



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

DIPLOMARBEIT

Umsetzung von Blockchain-Anwendungen im Energiesektor, am Beispiel von Energiegemeinschaften

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer
Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von

Hartmut Dumke, Univ. Ass. Dr. techn. Dipl.-Ing.

E280-07 Forschungsbereich Regionalplanung und Regionalentwicklung

Institut für Raumplanung

eingereicht an der Technischen Universität Wien

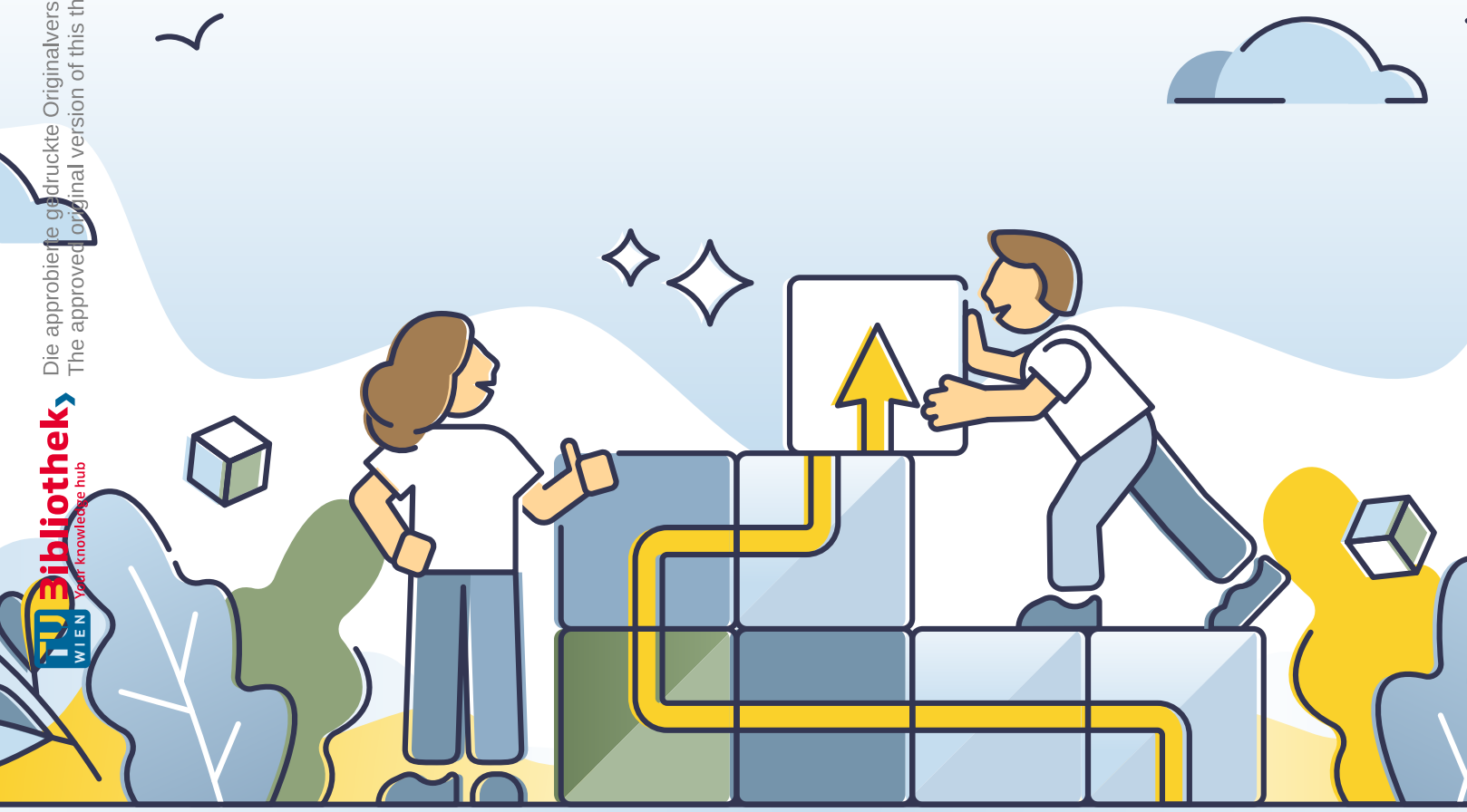
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Helena Veith, BSc

01616001

Wien, am 16. März 2023



Abstract

With the Renewable Energy Expansion Act, Austria has set itself the goal that 100 % of electricity should be generated by renewable energy sources by 2030 and that Austria should be climate-neutral by 2040. To achieve this, renewable energy must be expanded by 27 TWh. Another innovation are the Renewable Energy Communities and Citizen Energy Communities, which enable citizens to join hands to produce, consume, store and sell energy together. The entire energy sector is changing and is characterized by decentralization, decarbonization, digitalization and democratization. Producers and consumers are merging into prosumers, structures are becoming more and more decentralized, and the number of participants is growing. This creates new challenges that require flexible, decentralized and intelligent solutions. An innovative approach is the use of blockchain technology, which brings advantages in terms of security, transparency, decentralization, automation and trust. In the energy sector, it can be used to implement use cases such as peer-to-peer trading, flexibility services or certification. These are all aspects that can also be relevant in energy communities. Energy communities can be implemented since 2021 and they differ primarily in size and their initiators. From neighbourhood models, to regions, to nationwide energy communities, everything is possible. In order to support energy communities in their contribution to the energy transition in the future, the thesis demonstrates which options spatial planners have and which benefits blockchain technology can have.

Kurzfassung

Mit dem Erneuerbaren-Ausbau-Gesetzespaket hat sich Österreich zum Ziel gesetzt, dass Strom bis zum Jahr 2030 zu 100 % aus erneuerbaren Energien stammen soll und dass Österreich bis 2040 klimaneutral sein soll. Dafür müssen erneuerbare Energien um 27 TWh ausgebaut werden. Eine weitere Neuerung sind die Erneuerbare-Energie-Gemeinschaften und Bürgerenergiegemeinschaften, die es Bürger:innen ermöglichen, sich zusammenzuschließen, um gemeinsam Energie zu erzeugen, zu verbrauchen, zu speichern und zu verkaufen. Der gesamte Energiesektor ist im Wandel und geprägt von Dezentralisierung, Dekarbonisierung, Digitalisierung und Demokratisierung. Erzeuger:innen und Verbraucher:innen werden zu Prosument:innen, die Strukturen werden immer kleinteiliger und die Anzahl der Akteur:innen immer größer. Dadurch entstehen neue Anforderungen, welche flexible, dezentrale und intelligente Lösungen benötigen. Ein innovativer Ansatz ist die Nutzung der Blockchain-Technologie, welche Vorteile hinsichtlich Sicherheit, Transparenz, Dezentralität, Automatisierung und Vertrauen mit sich bringt. Im Energiesektor können damit Anwendungsfälle wie Peer-to-Peer Handel, Flexibilitätsdienstleistungen oder Zertifizierung umgesetzt werden. Dies sind alle Aspekte, die auch in Energiegemeinschaften relevant sein können. Energiegemeinschaften können seit 2021 umgesetzt werden und unterscheiden sich vor allem durch Größe und Initiator:innen. Von nachbarschaftlichen Modellen, über Regionen bis zu österreichweiten Energiegemeinschaften ist alles möglich. Um Energiegemeinschaften auch in Zukunft bei ihrem Beitrag zur Energiewende zu unterstützen, wird in der Arbeit aufgezeigt, welche Handlungsmöglichkeiten Raumplaner:innen haben und welchen Nutzen die Blockchain-Technologie haben kann.

Danksagung

Hiermit bedanke ich mich bei...

...Hartmut Dumke für die Betreuung meiner Diplomarbeit und die Unterstützung die Arbeit in die richtige Richtung zu bringen.

...allen Interviewpartnern, die sich Zeit genommen haben und mit ihrer fachlichen Expertise die Arbeit unterstützen konnten.

...meiner Familie, die mich während meiner Studienzzeit unterstützt hat. Im Besonderen meiner Mutter Maria, für das Korrekturlesen der Arbeit.

...allen Freunden und meiner Freundin Janina für Unterstützung und Ablenkung während der Studienzzeit.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	2
Kurzfassung	2
Danksagung	3
1. Einleitung	6
1.1 Ausgangslage und Erkenntnisinteresse	8
1.2 Forschungsfragen	9
1.3 Methodik	10
2. Wandel des Energiesektors	14
2.1 Ausgangslage in Österreich	16
2.2 Trends im Stromsektor	21
2.3 Zwischenfazit	25
3. Energiegemeinschaften	26
3.1 Rechtliche Grundlagen	28
3.2 Vorteile	30
3.3 Akteur:innen	31
3.4 Zwischenfazit	33
4. Grundlagen der Blockchain-Technologie	34
4.1 Ursprung der Blockchain	36
4.2 Informatische Grundlagen	36
4.3 Funktionsweise	39
4.4 Kategorisierung und Anwendungen	44
4.5 Stromverbrauch von Blockchains	47
4.6 Zwischenfazit	49
5. Anwendungen der Blockchain im Energiesektor	50
5.1 Peer-to-Peer Handel	52
5.2 Großhandel	55
5.3 Zertifizierung	56
5.4 Systemdienstleistungen	57
5.5 E-Mobilität	59
5.6 Finanzierung und Tokenisierung	60
5.7 Zwischenfazit	61
6. Globale Blockchain-Anwendungsfälle im Energiesektor	62
6.1 Häufigkeit der Anwendungsarten	64
6.2 Genutzte Blockchain	65
6.3 Zeitliche Entwicklung	66
6.4 Verortung der zeitlichen Entwicklung	69
6.5 Verortung der Anwendungsfälle	70
6.6 Zwischenfazit	71

7. Erfolgsfaktoren von Good-Practice-Projekten	72
7.1 Auswahl der Projekte	74
7.2 Soziale und technische Erfolgsfaktoren	78
7.3 Zwischenfazit	87
8. Status quo von Energiegemeinschaften	88
8.1 Stand in Österreich	90
8.2 Einteilung nach Initiator:innen	93
8.4 Zwischenfazit	101
9. Blockchain in Energiegemeinschaften	102
9.1 Forschungsprojekte	104
9.2 Praxis	106
9.3 Herausforderungen	108
9.4 Zwischenfazit	115
10. Vision	116
11. Handlungsmöglichkeiten der Raumplanung	128
11.1 Maßnahmenkatalog	130
11.2 Details	132
11.3 Zwischenfazit	137
12. Schlussfolgerungen	138
Verzeichnisse	148
Abkürzungen	150
Abbildungen	151
Tabellen	153
Rechtsquellen	153
Interviews	153
Literatur	154
Anhang	166
Interviewleitfaden	168
Kodierung	172
Quellen Kapitel 6	173



Einleitung

1.1 Ausgangslage und Erkenntnisinteresse

1.2 Forschungsfragen

1.3 Methodik

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage und Erkenntnisinteresse

Der Klimawandel und der daraus folgende Temperaturanstieg sind auf die hohe Nutzung von fossilen Energieträgern zurückzuführen. Um dagegen vorzugehen, ist im Pariser Klimaabkommen festgelegt, dass der Temperaturanstieg auf unter 2°C unter dem vorindustriellen Niveau gehalten werden soll. Dafür braucht es die Energiewende, die Zielsetzungen auf verschiedenen Ebenen hat. In Österreich soll bis 2030 der Strom bilanziell zu 100 % aus erneuerbaren Energien stammen und die Klimaneutralität soll bis 2040 erreicht werden. Dafür braucht es Maßnahmen zur Reduktion der Abhängigkeit von anderen Ländern, zur Diversifizierung der Energieversorgung und zur Sektorkopplung. Die Notwendigkeit der Zielerreichung wird verstärkt durch den Krieg in der Ukraine und die Rolle der Energieversorgung als kritische Infrastruktur. (vgl. Anderl et al. 2022, S. 5, 9-10; Europäische Kommission 2022a, S. 1, 13)

Klimawandel & Energiewende

In Österreich ist der Anteil an erneuerbaren Energien bei der Stromerzeugung bei ca. 80 %. Dies liegt an dem hohen Anteil an Wasserkraft im Westen Österreichs. Im 2021 beschlossenen Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz ist ein weiterer Ausbau um 27 TWh, v. a. durch Wind und Photovoltaik (PV), festgelegt. Dadurch ändert sich die räumliche Verteilung und Leistung der Erzeugungsanlagen und die Volatilität steigt durch die Wetterabhängigkeit. Im Wärmesektor ist der Anteil an erneuerbaren Energien um ca. 45 % geringer als im Stromsektor. Hier braucht es eine noch größere Reduzierung von Abhängigkeiten, Dekarbonisierung und Sektorkopplung, wodurch wiederum der Gesamtstromverbrauch steigt. (vgl. Albersmann et al. 2017, S. 13–14; BMK 2022a, S. 16, 23-24)

Ausbau von erneuerbaren Energien

Im Juli 2021 wurde das Erneuerbaren-Ausbau-Gesetzespaket, als Umsetzung des Clean Energy for all Europeans Package, erlassen. Dadurch gibt es die Möglichkeit, Erneuerbare-Energie-Gemeinschaften und Bürgerenergiegemeinschaften zu gründen. Energie kann gemeinsam, über die Grundstücksgrenze hinweg erzeugt, verbraucht, gespeichert und verkauft werden. Im Zuge dessen entstehen wirtschaftliche, ökologische und sozialgemeinschaftliche Vorteile. Prosument:innen können damit aktiver an der Energiewende teilnehmen, da es verschiedene Ausgestaltungsmöglichkeiten, von nachbarschaftlichen bis zu österreichweiten Projekten gibt. Infolgedessen gibt es veränderte Rollen der Akteur:innen im Energiesektor, mehr Teilnehmer:innen und mehr volatile Erzeugungsanlagen. Ab 2024 wird zusätzlich die Teilnahme an mehr als einer Energiegemeinschaft ermöglicht. Dadurch wird das System komplexer und es gibt höhere Anforderungen an eine transparente und faire Verteilung der Energiemengen. (vgl. § 79 Abs. 1-2 EAG; Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022b, S. 4; Yildiz et al. 2023)

Energiegemeinschaften

Blockchain

Für die Organisation, den Betrieb und die Abrechnung von Energiegemeinschaften kann die Blockchain-Technologie genutzt werden. Dies ist eine dezentrale und unveränderliche Datenbank, über die Transaktionen zwischen Teilnehmer:innen sicher und transparent aufgezeichnet werden können. Sie bietet Vorteile hinsichtlich Transparenz, Sicherheit, Dezentralisierung, Automatisierung durch Nutzung von Smart Contracts und ermöglicht eine Kommunikation zwischen vielen Teilnehmer:innen. Die ausschlaggebende Innovation für die Nutzung der Blockchain im Energiesektor war im Jahr 2016 das Brooklyn Microgrid. Dort wurde zum ersten Mal eine Stromtransaktion über die Blockchain durchgeführt. Dies hat den Anstoß für viele weitere Anwendungen im Energiesektor gegeben. (vgl. Fill und Meier 2020; Mengelkamp et al. 2017, S. 6–10)

Das Erkenntnisinteresse der Arbeit besteht darin, den aktuellen Wandel im Energiesektor genauer zu verstehen. Es soll gezeigt werden, wie die Blockchain-Technologie im Energiesektor eingesetzt werden kann und welche Vorteile sich daraus ergeben. Es geht auch darum den Status quo und die Herausforderungen von Energiegemeinschaften zu erfassen. Außerdem soll gezeigt werden, wie Energiegemeinschaften in Zukunft aussehen können und welche Rolle die Blockchain dabei spielen kann.

1.2 Forschungsfragen

Aus dem Erkenntnisinteresse ergeben sich eine Haupt-Forschungsfrage (FF0) und drei Sub-Forschungsfragen (FF1 - FF3):

Wie kann die Blockchain-Technologie für die Gründung und den Betrieb von Energiegemeinschaften genutzt werden und welche Rolle spielt die klimawandelgerechte Raumplanung dabei?

Sub-Forschungsfragen

Welche Blockchain-Anwendungsfälle im Energiesektor gibt es weltweit und was sind deren soziale und technische Erfolgsfaktoren?

Welche Rahmenbedingungen gibt es für die Umsetzung von Energiegemeinschaften mit Blockchain in Österreich?

Welche Arten von Energiegemeinschaften gibt es und mit welchen Maßnahmen kann die Raumplanung diese als Beitrag zur Energiewende unterstützen?

1.3 Methodik

Literaturrecherche

Für die ersten Kapitel der Arbeit wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um den theoretischen Rahmen zu geben, den aktuellen Forschungsstand aufzuzeigen und um das Wissen für die darauffolgenden Kapitel aufzubauen. Die Themen reichen von allgemeinen Recherchen zum Energiesektor bis hin zu spezifischeren Themen wie einzelne Anwendungen der Blockchain. Als Grundlage wurden Fachbücher und -zeitschriften, wissenschaftliche Paper, Whitepaper, Gesetze und Projektwebsites genutzt. Ein großer Anteil der Fachliteratur ist online zu finden, da es sich bei Blockchain und Energiegemeinschaften um ein neues und sich schnell wandelndes Thema handelt.

Quantitative Analyse von Anwendungsfällen und Energiegemeinschaften

Um einen Überblick über die globale Entwicklung von Blockchain-Anwendungsfällen im Energiesektor zu bekommen wurde eine statistische Projektanalyse durchgeführt. Das Ziel war eine Beschreibung von möglichst vielen Projekten, um Muster für eine repräsentative Aussage zu erkennen. Für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse musste überlegt werden, welche Aspekte relevant sind, da die Erhebungsmethode standardisiert war. (vgl. Burzan 2015, S. 21)

Nach der Vorgehensweise nach Burzan (2015) wurde zuerst das Thema präzisiert. Dabei wurde die Forschungsfrage genau definiert und welche Aspekte davon analysiert werden sollen. Als Grundlage dazu dienten auch die Ergebnisse der Literaturrecherche. Im nächsten Schritt ging es um die Operationalisierung. Die Internet-Recherche wurde als Erhebungsmethode ausgewählt und folgende Indikatoren wurden gebildet:

- Anwendungsart: Auswahl einer oder mehrerer Anwendungsarten aus dem Kapitel 5
- Land: Ort der Umsetzung
- Start: Jahr des Projektbeginns
- Ende: Jahr des Projektendes (falls vorhanden)
- Blockchain: Name der genutzten Blockchain

Danach wurde ein Pretest durchgeführt, ob die Erhebung gelingen kann. Im Anschluss daran begann die Recherche nach Anwendungsfällen. Ab dem 29. Juni 2022 wurden keine neuen Anwendungsfälle mehr aufgenommen. Im ersten Schritt der Datenerhebung wurden die Projekte zu den Kategorien nach Mougayar (siehe Kapitel 4.4) zugeordnet, um die Applikationen herauszufiltern. Im zweiten Schritt wurden die Anwendungsfälle hinsichtlich der Indikatoren analysiert.

Eine zweite quantitative Analyse wurde für den Stand der Energiegemeinschaften in Österreich durchgeführt. Die Daten wurden aus der Landkarte der Österreichischen Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften erhoben. Themen, die analysiert wurden, sind Art und Anzahl von Energiegemeinschaften, Verortung nach Bezirk, Erzeugungsart, Organisationsform und Größe.

Die Aufbereitung und Interpretation der beiden Analysenergebnisse durch die übersichtliche Darstellung von Häufigkeiten und Zusammenhängen mittels deskriptiver Statistik. Neben einer schriftlichen Beschreibung wurden die Ergebnisse mit Diagrammen und Karten dargestellt. (vgl. Burzan 2015, S. 22)

Good-Practice-Analyse

Im Kapitel 7 wurden 24 Projekte mit Blockchain im Energiesektor für eine Good-Practice-Analyse genauer recherchiert. Dafür geeignet waren Projekte mit umfangreichen Disseminationen. Die Dokumente wurden recherchiert, mit einem Fokus auf soziale und technische Erfolgsfaktoren. Die Erfolgsfaktoren wurden zu verschiedenen thematischen Bereichen zugeordnet und erklärt. Anschließend wurden die wichtigsten Faktoren hinsichtlich ihrer Relevanz bei allen Projekten bewertet.

Experteninterviews

Für eine tiefgehende Beantwortung der Forschungsfragen wurden Experteninterviews durchgeführt. Ein Experte im Kontext der Arbeit, war eine Person die Fach- und Erfahrungswissen aus der Praxis hat. Der Fokus bei den Interviews lag daher nicht auf der Person selbst, sondern auf dem Wissen und Erfahrungen. (vgl. Bogner et al. 2014, S. 9–14) Vor der Durchführung der teilstrukturierten Interviews wurde ein Leitfaden als Hilfsmittel erstellt. Dafür wurden zuerst Fragen im Bezug zur Forschungsfrage gesammelt und im nächsten Schritt gestrichen, wenn sie mit anderen Quellen ausreichend beantwortbar waren. Die übriggebliebenen Fragen wurden offen und erzählungsgenerierend formuliert und thematisch gegliedert. Je nach Experte konnten die Fragen abgeändert werden, da es jeweils einen anderen fachlichen Fokus gibt. Die genutzten Leitfäden befinden sich im Anhang der Arbeit. (vgl. Bogner et al. 2014, S. 27–34, 62–64)

Der Ablauf des Interviews hat mit einer Erklärung des Themas, der Ziele und dem Ablauf begonnen. Weiters wurde über die Weiterverwendung des Materials aufgeklärt. Der inhaltliche Abschnitt hat sich in drei themenspezifische Teile strukturiert. Der Fokus des ersten Teils lag beim thematischen Hintergrund der Experten, der zweite Teil bei dem Ist-Zustand und der dritte Teil bei Zukunftsperspektiven. Die letzten zwei Abschnitte waren jeweils in weitere Subthemen eingeteilt.

Die Interviews wurden im Zeitraum vom 01. Dezember 2022 bis zum 18. Jänner 2023 durchgeführt. Als Methode wurde Zoom und Microsoft Teams gewählt, da es ortsunabhängig ist und einen geringen Zeitaufwand für die Experten hatte. Die Dauer des inhaltlichen Teiles der Interviews variierte zwischen 24 und 35 Minuten.

Nach Abschluss der Interviews wurde jeweils ein Transkript erstellt. Als Hilfsmittel wurde dafür sonix.ai, für eine erste automatisierte Transkription, und oTranscribe, für Korrekturen, verwendet. Der Fokus des Transkriptes lag auf dem Inhalt des Interviews, weshalb Wortwiederholungen, Räuspern, Stottern oder ähnliches hinausgestrichen wurden. (vgl. Bogner et al. 2014, S. 42)

Für die Auswahl der Expert:innen wurden unterschiedliche Personen mit Bezug zu Blockchain im Energiesektor und Energiegemeinschaften kontaktiert. Insgesamt wurden sechs Interviews mit folgenden sieben Personen durchgeführt:

DI Dr. **Mark Stefan** BSc. ist seit 2014 am Austrian Institute of Technology (AIT) als Senior Research Engineer am Center for Energy, in der Abteilung Electric Energy Systems angestellt. Der Ausbildungshintergrund ist Informatik. Die beruflichen Themenbereiche liegen bei Digitalisierungsaspekten im Energiesystem, mit einem Fokus auf das Stromnetz, Energiegemeinschaften, Blockchain und Peer-to-Peer Trading. Erfahrungen mit Blockchain und Energiegemeinschaften stammen aus verschiedenen Projekten, wie z. B. Blockchain Grid, SonnWende+, CLUE, Peer-to-Peer im Quartier und Local RES.

DI Dr. **Gregor Taljan** arbeitet seit 2010 bei den Energienetzen Steiermark, war zuerst in der Netzplanung tätig und ist seit 2014 Fachreferent für Smart Grids. Der Ausbildungshintergrund ist Elektrotechnik. Der berufliche Fokus liegt bei Forschungs- und Entwicklungsthemen, wie z. B. Netzsteuerungsalgorithmen, Smart Grid Maßnahmen, regelbare Ortsnetztrafos und Speichertechnologien. Erfahrungen mit Blockchain und Energiegemeinschaften stammen aus Projekten, wie Blockchain Grid und CLUE, und von der Auseinandersetzung mit Energiegemeinschaften aus der Sicht eines Netzbetreibers.

DI **Stephan Heidler** ist Referent des Klima- und Energiefonds und seit 2021 Teil der Österreichischen Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften. Der Ausbildungshintergrund ist Umwelt- und Bioressourcenmanagement, mit einem Fokus auf Klima und Energie im Master. Die Hauptaufgaben liegen in der fachlichen Begleitung der Energiegemeinschaften, durch Informationsbereitstellung, dem Austausch mit Stakeholdern und der Zusammenarbeit mit den Energieberatungsstellen der Bundesländer.

DI **Markus Puchegger** BSc ist seit 2015 Senior Researcher bei Forschung Burgenland, einer Tochter der Fachhochschule Burgenland. Der Ausbildungshintergrund ist Energie- und Umweltmanagement und Nachhaltige Energiesysteme. Als Leiter der Forschungsgruppe Energy Transition liegen die Schwerpunkte im Bereich der Energiewende, mit technologischen, energiewirtschaftlichen und sozialwissenschaftlichen Lösungsansätzen. Genauer geht es um Smart Buildings, Smart Grids, Smart Cities, Demand Side Management, Energiespeicher und PV. Er ist Teil der Plattform Energiegemeinschaften für das Burgenland.

Konstantin Geiger MSc ist seit 2021 als Experte für urbane erneuerbare Energien bei Urban Innovation Vienna. Der Ausbildungshintergrund ist Ökonomie und ein Fokus auf Energiewirtschaft. **Mika Hasselbring** MSc ist seit 2022 Junior Energy Expert bei Urban Innovation Vienna, mit dem Ausbildungshintergrund Stadtplanung. Gemeinsam sind sie Teil der Plattform Energiegemeinschaften für Wien und zuständig für strategische Arbeit, Beratung und Begleitung der ersten Projekte.

Fionn Herold BSc BEd MA ist zuständig für den Fachbereich Energiegemeinschaften beim Salzburger Institut für Raumordnung und Wohnen. Der Ausbildungshintergrund ist Ressourcenmanagement, Nachhaltigkeitsmanagement und Umweltbildung und -beratung. Als Teil der Plattform Energiegemeinschaften, liegen die Aufgabenbereiche im Austausch mit der Koordinationsstelle, in der Beratung und Information für Salzburg und Unterstützung bei der Umsetzung.

Qualitative Inhaltsanalyse

Für die Auswertung der Interviews wurde eine qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) durchgeführt. Den Korpus bildeten die Transkriptionen der sechs Experteninterviews. Diese wurden vor der Inhaltsanalyse durchgelesen und relevante Notizen konnten in Memos festgehalten werden. Abgeleitet aus dem Forschungsinteresse wurde ein Kategoriensystem mit Hauptkategorien und Unterkategorien gebildet (siehe Anhang). Die Kategorien wurden einmal getestet und bei Bedarf überarbeitet. (vgl. Mayring 2015, S. 54–55, 97–101) Danach erfolgte die Analyse mit dem Programm QDA-Miner. Dort konnten die Kategorien eingetragen und passende Textstellen markiert werden. Als kleinste Kodiereinheit wurde ein Satzteil ausgewählt und als größte ein Absatz. Nach Fertigstellung wurden die kodierten Abschnitte nach den Haupt- und Unterkategorien geordnet in einer Tabelle dargestellt. Für die Extraktion der wichtigsten Informationen wurde eine Paraphrasierung, Generalisierung und Reduzierung durchgeführt. Danach wurden die Ergebnisse zusammengefasst, um die Forschungsfragen zu beantworten. (vgl. Mayring 2015, S. 70–72)

Vision und Maßnahmenkatalog

Für einen Ausblick auf die Zukunftsperspektive von Energiegemeinschaften in Österreich wurde eine Vision erstellt. Sie soll ein Leitbild für eine zukunftsorientierte Entwicklung darstellen, in welcher Energiegemeinschaften in ihrer Anzahl steigen und ihren Beitrag zur Energiewende vergrößern. Mittels textlicher und grafischer Darstellungen wurde die Vision anschaulich gemacht und drei Perspektiven vorgestellt. Im finalen Kapitel werden raumplanerische Maßnahmen vorgestellt, die die Entwicklung von Energiegemeinschaften in Richtung der Vision unterstützen können. Außerdem werden Abhängigkeiten und Zusammenhänge zu anderen Materien aufgezeigt.

Kapitel	Methode	Ergebnis	FF
Wandel des Energiesektors	Literaturrecherche	Ausgangslage des österreichischen Energiesektors, Trends	FF2
Energiegemeinschaften	Literaturrecherche	Grundlagenwissen über Energiegemeinschaften	FF2
Grundlagen der Blockchain-Technologie	Literaturrecherche	Technischer Überblick über die Blockchain-Technologie	FF1
Anwendungen der Blockchain im Energiesektor	Literaturrecherche	Vorstellung von sechs Anwendungsarten inkl. Praxisbeispielen	FF1
Globale Blockchain-Anwendungsfälle im Energiesektor	Quantitative Analyse	Analyse von 207 Anwendungsfällen (Anwendungsart, genutzter Blockchain, zeitlicher Entwicklung und Verortung)	FF1
Erfolgsfaktoren von Good-Practice-Projekten	Good-Practice-Analyse	Vorstellung von sozialen und technischen Erfolgsfaktoren von 24 Projekten, Bewertung der Relevanz	FF1
Status quo von Energiegemeinschaften	Literaturrecherche, Quantitative Analyse, Experteninterviews, Qualitative Inhaltsanalyse	Analyse von aktiven Energiegemeinschaften (Anzahl, Art, Verortung, Organisation und Teilnehmer:innen), Einteilung nach Initiator:innen inkl. Praxisbeispielen	FF3
Blockchain in Energiegemeinschaften	Literaturrecherche, Experteninterviews, Qualitative Inhaltsanalyse	Überblick über Forschungsprojekte und Praxis der Anwendung der Blockchain in Energiegemeinschaften, Herausforderungen	FF0 FF2
Vision 2033	Vision	Vorstellung von sechs Visionen für Energiegemeinschaften, Storytelling von Zukunftsperspektiven	FF3
Handlungsmöglichkeiten der Raumplanung	Maßnahmenkatalog, Literaturrecherche	Darstellung von Planungsmaßnahmen, um Energiegemeinschaften hinsichtlich der Vision zu unterstützen	FF0 FF3

Tab. 1: Methodik und Aufbau der Arbeit, eigene Darstellung

2

Wandel des Energiesektors

2.1 Ausgangslage in Österreich

2.2 Trends im Stromsektor

2.3 Zwischenfazit

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

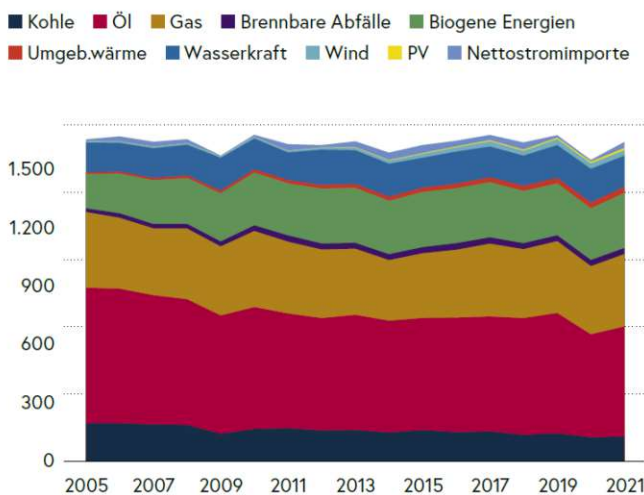
2. Wandel des Energiesektors

2.1 Ausgangslage in Österreich

Der Klimawandel und der daraus folgende Temperaturanstieg sind auf die hohe Nutzung von fossilen Energieträgern zurückzuführen. Österreich ist dabei im globalen Durchschnitt stark betroffen, mit einem Anstieg der Temperaturen um das Doppelte. Um dagegen vorzugehen ist im Pariser Klimaabkommen festgelegt, dass der Anstieg auf unter 2° C unter dem vorindustriellen Niveau gehalten werden soll. Wenn möglich, soll er auf 1,5° C beschränkt werden. (vgl. Anderl et al. 2021, S. 5; Fechner 2020, S. 11) Um die Klimaziele zu erreichen und die Erderwärmung zu vermindern, braucht es die Energiewende. Der Energiesektor spielt eine wichtige Rolle, da 44 % der Treibhausgasemissionen auf Energie und Industrie fallen. (vgl. Anderl et al. 2021, S. 10)

Neben den globalen Zielsetzungen gibt es Ziele im europäischen und im nationalen Recht. Auf europäischer Ebene sollen bis 2030 die Emissionen um mindestens 55 % reduziert werden und bis 2050 soll die EU, mit dem Fit for 55 Paket, klimaneutral sein. Für Österreich bedeutet das eine Reduktion um 48 % bis 2030, im Vergleich zum Jahr 2005. Umgesetzt wird dies in einer Langfriststrategie und im nationalen Energie- und Klimaplan. Österreich hat sich zusätzlich vorgenommen, bereits bis 2040 die Klimaneutralität zu erreichen. (vgl. Anderl et al. 2021, S. 9–10) Im Stromsektor gibt es die #mission2030. Bis 2030 soll der nationale Stromverbrauch bilanziell zu 100 % aus erneuerbaren Energiequellen stammen. Außerdem soll die Sektorkopplung vorangetrieben und die Versorgungssicherheit verbessert werden. (vgl. BKA 2020, S. 78) Der Krieg in der Ukraine hat starke Auswirkungen auf den Energiemarkt. Um dem entgegenzuwirken, gibt es seit Mai 2022 den REPowerEU-Plan, mit dem die Versorgungssicherheit, durch eine Reduzierung der Abhängigkeit von russischem Gas, verbessert werden soll. Der Plan beinhaltet Maßnahmen zur Diversifizierung der Versorgung, zu Energiesparen und zum beschleunigten Ausbau von erneuerbaren Energien, z. B. durch Verkürzung von Genehmigungszeiten. (vgl. Europäische Kommission 2022b, S. 1,13)

Abb. 4: Bruttoinlandsverbrauch nach Energieträgern in Petajoule 2005–2021



Wachstum und Rückgang der Energieträger

	p.a. 2005–2021	2020–2021
+35,8% .. PV	+37,5%	
+10,7% .. Wind	-0,8%	
+6,8% .. Nettostromimporte ..	+243,5%	
+8,1% .. Umgebungswärme ..	+5,5%	
+3,2% .. Brennbare Abfälle ..	-0,9%	
+3,0% .. Biogene Energien ..	+6,7%	
+0,3% .. Wasserkraft	-7,7%	
-0,3% .. Gas	+6,2%	
-1,3% .. Öl	+6,8%	
-2,7% .. Kohle	+3,8%	

-0,1% p.a.

Bruttoinlandsverbrauch 2005–2021

Abbildung 1: Bruttoinlandsverbrauch, BMK 2022a

Beim Bruttoinlandsverbrauch für alle Energieformen gibt es noch einen hohen Anteil an fossilen Energieträgern (siehe Abbildung 1). Der Großteil der fossilen Energie kommt durch Importe aus anderen Staaten. Der Anteil an erneuerbaren Energien am Bruttoinlandsverbrauch liegt bei 33,6 %. Österreich ist damit im Spitzenfeld der EU, wo der Durchschnitt bei 18,9 % liegt. Im Vergleich zu anderen Mitgliedsländern der EU ist der Anteil größer, da es einen hohen Anteil an Wasserkraft und keine Kernenergie gibt. Um 2040 die Klimaneutralität zu erreichen, sind noch massive Zuwächse an erneuerbaren Energien notwendig. Im Tempo der letzten Jahre wird eine Zielerreichung nicht möglich sein. (vgl. BMK 2022a, S. 12, 26)

Die Importabhängigkeit von fossilen Energieträgern zeigt sich in der Primärenergieerzeugung (siehe Abbildung 2). Der Anteil an erneuerbaren Energien liegt hier bei etwa 85 % und steigt noch weiter. Den größten Anteil machen aktuell biogene Energien und Wasserkraft aus. Photovoltaik und Windenergie haben den stärksten Zuwachs. (vgl. BMK 2022a, S. 14)

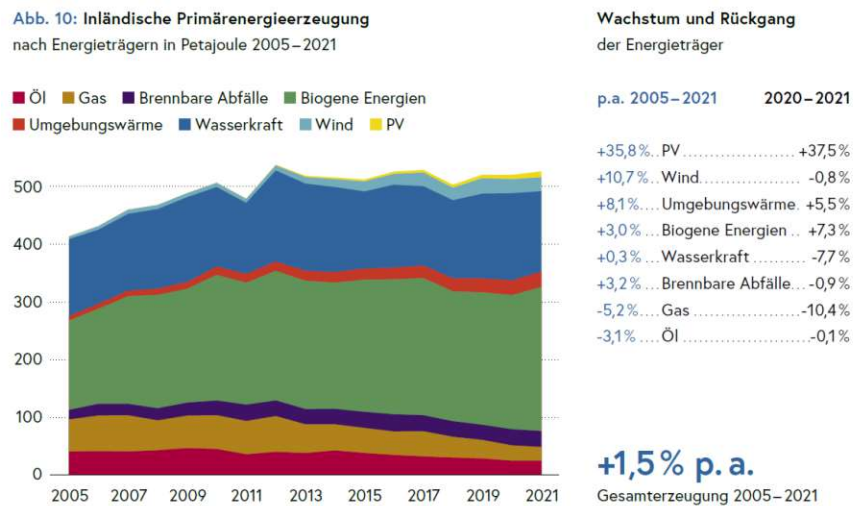


Abbildung 2: Inländische Primärenergieerzeugung, BMK 2022a

Strom

Betrachtet man die Stromerzeugung im Detail ist erkennbar, dass der Anteil an erneuerbaren Energien bei ca. 80 % liegt. Die höchste Erzeugungsleistung kommt aus der Wasserkraft. Drei Viertel davon entfallen auf Laufkraftwerke zur Stromerzeugung und ein Viertel auf Speicherkraftwerke zur Bereitstellung bei Engpässen. Fossile Energiequellen werden immer weniger, v. a. Windkraft und Photovoltaik wachsen in den letzten zehn Jahren. Im Vergleich zu anderen Staaten ist der Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttostromerzeugung bereits hoch, jedoch muss dieser bis 2030 noch weiter erhöht werden. (vgl. BMK 2022a, S. 16, 19)

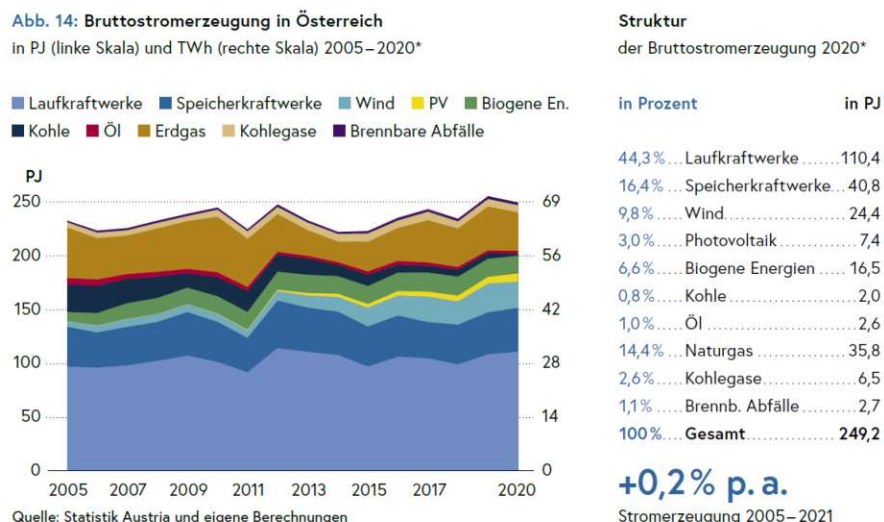


Abbildung 3: Bruttostromerzeugung, BMK 2022a

Die räumliche Verteilung der Erzeugung von erneuerbaren Energien ist in Österreich durch die Topografie geprägt. Während sich im Osten 98 % der Windenergie- und 64 % der Photovoltaikerzeugung befinden, gibt es im Westen v. a. Wasserkraft, in der Form von Laufwasserkraftwerken an größeren Flüssen und Pumpspeicherkraftwerken in den Alpen. Beispielsweise gibt es in den Bundesländern Salzburg, Tirol und Vorarlberg bis jetzt keine Windkraftanlagen. (vgl. APG 2013, S. 23; BMK und Klima- und Energiefonds 2020, S. 3; vgl. BMK 2022a, S. 22, 45) In den Bundesländern ist der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung unterschiedlich. In Kärnten, Salzburg, Tirol und im Burgenland werden bilanziell 100 % des Stroms durch erneuerbare Energien erzeugt. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Erzeugung jeden Tag im Jahr dadurch gedeckt ist, sondern bilanziell auf das gesamte Jahr verteilt. Je nach Erzeugungsleistung werden Überschüsse exportiert und Defizite werden durch Importe gedeckt. Für die effiziente Durchführung braucht es intelligente Netze. In Kärnten, Salzburg und Tirol sind es 86 – 95 % Wasserkraft. Im Burgenland überwiegt die Stromerzeugung durch Wind, mit 88,8 %. Dies ist ein Drittel der Windenergie von Gesamtösterreich. In Niederösterreich wird 91,7 % aus erneuerbaren Energien erzeugt, davon 32 % Windenergie und 57,1 % Wasserkraft. In Vorarlberg (80,5 % erneuerbare Energie), Oberösterreich (74,1 % erneuerbare Energie) und der Steiermark (50,2 % erneuerbare Energie) wird der Großteil durch Wasserkraft erzeugt. Den geringsten Anteil an erneuerbarer Energieerzeugung hat Wien, mit 15 %. (vgl. BMK und Klima- und Energiefonds 2020, S. 4; vgl. BMK 2022a, S. 45–54)

In Bezug zur Versorgungssicherheit liegt Österreich im Vergleich zu anderen europäischen Ländern an der Spitze. Bei Versorgungsunterbrechungen kann zwischen geplanten, welche 49,45 % ausmachen, und ungeplanten Unterbrechungen unterschieden werden. Letztere können durch das Wetter, durch Fremdeinwirkung oder auch Ausfälle in anderen Netzen entstehen. Im Jahr 2021 hatten die Monate Juni, Juli und August die meisten Ausfälle. Grund dafür waren starke Stürme und Starkregen. Die Dauer der Versorgungsunterbrechungen ist trotzdem gering. 2020 lag die kundenbezogene Nichtverfügbarkeit bei 37,06 Minuten pro Jahr. (vgl. Haber und Urbanitsch 2022, S. 13–18)

Die Stromkosten sind jeweils abhängig von Verbrauch, Lieferanten und Wohnort. Der Preis setzt sich aus drei Aspekten zusammen, deren Zusammensetzung

sich in den letzten Monaten durch den Ukraine-Konflikt verändert hat. Der Anteil der stark gestiegen ist, ist der tatsächliche Preis für die Stromlieferung, welcher von 45 % im Jänner 2022 auf 55 % im Jänner 2023 gestiegen ist. 23 % entfallen auf Netzkosten, wie das Messentgelt, Netznutzungsentgelt und Netzverlustentgelt und 22 % sind Abgaben für Ökostrombeiträge, Gebrauchsabgabe, Elektrizitätsabgabe und Umsatzsteuer. (vgl. PwC Österreich 2016, S. 12; E-Control 2023)



Abbildung 4: Netzebenen, eigene Darstellung nach Merz 2019

Das Stromnetz teilt sich in sieben verschiedene Netzebenen, die jeweils ein unterschiedliches Spannungsniveau haben (siehe Abbildung 4). Die oberste Ebene bildet das Höchstspannungsnetz (380 kV, 220 kV). Hier erfolgt die Einspeisung von Großkraftwerken und der nationale und internationale Stromtransport über weite Distanzen für die europäische Versorgungssicherheit. Auf der zweiten Netzebene erfolgt die Umspannung

zwischen Höchst- und Hochspannungsnetz. Im Hochspannungsnetz (110 kV) erfolgt eine Einteilung zur überregionalen Versorgung, mittelgroße Kraftwerke speisen ein und es gibt erste industrielle Abnehmer. Auf der vierten Netzebene erfolgt die Umspannung zwischen Hoch- und Mittelspannungsnetz. Im Mittelspannungsnetz (1 – 36 kV) erfolgt die regionale Verteilung für mehrere Ortschaften oder Stadtteile. Außerdem erfolgt die Einspeisung durch städtische Kraftwerke und die Abnahme durch Industriebetriebe. Die sechste Netzebene umfasst Transformatoren für die Umspannung auf das Niederspannungsnetz (400 V). Hier befinden sich die lokalen Verteilnetze für die Endverbraucher:innen in Haushalten, die in den Gebäuden mit 230 V versorgt werden. Energiegemeinschaften befinden sich in den Netzebenen 4-7, wodurch die Anzahl an Erzeugungsanlagen in niedrigeren Netzebenen steigt. (vgl. Merz 2019, S. 148)

Der überregionale Stromtransport erfolgt mit dem Übertragungsnetz. Für die kleinteiligere Zuteilung sind die 124 Verteilnetzbetreiber:innen zuständig. Die Verteilnetze können sich untereinander stark unterscheiden, beispielsweise hinsichtlich Kund:innenzahl und -struktur, Größe des Gebietes, Topografie, Bebauungsstrukturen, Netztopologie und Ausbauständen von erneuerbaren Energien. (vgl. APG 2013, S. 15; Oesterreichs Energie 2020, S. 6–8)

In Europa gibt es das ENTSO-E-Netz (European Network of Transmission System Operators for Electricity), als Dachorganisation der europäischen Übertragungsnetzbetreiber:innen. Früher gab es einzelne nationale Netze, die heute zu einem europäischen Verbundnetz mit 35 Ländern und 39 Übertragungsnetzbetreiber:innen zusammengeschlossen sind. Durch die Strommarktliberalisierung und den Zuwachs an erneuerbaren Energien steigen auch die Herausforderungen an die Netze. Daher ist eine gesamteuropäische Koordination wichtig für die Sicherheit und das Gleichgewicht in den Stromnetzen. Das ENTSO-E-Netz besteht aus fünf Netzgebieten, wobei Continental Europe den größten Teil ausmacht. Zusätzlich gibt es noch das nordische Netz, mit Schweden, Finnland und Norwegen, das baltische Netz, mit Litauen, Lettland und Estland, und weitere Netze für Großbritannien und Irland. (vgl. APG o. J., S. 1; Westphal et al. 2021, S. 14) Seit dem 16. März 2022 sind die Übertragungsnetze der Ukraine und von Moldawien ebenfalls mit dem europäischen Netz synchronisiert, da sie sich im Inselbetrieb befunden haben und nicht mehr im russischen Netz aufgenommen wurden. (vgl. ENTSO-E 2022)

Österreich liegt in der Mitte des europäischen Netzes und spielt eine wichtige Rolle für den Betrieb. Es gibt zwei Unternehmen, die Austrian Power Grid AG (APG) und die Vorarlberger Übertragungsnetz GmbH. Jedoch fungieren sie als zusammengefasste Regelzone mit APG als Leitung. Die Aufgaben sind Frequenzhaltung, Koordination der Erzeugungsanlagen und Sicherstellung der Versorgungssicherheit mit Regel-, Ausgleichs- und Reserveleistungen. Ein großes Projekt ist die Schließung des 380 kV Rings, mit der Salzburgleitung und der Verstärkung der Netze in Kärnten, um auf zukünftige Herausforderungen vorbereitet zu sein. (vgl. APG und VÜN 2021, S. 163; APG 2013, S. 4, 12, 25-26; Oesterreichs Energie 2020, S. 6–8)

Wärme

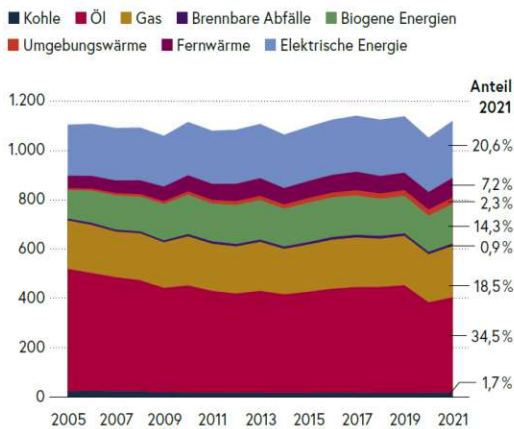
Neben Strom kann auch Wärme eine Rolle bei Energiegemeinschaften spielen. In der aktuellen Praxis liegt der Fokus auf Strom, aber auch im Wärmesektor müssen Schritte zur Dekarbonisierung gemacht werden. Angetrieben durch den Krieg in der Ukraine ist erkennbar, dass die Versorgungssicherheit abhängig durch Importe aus einzelnen Ländern ist. Betroffen davon sind 53 % des energetischen Endverbrauchs (siehe Abbildung 5). (vgl. BMK 2022a, S. 35, 37) Im Vergleich zur Stromerzeugung ist der Anteil an fossilen Energien im Wärmesektor größer. Beispielsweise liegt der Anteil an erneuerbaren Energien bei der Fernwärmeerzeugung knapp unter 60 %, mit einem steigenden Trend durch biogene Energien. (vgl. BMK 2022a, S. 16; Anderl et al. 2022, S. 112) Auch in anderen Bereichen der Wärmeerzeugung steigt der Anteil an erneuerbaren Energien. Die Nutzung von Umgebungswärme steigt, da sich die Anzahl an Wärmepumpen seit 2005 versechsfacht hat. (vgl. BMK 2022a, S. 13, 17, 20, 23) Erneuerbare Gase werden für die zukünftige Wärme- und Stromversorgung eine Rolle spielen. Ein Schritt dafür ist das neue Erneuerbares-Gas-Gesetz, welches den Ausbau der Biogasproduktion zur Reduktion von Importabhängigkeiten festlegt. (vgl. BML o. J.)

Im Wärmesektor spielt auch die Reduktion des gesamten Verbrauchs eine Rolle, z. B. durch thermische Sanierungen oder energieeffiziente Neubauten. Durch steigende Temperaturen im Winter sinkt der Wärmebedarf, jedoch steigt im Gegenzug der Kühlungsbedarf im Sommer. Im Vergleich zum Stromnetz sind Wärmenetze sehr unterschiedlich aufgebaut, da sie abgeschlossene Systeme sind. Im Zuge der Dezentralisierung gewinnen Nahwärmenetze und gebäudeinterne Systeme an Bedeutung. Auch im Wärmesektor braucht es mehr Veränderungen, um die Energieziele zu erreichen. Der Anteil an erneuerbaren Energien in der Wärmeversorgung steigt und es gibt Einsparmaßnahmen. Jedoch ist das Tempo zu langsam. (vgl. Anderl et al. 2022, S. 160; Deutsch et al. 2019, S. 6–7)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Abb. 16: Energetischer Endverbrauch nach Energieträgern in Petajoule 2005–2021

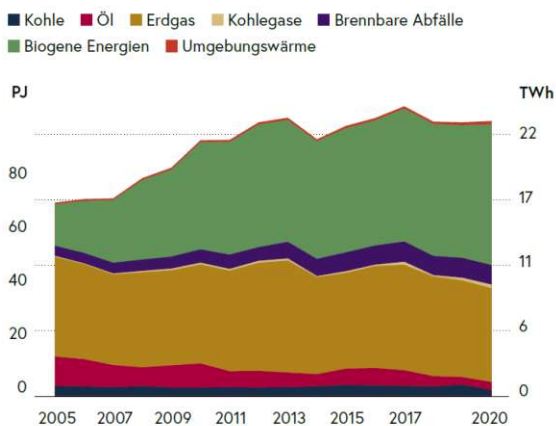


Wachstum und Rückgang der Energieträger

p.a. 2005–2021	2020–2021
+8,2% ... Umgebungswärme	+4,3%
+2,0% ... Biogene Energien	+9,4%
+2,9% ... Fernwärme	+12,0%
+1,9% ... Brennbare Abfälle	+0,1%
+0,7% ... Strom	+4,9%
+0,4% ... Gas	+7,1%
-1,6% ... Öl	+5,2%
-1,7% ... Kohle	+4,8%

+0,1% p.a.
Energetischer Endverbrauch gesamt 2005–2021

Abb. 15: Fernwärmeerzeugung nach Energieträgern in PJ (linke Skala) und TWh (rechte Skala) 2005–2020*



Struktur der Fernwärmeerzeugung 2020*

(This table is included in the figure above for completeness)

Abbildung 5: Energetischer Endverbrauch, BMK 2022a

Abbildung 6: Fernwärmeerzeugung nach Energieträgern, BMK 2022a

2.1 Ausgangslage in Österreich

Durch die Energiewende und den damit einhergehenden Veränderungen im Stromsektor kommt es zu neuen Herausforderungen. Der Stromsektor entwickelt sich genauso wie andere Technologien weiter. Während es im 20. Jahrhundert v. a. um Informations- und Kommunikationstechnologien zur Modernisierung, Automatisierung und Speicherung von Daten ging, geht es im 21. Jahrhundert immer mehr um disruptive Technologien für Autonomisierung, Flexibilisierung und Individualisierung. (vgl. Pauritsch et al. 2017, S. 10–11) Die sich daraus ergebenden Trends lassen sich in die vier D's, Dekarbonisierung, Dezentralisierung, Digitalisierung und Demokratisierung, einteilen (siehe Abbildung 7). Zu beachten ist, dass die vier Themen miteinander vernetzt sind und nicht nur isoliert zu betrachten sind.

