

Fachhochschule Burgenland GmbH
Steinamangerstraße 21
A-7423 Pinkafeld

Smart Grids: Untersuchung der zukünftigen Ausgestaltung des Designs und der Abrechnung von Energietransaktionen

Masterarbeit
zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieur für technisch-wissenschaftliche Berufe

Betreuer:	DI Dr. techn. Thomas Nacht
Eingereicht von:	Markus Koch
Personenkennzeichen:	1610400020
Datum:	4. Dezember 2018

Kurzfassung

Ziel der vorliegenden Masterarbeit ist es, zu untersuchen, welche Entwicklungen es im Bereich der Marktmodelle in Smart Grids und Micro Grids gibt. In Verbindung damit wird analysiert, wie Energietransaktionen in Zukunft abgewickelt werden. Durch die Entwicklung, dass immer mehr Konsumenten über kleine Energieerzeugungsanlagen verfügen, kommt es zu einer Änderung des gegenwärtigen Energiesystems. Gibt es im Moment wenige Energieversorgungsunternehmen, die viele Konsumenten mit elektrischer Energie beliefert, wird sich diese Struktur in Zukunft verändern.

Durch die vermehrte Nutzung erneuerbarer Energien ist es das Ziel, dass Eigentümer kleiner Anlagen überschüssigen Strom in kleinen Handelseinheiten zum Verkauf anbieten können. Diese kleinen Einheiten erfordern neue Marktsysteme, um diese Energietransaktionen sicher, schnell und unkompliziert abwickeln zu können.

Eine Grundlage für solche Transaktionen können Verträge basierend auf der Blockchain-Technologie sein. Daher wird zunächst die Funktion dieser Technologie erläutert. Im weiteren Verlauf werden einige Crypto-Währungen vorgestellt, deren Funktion auf der Blockchain basieren und für die Abrechnung von Energietransaktionen genutzt werden können.

Danach werden verschiedene Smart Grids und Micro Grids vorgestellt, die bereits implementiert sind. Sie werden hinsichtlich ihrer Funktion, des Aufbaus und der dahinter steckenden Technologie analysiert und miteinander verglichen.

Am Ende der Arbeit wird erarbeitet, inwiefern diese bestehenden Systeme skaliert werden können, um damit größere Markteinheiten zu bilden.

Abstract

The objective of this master thesis is to research about developments in the area of market models of smart grids and micro grids. In connection with that, an analysis will be done how energy transactions might be carried out in future. More and more consumers are owning small powerplants such as photovoltaics systems. As a result, the energy system will need to change in future. Currently, just a few large energy suppliers are delivering electricity to a large amount of small consumers. This structure will change within a short period of time.

With the increasing use of renewable energy technologies one main target comes along: to sell the produced excess energy in small trading units. Therefore it is necessary to implement a system that is able to trade energy in a safe, fast and easy way.

Basis for transactions like these might be contracts based on the blockchain technology. As a consequence, the system behind this technology is explained in this thesis. Then, specific crypto currencies are introduced that are based on blockchain technology. Those might be used to invoice transactions between small entities.

Later, smart grids and micro grids are introduced that are already existing somewhere in the world. Further, their function, design and the technology behind them is analyzed. Further, the differences between those systems are explained.

In the end of this thesis, an analysis is made how those existing systems could be scaled to create larger trading entities.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Zielsetzung	1
2 Grundlagen.....	3
2.1 Erneuerbare Energien.....	3
2.2 Solarthermie und Photovoltaik	3
2.3 Wasserkraft	4
2.4 Windkraft	4
2.5 Gezeiten.....	4
2.6 Erdwärme.....	4
2.7 Biomasse.....	5
2.8 Vergleich mit konventionellen Energieträgern.....	5
3 Smart-Meter	10
4 Stromnetze.....	16
4.1 Aufbau von Stromnetzen	16
4.2 Vergleich von europäischem und amerikanischem System	20
4.3 Smart Grid.....	22
4.4 Micro Grid.....	25
4.5 Netzdesign für unterschiedliche Prosumermärkte	29
5 Blockchain	32
5.1 Grundlagen.....	32
5.2 Schürfen.....	33
5.3 Sicherheit in der Blockchain	35
6 Kryptowährungen	37
6.1 Allgemeines	37
6.2 Bitcoin	39
6.3 Ethereum	41
6.4 Litecoin	43
6.5 Solarcoin	43
7 Realisierte Smart Grids	44
7.1 Brooklyn Microgrid	44
7.2 Power Ledger	54
7.3 Bornholm Microgrid	58
8 Zusammenfassung und Interpretation.....	61

8.1	Vergleich der Microgrids	61
8.2	Interpretation und Auswertung	62
9	Abbildungsverzeichnis	66
10	Tabellenverzeichnis.....	67
11	Literaturverzeichnis	68

1 Einleitung

Das moderne Leben zeichnet sich durch eine Vielzahl von modernen Technologien aus, die noch vor wenigen Jahren undenkbar gewesen wären. Dies hat dazu geführt, dass der Lebenskomfort in den Industriestaaten so hoch wie nie zuvor ist. Tätigkeiten, wie einkaufen, sind inzwischen ganz leicht von zu Hause zu erledigen. Anbieter wie Uber und AirBnB drücken die Preise von Mitfahrgelegenheiten und Übernachtungsmöglichkeiten und stehen im Wettbewerb mit Taxiunternehmen und Hotels.

Dies wird ermöglicht, indem Teilnehmern dieser Unternehmungen mehr Freiheiten geboten werden. Im Prinzip unterscheidet bei Uber und AirBnB nichts einen Kunden von einem Leistungsanbieter. Einzige Notwendigkeit ist der Besitz eines Fahrzeugs oder einer Wohneinheit und das Herunterladen der jeweiligen App. Diese Anwendungen verwischen die Trennlinie zwischen Anbieter und Verbraucher.

Diese Prinzipien sind auch in der Energiebranche zu sehen. Es gibt zunehmend mehr Marktteilnehmer, die sich von reinen Konsumenten zu einer Mischung aus Konsumenten und Produzenten entwickeln indem sie selbst kleine Energieerzeugungsanlagen kaufen und damit Strom produzieren.

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Durch die immer größer werdende Anzahl an Teilnehmern im Energiesystem, die selbst Energie produzieren, müssen neue Marktmechanismen geschaffen werden. Auf der Netzseite wurde zwar die Technik zur Gewinnung und Verteilung von elektrischer Energie immer aktualisiert und modern gehalten, allerdings wurde im Vergleich zu den sich momentan ergebenden technischen Möglichkeiten verhältnismäßig wenig auf neue, smarte Technologien gesetzt. Nun wird die Stromindustrie langsam vom technologischen Fortschritt eingeholt. Mit dem Erreichen der Netzparität (beispielsweise bei Photovoltaikanlagen in Deutschland) und Förderungen auf private Anlagen, die erneuerbare Energien nutzen, steigt die Anzahl an Stromerzeugungsanlagen in privater Hand. Allerdings gibt es gegenwärtig noch Hindernisse, den mit einer privat betriebenen Stromerzeugungsanlage generierten Strom an andere Konsumenten direkt zu verkaufen.

Zusätzlich kommt es durch die Nutzung von erneuerbaren Energietechnologien zunehmend zu Fluktuationen auf der Erzeugerseite. Durch die Abhängigkeit des Wetters können die Anlagen nicht mehr nur durch die Nachfrageseite geregelt werden sondern es müssen flexible Mechanismen geschaffen werden, die damit entsprechend umgehen können. Diese Probleme werden in Kapitel 2 näher ausgeführt.

Daneben benötigt es eine Änderung bzw. Weiterentwicklung des gegenwärtigen Marktsystems für elektrische Energie. Ziel ist es, dass private Anbieter ihre überschüssige Energie in kleinen Rahmen an andere Konsumenten verkaufen können. Dazu ist ein moderneres Marktsystem erforderlich, das die Abrechnung

schnell, transparent und sicher abwickeln kann. Auch wenn die Stromnetze in ihrer momentanen Ausgestaltung den Transport von elektrischer Energie von einem Konsumenten zum anderen ermöglichen benötigt es daneben einen Markt, der das Produkt in kleinen Marktsystemen handelbar macht. Auf diese Probleme wird in Kapitel 4 näher eingegangen.

Ziel dieser Arbeit ist es, zu untersuchen, wie derartige Zusammenschlüsse von Prosumern (Producer + Consumer) funktionieren können und welche technologischen Neuerungen notwendig sind, um dies zu ermöglichen. Hauptsächlich wird untersucht, welche Technologien notwendig sind, Konsumenten den Handel von elektrischer Energie untereinander zu ermöglichen. Zu diesem Zweck wird die neue Technologie der Blockchain vorgestellt und die Möglichkeiten, sie auf dem Energiemarkt einzusetzen, bewertet. Danach werden unterschiedliche Cryptowährungen, die auf der Technologie der Blockchain basieren, vorgestellt und ihre Funktionsweise erläutert. Im Anschluss daran werden drei ausgewählte, bereits verwirklichte Microgrids vorgestellt und ihre Funktionsweise erläutert. Danach werden die bestehenden Micro Grids miteinander verglichen.

Am Ende der Arbeit wird analysiert, welche Voraussetzungen notwendig sind, um diese bereits im Kleinen bestehenden Systeme auf größere Märkte zu skalieren.

2 Grundlagen

2.1 Erneuerbare Energien

Erneuerbare Energien sind ein zentrales Thema dieser Arbeit. Daher ist es notwendig, zu Beginn Klarheit über diesen Begriff zu schaffen.

Erneuerbare Energie (auch regenerative Energie oder alternative Energie) ist Energie aus Quellen, die sich selbst kurzfristig erneuern oder deren Nutzung nicht zur Erschöpfung der Quelle beiträgt. Sie sind zwar unerschöpflich, aber nicht unbegrenzt vorhanden. So ist beispielweise die Anzahl an Flüssen, die sich zum Bau eines Wasserkraftwerks eignen, begrenzt und Biomassen sind durch Anbauflächen limitiert. Hinzu kommen soziale Hemmnisse: Beim der Projektierung von beispielsweise Windkraftanlagen oder Wasserkraftanlagen bilden sich immer wieder Bürgerinitiativen, die mit Unterstützung von NGOs die Errichtung verhindern oder maßgeblich verzögern.

Zu den erneuerbaren Energieträgern, die aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen, zählen zum Beispiel Biogas, Bioethanol und Holz. Diese Energie wird daher als CO₂-neutral bezeichnet. (Erneuerbare Energie Österreich, 2018)

Andere regenerative Energieträger sind Wasserkraft, Windenergie, solare Strahlung, Erdwärme, und durch Gezeiten erzeugte Energie. Die eben aufgezählten Energien gehören zu jenen, deren Nutzung nicht zur Erschöpfung der Quelle beiträgt.

2.2 Solarthermie und Photovoltaik

Zu den Nutzen von Sonnenenergie (solare Strahlung) gehören die Solarwärme (Solarthermie) und elektrische Energie (Photovoltaik). Bei Solarwärme handelt es sich für gewöhnlich um Niedertemperaturwärme, die mit Sonnenkollektoren gewonnen wird. Elektrische Energie kann mithilfe von Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) oder in solarthermischen Kraftwerken mit Wärmekraftwerken aus Solarwärme gewonnen werden. (Paschotta, 2017) Die in Österreich installierte Photovoltaikleistung beträgt 1.269 MWp. Dies führt zu einer jährlichen Gesamtmenge von 1.269 GWh produziertem Strom, was einem Anteil von 0,9% am österreichischen Gesamtstromaufkommen entspricht. (PVAustria, 2018) (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018)

Daneben kann mit thermischen Solarkraftwerken auch Wärme für Hochtemperaturanwendungen erzeugt werden. Dafür wird die Sonnenstrahlung über Konzentratoren auf einen Punkt gelenkt und die Energie in Form von Wärme abgeführt. (Quaschnig, 2008)

2.3 Wasserkraft

Bei Wasserkraft handelt es sich um potentielle Energie, die in Elektrizität umgewandelt wird. (Paschotta, 2017) In Österreich handelt es sich bei Wasserkraft um die dominierende erneuerbare Energiequelle. Pro Jahr werden 37 TWh an Strom aus Wasserkraft gewonnen. Dies entspricht einem Anteil von 26,4% an der gesamten österreichischen Energieproduktion. (E-Control, 2018) (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018)

2.4 Windkraft

Windenergie entsteht durch den Ausgleich von Hoch- und Tiefdruckgebieten in der Atmosphäre. Diese Druckgebiete entstehen durch Sonneneinstrahlung. (Paschotta, 2017) In Österreich wird jährlich eine Strommenge von 97.669 GWh aus Windkraft gewonnen, dies entspricht einem Anteil von 4,3% an der Gesamtstrommenge. (Fabry, 2017) (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018)

2.5 Gezeiten

Die Gezeiten entstehen durch den gravitativen Einfluss des Mondes und der Sonne auf die Erde. Sie können an manchen Orten durch Gezeitenkraftwerke genutzt werden. (Paschotta, 2017) Gezeitenkraftwerke spielen im österreichischen System keine Rolle. Innerhalb der österreichischen Grenzen steht kein einziges Gezeitenkraftwerk.

2.6 Erdwärme

Erdwärme wird in zwei Arten eingeteilt: oberflächennahe und tiefe Geothermie.

Die Wärme tiefer Geothermie entsteht durch den Zerfall radioaktiver Elemente im Erdinneren. Bei der Nutzung der Energie aus tieferen Erdschichten handelt es sich im strengeren Sinne nicht um erneuerbare Energie, da die genutzten Gesteinsschichten nicht genug Nachschub aus dem Erdinneren bekommen und daher nur für einige Jahrzehnte genutzt werden können. Hinzu kommt, dass der Vorrat an radioaktiven Elementen im Erdinneren nicht endlos ist. So gibt es Hinweise darauf, dass Gesteinsplaneten wie der Mars einmal einen aktiven Kern hatten, der allerdings schon vor Jahrmillionen ausgekühlt und erstarrt ist, weil zu wenig radioaktive Elemente vorhanden waren. Da sich dieser Vorgang jedoch auf einer Skala von Millionen von Jahren abspielt, wird Erdwärme dennoch zu den regenerativen Energien gezählt. (Faure & Mensing, 2007)

Oberflächennahe Erdwärme stammt dagegen aus Sonnenenergie und ist daher unerschöpflich. (Paschotta, 2017) Dabei wird Energie aus Tiefen unter 400m entzogen, die durch die Sonne wieder zugeführt werden kann.

2.7 Biomasse

Bei Holz, Biogas und Bioethanol handelt es sich um sogenannte Biomasse. Die Energieträger stammen aus Pflanzen, die ihre Biomasse mit Hilfe von Sonnenenergie aufbauen. Biomasse lässt sich teils direkt als Energieträger verwenden, wie zum Beispiel Holz oder nach Umwandlung in Biokraftstoffe und Brennstoffe, wie Bioethanol und Biogas. (Paschotta, 2017)

2.8 Vergleich mit konventionellen Energieträgern

Leistungsdichte und Energiedichte von erneuerbaren Energien sind im Vergleich zu konventionellen Energieträgern niedrig, weshalb schon zur Umwandlung geringer Energiemengen relativ große Anlagen benötigt werden. Das führt dazu, dass ihre energetische Amortisationszeit, also die Zeit, die die Anlagen benötigen, um die Energiemenge, die bei ihrer Herstellung benötigt wurde, wieder zurückzugewinnen, relativ lange ist. Ein Vergleich der Energiedichten unterschiedlicher Energieträger ist in Abbildung 1 zu finden. Wie zu sehen ist, weisen nicht erneuerbare Energieträger eine wesentlich höhere Energiedichte auf als erneuerbare Energieträger.

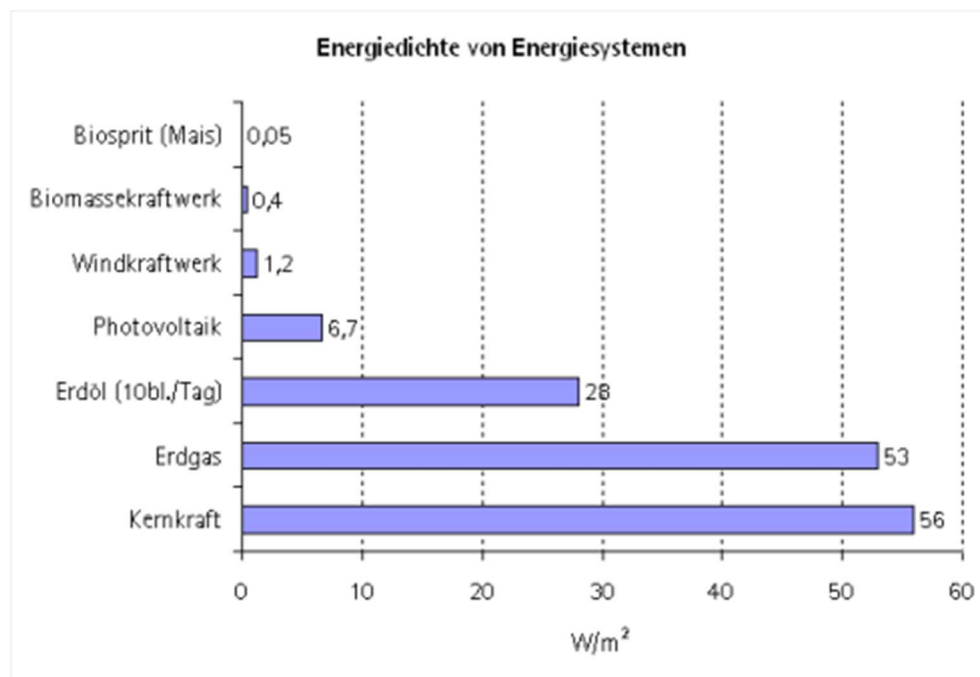


Abbildung 1: Vergleich unterschiedlicher Energieträger (Hentrich, 2012)

In vielen Fällen ist erneuerbare Energie im Vergleich zu kalorischen Energieträgern ökologisch günstig. Das bedeutet, der Schadstoffausstoß bei der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ist relativ gering. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass der Aufbau der Anlagen nicht so günstig ausfällt, was den Verbrauch von Energie und Rohstoffen anbelangt. Dies kommt dadurch

zustande, dass der Bau von regenerativen Anlagen Rohstoffe benötigt, deren Gewinnung und Weiterverarbeitung Energie benötigt.

Diese Energie weist den herkömmlichen Energiemix (in Österreich in 2016 besteht der verteilte Strom zu 20,1% aus nicht erneuerbaren Quellen und zu 79,9% aus erneuerbaren Quellen, EU-weit zu 72,1% aus nicht erneuerbaren Energien und nur zu 27,9% aus erneuerbaren Energien) auf. (Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2018) Dadurch werden bei der Verarbeitung der Rohstoffe nicht erneuerbare Energieträger verwendet und die Konstruktion von Generatoren aus erneuerbaren Energien ist nicht klima-neutral. Dadurch entstehen Umweltbelastungen, die nicht augenscheinlich sind. Zusätzlich kommt es bei einigen erneuerbaren Anlagen, wie Windrädern und Wasserkraftwerken, zu Eingriffen in die Landschaft. (Paschotta, 2017)

Ein Problem, das bei erneuerbaren Energien auftritt und das immer stärker wahrgenommen wird, je größer ihr Anteil am Gesamtstrom ausmacht, ist ihre Fluktuation. Erneuerbare Energien sind stärker von externen Einflüssen, wie dem Wetter, abhängig. Dieses Problem ist gut zu veranschaulichen bei Sonnen- und Windenergie. An einem bewölkten bzw. windstillen Tag wird wesentlich weniger Energie umgewandelt als an einem sonnigen bzw. windigen Tag. Weitere Einflüsse sind das Klima und die Jahreszeiten. In nördlichen Breiten ist Sonnenenergie nicht so häufig vertreten, da die geringe Anzahl der jährlichen Sonnenstunden das Betreiben einer Anlage nicht besonders lukrativ macht. (Rabenstein, 2018) Diesem Problem könnte begegnet werden, indem Strom von vielen unterschiedlichen Energieträgern in das Netz eingespeist wird oder indem die Erzeugungsanlagen räumlich verteilt werden.

Außerdem ist es aufgrund dieses Problems bei überwiegender oder ausschließlicher Nutzung von erneuerbaren Energien nötig, ein Übermaß an Erzeugerleistung zu installieren, da es sehr unwahrscheinlich ist, dass alle Anlagen gleichzeitig maximale Energie erzeugen. Der Grund dafür liegt in den Schwankungen der erneuerbaren Energieträger, die durch Wetterfluktuationen zustande kommen. Ein Tag, an dem sämtliche Solaranlagen und sämtliche Windanlagen am Produktionslimit sind, ist sehr unwahrscheinlich. Um diesem Problem entgegenzutreten zu können muss Energie aus diversen Quellen kommen, so dass auch an windstillen Tagen, oder sonnenarmen Tagen genug Energie in das Netz eingespeist wird um den Energiebedarf der Kunden zu decken. Wie zuvor kann dieses Problem auch durch räumliche Verteilung der Anlagen abgeschwächt werden.

In Konkurrenz zu regenerativen Energieträgern stehen häufig die fossilen Energieträger. Bei fossilen Energieträgern handelt es sich um Substanzen, die vor mehreren Jahrillionen aus toten Tieren und Pflanzen entstanden sind. Die prominentesten Vertreter dieser Energieträger sind Kohle, Erdöl und Erdgas. Diese Substanzen speichern ihre chemische Energie in Kohlenwasserstoffen. Im Jahr 2016 wurde weltweit 85,5% der gesamten verbrauchten Energie aus diesen Energieträgern gewonnen. (Statista, 2018)

Zwar werden fossile Energieträger durch natürliche Prozesse ständig nachgebildet, aber diese Prozesse laufen so langsam ab, dass sie zu den nicht-regenerativen Energieträgern gezählt werden. Der Abbau von fossilen Energieträgern läuft im Vergleich sehr schnell ab, was dazu führt, dass die Vorräte dieser Substanzen immer mehr erschöpft werden. (Paschotta, 2017)

Ein Problem, das bei den fossilen Energieträgern auftritt, ist der Ausstoß des klimaschädigenden Gases CO₂, das bei deren Verbrennung frei wird. Eine wichtige Eigenschaft von fossilen Energieträgern ist, dass ihr Energiegehalt vor langer Zeit in eine konzentrierte Form übergeführt wurde. Diese vor langer Zeit gespeicherte Energie wird durch chemische Verbrennung gewonnen und ist mit starkem CO₂-Ausstoß verbunden. Durch diesen Ausstoß wird das Gasgemisch der Atmosphäre verändert, was zu einem veränderten Treibhauseffekt führt. Die Vorräte der Energieträger sind zwar erschöpflich, allerdings gehen sie nicht in demselben Maße zur Neige, wie sich das Klima des Planeten verändert. Die eigentliche Motivation hinter dem Loskommen von fossilen Energieträgern, hin zu erneuerbaren Energien, kommt also nicht durch das Zuneigegehen der fossilen Energieträger zustande. Die Motivation hinter diesem Loskommen ist zweigeteilt. Zum einen ist der Klimaschutz eine Motivation, zum anderen ist der Wunsch, die Abhängigkeit von anderen Ländern zu minimieren, eine Triebkraft. Zwei Beispiele seien hier genannt: die Ölpreiskrise der 1970er Jahre, in der die Opec-Staaten Ölfördermengen bewusst drosselten um dadurch den Ölpreis zu erhöhen beziehungsweise die europäische Abhängigkeit von russischem Erdgas. (Groll, 2018)

Wie bei den erneuerbaren Energien ist auch bei fossilen Energien der Bau von Kraftwerken nicht frei von Schadstoffausstoß und Ressourcenverbrauch. Daraus folgt, dass fossile Energieträger eine wesentlich schlechtere Ökobilanz aufweisen als erneuerbare Energien. Der Vorteil von fossilen Energieträgern bleibt ihre hohe Leistungs- und Energiedichte.

Der dritte Energieträger, der für die Stromproduktion relevant ist, ist die Kernenergie. Sie wird auch als Atomenergie oder Nuklearenergie bezeichnet. Mit diesen Begriffen wird Energie bezeichnet, die bei der Spaltung von Atomkernen freigesetzt wird. Kernenergie wird in Kernkraftwerken erzeugt. In diesen Kraftwerken befindet sich ein Reaktor, in dem geeigneter Kernbrennstoff zur Spaltung gebracht wird. Dabei entstehen große Mengen an Wärme, die mit einer Dampfturbine in mechanische Energie und anschließend, mittels eines Generators, in elektrische Energie umgewandelt werden.

Neben der nuklearen Spaltung gibt es auch eine weitere Möglichkeit die Energie zu nutzen, die in den Atomkernen gespeichert ist, die Kernfusion. Fusion beruht auf denselben Prinzipien wie die Kernspaltung. Während bei der Kernspaltung aber ein massereicher Atomkern in zwei masseärmere Atomkerne gespalten wird, verschmelzen bei der Fusion zwei masseärmere Atomkerne zu einem massereicheren Atomkern.

Das Prinzip sowohl nuklearer Spaltung als auch nuklearer Fusion beruht auf dem physikalischen Effekt des Massendefekts. Dahinter steckt die Entdeckung, dass Atomkerne prinzipiell weniger massereich sind als die Nukleonen, aus denen sie

bestehen. Ein Heliumkern besteht aus zwei Neutronen und zwei Protonen, weist aber weniger Masse auf als die Masse jedes dieser Teilchen addiert. Dies kommt dadurch zustande, dass ein Teil der Masse im Kern als Bindungsenergie gespeichert wird. In Abbildung 2 sind einige Atomkerne mit der, in ihnen herrschenden, Bindungsenergie aufgetragen. Bei der Kernspaltung wird häufig angereichertes Uran verwendet, eine Mischung aus U235 und U238. Wie in Abbildung 2 zu sehen ist handelt es sich dabei um sehr massereiche Atomkerne. Werden diese Kerne gespalten, so entsteht eine größere Zahl an masseärmeren Kernen, die auf der Grafik näher an Fe56 liegen. Diese neuen Nuklide haben zusammenaddiert eine geringere Masse als das ursprüngliche Uran. Diese Massedifferenz wird als Energie frei.

Bei der Fusion werden zwei Nuklide am anderen Ende des Spektrums verschmolzen. Der Fusionsprozess mit der meisten Energiefreisetzung ist die Verschmelzung von 2 H1-Kernen zu einem He4-Kern. Wie in dem Diagramm zu sehen ist, ist die dabei freiwerdende Bindungsenergie um ein Vielfaches stärker als bei der Spaltung. Der Grund, dass bei der Energieversorgung nie von Kernfusion gesprochen wird, ist, dass diese wesentlich schwieriger zu erreichen ist, als Kernspaltung. Dies liegt daran, dass bei der Kernfusion die Coulombbarriere innerhalb des Kerns durchstoßen werden muss, was technisch sehr schwer zu bewerkstelligen ist.

