Products. Schweiz. <http://bitmine.ch/?product=single-hash-module-22-ghs>. Abrufdatum: 26.06.2013
- [7] BitSynCom LLC. 2013. <http://launch.avalon-asics.com/>. Abrufdatum: 31.05.2013
- [8] Blockchain.info. 2013. Statistik. <http://blockchain.info/de/stats>. Abrufdatum: 27.06.2013 - 23:20Uhr
- [9] Blockexplorer.com. 2013. <http://blockexplorer.com/>. Abrufdatum: 28.06.2013
- [10] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. 2012. 9.3 Netto-Stromverbrauch in Deutschland nach Verbrauchergruppen in Mio. kWh. http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_Energiedaten#. Abrufdatum: 28.06.2013
- [11] Buterin, V. 2013. Working Avalon ASIC Confirmed, Hashing At 68 GH/s. <http://bitcoinmagazine.com/working-avalon-asic-confirmed/>. Abrufdatum: 23.06.2013

- [12] Butterfly Labs Inc. 2013. BitForce SC – Release notes. <http://www.butterflylabs.com/bitforce-sc-release-notes/>. Abrufdatum: 28.06.2013
- [13] De la Porte, L.A. 2012. The Bitcoin transaction system. Utrecht. Netherlands
- [14] eBay Inc. 2012. eBay Inc. Reports Strong Fourth Quarter and Full Year 2011 Results. San Jose. USA
- [15] Hermann, G. and Müller, D. 2004. ASIC – Entwurf und Test. Carl-Hanser-Verlag. Leipzig
- [16] Leonhardt, D. 2012. Sicherheit und Datenschutz bei Bitcoin. Technical Report. Technische Universität Dresden.
- [17] Mölleken, D. 2012. Bitcoin: Geld ohne Banken – ist das möglich?. Diplomica Verlag GmbH. Hamburg
- [18] Nakamoto, S. 2008. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.
- [19] NONSTOPON Media GmbH. 2013. Grafikkarten Charts. Dortmund. Deutschland. http://www.hardware-infos.com/grafikkarten_charts.php Abrufdatum: 28.06.2013
- [20] Nus Consulting Group. 2012. International Electricity & Natural Gas Report & Price Survey. Juni 2012. New York. USA
- [21] Radczewski, R. 2013. BitCoin – Alternative Protokolle und Verwendungen. In *Proceedings of the Münster Bitcoin Conference (MBC, Münster, Deutschland, July 17-18, 2013)*
- [22] Rosenfeld, M. 2011. Analysis of Bitcoins Pooled Mining Reward Systems. Israel
- [23] Schmidt, U. 2013. Anreize in Mining-Pools. In *Proceedings of the Münster Bitcoin Conference (MBC, Münster, Deutschland, July 17-18, 2013)*
- [24] Sorge, C. Krohn-Grimberghe, A. 2012 Bitcoin: Eine erste Einordnung. Datenschutz und Datensicherheit. Wiesbaden
- [25] Terapeak Inc. 2013. Über uns. Palo Alto. USA. <http://www.terapeak.de/company/>. Abrufdatum: 19.06.2013
- [26] Tosh. 2011. Lohnt sich der Einstieg ins Bitcoin-Mining noch?. Deutschland. <http://www.bitcoinmania.de/blog/lohnt-sich-der-einstieg-ins-bitcoin-mining-noch/>. Abrufdatum: 31.05.2013
- [27] Umweltbundesamt. 2013. Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2012. Dessau-Roßlau. Deutschland
- [28] WhiteFence Index. 2013. USA. <http://www.whitefenceindex.com/>. Abrufdatum: 28.06.2013