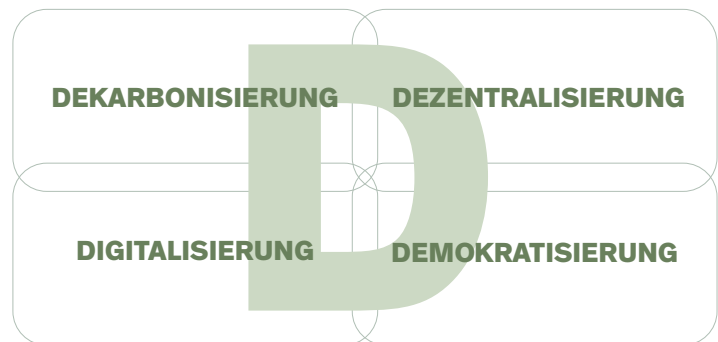


Abbildung 7: Die vier D's, eigene Darstellung

Dekarbonisierung

Die Dekarbonisierung des Stromsektors ist ein wichtiger Schritt, um die internationalen und nationalen Energieziele zu erreichen. Damit bis 2030 der nationale Stromverbrauch bilanziell 100 % aus erneuerbaren Energien ist, muss die erneuerbare Energieproduktion von 55,7 TWh auf 82,7 TWh gesteigert werden, also um 27 TWh. Im Detail betrifft der Ausbau Solarenergie um 11 TWh, Windkraft um 10 TWh, Wasserkraft um 5 TWh und Biomasse um 1 TWh (siehe Abbildung 8). (vgl. BMK 2021, S. 24; Oesterreichs Energie 2020, S. 4) Die größten Ausbaupotenziale liegen in der Windkraft und bei Photovoltaik. V. a. letzteres steigt schnell an. In den letzten 16 Jahren ist die PV-Leistung um 34,75 % pro Jahr gestiegen. Ein wichtiger Beitrag dazu sind Förderungen und Ziele der Bundesregierung, wie das 1-Million-Dächer-Programm. Der gesamte Ausbau der Wasserkraft um 5 TWh betrifft Projekte, die bereits in Planung oder im Bau sind. (vgl. Allhutter et al. 2022, S. 58; BMK 2022a, S. 21–22)

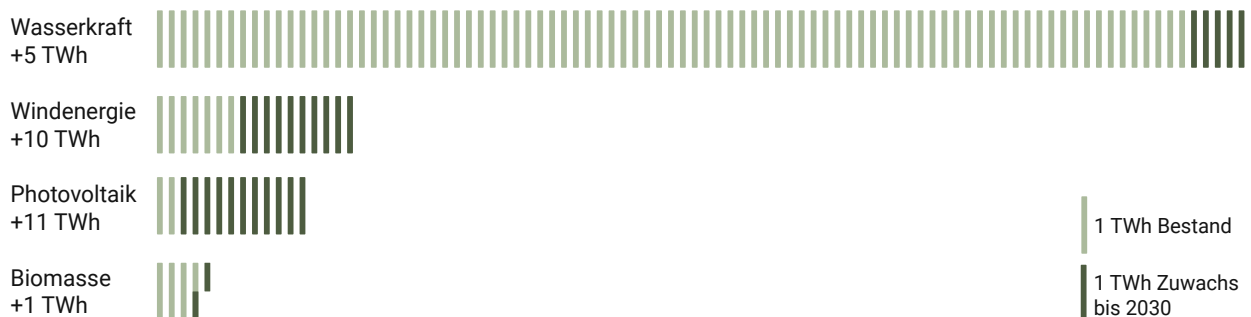


Abbildung 8: Ausbau von erneuerbaren Energien bis 2030, eigene Darstellung nach Oesterreichs Energie o. J.

Da die Dekarbonisierung auch Verkehr, Wärme und Industrie betrifft kommt es zu einem höheren Strombedarf durch Sektorkopplung. Durch die Elektrifizierung steigt der gesamte Verbrauch weiter an. Allein zwischen 1990 und 2020 ist der Stromverbrauch von 48,8 TWh auf 71,4 TWh gestiegen. Auch die Ladeinfrastrukturen für die E-Mobilität stellen die unteren Verteilnetzebenen vor neue Herausforderungen, da die Neuzulassungen von E-Fahrzeugen stark ansteigen. (vgl. Albersmann et al. 2017, S. 14; Oesterreichs Energie 2020, S. 4; Anderl et al. 2022, S. 108; BMK 2022a, S. 33)

Aufgrund des Umstiegs auf erneuerbare Energien gibt es zwei Herausforderungen. Erstens kommt es zu einer höheren Abhängigkeit von Sonne und Wind. Dadurch ist die Erzeugung volatiler und unterliegt zeitlichen und saisonalen Schwankungen. Zweitens gibt es mehr Erzeugungsanlagen, die koordiniert werden müssen, um Erzeugung und Verbrauch im Gleichgewicht zu halten. Außerdem befinden sie sich, ausgenommen von größeren Windparks, auf niedrigeren Netzebenen. Durch die erhöhte Komplexität braucht es eine Vereinfachung und Automatisierung der Prozesse durch digitale Technologien. (vgl. Albersmann et al. 2017, S. 14–15; Reetz 2019, S. 5) Durch die veränderte Netzauslastung steigt die Notwendigkeit von Engpassmanagement. Im Jahr 2020 wurden an 300 Tagen Redispatch-Maßnahmen durchgeführt. Das führt zu Kosten in der Höhe von 132 Mio. Euro, welche sich in steigenden Netzkosten widerspiegeln. (vgl. APG und VÜN 2021, S. 45) Eine weitere Veränderung durch die Dekarbonisierung und die daraus folgende Volatilität ist der Wandel am Strommarkt vom Terminmarkt zum Spotmarkt. Das heißt, dass der Handel kurzfristiger wird und mehr Day-Ahead, für den folgenden Tag, und Intraday, für den laufenden Tag, stattfindet. (vgl. APG 2013, S. 41)

Bei zunehmender Stromherkunft aus erneuerbaren Energien werden Speichertechnologien für Flexibilitäten erforderlich. Da die Speicherung von Strom langfristig schwierig ist, braucht es Umwandlungen. Bereits jetzt präsent in Österreich ist die Nutzung von Pumpspeicherkraftwerken, die bei zu hoher Stromerzeugung Wasser in Stauseen pumpen und bei Strombedarf die potenzielle Energie wieder in Strom umwandeln. Zusätzlich gibt es Akkus zur Stromspeicherung, dieser Bereich wächst, angetrieben von der E-Mobilität und Heimspeichern. Außerdem gibt es die Power-to-X Technologien. Bei Power-to-Heat wird Strom in Wärme umgewandelt und bei Power-to-Gas in Wasserstoff, mit einer Nutzung der bestehenden Erdgasinfrastruktur. Der Anteil von erneuerbarem Gas für Strom- und Wärmeerzeugung soll auch bis 2030 um 5 TWh erhöht werden. (vgl. BMK und Klima- und Energiefonds 2021, S. 2 6, 12; BMK 2022a, S. 24)

Dezentralisierung

Durch den Trend der Dekarbonisierung und dem Umstieg auf erneuerbare Energieträger wird der Strom nicht mehr in wenigen größeren Kraftwerken

erzeugt, sondern in kleineren Anlagen, die räumlich anders verteilt sind und eine volatilere bzw. weniger prognostizierbare Erzeugungsleistung haben. Die Einspeisung erfolgt, anders als im Übertragungsnetz durch Großkraftwerke, auf anderen Netzebenen. Windparks und Wasserkraft befinden sich im Hochspannungsnetz. Größere PV-Anlagen, einzelne Windkraftwerke und auch Biomasseanlagen sind im Mittelspannungsnetz angeschlossen. Ein großer Anteil an Ausbau passiert auch durch Privathaushalte, mit einem Fokus auf PV-Anlagen in der Verteilnetzebene. Durch diese Veränderung kommt es zu großen Herausforderungen für die Organisation des Stromnetzes, da die Lastflüsse nicht mehr unidirektional von Erzeugungsanlagen zu Verbraucher:innen gehen, sondern multidirektional auf allen Netzebenen. Es braucht eine intelligente Vernetzung der Anlagen, um Netzstabilität zu gewährleisten, Schwankungen auszugleichen und Flexibilitäten bereitzustellen. (vgl. Albersmann et al. 2017, S. 13–14; Bauknecht et al. 2015, S. 8–10; Oesterreichs Energie 2020, S. 4; PwC Österreich 2016, S. 38–41)

Es kommt zu einem Wandel von einer „verbrauchsorientierten Erzeugung“ zu einem „erzeugungsorientiertem Verbrauch“ (Weyer 2019, S. 83). Größere erneuerbare Anlagen richten sich im Vergleich zu konventionellen Kraftwerken nicht nach der Nähe zu Verbrauchszentren, sondern sind dort platziert, wo die höchste Erzeugungsleistung stattfinden kann und sind abhängig von den physikalischen Treibern Wind und Sonne. Sie haben eine geringere Energiedichte, deshalb sollten sie möglichst nah und zeitgleich verbraucht werden, um Verluste beim Transport zu vermeiden. Dadurch kommt es zu veränderten Flächenbedarfen und möglichen Nutzungskonflikten. Wenn die Erzeugung ansonnigen und windigen Tagen sehr hoch ist, braucht es Speichertechnologien für eine effiziente Nutzung. Bei kleinen Anlagen, z. B. auf Dächern und mit Heimspeichern, funktioniert dies bereits gut. Durch die dezentrale Erzeugung kann die Eigenversorgung erhöht werden und Speichertechnologien können einen Beitrag zur Netzstabilität leisten. Wenn sich die Orte der Erzeugung in unmittelbarer Umgebung befinden, kann das Bewusstsein für die Energiewende gesteigert werden. (vgl. Agora Energiewende 2017, S. 17–19; APG 2013, S. 16–17; Bauknecht et al. 2015, S. 16–17; Fechner 2020, S. 15–16)

Die zukünftige Stromversorgung wird nicht vollständig von kleinen Erzeugungsanlagen getragen werden, sondern in Kombination mit größeren Kraftwerken,

wie z. B. Laufwasser- und Pumpspeicherkraftwerken. Die Diversifizierung der Energieträger erhöht die Resilienz, da es eine geringere Abhängigkeit von wenigen Energiequellen gibt. Es gibt zwar eine höhere Anzahl an Erzeugungsanlagen zu koordinieren, jedoch hat der Ausfall einer Anlage geringere Auswirkungen auf das gesamte System. (vgl. Bauknecht et al. 2015, S. 8–10) Zur Vereinfachung der Koordination können dezentrale Erzeugungsanlagen zu virtuellen Kraftwerken zusammengeschlossen werden. So können die Anlagen aggregiert Strom vermarkten und Flexibilitäten bereitstellen. (vgl. Next Kraftwerke o. J.)

Digitalisierung

Die Digitalisierung ist ein klarer Bestandteil der Energiezukunft. Das ist das Ergebnis einer Umfrage zum Umgang mit Digitalisierung in österreichischen Energieunternehmen. 88 % der Befragten sind der Meinung, dass die Digitalisierung einen starken Einfluss auf die Energiebranche haben wird, jedoch besitzt erst die Hälfte davon eine eigene Digitalisierungsstrategie. 42 % denken, dass es nicht nur unternehmensinterne, sondern auch branchenübergreifende Digitalisierungsstrategien, beispielsweise zur Verbesserung der rechtlichen Rahmenbedingungen, Klärung von Standards und Erleichterung des Zuganges zu Know-how, braucht. (vgl. Pauritsch et al. 2017, S. 32–34; PwC Österreich 2016, S. 6–7) In Österreich besteht dahingehend noch großes Aufholpotenzial. Eine Verbesserungsmöglichkeit ist die bessere Nutzung von bereits verfügbaren Daten, denn diese spielen eine immer bedeutendere Rolle. Die Datenmengen werden umfangreicher und müssen effizient verarbeitet werden. In Kombination mit den anderen Trends braucht es digitale Innovationen, um den Herausforderungen zu begegnen. Die dezentralen Erzeugungsanlagen müssen intelligent vernetzt werden, mit Schnittstellen zwischen Sensoren, Smart Grid und Smart Market. (vgl. Albersmann et al. 2017, S. 18–22; dena 2019, S. 25)

Seitens der EU gibt seit Oktober 2022 den Aktionsplan zur Digitalisierung des Energiesystems, um die Klimaziele bis 2030 und 2050 zu erreichen. In diesem steht, dass es für die Erreichung der Ziele, durch Dekarbonisierung, Sektorkopplung und Dezentralisierung, ein intelligentes Energiesystem braucht. Es geht dabei um die Nutzung von Echtzeitdaten, Automatisierung, Interoperabilität, Sicherheit und auch Datenschutz. Bis 2030 sollen

400 Milliarden Euro in Verteilnetze investiert werden, wovon 170 Milliarden in den Bereich der Digitalisierung fließen sollen. Damit wird auf die höhere Belastung in Verteilnetze reagiert und die intelligente Nutzung ermöglicht. Bis 2024 soll ein europäischer Energiedatenraum eingerichtet werden, um bis 2050 Flexibilitäten vollständig digital zu erbringen. Einen großen Anteil davon werden bidirektionales Laden, Wärmepumpen, virtuelle Kraftwerke und Energiegemeinschaften ausmachen. Bis März 2023 soll dafür die Arbeitsgruppe „Daten für Energie“ eingerichtet werden. Spezifisch für Energiegemeinschaften hat die europäische Kommission zwei Ziele. Erstens soll ein Register für Energiegemeinschaften geschaffen werden. In diesem sollen digitale Instrumente gesammelt werden, die die gemeinsame Nutzung von Energie und Peer-to-Peer Handel unterstützen. Zweitens soll eine Versuchsplattform gestartet werden, über die z. B. Energiehandel mit der Blockchain-Technologie getestet werden kann. (vgl. Europäische Kommission 2022a, S. 1–4, 12)

Sensoren umfassen z.B. Smart Meter in Haushalten. Sie ersetzen die mechanischen Ferraris-Zähler, wodurch keine jährliche Ablesung mehr nötig ist. Denn sie messen den Stromverbrauch in bestimmten Zeitintervallen. Das kann entweder täglich oder alle 15 Minuten passieren. Die Daten gehen monatlich an die Energielieferanten, die damit eine detaillierte Rechnung erstellen können. Außerdem sind so bessere Prognosen machbar und neue Geschäftsmodelle werden ermöglicht. Der Ursprung der Smart Meter in Europa kommt aus dem dritten EU-Binnenmarktpaket, mit dem Ziel bis 2024 95 % aller Haushalte mit Smart Meter auszustatten, um die Versorgung bei größerer Volatilität zu sichern. In Österreich erfolgt die Umsetzung im EIWOG. Ursprünglich waren die nationalen 95 % bis 2022 geplant, was jedoch auf 2024 verschoben wurde. Der Smart Meter Roll-out ist dementsprechend noch im Gange und je nach Bundesland unterschiedlich fortgeschritten. Es gibt auch Verbraucher:innen, die keine Smart Meter haben wollen. Jedoch ist dies nicht möglich, da sie im Besitz der Netzbetreiber:innen sind. Deshalb wurde eine Opt-out-Option eingeführt, bei der die smarten Funktionen nicht freigeschaltet sind und der Stromverbrauch nur einmal im Jahr mittels Fernablese erfasst wird. (vgl. Albersmann et al. 2017, S. 18–20; Wiener Netze o. J.; Macura 2019)

Smart Grids sind intelligente Stromnetze, die eine Kommunikation zwischen den Netzkomponenten, Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen und Speichern

ermöglichen. Die vorhandene Netzinfrastruktur kann damit ohne kostspieligen Ausbau verbessert werden. Stattdessen werden sie mit zusätzlichen Sensoren, die die Netzzustände messen, ausgestattet. Dies betrifft alle Netzebenen, v. a. auch Verteilnetzebenen, die durch volatilere Erzeugung und Prosument:innen vor größere Herausforderungen, wie die schwerere Abbildung und Prognose von Lastprofilen, treten. Smart Grids vereinfachen die Integration von erneuerbaren Energien, dienen der Netz- und Kostenoptimierung und verbessern die Effizienz. Außerdem können Technologien wie Speicher und E-Mobilität besser integriert werden. (vgl. Agora Energiewende 2017, S. 95; APG 2013, S. 77; bmvit und Klima- und Energiefonds 2018, S. 4; Smartgrids Austria o. J.) Die smarte Netzinfrastruktur wird ergänzt durch einen Smart Market, auf dem Energie und Dienstleistungen gehandelt werden. Durch die steigende Anzahl an Erzeugungsanlagen, Prosument:innen und kleineren gehandelten Energiemengen muss der ursprüngliche Energiemarkt erweitert werden. Prozesse können automatisiert werden, um Kosten zu sparen. (vgl. Agora Energiewende 2017, S. 95–96)

Die Digitalisierung ist Enabler und Treiber der Energiewende, da sie zum einen Lösungen bereitstellt und zum anderen neue Möglichkeiten eröffnet. Es entstehen Potenziale zur Automatisierung, Monitoring, Echtzeitanalysen und Prognosen. Zusätzlich hat sie einen Beitrag zur Resilienz der Netze und fördert die Transformation des Stromsektors. Die benötigten Innovationen sind relevant für Flexibilisierung, Dezentralisierung und eine bessere Vernetzung durch Informations- und Kommunikationstechnologien. (vgl. Bauknecht et al. 2015, S. 16–17; BMK und Klima- und Energiefonds 2022, S. 2)

Demokratisierung

Für eine gelungene Energiewende sind nicht nur technische Innovationen relevant. Auf der Akteursebene findet ein Kulturwandel statt, in dem Bürger:innen zu aktiven Teilnehmer:innen werden und sich die Marktstrukturen verändern. Hier spielt der bereits öfters erwähnte Begriff der Prosument:innen eine Rolle. Das Wort setzt sich zusammen aus den Worten Produzent:in und Konsument:in und beschreibt Personen, die Strom verbrauchen und auch selbst erzeugen. Der Strom wird meist mit PV-Anlagen erzeugt und dient grundsätzlich dem Eigenbedarf. Ist die Erzeugung jedoch größer als

der Verbrauch, können entweder Heimspeicher aufgeladen werden oder der überschüssige Strom wird in das Netz eingespeist. Förderungen für Photovoltaikanlagen und Heimspeicher unterstützen den Ausbau von erneuerbaren Energien auf lokaler Ebene. Durch Veränderungen der Stromversorgung und Produktion im direkten Umfeld kann ein wichtiger Schritt für die lokale Energiewende gemacht werden. Durch die Änderung der Eigentumsverteilung der Erzeugungsinfrastrukturen, in die Hand von Bürger:innen, kann die Akzeptanz gesteigert werden. Außerdem haben hier regionale Partizipationsmöglichkeiten, z. B. in der Form von Energiegemeinschaften (siehe Kapitel 3), einen Einfluss. (vgl. Aretz et al. 2016, S. 1–2; BMK und Klima- und Energiefonds 2020, S. 2; Bauknecht et al. 2015, S. 22, 24)

Durch den Wandel von Großkraftwerken zu dezentralen kleineren Erzeugungsanlagen wird das System komplexer und kleinteiliger. Besonders in den niedrigeren Netzebenen kommt es zu einer Veränderung der Lastprofile und höherer Belastung für die Verteil- und Übertragungsnetze. Dadurch haben Netzbetreiber:innen höhere Aufwände für Systemdienstleistungen zur Gewährleistung einer sicheren Stromversorgung. Auch hier können kleinere Erzeugungsanlagen und Speicher zur Frequenzhaltung und als Beitrag zur Netzstabilität miteinbezogen werden. Die Eintrittsbarrieren zum Strommarkt werden geringer und Privatpersonen, neue Start-ups und branchenfremde Unternehmen werden aktiv. Durch die steigende Anbieterzahl erhöht sich der Wettbewerb um Energiekunden. Deshalb erweitern sich die Tätigkeitsbereiche der Versorger hin zu größerer Kundenorientierung mit zusätzlichen Dienstleistungen. Der Kompetenzbereich muss erweitert werden, v. a. im IT-Bereich. Für Verbraucher:innen bringt die Veränderung auch Vorteile. Sie haben größere Auswahlmöglichkeiten für die Stromversorgung und mehr Dienstleistungen sind inkludiert. (vgl. Aretz et al. 2016, S. 1–2; Oesterreichs Energie 2020, S. 4; PwC Österreich 2016, S. 7, 14-15, 33, 42-43; Strauß et al. 2021, S. 2)

2.3 Zwischenfazit

Durch den Klimawandel und dessen Folgen ist die Energiewende unerlässlich. Die Umsetzung erfolgt über internationale und nationale Zielsetzungen. Beispielsweise soll der Stromverbrauch in Österreich bis 2030 zu 100 % mit erneuerbaren Energien abgedeckt sein. Die Trends für den Stromsektor können mit den 4 D's, Dekarbonisierung, Dezentralisierung, Digitalisierung und Demokratisierung, zusammengefasst werden. Durch die Dekarbonisierung und den Ausbau von erneuerbaren Energien kommt es zu einer volatileren Erzeugung. Die Erzeugungsanlagen werden kleiner und sind dezentral, an Orten mit der höchsten Erzeugungsleistung, platziert. Im Zuge der Demokratisierung kommt die neue Rolle der Prosument:innen dazu, die auch Strom in das Netz einspeisen können, unter anderem in Energiegemeinschaften. Es gibt auch Auswirkungen auf die restlichen Akteur:innen. Es gibt größere Konkurrenz, geringere hierarchische Koordinierung und lokale, regionale und überregionale Märkte. Eine Herausforderung besteht darin, die Vielzahl an Erzeugungsanlagen zu koordinieren und Erzeugung und Verbrauch im Gleichgewicht zu halten. Um die räumlichen Potenziale für die benötigten Flächen auszunutzen, braucht es auch eine umfassende Energieraumplanung. Die Nutzung von Echtzeitdaten wird immer wichtiger und durch die steigende Komplexität sind digitale Lösungen für automatisierte Prozesse gefragt.

3

Energie- gemeinschaften

3.1 Rechtliche Grundlagen

3.2 Vorteile

3.3 Akteur:innen

3.4 Zwischenfazit

3. Energiegemeinschaften

3.1 Rechtliche Grundlagen

Bis 2017 war es für Besitzer:innen von Stromerzeugungsanlagen nur möglich den Strom selbst zu verbrauchen oder ins Netz einzuspeisen. Mit der Novelle des Ökostromgesetzes wurde ein erster Schritt gesetzt, um Strom zu teilen. Mit gemeinschaftlichen Erzeugungsanlagen können Dachflächen von Mehrparteienhäusern für PV-Anlagen genutzt werden und der Strom kann dynamisch oder statisch auf alle Mieter:innen aufgeteilt werden. Die gemeinschaftliche Nutzung ist nur über die Hauptleitung des Gebäudes möglich und endet somit an der Grundstücksgrenze. (vgl. BMWFW 2017, S. 8–11)

Den Ausgangspunkt für das Teilen von Energie über die Grundstücksgrenze hinweg gibt das 2019 erschienene Clean Energy for all Europeans Package (CEP) vor. Darin geht es um acht Rechtsakte für die Zielerreichung des Pariser Klimaabkommens. Themen sind beispielsweise Energieeffizienz, der weitere Ausbau von erneuerbaren Energien und eine bessere Versorgungssicherheit. (vgl. Europäische Kommission und Generaldirektion Energie 2019, S. 4) Durch das CEP wird die Rolle von Bürger:innen im Energiemarkt gestärkt und die Teilnahme an Renewable Energy Communities und Citizen Energy Communities ermöglicht. Außerdem können Flexibilitäten bereitgestellt werden. Die Mitgliedsstaaten haben zwei Jahre, um dies in das nationale Recht umzusetzen, was bereits in unterschiedlichen Ausprägungen erfolgt ist. (vgl. Europäische Kommission o. J.; REScoop 2022)

In Österreich erfolgte im Juli 2021 die Umsetzung über das Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz (EAG) und das Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz (EIWOG) (vgl. Preßmair et al. 2022, S. 4). Darin gibt es zwei Möglichkeiten Energiegemeinschaften zu realisieren: Erneuerbaren-Energie-Gemeinschaften (EEG) und Bürgerenergiegemeinschaften (BEG).

In EEGs kann Energie erzeugt, verbraucht, gespeichert oder verkauft werden. Außerdem können sie für Aggregation und Dienstleistungen genutzt werden. Strom, Wärme oder Gas müssen aus erneuerbaren Energiequellen stammen. Energie, die nicht von der

EEG kommt, wird weiterhin von Lieferanten bezogen. (vgl. § 79 Abs. 1 EAG) Teilnehmer:innen können „natürliche Personen, Gemeinden, Rechtsträger von Behörden in Bezug auf lokale Dienststellen und sonstige juristische Personen des öffentlichen Rechts oder kleine und mittlere Unternehmen“ sein. Die Teilnahme beruht auf Freiwilligkeit und es braucht mindestens zwei Akteur:innen. Besonders für Unternehmen ist, dass es sich dabei nicht um die hauptberufliche Tätigkeit handeln darf. Die Organisationsform kann frei gewählt werden. Da nicht der finanzielle Gewinn im Vordergrund steht, sondern „ökologische, wirtschaftliche und sozialgemeinschaftliche Vorteile“, eignen sich Vereine, Genossenschaften, Personen- oder Kapitalgesellschaften. (§ 79 Abs. 2 EAG)

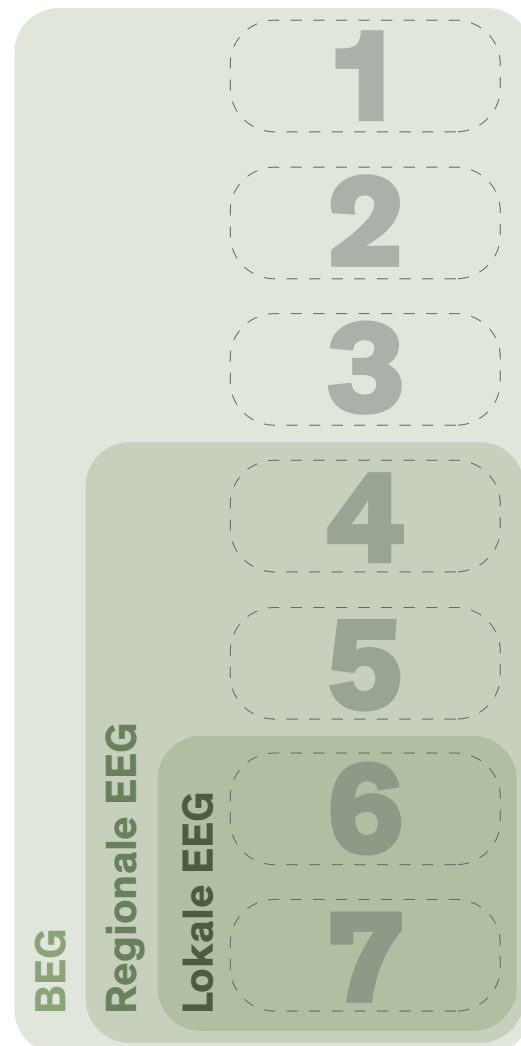


Abbildung 9: Netzebenen der Energiegemeinschaften, eigene Darstellung

Es gibt zwei Arten von EEGs, die über den Nahbereich definiert werden (siehe Abbildung 9). Lokale EEGs befinden sich im Niederspannungsnetz (Netzebene 6-7) und regionale EEGs im Mittelspannungsnetz (Netzebene 4-7). Alle Teilnehmer:innen müssen sich im Konzessionsgebiet derselben Netzbetreiber:innen befinden. Ab dem 01. Jänner 2024 soll die Mehrfachteilnahme ermöglicht werden. Das heißt, dass Teilnehmer:innen Mitglied von mehreren Energiegemeinschaften oder gemeinschaftlichen Erzeugungsanlagen sein können. (vgl. § 16c Abs. 2 EIWOG 2010; Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2021, o. J.e)

In Abbildung 10 sind die zwei Arten von EEGs grafisch anhand des burgenländischen Ortes Willersdorf dargestellt. Netz Burgenland stellt online eine Karte für erste Nahbereichsabfragen bereit. Die dunkelgrünen Gebäude liegen innerhalb der gleichen Trafostation im Niederspannungsnetz und können somit eine lokale EEG gründen. Die hellgrünen Gebäude liegen auf zwei Trafostationen verteilt und können eine regionale EEG gründen, solange sie sich im selben Netzgebiet befinden. (vgl. Netz Burgenland o. J.)



Abbildung 10: Lokale und regionale EEGs, eigene Darstellung nach Netz Burgenland o. J.

BEGs sind nur für elektrische Energie und sie sind nicht beschränkt auf erneuerbare Energiequellen. Ihre Aktivitäten liegen ebenfalls in Erzeugung, Verbrauch, Speicherung, Verkauf, Aggregation und Dienstleistungen. Strom, der nicht von der BEG kommt, wird weiterhin von Lieferanten bezogen. (vgl. § 16b Abs. 1 EIWOG 2010) Die Teilnahme an BEGs ist offener als bei EEGs, solange die Kontrolle auf natürliche Personen, Gebietskörperschaften und kleine Unternehmen beschränkt ist. Die Teilnahme beruht auf Freiwilligkeit und es braucht mindestens zwei Akteur:innen. Wie bei EEGs liegt der Zweck nicht im finanziellen Gewinn, wodurch die Organisationsform Vereine, Genossenschaften, Personen- oder Kapitalgesellschaften sein können. (vgl. § 16b Abs. 2-3 EIWOG 2010) Anders als bei EEGs gibt es bei den BEGs keine Begrenzung durch den Nahbereich, sondern sie sind österreichweit und über mehrere Netzgebiete möglich. (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2021) Im EIWOG sind die gemeinsamen Bestimmungen für EEGs und BEGs geregelt. Darin geht es z. B. darum welche Vereinbarungen es hinsichtlich Datenverwaltung, Betrieb und Versicherungen braucht und ein großer Fokus liegt bei den Aufgaben in Bezug auf die Netzbetreiber:innen. (vgl. § 16d Abs. 3 EIWOG 2010)

	EEG	BEG
Tätigkeiten	Energie erzeugen, speichern, verbrauchen und verkaufen, Aggregation, Dienstleistungen	
Energieform	Strom, Wärme, Gas aus erneuerbaren Energien	Strom aus erneuerbaren und fossilen Energien
Teilnehmer:innen	Privat- oder Rechtspersonen, Gemeinden, lokale Behörden, KMUs	Natürliche und sowie juristische Personen und Gebietskörperschaften
Organisationsform	Mindestens zwei Teilnehmer:innen, Teilnahme ist freiwillig und offen	
Zweck	Verein, Genossenschaft, Privat- oder Kapitalgesellschaft o. Ä.	
Gebiet	kein finanzieller Gewinn, ökologische, wirtschaftliche und sozialgemeinschaftliche Vorteile	
	Netzebene 6-7 (lokale EEG) Netzebene 4-7 (regionale EEG) Konzessionsgebiet eines Netzbetreibers	Österreichweit über mehrere Netzbetreiber hinweg

Tabelle 2: Unterschiede und Gemeinsamkeiten von EEGs und BEGs, eigene Darstellung nach E-Control o. J.b

3.2 Vorteile

Wirtschaftlich

Der Zweck von Energiegemeinschaften darf zwar nicht im finanziellen Gewinn liegen, aber es ist trotzdem möglich wirtschaftliche Vorteile zu erzielen. Bei EEGs kommt es zu reduzierten Netztarifen durch den Ortsnetztarif. Für lokale EEGs reduziert sich das Netznutzungsentgelt um 57 %. Für regionale EEGs gibt es eine Reduktion um 64 % für Zählpunkte im Mittelspannungsnetz und um 28 % im Niederspannungsnetz. (vgl. §5 Abs. 9 Z. 1a SNE-V2018) Ebenfalls muss bei EEGs für Strom aus erneuerbaren Energiequellen keine Elektrizitätsabgabe gezahlt werden und der Erneuerbaren-Förderbeitrag entfällt. Aufgrund der hohen Energiepreise ist aktuell nur einer der drei finanziellen Vorteile in Kraft, denn für alle Österreicher:innen entfällt der Erneuerbaren-Förderbetrag und die Elektrizitätsabgabe ist bis Juli 2023 auf 0,1 Cent pro kWh herabgesetzt. (vgl. E-Control o. J.; Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022a, S. 5) Bei EEGs und BEGs können 50 % des eigens erzeugten, aber nicht verbrauchten Stroms mit Marktprämie gefördert werden. Weitere wirtschaftliche Anreize gibt es nicht für BEGs. (vgl. § 80 Abs. 2 EAG; § 16b Abs. 5 ElWOG 2010)

Ökologisch

Durch Energiegemeinschaften kann die Energiewende auf lokaler und regionaler Ebene unterstützt werden. Der Ausbau von erneuerbaren Energien wird gefördert und die Abhängigkeit von fossilen Energien wird reduziert. Dadurch kommt es zu einer Reduktion des CO₂-Abdrucks der Teilnehmer:innen. Lokale Energie kann ohne lange Transportwege vor Ort verbraucht werden. Wenn die Energie aus der Umgebung oder vielleicht sogar direkt von Nachbar:innen kommt entsteht ein neues Bewusstsein für die Herkunft. Durch Energiegemeinschaften können Personen ohne eigene Anlage trotzdem an der erneuerbaren Energieproduktion teilnehmen und bestehende Anlagen können den Ausnutzungsgrad verbessern. (vgl. Geiger und Heidler 2022, S. 8; Neubarth 2020, S. 4; Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022b, S. 4)

Sozialgemeinschaftlich

Neben der Bewusstseinsbildung für die Herkunft und Erzeugung von erneuerbaren Energien wird auch die Akzeptanz für den Ausbau von größeren Anlagen gestärkt. Es gibt einen Beitrag zu den vier D's mit Demokratisierung durch aktive Teilnahme, Dezentralisierung und Dekarbonisierung durch erneuerbare Erzeugungsanlagen und mit möglicher Digitalisierung der Prozesse. Energiegemeinschaften fördern den lokalen Austausch und durch Gemeinschaftsaktivitäten kann der soziale Zusammenhalt gestärkt werden. Außerdem ist es so möglich für Personen die z. B. in Wohnungen leben oder ein Norddach haben an der erneuerbaren Energieproduktion teilzunehmen. Da die Energiepreise intern festgelegt werden und somit unter dem Marktpreis gehalten werden können, kann es ein Mittel gegen Energiearmut sein. Der regionale Zusammenhalt und die Wertschöpfung können gesteigert werden. Die Errichtung von neuen Erzeugungsanlagen ist eine Chance für lokale Unternehmen und für Besitzer:innen von Freiflächen oder Dächern zur Verpachtung. (vgl. Klima- und Energiefonds 2022, S. 4; Geiger und Heidler 2022, S. 8–9; Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022b, S. 4)

Versorgungssicherheit

Die Energieversorgung kann als Teil der lokalen Nahversorgung gesehen werden. Durch den lokalen Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch kann die Versorgungssicherheit erhöht werden. Der Selbstversorgungsgrad wird erhöht und durch die Nutzung von Speichern gibt es eine höhere Resilienz gegenüber Ausfällen. Außerdem können Flexibilitäten bereitgestellt werden. Zusätzlich kann eine Sektorkopplung zwischen Strom, Wärme und Mobilität integriert werden. Die Summe aller Energiegemeinschaften können somit einen aktiven Beitrag zur Energiewende leisten. Die Investitionen für den Ausbau von erneuerbaren Energien in Österreich werden bis 2030 auf 20-27 Milliarden Euro geschätzt. Wenn nur 2 % davon in Energiegemeinschaften umgesetzt werden, betrifft dies ca. 500 Millionen Euro. (vgl. Neubarth 2020, S. 4; Frieden et al. 2020, S. 4)

3.3 Akteur:innen

Wesentliche Akteur:innen sind die **Gründer:innen** von Energiegemeinschaften, denn sie sind zuständig für den Start der Organisation. Gründer:innen können z. B. Privatpersonen oder Gemeinden sein (mehr dazu in Kapitel 8.2). Für die Gründung müssen mehrere Arbeitsschritte durchlaufen werden. Zu Beginn sollten die Rahmenbedingungen und Ziele intern geklärt werden, bevor der erste Kontakt mit Netzbetreiber:innen aufgesucht wird. Danach geht es um eine detaillierte Konzepterstellung und den Vertragsabschluss mit den Akteur:innen. Für die Marktkommunikation braucht es auch eine Anmeldung beim EDA-Portal(Energiewirtschaftlicher Datenaustausch). (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022d, S. 1–4)

Ein wichtiger Schritt ist die Wahl der Rechtsform. Die empfohlenen Organisationsformen sind Vereine und Genossenschaften, da sie passend für den Zweck von Energiegemeinschaften sind und einen geringeren Aufwand haben als andere Organisationsformen. Ein Verein eignet sich für kleinere und eine Genossenschaft für größere Energiegemeinschaften. Themen, die bei der Gründung beachtet werden müssen, sind energierechtliche Vorgaben, der administrative Aufwand, Art und Größe, Haftung, Steuern und Ziele der Energiegemeinschaft. Es ist auch möglich, dass bestehende Vereine oder Genossenschaften genutzt werden, solange die Statuten oder Satzung angepasst werden. Es gibt in Österreich bereits ca. 1.000 Genossenschaften mit drei Millionen Mitgliedern und 120.000 Vereine mit genauso vielen Mitgliedern. (vgl. Schwarz et al. 2022, S. 6–8, 11, 13)

Für die **Netzbetreiber:innen** gibt es viele Aufgaben im Rahmen von Energiegemeinschaften. Sie sind zuständig für die Netzstabilität und für die statische oder dynamische Verteilung der Energie zwischen Erzeugung und Verbrauch. (vgl. § 16e Abs. 1 & 3 ElWOG 2010) Bei der Gründung einer Energiegemeinschaft sollten sie früh beteiligt werden, um Informationen über die Netzabschnitte der Teilnehmer:innen zu geben. Sie sind für den Einbau von Smart Metern innerhalb von zwei Monaten verpflichtet, falls noch keine vorhanden sind. Außerdem sind sie zuständig für die Übermittlung der Messwerte von Erzeugung und Verbrauch, in 15 Minuten Intervallen, bis spätestens zum folgenden

Tag. Dies passiert unter Berücksichtigung des Datenschutzes und als Unterstützung können auch Dienstleister:innen beauftragt werden. (vgl. § 19a ElWOG 2010; Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2021, o. J.a)

Energieversorgungsunternehmen können bei EEGs keine aktiven Teilnehmer:innen sein, bei BEGs ist es möglich. Trotzdem spielen sie eine Rolle, da sie für Stromlieferung und -abnahme zuständig sind, wenn Erzeugung und Verbrauch nicht innerhalb der Energiegemeinschaft ausgeglichen werden. (Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften o. J.b)

Teilnehmer:innen von Energiegemeinschaften können verschiedene Arten von Anlagen haben. **Erzeuger:innen** sind juristische oder natürliche Personen oder eingetragene Personengesellschaften, die Energie erzeugen. Diese wird entweder innerhalb der Energiegemeinschaft weitergegeben oder ins Netz eingespeist. Die Größe der Erzeugungsanlagen kann von kleinen, privaten bis zu größeren gehen. Konsumiert wird die Energie durch die **Verbraucher:innen**. Sie beziehen die Energie innerhalb der Energiegemeinschaft und bei regulären Energielieferanten. Teilnehmer:innen die sowohl verbrauchen als auch erzeugen sind **Prosument:innen**. Die erzeugte Energie wird vorrangig selbst verbraucht und der Überschuss geht an die Energiegemeinschaft. (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften o. J.b; nobilegroup 2021, S. 13) Zusätzlich können Speicher genutzt werden, um die Energie zu einem späteren Zeitpunkt zu verbrauchen (vgl. Frieden et al. 2020, S. 6).

Aggregator:innen bündeln Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen, Prosument:innen und Speicher und vermarkten diese gemeinsam. Dies ist v. a. hilfreich für kleinere dezentrale Anlagen, da die Marktteilnahme vereinfacht wird. Gemeinsam können Erzeugung und Verbrauch ausgeglichen und Flexibilitäten bereitgestellt werden. (vgl. Holstenkamp und Radtke 2018, S. 708; Babilon et al. 2022, S. 22)

Auch die **Forschung und Förderung** ist im Bezug zu Energiegemeinschaften relevant. Es gibt Forschungsprojekte von Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen, die sich mit verschiedenen Themen auseinandersetzen. Im Rahmen von Innovationslaboren (z. B. act4energy oder Green Energy Lab) können Entwicklungen

in realem Umfeld, gemeinsam mit der Bevölkerung getestet werden. (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften o. J.d) Als Unterstützung bei Gründung und Betrieb von Energiegemeinschaften gibt es die Plattform Energiegemeinschaften, die sich aus der Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften und Energieberatungsstellen der neun Bundesländer zusammensetzt. (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften o. J.a)

Energiegemeinschaften können unter anderem durch den Klima- und Energiefonds gefördert werden. Die zweite Förderungsperiode läuft seit Oktober 2022 bis September 2023. Der Fokus liegt hier bei Energiegemeinschaften mit einem innovativen Charakter, die als Vorbildprojekte gelten sollen. Das bedeutet, dass die über dem Standard von anderen Energiegemeinschaften sein müssen, also mehr als eine Erzeugungsanlage in der Gemeinschaft haben. Um eine Förderung zu erhalten, müssen mehrere Kriterien erfüllt werden. Das umfasst technische Innovationen (z. B. Sektorkopplung oder Nutzung von unterschiedlichen Erzeugungstechnologien), soziale Innovationen (z. B. sozialgemeinschaftliche Vorteile oder Maßnahmen für Bewusstseinsbildung), ökologische Innovationen (z. B. Nutzung der Ausbaupotenziale oder regionalwirtschaftlicher Nutzen) und organisatorische Innovationen (z. B. Unabhängigkeit von klassischen Energieversorgern oder Neuartige Strukturen). (vgl. Klima- und Energiefonds 2022, S. 4–8)

Für Konzepterstellung, Planung, Beratung (z. B. Gründung, Öffentlichkeitsarbeit, Rechtsberatung), Betrieb (z. B. Abrechnung, Mitgliederverwaltung, Energiemanagement, Soft- und Hardware), Finanzierung oder Contracting können externe **Dienstleister:innen** genutzt werden (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften o. J.c). Energiegemeinschaften mit mehreren Teilnehmer:innen und Erzeugungsanlagen lohnen sich mehr, jedoch erhöht sich auch zeitgleich die Komplexität. Spätestens ab 2024, wenn die Mehrfachteilnahme möglich ist, braucht es digitale Tools für Abrechnung, Verteilung von Erzeugung und Verbrauch, Energiemanagement und Mitgliederverwaltung. Bei mittelgroßen bis großen Energiegemeinschaften werden bereits jetzt Programme genutzt, die beispielsweise die Blockchain-Technologie und Internet of Things Anwendungen integrieren. (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022c, S. 3; Mission Innovation Austria 2022)

Die Vielzahl an verpflichteten und zusätzlichen Beziehungen zwischen den einzelnen Akteur:innen ist in Abbildung 11 erkennbar:

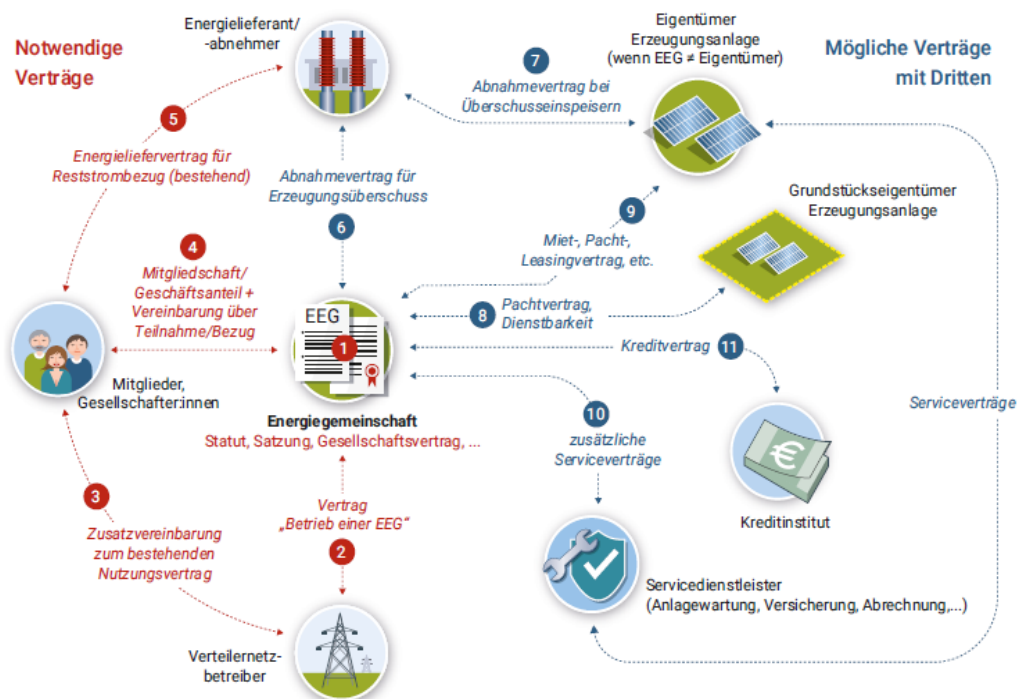


Abbildung 11: Vertragliche Beziehungen, Geiger und Heidler 2022

3.4 Zwischenfazit

Seit Sommer 2021 ist durch das EAG und das ElWOG das Gründen von Energiegemeinschaften möglich. Es gibt zwei verschiedene Arten: die EEG, welche sich weiter in lokale und regionale unterteilt, und die BEG. Die Unterschiede liegen bei der Energieform, den Teilnehmer:innen und dem möglichen Gebiet. Durch Energiegemeinschaften entstehen wirtschaftliche, ökologische und sozialgemeinschaftliche Vorteile. Außerdem haben sie einen Beitrag zur Versorgungssicherheit. Innerhalb der Energiegemeinschaft geht es um den lokalen Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch. Dies kann auch mit der Unterstützung von Speichern funktionieren. Eine Vielzahl an Akteur:innen ist an Energiegemeinschaften beteiligt. Gründer:innen sind wichtig als First Mover, Netzbetreiber:innen haben zusätzliche Aufgaben, die Rolle von Prosument:innen wird gestärkt. Zudem gibt es einige Forschungsprojekte. Für zusätzliche Dienstleistungen können externe Unternehmen herangezogen werden. Aufgaben können z. B. Abrechnung, Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch oder Mitgliedermanagement sein. Dafür können verschiedene Technologien verwendet werden, eine davon ist die Blockchain-Technologie.