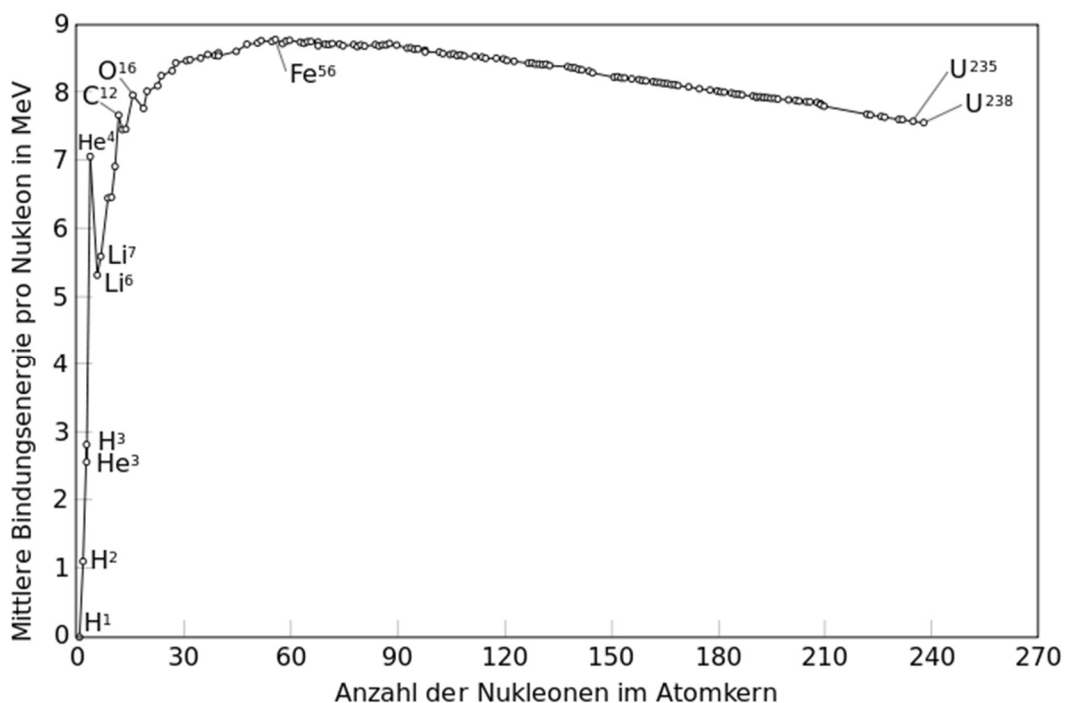


Abbildung 2: Darstellung der Bindungsenergie pro Nukleon im Atomkern (Wikimedia, 2018)

Einer der Vorteile der Kernenergie ist die große Energiedichte der Kernbrennstoffe. (vgl. Abbildung 1) Die verbrauchte Menge an Kernbrennstoff ist relativ klein, verglichen mit dem notwendigen Brennstoff eines Kohlekraftwerks, das die gleiche Energiemenge liefert wie das Kernkraftwerk. So liefert die Spaltung eines Kilogramms Uran eine Energiemenge von 24.000 MWh Wärme. Um diesen Wert mit Steinkohle zu erreichen ist es notwendig 3.000 Tonnen zu verbrennen. (Paschotta, 2017)

Andererseits treten auch große Nachteile bei der Nutzung von radioaktiven Materialien auf. Reaktorunfälle können große Gebiete derart mit schädlicher Strahlung kontaminieren, dass sie für lange Zeit unbewohnbar sind. Die Gefahr der Strahlung ist auch nicht gebannt nachdem das Material gespalten wurde. Die Überreste der Kernspaltung sind radioaktiv und haben Halbwertszeiten, die teilweise bei Millionen Jahren liegen. Uran²³⁵ hat beispielsweise eine Halbwertszeit von 7,4 Millionen Jahren. Damit entsteht das Problem der Endlagerung, da diese Stoffe weder recycelt, noch einfach entsorgt werden können. Diesem Problem wird bis jetzt mit Endlagerstätten begegnet, in denen der radioaktive Abfall weggesperrt wird sodass auch nachkommende Generationen davor geschützt sind. Hierfür muss sichergestellt werden, dass dieser Abfall für Jahrhunderte nicht in die Biosphäre eindringen kann. (Paschotta, 2017)

3 Smart-Meter

Smartmeter (auf deutsch auch „intelligente Stromzähler“ genannt) sind die nächste Stufe in der Entwicklung der Stromzähler. Herkömmliche Stromzähler für Konsumenten mit niedrigem Energieverbrauch (Ferraris-Zähler) erfassen lediglich die verbrauchte Energiemenge. Jede verbrauchte Kilowattstunde (kWh) wird aufsummiert und anschließend vom Energieversorgungsunternehmen in Rechnung gestellt. Der Preis des Stroms ist für Konsumenten meist unabhängig von äußeren Umständen wie Tageszeit und Wetter. Es gibt allerdings bereits vereinzelt Anbieter, die auch variable Stromtarife anbieten.

Mit einem größeren Anteil an erneuerbaren Energien, die in das Stromnetz eingespeist wird, kommt es zunehmend zur Abhängigkeit kurzfristiger, äußerer Einflüsse. War es früher möglich, konventionelle Kraftwerke bedarfsorientiert mit Brennstoff zu beschicken und damit die Menge des erzeugten elektrischen Stroms genau zu regeln, ist die umgewandelte Energiemenge bei manchen erneuerbaren Energieträgern wie Windkraft und Photovoltaik maßgeblich vom Wetter abhängig.

Da sich der Strompreis an der Börse aus Angebot und Nachfrage bildet hat das Wetter zu manchen Zeiten einen maßgeblichen Einfluss darauf: Kommt es beispielsweise kurzfristig zu Winden, die stärker sind als prognostiziert, steht durch die Mehrproduktion von Windkraftanlagen auch mehr elektrischer Strom zur Verfügung. Dadurch wird der Strompreis günstiger und kann im Extremfall sogar negativ werden. Für Konsumenten, die in den meisten Fällen einen fixen Stromtarif haben, ändert sich der Strompreis durch solche Effekte nicht.

Kunden mit variablen Stromtarifen benötigen zur korrekten Abrechnung der bezogenen Energiemenge fortschrittlichere Stromzähler als den Ferraris-Zähler. Dabei handelt es sich bei Großkunden meist um einen Lastprofilzähler, bei Haushaltskunden um das Smartmeter. Anstatt nur den pauschalen Verbrauch aufzuzeichnen, erfasst es Daten über den Stromverbrauch in einem einstellbaren Zeitintervall. Die Größe dieses Zeitintervalls kann zwischen wenigen Sekunden und mehreren Stunden variiert werden. (Palacios-García et al, 2015). Durch diese Messungen können sie sowohl Stromerzeuger als auch Verbraucher mit Informationen über die Nutzung des Stroms versorgen.

Eine Eigenschaft der Smartmeter, die besonders im Zusammenhang mit Smartgrids und der Verwendung von erneuerbaren Energien von Wert ist, ist, dass sie in der Lage sind, die eingehenden und ausgehenden Strommengen zeitlich aufzulösen. In Zeiten, in denen es immer häufiger vorkommt, dass Verbraucher von Strom auch ihren eigenen Strom erzeugen und in das Stromnetz einspeisen, ist dies hilfreich. Haushalte, die gleichzeitig Strom produzieren und konsumieren, werden Prosumer genannt. Die Art und Qualität der Daten, die von Smartmetern gewonnen werden können, ist in Abbildung 3 zu sehen. In dieser Abbildung sind die Daten eines Haushalts zu sehen, der Strom sowohl exportiert als auch importiert. Derartige Profile können erstellt werden, indem die Daten eines Smartmeters ausgewertet werden.

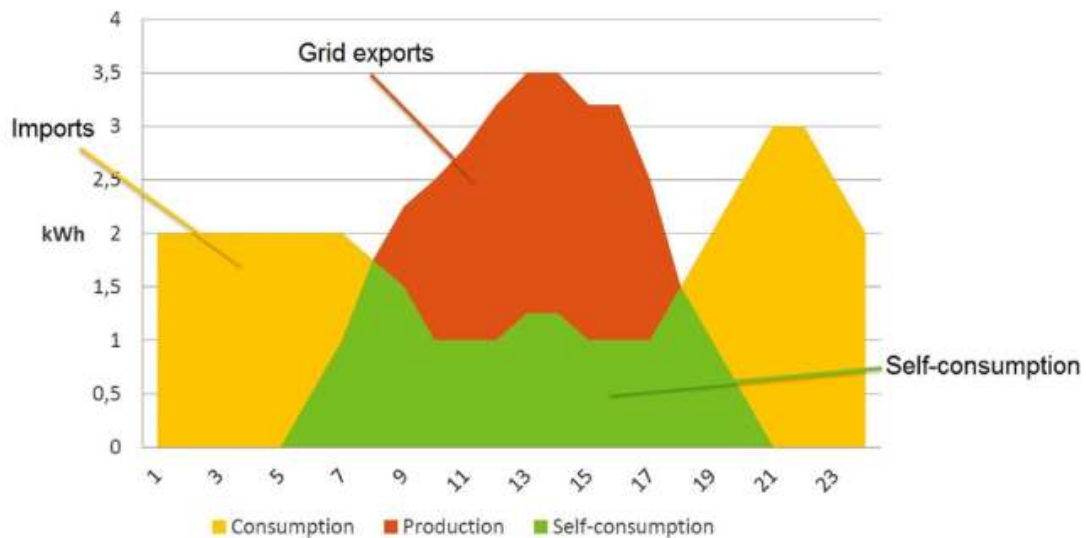


Abbildung 3: Verbrauchsprofil eines Prosumer-Haushalts, gewonnen durch Datenanalyse eines Smartmeters (Gautier, et al., 2018)

Im Zusammenhang mit Smart Grids nehmen Smartmeter noch weitere Funktionen wahr. So können sie verwendet werden, um Fehleranalysen durchzuführen, vorsorgliche Wartungen zu planen und die Nachfrage zu kontrollieren. (Depuru & Wang, 2011) Außerdem soll durch den Umstieg auf Smartmeter Kosten gesenkt werden, da die Verbrauchsdaten von dem Zähler direkt an das Energieversorgungsunternehmen geschickt werden und manuelles Ablesen überflüssig wird. Andere Meinungen halten allerdings auch eine Kostensteigerung für möglich. (Gerpott, 2017)

Diese Eigenschaften haben dazu geführt, dass in vielen Szenarien der modernen Stromversorgung das Smartmeter nicht mehr wegzudenken ist. So wurde es unter anderem als Eckpfeiler des Smart-Grids bezeichnet. (Palacios-García, et al., 2015)

Die Einführung des Smartmeters ist allerdings keine Maßnahme, die von einzelnen Netzbetreibern und Energieversorgungsunternehmen durchgeführt werden kann. Dazu benötigt es auch der Zustimmung der Verbraucher. Im Laufe der Zeit sind verschiedene Einwände gegen die Verwendung von Smartmetern vorgebracht worden. Die Argumente gegen Smartmeter reichen von gesundheitlichen Bedenken über Messungenauigkeiten bis hin zu Bedenken bezüglich des Datenschutzes.

Die gesundheitlichen Bedenken fokussieren sich in erster Linie auf den sehr vagen und schwer definierbaren Begriff „Elektrosmog“ und damit einhergehendes, angebliches, erhöhtes Krebsrisiko. Dieser Darstellung zufolge sind die im Kilohertzbereich liegenden Übertragungen des Smartmeters gesundheitsschädlich. (Stickler, 2012)

Allerdings gibt es bis jetzt keine eindeutigen Hinweise darauf, dass diese Bedenken begründet sind. Smartmeter befinden sich meist außerhalb von stark frequentierten Lebensbereichen einer Wohnung und senden und empfangen nur 1% der Zeit elektromagnetische Signale. Die IARC (International Agency for Research of

Cancer) der WHO stuft Smartmeter im Moment in der Gruppe 2B (möglicherweise krebserregend bei Menschen) ein. (IARC, 2018) Es gibt somit keine Belege, dass Smartmeter Krebs verursachen. (American Cancer Society, 2014)

Der Einwand, dass Smartmeter den Energieverbrauch nicht genau bzw. zu hoch darstellen, geht auf ein Experiment der niederländischen Universität von Twente zurück. In einem Laborversuch mit Energiespar- und LED-Lampen, vor die ein Dimmer geschaltet wurde, stellte ein Team von Forschern fest, dass einige Modelle zu hohe Energiemengen zählten, während andere Modelle zu wenig maßen. (Buddenberg, 2017) Einige Zähler mit einer Rogowski-Spule maßen bis zu 582% des tatsächlichen Stromverbrauchs und Zähler mit Hall-Sensoren maßen lediglich 46% der tatsächlichen Energiemenge. (Decker, 2017) Diesen Einwänden wird von Seiten der Industrie entgegengebracht, dass die Durchführung der Experimente realitätsfern sei, da ein Dimmer, der vor 50 Lampen geschaltet wird, kein Alltagsszenario sei. (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie, 2017) Die im Experiment getesteten Modelle stammen aus den Jahren 2007 und 2014. In der Zwischenzeit gelten die Normungslücken, die als fehlerverursachend betrachtet werden, als beseitigt. (Schow, 2017)

Der letzte Einwand betrifft die Datensicherheit von Smartmetern. Bei herkömmlichen Ferrariszählern wird der Zeitpunkt des Verbrauchs nicht gespeichert. Dadurch ist es nicht möglich, Informationen über das Nutzungsverhalten der Konsumenten zu gewinnen. Wird allerdings genau gemessen, zu welchem Zeitpunkt wie viel Strom gebraucht wird, so kann möglicherweise darauf geschlossen werden, wann die Konsumenten zu Hause sind und welchen Tätigkeiten sie nachgehen. Bei sekundengenauer Aufzeichnung ist es unter Umständen sogar möglich zu identifizieren, welches Fernsehprogramm wiedergegeben wird. (Bachfeld, 2011) Da das Smartmeter die erfassten Daten überträgt, ist es besonders anfällig für den Diebstahl von Daten, wie dies häufig mit Nutzerkonten und Bankdaten geschieht. Beispielsweise ist es denkbar, Daten von Smartmetern zu manipulieren und so falsche Angaben über den Stromverbrauch zu übermitteln. (Lang, 2014) Da Smartmeter direkt an die Stromversorgung angeschlossen sind, ist es auch möglich, die Stromzufuhr trennen, wenn das Smartmeter gehackt wird. (Wimmer, 2014) All diese Schwächen führten dazu, dass das FBI im Jahre 2012 eine Warnung vor den Gefahren des illegalen Zugriffs auf Smartmeter veröffentlichte. (Krebs, 2012) Diese Probleme machen es notwendig, die Software, die auf Smartmetern läuft, besonders robust gegenüber Cyber-Angriffen zu gestalten. Die Angst, dass durch Smartmeter TV-Programme gelesen werden können ist zwar plausibel, scheint aufgrund der momentanen Rechtslage in Österreich aber doch etwas übertrieben. Das Smartmeter überträgt die gesammelten Daten nicht in einem konstanten Fluss. Stattdessen werden die Daten vor Ort gespeichert. Übertragen dürfen die Daten erst nach der Anfrage des Produzenten und dem ausdrücklichen Einverständnis des Kunden werden. (e-Control, 2014)

Bei Weitem nicht so stark diskutiert wird die Überwachung im kleinen Stil. Mit einem Smartmeter ist es zumindest theoretisch jedem Haushaltsmitglied möglich

einzusehen, welche elektronischen Geräte die anderen Mitglieder desselben Haushalts verwenden. (McKenna, et al., 2011)

Wie weit die Datenerfassung innerhalb eines Haushaltes geht ist in Abbildung 4 zu sehen. In dieser Abbildung sind zwei unterschiedliche zeitliche Auflösungen eines Smartmeters gegenübergestellt. In Teil a misst das Smartmeter im 30-Minutentakt den Stromverbrauch. Wie zu sehen ist, können einzelne Verwendungen des Stroms nicht mehr herausgelesen werden. Es ist allerdings leicht herauszulesen, wann dieser Haushalt von seinen Besitzern besetzt ist. In Teil b von Abbildung 4 ist die zeitliche Auflösung mit einer Minute sehr hoch. Wie aus der Abbildung ersichtlich, können aus den einzelnen Verbrauchsspitzen die Gewohnheiten der Bewohner herausgelesen werden. Wenn die Energiesignaturen der einzelnen Geräte bekannt sind, ist es ein Leichtes, die Gewohnheiten der Verbraucher ausfindig zu machen.

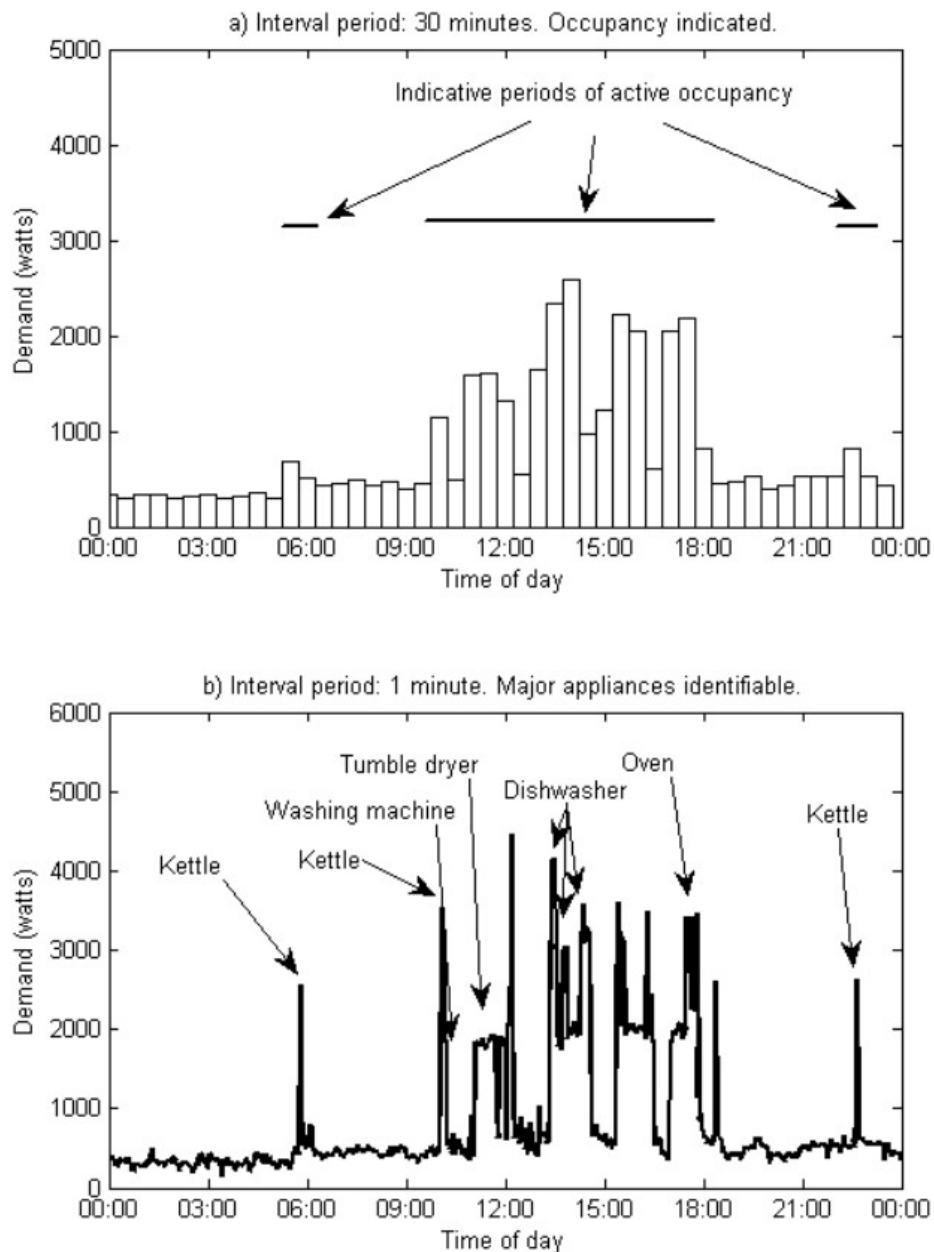


Abbildung 4: Datenerfassung eines Smartmeters bei unterschiedlicher zeitlicher Auflösung (McKenna, et al., 2011)

McKenna et al geben eine Liste an Problemen an, die durch die Datenerfassung von Stromverbrauch durch Smartmeter entstehen können. Diese Probleme sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1: Missbrauchsmöglichkeiten für die von Smartmetern gesammelten Verbraucherdaten (McKenna, et al., 2011)

Anwendungen	Beispiele
Illegale Verwendung	Einbrecher können herausfinden, wann ein Haus unbeaufsichtigt ist. Stalker können ihre Opfer verfolgen
Kommerzielle Verwendung	Gezielte Werbung. Anpassung der Versicherung, z.B. wird dazu tendiert, die Haushaltsgeräte laufen zu lassen, wenn man das Haus verlässt.
Verwendung der Exekutive	Entdeckung illegaler Geschehnisse wie Drogenproduktion. Überprüfung von Alibis.
Verwendung für gesetzesbezogene Tätigkeiten	Bei Scheidungen: wird das Kind allein im Haus gelassen, etc.

Diese Argumente zeigen, dass Datenschutz ein heikles Thema bei der Verwendung von Smartmetern ist, an dem weiterhin gearbeitet werden muss. Besonders unter Betracht der Tatsache, dass in einer zunehmend umweltbewussten Gesellschaft immer mehr Autos mit Elektrizität angetrieben werden. Das Smartmeter befindet sich in der Zukunft also vermutlich nicht mehr nur an einem Ort, sondern wird auch Daten außerhalb des Haushalts liefern. (Silva, 2009)

Trotz all dieser Probleme ist das Smartmeter ein wichtiger Bestandteil eines Smartgrids. Vor allem die Möglichkeit, Daten über den Verbrauch mobil übertragen zu können sind von großem Vorteil da dadurch Echtzeitinformationen über das Verhalten der Verbraucher gewonnen werden können.

4 Stromnetze

Im vorliegenden Kapitel werden zunächst die existierenden Stromnetze beschrieben. Danach wird auf Sonderformen von Stromnetzen eingegangen. Im Fokus liegen dabei Smartgrids und Microgrids.

4.1 Aufbau von Stromnetzen

Es kann zwischen zwei Arten von Stromnetzen unterschieden werden. Dem Netz mit zentraler Energieversorgung und dem dezentral versorgten Netz.

Netze mit zentraler Energiebereitstellung sind die herkömmlichen Systeme, über die Strom verteilt wird. Die Energie wird zentral von Kraftwerken erzeugt, für gewöhnlich mittels fossiler Energieträger. Es gibt auch Großkraftwerke, die den erneuerbaren Energien zuzuordnen sind, beispielsweise Wasserkraftwerke. Anschließend wird der Strom über Hochspannungsleitungen an den Ort des Verbrauchs geliefert, transformiert und an die Haushalte der einzelnen Verbraucher verteilt. Durch den Vorgang des Transformierens ist der so gelieferte Strom für viele unterschiedliche Konsumenten brauchbar. Er ist sowohl industriell, kommerziell und privat nutzbar. Dank dieser vielseitigen Anwendbarkeit basiert der Großteil der existierenden Netze auf zentraler Energieversorgung. Der Unterschied zwischen zentraler Energieversorgung und dezentraler Energieversorgung kann in Abbildung 5 gesehen werden. Hier ist zu sehen, dass im zentral organisierten System ein Kraftwerk sämtliche Konsumenten versorgt, während im dezentralen System unterschiedliche Energiequellen von mehreren Quellen eingespeist werden.

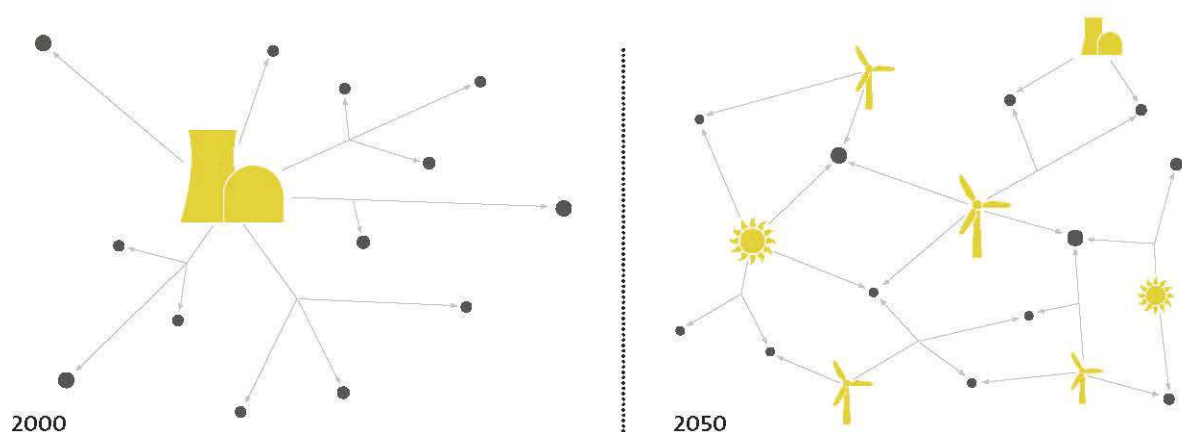


Abbildung 5: Darstellung von zentraler Stromerzeugung (links) und dezentraler Stromerzeugung (rechts) (Max Planck Society, 2012)

Energieversorgungssysteme mit wenigen, großen Kraftwerken sind besonders gut für urbane Räume mit hoher Menschendichte geeignet, wo die Nachfrage stets hoch ist. Allerdings liegen die Generatoren meist weit entfernt von den Endverbrauchern. Dies führt dazu, dass ein Teil der Energie beim Transport verloren geht. Der Verteilungssektor gilt als der ineffizienteste in dem gesamten

Vorgang der Erzeugung und der Verteilung. Die Schätzungen über die Größe der Verluste liegen im einstelligen Prozentbereich. Von den gesamten Verlusten im Übertragungsnetz fallen ca. 50% in der niedrigsten Netzebene an, die restlichen 50% in allen Netzebenen darüber. (Liu, et al., 2017)

Das Stromnetz ist in Österreich in 7 Netzebenen unterteilt. Netzebene 1 ist das Höchstspannungsnetz, das mit einer Spannung von 380 bzw. 220kV operiert. Es bildet den Anschluss an andere europäische Netze und verbindet Ballungsräume und große Industriegebiete über große Entfernungen miteinander. (Oesterichs Energie, 2018)

Netzebene 2 ist die Umspannung auf die nächstniedrigere Netzebene. Dabei handelt es sich um das Hochspannungsnetz, das als Ebene 3 mit einer Spannung von 110kV betrieben wird. An dieser Ebene sind die Großkraftwerke angeschlossen. Diese Ebene dient der überregionalen Verteilung von Strom und beliefert neben lokalen Stromversorgern auch große Industrieanlagen, größere Gewerbebetriebe und Eisenbahnen. (Oesterichs Energie, 2018)

Die Ebene 4 ist wieder die Umspannung auf das Mittelspannungsnetz, das als Ebene 5 bei einer Spannung zwischen 10 und 35kV liegt. Sie beliefert regionale Verteilernetzwerke und kleinere bis mittlere Betriebe in Industrie und Gewerbe. (Oesterichs Energie, 2018)

Mit der Ebene 6 wird die Spannung auf 400V zur Niederspannungsebene transformiert. Dabei handelt es sich um die Netzebene 7. Sie liefert den Strom an Endverbraucher wie Haushalte, kleinere Gewerbeunternehmen und landwirtschaftliche Betriebe. Mit 1,23 Millionen Kilometer ist das Netz dieser Spannungsebene das ausgedehnteste Netz aller Spannungsebenen. Einspeiser auf dieser Ebene sind beispielsweise Photovoltaikanlagen. (Oesterichs Energie, 2018)

Alle Spannungsebenen müssen mit derselben Netzfrequenz arbeiten und müssen synchron sein. Das heißt, dass alle Ebenen zum selben Zeitpunkt Spannungsmaxima und Nulldurchgänge erreichen müssen.

Es hängt von der Art des Kraftwerks ab, in welche Spannungsebene der erzeugte Strom eingespeist wird. Leistungsstarke Kraftwerke geben ihre Energie in die Höchstspannungsebene ab, kleinere Kraftwerke, wie zum Beispiel Windkraftanlagen und Photovoltaikanlagen, speisen in die Mittel- oder Niederspannungsebenen ein.

Aufgabe der zentralisierten, wie auch der dezentralisierten Energiebereitstellung ist es, die Verbraucher mit elektrischer Energie zu versorgen. Der Transport erfolgt in beiden Fällen mittels elektrischer Leiter. Der große Unterschied zwischen diesen beiden Systemen ist die Spannungsregion, in der sie operieren.

Ein zentrales System arbeitet auch auf Höchstspannungsebene, Hochspannungsebene, Mittelspannungsebene und Niederspannungsebene. Der Grund, warum elektrische Energie über lange Distanzen mit hoher Spannung transportiert wird, sind die geringen Verluste. Ein dezentrales System weist keine große lokale Ausdehnung auf und wird daher auf Nieder- und

Mittelspannungsebene betrieben, da die Netzverluste aufgrund der kurzen Übertragungsdistanzen auch bei niedriger Spannung gering sind.

Um die Energie, die das Netz liefert, nutzen zu können ist es notwendig, dass die Spannung im Netz konstant ist. Erst durch eine normierte Spannung können die elektrischen Geräte von Haushalt und Industrie betrieben werden. Die meisten Stromnetze funktionieren mit oszillierenden Spannungen und Strömen, wie Wechselstrom oder Drehstrom. Dies liegt daran, dass Wechselströme mit geringeren Verlusten über größere Entfernungen transportiert werden können als Gleichströme. Allerdings gibt es auch Nachteile, wie den Nullstrom. Das bessere Entfernung-Verlust-Verhältnis des Wechselstroms kommt dadurch zustande, dass Wechselströme mit größeren Spannungen besser transportiert werden können. Dies gibt einen Vorteil gegenüber Gleichströmen, bei denen der Widerstand und der damit einhergehende Verlust mit der Länge der Leitung steigt.