Energiegemeinschaften können hinsichtlich Prozess und Ergebnis, nach dem Modell von Walker und Devine-Wright, mit welchem 2008 der Begriff community energy definiert wurde, eingeordnet werden. In der Dimension Prozess geht es um die Beteiligung. Eine Gemeinschaft mit verschiedenen Akteur:innen verfolgt ein gemeinsames Ziel bei Planung, Gründung und im Betrieb. Die Dimension Ergebnis bezieht sich auf die lokalen Gegebenheiten und den Nutzen für die Gemeinschaft. Die ideale Energiegemeinschaft befindet sich im dunkelgrünen Abschnitt (siehe Abbildung 12). Dort gibt es viele verschiedene Beteiligte und der Nutzen für die lokale Gemeinschaft ist groß. (vgl. Becker et al. 2021, S. 196)

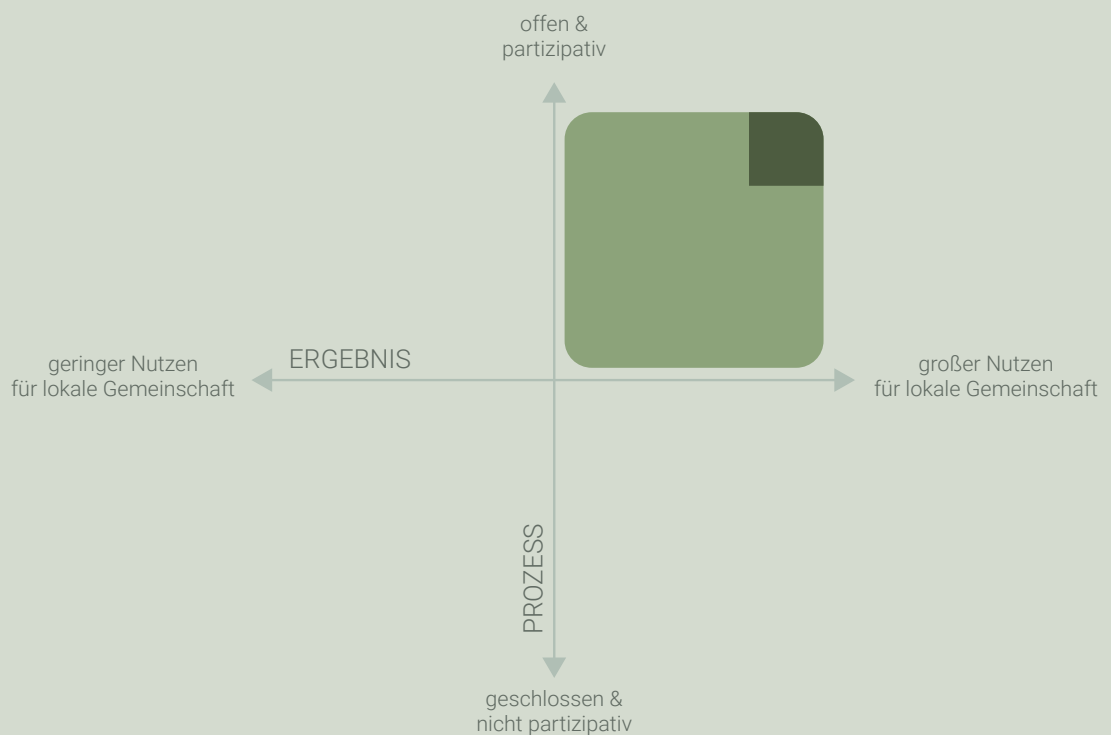


Abbildung 12: Einordnung Energiegemeinschaften, eigene Darstellung nach Becker et al. 2021

4

Grundlagen der Blockchain- Technologie

- 4.1 Ursprung der Blockchain
- 4.2 Informatische Grundlagen
- 4.3 Funktionsweise
- 4.4 Kategorisierung und Anwendungen
- 4.5 Stromverbrauch von Blockchains
- 4.6 Zwischenfazit

4. Grundlagen der Blockchain-Technologie

4.1 Ursprung der Blockchain

Eine der Technologien, die die Digitalisierung des Energiesektors maßgeblich unterstützen kann, ist die Blockchain-Technologie. In einem Bericht über Österreichs Energiewirtschaft im Umbruch wird die Blockchain-Technologie neben Big Data, neuen Tarifmodellen und alternativen Kooperationen als Chance für die zukünftige Entwicklung gesehen. Auch in einem Monitoring von Zukunftsthemen des österreichischen Parlaments aus dem Jahr 2018 wird bereits Peer-to-Peer Energiehandel erwähnt. (vgl. ÖAW und AIT 2018, S. 1; PwC Österreich 2016, S. 44) Die Blockchain-Technologie befindet sich noch in der Entwicklungs- und Verbreitungsphase und hat bereits einen ersten Boom, der Anwendungen in allen Gesellschaftsbereichen angeregt hat, hinter sich. (vgl. Merz 2019, S. 11–14)

Die erste Erwähnung der Blockchain stammt aus dem Jahr 2008 von Satoshi Nakamoto, einem Pseudonym für eine bis heute unbekannt Person oder Gruppe. Nakamoto ist Autor eines Whitepapers mit dem Titel „Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System“, in dem ein Weg gefunden wurde, das Double Spending Problem zu lösen, sodass keine digitale Währungseinheit doppelt ausgegeben werden kann. Zusätzlich können Teilnehmer:innen auch anonym bleiben und müssen sich bei Transaktionen nicht vertrauen. (vgl. Nakamoto 2008, S. 1)

Das Problem stützt sich auf das Gedankenexperiment der byzantinischen Generäle. Dabei geht es um die Eroberung der Stadt Konstantinopel, in der Divisionen der Armee die Stadt von mehreren Seiten gleichzeitig angreifen sollten. Jede Division hat einen General, der einen Boten zur Kommunikation nutzen kann, jedoch können manche Generäle Verräter sein. Das Problem kann gelöst werden, wenn es einen Konsensmechanismus zwischen den Generälen gibt. Damit kann festgestellt werden, dass sie über den gleichen Plan entscheiden und sie sich nicht durch die kleine Anzahl an Verrätern zu einem manipulierten Plan überreden lassen. (vgl. Bogensperger et al. 2018a, S. 33) Nakamoto hat in dem Whitepaper eine Lösung gefunden, dass ein System trotzdem funktionieren kann, auch wenn sich einzelne Teilnehmer:innen nicht nach Plan verhalten. 2009 wurde die Bitcoin Blockchain gestartet, auf der das Double Spending Problem, durch ein dezentrales Peer-to-Peer Netzwerk und Kryptographie, gelöst ist. Dabei werden alle Transaktionen auf einer verteilten, öffentlichen Datenbank aufgezeichnet und durch Konsensmechanismen im Netzwerk bestätigt. (vgl. Bogensperger et al. 2018a, S. 10; Fill und Meier 2020, S. 2–3)

4.2 Informatische Grundlagen

Mit dem Einsatz der Blockchain-Technologie in Energiegemeinschaften können Prozesse optimiert und automatisiert werden. Außerdem können Transparenz und Sicherheit gewährleistet werden. Um die genaue Funktionsweise und die Potenziale der Blockchain-Technologie zu verstehen, muss auf bereits früher bekannte Grundlagen der Informatik zurückgegriffen werden. Durch die Kombination von Hash-Werten, Merkle-Trees und Digitalen Signaturen entsteht das innovative Potenzial der Blockchain. (vgl. Fill und Meier 2020, S. 5)

Hash-Werte

Das Ziel von Hash-Werten ist es, die Integrität von Daten zu überprüfen. Die Hash-Funktion gibt eingegebene Daten beliebiger Länge in einer bestimmten Größe aus und bereits bei einer einzelnen Veränderung der Eingabe entsteht, durch das Diffusionsprinzip, ein gänzlich anderer Hash-Wert. So kann schnell überprüft werden, ob sich die Eingabe verändert hat, ohne die gesamte Eingabe zu kontrollieren. Bei Blockchains wird die SHA(Secure Hash Algorithm)-256-Funktion verwendet, die die Ziffern 0 bis 9 und die Buchstaben A-F nutzt. Sie hat eine gute Diffusion und gibt Hash-Werte in einer Größe von 256 Bit aus. (vgl. Fill und Meier 2020, S. 6–8; Schlatt et al. 2016, S. 8)

Ein Hash-Funktion kann durch den Hash-Wert von **Blockchain** veranschaulicht werden:

625da44e4eaf58d61cf048d168aa6f5e492dea166d8bb54ec06c30de07db57e1

Verändert man die Eingabe zu **Blockchain!** ergibt sich folgender Hash-Wert:

d0d7cc64d0315e6b3a3a2f1cff719a3be3d96e81faf6a9dfa87453bedbb1be19

Hier ist sofort ersichtlich, dass sich etwas an der Eingabe geändert hat, aber nicht was genau. Dies ist das sogenannte Konfusionsprinzip, durch das man von einem Hash-Wert aus nicht weiß, was die Eingabe war. Somit ist es mit akzeptablem Rechenaufwand nicht möglich, die originale Eingabe (Preimage-Resistenz), eine zweite Eingabe mit dem gleichen Hash-Wert (Second-Preimage-Resistenz) oder zwei Eingaben mit dem gleichen Hash-Wert (Kollisionsresistenz) zu finden. (vgl. Bogensperger et al. 2018a, S. 18; Fill und Meier 2020, S. 6–8; Schlatt et al. 2016, S. 8)

Merkle-Trees

Ein Merkle-Tree ist ein Konzept von Ralph Merkle aus dem Jahr 1987, mit dem Ziel, eine Menge von Daten möglichst einfach zu überprüfen. Dabei werden mehrere Hash-Werte von Daten paarweise zusammengeführt zu einem neuen Hash-Wert. (vgl. Bogensperger et al. 2018a, S. 19) Wie in Abbildung 13 ersichtlich werden für vier Daten (D1, D2, D3 und D4) Hash-Werte erzeugt (H11, H12, H21 und H22). Diese werden paarweise verbunden und gemeinsame Hash-Werte werden erzeugt (aus H11 und H12 wird H1, aus H21 und H22 wird H2). Aus diesen beiden kann erneut ein Hash-Wert erzeugt werden, aus H1 und H2 wird HR, der sogenannte Merkle-Root. (vgl. Fill und Meier 2020, S. 8–11)

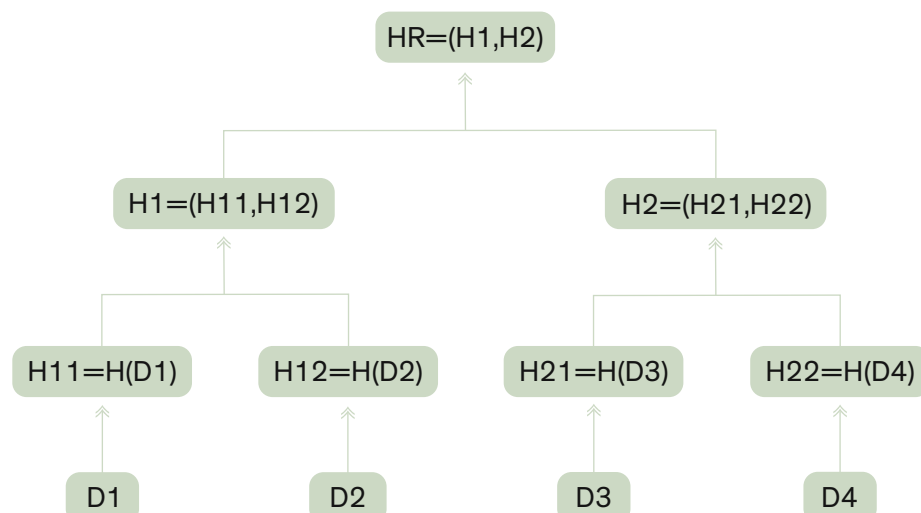


Abbildung 13: Merkle-Tree, eigene Darstellung nach Fill und Meier 2020

Der Merkle-Root ist ausreichend, um die darunterliegenden Daten zu überprüfen. In dem Fall, dass eine Manipulation eines Datensatzes (D1) passiert, verändert sich dadurch der Hash-Wert auf der untersten Ebene (H11) und auch alle darüberliegenden bis zum Merkle-Root (siehe Abbildung 14). Die zu speichernde Datenmenge ist dadurch geringer und in einem Blockchain-Netzwerk wird so eine Veränderung gleich erkannt und die manipulierte Kette kann ignoriert werden. Mit der Datenstruktur der Merkle-Trees sind auch Zero-Knowledge-Proofs durchführbar. Hierbei wird durch die Hash-Werte geprüft, ob bestimmte Daten vorkommen, ohne die Inhalte einzusehen. Dies kann z. B. für Daten, die nicht veröffentlicht werden dürfen, verwendet werden. (vgl. Bogensperger et al. 2018a, S. 19–20; Fill und Meier 2020, S. 8–11)

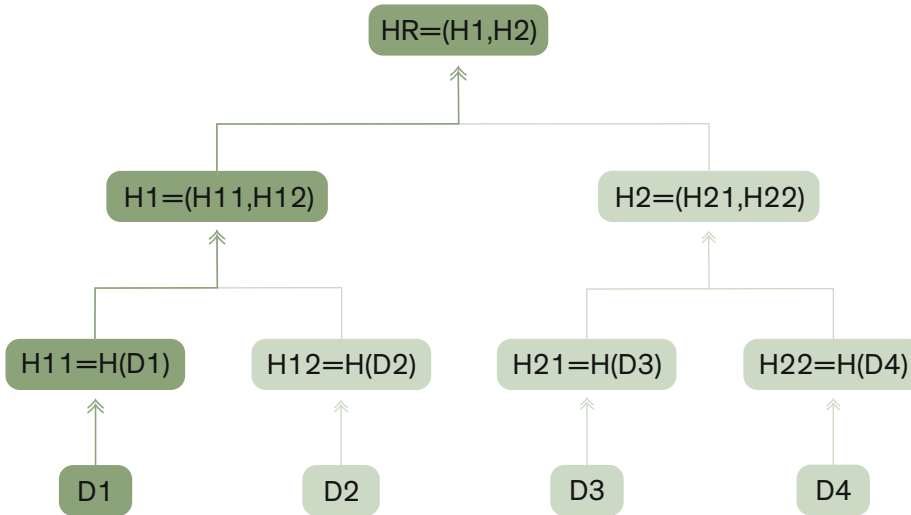


Abbildung 14: Merkle-Tree mit manipulierten Daten, eigene Darstellung nach Fill und Meier 2020

Digitale Signaturen

Da es bei elektronischen Transaktionen keinen persönlichen Kontakt gibt, braucht es Mittel zur Sicherheit. Es muss gewährleistet sein, ob Daten von den richtigen Absender:innen stammen, dass sie die richtigen Empfänger:innen erhalten und dass die Daten auf dem Weg zwischen beiden nicht verändert werden. (vgl. Fill und Meier 2020, S. 11) Die Lösung beruht auf dem Konzept der Public-Key-Kryptographie von Diffie und Hellman aus dem Jahr 1976. Die Blockchain-Technologie nutzt eine asymmetrische Verschlüsselung, für welche mit einem Zufallsalgorithmus ein vernetztes Schlüsselpaar generiert wird. Einer davon ist privat und muss geheim gehalten werden. Der zweite ist ein öffentlicher Schlüssel, der ähnlich wie der IBAN einer Kontonummer genutzt wird. Im Vergleich dazu nutzt die symmetrische Verschlüsselung den gleichen Schlüssel zum Ver- und Entschlüsseln. (vgl. Bogensperger et al. 2018a, S. 21–26; Schlatt et al. 2016, S. 8)

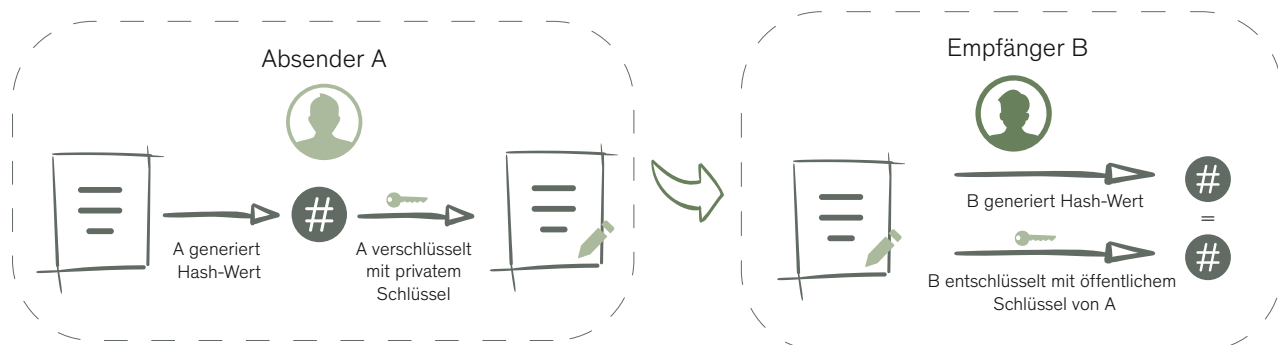


Abbildung 15: Verschlüsselung, eigene Darstellung nach Fill und Meier 2020

In der Praxis wird die Verschlüsselung angewendet, wenn Absender:innen Daten an bestimmte Empfänger:innen übermitteln wollen. Der Vorgang ist exemplarisch in Abbildung 15 dargestellt. Die Absender:innen generieren aus den zu versendenden Daten einen Hash-Wert und verschlüsseln diesen mit dem eigenen privaten Schlüssel. Die verschlüsselten Daten werden mit einer Adressierung an den öffentlichen Schlüssel der Empfänger:innen geschickt und zwei Schritte müssen durchgeführt werden. Erstens generieren die Empfänger:innen einen Hash-Wert aus den Daten und zweitens entschlüsseln sie die Signatur der Absender:innen mit ihrem öffentlichen Schlüssel. Wenn beide Hash-Werte übereinstimmen, sind die Daten sicher von den Absender:innen und wurden auf dem Weg nicht manipuliert. (vgl. Fill und Meier 2020, S. 21–26)

4.3 Funktionsweise

Auf einer Blockchain gibt es drei verschiedene Arten von Akteur:innen. Die größte Gruppe bilden die Teilnehmer:innen. Das umfasst die transaktionsberechtigten Nutzer:innen, also alle, die eine digitale Geldbörse (Wallet), in welcher öffentlicher und privater Schlüssel gespeichert sind, haben. Zusätzlich gibt es Nodes, die als Knotenpunkte in einem Blockchain-Netzwerk fungieren. Ihre Rolle ist die Speicherung der gesamten Transaktionshistorie, die Prüfung von Transaktionen und Berechnungen der Miner. Zuletzt gibt es die Miner, Computer, die dafür zuständig sind, neue Blöcke zu erstellen, indem sie rechenintensive Aufgaben lösen und dafür belohnt werden. Da der Aufwand sehr groß ist, werden sie oft zu Mining-Pools, aus mehreren Rechnern, zusammengesetzt. Eine Node kann theoretisch jeder Rechner in einem Blockchain-Netzwerk sein, aber für Miner wird spezielle Hardware benötigt. Im Bitcoin-Netzwerk gibt es ca. 200 Millionen Wallets, mehr als 15.000 Nodes und ungefähr 100.000 Miner. (vgl. BDEW 2017, S. 15–16)

Die Blockchain-Technologie nutzt ein verteiltes Netzwerk, in dem alle Teilnehmer:innen gleichermaßen beteiligt und vernetzt sind. Zum Vergleich gibt es bei zentralen Systemen eine Instanz, die die Regeln des gesamten Systems festlegt. Befehle können dort schnell durchgeführt werden, aber das System ist anfällig für Angriffe, durch den *Single Point of Failure*. Dezentrale Systeme bestehen aus mehreren eigenständigen Systemen, die aber trotzdem vernetzt sind. Ein Vorteil ist die Unabhängigkeit der einzelnen Bestandteile, aber bei Ausfällen können Prozesse verlangsamt werden. Verteilte Systeme sind sicherer vor Ausfällen oder Angriffen, da sie bei einem Ausfall von Teilnehmer:innen weiterhin ohne Probleme funktionieren. Dafür ist das System, durch die Vernetzung aller Akteur:innen, komplizierter und hat einen höheren Organisationsaufwand. (vgl. BDEW 2017, S. 11)

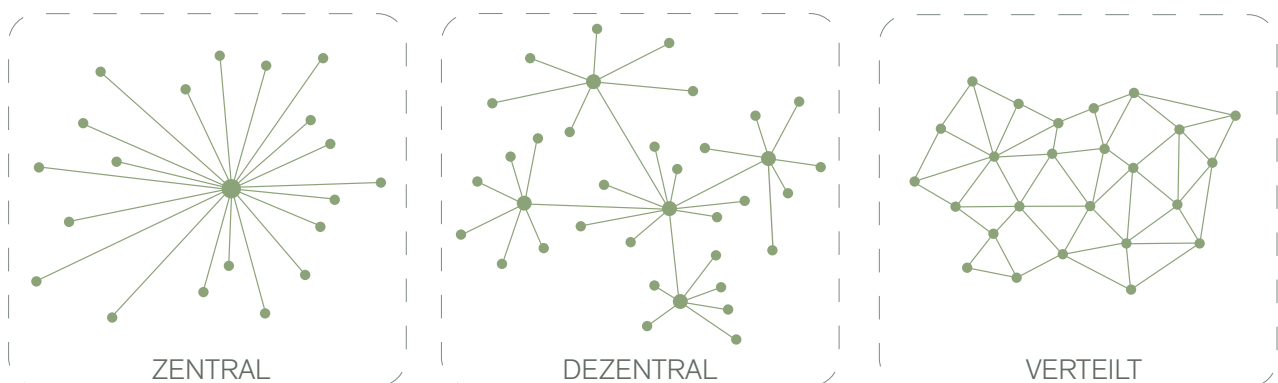


Abbildung 16: Unterschied Zentral - Dezentral - Verteilt, eigene Darstellung nach BDEW 2017

Da es keine zentrale Instanz gibt, wird Vertrauen durch die chronologische Speicherung aller Transaktionen erzeugt. Mehrere Transaktionen werden gebündelt und zu Datenblöcken (Blocks) zusammengefügt, diese werden wiederum in einer Kette (Chain) aneinandergereiht. Daher kommt auch der Name Blockchain. (vgl. BDEW 2017, S. 11)

Die Datenstruktur der Blockchain ist in Abbildung 17 vereinfacht dargestellt. Ein einzelner Block besteht aus dem Block-Header, einem Merkle-Tree und Transaktionen. Vereinfacht wird für die zwei Transaktionen (T1,T2) jeweils ein Hash-Wert erzeugt (H1, H2) und zu einem Merkle-Root zusammengeführt (H12). Im Block-Header befinden sich Informationen, wie der Hash-Wert, eine Referenz zum vorigen Block, der Merkle-Root und weitere. Block 1 ist der erste Block und hat deshalb keine Referenz im Block-Header. Ab dem zweiten Block ist der Block Header vom ersten Block (BH1) referenziert. Durch die Referenz kann von jedem Block aus bis zum ersten Block zurückgeschlossen werden. Die Integrität der Blockchain ist gesichert, denn wenn eine Transaktion (z.B. T1) manipuliert wird, ändert sich auch der Merkle-Root und infolgedessen alle Referenzen in den Block Headern. (vgl. Fill und Meier 2020, S. 18–22)

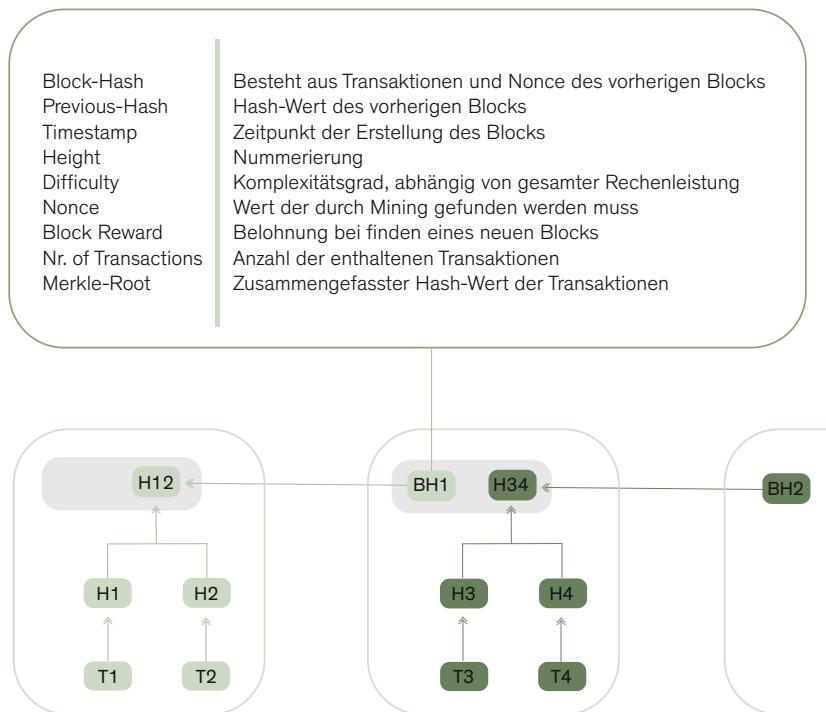


Abbildung 17: Datenstruktur und Inhalte Block-Header, eigene Darstellung

Zur Erweiterung der Datenstruktur der Blockchain, also zum Hinzufügen und Validieren eines Bündels an Transaktionen in Form eines Blocks, wird ein Konsensmechanismus benötigt. Durch Zufallsprinzip wird eine Node ausgewählt, die den nächsten Block an die Kette anhängen darf und die anderen Nodes validieren dann, ob der neue Block korrekt ist. In einem traditionellen System wird dies zufällig von einer zentralen Instanz ausgewählt, aber da es in einem Blockchain-Netzwerk keine gibt, werden andere Methoden genutzt, um Unabhängigkeit und Neutralität zu gewährleisten. (vgl. Fill und Meier 2020, S. 22–23)

Proof-of-Work (PoW)

Eine der am weitesten verbreiteten Konsensmethoden, u. a. durch Bitcoin, ist PoW. Um einen neuen Block an die Blockchain hinzuzufügen, muss Mining betrieben werden. Dabei muss ein kryptographisches Puzzle von den Minern gelöst werden. Die Miner stehen im Wettbewerb miteinander, wer als Erstes die richtige Lösung gefunden hat, erhält eine finanzielle Belohnung. (vgl. Hasse et al. 2016, S. 6)

Aus Elementen des letzten Blocks wird ein Hash-Wert gebildet, dazu werden Merkle-Root, Protokollversion, Referenz zum vorigen Block, Zeitstempel, Difficulty und Nonce benötigt. Es gibt unterschiedliche Komplexitätsgrade (Difficulty), die sich an der Summe der Rechenleistung aller Miner im Blockchain-Netzwerk orientieren. Die Schwierigkeit passt sich immer so an, dass bei Bitcoin alle zehn Minuten ein neuer Block gefunden wird. Die Aufgabe besteht darin, einen bestimmten Hash-Wert zu finden, der kleiner ist als der im Block-Header festgelegte Wert. Zur Lösung wird der Nonce-Wert des letzten Blocks immer wieder verändert und unterschiedliche Hash-Werte werden generiert, bis einer niedriger als der Zielwert ist. Hat ein Miner den richtigen Hash-Wert gefunden, wird dieser an die anderen Nodes geschickt, welche ihn durch Nachrechnen validieren. Ist das Ergebnis richtig, wird der Block an die Blockchain angehängt. (vgl. Fill und Meier 2020, S. 23–26; Hasse et al. 2016, S. 6–7) Da die Miner miteinander konkurrieren, kann es sein, dass zwei zur gleichen Zeit die Lösung finden, dies nennt sich Gabelung. Für einen Moment existieren zwei Abzweigungen, bis eine der beiden länger wird. Die Längere wird vom Netzwerk als die Richtige angesehen und weitergeführt. Die Transaktionen, die in der aufgelösten Kette waren, müssen dann erneut in einem Block aggregiert werden. (vgl. Kaucher 2020, S. 4)

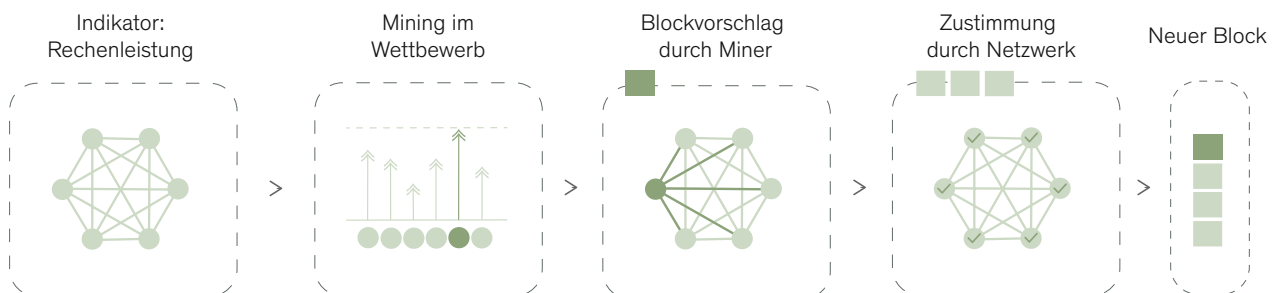


Abbildung 18: Proof-of-Work, eigene Darstellung nach Corusa et al. 2020

Durch die steigende Anzahl an Minern wird die Schwierigkeit der zu lösenden Aufgaben höher und infolgedessen steigt auch der Ressourcenaufwand drastisch an. Deshalb gibt es weitere Konsensmethoden, die energieeffizienter und somit umweltfreundlicher sind. (vgl. Kaucher 2020, S. 4)

Proof-of-Stake (PoS)

Als Alternative zu PoW gibt es beim PoS Konsensmechanismus keinen Wettbewerb zwischen den Minern. Anstatt Ressourcenaufwand wird hier Geld in der Form von Pfand (Stake) investiert. Teilnehmer:innen, in diesem Fall Stakeholder:innen genannt, die den nächsten Block generieren dürfen, werden durch die Wertanteile bestimmt. Je mehr Stakes, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit durch Zufallsprinzip ausgewählt zu werden. Ausgewählte Stakeholder:innen dürfen dann alle offenen Transaktionen aggregieren und einen neuen Block erstellen. Die Entlohnung erfolgt über die Transaktionsentgelte. Die Berechnungen sind um einiges leichter, da nur an einem neuen Block gearbeitet wird, dies spart Ressourcen, v. a. in Form von Hardware und Strom. (vgl. Bogensperger et al. 2018a, S. 39–41; Corusa et al. 2020, S. 21)

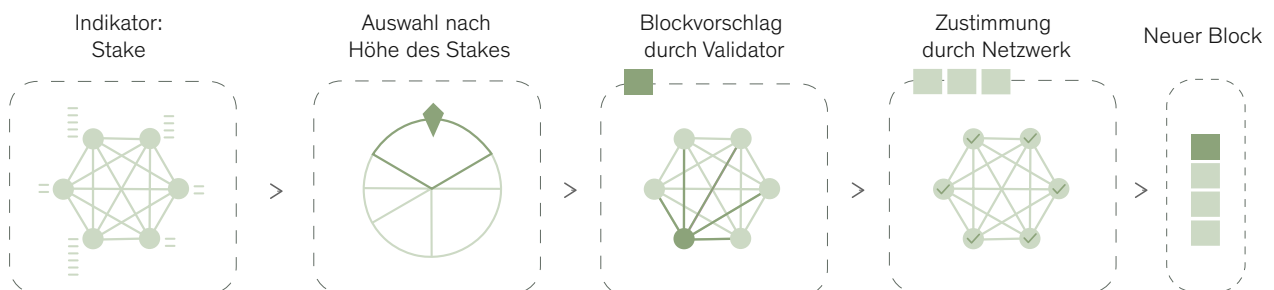


Abbildung 19: Proof-of-Stake, eigene Darstellung nach Corusa et al. 2020

Proof-of-Authority (PoA)

Für konsortiale oder private Blockchains kann PoA ausreichend sein. In diesem Fall ist der Konsens permissioned, das heißt, er muss nur unter einer beschränkten Anzahl an Validator:innen, den authorities, gefunden werden. Nur sie können neue Blöcke erstellen und validieren. Der Reihe nach wird eine Node ausgewählt, die einen neuen Block vorschlägt. Dieser muss dann von der Mehrheit der authorities validiert werden. Der Ressourcenaufwand ist auch bei dieser Methode erheblich geringer. Dafür liegt das Vertrauen bei einer geringeren Anzahl an Nodes, aber für unternehmens- und projektinterne Nutzung ist eine PoA Blockchain trotzdem vorteilhafter als eine zentralisierte Datenbank. (vgl. Bogensperger et al. 2018a, S. 42; Corusa et al. 2020, S. 22)

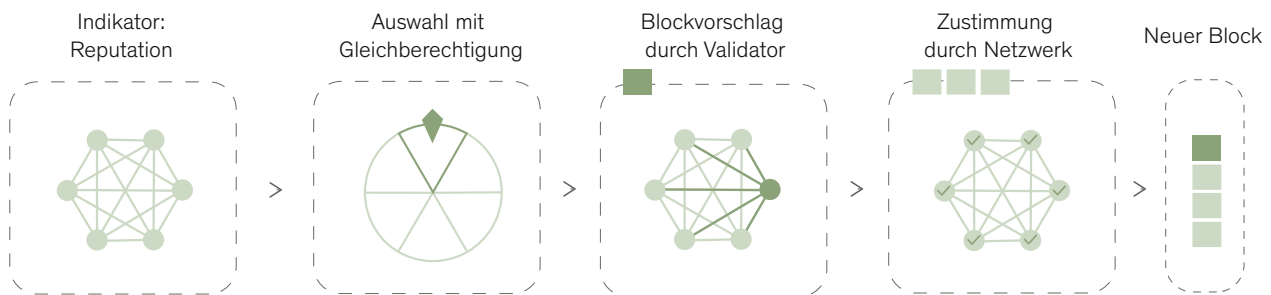


Abbildung 20: Proof-of-Authority, eigene Darstellung nach Corusa et al. 2020

Diese drei Konsensmechanismen sind die häufigsten, aber es gibt noch weitere, die darauf aufbauen. **Proof-of-Activity** ist eine Kombination aus PoW und PoS, **Proof-of-Importance** ist PoS, nur dass in das Auswahlverfahren die Wichtigkeit im Netzwerk einfließt und bei **Delegated PoS** werden mehrere Teilnehmer:innen durch eine gewählte Node repräsentiert. Weitere Konsensmechanismen sind **Proof-of-Elapsed Time** (Lotterie von per Zufallsgenerator erstellten Wartezeiten, die kürzeste Zeit darf einen neuen Block anhängen), **Proof-of-Burn** (erst nachdem eine bestimmte Menge an eigenen Coins zerstört werden, erhalten Miner genügend Vertrauen, um neue Blöcke zu erstellen) und **Proof-Of-Capacity** (Speicher auf eigenen Festplatten wird freigegeben, der für das Netzwerk verwendet wird, je größer der Speicher, desto größer die Chance ausgewählt zu werden). (vgl. Bogensperger et al. 2018a, S. 43–44; Andoni et al. 2019, S. 8)

Ein Weg Blockchains zu unterscheiden ist die Art der Genehmigung, die benötigt wird, um teilzunehmen. Unterschieden wird hier zwischen genehmigungsfreien (**permissionless**) und genehmigungsbasierten (**permissioned**) Systemen. Im Unterschied zu genehmigungsfreien, bei welchen jeder teilnehmen, validieren und neue Blöcke erstellen kann, werden bei genehmigungsbasierten Blockchains die Nodes im Vorhinein durch ein Konsortium oder eine zentrale Instanz ausgewählt. Sie sind leichter zu entwickeln und brauchen weniger Anreize für richtiges Verhalten, in Form von PoW, da Teilnehmer:innen bekannt sind und andere Konsensfindungsmethoden verwendet werden können. (vgl. Schlatt et al. 2016, S. 11)

Blockchains können auch nach der Art des Zugriffs unterschieden werden. Die drei unterschiedlichen Arten haben jeweils Vor- und Nachteile und werden je nach Anwendungsart verwendet.

Öffentliche Blockchains

Bei einer öffentlichen Blockchain gibt es unbeschränkten Zugang für alle Personen mit Internetzugang. Für die Teilnahme wird kein Identitätsnachweis benötigt und es herrscht Pseudonymität. Es wird keine zentrale Instanz zur Überwachung benötigt, deshalb gibt es einen hohen Grad an Dezentralisierung. In Regel sind öffentliche Blockchains permissionless, das heißt für alle ist es möglich an dem Netzwerk teilzunehmen und Transaktionen zu validieren. Die Konsensfindung findet entweder über PoW oder PoS statt. V. a. PoW ist ressourcenintensiv und es gibt eine langsame Transaktionsgeschwindigkeit. (vgl. Albrecht et al. 2018, S. 4; BDEW 2017, S. 21–22; Bogensperger et al. 2018a, S. 13–14)

Private Blockchains

Im Vergleich dazu gibt es private Blockchains, die von einer zentralen Instanz betrieben werden. Diese verfügt über Kontrollfunktion, gibt Regeln vor und beschränkt den Zugang der Teilnehmer:innen. Die Art wird u. a. unternehmensintern oder für den Test von öffentlichen Blockchains verwendet. In der Regel sind private Blockchains permissioned, also nur bestimmte Teilnehmer:innen können Transaktionen validieren. Das Hinzufügen von neuen Blöcken geht schneller und mit niedrigerem Ressourcenaufwand, da meistens PoS und PoA als Konsensmechanismus verwendet wird. Der Grad der Dezentralisierung ist klein, daher gibt es erhöhte Vulnerabilität gegenüber Manipulationen. (vgl. Albrecht et al. 2018, S. 4–5; BDEW 2017, S. 22; Bogensperger et al. 2018a, S. 14)

Konsortiale Blockchains

Zusätzlich gibt es noch konsortiale Blockchains, die als eine Mischung aus privaten und öffentlichen Blockchains zählen. Die Betreiber:innen, die Regeln festlegen und Teilnehmer:innen verifizieren, sind in diesem Fall ein Konsortium aus mehreren Personen oder Organisationen. Konsortiale Blockchains können je nach Bedarf und Aufgabenbereich gut angepasst werden, beispielsweise kann die Anonymität weggelassen werden. Hier sind unterschiedliche Grade der Dezentralisierung möglich, aber es gilt zu bedenken, dass eine höhere Anzahl an Teilnehmer:innen höhere Manipulationssicherheit und Vertrauen gewährleistet. (vgl. Albrecht et al. 2018, S. 5; Bogensperger et al. 2018a, S. 14–15)

Aus der Art des Zugriffs und der Genehmigung kann der Grad der Zentralisierung beschrieben werden (siehe Abbildung 21). Genehmigungsfreie Blockchains sind meist auch öffentlich und genehmigungsbasierte sind meist privat. Für eine Blockchain-Anwendung sollte im Vorhinein klar sein, in welche Kategorien sie fallen soll. Wichtig ist hier zu wissen, wer am Ende die Nutzer:innen sind, mit welchen Daten gearbeitet wird, welche rechtlichen Rahmenbedingungen es gibt und ob es eine Art von zentraler Instanz braucht. (vgl. BSI 2019, S. 11; Schlatt et al. 2016, S. 11–12)

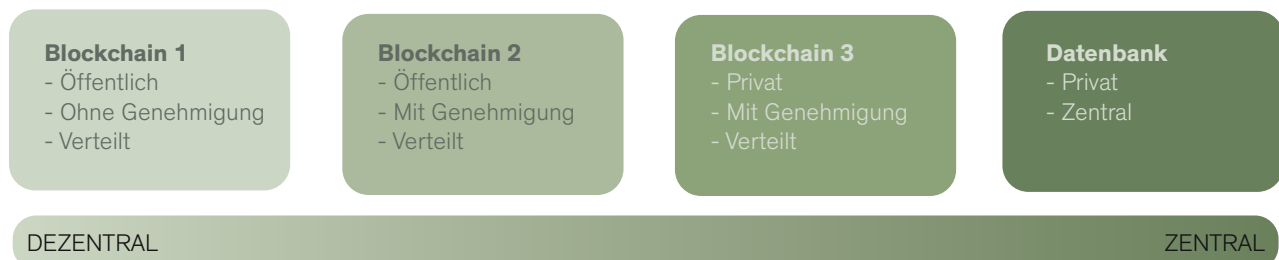


Abbildung 21: Grad der Zentralisierung, eigene Darstellung nach Schlatt et al. 2016

4.4 Kategorisierung und Anwendungen

Die präsenteste Anwendung der Blockchain-Technologie ist die Kryptowährung Bitcoin, aber es gibt noch sehr viele weitere Anwendungen. Die Entwicklung der Technologie befindet sich noch in der Anfangsphase, daher gibt es aktuell mehrere Versuche einer Kategorisierung. (vgl. Schlatt et al. 2016, S. 15)

Eine Methode ist die zeitliche Einordnung in die verschiedenen Entwicklungsphasen der Blockchain, wobei es hier keine trennscharfen Abgrenzungen gibt. Die Blockchain 1.0 umfasst erste Anwendungsfälle, in der Form von Kryptowährungen, wie Bitcoin. Diese Phase wird oft verglichen mit dem Internet der 90er Jahre. Die Blockchain 2.0 ist eine Weiterentwicklung, die die Nutzung von Smart Contracts implementiert hat. Die erste und bekannteste Umsetzung ist Ethereum. Es können komplexere Anwendungen mit automatisierten Prozessen entwickelt werden, die auch außerhalb des Finanzsektors liegen. Ein auftretendes Problem ist die Frage der Skalierbarkeit bei Vergrößerung der Nutzer:innenzahl. Blockchain 3.0 ist wiederum eine weiterentwickelte Version, die aber noch nicht vervollständigt ist. Mit dieser Version sollen Probleme wie Skalierbarkeit, Energieeffizienz und Bedienbarkeit gelöst werden. Außerdem soll die Kompatibilität zwischen verschiedenen Anwendungen verbessert werden, sodass die Blockchain in allen Lebensbereichen angewendet werden kann. (vgl. Hasse et al. 2016, S. 5; Schlatt et al. 2016, S. 15)

William Mougayar hat eine funktionale, zeitunabhängige Kategorisierung für das Anwendungsumfeld von Blockchains entwickelt. Sie teilt sich in die vier Kategorien Infrastruktur und Plattformen, Middleware Services, Applikationen und Nebenleistungen. Infrastruktur und Plattformen umfassen Blockchains selbst, Plattformen für Entwicklung und Implementierung von Anwendungen, Hardware für PoW und Kryptowährungen. Middleware Services sind die Verbindung zwischen Plattformen und Applikationen wie z. B. Smart Contracts und Entwickler-Tools zur Implementierung von Anwendungen. Applikationen sind die konkreten Anwendungsfälle auf der Infrastruktur mithilfe von Middleware Services. Die Kategorie Nebenleistungen steht für alle Dienstleistungen, die mit Blockchains zu tun haben. (vgl. Mougayar 2015, S. 25–54; Schlatt et al. 2016, S. 16–21)

Die Anwendungsmöglichkeiten von Blockchains sind über alle Themenbereiche der Gesellschaft verteilt. Die erste und bekannteste Anwendung sind Kryptowährungen, digitale Währungen, die auf der Blockchain basieren. Aktuell gibt es ungefähr 12.000 verschiedene Währungen. Durch die Blockchain-Technologie können finanzielle Transaktionen sicher, schnell und unabhängig von Dritten durchgeführt werden. (vgl. Kaucher 2020, S. 8) Der zweitgrößte Anwendungsbereich umfasst die bereits beschriebenen Smart Contracts und ihre vielseitigen Nutzungsmöglichkeiten. V. a. im Hinblick auf zukünftige Entwicklungen sind Dezentrale Autonome Organisationen (DAO) zu erwähnen. Eine DAO ist eine neue Organisationsform, die die Kooperation zwischen Menschen und Geräten ermöglicht. Die Geschäftsregeln sind mit Smart Contracts festgelegt und die Organisation funktioniert dann automatisch ohne menschlichen Einfluss. (vgl. Schlatt et al. 2016, S. 23–25)

Durch die Möglichkeit, Daten auf die Blockchain zu schreiben, die nicht mehr verändert werden können, gibt es weitere Anwendungen in verschiedenen Branchen. Z. B. im Rechtswesen für Vertragsdurchsetzung, Verifikation von Dokumentinhalten oder zur Übertragung von Eigentumsrechten. (vgl. Schlatt et al. 2016, S. 31) Die Blockchain kann auch zum Identitätsmanagement verwendet werden. Bei digitalen Ausweisen gibt es keine Fälschungsmöglichkeit und sicheres Authentifizieren ist möglich. (vgl. Fill und Meier 2020, S. 49) Im Rahmen von digitalen Stimmzetteln kann die Blockchain auch ein Mittel zur politischen Partizipation sein. Wähler:innen und deren Wahlberechtigung lassen sich eindeutig

identifizieren und jeder kann nur genau eine Stimme abgeben. (vgl. Fill und Meier 2020, S. 87–89) Eine Anwendung, die auch häufig in den Medien war, sind Non-Fungible Tokens (NFTs). Damit können materielle oder auch immaterielle Gegenstände auf der Blockchain gespeichert werden. Sie sind einmalig und nicht teilbar, dadurch ist es möglich, u. a. Kunst zu besitzen, ohne das Kunstwerk selbst zu haben. (vgl. Kostopoulos et al. 2021, S. 4–5)

Es gibt auch Anwendungsfälle mit Planungsbezug, wie z. B. in Smart Cities. Eine Nutzung ist die Vernetzung mit Geräten aus dem Internet of Things, wodurch Geräte miteinander kommunizieren und Aktionen automatisiert ausführen können. Weitere Anwendungen gibt es in der Mobilität und in der Optimierung von Gebäudelebenszyklen. (vgl. Kaucher 2020, S. 9) Auch im Energiesektor gibt es viele Anwendungsmöglichkeiten, wie z. B. lokale Microgrids und die Zertifizierung von Grünstrom. Diese werden im Kapitel 5 detaillierter beschrieben. (vgl. Fill und Meier 2020, S. 83–85)

Für die Umsetzung einer Anwendung in die Praxis sind die bereits erwähnten Smart Contracts relevant. Ein Smart Contract ist ein digitales Protokoll, welches die Durchführung von automatisierten Aktionen ermöglicht. Hier sind mehr als nur finanzielle Transaktionen möglich. Den Begriff und die Idee gab es bereits 1997, für die Umsetzung wurde es wieder von den Entwicklern aufgegriffen. Smart Contracts sind programmierbare Verträge, die sich selbst ausführen, sobald die vorher festgelegten Vertragsbestimmungen erfüllt sind. Oft sind es Wenn-Dann-Regelungen, aber die Inhalte der Verträge können auch sehr komplex sein. Dafür wird eine eigene Programmiersprache (bei Ethereum Solidity, die auf Javascript basiert) verwendet. Der Programmcode befindet sich in einer Transaktion der Blockchain und wird im Rahmen der Validierung ausgeführt. Die Ausführung ist nicht nur zwischen zwei Nutzer:innen möglich, sondern auch zwischen Geräten. Beispielsweise misst ein Sensor, der mit dem Internet verbunden ist, einen Wert ab. Die Daten werden an die Blockchain geschickt und der Smart Contract wird ausgeführt, wenn der Wert die Bestimmungen erfüllt. Dafür gibt es Oracles die als Schnittstelle zwischen der Blockchain und externen Systemen fungieren. Neben Messungen können auch Daten aus dem Internet oder von Programmen, wie Wetterdaten oder Energiepreise, übertragen werden und die Ausführung eines Smart Contracts auslösen. Zu erwähnen ist, dass es sich bei Smart Contracts um keine echten Verträge handelt und Länder dies unterschiedlich handhaben. (vgl. Bensberg und Gerth 2018, S. 6; Corusa et al. 2020, S. 29–30; Kalinov und Voshmgir 2017, S. 29; Bogensperger et al. 2018b, S. 50–51)

Wie bereits erwähnt, gibt es verschiedene Blockchains. Folgend werden die wichtigsten im Bezug zur Arbeit vorgestellt:

Bitcoin ist die erste Blockchain aus dem Jahr 2009 von Satoshi Nakamoto. Ihr Zweck ist es, Transaktionen durchzuführen und zu speichern. Es ist eine öffentliche, genehmigungsfreie Blockchain, die PoW verwendet. Die Entwicklung war innovativ, da mit der Distributed-Ledger-Technologie in Kombination mit dem Konsensmechanismus ein dezentrales System mit Vertrauen geschaffen wurde. Die Bitcoin Blockchain bildet die Grundlage für alle weiteren Blockchains, die darauf aufbauen oder auch nur Teile davon verwenden, um das Potenzial zu erweitern. (vgl. Corusa et al. 2020, S. 29–30)



Abbildung 22: Bitcoin Logo, Crypto Logos o. J.a

Ethereum wurde 2015 von Vitalik Buterin und Gavin Wood entwickelt. Der Name stammt vom aristotelischen 5. allgegenwärtigen Element Äther und soll dafür stehen, dass Ethereum einmal allgegenwärtig in allen Lebensbereichen sein soll. Es ist eine öffentliche, genehmigungsfreie Blockchain, die bis September 2022 den PoW Konsensmechanismus genutzt hat. Seit dem Merge ist die Blockchain auf PoS umgestellt und der Energieverbrauch um 99,95 % reduziert. Zum einen gibt es die Kryptowährung mit der zweitgrößten Marktkapitalisierung Ether (ETH), aber daneben gibt es noch eine wichtige Innovation: die Smart Contracts. Sie stehen für den Start der Blockchain 2.0 und ermöglichen die Ausführung von dezentralen Anwendungen. (vgl. Bensberg und Gerth 2018, S. 6; BSI 2019, S. 13; Corusa et al. 2020, S. 30; vgl. Neureuter und Gray 2022, S. 2-7)



Abbildung 23: Ethereum Logo, Crypto Logos o. J.c

Tendermint ist eine Blockchain von der gleichnamigen Firma Tendermint, die 2014 gegründet wurde. Sie nutzt den Konsensmechanismus PoS. Die Unterscheidung zu anderen Blockchains liegt darin, dass die Struktur in zwei Teile aufgeteilt ist (polylythisch). Es gibt die klassische Konsensschicht (Tendermint Core) und die Anwendungsschnittstelle (Application Blockchain Interface). Das vereinfacht vieles für Anwender:innen, da sie sich nur auf eines der beiden fokussieren müssen. Außerdem kann jede beliebige Programmiersprache verwendet werden. Hier ist auch eine Kombination aus Elementen von Tendermint und anderen Blockchains möglich, wodurch das Problem der fehlenden Interoperabilität miteinbezogen und die Flexibilität der Anwendungen erhöht ist. (vgl. Binance Adademy 2021)



Abbildung 24: Tendermint Logo, Cosmos Network o. J.