Inselnetze sind in vielerlei Hinsicht das Gegenteil von Verbundnetzen. Wie der Name schon sagt sind das einzelne elektrische „Inseln“, die isoliert von der Außenwelt existieren. Es gibt keine Möglichkeit, von Kraftwerken außerhalb des Inselnetzes Strom zu erhalten, sollte die eigene Produktion innerhalb des Netzwerks nicht ausreichen um den Verbrauch zu tragen. Es ist theoretisch möglich, ein Inselnetz mit nur einem Kraftwerk zentral zu betreiben, allerdings ist dies unpraktisch, da eine einzige Störung des Kraftwerks zur Lahmlegung des gesamten Netzes führen kann. In der Realität handelt es sich bei Inselnetzen daher meist um dezentrale Systeme, da die Energie aus mehreren kleinen Kraftwerken bezogen wird.

Inselnetze kommen sehr häufig in geographisch abgelegenen Gegenden und tatsächlich auf Inseln vor. So werden sowohl Malta als auch Zypern von einem Inselnetz mit Energie versorgt. In Inselnetzen ist es schwieriger eine hohe Versorgungsqualität aufrecht zu erhalten. Die geringe Größe des Netzes, die Überschaubarkeit mit sich bringt, ist gleichzeitig eine Schwäche. Dadurch, dass nur eine geringe Anzahl an Verbrauchern und Kraftwerken mit dem Netz verbunden sind, kann es leichter zu Störungen kommen, wenn ein Kraftwerk ausfällt oder unvorhergesehener Verbrauch einsetzt. Hinzu kommt, dass es statistisch einfacher ist, das Verhalten einer größeren Menge an Verbrauchern zu erfassen. Je kleiner die Anzahl der Verbraucher ist, desto schwieriger ist es, deren Verhalten hinsichtlich des Energieverbrauchs zu prognostizieren.

Inselnetze müssen nicht immer solche bleiben und können in Verbundnetzwerke, die mehrere kleinere Netze miteinander verbinden und synchronisieren, eingebunden werden. (Paschotta, 2017)

Systeme mit wenigen großen Erzeugungsanlagen können auf unterschiedliche Art und Weise aufgebaut werden. Hierbei spricht man von der Typologie des Netzes. Der einfachste Aufbau von Stromnetzen ist ringförmig. Die Stromerzeugung findet im Zentrum des Netzes statt und die erzeugte Energie wird an die Verbraucher nach außen geliefert.

Einige Formen, die Stromnetze annehmen können, sind:

Strahlennetz:

Strahlennetze werden einseitig eingespeist, sodass die Leitungen strahlenförmig vom Erzeuger zu den Verbrauchern führen. Ein Nachteil dieses Netzes ist die begrenzte Belastbarkeit, die am Leistungsende wegen des ansteigenden Spannungsabfalls entsteht. Außerdem sind bei einem Stromausfall alle an der Quelle hängenden Verbraucher vom Rest des Stromnetzes getrennt. (WA notstromtechnik GmbH, 2018)

Ringnetz:

Ringnetze werden von zwei Seiten gespeist. Dadurch verteilen sich die Ströme auf beide Seiten. Im Falle einer Störung werden Teile der Ringleitung aus dem Netzwerke herausgenommen und der Rest des Netzes funktioniert weiter wie ein Strahlennetz. (WA notstromtechnik GmbH, 2018)

Maschennetz:

Beim Maschennetz sind die Leitungen an Knotenpunkten über NH-Sicherungen verbunden. Im Falle eines Fehlers können die Belastungsströme für andere Netzmaschen von den Leitungen mitgeführt werden. Die Verbraucher werden von zwei Seiten und von zwei oder mehr Speisepunkten versorgt. Bei Netzüberlastung können zusätzliche Speisepunkte eingefügt werden. Bei diesem Netztyp ist die Versorgungssicherheit am größten. Der Nachteil ist der höhere Kostenaufwand durch Lasttrenner, Leistungsschalter und Schutzrelais. (WA notstromtechnik GmbH, 2018)

Die oben genannte Liste der Möglichkeiten gibt an, wie Stromnetzwerke grundlegend aufgebaut werden können. Zusätzlich zu diesem grundlegenden Design kommt noch die übergeordnete Struktur. Hier gibt es zwei Möglichkeiten das Netzwerk anzulegen: das Verbundnetz und das Inselnetz.

Das Verbundnetz entsteht durch einen Zusammenschluss mehrerer kleiner Netze. In dieser Arbeit wird sich der Begriff ausschließlich auf Stromnetze beziehen. Allerdings soll angemerkt werden, dass nicht nur Strom, sondern auch andere Energieträger wie Erdgas in mit einem derartigen Netz verteilt werden können.

Bei der Betrachtung eines Stromnetzes und der Verwendung der dadurch zur Verfügung gestellten Energie, kann es leicht zu Unklarheiten der Rollen des Netzbetreibers und des Stromanbieters kommen. Bei diesen Begriffen handelt es sich um die zwei verantwortlichen Parteien, die die Stromversorgung aufrechterhalten. Der Netzbetreiber sorgt für den ordnungsgemäßen Betrieb des Stromnetzes und bietet die Infrastruktur, über die der Strom vom Erzeuger an die Verbraucher geliefert wird. Auch das Ablesen des Stromzählers fällt in den Aufgabenbereich des Netzbetreibers. Aus Gründen der Praktikabilität bilden sich vor allem bei Verteilungsnetzen natürliche Monopole. Schließlich ist es nicht wirtschaftlich sinnvoll, mehrere Netzbetreiber teils redundante Infrastruktur zu legen, um alle Kunden zu erreichen. Der Netzbetreiber in Österreich ist die Austrian Power Grid (APG).

Die Stromanbieter haben mit dem Netz und dessen Erhaltung nichts zu tun. Der Stromanbieter stellt den Strom zur Verfügung, ist allerdings auf die Netzinfrastruktur des Netzbetreibers angewiesen, um den Strom zu verteilen. Die Stromanbieter können ihren Strom selbst erzeugen, allerdings ist dies nicht notwendig und viele Stromanbieter kaufen ihren Strom bei Erzeugern ein. In Österreich gibt es insgesamt 122 unterschiedliche Stromanbieter. (Verbund, 2018)

4.2 Vergleich von europäischem und amerikanischem System

Die Verwirklichungen der Stromversorgung in unterschiedlichen Ländern ist nicht identisch. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden bestehende Stromnetze aus dem amerikanischen, als auch dem europäischen Raum vorgestellt. Daher werden die beiden Systeme im vorliegenden Kapitel miteinander verglichen.

Durch Unterschiede in der geschichtlichen Entwicklung haben sich in verschiedenen Ländern unterschiedliche Stromnetze gebildet. Zwei der größten Stromnetzwerke befinden sich in Europa und in den Vereinigten Staaten von Amerika. Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, die Größe eines Stromnetzes zu messen.

Die installierte Erzeugungskapazität: Die Größe eines Netzes wird nach der maximalen Kapazität beurteilt, die durch die angeschlossenen Erzeugungseinheiten produziert werden kann. Hierbei kommt das Stromnetz der USA auf 1.074 GW und das europäische Netz auf einen Wert von 987,7 GW. (Meier, 2018)

Tatsächliche Größe des Netzes: Das amerikanische Netz hat eine Gesamtlänge 12 Millionen Kilometer. Dagegen hat das europäische Netz eine Länge von 11,1 Millionen Kilometern. (Meier, 2018)

Es scheint also, dass das amerikanische Netz größer ist als das europäische. Allerdings kommen hierbei einige erschwerende Faktoren hinzu. Die hier gemachten Angaben beziehen sich nämlich auf ganz Europa, es werden also auch die nordischen Länder, die baltischen Staaten, Großbritannien und die Schweiz mitgerechnet. Länder die nicht Teil des europäischen Verbundnetzes sind, beziehungsweise ihr eigenes Verbundnetz haben. Auf der anderen Seite ist auch das amerikanische Netz kein einziges, riesiges Netz. Es verbindet die Bundesstaaten der USA miteinander und erreicht dies, indem mehrere kleinere Verbindungszonen eingerichtet werden, die voneinander unabhängig funktionieren. Bei diesen Verbundnetzen handelt es sich um die Eastern Interconnection (östliches Verbundnetz), Western Interconnection (westliches Verbundnetz) und den Electric Reliability Council of Texas (ERCOT). (Hoff, 2016) Es ist also nicht so einfach zu bestimmen, welches Netz das Größere ist.

Vor dem Vergleich der Funktionsweise der beiden Netze müssen die Begriffe primäres und sekundäres Verteilungssystem geklärt werden.

Das primäre Verteilungssystem arbeitet mit Spannungen zwischen 4.000V und 35.000V und wird in erster Linie zur Verteilung des Stroms verwendet. Nur einige

wenige, große Verbraucher werden direkt an dieses Verteilungssystem angeschlossen. (Csanyi, 2012)

Das sekundäre Verteilungssystem arbeitet mit 50 oder 60 Hz und beliefert den Verbraucher. Es ist dieses System, das die oben beschriebenen Topologien annehmen kann. Der Unterschied zwischen dem europäischen Verbundnetz und dem amerikanischen Netz besteht in erster Linie in der Betriebsart des jeweiligen Netzes. Die Hardware, aus der das Netz besteht, ist größtenteils gleich.

Der erste Unterschied, der bei Betrachtung der Betriebsart schnell ins Auge sticht, ist die Spannung, die die Netze liefern. Das amerikanische Netz liefert 120/240 V an, das europäische 230 V.

Die Zubringung im amerikanischen Netz erfolgt mit 240 V. Wird ein Haushalt erreicht, so wird die Spannung auf zweimal 120 V aufgeteilt. Großverbraucher wie Herde werden direkt an die 240 V angeschlossen. 240 V sind allerdings eine neuere Erscheinung im System. Ursprünglich erfolgte die gesamte Bereitstellung des Stroms bei 120 V. Das Netz verwendet eine einzige Phase.

Das europäische System verwendet durchschnittlich 230 V und ist dreiphasig angelegt. Dieses Design führt dazu, dass das sekundäre Verteilungssystem des europäischen Netzes die achtfache Reichweite des amerikanischen Systems hat. Dies kommt dadurch zustande, dass sich die Reichweite bei doppelter Spannung vervierfacht und ein Dreiphasensystem die doppelte Reichweite eines Einphasensystems hat.

Bedingt durch die größere Reichweite der sekundären Stufe, kommt es im europäischen System seltener vor, dass die primäre Verteilungsstufe direkt von Verbrauchern angezapft wird.

Der Grund für die Unterschiede in dem Design der beiden Netze liegt in der Beschaffenheit der Länder, als das Stromnetz aufgebaut wurde. Dadurch, dass die Städte in Europa ungeplant gewachsen sind, leben Menschen in Europa dichter beisammen als in Amerika, was eine stärkere Sekundärphase wünschenswert machte.

Es ist schwierig, die Kosten der beiden Systeme gegeneinander aufzuwiegen, da sie unter unterschiedlichen Bedingungen entwickelt wurden. So wäre in den ländlichen Gegenden Europas ein einphasiges System von Vorteil, da es billiger umzusetzen ist als ein dreiphasiges.

In dem amerikanischen System ist das primäre System flexibler ausgelegt, was ein Vorteil in ländlichen Gebieten ist, während das flexiblere sekundäre System Europas in städtischen Regionen von Vorteil ist, da hier Transformatoren leichter platziert werden können.

Dadurch, dass in Europa ein Knoten im primären System mehr Haushalte versorgt als in Amerika ist das europäische System anfälliger für Unterbrechungen. Fällt ein primärer Knoten aus, so sind mehr Konsumenten betroffen. Insgesamt ist das europäische System 35% häufiger von Unterbrechungen in der Zulieferung betroffen als das amerikanische.

Das europäische System liefert dafür qualitativ höherwertigen Strom. Durch die drei Phasen sind Spannungsabfall und kurzzeitige Unterbrechungen unwahrscheinlicher.

Die Flexibilität des sekundären Systems in Europa macht es einfacher Strom zu steuern, was vor allem in Entwicklungsländern problematisch ist. (Csanyi, 2011)

4.3 Smart Grid

In Diskussionen über die Zukunft von Energienetzen ist das Smart Grid allgegenwärtig. Das Ziel des Smart Grids ist es, die Versorgung mit elektrischer Energie auf eine nachhaltige Art und Weise zuverlässiger, effizienter und verantwortungsbewusster zu machen. (Lin & Magnago, 2017) Ein weiteres Ziel von Smart Grids ist eine Modernisierung des Elektrizitätsversorgungssystems, sodass es die verbundenen Elemente des Netzes beobachtet, schützt und optimiert. Dies beginnt bei zentraler oder dezentraler Erzeugung und reicht über das Verteilungsnetz bis hin zu den Verbrauchern. (Chhaya, et al., 2009)

Laut Technologieplattform Smart Grids Austria ist ein Smart Grid wie folgt definiert: „Smart Grids sind Stromnetze, welche durch ein abgestimmtes Management mittels zeitnaher und bidirektionaler Kommunikation zwischen Netzkomponenten, Erzeugern, Speichern und Verbrauchern einen energie- und kosteneffizienten Systembetrieb für zukünftige Anforderungen unterstützen.“ (Technologieplattform Smart Grids Austria, 2018)

In Abbildung 6 ist eine schematische Darstellung eines Smart Grids zu finden. Wie zu sehen ist, ist das Grid nach wie vor mit dem äußeren Versorgungsnetz verbunden, wird also nicht im Inselmodus betrieben. Nicht jeder der Teilnehmer produziert seinen eigenen Strom, aber jeder Teilnehmer ist mit einem Smartmeter ausgestattet, das Informationen über das persönliche Verbrauchsverhalten sammelt.

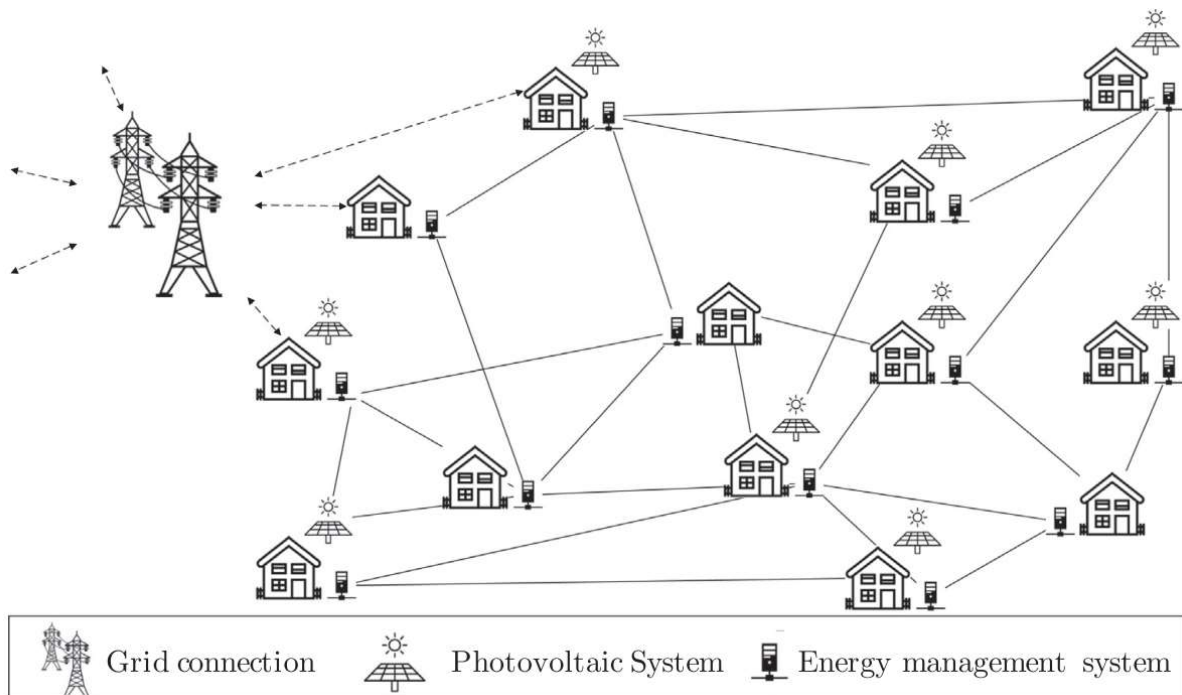


Abbildung 6: Schematische Darstellung eines Smart Grids (Mengelkamp, et al., 2017)

Die Schlüsselkomponenten eines Smart Grids nach Bieser sind (Bieser, 2013):

Smart Meter: Die Erfassung des Verbraucherverhaltens durch Smart Meter bildet die Grundlage des Smart Grids, da dadurch verbesserte Dienste für die Verbraucher ermöglicht werden.

Intelligentes Grid Management: Hierdurch wird es möglich, variierende Energieproduktion mit Energietransport und Verbrauch abzustimmen. Auch das Hinzubeziehen von elektrischen Speichern fällt unter die Zuständigkeit des Grid Managements.

Systemweite Übersicht und Koordination: Dies sichert die effiziente Koordination und den optimalen Nutzen der vorhandenen Energie. Alle individuellen Komponenten von Prosumern und Konsumenten müssen in ein uniformes Kommunikationsnetzwerk eingebunden sein, das Echtzeit-Übertragungen zulässt.

Zusätzliche Softwaredienste: Diese Dienste ermöglichen es allen Prosumern und Konsumenten, ihr Verhalten auf ökonomischem Level zu koordinieren und zu kontrollieren.

Bei einem Smart Grid werden Informations- und Kommunikationstechnologien verwendet um Informationen über die Verbraucher zu sammeln und nach dieser Information selbstständig zu handeln. Diese Informationen könne beispielweise über Smartmeter gewonnen werden.

Das Smart Grid ist den dezentralen Systemen zuzurechnen, im Gegensatz zu dem zentralen System der Energieversorgung, die im traditionellen System vorherrscht. Die Stromversorgung eines Landes erfolgt nie über eine einzige, zentrale Stelle. Dies wäre zu unwirtschaftlich, zu unsicher und zu wenig praktikabel. Dennoch wird

von zentraler Stromversorgung gesprochen. (Alanne & Saari, 2004) Dies wirft die Frage auf, ab wann ein System als zentral oder dezentral bezeichnet werden kann. Alanne und Saari haben zur Beantwortung dieser Frage Punkte erarbeitet, um den Grad der Dezentralisierung eines Systems zu bestimmen:

Je dezentralisierter das Energiesystem eines Gebiets ist, desto:

- Kleiner ist die Anzahl der Verbrauchsknoten pro Erzeugungseinheit
- Größer ist die Anzahl der Erzeugungseinheiten in dieser Region
- Kleiner ist die Leistung der Erzeugungseinheit
- Geringer ist die Distanz zwischen Erzeugungseinheit und Verbrauchsknoten
- Geringer ist die Interaktion der Verbrauchsknoten und Erzeugungseinheiten untereinander
- Größer ist die Diversität in der Nutzung der lokalen Ressourcen
- Größer ist die Anzahl an Anbietern auf dem Markt

Diese Punkte sind nur mit Hilfe von Statistiken vergleichbar da sie keine konkreten Aussagen über Anzahl der Verbrauchsknoten und Erzeugungseinheiten machen. Der Grad der Dezentralisierung kann also von Jahr zu Jahr variieren. Die besten Daten zur Beurteilung, ob ein Energieversorgungssystem zentral oder dezentral ist, liefern Informationen über die Anzahl der Verbrauchsknoten pro Erzeugungseinheit und über die Größe der lokalen Erzeugungseinheiten. (Alanne & Saari, 2004) Die Größe der lokalen Erzeugungseinheiten, die zur Klassifizierung des Netzes notwendig ist, ist in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2: Größe der lokalen Erzeugungseinheit in zentralisierten und dezentralisierten Netzen (Alanne & Saari, 2004)

Region	Decentralized	Centralized
Country	< 2 MWe	> 1000 MWe
Territory	< 250 kWe	> 100 MWe
Municipality/City/Town	< 100 kWe	> 2 MWe
Village/Group of houses	< 25 kWe	> 100 kWe
Residential building	1–5 kWe	> 25 kWe

Smart Grids bewegen sich innerhalb der Grenzen eines dezentralisierten Stromnetzes. Ein Grund, warum Smart Grids plötzlich in aller Munde sind, hat mit einer veränderten Wahrnehmung der Natur und den damit einhergehenden veränderten Ansprüchen an die Energieproduktion zu tun. Hinzu kommt, dass mit den Fortschritten in Technologie und Datenverarbeitung eine Modernisierung des Stromnetzes möglich wird. Anstatt Energie aus fossilen Brennstoffen zu gewinnen, die zentral umgewandelt werden, werden überall verfügbare erneuerbare Energien mit kleinen Anlagen in elektrische Energie umgewandelt und so genutzt. Dies macht es den Konsumenten möglich, selbst Strom zu produzieren.

Durch die täglichen Schwankungen in der Stromproduktion aus beispielsweise Sonnenenergie kann die Produktionskapazität bei großen Photovoltaikanlagen oft nicht voll genutzt werden. Vor allem bei Haushalten mit arbeitenden Bewohnern fällt die Tageszeit mit der höchsten Stromproduktion mit der regulären Arbeitszeit, die zumeist außerhalb des Hauses verbracht wird, überein. Dadurch ist es nur schwer möglich, den produzierten Strom komplett selbst zu verbrauchen. (Weninger, et al., 2015) Dieser und ähnliche Umstände sorgen dafür, dass im Mittel nur zwischen 35 und 40% der erzeugten Solarenergie selbst verbraucht werden. (PVAustria, 2018)

Um derartig gewonnenen Strom nicht zu verschwenden gibt es verschiedene Ansätze: erstens den Bau eines Stromspeichers, um den zum Zeitpunkt der Umwandlung ungenutzten Strom später zu verbrauchen. Zweitens kann die überschüssige Energie in das öffentliche Netz eingespeist werden, um anderen Verbrauchern die Nutzung zu ermöglichen. Drittens kann mittels Lastverschiebung dafür gesorgt werden, dass die Energie von eigenen Verbrauchern zum Zeitpunkt maximaler Produktion abgenommen wird.

Das Smart Grid gehört zu der zweiten Klasse der Lösungen. Ziel ist es, einen Markt zu schaffen, wo unverbrauchte Energie umverteilt wird. Smart Grids können Zusammenschlüsse kleinerer Nachbarschaften sein, die ihre Energie teilweise aus dem Grid beziehen. Die überschüssige Energie der Prosumer wird in das übergeordnete Netz eingespeist und von anderen Teilnehmern verbraucht. Dies verringert die Kosten und den Energieverlust, die die Speicherung verursachen würde. Dadurch, dass die Teilnehmer des Smart Grids in relativer Nähe zueinander wohnen, werden auch die Verluste durch den Stromtransport gering gehalten. Die lokal produzierte Energie wird auch lokal verbraucht. Durch die überschaubare Größe des Smart Grids wird die effiziente Nutzung lokaler Ressourcen gefördert. (Alanne & Saari, 2004) Zusätzlich wird die lokale Gemeinschaft des Smart Grids tendenziell selbstversorgend und unabhängiger von der Außenwelt.

4.4 Micro Grid

Im vorliegenden Kapitel wird der Begriff Micro Grid erklärt. Die komplette Beschreibung von Smart Grids, die in den oberen Absätzen gegeben wurde, ist auch auf Micro Grids anwendbar. Es handelt sich dabei um kleinere Ausführungen eines Stromnetzes, die innerhalb von lokalen Gemeinschaften realisiert werden können. Bei dem Micro Grid handelt es sich demnach um ein elektrisches System, das mehrere kleinere Erzeugungseinheiten beinhaltet. Die wesentliche Eigenschaft eines Micro Grids ist es, dass es unabhängig von einem äußeren, übergeordneten Netz funktioniert. Das Micro Grid ist also eine Antwort auf ein sich änderndes Energieproduktions- und -konsumationsverhalten, eingeleitet durch den erhöhten Anteil an erneuerbaren Energien.

Durch das Sammeln von Informationen über das Verbrauchsverhalten eröffnen sich mit Hilfe des Micro Grids neue Möglichkeiten der Abrechnung von Stromtransaktionen, die besonders für den Umgang mit erneuerbaren Energien

geeignet sind. Ein großer Unterschied zum herkömmlichen System liegt im dynamischen Preis, der in Micro Grids vermehrt zur Anwendung kommen kann. So kann der Preis des Stroms, je nach Angebot und Nachfrage, variieren. Dieser Effekt tritt vor allem bei Micro Grids auf, da durch die limitierte Größe gleichartige Energieerzeugungsanlagen tendenziell gleichzeitig Energie produzieren oder eben nicht produzieren.

Dies wird dazu führen, dass Strom zu den Zeiten mit Spitzenverbrauch und kleiner Erzeugung teurer zu erstehen ist, als zu Zeiten, in denen die Nachfrage gering und die Produktion hoch ist. Das wird das Verhalten der Konsumenten ändern und voraussichtlich dazu führen, dass Strom für Tätigkeiten wie Geschirrspülen und Wäschewaschen eher zu off-peak Stunden verbraucht wird. Diese Variabilität des Preises ist auch von Vorteil für erneuerbare Energien. Je nach Wetterbedingungen wird der Anteil an regenerativen Energien im Netz schwanken und sich damit auf den Preis der Energie auswirken.

Die Änderung mit den größten Folgen für den traditionellen Strommarkt ist vermutlich der Wechsel von reinen Stromkonsumenten zu Prosumern. Das Zusammenfallen von Konsumieren und Produzieren hat fundamentale Auswirkungen auf den Aufbau des Elektrizitätsmarktes. Das bisherige Modell des Marktes hatte klar definierte Rollen und war aufgeteilt in Energieversorger, Netzbetreiber und Konsumenten. Durch das Auftreten von Prosumern wird elektrische Energie zunehmend unter Konsumenten gehandelt. Dadurch wird weniger Energie von Betreibern großer Energieerzeugungsanlagen bezogen.

Um einen Blockchain-basierten (siehe Kapitel 5) Micro Grid Markt erfolgreich handhaben zu können, haben Mengelkamp et al. 7 Stufen ausgemacht, die erfüllt werden müssen.

Funktion des Microgrids:

Es muss Klarheit geschaffen werden welche Funktion dieses Microgrid erfüllen soll. Dazu gehört eine klare Vorstellung, wer die Teilnehmer am Markt sein sollen und welche Art der Energie gehandelt werden soll. Ziel des Microgrids kann es beispielweise sein, eine zuverlässige Stromversorgung sicherzustellen oder lokale erneuerbare Energien in das Verteilungssystem einzubringen. Wie diese Ziele implementiert werden ist besonders wichtig für den Entwurf des Zahlungssystems. Ein Micro Grid Energiemarkt benötigt außerdem eine ausreichende Zahl an Marktteilnehmer. Im Falle eines Microgrids für Energie muss eine ausreichende Anzahl der Teilnehmer ihre eigene Energie produzieren und bereit sein diese verkaufen zu wollen. Damit dieses System funktioniert muss davon ausgegangen werden, dass alle Teilnehmer selbstinteressiert und rational handeln.

Grid Verbindung:

Um einen gleichmäßigen Stromfluss innerhalb des Microgrids zu gewährleisten muss es an zumindest einem Punkt, besser mehrere Punkte, mit dem überliegenden Verteilungsnetz verbunden sein. An diesen Punkten kann der Stromfluss vom Microgrid ins überliegende Netz gemessen werden, was es möglich macht, die Leistung des Microgrids genau festzulegen. Es besteht ein Unterschied

zwischen der physischen Komponente des Microgrids und der virtuellen Komponente. Das physische Microgrid besteht aus Hardware, die verwendet wird, um Energie von einem Teilnehmer zum nächsten zu transportieren. Das virtuelle Microgrid verbindet die Teilnehmer über eine Informationsplattform. Im Gegensatz zu der physischen Komponente kann der virtuelle Teil des Microgrids nicht von dem überliegenden Netz entkoppelt werden. Das physische Microgrid hat eine limitierte Anzahl an Verbindungspunkten zu diesem Netz, wodurch gewährleistet wird, dass stets genug Strom zur Verfügung steht. Im Falle eines Stromausfalls können an diesen Punkten Verteilungsnetz und Microgrid entkoppelt werden, sodass das Microgrid weiterhin funktionsfähig ist.

Um für längere Zeit zu entkoppeln oder gar im Inselmodus zu funktionieren benötigt ein Microgrid eine ausgeprägte, eigene Erzeugungskapazität und genügend Flexibilität, um Versorgungssicherheit bereitzustellen. Diese Flexibilität kann durch Variation in der Energieerzeugung und durch Speichermöglichkeiten gegeben werden. Daneben kann auch der Verbrauch in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Energiemenge angepasst werden.

Informationssystem:

Um alle Teilnehmer des Markts miteinander zu verbinden ist ein leistungsstarkes Informationssystem notwendig. Dieses System ist dem virtuellen Teil des Microgrids zuzurechnen. Aufgabe dieses Systems ist es, eine Plattform zu bieten, auf der alle Teilnehmer gleichen Zugriff auf den Markt haben. Diese Anforderungen können von einer Blockchain, unterstützt von Smart Contracts, erfüllt werden. Eine zusätzliche Anforderung an ein derartiges System ist eine sichere Übertragung der Daten vom Smartmeter an die Blockchain. Über eine derartige Verbindung werden Daten wie Stromerzeugung und Verbrauch übertragen, nach denen die Smart Contracts handeln.

Die Verifikation, um Teil der Blockchain zu werden, hängt von der Art der Gemeinschaft ab, in die das Microgrid implementiert wird. Handelt es sich um eine Gemeinschaft, zu der nur vertrauensvolle Teilnehmer zugelassen werden, so ist ein identitätsbasiertes System ausreichend. Dieses System beruht darauf, dass jeder Teilnehmer im System auch nur eine einzige Identität besitzt, über die alle Tätigkeiten abgeschlossen werden. Anstatt auf komplizierte kryptografische Probleme zurückgreifen zu müssen, reicht es in diesem System aus, die Identität jedes Teilnehmers einmal von einer zentralen Autorität bestätigen zu lassen.

Markt Mechanismus:

Der Markt Mechanismus umfasst die Zahlungsregeln und legt die Art und Weise fest, in der Strom an- und verkauft wird. Die Hauptaufgabe des Mechanismus ist es, die gehandelte Energie effizient zuzuweisen. Im Idealfall wird diese Zuordnung sofort nach der Bestellung vollzogen. Zusätzlich sollten in den Markt Einschränkungen eingeführt werden, die die Menge an Energie, die von einer Einzelperson gekauft oder verkauft werden kann nach oben und unten hin einschränkt. Ein gutes System zur Umsetzung dieser Mechanismen wäre ein

Bestellbuch, das die Bestellungen nach Ablauf eines festgelegten Zeitintervalls aufgibt und umsetzt.

Preisregulation:

Die Preisregulation wird mittels des Markt Mechanismus eingeführt, wobei Auktionen eine gute Möglichkeit bieten, den Preis für Strom zwischen Verkäufer und Käufer abzustimmen. Während im traditionellen Strommarkt vor allem Steuern, Abgaben und Netzgebühren den Strompreis ausmachen können in einem Microgrid-Markt neue Kosten anfallen. Ökonomisch gesehen sind Microgrids für die Teilnehmer profitabel, solange die Stromkosten im Grid geringer sind als der Strom aus dem äußeren Verteilungsnetz. Allerdings kann es auch im Grid zu höheren Stromkosten kommen, wenn lokale, erneuerbare Energien bevorzugt werden da sie beispielsweise ein Statussymbol darstellen.

Energy management trading system (EMTS):

Die Aufgabe des EMTS ist es, automatisch die benötigte Energie für den jeweiligen Marktteilnehmer zu sichern. Dazu benötigt das EMTS Zugang zu den Daten über den tatsächlichen, momentanen Verbrauch seines Teilnehmers. Mit diesen Daten kann das Programm Prognosen über den Verbrauch und die Erzeugung machen. Des Weiteren sollte ein derartiges Programm die Interessen seines Inhabers im Sinne haben und Strom dann kaufen, wenn der Preis unter das vorgegebene maximale Preislimit fällt. Auch hier können sozio-ökonomische Faktoren eine Rolle spielen, da EMTS-Programme in der Lage sein sollten, auf individuelle Vorlieben des Kunden zu reagieren und beispielweise Strom aus erneuerbaren Quellen beim Kauf einen Vorzug geben.

Regulation:

Regulation bestimmt, wie der Microgrid-Energie-Markt mit der aktuellen Energie-Politik übereinstimmt. Legislative Regelung setzt fest, welche Marktentwürfe zugelassen werden, wie Steuern und Abgaben verteilt werden und wie der Microgrid-Markt in den traditionellen Energiemarkt eingegliedert werden soll. Dies ermöglicht Regierungen, mittels finanzieller Anreize Microgrids zu fördern und die Nutzung erneuerbarer Energien zu erhöhen.

Die Funktion des Micro Grid Marktes hängt vor allem von einem effizienten Informationssystem, dem Markt Mechanismus und der Preisregulation ab. Allein diese drei Komponenten können einen funktionierenden lokalen Energiemarkt in seiner reinsten Form erzeugen. Es wird kein spezifisches Informationssystem benötigt solange Zugang zum Markt, ein Marktmechanismus und Preisregulation zur Verfügung stehen. Zusätzliches Integrieren eines EMTS automatisiert den Auktionsprozess, wird aber für die eigentliche Funktion des Markts nicht benötigt.

4.5 Netzdesign für unterschiedliche Prosumermärkte

Generell gibt es zwei Wege, die ein Prosumer gehen kann:

Eine Möglichkeit ist es, dass Konsumenten den Energiebedarf durch eigene Produktion decken. Dafür ist es notwendig, ausreichend Kapazitäten zu installieren und für eine Speicherung der Energie zu sorgen. Damit ist Unabhängigkeit von einem Stromnetz gegeben. Dieser Weg wird vermutlich nur für wenige Prosumer wünschenswert sein, ist aber eine gute Option für Bewohner von abgelegenen Gegenden.

Beim zweiten Weg kommt das Smart Grid ins Spiel. Hier werden Prosumer zu aktiven Lieferanten von elektrischer Energie. Sie können traditionelle Netzbetreiber unterstützen oder auch mit ihnen konkurrieren.

Verglichen mit bereits bestehenden Elektrizitätsmärkten ist der Prosumer-Marktplatz komplexer, da das Verhältnis von Prosumern zur Größe des Systems deutlich höher ist.

Märkte mit Prosumern können sich laut Parag und Sovacool in unterschiedlichen Netzstrukturen entwickeln. Diese Strukturen sind in Abbildung 7 als schematische Darstellungen zu finden, wobei die Punkte (b) und (c) unterschiedliche Realisierungen desselben Aufbaus sind.

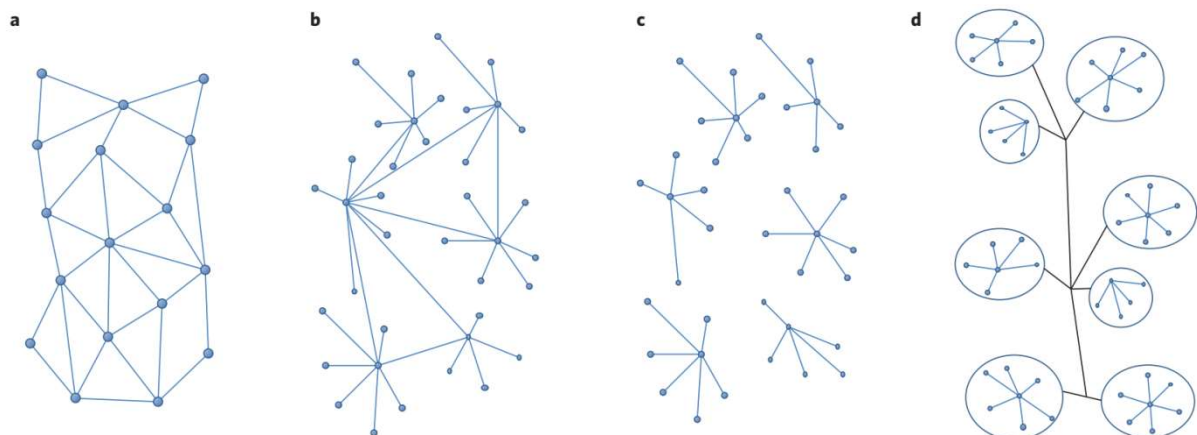


Abbildung 7: Netzstrukturen in drei Prosumernetzen (Parag & Sovacool, 2016)

Peer-to-Peer Modell: Märkte, denen das Peer-to-Peer-Modell zugrunde liegt, (Abbildung 7 a) sind organisch und das am wenigsten strukturierte Modell der hier vorgestellten. Dieser Markt ist dezentral, sehr autonom und flexibel. Hier erlaubt es eine Peer-to-Peer Plattform Produzenten und Konsumenten, den erzeugten Strom direkt zu verkaufen, zu versteigern und zu erwerben. Neben Strom können auch andere Leistungen angeboten werden, wie zum Beispiel Speicherraum für elektrische Energie. Die Kosten für Strom können sowohl spontan, als auch über längere Zeitspannen festgelegt werden. In einem derartigen Modell werden dem Verteilungsnetzbetreiber eine Verwaltungsgebühr und ein Tarif für dessen Verteilungsfunktion zugestanden.

Ein derartiges System kann sehr leicht organisch wachsen und eigenen Regeln folgen. Daher ist es notwendig, dass auf staatlicher Ebene Gesetze und Vorschriften erlassen werden, die sicherstellen, dass die Interessen der Teilnehmer dieses Marktes nicht den Interessen der gesamten Gesellschaft entgegenwirken. Dies führt dazu, dass diese Märkte sich an komplexere und kompliziertere Regeln halten müssen als dies bei herkömmlichen Systemen der Fall ist. (Parag & Sovacool, 2016)

Prosumer-to-Grid Modell: Märkte in Prosumer-to-Grid Netzen können auf zwei unterschiedliche Weisen aufgebaut werden: Das Micro Grid kann an ein äußeres Verteilungsnetz angeschlossen werden (Mengelkamp et al, 2017) (Abbildung 7b), oder im „Insel Modus“ (Abbildung 7c) betrieben werden. In diesen beiden Moden des Betriebs gibt es unterschiedliche Motivationen und Anreize für die eingebundenen Prosumer.

Grundlegend gibt es zwei Möglichkeiten mit einem Überschuss an Strom umzugehen: die Speicherung und den Verkauf. In dem Fall, dass ein äußeres Stromnetz an das Micro Grid angeschlossen ist, ist es notwendig, abzuwiegen, welche dieser beiden Optionen, Speicher oder Verkauf, den größten Nutzen bringt. Dies hängt von den Kosten der Speicheranschaffung, dem Einspeisetarif ins Netz und der Möglichkeit, Strom direkt an andere Grid-Teilnehmer zu verkaufen, ab. Je nachdem, wie diese Kosten-Nutzen-Rechnung ausfällt, wird eine dieser Optionen bevorzugt. Fällt die Entscheidung zugunsten eines Speichers aus, so bedeutet dies, dass durch Speicherung und spätere Verwendung des eigenen Stroms mehr Kosten gespart werden, als bei der Einspeisung in das äußere Stromnetz. Im Falle der Speicherung ist es nicht von Vorteil die maximal mögliche Menge an Energie zu generieren. Stattdessen ist ein Limit an nutzbarem Strom gegeben. Dieses Limit setzt sich aus der zur Verfügung stehenden Speichergröße und aus dem momentanen Verbrauch innerhalb des Micro Grids zusammen. Strom kann nur in dem Ausmaß verkauft werden, in dem er von anderen Mitgliedern des Grids abgenommen wird. Der Rest muss gespeichert werden, Strom, der über dieses Maß produziert wird, geht verloren.

Wird die Einspeisung bevorzugt, so ist es im Interesse des Produzenten, so viel elektrische Energie wie möglich zu produzieren, da diese im Falle des Nichtverbrauchs an das äußere Netz verkauft werden kann.

Im zweiten Fall, dem isolierten Micro Grid, tritt dasselbe Szenario wie in Fall eins ein, allerdings ohne die Möglichkeit, Strom ins äußere Netz verkaufen zu können. Aus den oben genannten Gründen ist es auch in diesem Aufbau nicht von Vorteil so viel Energie wie möglich zu produzieren, da unter Umständen Teile davon nicht abgegeben werden können.

Organisierte Prosumer Gruppen: Diese dritte und letzte Netzstruktur liegt zwischen den beiden bisher beschriebenen Modellen (Abbildung 7d). Diese Betriebsart ist organisierter als Peer-to-Peer-Netze, aber nicht so strukturiert wie Prosumer-to-Grid Modelle. Dieses Modell erlaubt es Gemeinschaften, ihren Energiebedarf gegenseitig zu decken, ihre Ressourcen zu sammeln und außerhalb der Gemeinschaft zu veräußern, um so einen Geldfluss zu ermöglichen. Diese Zusammenschlüsse von Prosumern können leichter in einem Markt verwaltet

werden, indem sie wie eine einzige Entität, ein sogenanntes virtuelles Kraftwerk, behandelt werden.

Ein auf erneuerbaren Energien basierendes Energieversorgungssystem, das dezentral mit mehreren Micro Grids angesiedelt ist, in denen eine Vielzahl an Produzenten Energie aus lokalen Ressourcen Energie gewinnen, wirkt in einer zunehmend globalisierten Welt wie ein Anachronismus. Auch wenn die dabei zum Einsatz kommenden Technologien erfolgsversprechend wirken, kommen auf derartig angelegte Systeme eine Vielzahl an Herausforderungen zu.

So benötigen Prosumer innerhalb eines Smart Grids kompliziertere Kontroll- und Verwaltungsmechanismen, die teilweise noch nicht entwickelt sind. Ein Problem, das in einigen Elektrizitätsmärkten durch die steigende Dichte an PV-Anlagen im Netz aufgetreten ist, ist, dass herkömmliche Stromnetze auf einen einseitigen Stromfluss ausgelegt sind. Die vorgegebene Richtung lautet: Vom Generator zum Verbraucher. Wird diese Richtung umgekehrt, so führt dies zu Problemen mit harmonischer Verzerrung, Spitzenwerten der Spannung und Fluktuationen in der Energieproduktion. (Parag & Sovacool, 2016)

Trotz all dieser Probleme ist das Smart Grid eine gute Option, um dem Energieverbrauch der Zukunft entgegenzutreten. Die durch diese Technologie ermöglichten Märkte für Prosumer sind in der Lage, lokale Ressourcen zu erschließen und den Angebot- und Nachfrageprozess zu demokratisieren.

5 Blockchain

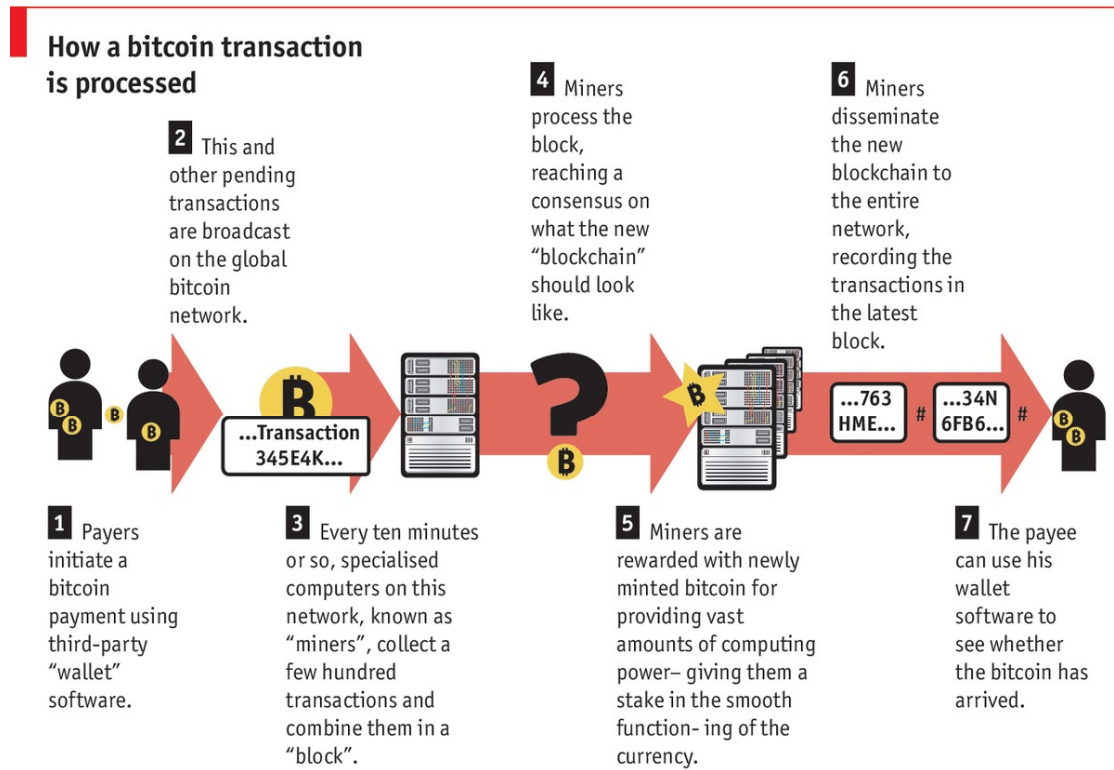
Energietransaktionen in Smart Grids und Micro Grids werden zunehmend zwischen Prosumern abgewickelt. Daher gibt es nicht mehr nur einen Energielieferanten, der Abrechnungen zentral erstellt sondern viele, kleine Teilnehmer, die in unterschiedlichsten Konstellationen Energie handeln. Daher wird eine Möglichkeit benötigt, diese komplexen Transaktionen einfach und sicher abzuwickeln. Eine Möglichkeit dafür bietet die Technologie der Blockchain, die im folgenden Kapitel beschrieben wird.

5.1 Grundlagen

Die Blockchain ist die Technologie, die hinter Kryptowährungen wie Bitcoin steht. Sie wurde im Jahr 2008 das erste Mal der Öffentlichkeit vorgestellt als ihr Erfinder, der nur unter dem Pseudonym Satoshi Nakamoto bekannt ist, im Oktober den ersten Entwurf zur Blockchain veröffentlichte. Zusammen mit der Blockchain wurde auch die Kryptowährung Bitcoin geschaffen, die eng mit dieser Technologie verbunden ist. Allerdings sind Bitcoin und Blockchain nicht dasselbe. Vielmehr ist die Blockchain die Technologie, die Bitcoin ermöglicht, sie bietet die Infrastruktur, die für Transaktionen vieler Art nutzbar ist. (Pavlus, 2018)

Die Motivation hinter der Blockchain ist, beim Transfer von Informationen Unabhängigkeit von zentralen Autoritäten zu erlangen. In diesem Sinne ist die Blockchain selbstregulierend und nicht auf zentrale Kontrolle angewiesen. Dies bringt einige Vorteile, aber auch Probleme mit sich. So würde einen Teilnehmer eines dezentralisierten Netzwerks nichts daran hindern, dieselbe Menge an Geld zweimal oder öfters auszugeben. Um dieses Problem zu lösen ist es notwendig, alle vorgenommenen Transaktionen zu kennen. In traditionellen Systemen wird dies eben von zentralen Autoritäten wie Banken erledigt. Die Blockchain löst dieses Problem durch das verteilte Hauptbuch (engl. distributed ledger). In diesem Hauptbuch werden sämtliche Transaktionen innerhalb des Netzwerks vermerkt. Im Unterschied zu einem zentral gesteuerten System wird dieses Hauptbuch nicht an einem einzigen Ort gespeichert, sondern auf den Rechnern eines jeden Teilnehmers. Jeder dieser Rechner wird als Knoten (engl. node) des Netzwerks bezeichnet. Wird nun von einem Teilnehmer versucht, denselben Wert zweimal auszugeben, werden die Transaktionen auf dem Hauptbuch auf seinem Rechner vermerkt, aber auf keinem anderen. Die zweifache Transaktion wird nicht sofort auffallen, je nachdem wie das Netzwerk konfiguriert ist werden jedoch sämtliche gespeicherten Versionen des Hauptbuchs in bestimmten Zeitintervallen (bei Bitcoin alle 10 Minuten) miteinander verglichen. Bei diesem Vergleich wird die doppelte Transaktion bemerkt. Nun steht ein Hauptbuch gegen alle anderen und das System bevorzugt die Version auf der Mehrheit der Knoten. Die doppelte Überweisung wird nicht durchgeführt.

Die eben beschriebene Funktionsweise der Blockchain ist in Abbildung 8 verdeutlicht.



Economist.com

Abbildung 8: Darstellung der Funktion der Blockchain (Economist, 2015)

5.2 Schürfen

Die Blockchain erhält ihren Namen von Blöcken, in denen die Daten des verteilten Hauptbuchs gespeichert werden. Dies wurde oben bereits angedeutet: Die Blöcke entstehen beim Vergleich des Hauptbuchs. Sämtliche Daten des Hauptbuchs werden in diesem Block gespeichert. Anschließend erzeugt das System einen „Fingerabdruck“ (engl. Hash) für diesen Block, indem zu den Daten des Blocks der Fingerabdruck des vorigen Blocks und eine zeitabhängige Zufallszahl namens Nonce hinzugefügt werden. Die so gewonnene Zahl gleicht einem mathematischen Rätsel, das nur durch brute-force gelöst werden kann. Das bedeutet, dass es keinen Weg gibt, diese Zahl zu errechnen. Die einzige Methode, die Lösung zu finden, liegt darin, sämtliche Zahlen mit der vorgeschriebenen Länge durchzuprobieren, bis zufällig die Richtige gefunden wird. Sobald diese Zahl gefunden ist, wird der Block mit all seinen Informationen beglaubigt und in die Kette an vorhergehenden Blöcken eingegliedert. Diese Kette ist rückverfolgbar bis zum allerersten Block und alle vorgenommenen Transaktionen sind darin, inklusive des Zeitpunkts der Inauftraggebung, nachverfolgbar.

Die Natur des mathematischen Rätsels, das zur Beglaubigung des jeweilig aktuellen Blocks gebraucht wird, sorgt dafür, dass es zu keiner Manipulation dieses Blocks kommen kann. Anderenfalls könnte die Blockchain manipuliert werden, indem ein

einzelner Teilnehmer seinen eigenen Block erzeugt und diesen an das System als den ursprünglichen Block verschickt. Durch die Kombination von zwei Hashs werden die Blöcke allerdings eindeutig und unverfälschbar gekennzeichnet. Durch den Zeitstempel (Nonce) wird außerdem sichergestellt, dass beträchtliche Rechenleistung benötigt wird, um den neuen Block zu beglaubigen. Als Belohnung für die Berechnung wird der Schürfer (engl. Miner), der das Problem gelöst hat, kompensiert. Im Falle von Bitcoin werden dafür neue Bitcoins ausgegeben. Dies führt dazu, dass Fälscher mehr Aufwand betreiben müssen als Schürfer. Dieses Verfahren, um neue Blöcke mit anschließender Kompensation der Schürfer zu beglaubigen, wird proof-of-work genannt.

Diese Funktionsweise ist in Abbildung 9 zu sehen: Zu Beginn der Blockchain muss der erste Block beglaubigt werden. Dieser Block beinhaltet noch keine Daten. Mittels der brute-force-Methode wird der erste Hash gefunden. Bei einem Hash handelt es sich um einen Output von bestimmter Länge, der durch das Lösen eines mathematischen Problems (ein Algorithmus) gefunden wird. Die Länge des Hashwerts ist von dem Algorithmus abhängig und kann verändert werden, indem der Algorithmus verändert wird. Das Praktische an diesem Hash-Verfahren ist, dass Hash-Codes immer dieselbe Länge haben, egal mit welchem Input angefangen wird. Der erste Input, den eine Blockchain erhält, ist der Zeitstempel. Dabei handelt es sich um ein Feld, das verwendet wird, um den ersten Hashcode zu berechnen. Nun müssen die Schürfer diesen Code finden. Stimmen gefundener Code und vorgegebener Hash überein, so wird der Block beglaubigt. Wenn der Hash-Algorithmus bekannt ist, kann jeder Hash eindeutig zu dem ursprünglichen Input zurückverfolgt werden. Wird am Hash-Wert auch nur eine einzige Stelle verändert, so kann der ursprüngliche Input nicht mehr verifiziert werden und die Veränderung des Hashs wird offensichtlich. Nun ist der erste Block (Block 0, ohne Transaktionen) abgeschlossen und in den nachfolgenden Blocks können nun Transaktionen aufgezeichnet werden. Der Input in den Hash Algorithmus kommt nun zustande, indem ein Zeitstempel vor den Hash des vorhergehenden Blocks gesetzt wird. Der so zustande kommende Code wird gehasht (durch den Hash-Algorithmus laufen gelassen) und ein neuer Code, der von den Schürfern gefunden werden muss, wird erstellt. Dadurch, dass Hashwerte eindeutig zu ihrer Quelle zurückverfolgbar sind, ist es möglich, die Blockchain bis zu ihrem allerersten Block zurückzuverfolgen. Stimmt bei einer derartigen Rückrechnung ein Block nicht mit der Rückrechnung überein, so muss dieser Block manipuliert worden sein.

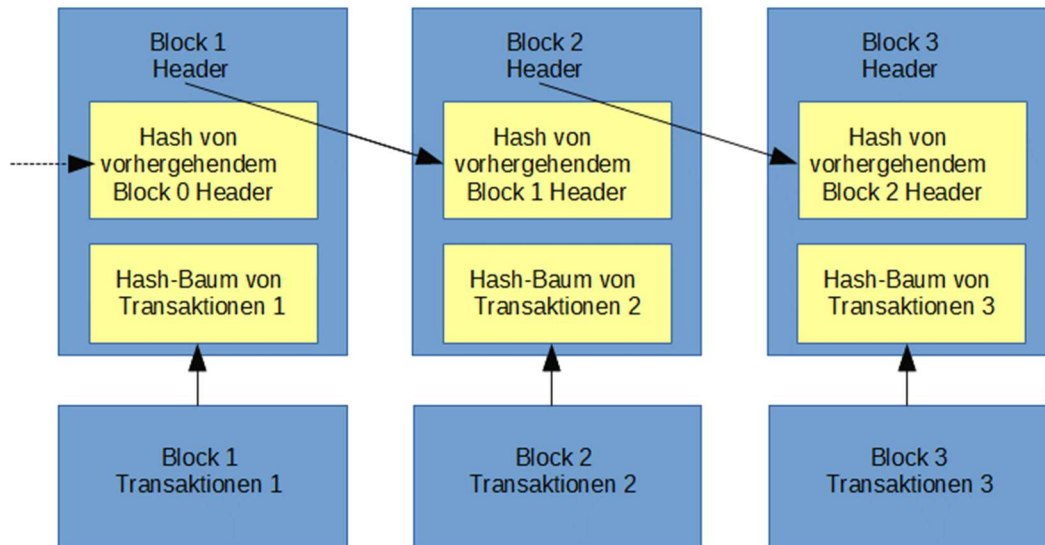


Abbildung 9: Funktionsweise der Blockchain (Wikimedia, 2016)

Zusammenfassend kann die Funktionsweise der Blockchain mit folgenden Punkte beschrieben werden:

- Neue Transaktionen werden an alle Knoten gesendet.
- Jeder Knoten sammelt die neuen Transaktionen zu einem Block.
- Jeder Knoten arbeitet daran, einen komplizierten proof-of-work für den neuen Block zu finden.
- Findet ein Knoten den proof-of-work, so wird der neue Block an die anderen Knoten des Systems gesendet.
- Die Knoten akzeptieren den Block nur, wenn alle Transaktionen gültig sind und keine Doppeltransaktionen vorkommen.
- Das Akzeptieren des neuen Blocks wird von den Knoten dadurch zum Ausdruck gebracht, indem sie beginnen, den nächsten Block in der Kette zu bilden und den Hash des akzeptierten Blocks in den Hash des neuen Blocks zu inkorporieren.