Hyperledger Foundation wurde 2015 von der Linux Foundation als Gemeinschaft mit dem Fokus auf Unterstützung von Blockchain-Implementierungen gegründet. Die dazugehörige Blockchain **Hyperledger** dient als Plattform für Smart Contracts. Die Blockchain ist privat, genehmigungsbasiert und nutzt nachrichtenbasierte Konsensmechanismen. Sie zeichnet sich durch hohe Leistungsfähigkeit, Sicherheit, Modularität und einer polylythischen Struktur aus. Ziel ist es, ein modulares System aufzubauen, von dem einzelne Komponenten verwendet werden können. Diese dienen als Grundlage für die Entwicklung von Anwendungen in allen Gesellschaftsbereichen. Einzelne oder mehrere Komponenten können verwendet und individuell zusammengebaut werden. Da Hyperledger Open-Source ist, kann jeder Bestandteil weiterentwickelt werden und ermöglicht somit innovative Anwendungen. (vgl. Hyperledger Foundation o. J., S. 1; IBM o. J., S. 1–2)



Abbildung 25: Hyperledger Logo, Hyperledger Foundation o. J.b

Die Energy Web Foundation ist eine globale gemeinnützige Organisation, bestehend aus einem interdisziplinären Team aus Expert:innen im Bereich Blockchain und Energie, die 2017 gegründet wurde. Ziel ist die Entwicklung eines CO₂-armen und kundenorientierten Elektrizitätssystems, durch Nutzung der Blockchain und dezentralen Technologien. Im Juli 2019 wurde die **Energy Web Chain** veröffentlicht, eine Blockchain Plattform, die auf Ethereum Technologien basiert. Es ist eine öffentliche Blockchain, mit Mitgliedern der Energy Web Foundation als Validator:innen, die den Konsensmechanismus PoA nutzt. Die Nutzung zielt spezifisch auf Anwendungen im Energiebereich ab und unterstützt diese durch Bereitstellung von Open-Source Software Development Toolkits für die häufigsten Bedürfnisse von Applikationen. Entwickler:innen können diese verwenden, weiterentwickeln



Abbildung 26: Energy Web Chain Logo, Crypto Logos o. J.b

und damit Kosten sparen. Die Vision ist, dass die Blockchain in Zukunft für Anwendung auf dem breiten Markt genutzt werden kann. Im Speziellen bei Anwendungen, die auf dezentralisierte, demokratisierte und dekarbonisierte Energiesysteme fokussieren. (vgl. Energy Web Foundation 2019, S. 1–8)



Abbildung 27:
Powerledger
Logo, Crypto
Logos o. J.d

Powerledger ist eine Plattform für Kryptowährungen und Energiehandel, die 2016 in Australien gegründet wurde. Die Blockchain ist permissioned und baut auf Solana auf. Sie ist schneller und der Ressourcenverbrauch ist geringer, da PoS verwendet wird. Ziel ist der Aufbau einer Blockchain-Plattform, die modular und skalierbar ist und die spezifisch auf Projekte im Energiesektor abzielt. Dafür gibt es drei Funktionen, die jeweils weitere Module haben. Die erste Funktion ist für Energiehandel und Rückverfolgbarkeit, wodurch Peer-to-Peer Handel, die Auswahl eines bevorzugten Energiemix, Echtzeitpreise und das Schenken von Strom ermöglicht wird. Zusätzlich gibt es die Option für Flexibilitätshandel und einen Marktplatz für Zertifikate. (vgl. Marke et al. 2021, S. 22; Powerledger 2019, S. 11–13, 22-24)

4.5 Stromverbrauch von Blockchains

Blockchains geraten in den Medien öfters, aufgrund ihres hohen Stromverbrauchs, in Kritik. Die Auswirkungen auf das Klima und die Einhaltung der Klimaziele bei Weiterentwicklung werden negativ angesehen. Im Jahr 2018 veröffentlichte die Zeitschrift Natural Climate Change einen Artikel, mit der Kernaussage, dass allein die Emissionen von Bitcoin die globale Erwärmung auf über 2 °C bringen könnten. (vgl. dena 2019, S. 98; Reetz 2019, S. 2) Jedoch wird hier oft ein falscher Schluss gezogen, da nicht die Blockchain selbst schlecht für das Klima ist, sondern der Konsensmechanismus PoW. Dieser ist nicht energieeffizient, da die Miner konkurrieren und parallel an der Lösung der gleichen Aufgabe arbeiten. (vgl. Reetz 2019, S. 7)

Die größte Blockchain Bitcoin nutzt PoW. Da es schwer ist, den genauen Stromverbrauch zu ermitteln, hat das Cambridge Centre for Alternative Finance (CCAF) den Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI) entwickelt, der alle 24 Stunden aktualisiert wird. Ergebnis ist eine hypothetische Unter- und Obergrenze und eine bestmögliche Schätzung zum aktuellen Stromverbrauch. Der jährliche Stromverbrauch von Bitcoin liegt bei 141,33 TWh pro Jahr, die Untergrenze bei 52,95 TWh und die Obergrenze bei 354,86 TWh (Stand 12.04.2022). Das sind ungefähr 0,31 % des weltweiten Stromverbrauchs. Zum Vergleich liegt der Stromverbrauch von Bitcoin zwischen dem der Ukraine (124,5 TWh pro Jahr) und Ägypten (149,1 TWh pro Jahr). Eine rasante Entwicklung ist erkennbar, denn im Jahr 2017 waren es 6,6 TWh pro Jahr und 2020 67 TWh pro Jahr. (vgl. CCAF 2022) Zu bedenken ist, dass es sich hier nur um den Verbrauch von Bitcoin handelt. Alle Blockchains, die PoW nutzen, ergeben zusammen einen noch höheren Wert. (vgl. Reetz 2019, S. 2)

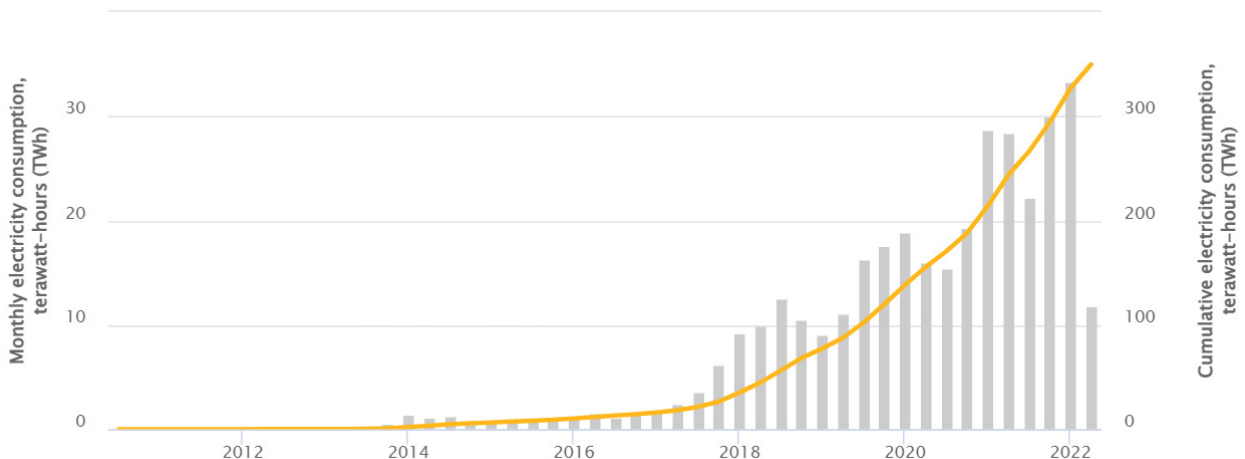


Abbildung 28: Kumulierter Energieverbrauch von Bitcoin, CCAF 2022

Schwierig ist auch festzustellen, aus welchen Quellen der Strom für das Mining kommt, da es keine Regelungen dazu gibt. Es gibt mehrere Projekte, die versuchen das Mining nachhaltiger zu gestalten und nur erneuerbare Energien zu nutzen. (vgl. Reetz 2019, S. 10–11) Eine Umfrage des CCAF hat ergeben, dass insgesamt am meisten Wasserkraft für Mining genutzt wird. Danach folgen Kohle, Windkraft, Öl und Sonnenenergie. Kleine Teile nutzen auch Kernkraft und Geothermie. Außerdem gaben 39 % an, dass die verwendete Energie nur aus erneuerbaren Energien stammt. Hier sind Nordamerika und Europa an der Spitze. Jedoch ist die Umfrage mit Vorsicht zu genießen, da nur 280 Akteur:innen befragt wurden. Der echte Wert kann auch sehr unterschiedlich ausfallen. (vgl. Blandin et al. 2020, S. 26–28)

Ein Argument von Vertreter:innen von PoW ist, dass sich die Technik der genutzten Hardware hinsichtlich des Stromverbrauches verbessert. Jedoch entsteht hier eine Rückkopplung, da Kosten für den Strom wegfallen und neue Geräte angeschafft werden können. Durch eine insgesamt höhere Rechenleistung im Netzwerk wird die Schwierigkeit der Aufgaben größer, wodurch sich der Rechenaufwand für die Aufgaben erhöht. Der Stromaufwand wieder auf dem vorherigen Level oder sogar noch höher ist. Außerdem ist der Lebenszyklus der Hardware nicht zu vergessen. Die Produktion und Entsorgung sind umweltschädlich. Der Elektroschrott von Bitcoin allein wird auf 11.000 Tonnen pro Jahr geschätzt. (vgl. Reetz 2019, S. 10–11)

Die Lösung für das Problem ist bereits vorhanden. Durch die Nutzung von Konsensmechanismen, bei welchen die Miner nicht miteinander konkurrieren, wie PoS oder PoA, kann der größte Teil des Stromverbrauches eingespart werden. Die theoretische Umstellung von Bitcoin auf PoS würde zu einer Reduzierung des jährlichen Stromverbrauchs auf 0,01 TWh führen. (vgl. Reetz 2019, S. 3) Die Auswahl des Konsensmechanismus liegt zwar bei den Entwicklern der jeweiligen Anwendung, aber die Politik hätte durchaus Möglichkeiten dies zu steuern. U. a. könnte es keine Förderung für PoW Projekte geben und Anwendungen für die öffentliche Hand müssten einen alternativen Konsensmechanismus verwenden. Eine weitere Idee sind verpflichtende, einheitliche Effizienzanalysen und Fristen, die es erlauben den Konsensmechanismus umzustellen. (vgl. Reetz 2019, S. 16–17)

3.4 Zwischenfazit

Eine Blockchain als verteilte Datenbank zeichnet sich dadurch aus, dass es keine zentrale Instanz und somit keinen Single-Point-of-Failure gibt. Somit ist sie beständig gegenüber Ausfällen und Angriffen. Sie eignet sich für die Kommunikation zwischen vielen Teilnehmer:innen, da alle Transaktionen öffentlich und transparent für alle sichtbar sind. Ein weiterer Aspekt ist die Manipulationssicherheit, die durch die Unveränderlichkeit der aneinandergereihten Blöcke entsteht. Pseudonymität ist möglich, da Vertrauen durch das Hinzufügen von neuen Blöcken entsteht. Die drei häufigsten Konsensmethoden dafür sind PoW, PoS und PoA. Es gibt verschiedene Ausgestaltungsformen von Blockchains. Zum einen kann zwischen der Art des Zugriffs (öffentlich, privat und konsortial) und zum anderen zwischen der Art der Genehmigung (permissioned und permissionless) unterschieden werden.

Mit Blockchains sind bereits viele Anwendungen in allen Bereichen der Gesellschaft möglich, diese befinden sich aber teilweise noch in der Anfangsphase. Zu Beginn waren nur finanzielle Transaktionen möglich. Die große Erweiterung erfolgt durch Smart Contracts, welche die Automatisierung von Prozessen ermöglichen. Eine Kategorisierung kann entweder zeitlich, mit der Blockchain 1.0 bis 3.0 oder nach den funktionalen Kriterien von Mougayar erfolgen. Zu beachten ist, dass Blockchains noch nicht ihr endgültiges Entwicklungsstadium erreicht haben. Für den hohen Stromverbrauch gibt es bereits Lösungsansätze. Aber es gibt noch Entwicklungspotenziale, beispielsweise in der Reduzierung der Komplexität, der Erhöhung der Transaktionen pro Minute und der Skalierbarkeit.

5

Anwendungen der Blockchain im Energiesektor

- 5.1 Peer-to-Peer Handel
- 5.2 Großhandel
- 5.3 Zertifizierung
- 5.4 Systemdienstleistungen
- 5.5 E-Mobilität
- 5.6 Finanzierung und Tokenisierung
- 5.7 Zwischenfazit

5. Anwendungen der Blockchain im Energiesektor

Studien und Analysen zeigen viele Nutzungsmöglichkeiten der Blockchain im Energiesektor auf, einige davon wurden bereits in Pilotprojekten erprobt. Der Großteil der Projekte befindet sich im Stromsektor, aber es gibt auch vereinzelte Anwendungen im Bereich von Gas, Wärme und Mobilität. Während die Blockchain 1.0 das Bezahlen der Rechnung mit Kryptowährungen möglich macht, sind mit der Blockchain 2.0 vielseitigere Anwendungen mit Smart Contracts möglich. Chancen liegen in der Schaffung eines flexibleren und dynamischeren Marktes, der automatisierten und effizienteren Gestaltung von Prozessen und der Stärkung der Rolle der Verbraucher:innen. (vgl. Burger et al. 2016, S. 10–11; Kastrati und Weissbart 2016, S. 75–76)

Im Folgenden werden die Anwendungen Peer-to-Peer Handel, Großhandel, Zertifizierung, Systemdienstleistungen, E-Mobilität und Finanzierung und Tokenisierung beschrieben und jeweils ein Praxisbeispiel vorgestellt.



Abbildung 29: Anwendungen der Blockchain, eigene Darstellung

5.1 Peer-to-Peer Handel

Peer-to-Peer Handel ist „der Verkauf von erneuerbarer Energie zwischen Marktteilnehmern“ mit einer „automatischen Ausführung und Abrechnung der Transaktionen“ (Babilon et al. 2022, S. 13). Der Handel läuft direkt, ohne den konventionellen Stromversorgern z. B. mit PV-Anlagen auf Wohn-, Büro- oder Gewerbegebäuden, ab. Die Verteilung des Strom erfolgt somit nicht von höheren Netzebenen auf untere, sondern multidirektional, v. a. in den Mittel- und Niederspannungsnetzen. (vgl. ÖAW und AIT 2018, S. 1)

Ein Microgrid ist eine Ansammlung von Lasten, dezentralen Energiequellen und Energiespeichern. Die Besonderheit im Vergleich zum konventionellen Stromnetz ist die Integration von privaten Erzeugungsanlagen. Meist sind es Photovoltaikanlagen, die für den Eigenbedarf verwendet werden und Prosumert:innen können überschüssigen Strom verkaufen. Wenn saisonal oder aufgrund des Wetters nicht genügend Strom für den Eigenbedarf erzeugt wird, übernehmen die konventionellen Unternehmen die Stromlieferung, sodass die Versorgung sichergestellt ist. Es gibt keine einheitlich definierte Größe eines Microgrids. Ein Microgrid ist ein lokales Stromnetz, das sich auf dem Verteilnetz der 5. oder 7. Netzebene befindetet. Das Ausmaß kann von einzelnen Gebäuden, über Quartiersprojekte bis zu regionalen Energiegemeinschaften gehen. Es ist effizient Strom, der lokal erzeugt wird, auch lokal zu verbrauchen, da es dadurch keine Transportverluste gibt. Außerdem wird die

Selbstversorgung aller Teilnehmenden gestärkt, da manche Microgrids kurzzeitig auch im Inselbetrieb funktionieren können. Ein weiterer Anreiz ist die zusätzliche Einnahmequelle für Erzeuger:innen und für Verbraucher:innen, die Gewissheit über die Herkunft des Stroms und günstigere Preise. Da es nicht für alle möglich ist eine private Erzeugungsanlage zu besitzen, können auch Anteile von Erzeugungsanlagen und Gemeinschaftsspeichern erworben werden. Durch die Beteiligung der Bürger:innen wird eine Akzeptanz für die Energiewende geschaffen und der Ausbau von erneuerbaren Energien wird gestärkt. (vgl. BDEW 2017, S. 36–38; BNetzA 2019, S. 27–29; Bogensperger et al. 2018b, S. 35, 39, 45, 46, 49; Burger et al. 2016, S. 22; dena 2019, S. 66–69; Goranovic et al. 2017, S. 1–2; Mengelkamp et al. 2017, S. 2)

Neben dem physikalischen Microgrid für die Stromlieferungen braucht es auch einen Marktmechanismus für die intelligente Steuerung. Durch die Blockchain kann, trotz einer komplexen, dezentralen Struktur, ein transparenter und effizienter Stromhandel gewährleistet werden. Voraussetzung ist die Ausstattung mit intelligenten Messsystemen, die verbrauchte und erzeugte Strommengen in regelmäßigen Abständen messen und an die Blockchain senden. Mit Smart Contracts können Stromtransaktionen ohne Intermediär automatisiert abgeschlossen werden. In ihnen werden Kriterien zum Kauf, wie die Energiemenge und der Preis, von Erzeuger:innen festgelegt. Auch Verbraucher:innen können festlegen, dass Strom nur gekauft wird, wenn er unter einem bestimmten Preis ist oder wenn viel Grünstrom im Netz vorhanden ist. Potenzielle Käufer:innen können Angebote einsehen und annehmen. Dadurch kommt es zu einem Vertragsabschluss und sobald die physikalische Stromlieferung erfolgt, wird automatisiert abgerechnet. Für den Handel werden keine Realnamen benötigt, sondern nur ein Blockchain-Konto für die finanzielle Abrechnung und die Adresse des Smart Meters für die physikalische Stromlieferung. Da alle Daten in der Blockchain gespeichert werden, können Erzeugungs- und Verbrauchsmengen transparent nachvollzogen werden. Durch die Nutzung einer Blockchain können Prozessschritte automatisiert, Transaktionskosten gesenkt und Verrechnungsintervalle verkürzt werden. (vgl. BDEW 2017, S. 36–38; Bensberg und Gerth 2018, S. 7–8; BNetzA 2019, S. 27–29; Bogensperger et al. 2018a, S. 37; dena 2019, S. 74–77; Haber und Hauke 2018, S. 3–4)

Da der Peer-to-Peer Handel anders abläuft als am regulären Strommarkt, ändert sich auch die Rolle der Teilnehmer:innen. Eine neue Position, die entstanden ist, sind die Plattformbetreiber. Sie sind zuständig für den Betrieb und die Weiterentwicklung der Handelsplattform und die Verwaltung der Blockchain. Außerdem sind sie eine Vertrauensstelle und zuständig für die Validierung von Transaktionen, deshalb müssen sie unabhängig von den Stromlieferanten sein. Die Rolle der Erzeuger:innen ist ausgeweitet, da private Stromerzeugungsanlagen auch mit eingebunden sein können. Prosumert:innen können überschüssigen Strom über die Handelsplattform verkaufen. Für Verbraucher:innen ändert sich, dass sie Strom nicht nur von regulären Stromlieferanten kaufen können, sondern auch über Peer-to-Peer Handelsplattformen. Dadurch entstehen mehr Auswahlmöglichkeiten zu Preis und Herkunft des Stroms. Nutzer:innen sollen so ein größeres Bewusstsein für die Strompreisbestandteile entwickeln. An der physikalischen Stromversorgung der Netzbetreiber:innen ändert sich, dass die Lastzuflüsse von kleineren Erzeugungsanlagen und aus niedrigeren Netzebenen kommen. Die Anforderungen an Betriebsführung, Frequenz- und Spannungshaltung steigen durch die volatilere Erzeugung an, werden aber durch Echtzeitinformation über die Blockchain unterstützt. Stromlieferanten haben durch die neuen Geschäftsmodelle Konkurrenz. Ihr Bestehen ist aber weiterhin relevant, da der Peer-to-Peer Handel nicht zu allen Zeiten gewährleistet ist. Die Messstellenbetreiber:innen bzw. Netzbetreiber:innen stellen über Smart Meter die Verbindung zwischen der physikalischen Stromversorgung und der Blockchain bereit, was eine Voraussetzung für einen störungsfreien Betrieb ist. (vgl. Haber und Hauke 2018, S. 6–8)

Brooklyn Microgrid

Im Jahr 2016 wurde das erste Mal eine Peer-to-Peer Stromtransaktion zwischen zwei Bewohner:innen des New Yorker Stadtteils Park Slope durchgeführt. Dafür zuständig ist Brooklyn Microgrid, eine Tochterfirma von LO3 Energy. Ausgangslage für die Entwicklung ist das teilweise veraltete Stromnetz von Brooklyn und das erhöhte Risiko von Extremwetterereignissen. Ziele sind die Sicherung der lokalen Stromversorgung, die Nutzung von erneuerbaren Energien als Beitrag zum Klimaschutz und die Stärkung der lokalen Gemeinschaft. Der Brooklyn Microgrid besteht aus zwei Komponenten (siehe Abbildung 30). Erstens gibt es den virtuellen Strommarkt. Die digitale Infrastruktur für den Stromhandel basiert auf einer privaten Tendermint Blockchain. Smart Meter, von TransActive Grid, sind der Schnittpunkt zum zweiten Teil, dem physischen Microgrid. 2017 wurde der Microgrid auf die benachbarten Stadtteile Gowanus und Boerum Hill erweitert. Die Teilnehmer:innen sind Anwohner:innen, die als Verbraucher:innen und Prosument:innen agieren können. Der Strom wird mittels Photovoltaikanlagen auf den Dächern von Privatpersonen und Unternehmen produziert. (vgl. Mengelkamp et al. 2017, S. 6–10)

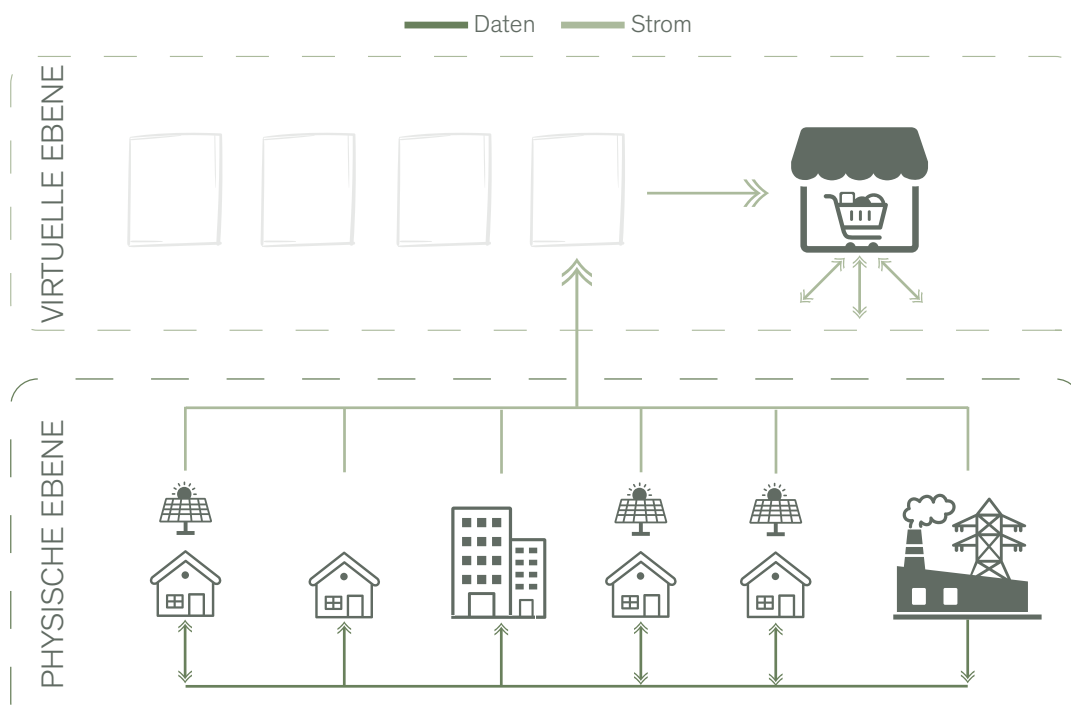


Abbildung 30: Topologie Brooklyn Microgrid, eigene Darstellung nach Mengelkamp et al. 2017

Der physische Microgrid ist für die Stromlieferung zuständig, der Rest passiert virtuell über die Blockchain. Der Verbrauch und die produzierten Energiemengen werden mit Smart Metern gemessen und alle 15 Minuten an die Blockchain gesendet. Mit Smart Contracts werden Kauf- und Verkaufsangebote abgegeben. Verbraucher:innen geben an, wie viel Strom sie benötigen und um welchen maximalen Preis sie kaufen wollen. Prosument:innen melden, wie viel Strom zur Verfügung steht und zu welchem minimalen Preis verkauft werden soll. Dann erfolgt das Matching, zuerst werden die Höchstbietenden angenommen, bis das Angebot ausgeschöpft ist. Verbraucher:innen, deren Gebot zu niedrig war, bekommen traditionelle Stromlieferungen. Der gesamte Handel funktioniert automatisiert. Die Präferenzen zu Strommenge, Preis und Strommix werden im Vorhinein festgelegt, können aber jederzeit geändert werden. Die Zahlung funktioniert ebenfalls automatisiert über die Blockchain, sobald das Matching stattgefunden hat. (vgl. Mengelkamp et al. 2017, S. 6–10)

Der Microgrid in Brooklyn hat positive Effekte auf die Nachbarschaft. Die lokale Gemeinschaft ist dadurch interessiert, die Stromversorgung selbst in die Hand zu nehmen und darauf zu achten, woher ihr Strom kommt. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Strompreise meist unter dem Niveau der restlichen Stadt liegen. Viele Anwohner:innen setzen sich selbst mehr mit der Thematik auseinander und werden motiviert, lokal Strom zu kaufen oder in eigene Photovoltaikanlagen zu investieren. Dadurch bleiben die Profite der Prosumert:innen auch vor Ort und können reinvestiert werden. Ganz allein funktioniert der Microgrid aber noch nicht, denn er ist weiterhin an das traditionelle Verteilnetz von New York angebunden, um Verbrauch und Erzeugung auszugleichen. In Notfällen, wie einem Stromausfall, kann der Microgrid auch abgekoppelt funktionieren. Jedoch ist dies aktuell noch nicht auf längere Dauer ausgelegt, da er sich noch im Ausbau befindet und weitere Stromspeichermöglichkeiten hinzugefügt werden müssen. (vgl. Mengelkamp et al. 2017, S. 6–10)

weitere Praxisbeispiele:

Allgäu Microgrid | BEST | eRex
Gen Y | P2PQ | Tal.Markt

5.2 Großhandel

Der Umstieg auf erneuerbare Energien hat auch einen Einfluss auf den Großhandel. Durch die steigende Volatilität in der Erzeugung gibt es geringere Planbarkeit. Dadurch wandelt sich der Handel von einem Terminmarkt zu einem Spotmarkt, mehr Regenergie muss gehandelt werden und die Transaktionsvolumina sind kleiner. Die Kosten für den Handel bleiben hoch, solange Menschen, wie z. B. Broker, daran beteiligt sind. Deshalb braucht es digitale Lösungen für automatisierte Prozesse, die ohne Intermediäre abgeschlossen werden können. (vgl. Merz 2019, S. 155–161)

Stromhandel passiert entweder über eine Börse oder auf OTC (Over the Counter) Märkten. Eine Blockchain kann Börsensysteme substituieren und multilateralen Austausch verbessern. Es wird ein Markt ohne Intermediäre geschaffen, wodurch die Transaktionskosten reduziert werden können. Die Kostenersparnis macht es attraktiv für kleinere Erzeuger:innen am Großhandel teilzunehmen, dadurch steigt die Wettbewerbsintensität. Auf einer Blockchain-Handelsplattform kann direkter und anonymer Handel durchgeführt werden. Durch die Eigenschaften der Blockchain gibt es sicheren Austausch, hohe Informationsqualität und Transaktionen können vertrauensvoll durchgeführt werden. Marktteilnehmer:innen können anonym Gebote abgeben und Smart Contracts regeln Angebot und Nachfrage. Außerdem können auch Regelleistungsmärkte, Kapazitätsmärkte und Intraday-Handel integriert werden. (vgl. BDEW 2017, S. 39–40; Bogensperger et al. 2018b, S. 35–36; BNetzA 2019, S. 29–30; Burger et al. 2016, S. 22; dena 2019, S. 62–65)

Enerchain

Das Projekt Enerchain basiert auf der Idee, den Energiehandel zu dezentralisieren und zentral organisierte Broker zu ersetzen. Zum ersten Mal umgesetzt wurde das von der Hamburger Firma Ponton im Jahr 2016, nachdem der erste Peer-to-Peer Trade im Brooklyn Microgrid die Nutzung der Blockchain für den Stromhandel angestoßen hat. (vgl. Merz 2019, S. 217–226) Auf einer Konferenz hat Wien Energie den ersten Gashandel über die Enerchain-Plattform durchgeführt. Durch die Nutzung einer Blockchain waren keine Intermediäre nötig, es hat keine Zwischenschritte gebraucht und die Transaktionskosten konnten gesenkt werden. (vgl. Wien Energie o. J.) Durch großes Interesse wurde 2017 die Weiterentwicklung mit 23 Unternehmen gestartet, am Ende waren es 45. Seit dem Abschluss der Erstentwicklung trägt das Konsortium das Projekt weiter und Ponton begleitet das Projekt nur noch als Dienstleister.

Als Grundlage wurde die Tendermint Blockchain verwendet, da es damit möglich ist, jede Sekunde einen neuen Block zu erstellen und viele weitere Funktionen darauf aufgebaut werden können. (vgl. Merz 2019, S. 217–226)

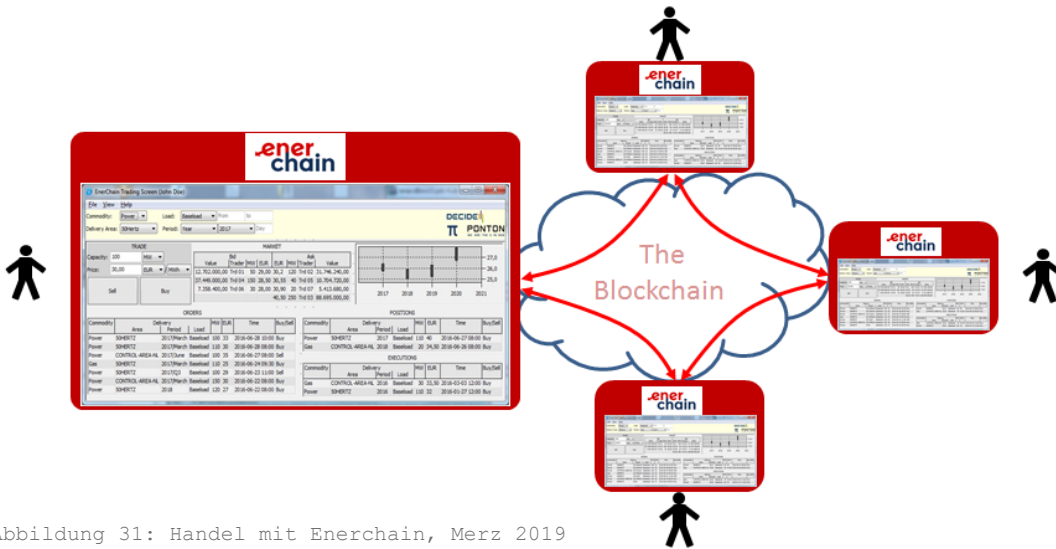


Abbildung 31: Handel mit Enerchain, Merz 2019

Händler müssen durch Enerchain keine zentrale Brokerplattform mehr nutzen, sondern sie sind direkt über die Blockchain miteinander vernetzt. Händler schreiben ihre Order in die Blockchain, diese wird in einer Transaktion in einem Block an die anderen Teilnehmer:innen geschickt. Wenn der Preis mit den Vorstellungen der Käufer:innen übereinstimmt, wird die Order angenommen und wiederum als Transaktion in die Blockchain geschrieben. Der Block wird validiert und die Order ist danach für die anderen Teilnehmer:innen nicht mehr sichtbar. Durch die Blockchain ist jede Order anonym und nur relevante Daten, wie Preis, Menge, Lieferzone und Lieferperiode, werden vor der Bestätigung transparent dargestellt. Bei Enerchain sind ungefähr 50-100 Transaktionen pro Sekunde möglich, was schnellen Handel ermöglicht. Durch den Wegfall von zentralen Brokern können Kosten gespart werden und der Organisationsaufwand ist um einiges geringer. (vgl. Merz 2019, S. 217–226)

weitere Praxisbeispiele:

Clearwatts | Merelec | NEW 4.0
SNAM | UrKraft | WePower

5.3 Zertifizierung

Durch die Möglichkeit, auf der Blockchain Daten manipulationssicher und transparent zu speichern, können Herkunftsnachweise für erneuerbare und regionale Energie ausgestellt werden. Die tatsächliche Herkunft der Energie ist dann genau nachvollziehbar, da Informationen wie Ort, Zeitpunkt der Produktion, Art der Energiequelle bis hin zur genauen Anlage angegeben werden können. Drei Konzepte zur Zertifizierung sind Blockchain-Siegel als Weiterentwicklung von Ökostrom-Siegel, zeitlich und räumlich verbesserte Herkunftsnachweise und Nachweise für Peer-to-Peer Handel. Bei Regionalstromkonzepten kann durch die detaillierte Angabe der Herkunft aus der eigenen Region die Akzeptanz für die Energiewende vor Ort gesteigert werden. Da der genaue Energiemix nachvollziehbar und rückverfolgbar ist, kann das Bewusstsein und Verhalten der Verbraucher:innen positiv beeinflusst werden. Der Nachweis über die Energieprodukte erfolgt durch Tokenisierung. (vgl. Bogensperger et al. 2018b, S. 32–35, 38; dena 2019, S. 50–53; Zeiselmaier et al. 2018, S. 3–4)

GrünStromJetons

GrünStromJeton ist ein Open-Source-Programm basierend auf Ethereum, mit dem Verbraucher:innen einen Nachweis über ihren Strommix, unabhängig von Stromanbieter:innen und Netzbetreiber:innen, erhalten können. Bei herkömmlichen Grünstromtarifen wird nach hochgerechneten Lastprofilen Grünstrom gekauft und in das Netz eingespeist. Bei der Übertragung entsteht durch die Mischung mit anderen Stromherkünften Graustrom, der am Ende bei Verbraucher:innen ankommt. GrünStromJetons beachten die Verteilung zwischen Grün- und Graustrom, da abhängig von Wetter und anderen Verbraucher:innen der Strommix im Netz unterschiedlich ist. Dazu werden Smart Meter mit einem privaten Schlüssel signiert und ihre Aufgabe ist die Ablesung des individuellen Stromverbrauches. Mit Smart Contracts werden zertifizierte Grün- und Graustromjetons vergeben. Zur Berechnung, wie groß die Anteile sind, wird ein Grünstrom-Index genutzt, der angibt, wann und wo aktuell viel Strom aus erneuerbaren Energien vorhanden ist. Nutzer:innen sehen anhand der Menge an GrünStromJetons, wie viel Strom aus erneuerbaren Energien im Umlauf ist und können dementsprechend ihr Nutzungsverhalten anpassen. Das Programm ist für alle nutzbar, die einen Smart Meter und eine Internetverbindung haben. (vgl. Zoerner 2016, S. 4–12)



Abbildung 32: Grünstromindex, von Perfall 2017

weitere Praxisbeispiele:

CFE Score | Energy Matching | M-RETS
ReWatt | SP REC | The Energy Origin

5.4 Systemdienstleistungen

Durch die steigende Anzahl an erneuerbaren Energieanlagen und den Rückgang von konventionellen Anlagen kommt es zu neuen Herausforderungen in der Stromversorgung. Die Erzeugung ist volatil und durch die steigende Anzahl an Kleinanlagen wird die Komplexität des Systems erhöht. Trotzdem muss eine sichere Stromversorgung gewährleistet werden, dafür laufen im Hintergrund Systemdienstleistungen ab. Die vier Hauptaufgaben sind Betriebsführung (Gewährleistung einer sicheren Stromversorgung, mit Einspeisemanagement, Engpassmanagement und Flexibilität), Frequenzhaltung (Erzeugung und Verbrauch im Gleichgewicht halten, mit Reserven und Regelenergie), Spannungshaltung (halten der Netzspannung, durch z. B. Steuerung von Erzeugungsanlagen) und Versorgungswiederaufbau, sodass bei Stromausfällen, so schnell wie möglich wieder in den Normalzustand zurückgekehrt werden kann. (vgl. Haber und Hauke 2018, S. 4; Mischinger et al. 2017, S. 6–9)

Um den Herausforderungen zu begegnen, braucht es digitale Innovationen, wie die Blockchain. Ein intensiver Datenaustausch, der möglichst in Echtzeit passiert, ist wichtig für die Vernetzung der vielen Akteur:innen und Anlagen. Durch die Blockchain können dezentrale Kleinanlagen in das Engpassmanagement miteinbezogen werden und netzstabilisierende Notmaßnahmen können durchgeführt werden. Dafür werden z. B. Heimspeicher genutzt, um Strom aufzunehmen oder abzugeben, so kann Flexibilität gewährleistet werden. Um das umzusetzen, müssen die Speicher mit Smart Meter Messgeräten ausgestattet sein, die regelmäßig die verfügbare Kapazität an die Blockchain schicken. Bei Engpässen wird über Smart Contracts die gewünschte Strommenge abgegeben oder aufgenommen. Die Abrechnung funktioniert ebenfalls über die Blockchain. Ein Vorteil entsteht auch dadurch, dass sehr kleine Strommengen verwendet werden können, der Vorgang transparent ist und schnell umgesetzt werden kann. Eine weitere Möglichkeit für die Bereitstellung von Flexibilitäten ist die Nutzung von E-Autos. Durch bidirektionales Laden kann der Strom bei Engpässen entladen werden. Mit der steigenden Anzahl an E-Autos wird das Potenzial größer, jedoch ist noch nicht jedes Fahrzeug dafür ausgestattet. (vgl. BDEW 2017, S. 38–39; BNetzA 2019, S. 30–31; Haber und Hauke 2018, S. 4)

Stromerzeugungsanlagen und -speicher brauchen regelmäßige Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen. Dazu werden Informationen über den aktuellen Zustand der Anlage benötigt. Zur effizienten Verwaltung davon kann eine Blockchain genutzt werden. Technische Anlagenzustände können über Sensoren erfasst werden und durch Echtzeitübertragung können Probleme zeitnah identifiziert und gelöst werden, sodass die gewünschte Erzeugungskapazität schnell wiederhergestellt werden kann. Außerdem kann die Blockchain für vorausschauendes Anlagenmanagement genutzt werden. Durch Speicherung von Instandhaltungsmaßnahmen und Zustandsdokumentationen kann die Wahrscheinlichkeit von zukünftigen Ausfällen vorhergesagt und die Wartung effizient durchgeführt werden. (vgl. BDEW 2017, S. 41; dena 2019, S. 42–45)

TenneT & sonnen

Das deutsche Übertragungsnetz TenneT hat 2017 ein Pilotprojekt gestartet, um Flexibilitäten bei schwankender Erzeugungsleistung durch erneuerbare Energien bereitzustellen. Neben mehr Energiequellen gibt es auch mehr dezentrale Energiespeicher, die bei der Flexibilisierung der Stromversorgung helfen können. Der Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch und die Koordination der Menge an Batteriespeichern sind die Hauptaufgaben im Projekt. Partner ist die sonnen GmbH, Hersteller von Heimspeichern. Für die Umsetzung wurden drei Pilotregionen, im von Norden nach Süden verlaufenden Übertragungsnetz von TenneT, ausgewählt, um dort Redispatch-Maßnahmen im Engpassmanagement durchzuführen. Die genutzte Blockchain ist privat und basiert auf Hyperledger. Auf ihr wird laufend aktualisiert, wie viel Kapazität die Speicher in Summe zu Verfügung haben. Gemeinsam fungieren sie als virtuelles Kraftwerk. Durch das intelligente Lademanagement der Speicher wird, abhängig vom Bedarf, Strom automatisiert aufgenommen oder abgegeben. Wenn in einer der Regionen in Norden gerade mehr Strom durch Windkraft produziert wird als im Süden, werden die Batteriespeicher im Norden aufgeladen und im Süden, in einer Region, in der es Bedarf gibt, wird die gleiche Menge an Strom entladen. (vgl. Hörchens und Bloch 2019, S. 1–2; Neubarth 2019, S. 6–8)

weitere Praxisbeispiele:

Blockchain Grid | ElectraFlex | Eloncity
enera | Flex Hub | WindNODE

5.5 E-Mobilität

Die Ladeinfrastruktur für E-Mobilität ist räumlich verteilt. Das Netz wird von mehreren Unternehmen gleichzeitig ausgebaut, dadurch ist nicht jede Ladesäule von den gleichen Betreibern. Folglich werden verschiedene Apps oder Ladekarten für die Bezahlung benötigt und die Erkennung des Fahrzeuges kann länger dauern. (vgl. BDEW 2017, S. 33–34) Allein in Deutschland gibt es 288 verschiedene Tarife von 194 Anbietern. Auf ein Elektrofahrzeug kommen fünf bis sechs Apps oder Ladekarten. (vgl. Lelievre 2020) Smart Contracts können genutzt werden, um Transaktionen zwischen Ladesäule, Fahrzeug und Nutzer:innen zu vereinfachen. Die Abwicklungsgeschwindigkeit und der Komfort für Nutzer:innen kann erhöht werden, da sie automatisiert erkannt werden und die Abrechnung in Echtzeit erfolgt. Außerdem kann in der Abrechnung eine detaillierte Stromherkunft abgebildet werden. (vgl. BDEW 2017, S. 33–34)

Zusätzlich können auch private Ladesäulen, gegen eine Gebühr, für Dritte verwendbar gemacht werden. Die Ladesäulen sind mit dem Internet der Besitzer:innen verbunden und senden an die Blockchain, ob es aktuell eine Lademöglichkeit gibt. Dafür sind in einer App die verfügbaren Ladesäulen verortet und Ladebedingungen, wie z. B. der Preis oder eine maximale Lademenge, als Smart Contract aufgelistet. Wer ein Fahrzeug laden möchte, kann eine Ladesäule auswählen, deren Konditionen den eigenen Vorstellungen entsprechen. Die Nutzung wird angemeldet und die Ladesäule freigeschaltet. Das Fahrzeug kann durch die Anmeldung eindeutig identifiziert werden und der Smart Contract wird ausgeführt. Die Abrechnung erfolgt automatisiert über die Blockchain. (vgl. BNetzA 2019, S. 25–27) Durch die Daten, die in der Blockchain gespeichert werden, kann Angebot und Nachfrage abgebildet werden und als Grundlage zum Ausbau der Ladeinfrastruktur dienen. (vgl. BDEW 2017, S. 34)

Open Charging Network

Share & Charge startete als Sharing-App der MotionWerk GmbH in Essen, auf der öffentliche und privaten Ladesäulen verfügbar gemacht wurden. Vorteil für Nutzer:innen ist die Erleichterung der Nutzung von Elektroautos, v. a. auch in peripheren Gebieten. Die Organisation und Abrechnung funktioniert wie oben beschrieben über eine Blockchain mit Smart Contracts. Um das Projekt auszuweiten, wurde die Share & Charge Foundation gegründet. Dafür wurde das Open Charging Network entwickelt, ein offenes, dezentrales Netzwerk für die Erweiterung des Ladestellennetzwerks, basierend auf der Blockchain Energy Web Chain. Entstanden ist eine Open-Source Software, die die Interoperabilität zwischen Ladesäulenbetreiber:innen, E-Mobilitätsanbieter:innen, Stromerzeuger:innen und weiteren Akteur:innen vereinfacht. Außerdem können je nach Bedarf zusätzliche Anwendungen hinzugefügt werden, z. B. für Autorisierung, Reservierung, Abrechnung, Echtzeitinformationen und Smart Charging. (vgl. BDEW 2017, S. 34; Burgahn et al. 2020, S. 6)

weitere Praxisbeispiele:

Blockcharge | Car eWallet | Commuterz
eCharge | Evertly | Oxygen Initiative

5.6 Finanzierung und Tokenisierung

Kryptowährungen können auch für Finanztransaktionen im Energiesektor verwendet werden. Voraussetzung ist ein Smart Meter, der in regelmäßigen Intervallen den Stromverbrauch an die Blockchain schicken kann. Dies ermöglicht eine automatisierte Abrechnung in kürzeren Intervallen und der Verbrauch kann durch transparente Speicherung detailliert nachverfolgt werden. Es können sowohl bestehende Kryptowährungen als auch extra für den Energiehandel geschaffene verwendet werden. Meist handelt es sich hierbei um Tokens oder Coins. Aktuelle Projekte zeigen vielfältige Anwendungsmöglichkeiten neben der regulären Energieabrechnung auf. Es gibt Belohnungssysteme für das Betreiben von erneuerbaren Energieanlagen und der lokale Energieverkauf kann gefördert werden, u. a. durch die Verknüpfung mit Kommunalwährungen. In Ländern mit hohen Inflationsraten können Energiekosten auch mit stabilen Kryptowährungen bezahlt werden. Beim Konzept der Solidarstromprodukte können Verwendungsbindungen festgelegt werden, sodass z. B. soziale Einrichtungen günstigeren Strom erhalten. Außerdem können Netzbetreiber:innen netzdienliches Verhalten der Konsument:innen, durch Auslastungsvorhersagen und Anpassung der Nutzungsgebühr, steuern. Mit Hilfe der Tokenisierung können Erzeugungsanlagen in Anteile aufgeteilt werden. Diese können danach erworben oder gemietet werden. Damit können sich Nutzer:innen an der erneuerbaren Energieproduktion beteiligen, ohne dass sich die Anlage in unmittelbarer Nähe befindet. Von Anlagen auf Nebengebäuden bis hin zu in anderen Ländern ist alles möglich. (vgl. Bogensperger et al. 2018a, S. 41–42, 63; Burger et al. 2016, S. 12–13; Haber und Hauke 2018, S. 4–5)

SolarCoin

Die 2014 gegründete SolarCoin Foundation verfolgt die Idee, Produzenten von Solarenergie mit SolarCoins zu belohnen. Das System kann weltweit genutzt werden, dazu wird eine Anmeldung beim Programm und ein Wallet für Kryptowährungen benötigt. Smart Meter messen die Menge an produziertem Strom und schicken die Werte an die Blockchain der SolarCoin Foundation. Die Blockchain basiert auf Energy Web Chain. Für jede produzierte MWh wird ein SolarCoin an das Wallet überwiesen. (vgl. SolarCoin Foundation 2018, S. 1–4) Aktuell (Stand 08.03.2023) ist ein SolarCoin 0,00436 € wert (vgl. binance 2023). Die verdienten SolarCoins können gespart oder in die lokale Währung, umgetauscht werden. Außerdem gibt es Pläne, dass sie direkt als Zahlungsmittel bei umweltbewussten Online-Stores oder als Spende an NGOs verwendet werden können. (vgl. SolarCoin Foundation 2018, S. 10)

weitere Praxisbeispiele:

Energi Token | KiWi New Energy | Lightency
NRG Coin | The Sun Exchange | Wattcoin

3.4 Zwischenfazit

Im Kapitel wurden sechs Anwendungsfälle der Blockchain im Energiesektor vorgestellt. Die erste Umsetzung in Praxis erfolgt oft in Pilotprojekten. Wie präsent die verschiedenen Anwendungsfälle weltweit sind, wird im folgenden Kapitel analysiert. Die sechs Beispiele sollten nicht isoliert betrachtet werden, da sie nicht immer alleinstehend und klar abgrenzbar sind. Beispielsweise kann Strom aus Peer-to-Peer Handel einen Herkunftsnachweis erhalten. Die räumliche Auswirkung der Anwendungsfälle ist unterschiedlich stark. Peer-to-Peer Handel, Systemdienstleistungen und E-Mobilität haben physische räumliche Einflüsse. Großhandel, Zertifizierung und Finanzierung und Tokenisierung laufen vorrangig digital ab, können aber trotzdem Auswirkungen auf dem Raum haben.

Ein Aspekt, der alle Anwendungsfälle verbindet, ist, dass die Blockchain genutzt wird, um bereits bestehende Prozesse zu verbessern oder abzulösen. Sie ist ein Enabler mit disruptivem Potenzial, um Vorgehensweisen transparenter, effizienter und automatisiert durchzuführen. Die Voraussetzung für alle Projekte sind intelligente Messsysteme, in der Form von Smart Metern, die eine Kommunikation zwischen physikalischen Stromflüssen und Blockchain ermöglichen. Ein weiterer Punkt sind die veränderten Rollen der Akteur:innen, die sich durch den Wegfall von Intermediären, einer direkteren Kommunikation und der Integration von Prosumert:innen zeigen. Durch die Umsetzung gibt es eine größere Verbraucher:innenorientierung und mehr Bewusstsein über die Energieherkunft. Außerdem wird die Nutzung von erneuerbaren Energien gefördert und die Kosten können gesenkt werden.

Je nach Anwendungsfall kann die Blockchain unterschiedlich ausgestaltet sein. Im Vorhinein muss festgelegt werden, wie der Grad der Zentralisierung ist, wer zukünftige Nutzer:innen sind und ob diese anonym sind, ob eine Kryptowährung integriert ist, wie viele Transaktionen pro Minute durchzuführen sind und viele weitere Punkte. Vergleicht man die sechs Anwendungsfälle mit den vier Trends am Strommarkt, werden einige Überschneidungen sichtbar (siehe Abbildung 33). Die Blockchain unterstützt die Anwendungen durch digitale Lösungen und die Anwendungen unterstützen die Dekarbonisierung, durch die Nutzung von dezentralen, erneuerbaren Energiequellen. Im Sinne der Demokratisierung werden Nutzer:innen zu aktiven Marktteilnehmer:innen. Die Dezentralisierung erfolgt durch die räumliche Verteilung der erneuerbaren Energieanlagen und die dazugehörige digitale Infrastruktur.

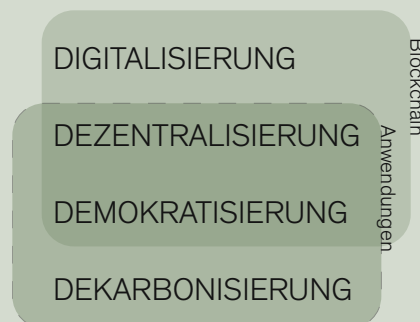


Abbildung 33: Die 4 D's der Blockchain-Anwendungen, eigene Darstellung

Zu beachten ist, dass sich die Blockchain-Technologie noch in der Anfangsphase befindet und somit auch die Anwendungsfälle im Energiesektor. Mit der Zeit wird sich zeigen, ob die Blockchain die einzige Lösung bleibt oder ob sie als Ergänzung dienen wird. Sie hat großes Potenzial als Treiber für neue Geschäftsmodelle. Offene Fragen gibt es heute bezüglich der rechtlichen Rahmenbedingungen, wie dem Datenschutz und zur technischen Umsetzbarkeit. Bei letzterem geht es v. a. um Interoperabilität, Standardisierung, Skalierbarkeit, Sicherheit und um ausreichend Kompetenzen zur Umsetzung.

6

Globale Blockchain- Anwendungsfälle im Energiesektor

- 6.1 Häufigkeit der Anwendungsarten
- 6.2 Genutzte Blockchain
- 6.3 Zeitliche Entwicklung
- 6.4 Verortung der zeitlichen Entwicklung
- 6.5 Verortung der Anwendungsfälle
- 6.6 Zwischenfazit

6. Globale Blockchain-Anwendungsfälle im Energiesektor

Im folgenden Kapitel gibt es eine globale Analyse von Blockchain-Anwendungen im Energiesektor. Die Suche nach Anwendungsfällen (im folgenden auch Projekte genannt) erfolgt durch Recherchen auf Websites der Blockchain-Anbieter, in Sammlungen von Forschungsprojekten und durch Schlagwortsuche nach den sechs Anwendungsarten. Analysiert werden die verschiedenen Anwendungsarten, die Verortung, Projektbeginn und -ende und die genutzte Blockchain. Die Aufnahme von neuen Projekten wurde mit 29. Juni 2022 abgeschlossen. Änderungen danach konnten somit nicht mehr berücksichtigt werden. Da es sich um ein sich schnell wandelndes Thema handelt, ist es möglich, dass es einzelne Anwendungsfälle nicht mehr gibt oder neue dazu gekommen sind.

Grundsätzlich ist es nicht möglich, zu wissen, ob eine globale Vollständigkeit erreicht wurde. Dies hat mehrere Gründe. Erstens haben nicht alle Anwendungsfälle eine Onlinepräsenz. Es ist möglich, dass es einige Projekte gibt, die privat betrieben werden, ohne Ergebnisse davon zu teilen. Die Suche erfolgt über deutsch- und englischsprachige Seiten und Dokumente, wodurch ein Großteil der Projekte abgedeckt werden kann, da diese meist auf Englisch durchgeführt werden. Es besteht trotzdem die Möglichkeit, dass Projekte in anderen Fremdsprachen dadurch nicht auffindbar sind. Außerdem kommt es vor, dass bereits abgeschlossene Projekte nur noch wenige Informationen online zur Verfügung stellen.

6.1 Häufigkeit der Anwendungsarten

Im ersten Schritt wurde die Häufigkeit der sechs Anwendungsarten aus dem Kapitel 5 (Peer-to-Peer Handel, Großhandel, Zertifizierung, Systemdienstleistungen, E-Mobilität, Finanzierung und Tokenisierung) analysiert (siehe Abbildung 34). Insgesamt wurden 207 verschiedene Anwendungsfälle analysiert. Peer-to-Peer Handel ist hierbei mit 45,41 % an der Spitze. Danach folgen Systemdienstleistungen (32,37 %) und Finanzierung und Tokenisierung (31,4 %). Etwas niedrigere Werte haben die Anwendungen Zertifizierung (17,87 %), Großhandel (11,11 %) und E-Mobilität (9,66 %).

121 (58,45 %) der analysierten Anwendungsfälle sind alleinstehend ohne Kombination mehrerer Anwendungen. Alle Anwendungsarten haben die meisten Kombinationen mit Peer-to-Peer Handel, von 25 % bei Finanzierung und Tokenisierung bis zu 51 % bei Systemdienstleistungen. Peer-to-Peer Handel selbst hat die meisten Kombinationen mit Systemdienstleistungen (36 %). Die einzige Kombination, die nie vorkommt, ist Großhandel mit E-Mobilität. Die beiden Anwendungsarten kommen auch häufiger alleinstehend vor, wobei Finanzierung und Tokenisierung, mit 54 %, hier den höchsten Wert hat.

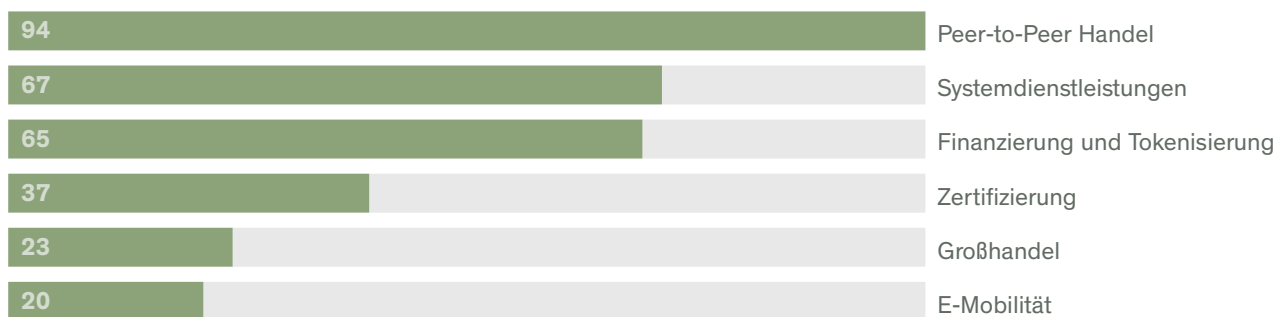


Abbildung 34: Häufigkeit der Anwendungsarten, eigene Berechnung und Darstellung

6.2 Genutzte Blockchain

In Abbildung 35 ist die aktuell genutzte Blockchain der verschiedenen Anwendungsfälle abgebildet. Es ist möglich, dass in einzelnen Fällen zu Projektbeginn eine andere Blockchain verwendet wurde als aktuell. Der Umstieg kann aus Gründen der Energieeinsparung oder anderen technischen Weiterentwicklungen passieren. Es gibt 14 Anwendungsfälle, die Energy Web Chain nutzen, aber bereits vor dessen Start aktiv waren. Zusätzlich ist zu erwähnen, dass die hier genannten Blockchains die Basis bilden. Die Anwendungsfälle selbst bauen mit spezifischen, projektbezogenen Erweiterungen darauf auf. Mit 25,24 % wird Ethereum am meisten genutzt. Der Anteil war früher höher, bevor es thematisch passende Blockchains, wie Powerledger oder Energy Web Chain, gab. Am zweithäufigsten werden Energy Web Chain und private Blockchains, mit jeweils 22,33 %, genutzt. Privat bedeutet, dass die genutzte Blockchain nicht angegeben ist oder in manchen Fällen auch eine eigene für das Projekt entwickelte Blockchain genutzt wird. Etwas seltener genutzt werden die Blockchains Powerledger, Hyperledger und Tendermint, die zusammen 22,33 % ergeben. Zusätzlich gibt es die Kategorie Sonstige für Blockchains, die nur in Einzelfällen verwendet werden. Qtum wird zwei Mal genutzt und ArabianChain, BinanceChain, Bitcoin, Doichain, ECO2 Ledger, Energychain, Exergy, GTIME, IBM Chain, MultiChain, Pylon, Skycoin, Solana und Stellar ein Mal.

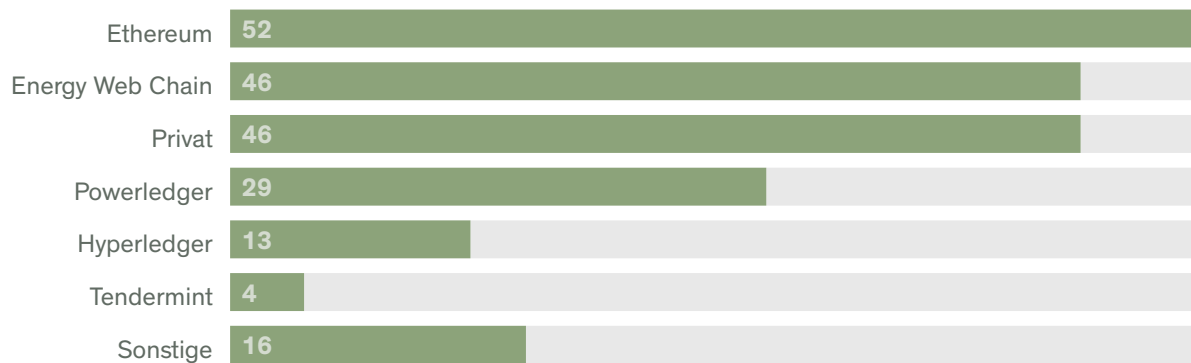


Abbildung 35: Blockchain,
eigene Berechnung und Darstellung

6.3 Zeitliche Entwicklung

Um die zeitliche Entwicklung zu erkennen, wurde das Startjahr der Projekte analysiert (siehe Abbildung 36). Die erste Nennung gibt es im Jahr 2015 in der Kategorie Finanzierung und Tokenisierung. Im darauffolgenden Jahr starteten, neben dem Brooklyn Microgrid, zwölf weitere Anwendungsfälle. 2017 und 2018 ist der Höhepunkt der neuen Blockchain Anwendungsfällen, mit jeweils 88 und 73 neuen Projekten, erreicht. Ab 2019 gehen die Entwicklungszahlen wieder zurück, mit 46 neuen Anwendungsfällen. Der gleiche Trend setzt sich 2020 und 2021 fort, mit 38 und 40 neuen Anwendungsfällen. Im Jahr 2022 gibt es, bis zum Ende der Aufnahme von neuen Projekten in die Analyse, sechs neue Anwendungsfälle. Hochgerechnet auf das gesamte Jahr sind dies 16 neue Anwendungsfälle, deutlich weniger als die Jahre zuvor.

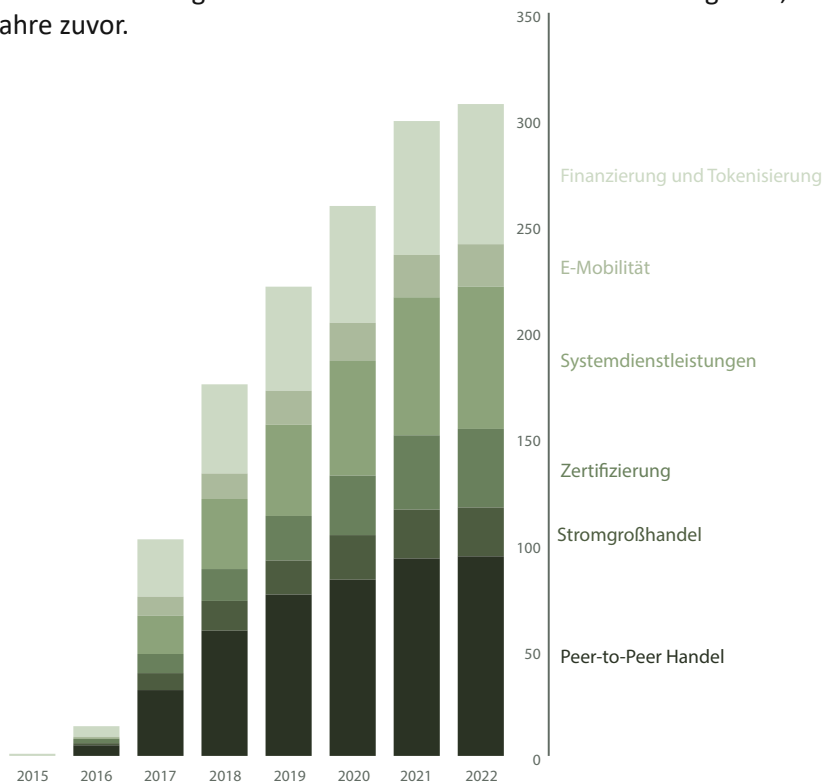


Abbildung 36: Zeitliche Verteilung der Anwendungsfälle, eigene Berechnung und Darstellung

In Abbildung 37 bis Abbildung 42 sind die neuen Anwendungsfälle pro Jahr gestaffelt nach den sechs Anwendungsarten dargestellt. Den ersten Blockchain-Anwendungsfall im Energiesektor gibt es 2015 in der Kategorie Finanzierung und Tokenisierung. 2016 bis 2018 entstehen 56,06 % aller Anwendungsfälle, danach gibt es konstant sechs bis acht neue pro Jahr. Beim Peer-to-Peer Handel gibt es 2016 die ersten fünf Anwendungsfälle. In den Jahren 2017 bis 2018 entstehen, mit 75,53 %, die Mehrheit der Projekte. Auch in der Kategorie Großhandel gibt es 2016 den ersten Anwendungsfall. Die meisten Projekte starten 2017 und 2018, mit 56,52 %. Danach werden es weniger, mit einer kleinen Spitze im Jahr 2020. Im Bereich der Zertifizierung gibt es zwei erste Anwendungsfälle im Jahr 2016. Von 2017 bis 2021 entwickelt es sich konstant weiter, mit sechs bis sieben neuen Projekten pro Jahr. Bei den Anwendungsfällen im Bereich der E-Mobilität ist der Höhepunkt bereits früher erreicht. Neben einem Anwendungsfall im Jahr 2016, gibt es die meisten 2017, mit 40 %. Danach folgen nur noch zwei bis vier neue pro Jahr. Projekte im Bereich der Systemdienstleistungen gibt es 2017 zum ersten Mal, dafür handelt es sich direkt um 18. Gemeinsam mit dem darauffolgenden Jahr starten 49,25 % aller Anwendungsfälle. Von 2019 bis 2021 gibt es zehn bis elf neue Projekte im Jahr.



Abbildung 37 - 42: Neue Anwendungsfälle pro Anwendungsart, eigene Berechnung und Darstellung

Nicht alle der gestarteten Anwendungsfälle sind noch heute aktiv. Insgesamt wurden bereits 21,25 % der Projekte wieder beendet. Einer der häufigsten Gründe sind Forschungsprojekte, die von Beginn an eine begrenzte Laufzeit haben. Es ist aber auch möglich, dass Projekte, z. B. aufgrund fehlender Ressourcen oder unvorhergesehenen Barrieren, scheitern. Spezifisch für Blockchain-Anwendungsfälle handelt es sich oft um ICOs (Initial Coin Offering), die durch das Sammeln von Kapital, in Form von Kryptowährungen oder Tokens, die Projektfinanzierung ermöglichen. Investierende werden mit zukünftigen Gewinnen für ihre Anteile belohnt. (vgl. FMA 2018) Außerdem gibt es Proof-of-Concepts, die die Realisierbarkeit und das praktische Potenzial von Anwendungen zeigen können. Sie dienen dazu, Anforderungen genau festzustellen, Risiken in der frühen Projektphase zu minimieren und können als Entscheidungsgrundlage genutzt werden. (vgl. DB System 2019, S. 1–2)

Bei den aktiven Anwendungsfällen (siehe Abbildung 43) ist ein ähnliches Wachstum erkennbar. Die meisten neuen Projekte gibt es 2017 (+53) und 2018 (+51). In dieser Zeit werden nur vier Projekte beendet. Die größte Anzahl an beendeten Projekten gibt es im Jahr 2020 (-19). Einige der Anwendungsfälle stammen aus Forschungsprojekten, aber es ist möglich, dass der Wert durch die Covid-19-Pandemie verstärkt wurde. Zur Hälfte des Jahres 2022 wurden sechs neue Projekte gestartet und sechs sind bereits abgeschlossen oder werden in Laufe des Jahres beendet. Während die Gesamtzahl bis 2021 steigt, gibt es im Jahr 2022 zum ersten Mal eine rückläufige Anzahl an aktiven Anwendungsfällen.

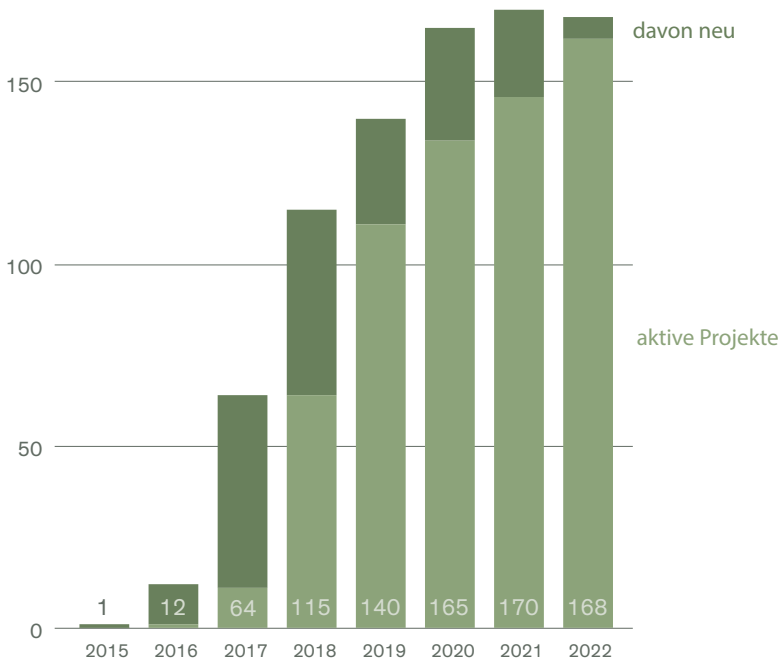
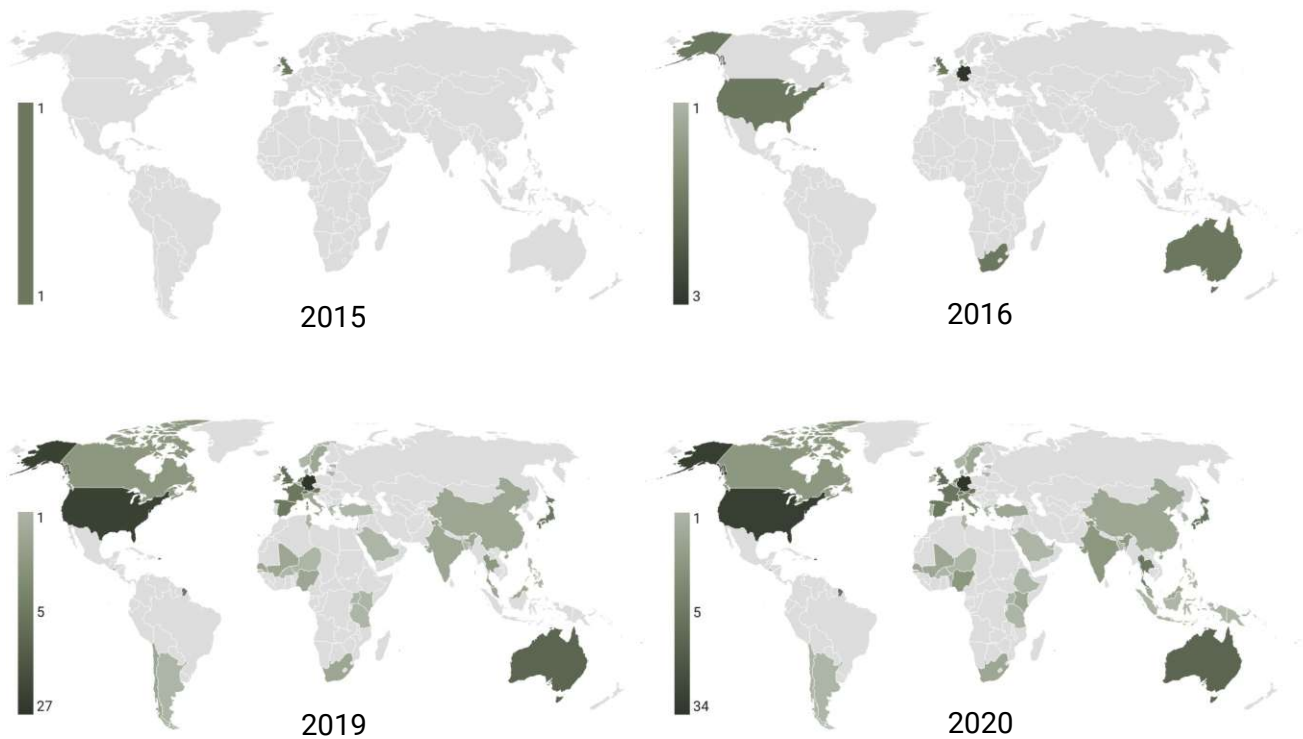


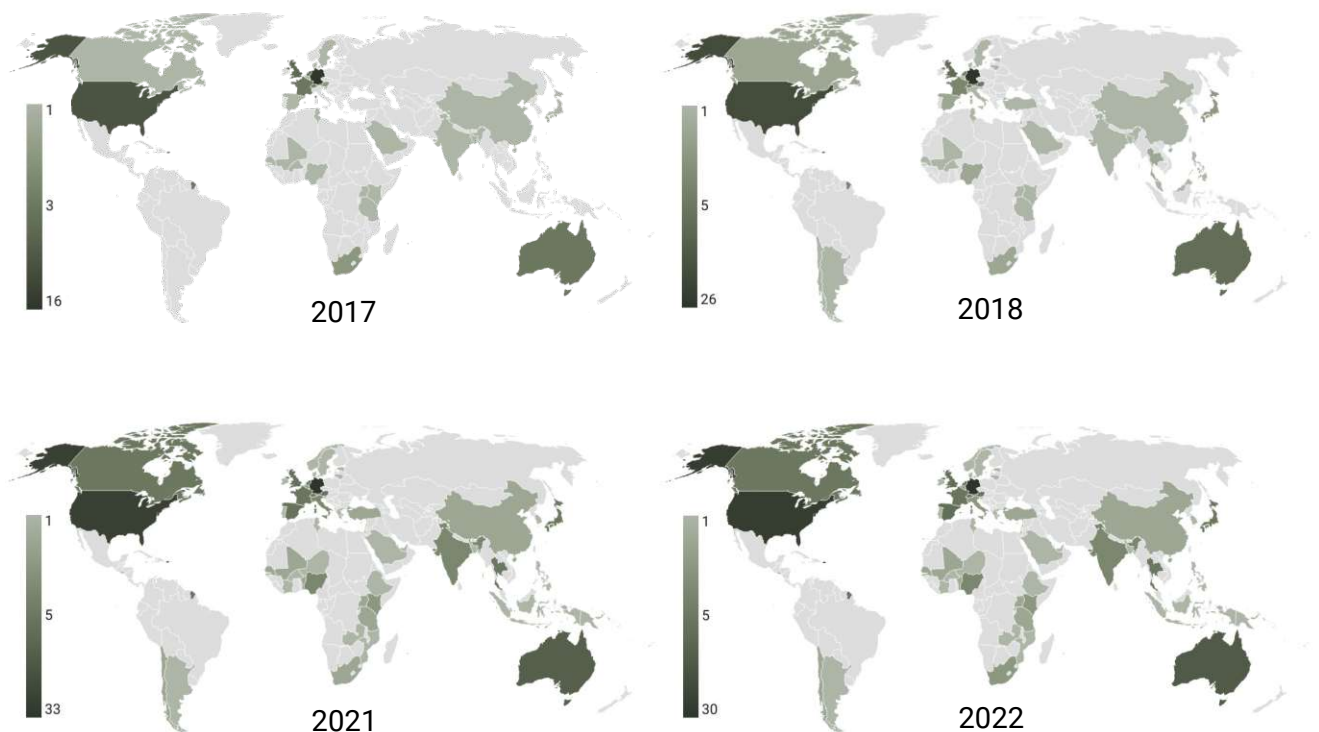
Abbildung 43: Aktive Anwendungsfälle, eigene Berechnung und Darstellung



6.4 Verortung der zeitlichen Entwicklung

Die zeitliche Entwicklung der verschiedenen Anwendungsfälle lässt sich auch geografisch verorten. Dabei sind starke globale Unterschiede in der Verbreitung sichtbar (siehe Abbildung 44 bis Abbildung 51). Das erste und damals noch einzige Projekt im Jahr 2015 befindet sich in Großbritannien. 2016 gibt es, mit Anwendungsfällen in Deutschland, Dänemark, Australien, Südafrika und USA, Projekte auf vier verschiedenen Kontinenten. 2017 und 2018 ist das größte räumliche Wachstum erkennbar, die Jahre darauf bestehen v.a. aus einer Verdichtung der bereits bestehenden Gebiete. 2017 kommen mehrere Projekte in Asien und Afrika dazu und 2018 die ersten Projekte in Südamerika. Die Hauptzielgebiete bis zum Jahr 2022 bleiben in Europa, Australien und USA. Es gibt kaum östlich gelegene europäische Projekte. Die meisten befinden sich in Deutschland (30). In Spanien, Frankreich, Schweiz, Österreich, Niederlande und Großbritannien gibt es jeweils sechs bis neun Anwendungsfälle. In Nordamerika gibt es 27 Projekte in den USA und einige wenige in Kanada und El Salvador. Letzteres ist das erste Land, das Kryptowährungen als offizielles Zahlungsmittel eingeführt hat (vgl. Arslanian et al. 2021, S. 3). Im Vergleich dazu sind in Südamerika kaum Projekte auffindbar, ausgenommen von Argentinien und Chile. Anwendungsfälle in Afrika umfassen oft mehrere Länder und werden teilweise von Europa aus geleitet. Der Fokus liegt bei östlichen Ländern, von Äthiopien bis Südafrika und in Westafrika. In Asien liegt der Schwerpunkt bei Ländern in Südostasien. Zusätzlich gibt es einige wenige am südlichen und östlichen Festland und im Nahen Osten.

Abbildung 44 - 51: Verortung der zeitlichen Entwicklung, eigene Berechnung, erstellt mit Datawrapper



6.5 Verortung der Anwendungsfälle

Ein weiterer Aspekt, der geografisch verortet werden kann, ist die Verteilung der sechs Anwendungsarten. In Abbildung 52 bis 57 sind ähnliche Tendenzen und auch größere Unterschiede erkennbar. Insgesamt gibt es in 57 verschiedenen Ländern Anwendungsfälle, davon liegen 20 in Europa. Peer-to-Peer Handel (26 Länder), Systemdienstleistungen (29 Länder) und Finanzierung und Tokenisierung (39 Länder) gehören zu den verbreitetsten Anwendungsarten. In Europa sind alle sechs Anwendungsarten präsent, v. a. in Deutschland gibt es eine hohe Anzahl an Projekten. Australien und Nordamerika sind ebenfalls bei allen Anwendungsarten dabei. In Südamerika gibt es in zwei Ländern Projekte in vier verschiedenen Anwendungsarten. In Asien gibt es Anwendungsfälle in 15 verschiedenen Ländern, wobei die größten Anteile bei Peer-to-Peer Handel, Systemdienstleistungen und Finanzierung und Tokenisierung sind. Afrika ist der einzige Kontinent, in dem nur die zwei Anwendungsarten Systemdienstleistungen und Finanzierung und Tokenisierung aufgefunden werden können. Hier geht es v. a. um eine grundsätzliche Bereitstellung von Strom und die Unabhängigkeit von lokalen Währungen. Am häufigsten gibt es ein Projekt pro Land (25 Länder), danach folgen zwei Projekte in 15 Ländern.

Abbildung 52 - 57: Verortung der Anwendungsfälle, eigene Berechnung, erstellt mit Datawrapper



Peer-to-Peer Handel



Großhandel



Zertifizierung



Systemdienstleistungen



E-Mobilität



Finanzierung und Tokenisierung

6.6 Zwischenfazit

Peer-to-Peer Handel, Systemdienstleistungen und Finanzierung und Tokenisierung haben weltweit die häufigsten Anwendungsfälle. Die meist genutzte Blockchain ist Ethereum, da es die Smart Contract Funktion gibt, aber es gibt auch immer mehr themenspezifische Blockchains, wie Energy Web Chain und Powerledger. Es werden vorrangig Blockchains angewendet, die kein PoW nutzen, um Strom einzusparen. Den größten Boom gab es in den Jahren 2017 und 2018, danach folgte eine langsamer werdende Entwicklung. Geografisch liegt der Fokus auf Europa, v. a. Deutschland, Nordamerika, v. a. die USA, und Australien. Danach folgen Afrika, Asien und Südamerika.

In Österreich gibt es elf Anwendungsfälle mit Blockchain im Energiesektor. Geordnet nach den Kategorien fallen sechs in den Bereich Peer-to-Peer Handel, sechs in Systemdienstleistungen, vier beinhalten Finanzierung und Tokenisierung und einer Zertifizierung. Die genutzte Blockchain wird meist privat gehalten, außer bei zwei Projekten mit Energy Web Chain und einem mit Powerledger. Die ersten beiden Anwendungsfälle gibt es im Jahr 2017. 2018 kommen drei neue dazu und bis 2021 gibt es jeweils zwei neue pro Jahr. Bis Mitte des Jahres 2022 gibt es noch keine zusätzlichen Projekte. Sechs davon sind bereits abgeschlossen, so dass es nur noch fünf aktive gibt. Im Burgenland, in Oberösterreich und in Kärnten gibt es jeweils einen Anwendungsfall, in Salzburg, Niederösterreich und der Steiermark jeweils zwei und in Wien drei.



Erfolgsfaktoren von Good-Practice- Projekten

7.1 Auswahl der Projekte

7.2 Soziale und technische Erfolgsfaktoren

7.3 Zwischenfazit

7. Erfolgsfaktoren von Good-Practice-Projekten

7.1 Auswahl der Projekte

Im folgenden Kapitel gibt es eine Good-Practice-Analyse von Projekten im Energiesektor, welche die Blockchain-Technologie nutzen. Es werden soziale und technische Erfolgsfaktoren und deren Relevanz aufgezeigt. Erfolg im Kontext bedeutet, dass das Projekt einen Mehrwert bringt. Dies kann auf technischer Seite eine Optimierung von Prozessen sein. Auf sozialer Seite muss es im Vergleich zum Status quo Vorteile geben. Dafür wurden 24 Projekte aus dem Kapitel 5 ausgewählt. Eine Voraussetzung für die Auswahl ist, dass ausreichend Informationen über das Projekt verfügbar sind, was bei vielen nicht der Fall ist. Hier eignen sich besonders Forschungsprojekte, die mehrere Dokumente zur Dissemination haben. Etwa die Hälfte der Projekte ist bereits abgeschlossen. 15 der Projekte sind aus dem DACH-Raum, mit einer bevorzugten Auswahl von Projekten aus Österreich. Thematisch richten sich die Inhalte der Projekte nach den Forschungsfragen, weshalb die Anwendungsarten Peer-to-Peer Handel und Systemdienstleistungen am häufigsten vorkommen.

Folgende Anwendungsfälle wurden untersucht und deren Erfolgsfaktoren kategorisiert und beschrieben:

Name	BEYOND	Blockchain	Privat
Ort	Österreich, Norwegen, Irland, Spanien	Jahr	2019 - 2022
Anwendungsart	Peer-to-Peer Handel, Systemdienstleistungen		
Kurzbeschreibung	Pilotprojekte in vier Ländern: Szenarien in automatisierten, dezentralen Märkten, mit länderspezifischen regulatorischen und politischen Empfehlungen Nutzung von Smart Contracts und Blockchain als Handelsplattform, Inklusion von Prosumern, Testen von lokalen und regionalen Tarifmodellen		

Name	Blockchain Grid	Blockchain	Privat
Ort	Heimschuh (Österreich)	Jahr	2018 - 2021
Anwendungsart	Systemdienstleistungen		
Kurzbeschreibung	Forschung unter Realbedingungen zu Herausforderungen in Niederspannungsnetzen durch volatile Erzeugung, flexible Nutzung von Netzkapazitäten, Blockchain für Datenverwaltung, Stromverteilung und Integration Prosumer und Gemeinschaftsspeicher		

Name	BloGPV	Blockchain	Privat
Ort	Deutschland	Jahr	2018 - 2021
Anwendungsart	Peer-to-Peer Handel, Systemdienstleistungen		
Kurzbeschreibung	Blockchain basierter virtueller Großspeicher für Betreiber von PV-Anlagen, Betrieb nach Ende der Einspeisevergütung in Deutschland wirtschaftlich halten, Matching zwischen Verbrauchern, Erzeugern und Speicher, Nachweise und Bilanzierung über Blockchain		

Tabelle 3 - 26: Ausgewählte Projekte, eigene Darstellung

Name	Brooklyn Microgrid	Blockchain	Tendermint
Ort	New York (USA)	Jahr	seit 2016
Anwendungsart	Peer-to-Peer Handel		
Kurzbeschreibung	Siehe Kapitel 5.1.2 Praxisbeispiel Brooklyn Microgrid		

Name	BürgerInnensolkraftwerk	Blockchain	Privat
Ort	Wien (Österreich)	Jahr	seit 2020
Anwendungsart	Finanzierung und Tokenisierung		
Kurzbeschreibung	Freiflächen PV-Anlage in der Schafflerhofstraße tokenisiert, Anteile konnten erworben werden, Käufer:innen erhalten jährlichen Energie-Gutschein für Wien Energie und werden zusätzlich pro kWh vergütet, Blockchain für Zuweisung einer Identität pro Modul und Transparenz		

Name	C/sells	Blockchain	Energy Web Chain
Ort	Baden-Württemberg (Deutschland)	Jahr	2017 - 2020
Anwendungsart	Peer-to-Peer Handel, Systemdienstleistungen		
Kurzbeschreibung	Zellulärer Ansatz (Erzeugung und Verbrauch innerhalb Zelle möglichst ausgeglichen), Fokus auf Beteiligungs- und Kommunikationsmaßnahmen, Regionale Lösungen innerhalb der Zellen, Blockchain für regionale Energiemärkte		

Name	enera	Blockchain	Ethereum
Ort	Ost-Friesland (Deutschland)	Jahr	2017 - 2020
Anwendungsart	Systemdienstleistungen		
Kurzbeschreibung	Forschung für Herausforderungen der Energiewende: Nutzung von Flexibilitäten, virtuelle Kraftwerke, Engpassmanagement und Digitalisierung		

Name	Exergy	Blockchain	Exergy
Ort	USA	Jahr	seit 2017
Anwendungsart	Peer-to-Peer Handel, Finanzierung und Tokenisierung		
Kurzbeschreibung	Gemeinschaftlicher Energiemarktplatz mit Smart Contracts, Tokenisierung von überschüssiger Energie aus erneuerbaren Energiequellen		

Name	flexQgrid	Blockchain	Ethereum
Ort	Freiamt (Deutschland)	Jahr	2021 - 2022
Anwendungsart	Systemdienstleistungen		
Kurzbeschreibung	Integration von erneuerbaren Energien in das Stromnetz, in Pilotprojekt Forschung zu Smart Grids, lokaler Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch, Bereitstellung von Flexibilitäten		

Name	Gen Y	Blockchain	Powerledger
Ort	Fremantle (Australien)	Jahr	seit 2017
Anwendungsart	Peer-to-Peer Handel		
Kurzbeschreibung	Nutzung von Blockchain innerhalb einer Wohnsiedlung zur Senkung der Kosten, mit PV, Speichern, Handel zwischen Bewohner:innen		

Name	GrünStromJetons	Blockchain	Ethereum
Ort	Deutschland	Jahr	seit 2016
Anwendungsart	Zertifizierung		
Kurzbeschreibung	Siehe Kapitel 5.3.2 Praxisbeispiel GrünStromJetons		

Name	MyPower	Blockchain	Energy Web Chain
Ort	Österreich	Jahr	seit 2021
Anwendungsart	Finanzierung und Tokenisierung		
Kurzbeschreibung	Tokenisierung von erneuerbaren Energieanlagen, Kombination von neuer Software und Hardware		

Name	NeMoGrid	Blockchain	Ethereum
Ort	Schweiz, Schweden, Deutschland	Jahr	2017 - 2020
Anwendungsart	Peer-to-Peer Handel, Systemdienstleistungen		
Kurzbeschreibung	Forschung zu neuen Geschäftsmodellen für dezentrale Energiesysteme, Beteiligung von Prosumern, Testen von drei Szenarien in den Pilotgebieten, Peer-to-Peer Markt mit Blockchain		

Name	P2PQ	Blockchain	Privat
Ort	Wien (Österreich)	Jahr	Seit 2017
Anwendungsart	Peer-to-Peer Handel		
Kurzbeschreibung	Eine der ersten Energiegemeinschaften Europas, Sonnenstrom wird lokal verbraucht, gespeichert oder gehandelt, alle Bewohner:innen besitzen Anteil der PV-Anlage, Blockchain für Abrechnung und Dokumentation		

Name	pebbles	Blockchain	Energy Web Chain
Ort	Wilpoldsried (Deutschland)	Jahr	2018 - 2021
Anwendungsart	Peer-to-Peer Handel, Systemdienstleistungen		
Kurzbeschreibung	Regionale Energieversorgung mit Fokus auf Dekarbonisierung, Dezentralisierung und Digitalisierung, lokale Stromhandelsplattform, mit virtuellem Kraftwerk und Energiemanagementsystem		

Name	Quartierstrom Walenstadt	Blockchain	Tendermint
Ort	Walenstadt (Schweiz)	Jahr	seit 2019
Anwendungsart	Peer-to-Peer Handel, Systemdienstleistungen, E-Mobilität		
Kurzbeschreibung	Erster lokaler Strommarkt in der Schweiz, Erhöhung Eigenverbrauch, Integration von E-Mobilität		

Name	ReNew Nexus	Blockchain	Powerledger
Ort	Australien	Jahr	2018 - 2020
Anwendungsart	Peer-to-Peer Handel, Systemdienstleistungen		
Kurzbeschreibung	Lokaler Peer-to-Peer Strommarkt, mit selbst festgelegten Preisen, Integration von PV-Anlagen und Speichern		

Name	SMECS	Blockchain	Ethereum
Ort	Deutschland	Jahr	2018 - 2020
Anwendungsart	Peer-to-Peer Handel		
Kurzbeschreibung	Technische und organisatorische Unterstützung von Energiegenossenschaften, Aufbau von Gemeinschaften, Forschung zum Einsatz von Blockchain in Energiegemeinschaften		

Name	Solar Exchange	Blockchain	Powerledger
Ort	Australien	Jahr	seit 2021
Anwendungsart	Finanzierung und Tokenisierung		
Kurzbeschreibung	Schaffung von Anreizen für die Produktion von erneuerbaren Energien durch die Belohnung pro kWh		

Name	SolarCoin	Blockchain	Energy Web Chain
Ort	England	Jahr	seit 2015
Anwendungsart	Finanzierung und Tokenisierung		
Kurzbeschreibung	Siehe Kapitel 5.6.2 Praxisbeispiel SolarCoin		

Name	SonnWende+	Blockchain	Privat
Ort	Südburgenland (Österreich)	Jahr	2017 - 2019
Anwendungsart	Peer-to-Peer Handel, Systemdienstleistungen		
Kurzbeschreibung	Regionaler Energiehandel, Energiemanagement, Maximierung PV-Eigenverbrauch auf Gemeindeebene und innerhalb von Energiegemeinschaften		

Name	SunContract	Blockchain	Ethereum
Ort	Slowenien	Jahr	seit 2017
Anwendungsart	Peer-to-Peer Handel, Finanzierung und Tokenisierung		
Kurzbeschreibung	Plattform für Peer-to-Peer Handel, Integration von Prosumern, Maximierung Eigenverbrauch, Bereitstellung von Flexibilitätsdienstleistungen		

Name	Tal.Markt	Blockchain	Hyperledger
Ort	Wuppertal (Deutschland)	Jahr	seit 2017
Anwendungsart	Peer-to-Peer Handel		
Kurzbeschreibung	Blockchain Plattform für Energiehandel, mit Prosumern und auch größeren regionalen Erzeugern, z. B. Windkraft und Biogas-Anlagen		

Name	The Sun Exchange	Blockchain	Ethereum
Ort	Südafrika	Jahr	seit 2016
Anwendungsart	Finanzierung und Tokenisierung		
Kurzbeschreibung	Ermöglichung von Investitionen in PV-Anlagen, kann von überall auf der Welt gekauft werden, Blockchain für grenzüberschreitende Transaktionen und Dokumentation		

7.2 Soziale und technische Erfolgsfaktoren

Blockchain

Blockchains werden in den analysierten Projekten zusammengefasst für zwei Aspekte genutzt. Erstens für die sichere Durchführung von Transaktionen, wodurch Transaktions- und Rechnungskosten reduziert und Rechnungen besser überprüft werden können. Außerdem sind keine doppelten Buchungen möglich. (vgl. Donnerer und Lacassagne 2019, S. 16–17; Green et al. 2020, S. 46–47) Zweitens werden Blockchains für die Speicherung von Daten genutzt. Dadurch gibt es eine langfristige und transparente Dokumentation von Energieflüssen und Transaktionen und eine eindeutige Zertifizierung wird ermöglicht. (vgl. Lucke et al. 2022, S. 23–24; Krause 2022; flexQgrid 2020; Donnerer und Lacassagne 2019, S. 18)

Die Erfolgsfaktoren der Blockchain in den Projekten spiegeln sich in ihren Eigenschaften wider. Die Sicherheit ist gegeben durch Pseudonymität und Methoden der Datenverschleierung, Verschlüsselung und Aggregationstechniken. Metadaten, wie Namen und Adressen, werden außerhalb der Blockchain in einer privaten Datenbank abgespeichert. Die Daten werden bei Projekten in Europa mit hohen Sicherheitsstandards, nach den Leitlinien des European Blockchain Observatory and Forum, verwaltet. (vgl. Saif et al. 2021, S. 6; Krause 2022) Durch kurze Ables- und Abrechnungsintervallen, von 15 Minuten bis hin zu Minutentakt, ist es möglich nahe an Echtzeitabwicklungen zu kommen. Dadurch kann sicherer und schneller Handel, nach dem Matching von Angebot und Nachfrage, gewährleistet werden. (vgl. Industr 2021, S. 2; Riddle & Code Energy 2021, S. 16–17; Green et al. 2020, S. 13) Ein weiterer wichtiger Faktor der Blockchain, der positiv zu den Projekterfolgen beiträgt, ist, dass keine zentrale Instanz benötigt wird. Es ist möglich, dass viele Teilnehmer:innen ohne einen Vermittler gemeinsam agieren können. Das Vertrauen ist durch die Manipulationssicherheit gegeben. Dadurch gibt es keine Abhängigkeit von großen Akteur:innen und v. a. in Ländern des globalen Südens eine Unabhängigkeit von lokalen Regierungen und Währungen. (vgl. Strauß et al. 2021, S. 34; Marke et al. 2021, S. 33) Durch die Nutzung von Smart Contracts sind komplexere und automatisierte Anwendungen möglich. Handel, Verbrauchs- und Erzeugungsoptimierung und Abrechnungen sind in kürzeren Intervallen und mit individuellen Präferenzen durchführbar. (vgl. Haller et al. 2020, S. 114; Stefan et al. 2020b, S. 1–2; Green et al. 2020, S. 46–47)

Die genutzten Blockchains der analysierten Anwendungen bauen oft auf Ethereum auf, haben aber zusätzliche Funktionen. Beispielsweise gibt es neue Schnittstellen oder Tendermint wird auf Ethereum verwendet. (vgl. Strepparava und Lindborg 2019, S. 9; Medici und Strepparava 2020, S. 8; Strauß et al. 2019, S. 35) In anderen Fällen wird auch eine eigens vom Projektteam entwickelte Blockchain genutzt, was nur möglich ist, wenn die nötigen finanziellen und personellen Ressourcen vorhanden sind (vgl. Stefan et al. 2020a, S. 19). Besonders positiv ist es, wenn themenspezifische Blockchains, wie Powerledger und Energy Web Chain, genutzt werden. (vgl. Green et al. 2020, S. 13) Bei länger bestehenden Projekten ist es wichtig auf aktuelle Weiterentwicklungen einzugehen. Beispielsweise ist der erste Blockchain-Anwendungsfall von Bitcoin auf Energy Web Chain umgestiegen. Hierbei geht es meist um die Lösung von Problemen, wie die steigende Anzahl an Teilnehmer:innen und des Stromverbrauchs. Außerdem können mehr Transaktionen pro Minute durchgeführt werden und es gibt eine bessere Skalierbarkeit. (vgl. SolarCoin Foundation 2021; Doleski 2020, S. 42; Koch 2018)

Bei den Blockchains handelt es sich oft um Private oder Konsortiale, welche nur von zugelassenen Teilnehmer:innen genutzt werden können. (vgl. Lucke et al. 2022, S. 23–24) Aufgrund des Stromverbrauchs nutzt keiner der analysierten Anwendungsfälle PoW. Der Großteil verwendet PoS und PoA, aber es gibt auch Projekte mit spezifischeren Konsensmethoden. Beispielsweise dem Honey Badger-BFT-Konsensalgorithmus, der eine hohe Effizienz hat und nur neue Blöcke erstellt, wenn es Transaktionen gibt, wodurch er für Anwendungen im Energiesektor geeignet ist. (vgl. Stefan et al. 2020a, S. 9; Stefan et al. 2020b, S. 1–2; BMK 2022b, S. 24)

Hardware

Eine optimale Blockchain allein ist nicht ausreichend, denn es braucht die dazugehörigen Erzeugungs- und Verbrauchsdaten für die verschiedenen Anwendungen (vgl. Marke et al. 2021, S. 9). Dafür werden intelligente Messsysteme, wie Smart Meter benötigt. Oft sind diese noch nicht überall vorhanden oder die bereits bestehenden, haben nicht ausreichende Funktionen. (vgl. Industr 2021, S. 2; Stefan et al. 2020b, S. 1–2) Aus diesem Grund wurde bei vielen Projekten zusätzliche Hardware eingebaut. Hierbei handelt es sich v. a. um Mess- und Steuerungstechnik, Anzeigen für Visualisierungen und Gebäudeenergiemanagementsysteme. (vgl. Saif et al. 2021, S. 19; BMWK 2022, S. 37; Exner 2021, S. 1) Die Zubauten bestehen entweder aus neuen Smart Metern oder zusätzlichen Komponenten, wie einem Raspberry-Pi. Letzteres ist mit geringeren Kosten verbunden. Außerdem wurden bei mehreren Projekten Batteriespeicher eingebaut, um Erzeugung und Verbrauch zu optimieren. (vgl. Medici und Strepparava 2020, S. 5) Besonders schneller Fortschritt und eine Reduktion von Kosten gelingt, wenn die benötigte Messinfrastruktur bereits vorhanden ist und keine zusätzlichen Komponenten eingebaut werden müssen. (vgl. Lucke et al. 2022, S. 7)

Datennutzung

Durch die vermehrte Messung von Verbrauchs- und Erzeugungsmengen und der Anzahl an Teilnehmer:innen braucht es Methoden für die Verarbeitung von großen Datenmengen. In den Projekten werden Energieflüsse und somit auch Kosten optimiert. Hier werden die Prozesse auf der Blockchain unterstützt durch Machine Learning, Artificial Intelligence oder Neural Networks. (vgl. BMK 2022b, S. 20; Strecker et al. 2019, S. 9; Nespoli und Medici 2020, S. 4) Außerdem werden auch Daten aus der Vergangenheit genutzt, um Peer-to-Peer Simulationen zu verbessern (vgl. Stefan et al. 2020a, S. 24).

Da es in den Projekten um die Nutzung von erneuerbaren Energien geht, gibt es eine Abhängigkeit vom Wetter. Dafür werden Prognosen gemacht, die als Frühwarnsystem fungieren und zu einer Verminderung von Engpässen und Redispatch-Maßnahmen führen. Es werden lokale Wettervorhersagen für Ertragsprognosen, aktuelle Erzeugung und Verbrauch, Netzlast und historische Daten genutzt. (vgl. EWE 2021a, S. 222–223; Haller et al. 2020, S. 51; Strepparava und Lindborg 2019, S. 6; EWE 2021b, S. 29) Die Daten sind auch für Nutzer:innen sichtbar, um eine Anpassung an die aktuelle Lage zu ermöglichen (vgl. Wien Energie 2021).

Benutzer:innenschnittstelle

Die technischen Elemente einer Blockchain-Anwendung können sehr komplex sein. Ein wichtiger Schritt ist es, sie auf das Wesentlichste zu reduzieren und Bestandteile, die nicht relevant für Nutzer:innen sind, in den Hintergrund zu verschieben. (vgl. Strauß et al. 2019, S. 83–85) Dafür braucht es eine Benutzer:innenschnittstelle, z. B. in der Form einer App, die wichtige Informationen visuell und einfach verständlich aufbereitet und leicht bedienbar ist. Außerdem sind Sicherheitsvorkehrungen, wie eine Zwei-Faktor-Authentifizierung, von Vorteil.

(vgl. BMK 2022b, S. 16; Lucke et al. 2022, S. 27) Eine Benutzer:innenschnittstelle enthält ein Dashboard, wo aktuelle Erzeugungs- und Verbrauchswerte und eine Kostenübersicht angezeigt werden können. Zusätzlich können Präferenzen eingestellt werden, wie die Zahlungsbereitschaft pro Erzeugungstechnologie oder maximale und minimale An- und Verkaufspreise. Es gibt auch Anwendungen, wo die Menge des erneuerbaren Stroms im Netz angezeigt wird. Durch Push-Benachrichtigungen können nach Relevanz gefilterte Informationen schnell an Nutzer:innen kommuniziert werden. (vgl. Lucke et al. 2022, S. 9, 23-24; Discovery 2021) Bei der Entwicklung der Benutzer:innenschnittstellen wurde bei erfolgreichen Projekten der Aspekt des Human-Centered-Design beachtet. Dabei werden zukünftige Nutzer:innen in den Prozess mit einbezogen, um die Bedürfnisse und den Nutzungskontext von verschiedenen Zielgruppen zu integrieren. (vgl. EWE 2021a, S. 340–345)

Voraussetzungen

Der Erfolg einer Blockchain-Anwendung im Energiesektor ist auch abhängig von den Voraussetzungen vor Ort. Die Gebiete der analysierten Anwendungen befinden sich teilweise an vorteilhaften Standorten. Das Projekt flexQgrid befindet sich beispielsweise in einer der sonnenreichsten Regionen Deutschlands, in dem die Stromerzeugung bereits vor Projektbeginn höher war als der Verbrauch. Außerdem hat in solchen Gebieten ein großer Anteil an Haushalten bereits Photovoltaikanlagen und Smart Meter (vgl. flexQgrid 2020; Industr 2021, S. 2; Ableitner et al. 2020, S. 15) Auch im Projektgebiet von enera gibt es bereits eine Power-to-Gas-Anlage, ein virtuelles Kraftwerk und einen Großspeicher (vgl. EWE 2021b, S. 27).

Eine weitere hilfreiche Voraussetzung ist es, wenn die Anwendungen auf vorhergehende Projekte aufbauen. Das Projekt SonnWende+ liegt beispielsweise im Innovationslabor act4energy im Südburgenland, wo es bereits ein virtuelles Kraftwerk gibt. (vgl. Stefan et al. 2020a, S. 8) Noch mehr gibt es bei pebbles, wo es vor Ort einen Batteriespeicher, ein Nanogrid, welcher Prosumert:innen simulieren kann, Containerinfrastruktur für ein Kontrollzentrum und bestehende Hardware gibt (vgl. Lucke et al. 2022, S. 21–22). Die Region ist schon länger eine Vorzeigeregion für die Energiewende, wodurch die Anwohner:innen bereits mehr Wissen über das Thema haben. Dort gibt es schneller größere Unterstützung und Teilnahme, wodurch der Projekteinstieg kürzer sein kann. (vgl. EWE 2021b, S. 13; Lucke et al. 2022, S. 7, 12, 15)

Kosten

Einer der präsentesten Erfolgsfaktoren von Blockchain-Anwendungen im Energiesektor ist die Reduktion von Kosten. V. a. bei Projekten, die Peer-to-Peer Handel umsetzen, gibt es Einsparungspotenzial durch die Reduktion von Netzkosten. Der Handel im Ortsnetz ist günstiger und fördert damit den lokalen Verbrauch. (vgl. Saif et al. 2021, S. 15–16; Maldet et al. 2022, S. 7) Beim Projekt pebbles wird zusätzlich beim Handel im gleichen Versorgungsgebiet keine Stromsteuer verrechnet (vgl. Lucke et al. 2022, S. 3) Außerdem gibt es bei mehreren Projekten zusätzliche Tarife, die gemeinsam mit Nutzer:innen in Workshops erarbeitet wurden. Durch das Austesten von verschiedenen Tarifen kann der Beste für die Gemeinschaft gefunden werden. (vgl. BMK 2022b, S. 25–27) Die Kostenreduktion stammt in diesem Fall von entfernungsabhängigen Tarifen und auch von dynamischen Preismechanismen (vgl. Green et al. 2020, S. 13, 20). Weiters können die Preise bei manchen Projekten selbst bestimmt werden. Die Preise für Ver- und Ankauf können festgelegt werden und ein passendes Matching erfolgt. In den Sommermonaten kommt es dadurch zu den niedrigsten Preisen, da genügend Energie erzeugt wird, um etwas davon abzugeben. (vgl. Ableitner et al. 2020, S. 41; BMK 2022b, S. 33) Die Kosten können auch durch kleinere Maßnahmen reduziert werden. Z. B. kann

das Verhalten durch eine detaillierte Datenanzeige gelenkt werden und durch Simulationen, Prognosen und Automatisierung von Standardprozessen können Optimierungen umgesetzt werden. (vgl. Ableitner et al. 2020, S. 30; Stefan et al. 2020a, S. 27; Strauß et al. 2021, S. 12)

Neben der Reduktion von Kosten gibt es auch die Methode der Belohnung für netzdienliches Verhalten oder für die Erzeugungsleistung von erneuerbarer Energie. Je nach Projekt wird dies mit Tokens belohnt, die entweder umgetauscht, gespendet oder online ausgegeben werden können. Beispielsweise erhält man beim Projekt SolarCoin pro produzierter MWh einen SolarCoin. Dies kann sogar für fünf Jahre rückwirkend geltend gemacht werden. Durch eine limitierte Anzahl an Tokens soll der Ausbau von erneuerbaren Energien möglichst schnell forciert werden. (vgl. EWE 2021b, S. 58; Donnerer und Lacassagne 2019, S. 18) Die Belohnung muss aber nicht immer in der Form von Tokens sein. Beispielsweise kann in Australien überschüssig produzierter Strom gegen Bier eingetauscht werden. Ziel davon ist es, das nachhaltige Verhalten von Teilnehmer:innen zu belohnen. (vgl. Victoria Bitter 2022)

Zusätzlich gibt es noch einen sozialen Kostenaspekt. Kosten können durch das Teilen von PV-Anlagen reduziert werden. Dachflächen bis hin zu mittelgroßen Solarparks werden bereitgestellt und Anteile davon können gekauft werden. Die produzierte Strommenge wird von der regulären Rechnung abgezogen. (vgl. Stefan et al. 2020a, S. 17, 40-42; Balance Service Group 2017, S. 1) Es gibt auch Projekte mit Fokus auf der Finanzierung von Photovoltaikanlagen in Ländern mit geringen finanziellen Mitteln und großem Erwirtschaftungspotenzial. Jeder kann in Teile der Anlagen investieren und diese an Einrichtungen, wie Schulen und Krankenhäuser, vermieten. (vgl. Marke et al. 2021, S. 32–33)

Zusätzliche Mehrwerte

Neben der Kostenreduktion gibt es noch andere Vorteile für teilnehmende Personen bei den Projekten. Es handelt sich dabei immer um gemeinwohlorientierte Ziele, die nicht auf Einzelpersonen ausgerichtet sind. Dies betrifft auch die Kosten, da das Ziel eine kollektive Kostenreduktion ist und somit manche mehr und manche weniger davon profitieren. (vgl. Saif et al. 2021, S. 2; Bjarghov et al. 2020, S. 2) Durch den Fokus vieler Projekte auf das Teilen und die Maximierung der Nutzung der lokalen Energie, kann die soziale Kohäsion gefördert und die Gemeinschaft gestärkt werden. Außerdem kann die lokale Wertschöpfung und Investitionen in die Region gefördert werden. (vgl. Haller et al. 2020, S. 112; Mantegazzini 2020, S. 25; Peise et al. 2021, S. 1)

Die Projekte bieten Teilnahmemöglichkeit für Akteur:innen, die früher nicht im Energiesektor aktiv sein konnten. Dadurch ist es möglich, dass Personen, die selbst keine erneuerbaren Erzeugungsanlagen, aufgrund von beispielsweise Wohnsituation oder finanziellen Gründen, trotzdem lokal erzeugte Energie verbrauchen können. (vgl. Wien Energie 2021) Auch für kleine Erzeuger:innen oder Prosumert:innen ist eine Integration somit erreichbar. Ressourcen können gemeinsam genutzt werden, um eine eigene regionale Identität aufzubauen, die Verwaltung gemeinsam zu organisieren und für Transparenz und Gemeinschaftlichkeit zu sorgen. (vgl. Strauß et al. 2021, S. 12, 23-24) Das gemeinsame Arbeiten und Teilen hat bei mehreren Projekten zu einem besseren sozialen Zusammenhalt bei den Teilnehmer:innen geführt und in der Einstellung der Menschen ein Bewusstsein für die Energieherkunft geschaffen (vgl. Mengelkamp et al. 2017, S. 6–10). Dadurch hat sich auch das Verhalten geändert und zu einer größeren Nachfrage nach Grünstrom in den Regionen geführt (vgl. Donnerer und Lacassagne 2019, S. 16).