5.3 Sicherheit in der Blockchain

Wie in den vorigen Kapiteln zu sehen ist, bietet die Blockchain keinen zentralen Angriffspunkt. Um das System zu manipulieren, muss ein großer Anteil der Knoten gewonnen werden. Bei kleinen Netzwerken ist Manipulation demnach verhältnismäßig einfacher: je größer die Menge an Knoten im Netzwerk ist, desto schwieriger wird es, die Kontrolle über diese Anzahl an Rechnern zu gewinnen, bevor der nächste Vergleich des Hauptbuchs erfolgt. Diese Art des Angriffs auf das Netzwerk wird auch Sybil-Angriff, oder 51%-Angriff genannt, auch wenn theoretisch nur 50% + 1 Rechner gewonnen werden müssen. (Pavlus, 2018)

Sollte es doch einmal einem Fälscher gelingen, einen eigenen Block in Umlauf zu bringen, ist die Auswirkung dessen kaum merkbar. Das System ist so gebaut, dass es im Zweifelsfall immer den Block am Ende der längeren Kette bevorzugt. Die Fälschung eines Blocks genügt also nicht. Es müssen auch sämtliche Blocks in der Kette berechnet werden, um das System zu täuschen und falls das tatsächlich gelingt, muss diese Version der Blockchain auf mehr als 50% der Knoten verteilt sein, um das System zu täuschen. All dies muss passieren, bevor der nächste Block beglaubigt wird. Je größer das Netzwerk und je länger die Kette zurückreicht, desto schwieriger wird es, das System zu verfälschen. (Nakamoto, 2008)

Trotz aller Sicherheitsvorkehrungen in der Blockchain bieten sich dennoch Angriffspunkte. Mit einem sogenannten Man-in-the-Middle (MitM) Angriff kann eine Transaktion abgefangen werden. Die Informationen dieser Transaktion werden umgeschrieben, sodass die Überweisung im Account des Angreifers landet. (Rahav, 2018) Die Möglichkeit dieses Angriffes wurde erst vor kurzem festgestellt und ist nicht auf eine Schwäche der Blockchain selbst zurückzuführen. Der Angriffspunkt liegt an dem Schnittpunkt zwischen Blockchain und Nutzerprofil. Die Firmen, die Blockchain-Programme anbieten, haben darauf reagiert, indem der Nutzer vor jeder Überweisung noch einmal explizit sein Einverständnis erklären muss. (Sedgwick, 2018)

Das Problem des Datenschutzes taucht in einigen Konzeptionen der Blockchain auf. Dies liegt daran, dass die Blockchain von den Entwicklern so eingestellt werden kann, dass das verteilte Hauptbuch für alle Teilnehmer einsehbar ist. Dadurch ist es jedem Teilnehmer der Blockchain möglich herauszufinden, welche Transaktionen die anderen Teilnehmer durchgeführt haben. Eine Möglichkeit diesem Problem entgegenzuwirken, ist, Decknamen zu verwenden, was allerdings nicht davon abhält, Nutzerprofile aus den Transaktionen zu erstellen. (Hall, 2018)

Allerdings ist es auch möglich eine Blockchain so zu konzipieren, dass das Hauptbuch für niemanden mehr einzusehen ist, sobald der erste Block beglaubigt ist. Dadurch wird jede Möglichkeit, Nutzerprofile zu erstellen, zunichte gemacht. (Belin, 2017)

6 Kryptowährungen

6.1 Allgemeines

Kryptowährungen sind digitale (Quasi-)Währungen, die sich eines kryptographisch abgesicherten Zahlungssystems bedienen, um ihre Benutzer zu schützen. (Bendel, 2018)

Bei bisherigen Kryptowährungen handelt es sich um Fiat-Währungen. Bei diesen Währungen ist der Wert des jeweiligen Geldmittels nicht durch Wertbindung gewährleistet. Stattdessen einigen sich die Teilnehmer eines Währungsraums auf den Wert der Währung. Bei den bisherigen, nicht-digitalen Fiat-Währungen, wie dem Euro, erfolgt die Wertgarantie durch Finanzinstitute, die mit ihrem Namen dafür einstehen, dass der Kurs der Währung spontan einbricht oder ansteigt. Bei Kryptowährungen fallen diese zentralen Institute weg und die Teilnehmer müssen sich in einem unregulierten, dezentralen System auf einen Wert für die Währung einigen.

Bei Kryptowährungen handelt es sich um den vorläufig letzten Schritt des Versuches, Zahlungs- und Geldmittel von zentralen Institutionen unabhängig zu machen. Der erste derartige Versuch erfolgte bereits im Jahre 1983 unter dem Namen Digicash, entworfen von David Chaum. Für Chaum stand dabei im Vordergrund, eine Währung für das Internet zu schaffen. Wie das Internet selbst, sollte auch diese Währung unabhängig von lokalen Autoritäten sein. Allerdings war sie immer noch zentral kontrolliert. Aus diversen Gründen konnte sich Digicash allerdings nicht durchsetzen.

Allerdings wies es bereits einige wichtige Punkte auf, die auch für moderne Kryptowährungen noch von Bedeutung sind:

- Es ist außenstehenden Parteien nicht möglich, Zeitpunkt, Höhe der Überweisung und die Beteiligten einer Überweisung zu ermitteln.
- Die beteiligten Individuen sind unter besonderen Umständen in der Lage, die Überweisung zu bestätigen und die Identität der anderen Teilnehmer zu ermitteln.
- Die Möglichkeit, Zahlungen zu stoppen, die nachweislich gestohlen sind.

Der wichtigste Punkt, der Digicash von heutigen Kryptowährungen unterscheidet, ist die Dezentralisierung. (DeMartino, 2016)

Über die Jahre hinweg gab es mehrere Versuche, staatlich unabhängige Währungen von globaler Bedeutung zu schaffen, doch keine davon hatte über längere Zeit Bestand. Im Jahr 2008 erschien mit Bitcoin schließlich die bis heute erfolgreichste Kryptowährung. (DeMartino, 2016) Aus Gründen der Einfachheit werden in den nachfolgenden Absätzen die Prinzipien von Kryptowährungen anhand von Bitcoin erklärt. Eine spezifischere Darstellung einzelner Kryptowährungen folgt im Anschluss.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Währungen, die staatlich gefördert werden und durch Banken kontrolliert und gedeckt werden, ist Bitcoin von derartigen Institutionen völlig losgelöst. Dies bringt sowohl Vorteile, als auch Nachteile mit sich.

Der augenscheinlichste Nachteil ist, dass der Wert der Bitcoins nicht garantiert wird und nicht preislich an externe Güter wie Gold oder Erdöl gebunden ist. Nichts hält den Kurs der Bitcoins davon ab, ins Nichts zu fallen oder himmelwärts zu steigen. Beides sind Eigenschaften, die für Währungen nachteilig sind, da der Handel mit Gütern auf ein stabiles Zahlungsmittel angewiesen ist.

Der Zahlungsverkehr mit traditionellen Währungen ist auf Banken als Vermittler angewiesen. Wird eine Überweisung in Auftrag gegeben, so liegt es an der Bank, diese durchzuführen. Die Bank hat also komplette Kontrolle über den Zahlungsverkehr. Sie kennt die beteiligten Parteien und kann die Zahlung auch rückgängig machen. Da die Zahlung zentral von den Servern der Bank gesteuert wird, sind diese ein offensichtliches Ziel eines Angriffes, um Geld unautorisiert zu bewegen.

Dies sind Eigenschaften, die Bitcoin und andere Kryptowährungen nicht aufweisen. Durch die verwendete Blockchain-Technologie sind erhöhte Sicherheit als auch Irreversibilität gegeben. Was das Problem der Sicherheit angeht, so haben Kryptowährungen, wie auch alle blockchainbasierten Technologien, den Vorteil des verteilten Hauptbuchs (engl: distributed ledger). Dadurch gibt es keinen zentralen Angriffspunkt. Stattdessen ist das System nur durch einen 51%-Angriff (auch Sybil-Angriff) zu beeinträchtigen. Je mehr Rechner aber Teil an dem verteilten Hauptbuch haben, desto schwieriger wird die Umsetzung dieser Attacke. Nach der initialen Verteilung können Bitcoins auf zwei Weisen in Umlauf gebracht werden: Durch gewöhnlichen Handel, im Austausch für Informationen, Güter, etc. oder durch Mining. Bei Mining handelt es sich um das Verifizieren eines neuen Informationsblocks in der Blockchain. Die dazu notwendige Hash-Rechnung gilt als proof-of-work und wird mit Bitcoins belohnt. Die Menge an Bitcoins ist insgesamt auf etwa 23 Millionen begrenzt. (DeMartino, Kapitel 2, 2016) Andere Schätzungen nennen die maximal mögliche Anzahl der Bitcoins auf 21 Millionen. (Devoe, 2018) Der Grund für diese Abschätzung ist die Bitcoin-Halbierung. Um Inflation zu beschränken, die mit einer potentiell unendlich vorhandenen Währung einhergehen würde, wurde Bitcoin so konzipiert, dass die Belohnung für das schürfen neuer Blocks alle 210.000 Blöcke halbiert wird. Dies führt dazu, dass Mining finanziell immer unattraktiver wird. Zu Beginn wurden für jeden der errechneten neuen Blöcke 50 Bitcoins vergeben. Anschließend fiel diese Zahl auf 25 Bitcoins, dann auf 12,5 und wird so immer weiter fallen.

Die Blockchain ist die Grundlage aller Kryptowährungen und eine der wenigen Gemeinsamkeiten, die sie alle aufweisen. Die Website CoinMarketCap listet im Juni 2018 1.628 unterschiedliche Kryptowährungen auf. (CoinMarketCap, 2018) Die Liste wird von Bitcoin, Ethereum und Ripple angeführt und beinhaltet Kryptowährungen, die von ambitioniert zu skurril reichen. Es würde den Umfang

der vorliegenden Arbeit übersteigen, auf alle Kryptowährungen einzugehen. Daher sollen hier nur einige genannt werden, die entweder als Grundlage aller Währungen gesehen werden können oder aufgrund ihrer Wichtigkeit für Smart Contracts oder Energietransaktionen von Bedeutung sind.

6.2 Bitcoin

Bei Bitcoin handelt es sich um die erste aller Kryptowährungen. Sie erschien im Jänner des Jahres 2008 und ist bis heute die bekannteste. Ihre Funktionsweise ist sehr eng mit der Blockchain verbunden und wurde bereits in den obigen Absätzen erläutert. Wie die meisten Kryptowährungen ist Bitcoin dezentralisiert und über Nutzernamen anonymisiert. Im Moment erfreut sich Bitcoin großer Beliebtheit bei Spekulanten und Kryptowährungsenthusiasten. Durch die große Nachfrage schwankt der Kurs der Währung allerdings beträchtlich, was dazu führt, dass sie ihrer eigentlichen Funktion, als Tauschmittel für Waren, nicht nachkommen kann. Schließlich ist es im Handel wichtig, dass die verwendete Währung möglichst stabil bleibt. Die Kursschwankung von Bitcoin ist in Abbildung 10 zu sehen.

Ein anderes, möglicherweise zukunftsentscheidendes Problem Bitcoins ist der Energieverbrauch, der notwendig ist, um das System am Laufen zu halten. Wie bereits erwähnt ist das Schürfen nach neuen Bitcoins ein wesentlicher Aspekt des Systems, auf dem Bitcoin beruht. In den ersten Jahren von Bitcoin stellte dies kein Problem dar. Sogar auf Laptops und Heimrechnern konnte geschürft werden. Als jedoch der Kurs von Bitcoin zu steigen begann, startete ein Wettlauf im Schürfen. Immer leistungsfähigere Grafikkarten und Prozessoren kamen zum Einsatz um die Belohnung des Schürfens (damals 25, heute 12,5 Bitcoins) zu gewinnen. Heute ist es fast unmöglich, mit einem gewöhnlichen Computer Bitcoins zu schürfen. Mit dem Wettbewerb um Bitcoins stiegen gleichzeitig die Energiekosten, die mit der leistungsfähigeren Technik einhergingen. (Delahaye, 2018)

Wie hoch der Energieverbrauch des Schürfens ist, ist ein kontroverses Thema. Es gibt unterschiedliche Schätzungen. So stellt sich schon zu Beginn die Frage, ob bei der Berechnung nur der Stromverbrauch der Hardware, die tatsächlich zum Schürfen gebraucht wird, gezählt werden soll, oder ob auch sekundäre Kosten wie zum Beispiel die Kühlung mitgerechnet werden sollten. (Digiconomist, 2018)

Wird der Stromverbrauch des Schürfens nur über die notwendige Rechenleistung, nicht aber über Kühlung und die notwendige Netzwerktechnik berechnet, so erhält man für den Gesamtenergieverbrauch pro Jahr den Wert von 18,40 TWh/h (Stand Jänner 2018). (Bevand, 2017) Genauere Daten sind in Tabelle 3 gegeben. Um der Menge an Stromverbrauch durch Bitcoin etwas Substanz zu geben, sei angemerkt, dass die verbrauchte Gesamtstrommenge in Österreich im Jahr 2017 bei 71,100 GWh lag. (E-Control, 2018)

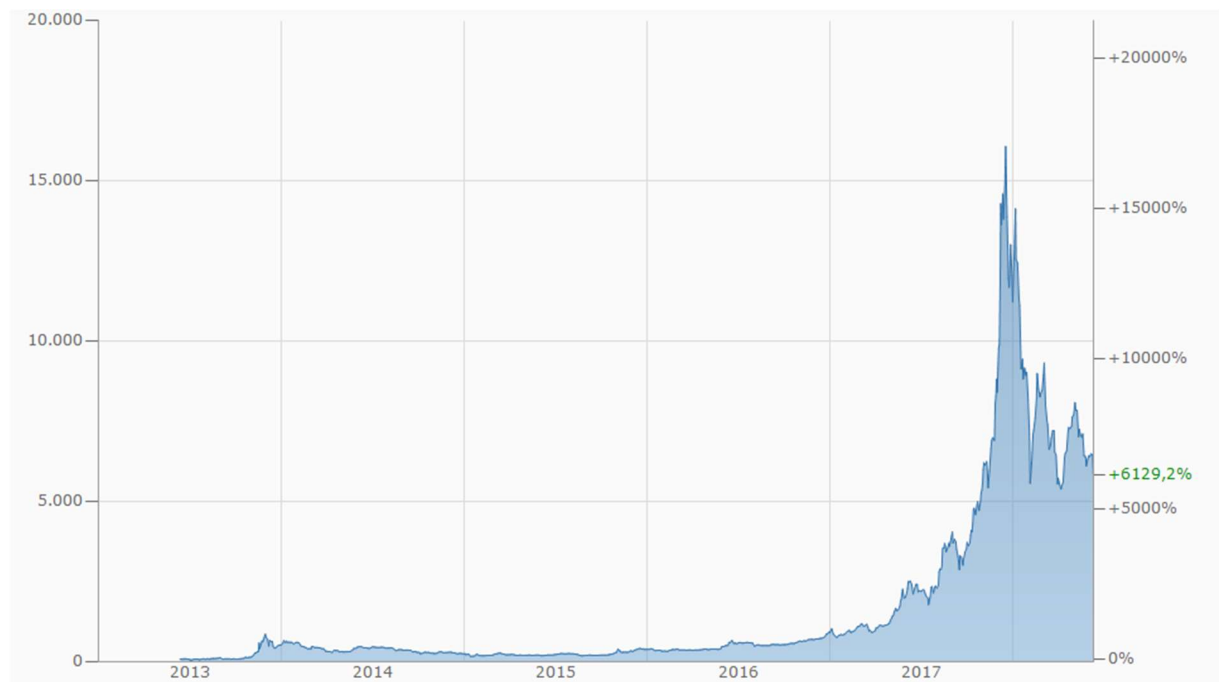


Abbildung 10: Wert der Bitcoin gegen den Wert des Euro (Finanzen.net, 2018)

Tabelle 3: Energieverbrauch, der durch das Schürfen von Bitcoins entsteht (Zorinaq, 2018)

	Untere Schätzung	Wahrscheinlichster Wert	Obere Schätzung
Elektrische Leistung (MW)	1620	2100	3136
Energieverbrauch (TWh/yr)	14,19	18,4	27,47
Anteil am weltweiten Elektrizitätsverbrauch	0,01295%	0,01678%	0,02506%

Eine Studie, die nicht nur den Energieverbrauch des Schürfvorgangs einbezieht, kommt auf einen jährlichen Verbrauch von 71,12 TWh/a. Mit dieser Schätzung geht eine CO₂-Bilanz von 34 851 kt/a einher. (Digiconomist, 2018) Der Verlauf des Energieverbrauchs für das Schürfen nach dieser Abschätzung ist in Abbildung 11 gegeben. Nach dieser Beurteilung ist die Energiebilanz von Bitcoin unvorteilhaft. Schätzungen zufolge benötigt eine einzige Überweisung 300 kWh, was äquivalent zu der Energiemenge ist, die aus 100 kg Kohle gewonnen werden kann, ist. (de Vries, 2018) (Delahaye, 2018) Legt man einen Strompreis von 20 Cent pro Kilowattstunde zugrunde entspricht das einem Preis von 60€.

Bitcoin Energy Consumption Index Chart

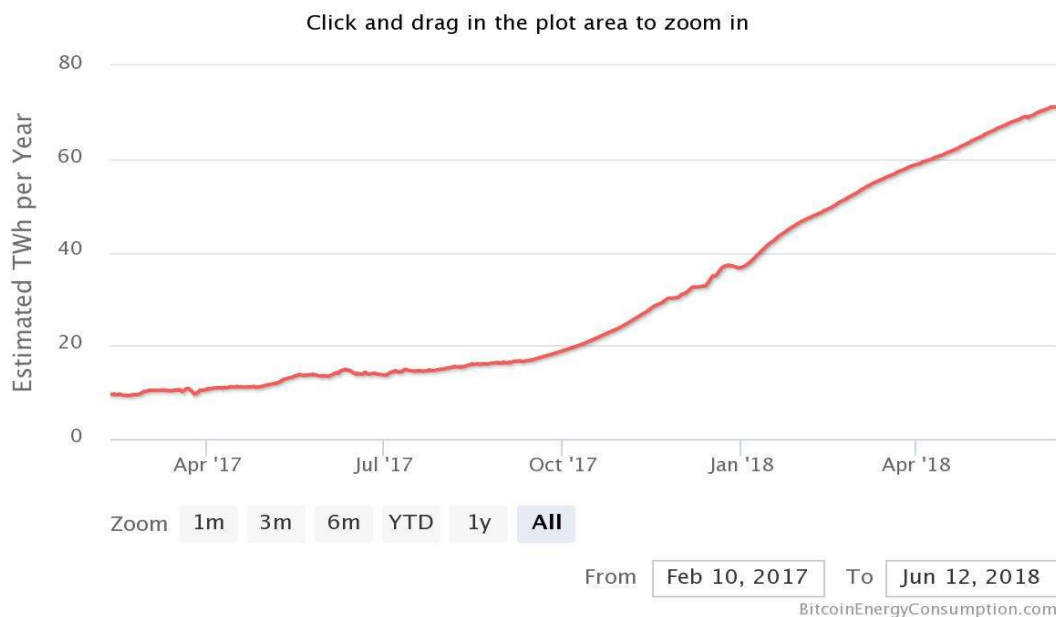


Abbildung 11: Darstellung des Energieverbrauchs zum Bitcoinschürfen unter Einberechnung von sekundären Energieverbrauchern wie Kühlung und Netzwerktechnologie (Digiconomist, 2018)

Neben der schlechten CO₂-Bilanz von Bitcoin gibt es noch andere Probleme mit dieser Währung. Ein Hindernis, mit dem Nutzer von Bitcoin zu kämpfen haben, ist, dass in einem klassischen Bitcoin-Block nur 2000 Transaktionen verarbeitet werden können. Dies entspricht 200 Transaktionen pro Minute. Vergleichsweise schafft der Kreditkartenbetreiber Visa 100 000 Transaktionen pro Minute.

Das Thema Transaktionen ist generell eine Schwäche des Bitcoin-Netzes. Da eine Transaktion nach dem ersten verifizierten Block, der sie enthält, nicht als bestätigt gilt, werden Transaktionen erst nach mehreren weiteren Blöcken als gültig angesehen und durchgeführt. Die Grenze der Validierung sind hierbei fünf Blöcke. Es dauert also 50 Minuten bis die Transaktion durchgeführt wird.

Diese beiden Probleme mit dem Vorgang der Transaktion führen dazu, dass zu Hochzeiten der Krypto-Spekulation Transfers bis zu einem Tag in Anspruch nehmen konnten. Vor allem bei einer Währung die so schnell und stark im Wert schwankt, ist dies ein gewaltiger Nachteil. (Seeger, 2018)

6.3 Ethereum

Auf den ersten Blick scheint Ethereum eine Kryptowährung von vielen zu sein. Allerdings baut diese Währung auf dem Prinzip des Bitcoins auf und erweitert es.

Neben der Kryptowährung, die den Namen Ether trägt, bietet Ethereum eine Plattform für Smart Contracts und verteilte Anwendungen. (Bajpai, 2018) Um Smart Contracts zu ermöglichen, kommt Ethereum zusammen mit einer Programmiersprache, die der Turing-Vollständigkeit genügt. Dies bedeutet, dass

mit dieser Sprache und ausreichend Ressourcen jede vorstellbare Anwendung programmiert werden kann. Man spricht von universeller Programmierbarkeit. (Wang, 2017) Durch diese mitgelieferte Sprache können Smart Contracts geschrieben werden, die Ether gegen Leistungen und Waren eintauschen, ohne dass eine dritte Partei wie ein Makler benötigt wird. (Xie, 2017)

Um das Problem mit der Länge der Transaktionen zu lösen, soll der Zeitraum, der für die Validierung eines Blocks notwendig ist, minimiert werden. Hierbei visiert Ethereum eine Abfertigungsgeschwindigkeit von 12 Sekunden an. (Buterin, 2014)

Die Vielseitigkeit von Ethereum zeigt sich auch in der Möglichkeit, Token innerhalb der Blockchain zu erzeugen. Diese Token fungieren innerhalb des Systems wie Gutscheine. Jeder Teilnehmer kann derartige Token erstellen, solange sie gewissen Regeln folgen, und diese an andere Teilnehmer verkaufen. Diese Token haben nur bestimmte, im Vorhinein festgelegte Funktionen. Ein Token kann immer nur gegen einen bestimmten Dienst eingetauscht werden und nur bei Teilnehmern, die diesem Austausch zugestimmt haben. Damit wird das Erstellen von Smart Contracts einfacher und sie werden innerhalb dieser Token-Umgebung universeller einsetzbar.

Das Erstellen von derartigen Token muss gewissen Richtlinien folgen. Zu Beginn ist es notwendig, eine Datenbank zu erstellen, in der sämtliche Transaktionen, die das Token beinhalten, vermerkt werden. Diese Datenbank kann so konzipiert werden, dass jeder darauf Zugriff hat, nur Besitzer des Tokens oder niemand. Anschließend werden sämtliche Token als, im Besitz des Erstellers, vermerkt. Von dem Ersteller können die Token nun gegen Ether gekauft werden.

Token sind in Ethereum durch das ERC20-Protokoll geregelt. Es legt die Grundlagen fest, denen Token genügen müssen, um den Markt nicht mit undurchsichtigen Tokensystemen zu überschütten. Die grundlegenden Voraussetzungen für ein neues Tokensystem sind:

Die Gesamtanzahl an Tokeneinheiten muss zu Beginn festgelegt werden. Es ist nicht möglich, mehr Token im Umlauf zu haben als hier festgelegt sind. Die Anzahl kann nach der ursprünglichen Festlegung nicht mehr verändert werden.

Der Kontostand der Token muss von Beginn an festgelegt und nachverfolgbar sein.

Die Token müssen von einem Teilnehmer zum anderen überweisbar sein.

Die Teilnehmer des Tokensystems müssen akzeptieren, das Token als monetären Ersatz zu verwenden.

Derartige Token werden von Power Ledger verwendet, um innerhalb seines Systems zu handeln. (Frumkin, 2018)

Zu Beginn von Ethereum war das Schürfen, wie bei Bitcoin, ebenfalls eine Notwendigkeit. Allerdings hat der Gründer von Ethereum, Vitalik Buterin, angekündigt, seine Erfindung von proof-of-work zu entfernen und stattdessen auf proof-of-stake umzustellen. Dadurch ist Ethereum nicht mehr vom Schürfen abhängig und auch die hohen Energiekosten, die dadurch entstehen, kommen nicht zum Tragen. Dies macht Ethereum zu einer ökologisch und ökonomisch besseren

Wahl für Firmen, die ihre Projekte mit Ethereum verwirklichen wollen. So hat sich beispielweise die Firma Power Ledger bei der Verwirklichung ihrer Blockchain für das System von Ethereum entschieden.

Bei proof-of-stake entfällt der Wettbewerb um das Bestätigen eines neuen Blocks. Anstatt sämtliche Bewerber um die Währung „kämpfen“ zu lassen erhält ein einzelner Teilnehmer des Netzwerks den Auftrag, den neuen Block zu bestätigen. Die Auswahl des Teilnehmers erfolgt zufällig und ist an den Besitz der jeweiligen Kryptowährung gebunden. Erst wenn sich ein bestimmter Anteil am Gesamtvermögen der Währung im Besitz eines Teilnehmers befindet, kommt dieser in Betracht, um den neuen Block zu validieren. (Kaltofen, 2017) Wurde diese Aufgabe ausgeführt, kommt der Teilnehmer für die nächsten 30 Tage nicht mehr in Betracht um einen Block zu bestätigen. Allerdings muss ein neuer Block innerhalb von 90 Tage von diesem Teilnehmer bestätigt werden. Um das System nicht zugunsten der reicheren Teilnehmer zu kippen, ist es irrelevant, wie groß der persönliche Besitz ist, solange er überhalb des Schwellbetrags liegt. Der Grund, dass persönlicher Besitz der entsprechenden Währung notwendig ist, um neue Blöcke abzufertigen, liegt darin, dass die Teilnehmer mit ihrem Besitz für die Richtigkeit des bestätigten Blocks einstehen. Wird ein gefälschter Block validiert, so verlieren sie ihren Besitz und werden in Zukunft vom Prozess ausgeschlossen. Anstatt mit neuen Währungseinheiten belohnt zu werden, erhalten die Teilnehmer Transaktionsgebühren für ihre geleistete Arbeit. (Shaan, 2017)

6.4 Litecoin

Auch diese Währung ist Bitcoin sehr ähnlich, erstellt aber Blöcke alle 150 Sekunden und ist damit um ein Vielfaches schneller als Bitcoin. Dadurch können insgesamt 84 Millionen Einheiten geschürft werden. Durch einen simpleren Algorithmus ist das Schürfen nicht so aufwendig wie bei Bitcoin und es werden weniger Ressourcen gebraucht. (Kellhofer, 2017)

6.5 Solarcoin

Schon der Name dieser Währung weist auf deren Zweck hin. Hierbei handelt es sich um eine Währung die nicht auf herkömmliche Weise geschürft werden kann. Statt kostspielige Kryptographieaufgaben zu lösen um einen Hash zu errechnen wird diese Währung durch die Produktion von Strom mittels einer PV-Anlage geschürft. In dieser Währung ist eine Solarcoin eine Kilowattstunde wert. Jeder Besitzer einer Solaranlage kann sich registrieren und das Schürfen beginnen. Die Anzahl an Solarcoins, die so geschürft werden kann, beträgt 97,5 Milliarden, was 97.500 Terrawattstunden entspricht. (Gallico, 2017)

7 Realisierte Smart Grids

Im folgenden Kapitel werden drei Smart Grids, die bereits existieren, vorgestellt. Außerdem wird die jeweilige Funktion beschrieben und mit den zuvor aufgelisteten Voraussetzungen abgeglichen. Zum Schluss werden die verschiedenen Systeme miteinander verglichen.

7.1 Brooklyn Microgrid

Das Brooklyn Microgrid ist einer der prominentesten Vertreter der neuen Energietechnologie. Wie der Name impliziert, wurde es in Brooklyn, einem südöstlichen Stadtteil New York Citys, erbaut. Es verbindet Teilnehmer von drei unterschiedlichen Netzen. Die genaue Lage des Microgrids ist in Abbildung 12 zu finden. Die drei Netze, über die sich das Microgrid erstreckt, sind Borough Hall (rot), Park Slope (grün) und Bay Ridge (purpur). (Mengelkamp, et al., 2017) Der Erbauer dieses Netzes ist die Firma Exergy, bei der es sich um eine Untergruppe von LO3 Energy handelt. Neben der Firma ist Exergy auch der Name des Systems, das die dezentrale Verteilung von Energie möglich machen soll.