In den analysierten Projekten ist die Versorgungssicherheit innerhalb der Projektgebiete gestiegen. Beispielsweise ist die Selbstversorgungsrate bei Blockchain Grid um 81,1 % und der Nutzungsgrad von PV-Anlagen um 40 % gestiegen. (vgl. Bjarghov et al. 2020, S.

14; Ableitner et al. 2020, S. 40; Green Energy Lab o. J.; Mantegazzini 2020, S. 26) Durch Gemeinschaftsspeicher, virtuelle Stromspeicher und Netzampeln sind die regionalen Netze resistenter gegen Ausfälle, durch z. B. Extremwetterereignisse, und kurze Inselbetriebe sind möglich. (vgl. Mengelkamp et al. 2017, S. 6–10; Stefan et al. 2020a, S. 1; Industr 2021, S. 2) Durch die vermehrte Nutzung von lokalen, erneuerbaren Energien kommt es zu einer CO₂-Einsparung und einem positiven Beitrag zum Klimaschutz. (vgl. Bjarghov et al. 2020, S. 14; Green Energy Lab o. J.) Mehrere erfolgreiche Projekte zielen in ihrer Konzeption auch auf politische Zielsetzungen, wie die Sustainable Development Goals (SDGs), ab. Weitere Ziele, die beachtet werden sind z. B. die Energieeffizienz, die Schaffung eines fairen Angebots und die Förderung von erneuerbaren Energien aus dem Winterpaket der Europäischen Kommission. (vgl. SunContract 2017, S. 5; BMK 2022b, S. 11)(vgl. BMK 2022b, S. 11)

Partizipation

Das Gelingen eines Projektes ist auch abhängig von den dazugehörigen Menschen. Denn neben technischen Faktoren, sind Menschen ein wichtiger Teil der Energiewende, da sie zuständig für Veränderungen im Raum und des Lebens sind. (vgl. Haller et al. 2020, S. 126–127) Zum einen ist es abhängig von den Personen, die es umsetzen. Die Partnerwahl kann ausschlaggebend sein und muss passend zum Thema passieren. Vorerfahrungen sollten mitgebracht werden, so besteht beispielsweise das Team von SunContract aus Expert:innen aus den zwei Bereichen Energiewirtschaft und Blockchain. Bei anderen Projekten, wie My Power, liegt die Kompetenz der Hauptpartner im Wissen über Hard- und Software. (vgl. SunContract 2017, S. 13; Riddle & Code Energy 2021, S. 11–13) Neben Vorerfahrungen ist es auch vorteilhaft, wenn Projektpartner in der Vergangenheit bereits gemeinsam gearbeitet haben (vgl. Lucke et al. 2022, S. 10).

Zu anderen sind auch die Teilnehmer:innen aus der Bevölkerung wichtig für einen Projekterfolg. Frühzeitige Partizipation führt zu Akzeptanz und Probleme können früh erkannt werden. Early Adopters nehmen schneller bzw. früher an Projekten teil, da sie persönliche Motivationen und Überzeugungen zum Thema haben. Die größten Anreize sind meist finanzielle Vorteile und das Umweltbewusstsein. Aber auch die Gemeinschaftlichkeit und das Interesse an neuen Technologien können ausschlaggebend sein. Schwieriger ist es, die breite Masse anzusprechen, die nicht von selbst aktiv wird. (vgl. EWE 2021b, S. 40; Slood et al. 2022, S. 3–4; Green et al. 2020, S. 23–24) Dort besteht oft Misstrauen, Unwissen oder Desinteresse. Für die Teilnahme muss Vertrauen geschaffen und Informationen bereitgestellt werden. Es braucht oft anfangs einen Wow-Effekt, für die Aufmerksamkeit, und im weiteren Prozess können langfristige Mehrwerte aufgezeigt werden. (vgl. EWE 2021b, S. 40; BMK 2022b, S. 27–28; Strauß et al. 2019, S. 80–83)

Die Eigenschaften und Bedürfnisse der verschiedenen Zielgruppen müssen von Beginn an bedacht werden und unterschiedlich angesprochen werden. Dafür gibt es verschiedene Arten von Beteiligungs- und Kommunikationsprodukten. In allen Projekten gibt es Lösungen, wie Feste, Fachkongresse, Informations- und Austauschplattformen, Apps, Prototypen, Fahrradtouren, Sportveranstaltungen und die Nutzung von Social Media. Wichtig sind niedrige Einstiegshürden und, neben digitalen Plattformen, das persönliche Ansprechen. Durch Beteiligungsmethoden mit regionalem Bezug können viele individuelle Kontakte geknüpft und Vertrauen geschaffen werden. (vgl. Haller et al. 2020, S. 128–129, 132, 134; BMK 2022b, S. 16; EWE 2021b, S. 129, 2021a, S. 350–358) Gerade, wenn es um neue Technologien und Human-Computer-Interactions geht, kann es anfängliche Skepsis geben. Um dem gegenzusteuern, werden oft Methoden wie Gamification, Virtual Reality und Augmented Reality genutzt, um den zukünftigen Nutzen und einfache Bedienbarkeit aufzuzeigen und um Elemente gemeinsam mit Endnutzer:innen zu erarbeiten. (vgl. EWE 2021b, S. 91; Döbelt und Kreusslein 2019, S. 6, 27; Haller et al. 2020, S. 40–41)

Bei den Projekten kann unterschieden werden in Partizipation vor der Umsetzung und während bzw. nach der Umsetzung. Ersteres dient dazu, Wissensstand, Motivation, Bedürfnisse und Perspektiven der Teilnehmer:innen abzuklären. Zum einen wurden Online-Umfragen, mit bis zu 1.205 Personen, durchgeführt, um ein möglichst breites Abbild zu erreichen. Für detaillierte Informationen über Akzeptanz, Bedienbarkeit, Nützlichkeit, Nutzungsbereitschaft, Normen, Erwartungen und die Bewertung von Szenarien wurden qualitative Interviews durchgeführt. (vgl. Sloot et al. 2022, S. 9; Saif et al. 2021, S. 17; flexQgrid; Döbelt und Kreusslein 2018, S. 7–29) So kann analysiert werden, wo es weiteren Informationsbedarf gibt. Lösungen dafür sind beispielsweise Workshops und Schulungen auf digitalen Lernplattformen, zu Themen wie Blockchain und anderen technischen Aspekten, Anwendungsmöglichkeiten und Co-Creation. (vgl. EWE 2021b, S. 91, 2021a, S. 122; BMK 2022b, S. 27–28; Stefan et al. 2020a, S. 35, 38) Ein weiterer Handlungsbedarf ergibt sich durch die Demografie der Befragungen, denn der Durchschnitt ist männlich, hat einen Studienabschluss und ein gutes Einkommen. Hier muss darauf geachtet werden, auch bildungs- und einkommensschwächere Gruppen zu integrieren. (vgl. Döbelt und Kreusslein 2018, S. 10) Zweiteres umfasst Partizipation während der Umsetzung. Dafür gibt es bei einigen Projekten laufende Feedback- und Evaluationsmöglichkeiten, z. B. nach Austesten von verschiedenen Lösungsmöglichkeiten. Dies kann Online mit kleineren Umfragen oder auch durch qualitative Interviews für subjektive Informationen gemacht werden. (vgl. BMK 2022b, S. 29; Green et al. 2020, S. 23–24; Haller et al. 2020, S. 90)




















Der Erfolg der Projekte und der Partizipation kann auch mit Indikatoren gemessen werden. Dies enthält Verhaltensanalysen, zu Nutzer:innenbeteiligung und Lastverschiebungen bei geänderten Preisen, ökonomische und ökologische Einsparungen, Selbstversorgungsgrad, Anzahl der Transaktionen und Verbrauchs- und Ertragssteigerungen. Aber auch immaterielle Werte, wie die lokale Zugehörigkeit, können für die Messung des Projekterfolges verwendet werden. (vgl. Saif et al. 2021, S. 8, 13, 21) Nach der Umsetzung ist es auch wichtig gemeinsam Überlegungen zu machen, wie die Übertragbarkeit und Skalierung funktionieren könnten. Durch laufende Partizipation können auch vorhandene Hürden aufgezeigt werden. (vgl. EWE 2021b, S. 138)

Bewertung der Faktoren

Aus den 24 analysierten Projekten sind folgend die wichtigsten Erfolgsfaktoren herausgeschrieben. Es sind v. a., welche die in den Projekten wiederholt vorkommen. Das heißt, sie haben unabhängig vom Projekt einen Beitrag zum Erfolg gehabt. Die Erfolgsfaktoren können sozialer oder technischer Natur sein, manche betreffen aber auch beides. Sie passen teilweise auch zu mehreren Themenbereichen aus Kapitel 7.2, da z. B. der Faktor „Kostenreduktion durch eigenständige, dynamische Preisbildung“ Auswirkungen auf die Kosten hat, aber ohne die aktive Partizipation kann keine Kostenreduktion erzielt werden. Farblich markiert ist die Relevanz der einzelnen Erfolgsfaktoren. Sie ist abhängig von Häufigkeit und Stellenwert in der Summe aller Projekte. Eine detaillierte Erklärung, warum welcher Faktor in eine bestimmte Kategorie eingeteilt wurde, befindet sich am Ende des Kapitels.

Erfolgsfaktoren	Art	Blockchain	Hardware	Datennutzung	Benutzerschnittstelle	Voraussetzungen	Kosten	Vorteile	Partizipation	Relevanzkategorie
Vertrauen und Datensicherheit durch Blockchain		X								
Nutzung und zusätzlicher Einbau von intelligenter Mess- und Steuerungstechnik			X							
Schneller Fortschritt bei Nutzung von bereits ausgebauten Infrastrukturen			X			X				
Maximierung des Nutzens der verfügbaren Daten				X						
Apps mit übersichtlicher Datenaufbereitung und Visualisierungen					X					
Bevölkerung bereits sensibilisiert						X				
Kostenreduktion durch regionale Erzeugung und Verbrauch (Reduktion Netzkosten und Tarife)							X			
Nachhaltigkeit und Klimaschutz								X		
Frühzeitige Partizipation für nutzergruppenspezifische Motive und Bedürfnisse									X	
Niedrige Einstiegshürden und Reduktion der Komplexität									X	
Kostenreduktion durch eigenständige, dynamische Preisbildung							X			
Nahe an Echtzeitabwicklung durch Blockchain und intelligente Messsysteme		X	X							
Anwendungsspezifische Modularität durch Blockchain		X								
Nutzung bzw. Weiterentwicklung mit State-of-the-Art Technologien		X	X							
Belohnung von netzdienlichem Verhalten							X			

Tabelle 27-28: Erfolgsfaktoren,
eigene Darstellung

Erfolgsfaktoren	Art	Blockchain	Hardware	Datennutzung	Benutzerschnittstelle	Voraussetzungen	Kosten	Vorteile	Partizipation	Relevanz- kategorie
Identität und sozialer Zusammenhalt der Gemeinschaft in der Region								X		
Teilnahmemöglichkeit für viele Akteur:innen								X	X	
Erhöhte Versorgungssicherheit								X		
Team mit thematischen Kompetenzen und guter Zusammenarbeit						X			X	
Digitale und persönliche, zielgruppenspezifische Kommunikations- und Beteiligungsmöglichkeiten									X	
Aufzeigen von Hürden und Übertragbarkeit									X	
Einfache Bedienbarkeit					X					
Co-Creation für frühzeitige Problemerkennung und Nutzenmaximierung									X	
Ermöglichung von Sharing und Finanzierungen							X			
Unabhängigkeit von zentralen Instanzen durch Blockchain		X								
Nutzung von individuellen Präferenzen durch Smart Contract		X							X	
Nutzung von historischen und aktuellen Daten, Wetterdaten und Simulationen				X						
Vorteilhafter Standort für erneuerbare Energien						X				
Lokale Wertschöpfung und Re-Investitionen in Region								X		
Integration von politischen Zielsetzungen								X		
Laufende Feedback- und Evaluationsmöglichkeiten									X	
Nutzung von themenspezifischen Blockchains		X								
Nutzung und zusätzlicher Einbau von Haushalts- und Gemeinschaftsspeichern			X							
Aufbau auf vergangene Projekte und Nutzung des Wissens						X				

In die erste Kategorie fallen Erfolgsfaktoren, die nahezu in allen der 24 analysierten Projekte vorkommen. Ein Vorteil, der sich durch die Nutzung einer Blockchain ergibt, ist Vertrauen und Transparenz. Smart Meter sind Voraussetzung in allen Projekten, oft muss zusätzliche Hard- und Software extra eingebaut werden. Sowohl von sozialer und technischer Seite her ist ein schneller Projektfortschritt möglich, wenn Voraussetzungen gegeben sind. Ein wichtiger Faktor für die Teilnehmer:innen ist die Kostenreduktion. Die Teilnahme muss, um eine breite Masse zu erreichen, mehr Vorteile bringen als nur Teil der Energiewende sein. Trotzdem ist dies auch ein Punkt, der bei der Projektkonzipierung eine große Rolle spielt. Ein weiterer relevanter Punkt für Teilnehmer:innen ist der Aufwand. Je geringer dieser ist und je einfacher die Bedienbarkeit, desto besser. Die Technologie dahinter ist für den Großteil weniger relevant, solange es Mehrwerte gibt.

Die Erfolgsfaktoren der zweiten Kategorie kommen bei über der Hälfte der Projekte vor. Technisch geht es v. a. um Vorteile, die durch die Nutzung der Blockchain entstehen, wie die Nähe zu Echtzeitabwicklungen oder die Anpassung an lokale Herausforderungen. Im sozialen Bereich geht es auch um die frühzeitige Beteiligung von möglichst vielen verschiedenen Akteur:innen. In der dritten Kategorie sind Erfolgsfaktoren die in weniger als der Hälfte der Projekte, aber trotzdem noch wiederholt vorkommen. Es geht um Vorteile durch die Projekte, wie Sharing, das Einstellen von Präferenzen oder Simulationen, die es zusätzlich gibt. Bezogen auf die Blockchain ist die Unabhängigkeit von zentralen Instanzen hier geringer, als es die Blockchain-Technologie verspricht, da in den Forschungsprojekten oft private Chains genutzt werden. In der vierten Kategorie sind Erfolgsfaktoren, die in einem Viertel der Projekte oder weniger vorkommen. In allen Projekten gibt es auch noch weitere spezifische Erfolgsfaktoren, die sich auf die jeweiligen lokalen Herausforderungen und Lösungen beziehen.

7.3 Zwischenfazit

„Blockchains haben das Potenzial, energiewirtschaftliche Prozesse in nahezu allen Wertschöpfungsstufen zu optimieren und gleichzeitig die steigende Komplexität im zunehmend dezentralen Energiesystem zu bewältigen.“

(BDEW 2017, S. 6)

Die analysierten Good-Practice-Projekte zeigen, welche Faktoren für die Umsetzung von Blockchain-Anwendungen im Energiesektor wichtig sind. Voraussetzungen im Umsetzungsregionen, wie bestehende Smart Meter oder Bewusstsein für erneuerbare Energien, sind von Vorteil. Trotzdem sind Erweiterungen durch Hard- und Software manchmal nötig. Je früher die Partizipation passiert desto besser. Dies führt zu Akzeptanz, Probleme können früh erkannt werden und lokale Lösungen können gemeinsam mit den Teilnehmer:innen gefunden werden. Die Reduktion von Kosten ist eine der wichtigsten Faktoren für Teilnehmer:innen und kann unterschiedlich umgesetzt werden. Aspekte der Blockchain-Technologie, wie Transparenz und Automatisierung, sind für Teilnehmer:innen oft nicht im Vordergrund, sondern es geht um eine Verbesserung des Ist-Zustandes im jeweiligen lokalen Kontext.

Neben den analysierten Projekten gibt es auch welche die scheitern. Gründe sind meist zu hohe Komplexität und fehlende Ressourcen. Bezogen auf die Blockchain muss abgewogen werden, ob die Technologie wirklich zum Anwendungsfall passt. Außerdem besteht das Trilemma zwischen Skalierbarkeit, Dezentralisierung und Sicherheit. (vgl. Döbelt und Kreusslein 2016, S. 2; Marke et al. 2021, S. 9) Besonders innovative Ansätze werden in Forschungsprojekten praktiziert. Oft werden Projekte danach weitergeführt oder es gibt darauf aufbauende Forschungsprojekte. Aber es besteht das Risiko, dass Erkenntnisse nach Abschluss nicht weiterverwendet werden. Forschungsprojekte, die in regulatorisch abgeschirmten Bereichen durchgeführt werden, können danach nicht sofort umgesetzt werden. Trotzdem sind sie wichtig, um die technische und soziale Machbarkeit aufzuzeigen. (vgl. Stefan et al. 2020b; EWE 2021b, S. 62; Strauß et al. 2019, S. 87–88)

8

Status quo von Energiegemeinschaften

- 8.1 Stand in Österreich
- 8.2 Einteilung nach Initiator:innen
- 8.3 Zwischenfazit

8. Status quo von Energiegemeinschaften

8.1 Stand in Österreich

Die genaue Anzahl an Energiegemeinschaften in Österreich herauszufinden ist nicht einfach. Die einzelnen Beratungsstellen sind grob über die Lage im jeweiligen Bundesland informiert. Im September 2022 gab es im Burgenland vier Energiegemeinschaften, mit ca. 40 Zählpunkten. Mittlerweile sind es bereits mehr. (vgl. Puchegger 2023) Mit Stand Jänner 2023 gibt es in Salzburg fünf regionale und vier lokale EEGs. Zwei sind kurz vor der Abrechnung und viele weitere bereits in Gründung. (vgl. Herold 2023) In Wien haben drei bis fünf eine Rechtsform gegründet, zwei bis drei sind in Betrieb und über zehn sind in der Konzipierung (vgl. Geiger und Hasselbring 2023).

Grundsätzlich hat E-Control den gesetzlichen Auftrag Zahlen über Energiegemeinschaften zu liefern. Dies funktioniert zwei Mal pro Jahr über eine Anfrage bei den Netzbetreiber:innen, welche aktuell noch verzögert ist, da noch alles mit Excel-Listen geregelt wird. (vgl. Heidler 2023) Nach Rückfrage bei EDA gibt es mit Stand 31. Dezember 2022 770 gemeinschaftliche Erzeugungsanlagen, 230 EEGs und 5 BEGs. Diese sind alle bei der Plattform registriert und somit am Markt aktiv. (vgl. S. Greinix, persönliche Kommunikation, 06. Februar 2023) Mit Ende Februar gibt es bereits 290 EEGs und 10 BEGs. Ein schnelles Wachstum ist erkennbar. (vgl. Klima- und Energiefonds 2023)

Das Unternehmen Oesterreichs Energie hat die aktuellen Zahlen von allen Energiegemeinschaften, die bei ihnen registriert sind, das inkludiert auch diejenigen, die noch nicht in Betrieb sind. Mit Stand Februar 2023 gibt es dort 1563 gemeinschaftliche Erzeugungsanlagen, 605 EEGs und 70 BEGs. (vgl. C. Zwitter, persönliche Kommunikation, 09. Februar 2023) Als Vergleich waren im März 2022 14 EEGs aktiv am Markt, 34 in Umsetzung und 88 in Planung. (vgl. Mission Innovation Austria 2022)

Auf der Website der Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften gibt es eine Landkarte, auf der EEGs und BEGs, die in Betrieb sind, eingetragen sind. Die Eintragung basiert auf Freiwilligkeit, weshalb nur etwas weniger als die Hälfte aller Energiegemeinschaften eingetragen sind. Nach Rücksprache mit der Koordinationsstelle zeigt die Landkarte trotzdem ein aussagekräftiges Stimmungsbild, weshalb einige Fakten folgend dargestellt werden (Stand 11. Februar 2023). (vgl. Heidler 2023)

Auf der Landkarte sind 91 EEGs und vier BEGs eingetragen. Die Erneuerbaren-Energie-Gemeinschaften teilen sich auf in 27 lokale, in den Netzebenen sechs und sieben, und 64 regionale, in den Netzebenen vier bis sieben. Die räumliche Verteilung pro Bundesland (siehe Abbildung 58) zeigt Niederösterreich, Oberösterreich und das Burgenland klar an der Spitze. In Salzburg, Tirol und Wien und Vorarlberg sind bis jetzt die wenigsten Energiegemeinschaften eingetragen. (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022a; Mission Innovation Austria 2022)

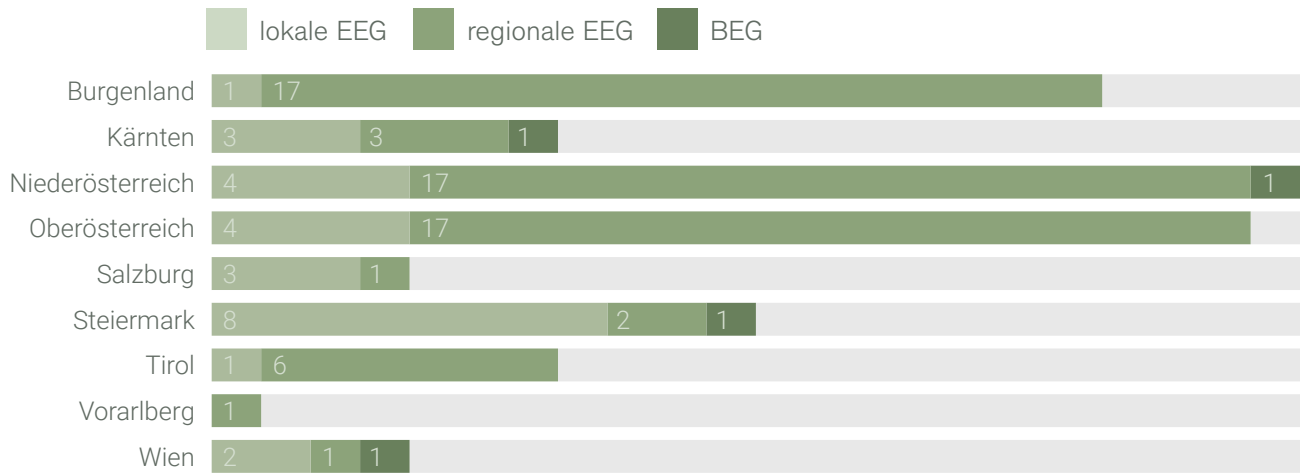
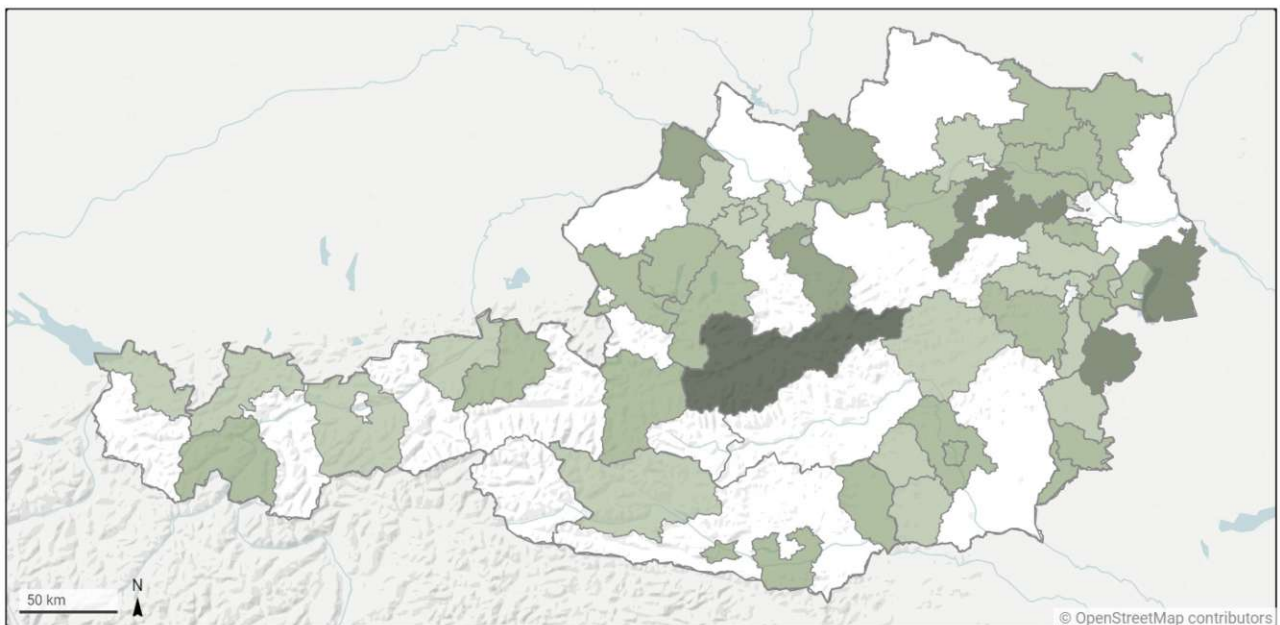


Abbildung 58: Energiegemeinschaften pro Bundesland, eigene Berechnung und Darstellung

In Abbildung 59 sind die Energiegemeinschaften nach Bezirk verortet dargestellt. Eine Verteilung über Gesamtösterreich ist erkennbar, wobei es im Westen eine geringere Anzahl gibt. In den Bezirken, wo es Energiegemeinschaften gibt, sind es meistens ein bis zwei. In sieben Bezirken gibt es drei oder mehr Energiegemeinschaften. (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022a) Im Burgenland gibt es in jedem Bezirk mindestens eine EG. Das liegt daran, dass die Raiffeisen Nachhaltigkeitsinitiative das Ziel verfolgt, für jedes Umspannwerk im Burgenland eine EEG zu betreiben. Auch in anderen Bundesländern ist der Einfluss von Akteur:innen zu erkennen. Beispielsweise werden Energiegemeinschaften vom Land Niederösterreich stark unterstützt oder in Oberösterreich gehen mehrere Energiegemeinschaften vom Unternehmen neoom aus. (vgl. Puchegger 2023) Wenn man sich die Energiegemeinschaften nach dem Grad der Urbanisierung ansieht, sind sechs in Städten mit dicht besiedeltem Raum, 22 in Gebieten mit mittlerer Dichte und 67 in ruralen Gebieten, die dünn besiedelt sind. In Relation zur gesamten Ausprägung der Urbanisierung in Österreich gibt es mehr Energiegemeinschaften in mittleren bis dicht besiedelten Gebieten. (vgl. eurostat 2021, S. 33)



Anzahl Energiegemeinschaften



Abbildung 59: Verortung der Energiegemeinschaften, eigene Berechnung, erstellt mit Datawrapper

Bis auf zwei Energiegemeinschaften, die nur Wasserkraft nutzen, wird in allen PV zur Energieerzeugung genutzt. Zusätzlich nutzen zwölf regionale EEGs und eine BEG andere Energieträger. Windkraft wird zweimal in Oberösterreich und Niederösterreich und einmal in Tirol und Wien genutzt. Wasserkraft dreimal in Oberösterreich, zweimal in Kärnten und einmal in Niederösterreich, Tirol und Wien. Biomasse wird einmal in Oberösterreich, Tirol und Wien verwendet. Bei allen eingetragenen Energiegemeinschaften beschränkt sich die Energieart auf Strom, bis auf eine, die Wärme nutzt. Dabei handelt es sich um die Smart City Baumgarten in Wien, welche ein Anergienetz nutzt. (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022a) Die Smart City Neudörfel ist eine zweite EG, die den Wärmesektor mitdenkt, jedoch nicht in der Landkarte eingetragen ist (vgl. Puchegger 2023).

Von den möglichen Rechtsformen wurden bis jetzt vier verschiedene in Anspruch genommen. Etwas über drei Viertel sind als Vereine organisiert. Der Rest als Genossenschaften, vier Personengesellschaften und eine GmbH (siehe Abbildung 60). (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022a)

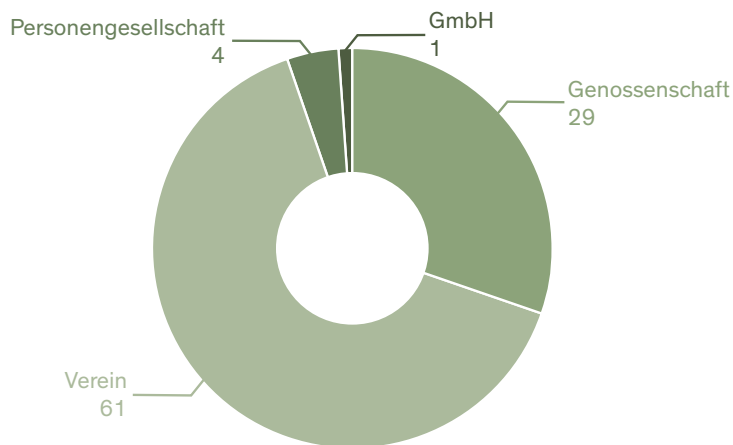


Abbildung 60: Rechtsformen, eigene Berechnung und Darstellung

Geordnet nach der Anzahl der Teilnehmer:innen hat etwas weniger als die Hälfte der Energiegemeinschaften weniger als zehn Mitglieder. Bei diesen handelt es sich oft um Zusammenschlüsse von Privatpersonen, die auch keine Online-Präsenz. Die größte Energiegemeinschaft ist die BEG von OurPower, mit über 1.000 Mitgliedern. Das Unternehmen besteht bereits seit 2018 und bietet einen Marktplatz an. Außerdem unterstützen sie fünf weitere Energiegemeinschaften, durch die gemeinsame Nutzung von Tools. Zusätzlich gibt es 20 Energiegemeinschaften mit 100-1.000 Mitgliedern, wobei 17 davon zur Raiffeisen Nachhaltigkeitsinitiative im Burgenland gehören. Die anderen drei sind regionalen EEGs Göttsweiblick und Tullnerfeld in Niederösterreich und Spörbichl-Dreißgen in Oberösterreich. (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022a; OurPower 2022)

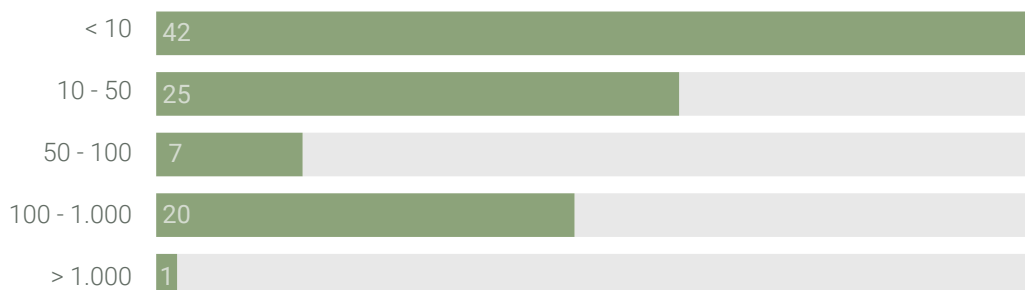


Abbildung 61: Teilnehmer:innen, eigene Berechnung und Darstellung

8.2 Einteilung nach Initiator:innen

Es gibt viele verschiedene Ausprägungen von Energiegemeinschaften. Es kann zwischen lokalen und regionalen EEGs und BEGs unterschieden werden, aber auch nach Initiator:innen auf verschiedenen Raumebenen. Je nach den lokalen Gegebenheiten gibt es verschiedene Ziele und Teilnehmer:innen. Zu bedenken ist auch, dass sich eine Energiegemeinschaft laufend, z. B. durch die Integration neuer Erzeugungsanlagen, weiterentwickeln kann. (vgl. Heidler 2023)

Nachbarschaft

Die meist kleinste Form von Energiegemeinschaften sind Nachbarschaftsmodelle. Teilnehmer:innen sind oft Verwandte oder Bekannte aus der Umgebung. Es handelt sich dabei meist um Personen in Einfamilienhäusern, wovon manche eine PV-Anlage besitzen. Der Überschuss wird an die anderen Mitglieder zu niedrigen Preisen verkauft und in Einzelfällen sogar geschenkt. Die Energiegemeinschaften haben oft weniger als zehn Teilnehmer:innen und mindestens eine Person davon muss sich in das Thema einlesen und die Gründung durchführen. Die häufigste Organisationsform ist der Verein. Im Betrieb ist eine nachbarschaftliche Energiegemeinschaft mit geringem Aufwand verbunden und die Abrechnung wird mit einfachen Methoden, wie Excel-Tabellen gemacht. (vgl. nobilegroup 2021, S. 23; Heidler 2023)

Die Anzahl an nachbarschaftlichen Energiegemeinschaften ist groß, jedoch gibt es wenige konkrete Beispiele, da es sich um kleine, private Projekte handelt. Ein Beispiel ist die lokale EEG in Deutschkreutz, mit Unterstützung der Energieberatungsstelle Burgenland. Dort hat sich eine Gruppe von Pensionist:innen zusammengefunden und einen Verein gegründet. Die Energiegemeinschaft ist bereits in Betrieb und hat mit Stand November 2022 19 Teilnehmer:innen und fünf private PV-Anlagen. In Zukunft ist auch geplant den überschüssigen Strom zu speichern. (vgl. Puchegger 2023; ORF Burgenland 2022)



Abbildung 62: Deutschkreutz, Burgenland Tourismus o. J.

KMUs

Eine Vielzahl an Unternehmen hat Lastprofile, die sich mit Privathaushalten ergänzen. Der Verbrauch von Unternehmen ist werktags und tagsüber am höchsten, während der Verbrauch von Privathaushalten abends und am Wochenende am höchsten ist. Der Überschuss kann somit zu intern festgelegten Preisen abgegeben werden. Ein Potenzial das viele KMUs haben, sind Dachflächen, die sich für den Ausbau von PV-Anlagen eignen. Außerdem kann Abwärme genutzt werden. Nach außen kann sich ein Unternehmen mit einer Energiegemeinschaft als nachhaltiges, innovatives und umweltbewusstes Unternehmen vermarkten. Eine Alternative zur Überschussabgabe an Personen in direkter Umgebung sind Mitarbeiter-Incentives, durch Bezug zu vergünstigten Konditionen. Um Benachteiligungen durch den Wohnort zu verhindern, müsste es sich dabei jedoch um eine BEG handeln. (vgl. Herold 2023; nobilegroup 2021, S. 9; Berger und Geiselhofer-Kromp 2022, S. 6–7)

In Hallwang bei Salzburg hat die Druckerei Roser auf zwei Dächern PV-Anlagen mit insgesamt 145 kWp, womit 40 % des Strombedarfes gedeckt werden können. Um den Überschuss außerhalb der Betriebszeiten abzugeben wurde eine Energiegemeinschaft mit umliegenden Privathaushalten gegründet. Durch die Energiegemeinschaft gibt es Pläne von benachbarten KMUs ebenfalls PV-Anlagen zu bauen und beizutreten, Außerdem soll in Zukunft auch der Wärmesektor integriert werden. (vgl. Berger und Geiselhofer-Kromp 2022, S. 7; Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022a)



Abbildung 63: Druckerei Roser, Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022a

Abbildung 64: Grätzl Energie, Ender 2021

Die Energiegemeinschaft Grätzl Energie wurde vom Metallbetrieb W. A. Richter's Söhne GmbH als Genossenschaft in Liesing gegründet. Die Anlage am Dach hat 200 kWp und ist größer dimensioniert als für den Betrieb nötig. Mit Stand Sommer 2022 gab es ca. 50 Mitglieder und drei zusätzliche Erzeuger:innen, wodurch eine Mischung von Lastprofilen aus Gewerbe und Privathaushalten entsteht. Ein wichtiger Faktor für die Gründer:innen ist, dass soziale Strukturen und faire Preise von Anfang an für alle mitgedacht werden. Unter dem Namen Grätzl Energie gibt es Pläne für die Zukunft weitere Energiegemeinschaften innerhalb von Wien zu gründen. Neben direkten Teilnehmer:innen ist es auch möglich Dachflächen zu verpachten oder in die Energiegemeinschaft zu investieren. (vgl. Berger und Geiselhofer-Kromp 2022, S. 9; Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022a; Schramme 2022)

Quartier

In Städten können auch innerhalb von Quartieren Energiegemeinschaften umgesetzt werden. In Stadtentwicklungsgebieten, die mit einer gemischten Nutzung geplant werden, ergänzen sich die verschiedenen Lastprofile. Bei Neubauten können Energiegemeinschaften von Beginn an mitgeplant werden. Das heißt z. B. Dachflächen werden für PV-Anlagen genutzt und Speicher werden integriert, damit Erzeugung und Verbrauch so gut wie möglich ausgeglichen werden können. Außerdem kann Energieeffizienz, Sektorkopplung und Lastmanagement von Beginn an mitgedacht werden. Energiegemeinschaften können auch in bestehenden Quartieren umgesetzt werden. Dabei können zusätzliche Akteur:innen wie Bauträger und Hausverwaltungen eine Rolle spielen. (vgl. Geiger und Hasselbring 2023; Frieden et al. 2020, S. 6; Neumann et al. 2020, S. 28–29, 47; nobilegroup 2021, S. 15)

P2PQ ist eine Energiegemeinschaft im Viertel Zwei in Wien, die Blockchain nutzt. Sie ist aus einem Forschungsprojekt in Zusammenarbeit mit Wien Energie, Value One, AIT und dem Blockchain- Unternehmen Riddle & Code entstanden. Gemeinschaftliche PV-Anlagen und Speicher werden genutzt, um den Eigenverbrauch innerhalb des Quartiers zu optimieren. Mittels Blockchain wurde Peer-to-Peer Handel umgesetzt und verschiedene, in Co-Creation Workshops ausgearbeitete, Tarife wurden ausgetestet. Ein weiterer Fokus lag bei der Entwicklung einer Benutzer:innenschnittstelle mit einfacher Bedienbarkeit. Über die Blockchain wurden automatisierte Abrechnungen abgewickelt und die Erzeugungs- und Verbrauchsdaten wurden transparent gespeichert. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde auch die Interaktion von Menschen mit Blockchain-Anwendungen und technischen Herausforderungen analysiert. In der Energiegemeinschaft wurden auch Themen wie E-Mobilität und Smart Living behandelt. (vgl. Neumann et al. 2020, S. 16–17; BMK 2022b, S.



Abbildung 65: Viertel Zwei, Value One o. J.

Gemeinde

Eine der häufigsten Arten von Energiegemeinschaften kommt auf Gemeindeebene vor. Oft sind die Initiator:innen die Gemeinden bzw. die Bürgermeister:innen selbst, mit Unterstützung von externen Dienstleister:innen. Ein Vorteil entsteht durch die Nutzung von gemeindeeigenen Gebäuden für die Energieerzeugung. Manche Gemeinden sind auch Eigentümer von Stadtwerken, wodurch verschiedene Erzeugungsanlagen integriert werden können. Außerdem ist es als Gemeinde einfacher, verfügbare Flächenpotenziale, sowohl auf Gebäuden als auch im Freiland zu nutzen. Durch Energiegemeinschaften können Erzeugungsanlagen größer dimensioniert werden und die lokale Bevölkerung kann beteiligt werden. Dadurch wird der Ausbau von erneuerbaren Energien auf lokaler Ebene schnell vorangetrieben. Energiegemeinschaften können als Teil der örtlichen Nahversorgung gesehen werden, ein Mittel gegen Energiearmut sein und als Notstromversorgung eingesetzt werden. Eine Gemeinde kann eine Vorbildrolle einnehmen und für Bewusstseinsbildung zu Klimaschutz und Energie beitragen. Einen erheblichen Vorteil bei der Umsetzung von Energiegemeinschaften haben Gemeinden, die sich bereits in der Vergangenheit mit Energie auseinandergesetzt haben. Ein Beispiel dafür sind e5-Gemeinden, die zum Teil Energieleitpläne, Energiemasterpläne oder Energieaktionspläne haben. (vgl. Heidler 2023; Geiger und Hasselbring 2023; Dvorak et al. 2021; Frieden et al. 2020, S. 6; nobilegroup 2021, S. 17)

In der Stadtgemeinde Lilienfeld wurde eine Energiegemeinschaft als Verein durch die Gemeinde gegründet. Direkt nebeneinander befinden sich zwei Schulen, ein Sportplatz und ein Schwimmbad. Mehrere PV-Anlagen gibt es schon länger und auf der Tribüne des Sportplatzes wurde eine 140 kWp Anlage errichtet. Ohne eine Integration in die Energiegemeinschaft hätte sich die Errichtung nicht rentiert. Die Lastprofile ergänzen sich so, dass 80 % des Stromes innerhalb der Energiegemeinschaft verbraucht werden kann. Unter dem Jahr werden die Schulen zusätzlich von den Anlagen auf dem Sportplatz und Schwimmbad versorgt. In Sommermonaten gibt es im Schwimmbad einen höheren Strombedarf, welcher durch die geschlossenen Schulen gedeckt wird. Für die Zukunft ist die Vergrößerung der Energiegemeinschaft gemeinsam mit Privatpersonen geplant. (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022a)



Abbildung 66: Lilienfeld, Bezirk Lilienfeld o. J.

In der Gemeinde Schnifis haben sich 30 Haushalte, ein Gemeindegebäude, eine Sennerei und eine Biogasanlage zu einer EEG zusammengeschlossen. Außerdem gibt es eine Bürgerbeteiligungs-PV-Anlage. Vor der Gründung gab es Austausch mit dem Projekt Quartierstrom Walenstadt (siehe Kapitel 7). Die Besonderheit an der Energiegemeinschaft ist, dass die Abfälle aus der Sennerei für die Biogasanlage genutzt werden. Dort werden sie zu Strom verarbeitet, welcher durch die Sennerei und die anderen Teilnehmer:innen wieder verbraucht wird. Für die Biogasanlage sind bereits alle Förderungen ausgelaufen und der

Weiterbetrieb hätte sich ohne die Energiegemeinschaft nicht mehr rentiert. Die EEG zählt als Vorzeigeprojekt und wurde mehrmals ausgezeichnet, z. B. dafür, dass die Energie als Teil der lokalen Nahversorgung umgesetzt wird. (vgl. Dvorak et al. 2021, S. 8; Hofmeister o. J.)



Abbildung 67: Schnifis, Gemeinde Schnifis o. J.

In Wolfsberg gibt es eine EEG von der Gemeinde ausgehend. In der Altstadt gibt es viele denkmalgeschützte Gebäude, wodurch der Bau von PV-Anlagen nicht möglich ist. Deshalb wurde eine Genossenschaft gegründet, durch die Strom von PV-Anlagen von anderen gemeindeeigenen Gebäuden an die Altstadt abgegeben werden kann. Aktuell liegt der Fokus noch auf der Stadtgemeinde Wolfsberg. Für die Zukunft ist die Erweiterung auf weitere Nachbargemeinden geplant. Dabei geht es primär um den lokalen Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch. Der Überschuss wird an die Gebäude in der Altstadt abgegeben. Außerdem soll E-Mobilität integriert werden. (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022a)



Abbildung 68: Wolfsberg, Pogacnik 2017

Auf Gemeindeebene gibt es noch viele weitere Beispielprojekte. Ollersdorf beteiligt sich schon länger aktiv am Klimaschutz, weshalb es bestehende Erzeugungsanlagen, Speicher und Ladestationen gibt. Dies sind gute Voraussetzungen für die EEG, die als Genossenschaft gegründet wurde. Unterstützt werden sie durch Energie Kompass GmbH, die mittels Blockchain die Energiegemeinschaft organisieren. (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022a)



Abbildung 69: Ollersdorf, Gemeinde Ollersdorf im Burgenland o. J.

Das steigende Interesse an Energiegemeinschaften ist an der EEG Ennstal zu erkennen. Der Verein wurde durch den Ausschuss für örtliche Raumplanung, Strukturentwicklung und Breitbandausbau zuerst als lokale EEG gegründet und ist schnell zu einer regionalen EEG für das gesamte Gemeindegebiet von Großraming gewachsen. Mit Stand Jänner 2023 gibt es neun Erzeuger:innen und 26 Verbraucher:innen, außerdem wurde ein Windpark dazu angeschlossen. Für die Zukunft gibt es den Plan von der Gemeindeebene auf die regionale Ebene zu vergrößern. (vgl. Erneuerbare Energiegemeinschaft Ennstal o. J.)



Abbildung 70: Großraming, Nationalparkgemeinde Großraming o. J.

In Nickelsdorf wird bis Herbst 2023 eine Freiflächen-PV-Anlage errichtet. Es handelt sich um eine 170 Hektar Hybrid-Anlage in Kombination mit Windrädern und landwirtschaftlicher Nutzung. Die Auswahl des Standorts ergibt sich aus den burgenländischen PV-Eignungszonen. Ein Vorteil davon ist, dass das bestehende Netz genutzt werden kann. Für Freiflächen-PV dieser Größe würde es an anderen Standorten zusätzlichen Netzausbau brauchen. Außerdem können sich Erzeugung von Strom durch Wind und Sonne ergänzen. Damit die Bewohner:innen von Nickelsdorf auch davon profitieren können wird eine EEG gegründet, durch die Strom günstiger bezogen werden kann. (vgl. Haider 2022)



Abbildung 71: Nickelsdorf, Haider 2023

Region

Als Erweiterung können sich auch mehrere Gemeinden zu einer Energiegemeinschaft auf regionaler Ebene zusammenschließen. Auch hier sind Regionen von Vorteil, die sich schon länger mit dem Thema Energie auseinandersetzen. Am aktivsten bei Energiegemeinschaften sind die Klima- und Energie-Modellregionen (KEM), unter Leitung der jeweiligen KEM-Manager:innen. Auch Klimawandel-Anpassungsmodellregionen (KLAR!), LEADER-Regionen oder Regionalverbände eignen sich gut. Sie profitieren v. a. davon, dass sie bereits Kontakte vor Ort haben, in der Region etabliert sind und über lokales Wissen verfügen. (vgl. Herold 2023; Heidler 2023)

Auf regionaler Ebene gibt es mehrere Energiegemeinschaften, die durch KEMs bzw. mit deren Unterstützung umgesetzt werden. Die regionale EEG Lechtal ist eine Genossenschaft, bestehend aus dem Planungsverband des Oberen Lechtals. Diese setzt sich aus einer KEM-Region und zwei weiteren Gebieten zusammen. Ziele sind faire Preise für alle Teilnehmer:innen und eine Vorbildwirkung für ländliche Regionen zu sein. (vgl. EEG Lechtal o. J.) Eine weitere Energiegemeinschaft durch KEMs ist die regionale EEG Elsbeere Wienerwald in Neulengbach. Dort wird zuerst auf kleinerer Ebene, mit gemeindeeigenen Erzeugungsanlagen und Verbraucher:innen getestet. Nachdem genügend Erfahrungen gesammelt wurde, sollen Unternehmen und Privatpersonen dazu kommen. Für die Energiegemeinschaft investiert die Gemeinde auch in den PV-Ausbau. (vgl. Klima- und Energiefonds o. J.)



Abbildung 72: KEM Elsbeere Wienerwald, Gemeinde Neulengbach o. J.

Auch eine Kombination von mehreren Initiator:innen auf regionaler Ebene ist möglich. In Kooperation mit dem Energiebezirk Freistadt und mit Förderung des Klima- und Energiefonds wurde die regionale EEG Spörbichl mit neun umliegenden Gemeinden gegründet. Dort wurde 1999 ein Windpark mit 1,3 MWp von lokalen Privatpersonen gebaut. Der Strom ist durch den Verkauf innerhalb der Energiegemeinschaft unabhängig von den Marktpreisen. Zusätzlich gibt es noch PV-Anlagen und eine Kleinwasserkraftanlage. (vgl. Energiebezirk Freistadt o. J.)



Abbildung 73: Windpark Spörbichl, Gruber 2021

Eine weitere regionale Entwicklungsperspektive für Energiegemeinschaften sind Tourismusregionen. In ruralen Gebieten hat v.a. der Wintertourismus einen hohen Energieverbrauch, der zusätzlich räumlich und zeitlich konzentriert ist. Durch Energiegemeinschaften ist es möglich, die verschiedenen Lastprofile auszugleichen und den Bau von Speichern und neuen Erzeugungsanlagen zu ermöglichen. Da Großunternehmen nicht direkt an einer EEG teilnehmen dürfen, gibt es hier die Option BEGs zu gründen. Eine weitere Herausforderung für die Zukunft wird der saisonale Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch sein. (vgl. Iglar et al. 2021, S. 9–11)

Überregional

Energiegemeinschaften können sich auch noch weiter als über eine Region hinaus erstrecken. Als BEG können gesamte Bundesländer zusammengefasst werden oder auch österreichweite Energiegemeinschaften können gegründet werden. So können größere Erzeugungsanlagen integriert werden und die Teilnehmenden müssen nicht in der Umgebung voneinander sein. Dadurch können z. B. Mitarbeiter-Incentives umgesetzt werden können. BEGs sind aktuell noch nicht weit verbreitet, aber können in Zukunft durch die Mehrfachteilnahme an Energiegemeinschaften relevanter werden. (vgl. Puchegger 2023; Herold 2023)

OurPower ist eine österreichweite BEG mit Sitz in Wien. Sie ist als Genossenschaft organisiert und hat 246 Erzeuger:innen und 1316 Verbraucher:innen. Die Energiegemeinschaft funktioniert als österreichweiter Marktplatz über den überschüssiger Strom direkt und unabhängig von Marktpreisen verkauft werden kann. Erzeuger:innen können Privathaushalte mit PV-Anlagen sein. Es gibt auch größere Teilnehmer:innen, wie z. B. einen Windpark, für den Förderungen ausgelaufen sind. Innerhalb der BEG kann für die Erzeuger:innen ein höherer Preis als am Markt erzielt werden, während der Preis für Verbraucher:innen trotzdem niedriger ist. Zusätzlich kommt eine persönliche Komponente dazu, da Erzeuger:innen und Strommix selbst ausgesucht werden können. (vgl. OurPower 2022; Region Elsbeere Wienerwald 2021)

Eine BEG, die sich noch im Aufbau befindet, ist 7Energy von den Dienstleister:innen lab 10 collective eG. Ziel ist es Energiegemeinschaften in den Phasen der Gemeinschaftsbildung, Optimierung der einzelnen Haushalte, Gründung und Betrieb mit Datennutzung zu unterstützen. Durch die Blockchain können Verwaltungskosten reduziert werden und die Bezahlung, Zuteilung von Erzeugung und Verbrauch und Belohnungen funktionieren über Tokens. Genutzt wird dafür eine Blockchain, die effizient ist, geringe Transaktionsgebühren und einen minimalen Energieverbrauch hat. Über Oracles können die Messdaten von EDA zur Blockchain gelangen. (vgl. 7Energy-DAO 2022)

Es gibt kaum weitere BEGs, da es die Herausforderung gibt, dass Teilnehmer:innen in unterschiedlichen Netzgebieten sein können. Aktuell ist dies nämlich noch nicht möglich, da die Zuteilung noch getrennt nach Netzgebieten erfolgt. Das heißt, es muss pro Netzgebiet mindestens eine Erzeugungsanlage und eine Verbrauchsanlage geben. Ab Juli 2023 kommt dafür eine neue Rolle dazu, die „Verteilnetzübergreifenden Energiezuweiser:innen“, wodurch BEGs unabhängig von Netzgebieten umgesetzt werden können. Sie bekommen aggregierte Daten von Viertelstunden-Werten pro Netzgebiet, in dem Teilnehmer:innen der Energiegemeinschaft sind und erstellen daraus eine Energiebilanz. Hier gibt es Anforderungen an eine schnelle Abwicklung, da Wartezeiten auf einzelne Datensätze den Nutzen vermindern kann. (vgl. Oesterreichs Energie 2022b, S. 11; Oesterreichs Energie 2022a, S. 9, 11, 15)

8.3 Zwischenfazit

Energiegemeinschaften gibt es in vielen verschiedenen Ausprägungen. Sie können sich z. B. durch Initiator:innen, Größe, Lage, Erzeugungsart oder Innovationsgrad unterscheiden. Deshalb gibt es keine standardisierte Ausführung, denn lokale Herausforderungen brauchen auch lokalen Lösungen. Die Anzahl an Energiegemeinschaften steigt schnell, v. a. bei lokalen und regionalen EEGs. BEGs entwickeln sich noch etwas langsamer, was sich im Laufe von 2023, durch die Änderungen bezüglich der Netzgebiete, ändern wird. Der Fokus liegt bei Strom, mit einer geringen Anzahl an Projekten, die Wärme integrieren. Derselbe Trend ist für die Erzeugungsart zu erkennen. PV wird am häufigsten genutzt, zusätzlich steigt der Anteil an Wasserkraft, Windkraft und Biomasse langsam an. Aktuell gibt es noch viele kleinere Modelle, aber im Zuge der weiteren Verbreitung steigt auch die Anzahl an Energiegemeinschaften mit mehr Teilnehmer:innen.