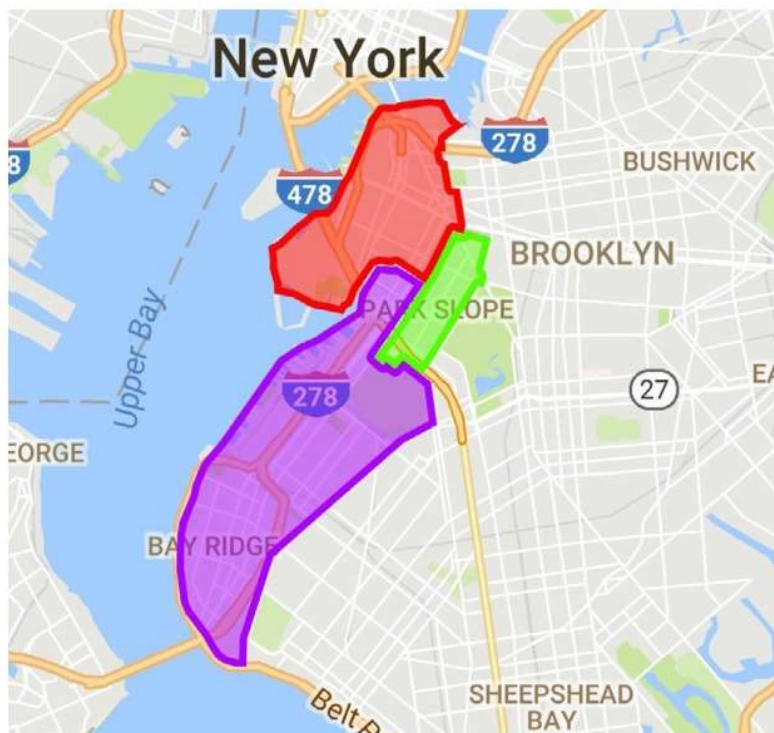


Abbildung 12: Geographische Ausmaße des Brooklyn Microgrids, unterteilt in die drei Verteilungsnetze (Mengelkamp, et al., 2017)

In ihrem Business-Whitepaper sieht sich Exergy als die Lösung für ein Problem, das der gesamten Stromproduktionsindustrie innewohnt. Dieses Problem ist zweifacher Natur. Zum einen ist Stromerzeugung sehr verschwenderisch und weist in einigen Fällen 86% Ineffizienz auf. Dies ist gekoppelt mit der Verschwendung natürlicher Ressourcen. In Zeiten des Klimawandels gilt es, diese zu schonen und so sparsam und effizient wie möglich umzuwandeln. Zum anderen ist das System, das diese verschwenderische, zentrale Erzeugung von Energie unterstützt, nicht darauf ausgelegt, im besten Interesse der Verbraucher zu handeln. Dadurch, dass der Preis pro kWh reguliert wird und die Verbraucher auf diesen Preis keinen Einfluss haben sehen die Erzeuger die Regulatoren als Kunden und nicht die Verbraucher. Durch das undifferenzierte Ausstoßen von Energie durch die Kraftwerke muss der Preis reguliert werden um es den Erzeugern zu ermöglichen, Gewinn zu machen. Laut Exergy liegt dieser Gewinn bei etwa 10% des ihrerseits investierten Kapitals. Diese Funktionsweise des Systems benachteiligt Exergy zufolge die Verbraucher, da nicht auf ihre Wünsche und Bedürfnisse eingegangen werden kann. Außerdem hat dieser starre Ablauf die Wirkung, dass Innovation nicht möglich ist und das System erstarrt.

Diesen Problemen möchte Exergy entgegenwirken, indem es durch das Microgrid auf die Wünsche und Bedürfnisse der Konsumenten eingeht und Energie nur dann in das Netz einspeist, wenn diese auch benötigt wird. Dabei soll das Brooklyn Microgrid eine Vorreiterrolle einnehmen, bei dem in einer kleinen Gemeinschaft Daten gesammelt werden, die anschließend verwendet werden können, um weitere Microgrids weltweit aufzubauen. (Exergy, 2017)

Laut Exergy ist nun der beste Zeitpunkt, um Lösungen für diese Probleme zu finden. Durch das Aufkommen von Big Data und Smarttechnologie ist es nun möglich, den Strommarkt zu dezentralisieren und die Kontrolle an die Prosumer zu übergeben. Vorbilder sind dabei Amazons on-demand-shopping und der Transportservice Uber. Als wichtigstes Gut werden hierbei nicht mehr Fossile Brennstoffe gesehen, sondern die Daten, die mit dem produzierten Strom geliefert werden. Zu diesen Daten gehören neben den kWh auch der Zustand des Netzes und Zeit und Ort der Produktion der Energie.

Der Strommarkt, wie ihn Exergy sich vorstellt und wie er jetzt besteht, unterscheidet sich in mehreren Punkten. Diese sind in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4: Vergleich von traditionellem System und dem auf Exergys Vorstellung basierendem neuem System, nach Exergy (Exergy, 2017)

Heutige Marktannahmen	Exergys Energiemarkt
Konsumenten haben keinen Referenzrahmen was kWh anbelangt. Es handelt sich um eine abstrakte Größe ohne intrinsischen Wert.	Neue Erwartungen und Anforderungen an lokale, umweltfreundliche Produktion.
Der Fokus des Systems liegt darin, das Netz vom Zentrum und dem Versorger aus zu steuern.	Netzprobleme entstehen zumeist an den Rändern, nicht im Zentrum, was diese Probleme schwer und teuer zu lösen macht.
Die Kosten zum Ausbau und zum Erhalt der Netzinfrastruktur werden von den Konsumenten durch breite und nicht spezifische Preismechanismen.	Traditionelle, zentrale Energieerzeugung kann mit den Kosten billiger erneuerbarer Energien nicht mithalten.
Ausbau der Erzeugungskapazitäten und der Netz Infrastruktur sind die einzigen Möglichkeiten um verteilte Energieressourcen zu verteilen.	Durch verbesserte, gezieltere Nutzung des Netzes verringern sich die Kosten für die Konsumenten.
Zeit und Ort der Produktion und des Konsums spielen nur eine geringe Rolle.	Zeit und Ort, zusammen mit anderen Daten, spielen eine große Rolle und haben signifikanten Wert.
Wenige zentrale Knoten und geringer Datengewinn.	Big Data und Millionen von smarten Geräten existieren innerhalb des Netzes.

Konkret stellt sich Exergy ein verteiltes Hauptbuch vor, das für die gesamte, über das Netz verbundene, Hardware ein Token-System einführt, durch das Energie gehandelt werden kann. Bei diesem Token handelt es sich um ein sogenanntes XRG-Token. Dieses Token funktioniert auf der Basis der Blockchain und hat die Funktionsweise einer Kryptowährung. Die Bezeichnung XRG weist auf den Ersteller dieser Währung, Exergy, hin, da es sich dabei um eine ähnlich ausgesprochene Abkürzung handelt. Im Zuge der Token-Erzeugung und Verwaltung erzeugt, kontrolliert und sichert Exergy die Daten, die notwendig sind, um den Strompreis festzulegen. Für den Handel innerhalb des Systems wird XRG allerdings nicht verwendet. Dazu wird auf eine Fiat-Währung zurückgegriffen. XRG dient lediglich dazu, die Fiat-Währung in andere Währungen umzuwandeln. Neben einer klaren, nachvollziehbaren Berechnung des Strompreises verspricht sich Exergy folgende Vorteile:

- Effizienter und adaptiver Marktpreis
- Verbesserung der Verlässlichkeit und der Flexibilität des Systems
- Weg für technologische Innovation
- Datengewinn, um zusätzliche primäre und sekundäre Märkte zu entwickeln

- Verbesserte Balance von Risiken und Belohnungen für Besitzer von, ans Netz angeschlossenen, Geräten
- Eine reiche, interaktive Zukunft für eine Stromindustrie, die informierten Gruppen von Konsumenten dient

Die den Teilnehmern durch Exergy zur Verfügung gestellten Dienste sind eine App, ein Informationssystem und die Hardware.

Die App dient dazu, persönliche Präferenzen der Benutzer einzustellen und um eine einfache Bedienbarkeit zu garantieren. Der Status des Benutzers kann jederzeit von Konsumenten auf Prosumer umgeändert werden. Dazu müssen die hinzugekommenen Geräte wie PV-Anlagen in der App registriert werden, sodass ihre Daten gewonnen werden können.

Bei dem Informationssystem handelt es sich um ein verteiltes Hauptbuch, wie es in dem vorhergehenden Blockchainkapitel erklärt wurde. Dieses Hauptbuch garantiert eine faire und sichere Handhabung der Strompreise und der abgeschlossenen Transaktionen. Des Weiteren dienen die in dem Hauptbuch aufgezeichneten Daten dazu, den Markt zu analysieren um Informationen über das Verhalten der Konsumenten, Hardware-Performance und Unzulänglichkeiten im System zu erhalten. Die Knoten der Blockchain sind in diesem Falle nicht die Computer der einzelnen Konsumenten und Prosumer, diese regeln ihre Angelegenheiten größtenteils über die App. Stattdessen werden private Server von Exergy verwendet. Die Funktion der Knoten ist zweigeteilt. Einige Knoten sind dafür verantwortlich, den Stromfluss im Netz zu kontrollieren und zu validieren während andere den Markt kontrollieren und Überweisungen verifizieren. Es gibt keine Überschneidung zwischen diesen beiden Funktionen.

Bei der Hardware, die zur Verfügung gestellt wird, handelt es sich um die Knoten der Blockchain. Dabei handelt es sich um TAGe, einem von LO3 Energy entwickeltem IoT (Internet of Things) Gerät, auf dem die Kontrollsoftware läuft. Zusätzlich zu TAGe werden noch Geräte von dritten Parteien angeworben um als Knoten zu dienen.

Auch wenn das Exergy-System beim Brooklyn Microgrid zum ersten Mal zur Anwendung gekommen ist, spricht man bei Exergy nicht von einem Prototyp. Stattdessen wird das System als voll funktionsfähig und in der Lage, an einem globalen Wettstreit teilzunehmen, gesehen. Tatsächlich gibt es bereits Pläne von LO3-Energy ein, dem Brooklyn Microgrid ähnliches Projekt, in Australien zu beginnen. (Wood, 2016)

Exergy möchte die entwickelte Technik in vier Fällen, von denen zwei für diese Arbeit von Interesse sind, zum Einsatz bringen:

Peer-to-Peer Energie:

Dieses System ist im Moment beim Brooklyn Microgrid in Verwendung. Das Ziel Exergys ist es, dieses System weltweit umzusetzen. So könnten Exergy zufolge alleine in Deutschland 5 Milliarden Euro eingespart werden, wenn auf dieses System umgestiegen wird.

Bei diesem System stehen die Teilnehmer direkt miteinander in Kontakt und reagieren auf die Bedürfnisse des jeweils anderen über Smart-Contracts. Es benötigt keine weiteren Teilnehmer neben Prosumer und Konsumenten. Die Prosumer benötigen zusätzlich zu dem energieerzeugenden Gerät (z.B. PV-Anlage) noch ein Messgerät, ähnlich einem Smartmeter, das die produzierte Energie misst. Dieses Messgerät wird von Exergy zur Verfügung gestellt, muss allerdings vom Prosumer bezahlt werden. Die Rollen der einzelnen Marktteilnehmer sind in Tabelle 5 zu sehen, während in Abbildung 13 eine das Peer-to-Peer Modell nach Exergy dargestellt ist.

Tabelle 5: Rollen der einzelnen Marktteilnehmer im Peer-to-Peer System nach Exergy

Teilnehmer	XRG Verwendung	Fiat Handel	Ansporn
Prosumer	Speichert XRG auf Hardware um Profit von seinen registrierten Produktionseinheiten zu erhalten.	Verkauft Strom und erhält Fiat-Währung dafür.	Finanzieller Gewinn durch den Verkauf von Energie.
Konsument	Speichert XRG auf einem Konto auf der App um am Markt teilzuhaben. Es ist keine kompatible Produktionseinheit erforderlich.	Zahlt für Elektrizität.	Durch den Kauf von lokaler Energie können die Netzkosten verkleinert werden.

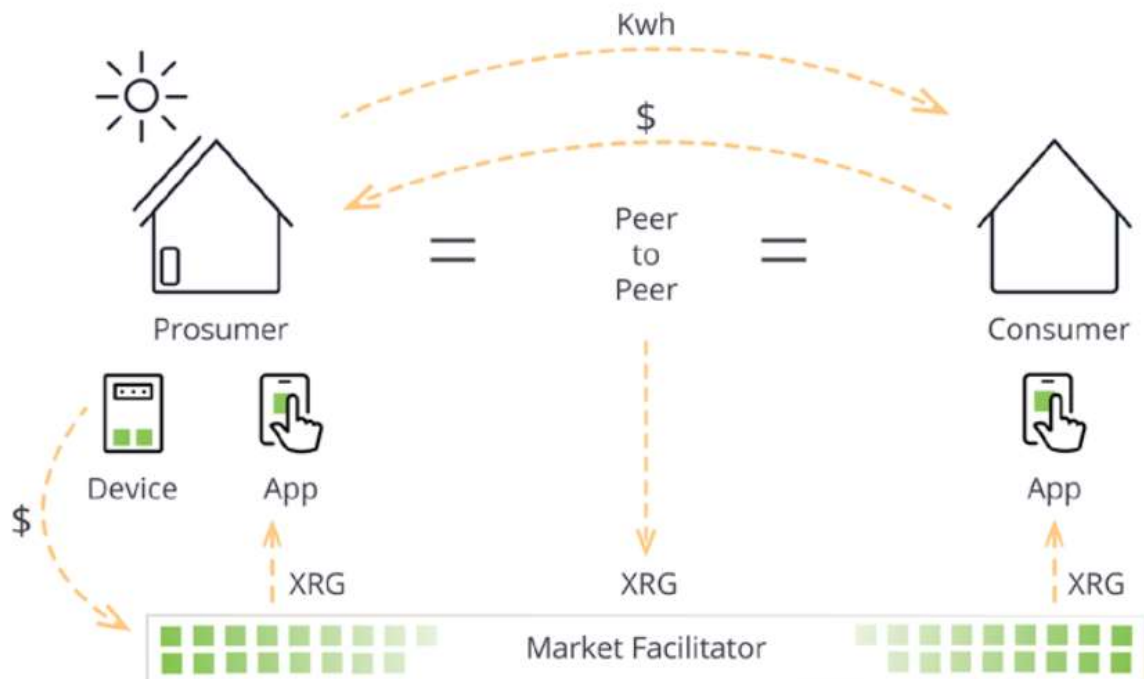


Abbildung 13: Darstellung des Peer-to-Peer Markts nach Exergy (Exergy, 2017)

Microgrid:

Dieser Fall ist der Peer-to-Peer Verwendung ähnlich. Allerdings unterscheidet er sich in einem wesentlichen Punkt: Die Mitglieder des Microgrids stehen nicht direkt miteinander in Kontakt. Im Gegensatz zu dem Peer-to-Peer Modell, in dem es ein einziges Verteilungsnetz gibt, gibt es in diesem Fall zwei voneinander getrennte Microgrids und ein Verteilungsnetz, an das beide angeschlossen sind. Ein Netz-Operator kann die einzelnen Netze öffnen und einen Fluss zwischen diesen herstellen.

Wie zu sehen ist, gibt es in diesem System mehr Teilnehmer als Prosumer und Konsumenten. Neben dem Distributionsnetz-Operator ist hier auch ein Microgridbetreiber notwendig, der die Netzinfrastruktur zur Verfügung stellt und aufrecht hält. Eine Darstellung der einzelnen Teilnehmer des Microgrids ist in Tabelle 6 zu finden.

Tabelle 6: Darstellung der Rollen in einem Microgrid nach Exergy

Teilnehmer	CRG Verwendung	Fiat Handel	Ansporn
Prosumer	Speichert XRG auf Hardware um Profit von seinen registrierten Produktionseinheiten zu erhalten.	Kauft und verkauft Strom mittels XRG.	Finanzieller Gewinn durch den Verkauf von Energie.
Konsument	Speichert XRG auf einem Konto auf der App um am Markt teilzuhaben. Es ist keine kompatible Produktionseinheit erforderlich.	Zahlt für Elektrizität.	Durch den Kauf von lokaler Energie können die Netzkosten verkleinert werden.
Distribution System Operator (DSO)	Speichert XRG um den Service des elektrischen Transports im Markt zu verkaufen.	Verwendet um für Micro-Controller Hardware zu zahlen.	Wird bezahlt für den Transfer von Elektrizität zwischen den Microgrids und dem Distributionsnetzwerk.
Microgrid Service Provider	Speichert XRG um die Regeln des Marktes (zwischen den Microgrids) festzulegen.	Wird bezahlt um Übereinkünfte zwischen Prosumer und Konsument zu schließen.	Ermöglicht lokale, erwerbliche zusätzliche Angebote.

Distribution System Operator Use Case:

Hierbei handelt es sich um ein System das speziell auf den Betreiber des Netzes ausgelegt ist. Konkret handelt es sich um den Verkauf von Benutzerdaten. Der Netzbetreiber kann den Mitgliedern des Netzes einen Betrag in Form von XRG-Token Zahlen, im Gegenzug wird ihm erlaubt Nutzungsdaten zu sammeln. Dadurch ist dem Netzbetreiber möglich genauer auf das Verhalten der Teilnehmer einzugehen. Für fortlaufende Datenaufnahme wird den Teilnehmern ein Betrag in Form von Fiat-Währung überwiesen.

Electric Vehicle Smart Charging:

Das Aufladen von elektrischen Fahrzeugen, die durch in der Gemeinschaft verteilte Ladesäulen, versorgt werden können. (Exergy, 2017)

Wie bereits erwähnt sind die Teilnehmer des Brooklyn Microgrid auf drei unterschiedliche Netze verteilt (siehe Abbildung 12). Dies bringt einige Probleme mit sich, da die vorhandene Technik nicht auf dem neusten Stand und dadurch sehr anfällig für wetterverursachte Störungen ist. Außerdem kämpft das Grid

bereits jetzt damit die wachsende Menge an erzeugter erneuerbarer Energie (größtenteils von lokalen PV-Anlagen) unterzubringen und das System kommt nach und nach an seine Limits. Besonders der Borough Hall Teil des Microgrids ist davon betroffen und regelmäßig überlastet. Um diesen Problemen entgegenzuwirken hat Exergy zwei Schritte unternommen:

Virtueller Energiemarkt: Diese Plattform stellt die technische Infrastruktur des lokalen Energiemarkts zur Verfügung. Es basiert auf einer privaten Blockchain, entwickelt von der Firma Tendermint. Teil dieser TransActive Blockchain ist das TransActive Grid Smartmeter. Dieses Smartmeter wird parallel zu einem analogen Stromzähler verwendet. Dadurch können die Messungen des Smartmeters in der Anfangsphase des Projekts überprüft werden.

Physisches Microgrid: Dieses elektrische Mikrogrid wird zusätzlich zu den bereits existierenden Verteilungsnetzen in der Umgebung errichtet. Dieses Microgrid fungiert als Rückfallsystem falls eines der primären Verteilungsnetze ausfallen sollte. Einrichtungen von besonderer Bedeutung (wie Krankenhäuser) erhalten Strom in fixierten Raten. Residenten und Geschäfte müssen für den verbleibenden Strom bieten. Im Juni 2017 umfasste das physische Microgrid 10x10 Blocks. (Mengelkamp, et al., 2017)

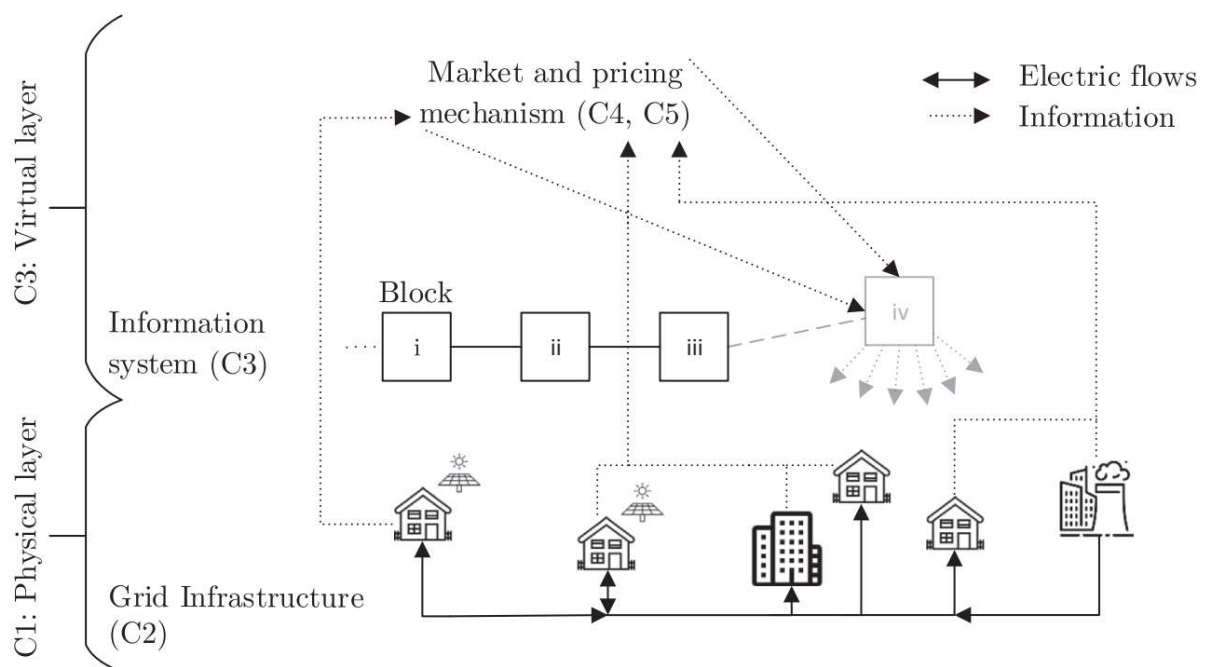


Abbildung 14: Darstellung der beiden Komponenten des Brooklyn Microgrids (Mengelkamp, et al., 2017)

Abbildung 14 zeigt die beiden Komponenten des Brooklyn Microgrids, die physische Komponente (C1) und die virtuelle Komponente (C3). Bei der physischen Komponente ist darauf hinzuweisen, dass größtenteils auf die bereits vorhandenen Netze der Firma Con Edison, Inc zurückgegriffen wird. Nur in Notfällen entkoppelt

sich das Microgrid von dieser Infrastruktur. Wenn dies passiert, können nicht alle Teilnehmer des Grids mit Energie versorgt werden, da sich der virtuelle Teil des Grids weiter ausdehnt als der physische. Sollte es zu einem Stromausfall in den traditionellen Verteilnetzen kommen, so können nur diejenigen Teilnehmer, die direkt an das physische Microgrid angeschlossen sind, weiterhin versorgt werden.

Während über den physischen Teil des Microgrids der Strom transportiert wird, werden die Informationen, die notwendig sind, um das System am Laufen zu halten, über den virtuellen Teil gehandelt. Details über Verbrauch und Erzeugung der Teilnehmer wird direkt von deren Smartmeter an ihr Blockchain-Konto gesendet. Nach diesen Daten werden An- und Verkaufsbestellungen nach den Marktregeln erstellt (C4). Sobald der Handel abgeschlossen ist, wird er Teil des nächsten Blocks und so beglaubigt. Das Zeitintervall zur Erstellung neuer Blöcke liegt bei 15 Minuten. Der Preis des Stroms ist von momentanem Verbrauch und Erzeugung abhängig und wird auf der App in Echtzeit angezeigt.

Jeder Prosumer und Konsument, der bereit ist Strom zu handeln, sendet einen Kauf- oder Verkauf-Befehl an den Markt. Jede derartige Bestellung muss eine Quantität und einen Preis beinhalten. Alle 15 Minuten wird eine Doppelauktion abgehalten, in denen die Angebote von Konsumenten und Prosumern abgeglichen werden. Jeder Konsument muss einen Maximalbetrag für die, von ihm geforderte, Strommenge angeben und jeder Prosumer muss einen Mindestbetrag für die, von ihm zur Verfügung gestellte, Strommenge angeben. Diese Angaben werden verglichen. Jeder Konsument, der über den Mindestbetrag des Prosumers geboten hat, wird in Erwägung gezogen. Vorzug haben diejenigen Konsumenten, die den höchsten Maximalbetrag angegeben haben. Ist die Anforderung des Konsumenten mit dem höchsten Maximalbetrag erfüllt, so wird der Strom an den Bieter mit dem nächsthöheren Maximalbetrag verkauft, bis die Strommenge des Prosumers aufgebraucht ist. Konsumenten, die auf diese Art und Weise nicht genug Strom ersteigern können, werden mittels zusätzlicher „brauner“ Energie versorgt, die aus dem traditionellen Stromwerk bezogen wird.

Es gibt keine Garantie, dass der ersteigerte Strom auch bei dem Käufer ankommt. Im Grunde zahlt der Konsument den Prosumer dafür, Strom in das Microgrid einzuspeisen. Da es keinen Weg gibt, den produzierten Strom nachzuverfolgen oder direkt zu dem Käufer zu bringen, haben auch andere Teilnehmer des Microgrids Zugriff darauf. Der benötigte Strom kann also auch aus dem traditionellen Netz kommen. Trotzdem wird durch diesen Zahlungsmechanismus die Menge an grüner Energie im Netz erhöht. (Mengelkamp, et al., 2017)

Nach der Erklärung der Funktionsweise des Brooklyn-Monogrids kann es auf die sieben Punkte, die in dem Kapitel über Smartgrids erläutert wurden, geprüft werden um zu sehen, inwiefern es den Vorgaben an einen Microgrid-Markt entspricht.

Der virtuelle Microgrid-Markt liegt über dem physischen Grid und zielt darauf ab, die Zuverlässigkeit der Energieversorgung zu erhöhen, indem Strom aus erneuerbaren Quellen in das Netz integriert wird. Durch die Lokalität, die mit dem Microgrid einhergeht, gibt es den Teilnehmern die Möglichkeit, die

Energieversorgung in die eigene Hand zu nehmen. Teilnehmer sind sowohl Prosumer als auch Konsumenten. Die Verbindung der virtuellen Komponente des Grids und dem physischen Netz erfolgt über Informationseinheiten (TransActive Grid Meter), die Daten über Verbrauch und Erzeugung sammeln und an die Blockchain weiterleiten.

Das physische Microgrid des Brooklyn Microgrids ist mit dem traditionellen Netz verbunden um den Fall einer Unter- oder Übergeneration an elektrischer Energie zu kompensieren. Es ist möglich, die physische Komponente von dem traditionellen Netz zu trennen, sollte es die Situation erfordern. Da das physische Microgrid nicht alle Marktteilnehmer miteinander verbindet, kann ohne das traditionelle Netz nicht garantiert werden, dass jeder Teilnehmer mit Strom versorgt wird.

Der Markt-Mechanismus wird durch das private TransActive Grid Blockchain Protokoll implementiert. Die Sicherheit wird dabei durch den Blockchainmechanismus gewährleistet. Durch die Messung von momentaner Nachfrage und momentanem Angebot und das Überwachen des Markts werden die Preise verfolgt und in Echtzeit angezeigt. Diese Preise sind für die Marktteilnehmer über die App leicht einsehbar. Handel wird größtenteils über das EMTS durchgeführt, allerdings ist es Teilnehmern wiederum möglich, über die App Präferenzen für den Einkauf festzulegen, beispielweise bevorzugte Energiequelle oder das maximale Preislimit.

Der Preis wird durch die zuvor beschriebene Doppelauktion festgelegt. Die finanzielle Transaktion wird zwischen den einzelnen Marktteilnehmern ausgeführt und in einem pay-as-you-bid Bestellbuch verzeichnet. Der Markt-Mechanismus wird analysiert und ausgewertet, um seine Effizienz festzulegen. Der derzeitige Mechanismus ist noch nicht definitiver Teil des Brooklyn Microgrids. Erst nachdem er einige Tests bestanden hat, wird er komplett implementiert. Sollte er sich als nicht effizient genug herausstellen, wird er ersetzt. Die Transaktion erfolgt über die virtuelle Komponente des Microgrids.

Die gesetzliche Lage für lokalen peer-to-peer Handel ist in dem Gebiet, in dem sich das Brooklyn Microgrid befindet, noch nicht geklärt und es gibt keine Regulationen und Vorschriften. Das Brooklyn Microgrid arbeitet mit den Behörden zusammen um derartige Regulationen zu schaffen und in Folge als Energieversorger lizenziert zu werden.

Neben der Förderung von erneuerbaren, lokalen Energien schafft das Brooklyn Microgrid auch neue Arbeitsplätze innerhalb der Gemeinschaft, da die Nachfrage nach erneuerbaren Energiesystemen steigt. Außerdem ist es notwendig, das Grid zu warten und zu überwachen. Dies hat zur Nebenwirkung, dass auch die Wirtschaft im Gebiet des Microgrids gefördert wird.

Ergebnis des Vergleichs ist, dass Punkte 1, 2 und 3 erfüllt sind. Das Brooklyn Microgrid trägt zur Sicherung der lokalen Energieversorgung bei und stärkt die Integration lokaler erneuerbarer Energien. Das traditionelle Netz hilft dabei, Angebot und Nachfrage auszubalancieren. In Extremfällen kann das Microgrid von dem Netz getrennt werden und im Inselmodus betrieben werden. Um die Sicherheit

und die Flexibilität weiter zu erhöhen wäre es hilfreich, Speicher in das System zu integrieren. Die kryptographische Plattform TransActive Grid sorgt für die Sicherheit des Informationssystems.

Die Punkte 4, 5 und 6 sind dagegen nur teilweise implementiert. Zwar gibt es einen Doppelauktions-Marktmechanismus und eine Möglichkeit zur Preisregulation, allerdings befinden sich diese Mechanismen noch in der Testphase. Gleiches gilt für das EMTS, das noch verbessert werden sollte, sodass Kunden beispielsweise spezifische Risikotoleranzen angeben können und andere spezifische Vorlieben angeben können. Während diese Mechanismen also bereits vorhanden sind, ist es noch fraglich, ob diese auch in ihrer jetzigen Form übernommen werden.

Punkt 7, gesetzliche Regulationen, sind noch nicht vorhanden. Dies liegt an dem Vorreiter-Status, den das Brooklyn Microgrid innehat. Zwar werden diese Regulationen im Moment entwickelt, allerdings sind sie noch in keiner Weise implementiert.

Das Brooklyn Microgrid scheint zu zeigen, dass es möglich ist einen blockchainbasierten Energiemarkt mit Kryptowährungen aufzubauen. Allerdings sollten keine voreiligen Schlüsse gezogen werden, da sich das Projekt noch in einer sehr frühen Phase befindet. Zwar wurden einige Punkte identifiziert, die notwendig sind, um einen derartigen Energiemarkt aufzubauen, allerdings machen fehlende Gesetze und Regulationen es in den meisten Ländern nicht möglich, einen derartigen Energiemarkt einzuführen.

7.2 Power Ledger

Power Ledger ist eine Firma mit Sitz in Australien. Das Unternehmen sieht sich selbst als einen Weg, um den Energiemarkt zu erneuern, indem Privatpersonen stärker in den Stromhandel einbezogen werden und Strom aus erneuerbaren Quellen zu fördern. Der Weg, das zu erreichen, ist den Plänen des Brooklyn Microgrids nicht unähnlich. Es soll ein dezentraler Energiemarkt eingerichtet werden, in dem die Teilnehmer Energie untereinander gegen eine Kryptowährung austauschen. Allerdings unterscheidet sich das System Power Ledgers in einem Punkt beträchtlich von anderen Anbietern: Es stellt keine eigenständige, physische Infrastruktur zur Verfügung, über die Energie übertragen werden kann. (Power Ledger, 2018) Stattdessen müssen potentielle Netzbetreiber, die einen virtuellen Marktplatz benötigen, mit Power Ledger Kontakt aufnehmen, damit ihnen diese virtuelle Infrastruktur zur Verfügung gestellt wird. Das physische Grid muss also bereits vorhanden sein.

Dass diese Methode durchaus realisierbar ist, zeigt die Tatsache, dass bereits 15 Microgrids das System von Power Ledger verwenden. Diese 15 Grids befinden sich in:

- Silicon Valley Power, Nordamerika
- Clean Energy Blockchain Network, Nordamerika

- Northwestern University, Nordamerika
- Tech Mahindra, Indien
- BCPG Apartment Microgrid, Thailand
- Chiang Mai University Thailand
- Kansai Electric Power Co., Japan
- Vector Ltd, Neuseeland
- National Lifestyle Villages, Australien
- Gen Y- White Gum Valley, Australien
- RENEW Nexus, Australien
- Evermore, Australien
- Origin Energy, Australien
- Project Brainstorm, Australien
- Greenwood Solutions, Australien

In jedem dieser Grids wurde die physische Infrastruktur vom Betreiber eines traditionellen Netzes zur Verfügung gestellt (beispielsweise von der Kansai Electric Power Co.) oder wurde von dem Auftraggeber Power Ledgers selbst angefertigt (beispielsweise Clean Energy Blockchain Network). (Power Ledger, 2018)

Das von Power Ledger entwickelte System funktioniert innerhalb der Ethereum-Umgebung, da diese sich auszeichnet dafür eignet, Smart Contracts abzuschließen. Außerdem ist es nicht so energieintensiv wie Bitcoin. Das System beinhaltet zwei Blockchain-Schichten und verwendet zwei Ethereum-Token, die beide von Power Ledger erstellt wurden: Das Power Ledger Token (POWR) und Sparkz. Diese Token erfüllen innerhalb der Blockchain unterschiedliche Funktionen.

POWR:

Der Besitz von POWR Währungseinheiten stellt das Teilnahmekriterium dar, das erfüllt werden muss, um an dem Power Ledger-System teilzunehmen. Allerdings ist nicht jeder Marktteilnehmer verpflichtet, sich POWR-Einheiten zuzulegen. Vielmehr ist es die Aufgabe des Hosts, der die physische Infrastruktur zur Verfügung stellt, POWR-Einheiten zu erwerben. Nur Hosts mit einer genügend großen Anzahl an POWR-Einheiten können auf die Plattform zugreifen. POWR wird dabei mit dem Ethereum-Mechanismus implementiert, der es erlaubt, auch andere Leistungen als Ethereum zu handeln. POWR kann in Sparkz umgewandelt werden, allerdings kann POWR nicht verwendet werden, um für Strom zu zahlen. Dies ist eine Eigenschaft, die Sparkz vorbehalten bleibt. Der Grund für diese Zweiteilung liegt darin, dass Power Ledger die ökonomischen Systeme global miteinander synchronisieren und vergleichen möchte. Dies ist mit Sparkz nicht möglich, da Sparkz an die lokale Währung angepasst wird.

Um an dem System teilnehmen zu können, muss zuerst eine bestimmte Menge an POWR-Einheiten erstanden werden. Diese gewähren Zugang zum Markt und

können in Sparkz umgewandelt werden, die notwendig sind, damit der Teilnehmer in seinem Heimatmarkt handeln kann. POWR kann als der Softwareschlüssel gesehen werden, der allen globalen Teilnehmern den Zugriff auf die Plattform ermöglicht. Sind alle POWR-Einheiten in Sparkz umgewandelt worden, so kann nicht mehr auf die Plattform zugegriffen werden und es müssen neue POWR-Einheiten erstanden werden.

Der Handel mit POWR ist nicht auf Elektrizität beschränkt. Innerhalb des Ethereum-Systems kann POWR wie jede andere Kryptowährung auch gehandelt werden. Die Menge an POWR-Einheiten hat eine Obergrenze von 1.000.000.000. Im Moment sind 363.810.715 im Umlauf. (Sessa, 2018)

Sparkz:

Bei Sparkz handelt es sich um eine Fiatwährung, die der jeweiligen Landeswährung angepasst wird. So hat in Australien ein Sparkz den Wert von 1 cent AUD. Der Elektrizitätshandel erfolgt über Sparkz. Einzelne Einheiten dieser Währung können bei dem Gridbetreiber, der diese durch den Umtausch von POWR erhalten hat, gegen die Landeswährung eingetauscht werden und anschließend verwendet werden, um innerhalb des Grid-Markts zu handeln. Sparkz können jederzeit gegen POWR eingetauscht werden. Dies schützt Marktteilnehmer im Falle eines Bankrotts des Hosts. Für Sparkz gibt es keine festgelegte Obergrenze, sie werden in dem Maße erzeugt, wie sie benötigt werden.

In Abbildung 15 ist die Verwendung von Kryptowährungen innerhalb des Power Ledger-Systems dargestellt. Wie zu sehen ist wird Sparkz fast ausschließlich verwendet, um innerhalb des lokalen Markts zu handeln. Prosumer und Konsumenten wenden örtliche Währung auf um Sparkz von dem Host zu erlangen und handeln anschließend untereinander. Während Prosumer durch den Handel Sparkz erhalten können, ist es für Konsumenten nur möglich, Sparkz zu erhalten, wenn sie diese beim Host erlangen. Um die Transaktionen verarbeiten zu können, werden Transaktionsgebühren vom Host und von Power Ledger erhoben. Diese werden ebenfalls in Sparkz geleistet.

Wie im unteren Teil dieser Abbildung zu sehen ist, tritt, bei Normalbetrieb des Markts, POWR bei den Interaktionen von Marktteilnehmern gar nicht auf. Erst in dem höheren Level der Blockchain spielt POWR eine Rolle: bei der Interaktion zwischen Host und Power Ledger oder Host und anderen Teilnehmern des Ethereum Systems.

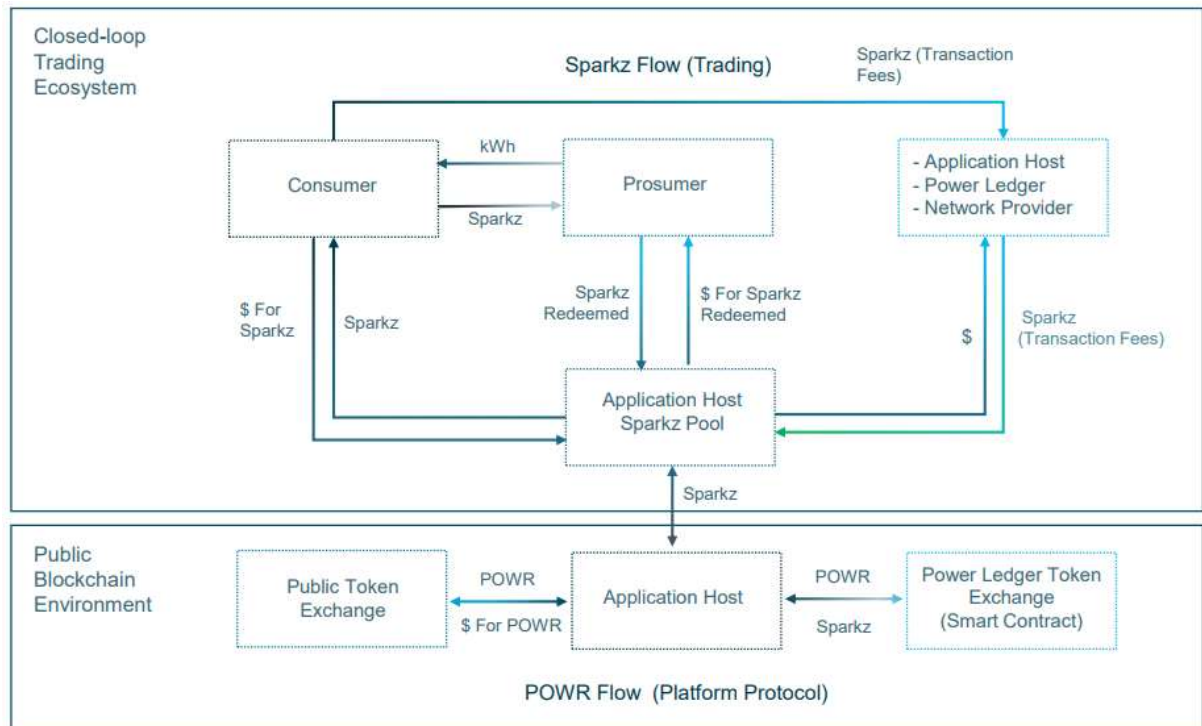


Abbildung 15: Darstellung der Verwendung von Kryptowährungen innerhalb des Power Ledger-Systems (Sessa, 2018)

In Abbildung 15 sind auch die zwei Schichten der Blockchain zu sehen: die closed-loop Blockchain und die Public Blockchain. Die öffentliche Blockchain verwendet Ethereum als Basis und ist der Ort, an dem der Markt mit dritten Parteien interagiert. Die Blockchain, die verwendet wird, heißt EcoChain und ist eine Abwandlung der Ethereum Blockchain. Dieses System wurde ausgewählt, da es nur eine geringe Energiemenge benötigt, um zu funktionieren. Das besondere an EcoChain ist, dass sie so konzipiert wurde, dass es möglich ist, auf der Public Blockchain mehrere closed-loop Blockchains laufen zu lassen um es zu ermöglichen, für jeden geographischen Markt eine eigene closed-loop Blockchain einzurichten.

Die Closed-loop Blockchain überwacht den lokalen Energiemarkt. Bei dem Markt handelt es sich um ein peer-to-peer System und der Handel erfolgt über Smart Contracts, wobei die Teilnehmer des Systems Präferenzen angeben können. So können Nutzer beispielsweise festlegen, dass sie bereit sind, einen Aufpreis für Energie aus erneuerbaren Quellen zu bezahlen.

Beim Ein- und Verkauf von Energie verwendet Power Ledger ein algorithmusgesteuertes System, das ökonomische Effizienz als oberstes Ziel hat. Anstatt einer Doppelauktion werden alle Nachfragen nach Energie als gleichwertig angesehen und der Reihe nach teilweise abgearbeitet. Die Anzahl der Anfragen wird berücksichtigt, und anschließend zirkuliert das Programm durch die einzelnen Anfragen, bis die verfügbare Energiemenge aufgebraucht ist. Priorisiert wird dabei geographische Nähe, dadurch werden Übertragungseffizienz und damit einhergehender CO₂-Ausstoß geringgehalten. Die Dauer eines einzelnen Zyklus des Programms wird dabei von dem Host festgelegt und liegt zwischen 5 Minuten und

24 Stunden. Dieses System wird auch auf Prosumer angewendet. Je größer die Energie, die ein Prosumer zur Verfügung stellt, desto höher wird von dem Algorithmus eingestuft. Sobald seine Energie aufgebraucht ist, steigt der nächste Prosumer in der Liste auf.

Des Weiteren ist es möglich, mehrere Produzenten zu einer Gemeinschaft mit einem gemeinsamen Smartmeter zusammenzufassen. Dies zu tun liegt in der Macht des Hosts. Diese Gemeinschaften werden von dem System als einzelne Prosumer oder Konsumenten erkannt.

Eine Analyse nach den sieben Punkten aus dem Kapitel über Microgrids ergibt:

Punkte 1 und 2 werden in dem Design von Power Ledger nicht berücksichtigt. Stattdessen fallen sie den Hosts des Microgrids zu. Ob diese Punkte erfüllt sind würde eine Analyse der 15 oben genannten Microgrids erfordern. In vielen Fällen wird allerdings direkt auf das traditionelle Netz zurückgegriffen um die notwendige physische Infrastruktur zu erhalten (so beispielweise von der Kansai Electric Power Co). (Power Ledger, 2018)

Informationssystem (Punkt 3), Marktmechanismus (Punkt 4), Preisregulation (Punkt 5) und EMTS (punkt 6) sind in dem System berücksichtigt. Der Markt wird mittels Blockchain fair und unabhängig reguliert und jeder Teilnehmer des Markts hat Zugriff auf Informationen über den lokalen Markt, solange der Host über ausreichend POWR-Einheiten verfügt. Preise sind größtenteils uniform, mit der Möglichkeit, dass Teilnehmer einen Aufpreis festlegen um genauere Spezifikationen für ihre Energie angeben zu können. Die Vergabe der verfügbaren Energie erfolgt über einen Algorithmus, der diese Spezifikationen berücksichtigt.

Gesetzliche Vorgaben und Regulationen (Punkt 7) stellt Power Ledger vor ein Problem. Da es sich dabei um ein internationales Unternehmen handelt variieren Regulationen und Gesetze von Land zu Land, in dem das System implementiert wird. Allerdings fällt die Lösung dieses Problems wieder den Hosts des jeweiligen Grids zu. Auch hier ist eine Analyse jedes einzelnen Grids notwendig.

7.3 Bornholm Microgrid

Wie der Name schon verrät, befindet sich das Bornholm Microgrid auf der dänischen Insel Bornholm in der Ostsee. Es ist ein Demonstrationsprojekt des EcoGrid 2.0, Nachfolger des EcoGridEU der Danish Energy Association. Das Ziel EcoGrids ist es, Informationen in zwei Bereichen zu sammeln: Planung und Entwicklung eines flexiblen Markts und qualitative Analyse des Alltagslebens der Konsumenten in diesem flexiblen System. Das aufgebrachte Budget um dieses Grid zu verwirklichen, beträgt 98 Millionen DKK und das Projekt hat eine Laufzeit von 3 1/2 Jahren (Jänner 2016- Juni 2019). (Tornbjerg, 2018)

Der Netzbetreiber ist die Firma Østkraft, die 28.000 Konsumenten mit Energie versorgt. Die Insel selbst ist Teil des nordeuropäischen Verbundnetzes und weist eine 60 kV Verbindung zu dem Stromnetz Schwedens auf, was ausreicht, den

Spitzenverbrauch der Insel zu decken. (Korompili, et al, 2014) Im Jahr 2007 betrug die Windkraftdurchdringung der Insel 30%. (Østergaard & Nielsen, 2010)

Das Bornholm Microgrid ist, mit 1.000 teilnehmenden Haushalten, größer als vergleichbare Microgrids von LO3 Energy oder Power Ledger. Trotz der Verbindung zu dem nordischen Verbundnetz ist es fähig, im Inselmodus betrieben zu werden, falls das Unterseekabel nach Schweden Reparaturen benötigt. Befindet sich das Netz auf der Insel im Normalbetrieb, so bezieht es Strom vom Festland und aus Windkraft. Ein kleiner Teil des Stroms wird durch PV-Anlagen zur Verfügung gestellt. Allerdings erschwert das Klima eine effiziente Nutzung dieser Anlagen. Der vom Festland bezogene Strom wird verwendet, um die Eigenproduktion der Insel zu ergänzen. Ist es notwendig, das Netz im Inselbetrieb zu versorgen, muss die fehlende Energie aus fossilen Energieträgern gewonnen werden. Die Versorgung der Insel selbst wird sichergestellt durch 14 Dieselgeneratoren (34 MW), 1 ölbetriebene Dampfturbine (25 MW), 1 Dampfturbine, betrieben mit einer Mischung aus Öl, Kohle und Holz (29 MW), 35 Windturbinen (29 MW) und 2 Biogasturbinen (2MW). (Microgrids at Berkely Lab, 2018)

Die Unterschiede zwischen EcoGrid 2.0 und dem EcoGridEU liegen in der Teilnehmerzahl (bei EcoGridEU waren es noch 2.000 Haushalte) und bei der Kontrolle, die die Teilnehmer über ihren Stromverbrauch haben. Bei EcoGridEU wurden die Teilnehmer über die Strompreise benachrichtigt. Es lag dann an ihnen, diese Information als Handlungsgrundlage zu nehmen. So kam es dazu, dass einige der Teilnehmer um 2 Uhr morgens aufstanden um Wäsche zu waschen. Allerdings stellte sich derartig energiesparendes Verhalten bald ein. Der Grund dafür lag darin, dass der Großteil des dänischen Strompreises aus Steuern und Abgaben besteht und 15 – 20% der eigentliche Preis des Stroms war. Das Sparen des Stroms hatte kaum ökonomische Vorteile. Dies führte dazu, dass den Teilnehmern die Ersparnis nicht den geraubten Komfort aufwog. Um diesen Nachteil aufzuwiegen wurde EcoGrid 2.0 so konzipiert, dass es Teile dieser Tätigkeiten für die Teilnehmer erledigt. So ist es nun möglich, dass EcoGrid 2.0 für die Kunden heizt, wenn der Strompreis am niedrigsten ist, ohne dass die Kunden Unbequemlichkeiten auf sich nehmen müssen.

Ein weiteres Problem, das beim Übergang von EcoGridEU auf EcoGrid 2.0 gelöst wurde, war die nicht zu bewältigende Datenflut von den Smartmetern der 2000 Haushalte, die alle 5 Minuten berichte an Østkraft sendeten. Dieses Problem wurde gelöst, indem die Anzahl der Teilnehmer halbiert wurde und das Sendeintervall auf 12 Stunden vergrößert wurde. Diese Lösung hilft zwar beim Ablauf des Projekts, nimmt ihm aber gleichzeitig einiges an Aussagekraft. Das 12-Stundenintervall ist bei weitem zu groß, um genügend Informationen über den Gridbetrieb zu erhalten und macht den Vergleich mit anderen Grids unmöglich. (Asmus, et al, 2018)

Betrachtet man das Brooklyn Microgrid durch die, bereits bekannten, 7 Punkte, so ergibt sich:

Punkte 1 und 2 sind erfüllt. Unter Verwendung des traditionellen Netzes der Firma Østkraft wurde eine physische Grundlage für das Microgrid geschaffen und die Form der Energie, die übertragen werden soll, wurde auf Elektrizität festgelegt. Die

Verbindung zum traditionellen Netz besteht nach wie vor über die Unterwasserverbindung nach Schweden, von der sich das Microgrid jederzeit entkoppeln kann.

Punkte 3 bis 5 sind ebenfalls erfüllt. Ein Informationssystem wurde bereits im Projekt EcoGridEU implementiert, das die Teilnehmer über Strompreise informiert. Dieses System wurde bei EcoGrid 2.0 beibehalten.

Der Markt innerhalb des Grids ist traditionell organisiert und klar in Produzenten und Konsumenten unterteilt, was sich direkt auf die Preisregulation auswirkt. Dadurch, dass Strom konstant geliefert wird und nur der Anteil aus erneuerbaren Quellen schwankt, wird der Strompreis nicht durch die Produktionsmenge, sondern durch die benötigte Menge festgelegt. Hinzu kommt, dass die Produktion nur zwischen 15 und 20 % des Preises ausmacht, während der Rest Abgaben und Steuern sind.

Die Sicherheit des Markts wird durch eine zentrale Instanz gewährleistet.

Punkt 6, das EMTS, ist teilweise implementiert. Bei EcoGridEU war von einer Funktion, die auf die Wünsche der Marktteilnehmer eingeht, noch keine Spur. Beim Umstieg auf EcoGrid 2.0 wurde es aber ermöglicht die Heizfunktion an das System zu übergeben. Diese Funktion ist noch stark ausbaubar.

Die gesetzlichen Regelungen (Punkt 7) werden von EcoGrid 2.0 eingehalten und es kommt zu keinerlei Verletzungen oder Vorstößen in neues Territorium. Dies liegt daran, dass trotz moderner Technologie wie Smartmetern die Organisation des Strommarkts den traditionellen Mustern entspricht.

8 Zusammenfassung und Interpretation

8.1 Vergleich der Microgrids

Um genauere Aussagen über den Microgrid-Markt machen zu können, werden nun die drei vorhergehend vorgestellten Microgrids miteinander verglichen. Von einer Vielzahl an existierenden Microgrids wurden das Brooklyn Microgrid, Power Ledger und das Bornholm Microgrid ausgewählt. Diese Microgrids weichen in ihren Funktionen und Zielsetzungen teilweise beträchtlich voneinander ab. Die größten Unterschiede treten bei dem Vergleich von Bornholm Microgrid und Power Ledger auf. Im Gegensatz zu Power Ledger und dem Brooklyn Microgrid verwendet das Bornholm Microgrid weder Blockchain, noch Kryptowährung. Stattdessen handelt es sich um ein traditionell Organisiertes Stromnetz mit einem zentralen Versorger. Über Smartmeter erhalten die Teilnehmer des Projekts Informationen über die Strompreise und können ihr Verbraucherverhalten so anpassen.

Der Strompreis wird rein von Verbrauch und Nachfrage bestimmt und gilt für alle Teilnehmer gleichermaßen. Außerdem hat dieses Microgrid Probleme damit, die von den Smartmetern gesendeten Informationen zu verarbeiten, da die Datenlast unterschätzt wurde. Dieses Microgrid würde von stärker ausgebauter virtueller Infrastruktur sehr profitieren. Zwar ist es auch Ziel des Bornholm Microgrids, bis 2025 zu 100% auf erneuerbare Energien umzusteigen, allerdings liegt der Fokus zuerst darauf, im Falle einer Beschädigung der Landleitung autark zu sein. (Tornbjerg, 2016)

Im Gegensatz dazu stellt das System Power Ledgers das Gegenteil dar. Während das Bornholm Microgrid eine gute physische Infrastruktur aufweist, aber an starken Schwächen im virtuellen Bereich leidet, beschränkt sich Power Ledger auf den virtuellen Aspekt des Microgrids. Power Ledger stellt die notwendige Software zum Betreiben eines Microgridmarkts zur Verfügung. Dies beinhaltet eine zweifache Blockchain und zwei, mit den Blockchainschichten korrespondierende Kryptowährungen mit Namen POWR und Sparkz. Der physische Aspekt des Microgrids wird den Kunden überlassen. Der virtuelle Teil des Energiemarkts von Power Ledger ist so entwickelt, dass er global eingesetzt werden kann. Dies wird dadurch gefördert, dass sich die lokale Währungseinheit Sparkz der örtlichen Währung anpasst und Interaktionen zwischen den Hosts und Power Ledger mit der überregionalen Währung POWR geregelt werden. Das virtuelle System im lokalen Microgridmarkt ist dem des Brooklyn Microgrids nicht unähnlich. Den Marktteilnehmern werden Instrumente gegeben, die es ihnen möglich machen, ihre Wünsche zu spezifizieren. Generell haben Teilnehmer in Power Ledger Microgrids und im Brooklyn Microgrid mehr Freiheiten als die Teilnehmer des Bornholm Microgrids. Es ist also offensichtlich, dass Power Ledger eine überregionale Verteilung seines Systems anstrebt. Mit 15 Microgrids, die dieses System bereits in Asien, Australien und Nordamerika verwenden, ist dies auch schon gelungen.

Das Brooklyn Microgrid der Firma LO3 Energy scheint eine Kombination der beiden Ansätze von Bronholm und Power Ledger zu sein. Wie das Bornholm Microgrid ist es ein lokales, physisches Grid und wie Power Ledger verwendet es ein virtuelles System, das Blockchain und Kryptowährung beinhaltet. Im Gegensatz zu Power Ledger gibt es im Moment keinen Hinweis darauf, dass ein überregionaler Markt angestrebt wird. Stattdessen soll das Projekt Vorbild für weitere Energiemärkte sein. Allerdings kann das derzeitige System angepasst werden, um auch überregional Verbreitung zu finden. So verwendet auch Exergy im Moment zwei Kryptowährungen nebeneinander, XRG und das regionale Tokensystem, das verwendet wird, um Strom zu erstellen. Im Gegensatz zu Power Ledger, wo ein Algorithmus zwischen Konsumenten und Prosumern steht, interagieren diese beiden Gruppen beim Brooklyn Microgrid direkt via Doppelauktion miteinander. Auch beim Brooklyn Microgrid haben die Teilnehmer erhebliche Freiheiten, um ihren Energieein- und Verkauf zu personalisieren. Von den drei vorgestellten Microgrids ist es das einzige, das das traditionelle Stromnetz mit einem eigenen Grid ergänzt hat, das sich bei Bedarf von dem Hauptnetz abkoppeln kann und so zusätzliche Sicherheit für die Teilnehmer bringt.