Klassifiziert nach den Initiator:innen können sich Energiegemeinschaften auf verschiedenen Ebenen befinden (siehe Abbildung 74). Dabei ist zu beachten, dass jede Art nicht nur einer Ebene zugeordnet werden kann. Beispielsweise kann eine Energiegemeinschaft, die von einer Gemeinde initiiert wird, zuerst nur ein Quartier betreffen und später auf die gesamte Gemeinde ausgeweitet werden.

Auch EEGs und BEGs sind nicht auf eine bestimmte Raumebene fixiert. Lokale EEGs sind am meisten durch die Netzgebiete eingeschränkt, aber BEGs sind auf jeder Ebene möglich, da sie unabhängig von den Netzgebieten sind. Für die Versorgungssicherheit und den Ausbau von erneuerbaren Energien sind v. a. Energiegemeinschaften auf kommunaler- und regionaler Ebene relevant.

Zwischen den umgesetzten Energiegemeinschaften und den Erfolgsfaktoren von Anwendungsfällen im Energiesektor (siehe Kapitel 7) sind Parallelen erkennbar. Eine frühe Beteiligung aller Akteur:innen ist hilfreich. Es braucht Personen, die von Anfang an dahinter sind und diverse Teilnehmer:innenstrukturen ansprechen. Dafür gibt es z. B. zielgruppenspezifische Unterstützung von der Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften und den Energieberatungsstellen der Bundesländer. Wenn es bereits bestehende Erzeugungsanlagen oder Speicher gibt, geht es in der Praxis schneller, aber Energiegemeinschaften können auch dazu beitragen, dass neue Erzeugungsanlagen errichtet werden. Von der sozialen Seite geht es auch schneller voran, wenn sich die Bevölkerung schon länger mit Klima und Energie beschäftigt, wie z. B. in KEM-Regionen oder e5-Gemeinden. Wie auch bei den Erfolgsfaktoren geht es bei Energiegemeinschaften um Nachhaltigkeit, Kostenreduktion, regionale Wertschöpfung, Versorgungssicherheit und das Mitdenken von sozialen Faktoren.

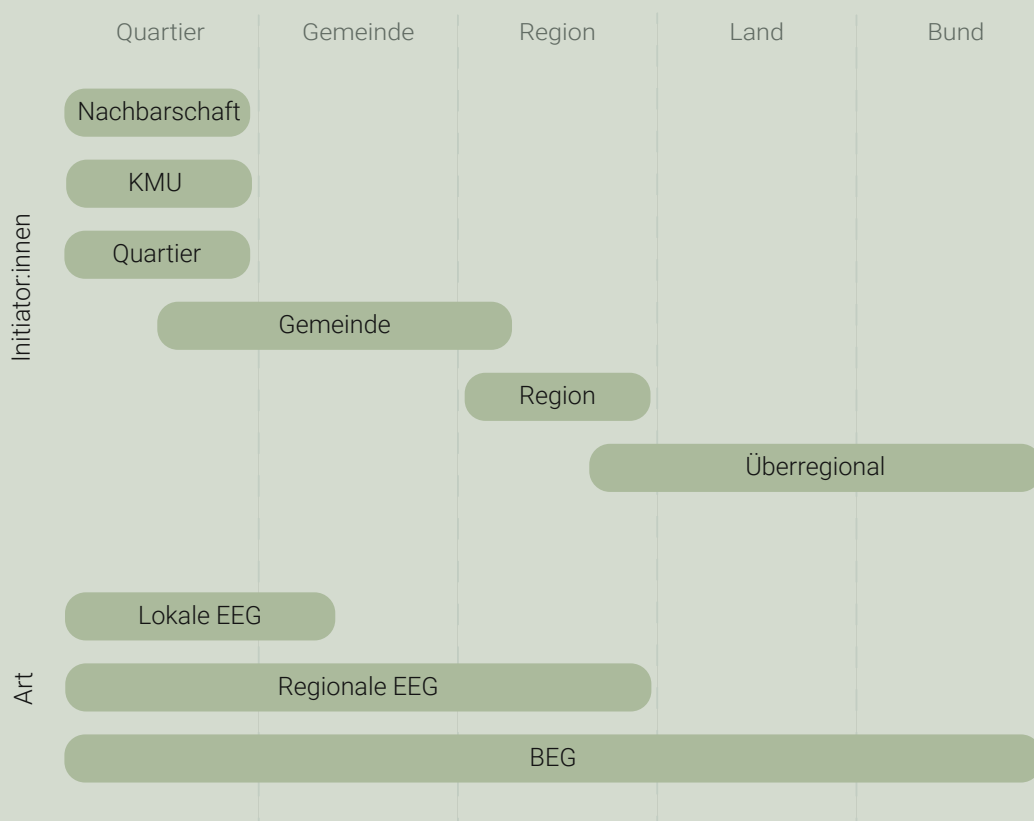


Abbildung 74: Ebenen, eigene Darstellung

9

Blockchain in Energiegemeinschaften

9.1 Forschungsprojekte

9.2 Praxis

9.3 Herausforderungen

9.4 Zwischenfazit

9. Blockchain in Energiegemeinschaften

„Eine großflächige Anwendung und somit einen Beitrag zur Energiewende kann die Blockchain-Technologie durch Einsatz in einer Energiegemeinschaft erfahren.“

(Stefan et al. 2020a, S. 10)

Diese Aussage ist ein Ergebnis aus einem österreichischen Forschungsprojekt, in dem die Blockchain-Technologie im Energiesektor angewendet wurde. Um mehr über erste Erfahrungen herauszufinden, wurden Experteninterviews durchgeführt. Die Ergebnisse davon sind in das folgende Kapitel eingeflossen. Es wird der Stand von Forschungsprojekten und den ersten Umsetzungen in die Praxis gezeigt, außerdem welche Potenziale und Herausforderungen es gibt, sowohl bezogen auf die Blockchain-Technologie als auch auf Energiegemeinschaften.

9.1 Forschungsprojekte

Innovative Ansätze, wie die Nutzung der Blockchain-Technologie in Energiegemeinschaften, können in Forschungsprojekten ausgetestet werden. In Österreich gibt es mehrere, die sich mit dem Thema auseinandersetzen und die Anwendung in der Praxis testen. Im Rahmen von Ausschreibungen, wie z. B. Stadt der Zukunft, Vorzeigeregion Energie, Energie.Frei.Raum oder 100 % Erneuerbare-Energie-Reallabore können Innovationen in Regulatory Sandboxes getestet werden. Durch Living Labs können Innovationen in der Praxis, gemeinsam mit echten Nutzer:innen, getestet werden. Dadurch können z. B. regulatorische oder technische Hürden erkannt werden, aber auch hinsichtlich der Akzeptanz kann es wichtige Erkenntnisse geben. Die Forschungsprojekte können als Vorzeigeprojekte den Grundstein für Modelle legen, die danach in die Breite getragen werden. Der Erfolg davon ist auch abhängig von der Skalierbarkeit und der Übertragbarkeit. (vgl. FFG 2023; Widl et al. 2022, S. 50–51)

Blockchain Grid ist ein Forschungsprojekt aus dem Förderprogramm Vorzeigeregion Energie, welches von 2018 bis 2021 in Heimschuh in der Steiermark, durchgeführt wurde. Dabei ging es um den Umgang mit neuen Herausforderungen in Niederspannungsnetzen, wie eine höhere Anzahl an Prosument:innen, eine volatilere Erzeugung und mehr E-Fahrzeuge, die zu ähnlichen Zeiten geladen werden. Teilgenommen haben 13 Prosument:innen mit PV-Anlagen, die ihren Überschuss an 200 Teilnehmer:innen in der Nachbarschaft verkaufen konnten. Außerdem wurde ein Gemeinschaftsspeicher für die Zwischenspeicherung und für Netzstabilität bei schwankender Erzeugungsleistung genutzt. Durch das Projekt konnte die lokale Erzeugung auch lokal verbraucht werden, der Nutzungsgrad der PV-Anlagen ist gestiegen, innerhalb der Gemeinschaft konnten CO₂ und Stromkosten eingespart werden und die Netzkapazitäten wurden verbessert. Mit Smart Contracts wurde die Aufteilung und Abrechnung des Stroms auf die Nachbar:innen, die Steuerung des Gemeinschaftsspeichers und die Bereitstellung von Netzkapazitäten geregelt. (vgl. Taljan 2022; BMK und Klima- und Energiefonds 2021, S. 6–7; Frieden et al. 2020, S. 7)

Im Viertel Zwei in Wien gab es von 2018 bis 2020 das Forschungsprojekt P2PQ (Peer2Peer im Quartier). Fokus war eine Energiegemeinschaft auf Quartiersebene mit Peer-to-Peer Handel. Teilnehmer:innen waren Privatpersonen in Wohnungen, Gewerbe und Wien Energie. Die Zusammenarbeit erfolgte mit dem österreichischen Unternehmen Riddle & Code, die z. B. auch Bürger:innensolkraftwerke für Wien Energie tokenisiert haben. PV-Anlagen wurden genutzt, mit dem Ziel den Eigenverbrauch innerhalb des Quartiers zu optimieren und die Energieeffizienz zu steigern. Dafür wurde ein Quartiersspeicher und Prognosen genutzt. Ein weiterer Fokus wurde auch auf Benutzer:innenfreundlichkeit gelegt. Die Blockchain-

Technologie wurde für die automatisierte Abrechnungen und Transaktionen zwischen den Teilnehmer:innen genutzt. Kleinere Energiemengen konnten gehandelt und Erzeugungs- und Verbrauchsdaten zusammengeführt werden. Im Projekt wurde auch auf soziale Faktoren geachtet. Beispielsweise wurden verschiedene Tarife getestet und es gab Workshops zur Blockchain-Technologie, in welchen Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt wurden, damit Vertrauen in die Technologie aufgebaut werden konnte. (vgl. BMK 2022b, S. 8, 11, 16, 28, 35; Stefan 2022)

Das Projekt SonnWende+ wurde von 2017 bis 2019 im Innovationslabor act4energy im Südburgenland durchgeführt. Dort wurde die Blockchain-Technologie für mehrere Einsatzbereiche auf Gebäude-, Quartier- und Regionaler Ebene getestet. Es gab Crowdfunding für die Finanzierung von PV-Anlagen, optimierte Ladevorgänge für E-Autos, Eigenverbrauchsoptimierung von PV-Anlagen und Simulationen von Peer-to-Peer Handel mit echten Daten aus der Region. Über ein Energie-Konto wurde ein regionaler Energy-Coin realisiert. Damit kann Energie als Währung verwendet werden. Beispielsweise wurden beim Einspeisen von Strom mit einer PV-Anlage Coins gesammelt, die für Ladevorgänge auf öffentlichen Ladesäulen eingelöst werden konnten. Außerdem konnte über die dazugehörige App Strom gehandelt oder geschenkt werden. Mit Co-Creation konnte auf die Erwartungen der Teilnehmer:innen eingegangen werden und Wissen über Blockchain vermittelt werden. (vgl. Stefan et al. 2020a, S. 8–9, 16, 22, 24, 35; Stefan 2022) Bei dem Forschungsprojekt war lab10 collective zuständig für die Blockchain. Der Ziel des Unternehmens ist es, durch innovative technologische Lösungen, einen Beitrag zur Klimaneutralität zu haben. (vgl. lab10 o. J.)

DE4ALL (Digital Citizen Energy Communities) baut eine digitale Plattform für lokale und regionalen Handel zwischen Prosumert:innen auf. Es sollen möglichst viele verschiedene Akteur:innen daran teilnehmen. Die Blockchain-Technologie wird im Projekt für Unabhängigkeit und Transparenz genutzt. (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften o. J.d) Im Projekt CLUE wird auch die Blockchain-Technologie angewandt, jedoch nur in einem der österreichischen Piloten. Das Projekt kann als eine Weiterführung von SonnWende+ und Blockchain Grid gesehen werden und behandelt Sektorkopplung und Flexibilitäten in Energiegemeinschaften. Die Ergebnisse aus den Forschungsprojekten zeigen, dass die Vorteile durch die Einführung einer neuen Technologie groß sein müssen. Der Mehrwert gegenüber anderen Lösungen muss vorhanden sein. Eine weitere Erfahrung, die gemacht wurde, ist, dass Blockchain nicht nur genutzt werden soll, weil es gerade modern ist. Die passendere Herangehensweise ist es einen Anwendungsfall zu haben, in den die Technologie hineinpasst. (vgl. Stefan 2022; Taljan 2022)

In Österreich gibt es noch weitere Forschungsprojekte, die sich mit Energiegemeinschaften beschäftigen, in welchen die Blockchain-Technologie nicht zur Anwendung kommt. Bei R2EC (Regional Renewable Energy Cells) geht es um dezentrale Energiezellen, mit möglichst hoher lokaler Energieerzeugung, die zur Netzstabilität beitragen, Überschuss an benachbarte Zellen abgeben und von reduzierten Netzentgelten profitieren (vgl. Pumhösel 2020). Bei SHARES geht es um die Unterstützung von lokalen Held:innen, durch die Bereitstellung von zielgruppenspezifischem Kommunikationsmaterial. Bei SYSPEQ (Systemische Lösung zum Betrieb von Plusenergiequartieren) wird eine Energiegemeinschaft auf Quartiersebene im gemeinnützigen Wohnbau umgesetzt. In Stanz im Müürztal wird im Rahmen der Rural Pioneers Community eine Energiestrategie für kleine Gemeinden entwickelt. Beim Projekt RES2 Community geht es um die partizipative Umsetzung einer EEG in Neudörfel, die den Wärmesektor inkludiert. (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften o. J.d) Dies ist eine beispielhafte Auswahl, es gibt noch weitere Forschungsprojekte, die sich mit Energiegemeinschaften beschäftigen.

Es gibt auch Forschungsprojekte und Anwendungen in der Praxis, die Blockchain nutzen, aber nicht spezifisch für Energiegemeinschaften sind. In diesem Bereich fällt z. B. die Tokenisierung der Freiflächen-PV-Anlage in der Schafflerhoferstraße in Donaustadt durch Riddle & Code. Anteile der digitalisierten Module konnten erworben werden und der Ertrag wird der Stromrechnung gutgeschrieben. (vgl. Wien Energie o. J.) Ein weiteres Beispiel ist das EU-Projekt BEYOND, welches einen Piloten in Österreich hat. Inhaltlich geht es um eine Plattform für Stromhandel in dezentralen lokalen Märkten. Das Konzept ist ähnlich zu Energiegemeinschaften. (vgl. BEYOND Project o. J.)

9.2 Praxis

Außerhalb von Forschungsprojekten sind im Laufe der Diplomarbeitserstellung mehrere Energiegemeinschaften, die Blockchain nutzen entstanden. Seit Februar 2022 ist eine regionale EEG im Südburgenland in Betrieb. Sie baut auf dem Forschungsprojekt im Innovationslabor act4energy auf. Das Ziel ist die Entwicklung eines regionalen, dezentralen Energiesystems. Da andere Energiegemeinschaften von den Erfahrungen profitieren können, wurde die team4energy Plattform gegründet. Über diese ist eine komplett digitalisierte Anmeldung und Abrechnung möglich. Es wird aufgezeigt, welche Energiegemeinschaften in der Umgebung sind. Alle Verträge werden online gesammelt. Für die energiewirtschaftlichen Prozesse gibt es eine automatisierte Schnittstelle über Ponton (siehe Kapitel 5.2). Die Abrechnung und Erstellung der Rechnungen erfolgt ebenfalls automatisiert. An detaillierten Visualisierungen wird gearbeitet. Auch bei der Infrastruktur für die Daten wurde auf Regionalität geachtet, denn alle Server stehen in Österreich. Aktuell liegt der Fokus noch bei PV, aber die Sektorkopplung ist ein Thema, das integriert werden soll. In Planung ist die Anwendung für die Bereitstellung von Flexibilitäten. 2023 wurde eine Kooperation mit der Raiffeisen Nachhaltigkeitsinitiative eingegangen, sodass die Plattform für das gesamte Burgenland genutzt werden kann. (vgl. Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022a; Herold 2023; Heidler 2023; Hanle 2022; Schneemann 2023)

In Planung ist die 7energy BEG, von den Dienstleister:innen lab 10 collective eG. Zusätzlich sind Unternehmen dabei, die Erfahrung in der Planung von Energiesystemen haben. Eine Plattform für alle, die eine Energiegemeinschaften gründen und verwalten wollen, soll erstellt werden. Den größten Vorteil bietet die automatische Abrechnung mit Euro-Tokens. Außerdem soll der Aspekt der Gamifizierung eingebaut werden. Zusätzlich gibt es das 7energy Forum für Erfahrungsaustausch zwischen Interessierten. Es wurden bereits Tests durchgeführt, aber die weitreichendere Umsetzung braucht noch Zeit. Sie ist auch abhängig von der Entwicklung der Mehrfachteilnahme. (vgl. 7Energy-DAO 2022; Stefan 2022)

Ab 1. Jänner 2024 soll die Mehrfachteilnahme an Energiegemeinschaften möglich sein. Das heißt, eine Erzeugungs- oder Verbrauchsanlage kann an mehreren Ebenen teilnehmen. Österreich ist dabei ein Vorreiter, im Vergleich zu anderen Ländern der EU. Die Umsetzung ist bereits in Planung und verschiedene Methoden für die Energiezuteilung wurden erforscht. Die Kriterien dafür sind Fairness, technische Lösbarkeit für Netzbetreiber:innen, möglichst niedrige Komplexität und Nachvollziehbarkeit der Energieflüsse. Der erste Ansatz war eine hierarchische Reihenfolge von der kleinsten bis zur größten Ebene. Teilnehmer:innen an einer gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage könnten somit auch in einer lokalen, einer regionalen EEG und in einer BEG sein. In dem Modell wäre keine Mehrfachteilnahme auf gleicher Ebene möglich. Deshalb erfolgt die Umsetzung über eine nach Teilfaktoren verteilten Zuordnung von Erzeugung und Verbrauch. Beispielsweise kann ein Windpark Strom an drei verschiedene Energiegemeinschaften liefern und festlegen, wie die Anteile verteilt sind. Auf der anderen Seite kann ein Haushalt, mit dem Ziel möglichst viel seines Verbrauchs aus Energiegemeinschaften abzudecken, Anteile aus mehreren Energiegemeinschaften bekommen. Die Teilfaktoren werden über individuelle innerbetriebliche Verträge mit den Energiegemeinschaften geregelt.

Sie müssen auch dafür sorgen, dass es genügend Erzeuger:innen und Verbraucher:innen gibt und die Aufteilung täglich geändert werden kann. Für Nutzer:innen gibt es Anforderungen an Transparenz und schnelle Informationsbereitstellung für einen einfachen Wechsel zwischen Energiegemeinschaften. Es gibt ein Teilnahmelimit von maximal fünf verschiedenen Energiegemeinschaften, unabhängig von deren Art. (vgl. Oesterreichs Energie 2022b, S. 12–13; Puchegger 2023; Herold 2023; Yildiz et al. 2023)

Der Aufwand des Betriebs einer Energiegemeinschaft wird durch die Mehrfachteilnahme noch komplexer als zuvor. Es braucht transparente Einsicht zu jeder Zeit und Änderungen müssen leicht durchgeführt werden können. Für jede Energiegemeinschaft sind individuelle Verträge notwendig. Die Übersicht darüber zu behalten, darf nicht zur Herausforderung werden. Durch die Teilfaktoren werden viele einzelne Teilbeträge abgerechnet, welche sich in einer Vielzahl an Rechnungen widerspiegeln. Für die Netzbetreiber:innen gibt es noch mehr Herausforderungen in der Energiezuteilung, für die Lösungen entwickelt werden müssen. Zusammenfassend werden die Aufgaben für Energiegemeinschaften mehr und komplexer. Deshalb wird die Rolle der Dienstleister:innen zur Unterstützung wichtiger. Denn es braucht digitale Tools, die unter anderem die Blockchain-Technologie nutzen. (vgl. Yildiz et al. 2023; Herold 2023)

Es entstehen mehrere Vorteile durch die Nutzung der Blockchain-Technologie als Enabler von Energiegemeinschaften. Die Bevölkerung kann eine aktive Rolle im Energiesektor einnehmen. Erzeuger:innen und Verbraucher:innen, die sich nicht kennen, können ohne Intermediäre zusammengebracht werden. Durch die Transparenz kann Vertrauen, auch bei steigender Anzahl an Teilnehmer:innen gewährleistet werden. Die Sicherheit ist gegeben, da die Daten auf der Blockchain nicht manipuliert werden können. Die primäre Anwendung sind Abrechnung und Automatisierung von Prozessen durch Smart Contracts. Da es durch die Mehrfachteilnahme bis zu fünf Bezüge aus Energiegemeinschaften und einen von regulären Energieversorgungsunternehmen gibt, kommt es zu vielen einzelnen Rechnungen. Zusätzlich sind die Abrechnungen nicht jedes Monat gleich, da sie abhängig von erzeugter und verbrauchter Energiemenge sind. Mit der Blockchain-Technologie kann die Nachvollziehbarkeit der Rechnungen gewährleistet werden. Eine weitere Anwendung ist die faire Verteilung von Erzeugung und Verbrauch, welche automatisiert funktionieren kann. Der Handel von kleinen Energiemengen wird ermöglicht, was z. B. für kleine Erzeugungsanlagen vorteilhaft ist. Dezentrale Energiesysteme werden unterstützt, da Anlagen in allen Größen vernetzt und gemeinsam gesteuert werden können. Dadurch sind auch Flexibilitätsdienstleistungen möglich. (vgl. Haller et al. 2020, S. 114–115; Stefan 2022; Kounelis et al. 2017, S. 16; Cejka et al. 2021, S. 3)

Der organisatorische Aufwand unterscheidet sich je nach Größe der Energiegemeinschaft. Bei kleinen, privaten EEGs kann es ausreichend sein mit Excel Tabellen zu arbeiten. Je größer und v. a. je mehr Teilnehmer:innen eine Energiegemeinschaft hat, desto wichtiger werden Maßnahmen zur Digitalisierung und die Rolle von externen Dienstleister:innen. Dies ist auch am Beispiel Blockchain erkennbar. Energiegemeinschaften auf höherer Ebene sind auch meist größer, wodurch die Nutzung der Blockchain-Technologie sinnvoll ist. Aber auch Energiegemeinschaften auf Quartiers- oder Gemeindeebene sind nicht davon auszuschließen, da auch hier die Anzahl an Teilnehmer:innen variieren kann. Für eine Energiegemeinschaft ohne Dienstleister:innen mit technischem Hintergrund, ist es schwierig die Blockchain-Technologie anzuwenden. Ihre Rolle kann am Beispiel des portugiesischen Unternehmens Cleanwatts gezeigt werden. Dieses verfolgt das Ziel der Dekarbonisierung von lokalen Gemeinschaften und nutzt die Blockchain-Technologie für das Management von Energiegemeinschaften. Dies betrifft sowohl bestehende Energiegemeinschaften als auch welche die von Beginn an mit Cleanwatts gegründet wurden. Über die Blockchain wird der Ausgleich auf lokaler Ebene durchgeführt, inklusive Verbindung zwischen Erzeugung, Verbrauch, Speicherung und Handel. Außerdem übernimmt das Unternehmen auch das

Suchen von Teilnehmer:innen mit Potenzialen für PV-Erzeugung. Die Umsetzung wird durch Energie-Contracting erleichtert. Die Anzahl an Energiegemeinschaften, die durch Cleanwatts gemanagt werden, sind über 100, mit mehr als 22.000 Zählpunkten. (vgl. Cleanwatts o. J.; Öhlinger 2022, S. 7)

9.3 Herausforderungen

Im folgenden Unterkapitel werden bestehende Herausforderungen aufgezeigt. Im ersten Abschnitt geht es um technische, rechtliche und soziale Herausforderungen bei der Anwendung der Blockchain-Technologie. Der zweite Teil befasst sich mit Herausforderungen in Energiegemeinschaften.

Technische Herausforderungen

Öffentliche Blockchains mit PoW stehen vor dem Problem des Blockchain-Trilemmas. Die drei Eigenschaften Skalierbarkeit, Sicherheit und Dezentralisierung können nicht alle gleichzeitig optimiert sein. Skalierbarkeit bedeutet, dass es mehr Anwendungen, mehr Teilnehmer:innen und mehr Transaktionen geben kann. Zusammengefasst geht es um das Wachsen der Blockchain, ohne dabei Einbußen bei der Leistung zu machen. Ziel ist die Reduktion der Zeit, die eine Transaktion braucht. Dies funktioniert entweder durch weniger Dezentralisierung, da weniger Akteur:innen die Transaktionen prüfen müssen oder geringerer Sicherheit durch leichtere Rechenaufgaben. Der zweite Faktor ist die Sicherheit, also ein Schutz vor Angriffen und dass keine doppelten Ausgaben möglich sind. Sie wird durch die Netzwerkteilnehmer:innen gesichert, aber hohe Sicherheit hat einen hohen Ressourcenaufwand. Beim Aspekt der Dezentralisierung geht es um die Anzahl der Akteur:innen und deren geografischer Verbreitung. Sie ist wichtig für die Konsensbildung, ohne dass einzelnen Akteur:innen vertraut werden muss und sorgt für eine hohe Robustheit. Die Lösung für die Vermeidung des Trilemmas bei der Anwendung in Energiegemeinschaften sind konsortiale oder öffentliche Blockchains, die kein PoW nutzen. Energy Web Chain und Powerledger, die spezifisch für die Anwendung im Energiesektor sind, nutzen PoA und PoS und haben ausgewählte Validator:innen. Für die im Kontext meistgenutzte Blockchain Ethereum wurde das Problem mit dem Umstieg auf PoS im Herbst 2022 ebenfalls gelöst. Damit kann bessere Skalierbarkeit erreicht werden und die Transaktionen innerhalb der Energiegemeinschaft können in kürzeren Intervallen durchgeführt werden. Eine Erfahrung, die in Forschungsprojekten gemacht wurde, ist, dass sich private Blockchains nicht für Energiegemeinschaften eignen, da der mögliche Eingriff in die Privatsphäre zu groß ist. (vgl. Longchamp et al. 2020, S. 14-5; Schlatt et al. 2016, S. 19; Taljan 2022)

Ein Aspekt der Sicherheit betrifft auch Schnittstellen, über die Informationen zur Blockchain kommen. Daten von Oracles müssen die korrekten Werte übermitteln, da die Blockchain ansonsten mit den falschen Daten weiterarbeitet. Unabhängig davon wie sicher die Blockchain ausgestaltet ist, haben z. B. falsch übermittelte Smart Meter Daten ein Risiko. Dabei sind die Standardisierung und Förderung der Interoperabilität hilfreich. Dadurch können Systeme von verschiedenen Hersteller:innen zusammenwirken, ohne dass es einen zusätzlichen Aufwand für Nutzer:innen gibt. Dies bedeutet auch, dass Daten von einer Quelle zu anderen übertragen und diese Daten dort ohne Probleme genutzt werden können. Die Internationale Organisation für Normung hat dafür eigens ein Blockchain-Komitee gegründet, in welchem Themen der Standardisierung und Interoperabilität behandelt werden. Seitens der EU gibt es durch das EU Blockchain Observatory and Forum ebenfalls Bemühungen für einen gemeinsamen Ansatz, für die Entwicklung der Blockchain. Auf internationaler Ebene gab es eine Arbeitsgruppe für Beobachtung und Standardisierungsempfehlungen von Peer-to-Peer Handel mit Blockchain im Energiesektor. Aufgrund Kostenreduktionen wurde diese jedoch aufgelöst. (vgl. Frieden et al. 2021, S. 21–22; Luke et al. 2018, S. 12)

Rechtliche Herausforderungen

Durch steigende Informationsflüsse zwischen den Teilnehmer:innen einer Energiegemeinschaft gewinnt der Datenschutz an Bedeutung. Der Schutz der Privatsphäre muss von Beginn an mitgedacht werden. In Österreich ist dies mit der DSGVO (Datenschutz-Grundverordnung) geregelt. Die DSGVO ist technikneutral, weshalb Aspekte der Blockchain-Technologie dadurch nicht spezifisch vorkommen. Es geht um den Umgang mit personenbezogenen Daten, dies sind per Definition alle Daten, die sich auf eine identifizierte oder identifizierbare Person beziehen. Die mögliche Identifizierbarkeit ist über die Pseudonymität gegeben. Je weniger Nutzer:innen es gibt, desto eher ist eine Identifizierung möglich. Die Erfahrung aus Projekten zeigt, dass sich die Kombination von kleinen Energiegemeinschaften mit privaten Blockchains nicht eignet. Da alle Teilnehmer:innen sehen können, was auf der Blockchain gespeichert ist, können durch die geringe Teilnehmer:innenanzahl die Lastprofile zu einzelnen Haushalten zugeordnet werden. Anhand dieser kann das Verhalten erkannt werden, was ein Eingriff in die Privatsphäre ist. Für Erfahrungen dieser Art sind Forschungsprojekte sehr hilfreich. In der DSGVO gibt es das Recht auf Löschung, was ein Widerspruch zu den Eigenschaften der Blockchain-Technologie ist. Es muss ein Setting gefunden werden, welches trotz transparenter Daten datenschutzkonform ist und den Schutz der Nutzer:innen bewahrt. Dafür gibt es mehrere Lösungsansätze. Bei einer Methode werden alle persönlichen Daten off-chain gespeichert und durch Hash-Werten mit der Blockchain verknüpft. Sollen die Daten gelöscht werden, wird dies off-chain gemacht. Der verknüpfte Hash-Wert bleibt bestehen, hat jedoch keine Verbindung zu Inhalten mehr. Ein zweiter Ansatz für konsortiale Blockchains wurde z. B. bei Blockchain Grid umgesetzt. Mit jeder Abrechnungsperiode wird eine neue Chain angefangen. Wenn eine Person nicht mehr teilnehmen will, werden sie in der darauffolgenden Periode nicht mehr hinzugefügt. Die alten Chains werden auf einer separaten Blockchain, mit eingeschränktem Zugang, archiviert. Ein Vorteil, der dadurch entsteht, ist, dass die Menge an Daten geringer ist und somit zu einer Einsparung von Ressourcen führt. Es gibt Bemühungen, eine sichere Basis für Blockchain-Anwendungen in Österreich schaffen. Dafür wird durch das Austrian Blockchain Center eine sichere Blockchain-Infrastruktur aufgebaut. Themen, die darin Beachtung finden sind Datenschutz, Sicherheitsanforderungen und der Ausgleich zwischen Stabilität und Innovation. (vgl. Cejka et al. 2021, S. 6–7; Klein et al. 2020, S. 13, 19; WKO o. J., S. 1–2; Schlatt et al. 2016, S. 22; Pachernegg 2020, S. 42; Taljan 2022; Stefan 2022)

Durch Smart Contracts können Prozesse mit vorab festgelegten Bedingungen auf der Blockchain durchgeführt werden. Die Vorteile, die daraus entstehen sind eine schnelle und automatisierte Durchführung, Transparenz und Sicherheit. Außerdem sind keine Intermediäre notwendig, dadurch können Transaktionen direkt zwischen Teilnehmer:innen durchgeführt werden. Bei Smart Contracts handelt es sich jedoch rechtlich gesehen um keine echten Verträge, sondern um „automatisierte Entscheidungsfindung mit rechtlicher oder ähnlicher Wirkung“ (Cejka et al. 2021, S. 5). Laut dem Entwickler von Ethereum hat dieser den falschen Namen dafür ausgewählt. Besser wäre z. B. smart code oder computerised protocol gewesen. Die genutzte Sprache ist anders als in anderen Verträgen, da Code anstatt von Worten genutzt wird. Dies ist nicht für alle Nutzer:innen verständlich, weshalb in Projekten klar kommuniziert werden muss, welche Auswirkungen die Durchführung des Smart Contracts hat. Hat der Code einen Fehler, wird er bei der Auslösung auch falsch ausgeführt. Deshalb wurden im EU Data Act Anforderungen an Smart Contracts ausformuliert. Es braucht strenge Zugangskontrollen und über die Robustheit wird dafür gesorgt, dass keine Fehler und Manipulationen passieren. Sollte eine falsche Durchführung vorkommen, muss es eine Funktion für die sichere Unterbrechung und Beendigung geben. Bei Beendigung des Smart Contracts muss es, für die spätere Rückverfolgbarkeit, eine Möglichkeit geben, Daten zu archivieren. (vgl. Anania et al. 2022, S. 6, 8, 11, 20-21; Cejka et al. 2021, S. 5)

Soziale Herausforderungen

**„Wir merken das schon, auch bei Forschungspartnern, Industriepartnern, Pilotkunden.
Wenn es heißt Blockchain, dann kommt zuerst einmal das ist Böse, das ist Komplex,
da kann jeder alles sehen und Wissen und das will ich gar nicht.“**

(Stefan 2022)

Eine Schwierigkeit beim Einsatz weniger weit verbreiteter Technologien ist die Akzeptanz. Viele kennen die Blockchain-Technologie gar nicht oder sind ihr gegenüber skeptisch. Berichte in den Medien sind oft negativ konnotiert. Ein sich wiederholendes Thema ist die Kritik am hohen Stromverbrauch von Bitcoin. Im Herbst 2022 hat das Insolvenzverfahren von FTX, einer Plattform für Kryptowährungen, für negative Schlagzeilen gesorgt. Die Meinung wird übernommen und kann die erste Reaktion auf die Nutzung der Blockchain beeinflussen. Dies war bei den Forschungsprojekten sowohl bei der Bevölkerung als auch bei Projektpartner:innen der Fall. Eine Verbesserung ist erkennbar, da Zeitungen, wie z. B. der Standard auch andere Themen der Blockchain-Technologie beleuchten. Über die Anwendung im Energiesektor und in Energiegemeinschaften wurde mittlerweile mehrmals berichtet. (vgl. Taljan 2022; Stefan 2022)

Für die Umsetzung in der Praxis bedeutet dies, dass es Maßnahmen zur Information und Überzeugungsarbeit braucht. Der Fokus bei den Projekten wurde nach außen nicht auf die Technologie selbst gelegt. Stattdessen wurde gezeigt, welche Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile sich daraus ergeben. Trotzdem gilt es, mit bewusstseinsbildenden Maßnahmen darüber aufzuklären. Beispielsweise kann klargestellt werden, dass kein PoW genutzt wird oder dass der Datenschutz in den Projekten gewährleistet wird. Es braucht Zeit bis das Vertrauen in die Blockchain-Technologie auf demselben Level, wie andere etablierte Technologien ist. Weiterbildung ist bei den Umsetzer:innen selbst ebenfalls notwendig. Wissensbarrieren müssen abgebaut und digitale Skills aufgebaut werden. (vgl. Taljan 2022; Stefan 2022; Heidler 2023; Marke et al. 2021, S. 46)

Städtischer vs. ländlicher Raum

Die in Kapitel 8.2 vorgestellten Arten von Energiegemeinschaften können sowohl in städtischen als auch in ländlichen Gebieten vorkommen. Nachbarschaften und KMUs können sich in einer Stadt genauso zusammenschließen wie am Land. Quartiersprojekte kommen eher in urbanen Gebieten vor. Bei Energiegemeinschaften auf kommunaler, regionaler oder überregionaler Ebene können sowohl städtische als auch ländliche Teile inkludiert sein.

Trotzdem gibt es Unterschiede und andere Herausforderungen, je nach Lage. Am Beispiel von Wien sind die Netzebenen sehr kleinteilig und selbst innerhalb eines Grätzls kann es unterschiedliche Trafostationen geben. Die Art der Energiegemeinschaft ist schnell bei einer regionalen EEG oder einer BEG, auch wenn die Teilnehmer:innen nahe zueinander situiert sind. Im Vergleich dazu ist in vielen ländlichen Gebieten eine gesamte Gemeinde innerhalb des Netzgebiets eines Umspannwerks, wodurch eine regionale EEG in einem größeren Bereich möglich ist. Dies ist jedoch nicht überall der Fall. Es kann passieren, dass eine Gemeinde auf zwei oder mehr regionale EEGs aufgeteilt werden muss. Ein zweiter Unterschied ist die Dichte der Bebauung. In städtischen Gebieten ist der Verbrauch auf wenig Raum höher als in ländlichen und die mögliche PV-Erzeugung auf Dachflächen ist in Relation zum Verbrauch im Gebäude klein. V. a. in Mehrfamiliengebäuden ist die Teilnahme als Prosument:in, durch Faktoren wie Denkmalschutz oder Eigentumsfragen, erschwert. Erleichtert wurde dies durch die Novelle des Wohnungseigentumsgesetzes, wodurch Mehrheitsbeschlüsse für Erzeugungsanlagen und E-Ladestationen einfacher zu erreichen sind. (vgl. Geiger und Hasselbring 2023; Heidler 2023; Herold 2023)

Eine weiterer Unterschied zwischen städtischen und ländlichen Gebieten sind die sozialen Strukturen. Denn eine Energiegemeinschaft gibt es nicht ohne der dahinterstehenden Gemeinschaft. In Städten herrscht eine größere Anonymität und Vertrauen muss erst aufgebaut werden. Wobei es auch hier z. B. in Wien Unterschiede zwischen innerstädtischen Bezirken und Randbezirken gibt. In urbanen Gebieten fehlen teilweise lokal verankerte soziale Strukturen. Es gibt zwar bestehende Gruppierungen, wie Vereine, aber die Mitglieder davon sind über einen größeren Raum verteilt. Am Land ist es einfacher an bestehende Gemeinschaften anzuknüpfen, v. a. wenn die Energiegemeinschaften von der Gemeinde bzw. von Bürgermeister:innen initiiert werden. Bei letzterem gibt es auch den Vorteile des erleichterten Flächenzuganges für den Ausbau von erneuerbaren Energien. (vgl. Geiger und Hasselbring 2023; Heidler 2023)

Aber auch in Städten sind Potenziale für die Gründung von Energiegemeinschaften vorhanden. Lastprofile auf engem Raum können sich durch Nutzungsmischung gut ergänzen. In dicht bebauten Gebieten ergeben sich mehr Potenziale für die Integration von Wärme als in ländlichen Gebieten. Auch in städtischen Gebieten gibt es Industriegebiete, die auf ihren ungenutzten Dachflächen Potenziale für die Erzeugung von erneuerbarer Energie haben. Innerhalb von Städten gibt es ebenfalls Einfamilienhäuser und Reihenhaussiedlungen, als Potenzial für private Prosument:innen, denn allein in Wien gibt es mehr Einfamilienhäuser als im gesamten Burgenland. Eine weitere interessierte Gruppe in Wien sind Kleingartenvereine, welche auch lokale verankerte soziale Strukturen haben. Der Fokus liegt aktuell bei EEGs, aber in städtischen Gebieten kann eine BEG mehr Vorteile bringen. Sie ist zwar rechtlich nicht auf erneuerbare Energien beschränkt, dies kann innerhalb der Gemeinschaft trotzdem festgelegt werden. Zusätzlich ist es durch BEGs für Großunternehmen mit Flächenpotenzialen möglich teilzunehmen. Akteur:innen wie Bauträger und Hausverwaltungen können eine Rolle spielen. (vgl. Geiger und Hasselbring 2023; Heidler 2023)

Masse vs. Innovation

Eine Herausforderung in der Weiterentwicklung von Energiegemeinschaften ist das Mittel zwischen Masse und Innovation zu finden. Auf der einen Seite geht es um die schnelle räumliche Verbreitung von Energiegemeinschaften, wie z. B. im Burgenland durch die Raiffeisen Nachhaltigkeitsinitiative. Dort wurde für jedes Umspannwerk eine Genossenschaft in der Standardausführung gegründet. Das Konzept kann somit schnell in die Breite getragen werden und der Aufwand der Teilnehmer:innen ist gering, aber es handelt sich dabei nicht um innovative Energiegemeinschaften. (vgl. Puchegger 2023)

Auf der anderen Seite braucht es Energiegemeinschaften, die innovative Ansätze, wie Speicher und andere Erzeugungstechnologien als PV, Energieeffizienz, Wärme und Mobilität integrieren. Auch soziale Faktoren, wie Kooperation und Bewusstseinsbildung, spielen eine wesentliche Rolle. Für innovative Projekte braucht es entweder interessierte Personen, die dahinter stehen, oder eine Umsetzung durch Forschungsprojekte. Mit Pionierprojekten kann vorgezeigt werden was möglich ist und die Ergebnisse davon können in die Breite getragen werden. Ein Beispiel ist das Projekt Smart City Neudörfel in dem unter der Leitung der Forschung Burgenland GmbH das Nahwärmenetz in die Energiegemeinschaft integriert wird. Methoden wie Co-Creation spielen auch in einem Großteil der Forschungsprojekte eine Rolle. (vgl. Herold 2023; Puchegger 2023) Zu den innovativen Aspekten zählt auch die Digitalisierung von größeren Energiegemeinschaften. In Zukunft ist ein vollständig digitalisierter Prozess nicht unrealistisch. Für Echtzeitabwicklung, Automatisierung, Abrechnung oder Mitgliederverwaltung können Technologien wie die Blockchain genutzt werden. Auch dies wird in Forschungsprojekten, oft in Zusammenarbeit mit Start Ups neben etablierten Unternehmen, getestet. (vgl. Puchegger 2023; Heidler 2023; Herold 2023)

Aktuell sind die innovativen Energiegemeinschaften noch wenige, dafür zeichnen sie sich durch Qualität aus. Durch Forschungsprojekte und Early Adopters sollen sie weiterentwickelt werden. In Zukunft soll die Kombination gefunden werden, in der innovative Energiegemeinschaften für die Masse umgesetzt werden können. Die Ziele der Koordinationsstelle sind in den nächsten fünf Jahren 1.000 bis 2.000 aktive EEGs und zehn bis 20 BEGs zu haben. Eine EEG soll im Durchschnitt 100 Zählpunkte haben, wobei es weiterhin nachbarschaftliche kleine Projekte geben wird und größere mit mehr Teilnehmer:innen. BEGs sollen mindestens 1.000 Zählpunkte haben. (vgl. Heidler 2023; Puchegger 2023)

Aufwand

„Für mich ist es ein bisschen ein Widerspruch, weil es wird damit geworben, dass das Modell für die Bevölkerung ist und das sie Teil der Energiewirtschaft werden. Und auf der anderen Seite hat man diesen bürokratischen Prozess, der eigentlich einen Widerspruch darstellt.“

(Heidler 2023)

Die Gründung einer Energiegemeinschaft stellt viele vor eine bürokratische Herausforderung. Es braucht Anmeldungen bei verschiedenen Stellen, die in der richtigen Reihenfolge abgeschlossen werden müssen und Kontakt mit den Netzbetreiber:innen muss aufgesucht werden. Das ist für manche Interessierte abschreckend, da es dem Modell für die Bevölkerung widerspricht. Der Gründungsaufwand ist jedoch nur einmalig und betrifft nicht alle Teilnehmer:innen. Das heißt, es braucht motivierte Initiator:innen die Interesse, Zeit und Geduld mitbringen und die ersten Schritte erledigen. Unterstützung gibt es durch die Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften, die z. B. Musterverträge bereitstellt, die Energieberatungsstellen der Bundesländer, KEM-Manager oder externe Dienstleister:innen.

Letztere werden aktuell immer mehr und mit der Zeit wird sich zeigen, welche Anbieter:innen mit welchen Dienstleistungen bestehen werden. V. a. im Betrieb und bei der Abrechnung sind sie relevant, da es je nach Art und Größe keine Standardverfahren gibt. Es braucht lokale Lösungen für lokale Herausforderungen. Für kleine Energiegemeinschaften reichen oft Musterverträge und Abrechnung mit z. B. Excel-Listen aus. Je mehr Zählpunkte es gibt desto sinnvoller sind innovative Ansätze für die Organisation. Eine weitere Herausforderung ist die Diversität der Teilnehmer:innenstruktur. Wenn sich mehrere PV- Prosumert:innen in Einfamilienhäusern zusammenschließen, werden die Vorteile gering sein, da sie ähnliche Lastprofile haben. Es braucht eine Mischung aus verschiedenen Akteur:innen, deren Lastprofile sich nach Uhrzeit und Tag ergänzen. Um das alles sinnvoll und sicher zu koordinieren, braucht es Technologien für Automatisierung und Reduktion des Aufwandes. Bei Energiegemeinschaften kann zwischen top-down und bottom-up Projekten unterschieden werden. Ein Beispiel für top-down Energiegemeinschaften sind die der Raiffeisen Nachhaltigkeitsinitiative, welche für Teilnehmer:innen einen geringen Aufwand haben. Jedoch gibt es auch kein Mitspracherecht bei Gründung und Umsetzung, was dem Gemeinschaftsgedanken widerspricht. Das extreme Gegenbeispiel davon sind nachbarschaftliche Projekte, die von Privatpersonen ausgehen. Diese sind jedoch sehr klein und ebenfalls nicht innovativ. Es gibt auch Zwischenlösungen wie z. B. Energiegemeinschaften von Gemeinden oder Regionen, in welchen der Großteil der Organisation übernommen wird, aber Teilnehmer:innen trotzdem mitentscheiden können. (vgl. Heidler 2023; Geiger und Hasselbring 2023; Puchegger 2023; Herold 2023)

Akteur:innen

Die Netzbetreiber:innen haben viele neue Aufgaben im Rahmen der Energiegemeinschaften, wodurch eine Abhängigkeit von einzelnen Akteur:innen entsteht. V. a. im Bezug zur Datenbereitstellung gibt es noch Probleme. Der Ausbau von Smart Metern ist noch nicht vollständig, wodurch es passieren kann, dass an einer Energiegemeinschaft interessierte Personen ca. zwei Monate warten müssen. Es gibt ca. 120 netzbetreibende Unternehmen in Österreich und diese nutzen verschiedene Systeme zur Datenübertragung an EDA, welche teilweise noch nicht automatisiert sind und zu längeren Wartezeiten führen können. Vor Oktober 2022 mussten Energiegemeinschaften mit mehr als einer Erzeugungsanlage in Teilgemeinschaften aufgeteilt werden. Jedes Mitglied war nur genau einer Anlage zugeordnet. Im Oktober 2022 wurden die Teilgemeinschaften zusammengeführt, wodurch alle Teilnehmer:innen von allen Erzeugungsanlagen beziehen können. Seitdem gibt es zusätzliche Probleme bei den Messwerten, da öfters falsche oder überhaupt keine Werte übertragen werden. Für eine automatisierte Anwendung braucht es aber im besten Fall Echtzeitdaten mit hoher zeitlicher Auflösung. Dies funktioniert am besten mit zusätzlicher Hard- und Software, da die aktuellen Smart Meter für innovative Lösungen oft nicht ausreichen und es an Interoperabilität und Standardisierung fehlt. Ein Grund dafür sind fehlende Vorgaben von der Gesetzgebung. Bis eine Energiegemeinschaft ohne Zusatzinstallationen und -investitionen optimal, mit z. B. Blockchain, laufen kann wird es noch dauern. Ein erster Schritt zur Verbesserung ist, dass die Kommunikation zwischen Netzbetreiber:innen und E-Control ab 2023 automatisiert ablaufen soll. (vgl. Heidler 2023; Puchegger 2023; Geiger und Hasselbring 2023; Herold 2023; Stefan 2022; Taljan 2022)

Energiegemeinschaften sind für alle betroffenen Akteur:innen ein neues Konzept, welches neue Aufgaben und systemische Veränderungen mit sich bringt. Für Netzbetreiber:innen ist es ein riesiges IT-Projekt, mit einer Umstellung von teils händischen Abwicklungen. Es braucht noch interne Anpassungen und Zeit bis alles fließend läuft. Die EU-Richtlinien wurden gut ins nationale Recht umgesetzt, doch nach den ersten Praxiserfahrungen könnte es noch Verbesserungen geben. Dafür gibt es Austausch zwischen der Koordinationsstelle und dem BMK. Geplant sind z. B. eine weitere Novelle des ElWOGs und das Erneuerbaren-Ausbau-Beschleunigungsgesetz (EABG) wurde angekündigt. Auch andere Materien, die nicht direkte

Teilnehmer:innen von Energiegemeinschaften sind, haben Herausforderungen. Hier geht es z. B. um die rechtliche Lage von Speichertechnologien und Flexibilitätsdienstleistungen, um den Fachkräftemangel für den Ausbau von erneuerbaren Energien und um die Flächenbereitstellung für Erzeugungsanlagen. (vgl. Herold 2023; Heidler 2023; Taljan 2022; Geiger und Hasselbring 2023; Stefan 2022)

Im EAG ist festgelegt, dass die Teilnahme an EEGs für Großunternehmen verboten ist. Erzeugungsanlagen und Flächen können an EEGs verpachtet werden. Sobald Energie von der Energiegemeinschaft bezogen wird, ist nur die Teilnahme an einer BEG erlaubt. Zu Großunternehmen zählen auch gemeinnützige Wohnbauträger, die gerade im städtischen Raum Interesse an der Teilnahme von Energiegemeinschaften haben. Da nur BEGs erlaubt sind, fallen jedoch auch die finanziellen Vorteile für die Bewohner:innen weg. Auf Quartiersebene ist die Wärmeversorgung ein Potenzial, was wiederum nur in EEGs möglich ist. (vgl. Fina 2023)

Wärme

Der Fokus der bestehenden Energiegemeinschaften liegt derzeit bei Strom mit wenigen Projekten, die auch Wärme integrieren. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen im EAG und ElWOG sind auf Strom ausgerichtet und die Sektorkopplung wird meist nur als Möglichkeit angegeben. Eine Herausforderung ist auch, dass das Wärmenetz anders als das Stromnetz aufgebaut ist und mehr in privater Hand ist. Im Wärmesektor gibt es bereits ähnliche etablierte Systeme, wie Wärmegenossenschaften, die einen erheblich geringeren Gründungsaufwand haben als Energiegemeinschaften. Für eine breitere Anwendung im Rahmen von Energiegemeinschaften fehlen noch Vorzeigeprojekte, durch die Erfahrungen gesammelt werden können, um zu zeigen, dass es eine eindeutige Verbesserung geben kann. Trotzdem ist der Wärmesektor nicht zu ignorieren, da das Thema in den kommenden Jahren weiter an Bedeutung gewinnen wird. Es gibt auch Potenziale, denn z. B. bei einer reinen Wärmeenergiegemeinschaft ist der Aufwand geringer. In Österreich müssen bis 2040 alle Gasheizungen ersetzt werden, was allein in Wien über 500.000 betrifft. Eine Möglichkeit, die sich durch Energiegemeinschaften ergibt, sind grundstücksübergreifende Lösungen. (vgl. Heidler 2023; Herold 2023; Geiger und Hasselbring 2023; Geiger und Heidler 2022, S. 6)

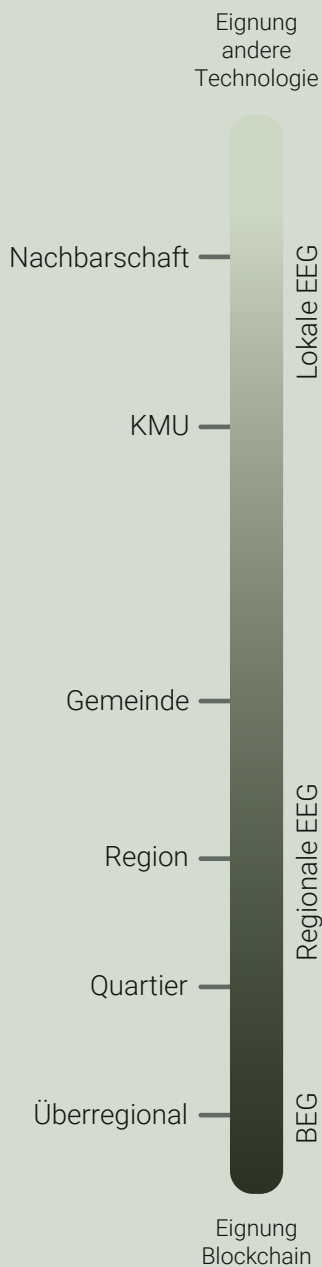
Finanziell

Auch wenn der finanzielle Gewinn nicht im Vordergrund von Energiegemeinschaften steht, sind mögliche Einsparungen ein wichtiger Faktor für Teilnehmer:innen. Teil der Energiewende sein und CO₂-Einsparung können Gründe für die Teilnahme sein, aber für die breite Masse braucht es auch wirtschaftliche Vorteile, welche jedoch aktuell kaum vorhanden sind. Der Einspeisetarif für Besitzer:innen von erneuerbaren Energieanlagen ist seit 2022 höher als der Preis, der innerhalb einer Energiegemeinschaft erzielt werden kann. Damit ist es am attraktivsten, den Eigenverbrauch zu minimieren und möglichst viel einzuspeisen. Von den drei Vergünstigungen sind aktuell zwei ausgesetzt. Aufgrund der hohen Energiepreise entfällt für alle der Erneuerbaren-Förderbeitrag und die Elektrizitätsabgabe ist herabgesetzt. Dadurch gibt es nur den Vorteil durch die reduzierten Netzentgelte. Eine weitere Herausforderung im Betrieb kann die faire Preisfindung in der Gemeinschaft sein. Außerdem braucht es eine Anpassung der Netztarifsystematik, da bei Einspeisung und späterem Bezug aus Gemeinschaftsspeichern jedes Mal Netzgebühren, Steuern und Abgaben gezahlt werden müssen. (vgl. Herold 2023; Puchegger 2023; Heidler 2023; Stefan 2022)

9.4 Zwischenfazit

Da die Anwendung der Blockchain-Technologie in Energiegemeinschaften ein neues Thema ist, wurden zuerst Forschungsprojekte durchgeführt. Dadurch können Anwendungen in realem Umfeld, gemeinsam mit der Bevölkerung getestet werden. Dies ist hilfreich, um Herausforderungen früh zu erkennen. Die Ergebnisse der Pionierprojekte können danach in die Breite getragen werden. In Österreich gibt es die Projekte Blockchain Grid, P2PQ, SonnWende+, DE4ALL und CLUE. Zusätzlich gibt es eine Vielzahl an Projekten, die sich entweder mit Energiegemeinschaften ohne Blockchain beschäftigen oder mit Blockchain im Energiesektor, ohne einen spezifischen Fokus auf Energiegemeinschaften.