Zusätzlich wurden beurteilt, ob die unterschiedlichen Microgrids den 7 in Kapitel 4 ausgearbeiteten Punkten entsprechen. Das Ergebnis ist in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 7: Zusammenfassung des Vergleichs mit definierten Kriterien für Microgrids

Kriterium	Brooklyn Monogrid	Power Ledger	Bornholm Microgrid
Funktion des Microgrids	ja	nein	ja
Grid Verbindung	ja	nein	ja
Informationssystem	ja	ja	ja
Markt Mechanismus	teilweise	ja	ja
Preisregulation	teilweise	ja	ja
Energy Management Trading System	teilweise	ja	teilweise
Regulation	nein	nein	ja

8.2 Interpretation und Auswertung

Wie der Vergleich der Microgrids zeigt, hat das System Power Ledgers bis jetzt die größte Verbreitung gefunden und kann daher als größter Erfolg bezeichnet werden. Wie dieser Erfolg zeigt, herrscht Interesse und Neugier vor, was die Modernisierung des Stromnetzes angeht. Die genaue Anzahl an Microgrids ist nur schwer abzuschätzen, da eine Vielzahl von Firmen versucht, sich in diesem Gebiet zu etablieren. In einer Studie zu der Funktionalität hat die California Energy Commission sich mit 26 Microgrids genauer befasst. Keines davon ist ein Projekt Power Ledgers. (Asmus, et al., 2018)

Die Anzahl dieser Grids ist also bereits verhältnismäßig hoch und wird in Zukunft sehr wahrscheinlich noch weiter steigen. Blockchainbasierte Grids mit eigenen Kryptowährungen folgen dabei einem Trend zur Lokalisierung bestimmter Märkte. Sie folgen dabei dem Beispiel der Regionalwährungen, deren Anzahl seit Jahren am Steigen ist. (Ziegler, 2009) Die Absicht hinter den Regionalwährungen ist die lokale Wirtschaft zu stärken, indem der Kauf örtlicher Produkte gefördert wird. Ein ähnliches Prinzip steht hinter den Microgrids. Die Tatsache des Klimawandels wird, vor allem in den Industrienationen, immer deutlicher und, auch wenn der Klimawandel nicht überall als Bedrohung gesehen wird, so steigt doch das Bedürfnis nach erneuerbaren Energien, um dem Wandel entgegenzuwirken. (Lee, et al, 2015) Diesem Bedürfnis kommen Microgrids entgegen. Durch den Zusammenschluss von Gemeinschaften durch ein physisches Microgrid und eine gemeinsame Kryptowährung wird die Generation aus erneuerbaren Energien gefördert und die Abhängigkeit von außen minimiert. Im Moment ist ein Ende des traditionellen Stromverteilungssystems nicht abzusehen, da selbst derartige Microgrids noch auf Stromzubringung von außerhalb angewiesen sind. Aus Gründen der Stabilität sollte diese Verbindung auch nicht gekappt werden, bis eine stabile Mischung aus mehreren, voneinander unabhängigen, Energiequellen sichergestellt ist.

Wie an den aufgeführten Verwirklichungen von Micro- und Smartgrids zu sehen ist, scheinen diese Grids in kleinem Rahmen bereits zu funktionieren. Hierbei ist ein Blick auf das Bornholm-Microgrid und dessen Entwicklungsgeschichte besonders interessant. Zwischen Brooklyn-Microgrid und Power Ledger ist es das älteste System, das bereits einen Vorgänger hatte. Dabei handelt es sich nicht um ein Smartgrid. Zwar wird Smart-Technologie in einigen Bereichen des Grids verwendet, allerdings nur in geringem Rahmen, nachdem erste Probleme, wie die Datenflut von Smartmetern, beseitigt wurden.

Auch jetzt bestehen hier noch große Verbesserungsmöglichkeiten. Dies zeigt ein Problem auf, mit dem derartige Grids zu kämpfen haben: es handelt sich um sehr neue, größtenteils ungetestete, Technologie, die in der Anwendung erst nach und nach zu erproben ist. Dies hat zur Folge, dass es nicht wünschenswert ist, ein großes Stromnetz aufzubauen, das auf den Prinzipien des Smartgrids funktioniert. Probleme müssen erst nach und nach entdeckt und behoben werden, was am besten in kleinem Maßstab passiert, da der möglicherweise verursachte Schaden so begrenzt werden kann.

Mit der Möglichkeit der gezielten Entwicklung eines großen Netzes ausgeschlossen, gibt es noch die Möglichkeit, ein großes Netz wachsen zu lassen. Diese Entwicklung würde von kleineren Smartgrids ausgehen, die sich nach und nach zusammenschließen. Um das Potential hinter dieser Entwicklung feststellen zu können sind Pilotprojekte nötig, in denen zwei benachbarte Gemeinden mit Smartgrids ausgestattet werden und anschließend miteinander verbunden werden. Dabei tritt die Frage auf, wie die Interaktion zwischen diesen beiden verbundenen Netzen aussehen kann. Wird Strom zuallererst innerhalb des jeweiligen Grids verbraucht und erst, wenn im lokalen Grid kein Abnehmer mehr gefunden wird, an

das außenstehende Grid verkauft, oder werden die kleinen Grids zu einem Großen zusammengefasst, in dem jeder Teilnehmer mit den jeweils anderen handeln kann.

Die Antwort darauf könnte gemischt ausfallen. Ein wesentlicher Faktor bei dieser Fragestellung ist die Entfernung zwischen den einzelnen Teilnehmern. Die Fokussierung auf lokale, erneuerbare Energien in einem Smartgrid macht es wünschenswert, einen Abnehmer oder Erzeuger in unmittelbarer Nähe zu finden, was die Kosten und den Energieverlust möglichst gering hält. Es wird daher ein vorteilhafter Ansatz sein, lokalen Verbrauch und lokale Erzeugung zu priorisieren. Sollten die Smartgrids aber so nahe beieinander liegen, dass der Preis- und Stromverlust vernachlässigbar ist, so können beide Grids zu einem zusammengefasst werden. Vor allem in ländlichen Bereichen wird sich dies als nützlich erweisen.

Es scheint also ein gutes Wachstumsmodell zu sein, davon auszugehen, dass Microgrids erst in kleinen Gemeinden auftauchen und dann nach und nach, bis eine Preis- und Verlustschwelle erreicht wurde, zu größeren Grids zusammengeschlossen werden. Auf höherer Ebene handelt es sich dann um eine Interaktion zwischen mehreren „Inselnetzen“, die alle ihren eigenen Strom produzieren und im Falle eines Überschusses oder einer Unterproduktion auf das äußere Netz, das von anderen Inseln gespeist wird, zurückgreifen.

Tatsächlich scheint Power Ledger auf ein derartiges System hinzulaufen. Durch das Zwei-Token-System mit Sparkz und POWR ist einerseits lokaler Austausch mit Sparkz gegeben und andererseits ein globaler Austausch mit POWR. In diesem Fall mangelt es noch an der Infrastruktur, die zwei der Netze zusammenschließen.

Wie außerdem aus Brooklyn Microgrid und Power Ledger hervorgeht, scheinen diese Systeme stark auf blockchainbasierte Kryptowährungen und Tokensysteme zurückzugreifen. Im Bereich der Kryptowährungen tritt allerdings das Problem auf, dass es sich um sehr neue und wenig erprobte Technologie handelt. Der Vorreiter der Kryptowährungen, Bitcoin, dürfte für tatsächlichen Handel unbrauchbar sein. Zum einen sorgt die ständige Änderung des Bitcoin-Werts für Unsicherheit, was dem Handel abträglich ist, zum anderen sind die Kosten, die eine Einzige Bitcoin-Überweisung verursacht, zu hoch, um auf längere Sicht praktikabel zu sein. Hinzu kommt der CO₂-Ausstoß, den eine Überweisung verursacht, was es schwer macht, Umweltschutz durch ein Grid mit erneuerbaren Energien zu rechtfertigen, wenn dieses Grid Bitcoin verwendet.

All diese Gründe dürften mit dafür verantwortlich sein, dass Power Ledger auf das proof-of-stake basierte System von Ethereum gesetzt hat. Dadurch, dass Token und nicht Ether verwendet werden, ist das Abschließen von Smart Contracts vereinfacht, werden die Preisschwankungen, die viele Kryptowährungen heimsuchen, eliminiert und die Kosten und der CO₂-Austausch sind verringert.

Es ist also durchaus möglich, ein Stromnetz mit Kryptowährungen zu betreiben, allerdings steht man hier vor dem Problem, dass sich das Wissen auf dem Gebiet der Blockchain rapide vermehrt und es durchaus möglich ist, dass in wenigen

Jahren neue, bessere, Methoden zur Sicherung von Kryptowährungen vorhanden sind, so dass auch die proof-of-stake-Methode als ineffizient gilt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es sowohl im Bereich der Smartgrids als auch im Bereich der Kryptowährungen Probleme gibt, die es für den Einsatz in großen, zusammenhängenden Netzen zu lösen gilt. Aufgrund der schnellen Entwicklungen in letzter Zeit kann erwartet werden, dass Lösungen für die bestehenden Probleme gefunden werden. Smartgrids, die auf Kryptowährungen zurückgreifen, könnten also in den nächsten Jahren durchaus häufig auftreten, vor allem im kleinen Rahmen.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleich unterschiedlicher Energieträger (Hentrich, 2012)	5
Abbildung 2: Darstellung der Bindungsenergie pro Nukleon im Atomkern (Wikimedia, 2018)	8
Abbildung 3: Verbrauchsprofil eines Prosumer-Haushalts, gewonnen durch Datenanalyse eines Smartmeters (Gautier, et al., 2018)	11
Abbildung 4: Datenerfassung eines Smartmeters bei unterschiedlicher zeitlicher Auflösung (McKenna, et al., 2011)	14
Abbildung 5: Darstellung von zentraler Stromerzeugung (links) und dezentraler Stromerzeugung (rechts) (Max Planck Society, 2012)	16
Abbildung 6: Schematische Darstellung eines Smart Grids (Mengelkamp, et al., 2017)	23
Abbildung 7: Netzstrukturen in drei Prosumernetzen (Parag & Sovacool, 2016)	29
Abbildung 8: Darstellung der Funktion der Blockchain (Economist, 2015)	33
Abbildung 9: Funktionsweise der Blockchain (Wikimedia, 2016)	35
Abbildung 10: Wert der Bitcoin gegen den Wert des Euro (Finanzen.net, 2018)	40
Abbildung 11: Darstellung des Energieverbrauchs zum Bitcoinschürfen unter Einberechnung von sekundären Energieverbrauchern wie Kühlung und Netzwerktechnologie (Digiconomist, 2018)	41
Abbildung 12: Geographische Ausmaße des Brooklyn Microgrids, unterteilt in die drei Verteilungsnetze (Mengelkamp, et al., 2017)	44
Abbildung 13: Darstellung des Peer-to-Peer Markts nach Exergy (Exergy, 2017)	49
Abbildung 14: Darstellung der beiden Komponenten des Brooklyn Microgrids (Mengelkamp, et al., 2017)	51
Abbildung 15: Darstellung der Verwendung von Kryptowährungen innerhalb des Power Ledger-Systems (Sessa, 2018)	57

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Missbrauchsmöglichkeiten für die von Smartmetern gesammelten Verbraucherdaten (McKenna, et al., 2011)	15
Tabelle 2: Größe der lokalen Erzeugungseinheit in zentralisierten und dezentralisierten Netzen (Alanne & Saari, 2004)	24
Tabelle 3: Energieverbrauch, der durch das Schürfen von Bitcoins entsteht (Zorinaq, 2018)	40
Tabelle 4: Vergleich von traditionellem System und dem auf Exergys Vorstellung basierendem neuem System, nach Exergy (Exergy, 2017)	46
Tabelle 5: Rollen der einzelnen Marktteilnehmer im Peer-to-Peer System nach	48
Tabelle 6: Darstellung der Rollen in einem Microgrid nach Exergy	50
Tabelle 7: Zusammenfassung des Vergleichs mit definierten Kriterien für Microgrids	62

11 Literaturverzeichnis

- Alanne, K., & Saari, A. (06. 10 2004). Distributed energy generation and sustainable development. *Elsevier*, S. 539-558.
- American Cancer Society. (24. 09 2014). *Cancer*. Abgerufen am 29. 05 2018 von Cancer-Website: <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/radiation-exposure/smart-meters.html>
- Asmus, P., Forni, A., & Vogel, L. (2018). *Microgrid Analysis and Case Study Report*. San Francisco: Navigant Consulting, Inc.
- Bachfeld, D. (20. 09 2011). *heise security*. Abgerufen am 29. 05 2018 von heise security-website: <https://www.heise.de/security/meldung/Smart-Meter-verraten-Fernsehprogramm-1346166.html>
- Bajpai, P. (06. 02 2018). *Investopedia*. Abgerufen am 13. 06 2018 von Investopedia-Website: <https://www.investopedia.com/articles/investing/031416/bitcoin-vs-ethereum-driven-different-purposes.asp>
- Belin, O. (14. 03 2017). *Tradeix*. Abgerufen am 20. 10 2018 von Tradeix-Webiste: <https://tradeix.com/essential-blockchain-technology-concepts/>
- Bendel, O. (19. 02 2018). *Gabler Wirtschaftslexikon*. Von Gabler Wirtschaftslexikon-Website: <https://hackernoon.com/what-is-proof-of-stake-8e0433018256> abgerufen
- Bevand, M. (10. 03 2017). *mrb's blog*. Abgerufen am 13. 06 2018 von zorinaq: <http://blog.zorinaq.com/bitcoin-electricity-consumption/>
- Bieser, G. (23. 08 2013). *Smart grids in the European energy sector*. (S. Link, Hrsg.) Heidelberg.
- Buddenberg, A. (10. 03 2017). Elektronische Stromzähler können einen bis zu sechsmal höheren Verbrauch ausweisen. Twente.
- Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. (2018). *Energie in Österreich 2018*. Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.
- Buterin, V. (11. 07 2014). *Ethereum*. Abgerufen am 15. 06 2018 von Ethereum-Website: <https://blog.ethereum.org/2014/07/11/toward-a-12-second-block-time/>
- Chhaya, S., Hamilton, S., Hughes, J., Ibrahim, E., Key, T., Maitra, A., et al. (2009). *Report to NIST on the Smart Grid Interoperability Standards Roadmap*. Electric Power Research Institute.
- CoinMarketCap. (12. 06 2018). *CoinMarketCap*. Abgerufen am 12. 06 2018 von CoinMarketCap-Website: <https://coinmarketcap.com/all/views/all/>
- Csanyi, E. (17. 11 2011). *Electrical Engineering Portal*. Abgerufen am 03. 09 2018 von Electrical Engineering Portal-Website: <https://electrical-engineering-portal.com/north-american-versus-european-distribution-systems>

- Csanyi, E. (10. 08 2012). *Electrical Engineering Portal*. Abgerufen am 03. 09 2017 von Electrical Engineering Portal-Website: <https://electrical-engineering-portal.com/primary-distribution-voltage-levels>
- de Vries, A. (16. 05 2018). Bitcoins Growing Energy Problem. *Joule* , S. 801-809.
- Decker, H. (10. 03 2017). Intelligente Stromzähler liefern teure Messfehler. *Frankfurter Allgemeine Zeitung* .
- Delahaye, J.-P. (04 2018). Bitcoin, der Energievresser. *Spektrum der Wissenschaft* , S. 26-28.
- Depuru, S., & Wang, L. (20. 02 2011). Smart meters for power grid; Challenges, issues, advantages and status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , S. 2736-2742.
- Devoe, R. (20. 03 2018). *Blackonomi*. Abgerufen am 20. 10 2018 von Blackonomi-Website: <https://blockonomi.com/bitcoin-halving/>
- Digiconomist. (2018). *Digiconomist*. Abgerufen am 13. 06 2018 von Digiconomist-Website: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>
- Economist. (09. 05 2015). The next big thing. *The Economist* .
- E-Control. (22. 02 2018). *APA*. Abgerufen am 20. 10 2018 von APA-Website: https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20180222_OTS0031/e-control-gasverbrauch-im-jahr-2017-deutlich-gestiegen
- e-Control. (14. 02 2014). *e-Control*. Abgerufen am 29. 05 2018 von e-Control-Website: <https://www.e-control.at/presse/aktuelle-meldungen/smart-meter-strenger-datenschutz#>
- E-Control. (01. 01 2018). *E-Control*. Abgerufen am 19. 10 2018 von E-Control-Website: <https://www.e-control.at/konsumenten/oeko-energie/basiswissen/oekostrom-arten/wasserkraft>
- Erneuerbare Energie Österreich. (2018). *Erneuerbare Energie Österreich*. Abgerufen am 14. 06 2018 von Erneuerbare Energie Österreich-Website: <http://www.erneuerbare-energie.at/energie1/>
- Exergy. (14. 12 2017). Buisness Whitepaper. *Buisness Whitepaper* . New York.
- Exergy. (2017). *Technical Whitepaper*. New York: Exergy.
- Fabry, C. (19. 06 2017). *DiePresse*. Abgerufen am 19. 10 2018 von DiePresse-Website: <https://diepresse.com/home/wirtschaft/energie/5237133/Oesterreich-bei-Strom-aus-Windkraft-unter-EUDurchschnitt>
- Faure, G., & Mensing, T. M. (2007). Mars: The Little Planet that Could. In G. Faure, & T. M. Mensing, *Introduction to Planetary Science* (S. 211-259). Dordrecht: Springer.
- Freicoïn. (2018). *Freicoïn*. Abgerufen am 12. 06 2018 von Freicoïn-Website: <http://freico.in/how/>

- Frumkin, D. (30. 07 2018). *Investinblockchain*. Abgerufen am 02. 11 2018 von Investinblockchain-Website: <https://www.investinblockchain.com/what-are-ethereum-tokens/>
- Gallico, T. (22. 06 2017). *Reset*. Abgerufen am 12. 06 2018 von Reset-Website: <https://en.reset.org/blog/how-solarcoin-adding-extra-value-solar-energy-generation-06222017>
- Gautier, A., Jacqmin, J., & Poudou, J.-C. (17. 01 2018). The prosumers and the grid. *Springer Science+Business*, S. 100-126.
- Gerpott, T.J. Wirtschaftsdienst (2017). Wettbewerbsänderungen im Kontext der Smart-Meter-Einführung in Deutschland, *Springer*, S. 422
- Groll, M. (01. 07 2018). Putin zu Besuch in Wien: Russland gibt Gas. *Trend*.
- Hall, J. (21. 03 2018). How Blockchain could help us take back control of our privacy. *The Guardian*.
- Hentrich, S. (17. 03 2012). *Liberales Institut*. Abgerufen am 19. 10 2018 von Liberales Institut-Website: <https://liberalesinstitut.wordpress.com/2012/03/17/kopflose-vorreiter/>
- Hoff, S. (06. 07 2016). *U.S. Energy Information Administration*. Abgerufen am 17. 07 2018 von U.S. Energy Information Administration-Website: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=27152>
- IARC. (2018. 04 2018). *IARC*. Abgerufen am 29. 05 2018 von IARC-Website: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>
- Kaltofen, T. (16. 06 2017). *Computerwoche*. Abgerufen am 13. 06 2018 von Computerwoche-Website: <https://www.computerwoche.de/a/blockchain-technologien-im-detail,3330877,2>
- Kellhofer, B. (25. 08 2017). *Trending Topics*. Abgerufen am 12. 06 2018 von Trending Topics-Website: <https://www.trendingtopics.at/litecoin-das-bitcoin-silber-setzt-zum-sprung-an/>
- Krebs, B. (10. 04 2012). Smart meter hacks likely to spread: FBI. *The Sydney Morning Herald*.
- Lang, H. (25. 02 2014). *Smartmeterworld*. Abgerufen am 29. 05 2018 von Smartmeterworld-Website: <https://www.smarterworld.de/smart-energy/smart-meter/artikel/106080/>
- Lin, J., & Magnago, F. H. (2017). *Electricity Markets*. Hoboken: John Wiley & Sons Inc.
- Liu, W. H., Alwi, S. R., Hashim, H., Muis, Z. A., Klemes, J. J., Rozali, N. E., et al. (2017). *Optimal Design and Sizing of Integrated Centralized and Decentralized Energy Systems*. Beijing: Elsevier Ltd.
- Max Planck Society. (14. 09 2012). *Phys.org*. Abgerufen am 20. 10 2018 von Phys.org-Website: <https://phys.org/news/2012-09-solar-energy-stabilise-power-grid.html>

- McKenna, E., Richardson, I., & Thomson, M. (03. 12 2011). *Loughborough University Institutional Repository*. Abgerufen am 30. 05 2018 von Loughborough University-Website: https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/9248/2/Smart_Meters_McKenna-2011.pdf
- Meier, E. (07. 01 2018). *Quora*. Abgerufen am 17. 07 2018 von Quora-Website: <https://www.quora.com/Which-is-the-largest-power-grid-in-the-world?share=1>
- Mengelkamp, E., Gärttner, J., Rock, K., Kessler, S., Orsini, L., & Weinhardt, C. (23. 06 2017). Designing microgrid energy markets A case study: The Brooklyn Microgrid. *Applied Energy*, S. 870-880.
- Mengelkamp, E., Gärttner, J., Rock, K., Kessler, S., Orsini, L., & Weinhardt, C. (16. 06 2017). Designing microgrid energy markets A case study: The Brooklyn Microgrid. *Elsevier Applied Energy*, S. 870-880.
- Microgrids at Berkely Lab. (2018). *Bornhol Island*. Berkeley: Microgrids at Berkely Lab.
- Nakamoto, S. (01. 01 2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.
- Oestereichs Energie. (2018). *Oestereichs Energie*. Abgerufen am 20. 10 2018 von Oestereichs Energie-Website: <https://oesterreichsenergie.at/stromnetze.html>
- Østergaard, J., & Nielsen, J. E. (13. 05 2010). *Globalislands*. Abgerufen am 17. 10 2018 von Globalislands-Website: https://www.globalislands.net/greenislands/docs/denmark_the_bornholm_power_system_an_overview.pdf
- Palacios-García, E. J., Guan, Y., Savaghebi, M., & Vasquez, J. C. (9-12. 11 2015). Smart Metering System for Microgrids. *Industrial Electronics Society, IECON 2015 - 41st Annual Conference of the IEEE*, S. 003289 - 003294.
- Parag, Y., & Sovacool, B. K. (21. 03 2016). Electricity market design for the prosumer era. *Nature Energy*, S. 1-6.
- Paschotta, R. (12. 12 2017). *RP-Energielexikon*. Abgerufen am 19. 10 2018 von RP-Energielexikon-Website: <https://www.energie-lexikon.info/uran.html>
- Paschotta, R. (21. 02 2017). *RP-Energie-Lexikon*. Abgerufen am 14. 06 2018 von RP-Energie-Lexikon-Website: https://www.energie-lexikon.info/erneuerbare_energie.html
- Paschotta, R. (21. 02 2017). *RP-Energie-Lexikon*. Abgerufen am 14. 06 2018 von RP-Energie-Lexikon-Website: https://www.energie-lexikon.info/fossile_energietraeger.html
- Paschotta, R. (10. 10 2017). *RP-Energie-Lexikon*. Abgerufen am 14. 06 2018 von RP-Energie-Lexikon: <https://www.energie-lexikon.info/kernenergie.html>
- Paschotta, R. (22. 02 2017). *RP-Energie-Lexikon*. Abgerufen am 11. 06 2018 von RP-Energie-Lexikon-Website: <https://www.energie-lexikon.info/inselnetz.html>
- Pavlus, J. (01. 04 2018). Die Welt des Bitcoin. *Spektrum der Wissenschaft*, S. 12-20.

- Power Ledger. (01. 05 2018). *Medium*. Abgerufen am 16. 10 2018 von Medium-Website: <https://medium.com/power-ledger/power-ledger-clean-energy-blockchain-network-partner-with-northwestern-university-for-first-7daca76914b6>
- Power Ledger. (12. 07 2018). *Medium*. Abgerufen am 17. 10 2018 von Medium-Website: <https://medium.com/power-ledger/common-questions-and-misconceptions-about-power-ledger-8c7d0b819d7d>
- Power Ledger. (01. 01 2018). Whitepaper.
- PVAustria. (05. 06 2018). *PVAustria*. Abgerufen am 19. 10 2018 von PVAustria-Website: https://www.pvaustria.at/wp-content/uploads/2018_06_05_Fact_Sheet_PV_Branche-1.pdf
- PVAustria. (01. 01 2018). *PVAustria*. Abgerufen am 20. 10 2018 von PVAustria-Website: <https://www.pvaustria.at/pv-speicher/>
- Quaschnig, V. (2008). Erneuerbare Energien und Klimaschutz: *Hanser*, S. 163-166
- Rabenstein, J. (25. 02 2018). *heerlagerderheiligen*. Abgerufen am 19. 10 2018 von heerlagerderheiligen-Website: <https://heerlagerderheiligen.wordpress.com/2018/02/25/es-gibt-gegenen-auf-der-welt-da-macht-photovoltaik-deutlich-mehr-sinn-als-in-deutschland/>
- Rahav, A. (11. 04 2018). *Doubleoctopus*. Abgerufen am 12. 06 2018 von Doubleoctopus-Website: <https://doubleoctopus.com/blog/blockchain-vulnerability-to-man-in-the-middle-attacks/>
- Schow, A. (2013). Internet gold: Doge + Bitcoin = Dogecoin. *Washington Examiner*.
- Schow, E. (13. 03 2017). Messabweichung bei elektronischen Stromzählern. (P. T. Bundesanstalt, Hrsg.)
- Sedgwick, K. (03. 02 2018). *Bitcoin.com*. Abgerufen am 20. 10 2018 von Bitcoin.com-Website: <https://news.bitcoin.com/ledger-addresses-man-in-the-middle-attack-that-threatens-millions-of-hardware-wallets/>
- Seeger, J. (04. 06 2018). Warum die Bitcoin-Blockchain für IoT ungeeignet ist. *ix special 2018*, S. 56.
- Sessa, J. (06. 02 2018). *CoinCentral*. Abgerufen am 16. 10 2018 von CoinCentral-Website: <https://coincentral.com/power-ledger-beginner-guide/>
- Shaan, R. (06. 10 2017). *Hacknoon*. Abgerufen am 13. 06 2018 von Hacknoon-Website: <https://hackernoon.com/what-is-proof-of-stake-8e0433018256>
- Silva, D. (06. 11 2009). *phys.org*. Abgerufen am 30. 05 2018 von phys.org-Website: <https://phys.org/news/2009-11-smart-electrical-meters-privacy-issues.html>
- Sioshansi, F. P. (01. 03 2015). Utilities' new headache: over-generation. *The Electricity Journal*, S. 5-6.

- Statista. (2018). *Statista*. Abgerufen am 14. 06 2018 von Statista-Website: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/42454/umfrage/weltweiter-primarenergieverbrauch-nach-brennstoffen-in-oelaequivalent/>
- Stickler, M. (04. 02 2012). Ärztekammer: Neue Stromzähler führen zu mehr Elektrosmog. Wien.
- Technologieplattform Smart Grids Austria (18.11.2018). Abgerufen am 18.11.2018 von Webseite <https://www.smartgrids.at/smart-grids.html>
- Tornbjerg, J. (11. 10 2016). *EcoGrid*. Von EcoGrid-Website: <http://www.ecogrid.dk/news/bornholm-gets-ready-for-more-world-class-rd> abgerufen
- Tornbjerg, J. (2018). Facts about EcoGrid 2.0.
- Verbund. (2018). *Verbund*. Abgerufen am 17. 07 2018 von Verbund-Website: <https://www.verbund.com/de-at/privatkunden/themenwelten/wiki/netzbetreiber-stromanbieter>
- WA notstromtechnik GmbH. (2018). *wa-notstromtechnik*. Abgerufen am 11. 06 2018 von [wa-notstromtechnik-Website: https://www.wa-stromerzeuger.de/zusatzinformationen-stromerzeuger/netzform/](https://www.wa-stromerzeuger.de/zusatzinformationen-stromerzeuger/netzform/)
- Wang, K. (10. 07 2017). *Hackernoon*. Abgerufen am 13. 06 2018 von Hackernoon-Website: <https://hackernoon.com/ethereum-turing-completeness-and-rich-statefulness-explained-e650db7fc1fb>
- Wimmer, B. (16. 10 2014). *futurezone*. Abgerufen am 29. 05 2018 von futurezone-Website: <https://futurezone.at/science/spanische-smart-meter-koennen-einfach-gehackt-werden/91.479.373>
- Wood, E. (7. 11 2016). *MicrogridKnowledge*. Abgerufen am 07. 10 2018 von MicrogridKnowledge-Website: <https://microgridknowledge.com/brooklyn-microgrid/>
- Xie, L. (23. 02 2017). *Coinbase*. Abgerufen am 13. 06 2018 von Coinbase-Website: <https://blog.coinbase.com/a-beginners-guide-to-ethereum-46dd486ceecf?gi=78a0d07a5c48>
- Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie. (03 2017). Messungengenauigkeit Smart Meter.
- Ziegler, F. (02. 02 2009). Konzept, Umsetzung und Akzeptanz einer Regionalwährung am Beispiel des "Chiemgauer". Bernau am Chiemsee.

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Ort, Datum

Unterschrift