Die Anwendung außerhalb von Forschungsprojekten hat 2022 begonnen. Die team4energy Plattform wurde im Südburgenland gestartet. Alle Prozesse wurden digitalisiert und automatisiert, um regionale, dezentrale Energiesysteme zu ermöglichen. Durch eine Kooperation mit der Raiffeisen Nachhaltigkeitsinitiative konnte die Plattform für jedes Umspannwerk im Burgenland skaliert werden. Dies zeigt die wichtiger werdende Rolle von Dienstleister:innen. Zusätzlich gibt es die 7energy BEG, welche jedoch noch nicht in Betrieb ist.



Das Potenzial der Blockchain-Technologie liegt darin, viele verschiedene Teilnehmer:innen zu vernetzen. Die Transparenz und Nachvollziehbarkeit kann gewährleistet werden, vor allem bei kleinen Transaktionen. Durch die Automatisierung können Prozesse optimiert werden. Eine der größten Herausforderungen ist die Akzeptanz der Blockchain. Weitere Aspekte betreffen Datenschutz und die rechtliche Situation von Smart Contracts. Für Energiegemeinschaften gilt es vorhandene innovative Lösungen in die Breite zu bringen. Die bürokratische Hürde ist hoch. Dienstleister:innen werden gebraucht, um den Aufwand für Nutzer:innen gering zu halten. Aktuell liegt der Fokus bei PV und Strom. Außerdem ist die Umsetzung von Energiegemeinschaften in städtischen Gebieten erschwert. Das Thema ist für alle Akteur:innen neu und bedeutet dadurch Umstellungen. Im Besonderen haben die Netzbetreiber:innen viele neue Aufgaben.

Bei Energiegemeinschaft mit Blockchain muss überlegt werden, ob sich die Nutzung für die spezifische Art lohnt. Für eine nachbarschaftliche Energiegemeinschaft, in der teilweise Strom geschenkt wird und in der es nur wenige Teilnehmer:innen gibt, ist eine innovative Ausgestaltung nicht notwendig. Oft reichen dafür zentrale Datenbanken oder sogar nur Excel Listen. Die Nutzung der Blockchain-Technologie wird dann relevant, wenn die Anzahl an Teilnehmer:innen höher ist und somit auch die Anzahl der Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen und Speicher. Des Weiteren dort, wo es viele kleine Transaktionen gibt und die Teilnehmer:innen sich nicht unbedingt kennen. Unterschieden nach der Art der Energiegemeinschaft, eignet sich die Blockchain für BEGs immer. Für regionale EEGs meistens, da diese auch eine große Anzahl an Teilnehmer:innen haben können. Bei lokalen EEGs ist die Nutzung, am wenigsten relevant, da sie beschränkt durch die Netzebenen sind und dadurch eine relativ geringe Anzahl an Teilnehmer:innen haben. Die Einteilung nach den Initiator:innen auf den verschiedenen Ebenen gestaltet sich etwas schwieriger, da sich Projekte auf derselben Ebene in ihrer Größe unterscheiden können. Die Eignung der Blockchain ist daher nicht in direkter Abhängigkeit mit der Ebene, in der sie sich befindet. Beispielsweise ist sie auf kleinster Ebene für Nachbarschaften weniger relevant, dafür für Quartiere mehr, da es hier eine höhere Anzahl an Teilnehmer:innen gibt. Das heißt grundsätzlich gilt, je mehr Teilnehmer:innen und je mehr Anlagen, desto größer ist die Eignung. Die tatsächliche Nutzung kann intern entschieden werden. Auch auf kleinerer Ebene kann die Blockchain-Technologie genutzt werden, wenn es Interesse daran gibt.

Abbildung 75: Eignung, eigene Darstellung

10

Vision 2033

10. Vision 2033

Im folgenden Kapitel werden sechs Aspekte vorgestellt, die in Zukunft zentrale Themen bei Energiegemeinschaften sein werden. Sie dürfen nicht isoliert betrachtet werden, sondern sie sind vernetzt und können sich untereinander beeinflussen. In den bisherigen Recherchen und bei den Experteninterviews hat sich gezeigt, dass einzelne Energiegemeinschaften bereits Auswirkungen auf ihr Umfeld haben können. Aber es gibt noch Punkte, die in Zukunft stärker und von mehr Energiegemeinschaften umgesetzt werden können. Die Vision enthält Themen, die einen Einfluss auf den gesamten Energiesektor haben können. Durch sie können Energiegemeinschaften einen aktiven Beitrag zur Beschleunigung der Erreichung der Klimaziele haben. Der Zeithorizont ist 2033 und somit eine ambitionierte Vision für die nächsten zehn Jahre. Um eine Veränderung im Vergleich zu den letzten Jahren zu bewirken, braucht es innovative Ansätze bei allen Energiegemeinschaften.

Energiegemeinschaften...

...leisten einen Beitrag zum Ausbau von erneuerbaren Energien



Abbildung 76: Ausbau erneuerbare Energien, ©VectorMine - stock.adobe.com

Energiegemeinschaften leisten einen Beitrag zur Beschleunigung des Ausbaus von erneuerbaren Energien, mit verschiedenen Erzeugungstechnologien und unterschiedlichen Leistungen. Bestehende Erzeugungsanlagen können in die Energiegemeinschaften integriert werden. Dies ist kein direkter Beitrag zum Ausbau, aber es kann ermöglicht werden, dass Anlagen, für die Förderungen ausgelaufen sind, trotzdem wirtschaftlich weitergeführt werden können. Außerdem können die Anlagen direkt nach der Gründung integriert werden, da sie bereits errichtet sind. Damit haben sie eine sofortige Wirkung. Eine weitere Möglichkeit ist, dass größere Erzeugungsanlagen unabhängig von Energiegemeinschaften umgesetzt werden, aber ihre Energie an Gemeinschaften verkaufen. Den direktesten Beitrag zum Ausbau können Energiegemeinschaften haben, wenn sie selbst neue Anlagen errichten. Die letzten beiden habe zwar keine sofortige Wirkung, aber sie sind innerhalb des Zeithorizonts der Vision machbar.

Auch hier gibt es mehrere Methoden. Erstens gibt es den privaten Ausbau. Das betrifft v. a. PV-Anlagen auf Dächern von Wohngebäuden und KMUs. Zweitens können Erzeugungsanlagen durch die Gemeinde ausgebaut werden. Diese haben Zugang zu gemeindeeigenen Gebäuden und Flächen, wo die vollen Potenziale ausgenutzt werden können. Somit können größere Anlagen als für das jeweilige Objekt nötig, errichtet werden, um die lokale Energieversorgung für die Bevölkerung zu verbessern. Drittens können Anlagen durch die Gemeinschaft selbst mit Bürger:innenbeteiligung realisiert werden. Hier geht es oft um kleine Windparks oder PV-Anlagen, die mit Anteilen finanziert werden und es dann Vergünstigen beim Bezug aus der Anlage gibt.

Bezüglich der Erzeugungsart ist und bleibt PV die relevanteste innerhalb von Energiegemeinschaften. Neben Dachflächen werden auch mehr Freiflächenanlagen integriert. Ein zusätzlicher Aspekt sind Verpachtungen, die es der Energiegemeinschaften ermöglichen, mehr PV-Anlagen zu errichten. Dies betrifft v. a. Flächen von Akteur:innen, welchen ein eigener Bau aus finanziellen Gründen nicht möglich ist oder Großunternehmen, die sonst nicht aktive Teilnehmer:innen sein können. Dafür gibt es verschiedene Finanzierungsmodelle und Dienstleister:innen, die Aufgaben übernehmen.

Neben PV ist es auch wichtig, andere Erzeugungstechnologien zu integrieren. Windkraft eignet sich gut als Ergänzung zu PV-Anlagen, wenn es keinen Sonnenschein gibt. Für Windkraft können Projekte in verschiedenen Größen für Energiegemeinschaften in Frage kommen. Eine Option sind Windparks, die ihren Strom über eine BEG vermarkten. Der direkte Bezug von Strom aus Windkraftanlagen wird damit Verbraucher:innen in Bundesländern, in welchen es aktuell noch keine Windkraftanlagen gibt (Vorarlberg, Tirol und Salzburg), ermöglicht. Dies ist ab Mitte 2023 möglich, wenn BEGs über die Gebiete von mehreren Netzbetreiber:innen gehen können. Auch kleinere Anlagen können durch Energiegemeinschaften errichtet werden. Der Ausbau auf lokaler und regionaler Ebene trifft manchmal auf Widerstand, aber durch Bürger:innenbeteiligung und lokalen Bezug kann dem entgegen gewirkt werden. Auch in den drei oben genannten Bundesländern.

Bei der Energiegewinnung durch Wasser liegt der Fokus von Energiegemeinschaften bei Kleinwasserkraft, da die Erzeugung zu Zeiten, wo andere weniger erzeugen oder bei Verbrauchsspitzen stattfinden kann. Auch Revitalisierungen von Wasserkraftwerken können durch Energiegemeinschaften realisiert werden. Trinkwasserkraftwerke können zeitgleich zwei Aspekte der Nahversorgung abdecken. Biomasse ist relevant als steuerbarer Erzeuger für den Lastausgleich relevant und erbringt einen Beitrag zur Wärmeversorgung. Durch die Integration in Energiegemeinschaften kann konstant und unabhängig vom Wetter Strom und Wärme bereit gestellt werden.

Die Rolle von Gemeinden ist für den Ausbau von erneuerbaren Energien wichtig, durch den Zugriff auf gemeindeeigene Flächen. Mit Hilfe von Grundlagenmaterialien, die Potenziale aufzeigen, können Standortentscheidungen getroffen werden. Eine wertvolle Unterstützung durch Fachwissen sind dabei Planer:innen und KEM-Manager:innen. Ein ausschlaggebender Faktor ist die Umsetzungsdauer von Projekten, v. a. bei größeren Anlagen sind schnelle Genehmigungen notwendig. Durch Dienstleister:innen können viele Aufgaben, wie Standortwahl, Planung, Genehmigung, Bau und Betrieb übernommen werden.

...funktionieren als zelluläres System

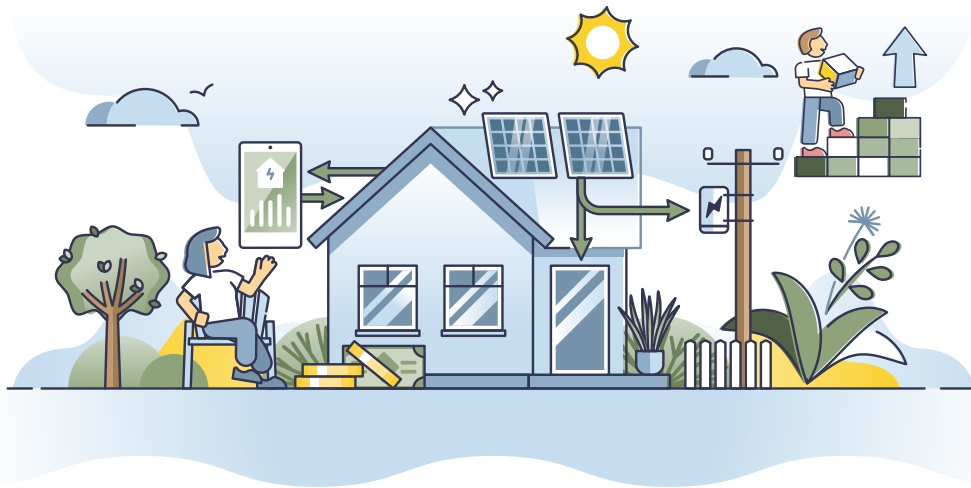


Abbildung 77: Mehrfachteilnahme, ©VectorMine - stock.adobe.com

Die Anzahl an Energiegemeinschaften steigt weiterhin an, wobei es auch mehrere geben wird, die in der Zwischenzeit wieder aufgeben werden. Es gibt innovative Vorzeigeprojekte, die ihr Wissen an andere weitergeben, wodurch Innovationen auch bei der breiten Masse ankommen. Die einzelnen Energiegemeinschaften sind Zellen, die parallel zueinander existieren, aber auch Austauschbeziehungen haben können. Innerhalb einer Zelle wird Energie erzeugt, verbraucht, gespeichert und gehandelt. Zusätzlich gibt es Austausch mit Energiegemeinschaften auf gleicher, darunter- oder darüberliegender Ebene. Dies wird durch die Mehrfachteilnahme an bis zu fünf Energiegemeinschaften ermöglicht, wodurch die Daten pro Zelle aggregiert werden.

Energiegemeinschaften leisten einen Beitrag zur Dezentralisierung. Auf kleiner Ebene wird Energie dort erzeugt, wo sie verbraucht wird, also ein direkter Verbrauch innerhalb der Gemeinschaft. Auf der größeren Ebene geht es um die Errichtung von erneuerbaren Energieanlagen, die dort sind, wo das größte Erzeugungspotenzial besteht. Die Abgabe erfolgt an Verbraucher:innen, die nicht in direkter Umgebung sein müssen.

Die Betrachtung als Zelle kann schon auf Gebäudeebene beginnen. Dort geht es im ersten Schritt um eine Optimierung für geringen Energieverbrauch und höhere Eigenversorgung, mit privaten oder gemeinschaftlichen Erzeugungsanlagen. Die nächste Ebene ist der lokale und regionale Ausgleich. Je enger der Raum, in dem die Erzeugungsanlagen einer Energiegemeinschaft sind, desto mehr ist die Volatilität durch das Wetter erkennbar. Da beispielsweise durch geringen Sonnenschein in einer Region alle PV-Anlagen davon betroffen sind und Energie nur von anderen Erzeugungstechnologien bezogen werden kann. Deshalb ist auch die überregionale Ebene relevant. Durch BEGs können Anlagen mit größerer Leistung an optimalen Standorten integriert werden.

In Zukunft können auch grenzüberschreitende Verbindungen an Relevanz gewinnen, je höher der Anteil an erneuerbaren Energien wird. Es geht um ein Zusammenspiel von Ausgleich in lokalen Microgrids und Energieversorgung über weitere Distanzen für die bestmögliche Versorgungssicherheit. Durch die Möglichkeit zur Mehrfachteilnahme haben Energiegemeinschaften mehr Aufgaben. Es gibt mehr Verbindungen zwischen den einzelnen Akteur:innen und die Komplexität steigt. Dadurch gewinnen die Unterstützung von externen Dienstleister:innen und Digitalisierungsmaßnahmen weiter an Bedeutung.

...leisten einen Beitrag zur Sektorkopplung und Versorgungssicherheit



Abbildung 78: Sektorkopplung & Versorgungssicherheit, ©VectorMine - stock.adobe.com

Mit Stand 2023 liegt der Fokus von Energiegemeinschaften auf dem Stromsektor. Aufgrund der Netze und der Auslegung des EAG wird dieser auch in Zukunft im Vordergrund bleiben. Trotzdem werden Wärme, Kühlung und Mobilität an Relevanz in Energiegemeinschaften gewinnen. Damit kann ein zusätzlicher Beitrag zur Dekarbonisierung geleistet werden, der Selbstversorgungsgrad steigt und es gibt geringere externe Abhängigkeiten. Durch die Sektorkopplung steigt der gesamte Stromverbrauch innerhalb der Gemeinschaft, was den Druck auf den Ausbau von erneuerbaren Energien erhöht. Wärmepumpen in Einfamilienhäusern und im Gewerbe fokussieren sich auf die Deckung des Bedarfes im Gebäude selbst. Eine Rolle in Energiegemeinschaften spielen Großwärmepumpen für Gemeinden, da viele Akteur:innen mit Wärme versorgt werden können. Ein weiteres Potenzial ist die Nutzung von Abwärme, Anergienetzen oder die Zusammenarbeit mit Nahwärmenetzen. Eine Voraussetzung für die effiziente Nutzung ist eine gewisse Bebauungsdichte und Nutzungsmischung. In ländlicheren Gebieten gibt es das Potenzial, land- und forstwirtschaftliche Betriebe für die Versorgung mit Biomasse, in die Energiegemeinschaft zu inkludieren. Die Nutzung von Geothermie kann ebenfalls in Energiegemeinschaften umgesetzt werden.

Energiegemeinschaften leisten einen Beitrag zu Versorgungssicherheit. Durch netzdienliches Verhalten wird Energie verbraucht, wenn es gerade viel Erzeugung gibt. Durch die Vermeidung von Lastspitzen und lokalem Verbrauch werden die Verteilnetze entlastet. Außerdem kann eine Energiegemeinschaft Flexibilitäten als Dienstleistung anbieten. Dafür braucht es finanzielle Anreize und es gibt Anforderungen an Digitalisierung und Automatisierung. Ein zweiter Aspekt der Versorgungssicherheit bezieht sich auf die Speicherung, um in Zeiten von geringer Erzeugung genügend Energie zur Verfügung zu haben. Für den Stromsektor sind in Energiegemeinschaften v. a. Speichersysteme für einzelne Gebäude und auch Gemeinschaftsspeicher relevant. E-Autos werden zu Zeiten mit hoher Erzeugung geladen. Durch bidirektionales Laden können sie als Speicher genutzt werden. Für größere Energiegemeinschaften spielen Technologien wie Power-to-Gas eine Rolle und in Zukunft soll es auch mehr Lösungen für die saisonale Speicherung geben.

Die bestmögliche Versorgungssicherheit besteht dann, wenn sich Erzeugung und Verbrauch ergänzen. Dies entsteht durch eine Kombination von verschiedenen Erzeugungsanlagen und Lastprofilen. Optimierungen können bereits auf Gebäudeebene beginnen, indem dafür gesorgt wird, dass der Energiebedarf und die Verluste möglichst gering gehalten werden, z. B. durch thermische Sanierungen. Räumlich bedeutet dies auch eine Bebauungsstruktur, die energieeffizient ist.

... sind vollständig digitalisiert



Abbildung 79: Digitalisierung, ©VectorMine - stock.adobe.com

In Energiegemeinschaften gibt es parallel zu Energieflüssen auch Informationsflüsse, die möglichst nahe an der Echtzeit passieren. Die Aufgaben für den Betrieb sind durch die Mehrfachteilnahme, mehr Teilnehmer:innen und mehr Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen komplexer. Dadurch steigen die Ansprüche an ein vollständig digitalisiertes System. Für die Automatisierung von Prozessen und die Vernetzung zwischen vielen Teilnehmer:innen eignet sich die Blockchain-Technologie. Für das Knowhow und die Abnahme von Aufgaben sind externe Dienstleister:innen ein Muss in Energiegemeinschaften.

Da es nicht eine Standardlösung für Energiegemeinschaften gibt, kann es ein Angebot einer Produktpalette für folgende Aspekte geben: Der Gründungsaufwand und das Mitgliedermanagement können vereinfacht werden. Das Beitreten, Austreten oder der Wechsel zwischen Energiegemeinschaften soll möglichst trivial gestaltet sein. Dazu eignet sich eine Online-Plattform, über die Energiegemeinschaften gefunden werden können und transparente Informationen bereitgestellt werden. Auch das Ändern der Teilfaktoren bei einer Mehrfachteilnahme muss jederzeit durchführbar sein. Als Hauptaufgabe in der Energiegemeinschaft gibt es die Abstimmung von Erzeugung, Verbrauch, Speicherung, das Matching zwischen den Teilnehmer:innen und den Handel. Mit letzterem sind verschiedene Geschäftsmodelle realisierbar, wie eine variable Preisgestaltung oder die Vermarktung von Energie aus größeren Erzeugungsanlagen über BEGs. Das Bereitstellen von Flexibilitäten kann durch Prognosen unterstützt werden und die Beteiligung an Anlagen kann durch Tokenisierung transparent gestaltet werden.

Für Nutzer:innen ist die Technologie nicht im Vordergrund, sondern die Vorteile wie Komplexitätsreduktion, Automatisierung, Transparenz und Sicherheit. Herkunftsnachweise und Rechnungen für alle Transaktionen sind organisiert und übersichtlich dargelegt. Über Apps wird ein Überblick gegeben werden und Einstellungen können getroffen werden. Hier geht es auch um einen niederschweligen Zugang, leichte Bedienbarkeit und Gamifizierung. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass keine Nutzer:innengruppen ausgeschlossen werden. Eine Voraussetzung, die bis 2033 erfüllt sein muss, ist der abgeschlossene Ausbau von Smart Metern. Zusätzlich braucht es Bemühungen zu Standardisierung und Interoperabilität.

... haben heterogene Strukturen



Abbildung 80: Heterogene Strukturen, ©VectorMine - stock.adobe.com

Einzelne Energiegemeinschaften unterscheiden sich voneinander in ihrer Ausgestaltung und den Zielsetzungen. Für Teilnehmer:innen besteht dadurch die Möglichkeit der Gemeinschaft beizutreten, die ähnliche Interessen vertritt. Energiegemeinschaften profitieren auch innerhalb durch ihre Heterogenität. Die Diversität von Erzeugung, Verbrauch, Lage, Technologiemix und Gebäuden führt zu einem höheren Selbstversorgungsgrad und einer höheren Versorgungssicherheit.

Wenn eine Vielfalt an teilnehmenden Personen entsteht, ist es ein Zeichen dafür, dass Energiegemeinschaften mehr in der Breite angekommen sind. Es wird Personen, die z. B. in Wohnungen leben oder ein verschattetes Dach haben, ermöglicht an der Energiewende teilzunehmen. Durch eine Mischung von Privatpersonen, Gemeinden mit gemeindeeigenen Gebäuden und KMUs ergänzen sich die Lastprofile. Die Lastspitzen von verschiedenen Akteur:innen sind zu verschiedenen Zeitpunkten, z. B. Werktag – Wochenende, Tagsüber – Abend, Sommer – Rest des Jahres. Nur so haben Energiegemeinschaften einen Nutzen für die Versorgung, da eine Kombination von gleichen Teilnehmer:innen wenig Auswirkung hat.

Diversität sollte es auch bei der Erzeugung geben. Durch die Integration von verschiedenen Technologien in Energiegemeinschaften kann auch Erzeugung stattfinden, wenn z. B. die Sonne nicht scheint oder kein Wind geht. Eine Kombination aus ländlichen und städtischen Gebieten ergänzt sich ebenfalls. Bei Ersterem gibt es ein hohes Erzeugungspotenzial, während es bei Zweiterem ein höheres Verbrauchspotenzial gibt. Auch im Wärmesektor eignet sich eine Nutzungsmischung, da beispielsweise Abwärme sinnvoll genutzt werden kann.

... sind von der Gemeinschaft und für die Gemeinschaft



Abbildung 81: Gemeinschaft, ©VectorMine - stock.adobe.com

Im Zuge der Ausbreitung von Energiegemeinschaften erfolgt die Energieversorgung nicht mehr nur von oben unidirektional herab, sondern auch bottom-up, von der Gemeinschaft aus. Der Grad der Mitentscheidung durch die Teilnehmer:innen unterscheidet sich je nach Ausgestaltung der Energiegemeinschaft. In manchen wird alles gemeinsam beschlossen, während in anderen mehr Vorschläge von einzelnen Akteur:innen kommen. Die Partizipation kann in diesem Fall durch Abstimmungen und die Integration in Planungsprozesse gewährleistet werden.

Die aktive Beteiligung hat Einfluss auf Akzeptanz und Bewusstseinsbildung. Durch Einbindung in Planungsprozesse sind die Entscheidungen der Gemeinschaften transparent und nachvollziehbar und Probleme können früh erkannt werden. Hier wird auch mit digitalen Tools, für Feedback zu Ideen oder auch für Visualisierungen, gearbeitet. Beim Ausbau von größeren Erzeugungsanlagen gibt oftmals Widerstand in der Bevölkerung. Häufig handelt es sich dabei um NIMBYs (not in my backyard), die der generelle Ausbau nicht stört, solange er nicht in der direkten Umgebung stattfindet. Durch die Bereitstellung von Informationen und Bewusstseinsbildung wird gezeigt, dass die Energiewende vor Ort wichtig ist und welche Vorteile es dadurch gibt.

Eine wertvolle Unterstützung sind KEM-Manager:innen oder andere lokale und regionale Verbände, die über lokales Wissen verfügen. Sie haben Vertrauen in der Bevölkerung durch ihre Präsenz und die Umsetzung von anderen Projekten. Dienstleister:innen eignen sich für die Hilfe bei Planungs- oder Beteiligungsprozessen. Als neutrale Unterstützung gibt es die weitergeführte Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften und die Energieberatungsstellen des jeweiligen Bundeslands.

Eine Energiegemeinschaft kann für die Teilnehmer:innen mehr sein als ein innovatives Abrechnungsmodell, denn sie bringt Leute im Sinne des Gemeinschaftsaspektes zusammen. Gemeinsam wird aktiv an der Energiewende teilgenommen und ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet. Gemeinschaftsaktivitäten werden umgesetzt, z. B. Veranstaltungen zur Vernetzung und Weiterbildung. Zusätzliche Freizeitaktivitäten stärken den Zusammenhalt der Gemeinschaft. Außerdem können bewusstseinsbildende Maßnahmen zu Themen wie Klimawandelanpassung, Energieeffizienz und Energiesparen durchgeführt werden. Der Aspekt des Sharings kann auch eine Rolle spielen. Dies betrifft E-Autos oder Fahrräder, aber auch z.B. landwirtschaftliche Produkte von Teilnehmer:innen im Gegenzug zu Vergünstigungen. Gemeinschaftsaktivitäten haben meist einen räumlichen Bezug, weshalb sie vor allem für EEGs relevant sind.



Abbildung 82: Person 1
 ©VectorMine - stock.adobe.com

Valli ist eine Privatperson, die in einem Einfamilienhaus wohnt. Am Dach hat sie eine PV-Anlage, die oft mehr erzeugt, als im Haus verbraucht wird. In der Nachbarschaft wohnen Bekannte, an die sie lieber ihren Überschuss abgeben will, als nur ins Netz einzuspeisen. Vor einigen Jahren hat sie auf einer Online-Plattform entdeckt, dass eine Nachbarin eine lokale EEG gegründet hat. Dieser ist sie beigetreten, um ihren Strom zu einem von ihr festgelegten Preis zu verkaufen. Er ist ausreichend, um die Wirtschaftlichkeit der Anlagen zu decken. Sie nutzt dafür eine Plattform, die von der Nachbarin erstellt wurde, die auf der Blockchain-Technologie basiert. Valli ist zwar nicht sehr technikaffin, aber die Plattform zeichnet sich durch Benutzer:innenfreundlichkeit und geringen Aufwand aus.

Da in der lokale EEG nur Einfamilienhäuser sind, hat die Energiegemeinschaft nur geringe Vorteile gebracht. Dies liegt daran, dass alle ähnliche Lastprofile haben und dadurch zur selben Zeit einen hohen Verbrauch haben. Zudem gibt es nur PV-Anlagen, wodurch die Erzeugung zeitgleich stattfindet. Deshalb war Valli erfreut darüber, dass es ermöglicht wurde an mehr als einer Energiegemeinschaft teilzunehmen. Ihr Haus liegt in einer KEM-Region, die eine regionale EEG gegründet hat. Dadurch gibt es mehr Erzeugungsanlagen von welchen Strom bezogen werden kann, wie ein bestehendes Kleinwasserkraftwerk und PV-Anlagen. Außerdem hat sie sich an einem Windpark durch die Energiegemeinschaft beteiligt. Die regionale EEG nutzt dieselbe Plattform wie die lokale. Dadurch kann trotz der Mehrfachteilnahme der Überblick mit einer App behalten werden. Über diese kann sie Erzeugung und Verbrauch einsehen, auch wenn sie nicht zu Hause ist. Valli genießt durch die Teilnahme weitere Vorteile. Da sie kein eigenes Fahrzeug besitzt, kann sie das Car-Sharing Angebot der Gemeinschaft nutzen. Außerdem besucht sie regelmäßig Veranstaltungen der Energiegemeinschaft, in welchen es privaten Austausch und Weiterbildung zu Energiethemen gibt. Bei einem der Infoabende wurden Lösungen für erneuerbare Wärmeversorgung vorgestellt. Seitdem plant sie die Umstellung auf eine Wärmepumpe und die thermische Sanierung ihres Hauses.

Vor kurzem wurden an ihrem Arbeitsplatz die Dachflächen mit PV-Anlagen ausgestattet. Um die Mitarbeiter:innen zu belohnen wurde eine regionale EEG gegründet, über die am Wochenende Strom abgegeben wird. Durch Vernetzungen in der Region nutzt die Energiegemeinschaft ebenfalls die Plattform. Somit kann Valli unkompliziert an allen drei EEGs teilnehmen. Sie hat kaum Aufwand, da alles automatisiert abläuft.

Nicoletta arbeitet schon seit längerer Zeit im Bereich der Blockchain-Technologie. In ihrer Freizeit setzt sie sich für Klima- und Energiethemen ein. Als 2021 das Gründen von erneuerbaren Energiegemeinschaften ermöglicht wurde, beschloss sie die zwei Themen zu verbinden. Gemeinsam mit ihrer Firma hat sie als Dienstleisterin eine der führenden Blockchain-Plattformen für Energiegemeinschaften entwickelt. Online und über eine App sind alle Prozesse digitalisiert. Das umfasst die Anmeldung, Abmeldung und Wechsel zwischen Energiegemeinschaften für Nutzer:innen. Abrechnung, Verteilung, Bereitstellung von Flexibilitäten und Handel funktionieren allesamt automatisiert. Außerdem gibt es Unterstützung bei der Gründung. Die Energiegemeinschaften werden als Genossenschaften umgesetzt, da sie das Ziel verfolgen, möglichst viele Teilnehmer:innen zu haben.

Nicoletta ist eine Nachbarin von Valli und hat die lokale EEG gegründet, um Verständnis für die Aufgaben zu bekommen. So konnte die Plattform zuerst mit einer geringen Anzahl an Nutzer:innen getestet werden. Nach erfolgreichen Tests wurde die Lösung an Energiegemeinschaften weiter verbreitet. Sobald die Mehrfachteilnahme ermöglicht war, wurde dies auch umgesetzt. Damit können mit einer App bis zu fünf verschiedene Energiegemeinschaften verwaltet werden. Eine regionale EEG, die ebenfalls früh die Plattform genutzt hat, ist die KEM-Region. Nicoletta ist auch als Privatperson ein Mitglied. Zusätzlich ist sie in einer BEG und bezieht Strom aus einem Wasserkraftwerk in einer benachbarten Region.

Bei der Umsetzung der Plattform wurde ein Wert auf die Bereitstellung von transparenten Informationen mit Visualisierungen gelegt. Zusätzlich steht leichte Bedienbarkeit für alle Zielgruppen im Vordergrund. Dass die Blockchain genutzt wird, ist den Nutzer:innen bekannt. Für alle stehen die Vorteile, die durch die Nutzung entstehen im Vordergrund. Da Nicoletta viel Wissen zu Energiethemen hat, gibt es auch bewusstseinsbildende Informationen in der App.



Abbildung 83: Person 2,
 ©VectorMine - stock.adobe.com



Abbildung 84: Person 3,
 ©VectorMine - stock.adobe.com

Georg hat ein Raumplanungsbüro mit einem Fokus auf Themen im Energiesektor. Zusätzlich ist er KEM-Manager in der Region, in der Valli und Nicoletta leben. Er wohnt in einem Mehrfamilienhaus und war schon bevor Energiegemeinschaften ermöglicht wurden, an einer gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage beteiligt. In der KEM-Region hat er eine regionale EEG gegründet, um die Versorgungssicherheit zu erhöhen und die Region bei der Energiewende zu unterstützen. Unterstützt wurde er von Nicoletta als Dienstleisterin und allen zugehörigen Gemeinden. Zusätzlich gibt es auch Privatpersonen und KMUs als Mitglieder.

Durch die Teilnahme der Gemeinden konnten PV-Anlagen auf kommunalen Gebäuden ausgebaut werden. Die Grundlage dafür ist ein Solarpotenzialkataster für Dachflächen. Neben PV-Anlagen war von Beginn an ein Kleinwasserkraftwerk für die Stromversorgung inkludiert. Von der Energiegemeinschaft aus wurde ein Windpark mit Beteiligung der Bürger:innen umgesetzt. Die Widmung für Windkraftanlagen, auf Basis eines Sachkonzepts, war bereits vorhanden. Deshalb konnte die Umsetzung zeitnah gelingen. In Kooperation mit dem lokalen Nahwärmenetz wurde im größten Ort der Region das Netz ausgebaut. Der Versorgungsbereich wurde erweitert und die Abwärme von Unternehmen integriert. Bei der Errichtung der Anlagen wurde auf Regionalität geachtet. So wurden beispielsweise die Installationen der PV-Anlagen von lokalen Unternehmen übernommen, wodurch die Wertschöpfung in der Region bleibt.

Durch Georg als Initiator entstehen zwei Vorteile. Erstens ist er als KEM-Manager bereits bekannt in der Region und kann leichter neue Teilnehmer:innen überzeugen. Außerdem verfügt er über Zugang zu lokalem Wissen. Der zweite Vorteil ist seine Erfahrung aus dem Planungsbüro. Für jede Gemeinde ist flächendeckend ein Energieraumplan, der Ist und Soll darstellt, vorhanden. Mit aktuellen Grundlagenmaterialien sind Maßnahmen, wie der Ausbau von Erzeugungsanlagen, einfacher und schneller durchzuführen. Da der gemeinschaftliche Aspekt wichtig ist, legt Georg einen Wert auf Partizipation in Planungs- und Entscheidungsprozessen. Wichtige Informationen werden über die App geteilt, wodurch alle Teilnehmer:innen erreicht werden können. Außerdem werden digitale Tools, wie Feedbackfunktionen und Visualisierungen von Projekten, eingesetzt.

11

Handlungs- möglichkeiten der Raumplanung

11.1 Maßnahmenkatalog

11.2 Details

11.3 Zwischenfazit

11. Handlungsmöglichkeiten der Raumplanung

11.1 Maßnahmenkatalog

Die Themen der Vision sind ambitioniert und nicht nur durch Energiegemeinschaften selbst zu erreichen. Durch die Unterstützung von verschiedenen Materien kann die Zielerreichung vereinfacht werden. Im folgenden Kapitel geht es darum Energiegemeinschaften aus der Perspektive der Raumplanung zu betrachten. In Tabelle 29 werden Handlungsmöglichkeiten der Raumplanung aufgezeigt, die Energiegemeinschaften bei ihrem Beitrag zur Energiewende unterstützen können. Es wird dargestellt, welche Planungsmaßnahmen durchgeführt werden können und grün markiert welche Planungsebene dafür zuständig ist. Zusätzlich werden mögliche Instrumente zur Umsetzung genannt. In Kapitel 11.2 sind detailliertere Informationen nachzulesen.

Zusammengefasst kann die Raumplanung in mehreren Bereichen eine unterstützende Funktion haben. Beispielsweise bei der Bereitstellung von Grundlagenmaterialien auf verschiedenen Ebenen. Dies umfasst z. B. Energieraumpläne mit IST und SOLL für Gemeinden und Sachprogramme für bestimmte Erzeugungsarten. Die Raumplanung übernimmt eine wichtige Rolle bei der Freihaltung von Flächen für Energieerzeugung, Speicherung und Verteilung. Ein weiterer Aspekt ist die Reduktion des Energieverbrauchs innerhalb der Energiegemeinschaft durch kompakte Siedlungsstrukturen und der Festlegung von energetischen Standards. Räumliche Nähe und Nutzungsmischung haben einen Beitrag zu erfolgreichen Energiegemeinschaften. Außerdem spielen Bewusstseinsbildung und Partizipation eine große Rolle.

Planungsmaßnahmen	Gemeinde	Region	Land	Bund
Verortung aller Energiegemeinschaften				Instandhaltung und Erweiterung der Landkarte der Koordinationsstelle
Überlegungen zu veränderten Nahbereichen mit räumlichen Zusammenhängen				Überarbeitung der Nahbereichsdefinition im EIWOG
Schnellere Umsetzung von Projekten durch kürzere Genehmigungsverfahren				Beschleunigte Genehmigungsverfahren für Vorhaben von Energiegemeinschaften
Anpassung der Klima- und Energieziele der Länder, um auf Bundesziele zu kommen			Abgestimmte Ausbauziele in allen Energiestrategien	
Solarpotenzialkataster für Gebäude, flächendeckend für jedes Bundesland, Umsetzung anhand Modell Salzburg			WebGIS-Layer Solarpotenzial	
Vereinfachte Nahbereichsauskunft, durch Netzbetreiber:innen und Energieraumplan-Layer	Darstellung im Energieraumplan	Darstellung im Energieraumplan	WebGIS-Layer Nahbereichsauskunft	
Erhebung und Darstellung von Potenzialen für erneuerbare Energien	Potenzialkartierung im Energieraumplan, als Teil des ÖEK	Potenzialkartierung im Energieraumplan	Eignungs- und Ausschlusszonen in Sachprogrammen und Landeskonzepten	
Flächendeckende Energieraumplanung mit IST & SOLL	Erhebung und Darstellung von Potenzialen und Zielen auf kommunaler und regionaler Ebene			
Freihaltung und Widmung von Flächen für Energieerzeugung, Speicherung und Verteilung	Nutzung von energiebezogenen Widmungsarten und Sondernutzungen			
Ermöglichung einer Funktionsmischung	Funktionsmischung durch Flächenwidmung und ÖEK, für ergänzende Lastprofile und Wärmenutzung			
kompakte, energieeffiziente Siedlungsstrukturen	Festlegungen von energieeffizienten Bebauungsstrukturen		Festlegung von energetischen Standards	
Quartiersentwicklung mit Energiegemeinschaften	Mitplanen von Energiegemeinschaften in neuen Quartiers- und Stadtentwicklungskonzepten			
Förderungen für Energiegemeinschaften und deren Bestandteile	z. B. Förderungen für innovative Energiegemeinschaften, EAG Investitionszuschüsse, KEM, Forschungsprojekte			
Frühzeitige Partizipation in Planungsprozessen	Beteiligung der Gemeinschaft bei Planungsprozessen			
Bewusstseinsbildung durch Aufbereitung allgemein verständlicher Informationen	Zielgruppenspezifische Informationsaufbereitung durch Gemeinden, KEMs und Koordinationsstelle			

Tabelle 29: Maßnahmenkatalog, eigene Darstellung

11.2 Details

Die **Landkarte der Koordinationsstelle** für Energiegemeinschaften hat das Potenzial, eine transparente Übersicht und Vernetzungsmöglichkeit zu bieten. Über diese kann das Finden einer Energiegemeinschaft in der Umgebung vereinfacht werden. Aktuell basiert die Eintragung jedoch nur auf Freiwilligkeit, aber es wäre wirkungsvoller, wenn jede Energiegemeinschaft eingetragen ist. Bei den Experteninterviews hat sich gezeigt, dass dies noch ein wunder Punkt der Koordinationsstelle ist. (vgl. Heidler 2023). Eine zusätzliche Ergänzung zu den dargestellten Fakten auf der Landkarte könnte sein, ob die Neuaufnahme in eine Energiegemeinschaft aktuell möglich ist. Die Verortung mit Pins kann durch die tatsächliche räumliche Ausbreitung anhand der Netzebenen verbessert werden. Diese Information wird besonders relevant, wenn die Mehrfachteilnahme möglich ist.

Der **Nahbereich** für EEGs ist im EIWOG durch die Netzebenen geregelt. In ländlichen Gebieten umfasst oft ein Umspannwerk eine Gemeinde. Sobald es dichter wird, ist eine lokale EEG schnell nicht mehr möglich. In Städten sind auch regionale EEGs schwerer umsetzbar. Regionen aus mehreren Gemeinden haben einen räumlichen Zusammenhang, aber es kann passieren, dass nicht alles durch eine einzelne Energiegemeinschaft abgedeckt werden kann. In einigen anderen europäischen Ländern wurde der Nahbereich anders umgesetzt. In Frankreich gibt es einen 2 km Radius in urbanen und 20 km in ruralen Gebieten. Deutschland nutzt einen Radius von 50 km. Der aktuelle Weg wird von Umsetzer:innen kritisiert, da für viele die logischen räumlichen Zusammenhänge fehlen. Die Kritik ist bereits beim BMK angekommen und es soll in Zukunft Gespräche zu möglichen Verbesserungen geben. Eine optimale Lösung zu finden ist schwer, da auch bei einer Regelung über räumliche Zusammenhänge eine Grenze bestehen bleiben muss. Eine Herausforderung ist, dass in Österreich der Ortsnetztarif und somit die Vergünstigungen an die Netzebenen gebunden sind. (vgl. Geiger und Hasselbring 2023; Öhlinger 2022, S. 9; Klima- und Energiefonds 2023)

Bei größeren Projekten wie Windparks oder dem Ausbau von Stromnetzen können lange **Genehmigungsverfahren** stattfinden, welche nicht mit den Ausbauzielen bis 2030 vereinbar sind. Mit 01.03.2023 wurde die UVP-G-Novelle im Nationalrat beschlossen. Durch diese sollen Verfahren für Vorhaben der Energiewende, die nun als höheres öffentliches Interesse gelten, beschleunigt werden. In diese Kategorie fällt auch der Ausbau von Anlagen durch Energiegemeinschaften. Doppelprüfungen aufgrund des Landschaftsbildes sollen vermieden werden und sind kein Grund zur Abweisung mehr, wenn bereits eine strategische Umweltprüfung durchgeführt wurde. Ein Fokus liegt bei der Genehmigung von Windkraftanlagen. Diese wird erleichtert und ist auch möglich, wenn es in der Standortgemeinde entweder keine Flächenwidmung oder keine Energieraumplanung gibt. Für Projekte, die nicht in das UVP-Verfahren fallen, soll es im angekündigten Erneuerbaren-Ausbau-Beschleunigungsgesetz (EABG) Verbesserungen geben. (vgl. Wien Energie o. J.c; Zwittering 2023, S. 1–2)

Für die Zielerreichung von 100 % Strom aus erneuerbaren Energien ist auf Bundesebene ein Ausbau von 27 TWh bis 2030 festgelegt. Die einzelnen **Ausbauziele der Bundesländer** summiert, ergeben nur 10,4 TWh. Der Zielanpassungsbedarf, also die Differenz zwischen Länder- und Bundeszielen bis 2030, ist 16,6 TWh: 2,2 TWh bei Wasserkraft, 5,2 TWh bei Windkraft, 8,2 TWh bei PV und 1 TWh bei Biomasse. Die Werte liegen neben zu niedrigen Zielsetzungen auch daran, dass nur fünf Bundesländer quantitative Ziele zum Anteil an erneuerbaren Energien bis 2030 festgelegt haben. In den Energiestrategien aller Bundesländer müssen verpflichtende quantitative Ziele festgelegt werden. Dafür braucht es Abstimmung mit Land und Bund, um insgesamt 100 % zu erreichen. Einen Vorschlag für die Aufteilung gibt ein potenzialbasierter Verteilschlüssel für Wasserkraft, Windkraft, PV und Biomasse von der

österreichischen Energieagentur. PV muss in jedem Bundesland ausgebaut werden, mit den höchsten Zielen in Niederösterreich, Oberösterreich und Steiermark. Wasserkraft hat aufgrund der geografischen Gegebenheiten einen Fokus auf den Westen Österreichs. Für Windkraft gibt es in Niederösterreich und im Burgenland die größten Ausbaupotenziale. Hier gibt es auch Ziele für Bundesländer, die bis jetzt noch keine Windkraftanlagen haben. Die ausreichende Umsetzung von Anlagen ist vom politischen Willen auf Landesebene abhängig. Dies kann durch gesetzliche Festlegungen geregelt werden. Die Ziele dienen als Grundlage für detaillierte Potenzialerhebungen in den Bundesländern und die Ausweisung Eignungs- und Vorrangzonen. (vgl. Baumann et al. 2021, S. 6, 13, 76-77)

Eine Erweiterung der jeweiligen LandesGIS bilden die zwei neuen Layer **Solarpotenzialkataster** und **Nahbereichsauskunft**. In Energiegemeinschaften liegt der Fokus bei PV-Anlagen auf Dachflächen, wodurch ein flächendeckender Solarpotenzialkataster von Vorteil ist. Da der Ausbau auch durch Privatpersonen und KMUs passiert gilt es Informationen über die Eignung über einen niederschweligen Zugang bereitzustellen. Damit können vor der genauen Planung Schätzungen zur möglichen Leistung gemacht werden. Die Kataster sind meist über die jeweiligen LandesGIS aufrufbar. Wien, Tirol, Steiermark und Kärnten haben einen ähnlichen Detaillierungsgrad, sie sind bei neueren Gebäuden jedoch nicht ganz aktuell. In der Steiermark gibt es zusätzlich das SolarTool, mit dem auch die Potenziale von Freiflächen berechnet werden können. Niederösterreich, Oberösterreich und Vorarlberg haben keine flächendeckenden Solarpotenzialkataster. In den genannten Bundesländern gibt es nur welche für vereinzelte Städte, wie St. Pölten, Baden und Linz. In Vorarlberg sind Daten nur für den Bezirk Feldkirch als einzelne PDFs herunterzuladen. Im Burgenland ist der Kataster nicht im LandesGIS verortet, sondern er wurde von futuregrid.energy, ein Teil von Energie Kompass, erstellt. Es handelt sich um eine Online-Karte, in der Potenziale von jeder Dachfläche auf Gebäuden dargestellt werden. Zusätzlich gibt es Angaben zu Fläche, Neigung, Azimut, Ausrichtung und Eignung. Das Vorzeigemodell bildet die Lösung aus Salzburg. In Zusammenarbeit zwischen dem Land Salzburg und GeoSphere gibt es seit Oktober 2022 den detailliertesten Solarpotenzialkataster. Er wurde mit einem Strahlungsmodell erstellt, berücksichtigt Verschattung und hat ein digitales Oberflächenmodell integriert. Für Gebäude und Freifläche ist es möglich, das Potenzial inklusive möglicher jährlicher Leistung in kWh/m² darzustellen. Zusätzlich sind eigene Berechnungen und Darstellungen für jeden Monat verfügbar. (vgl. Fuchs 2022; ZAMG 2023)

Für lokale und regionale EEGs ist die **Nahbereichsauskunft** einer der ersten Schritte. Durch sie kann überprüft werden, ob eine Teilnahme möglich ist. Für Initiator:innen ist es damit möglich zu sehen, wer die Zielgruppen sind. Je nach Netz ist die Abfrage anders ausgestaltet. Bei Wiener Netze, Netz Niederösterreich, Energienetze Steiermark, Netz Oberösterreich und TINETZ funktioniert es über Formulare mit einer Eingabe der Zählpunktnummer. Besonders wenn es darum geht, das Netzgebiet für mehr als einen Zählpunkt herauszufinden, kann der Aufwand groß sein. Andere Netzbetreiber:innen bieten eine Darstellung mit Karten an. Bei Netz Burgenland sind lokale EEGs verortet, jedoch gibt es keine Aussagen zu regionalen Grenzen. Über eine Karte von Kärnten Netz werden per Anklicken einer bestimmten Adresse die lokalen und regionalen Gebiete in der Umgebung angezeigt. Salzburg Netz bietet eine übersichtliche Darstellung der möglichen Gebiete von lokalen und regionalen EEGs. Vorarlberger Energienetze hat ebenfalls eine Online-Karte. Diese ist nur mit einer damit verbundenen Registrierung einsehbar. Bei kleineren Netzbetreiber:innen ist weniger Information online zu Verfügung. Die Lage ist jedoch bereits räumlich eingegrenzt, wie z. B. bei regionalen E-Werken. Die Bekanntgabe liegt im Aufgabenbereich der Netzbetreiber:innen. Seitens der Raumplanung sind die Verortungen im LandesGIS, für einen einfachen Zugang zur Information möglich. Außerdem können die Nahbereiche einen Layer in Energieraumplänen bilden. (vgl. Herold 2023; Heidler 2023)

Für den Ausbau von erneuerbaren Energien gilt es, die maximalen **Potenziale**, gekoppelt an die Klimaziele, auszunutzen. Diese werden auf Landesebene erhoben und in Eignungs- und Ausschlusszonen verortet, welche als Grundlagen für die kommunale und regionale Ebene wirken. Erklärt am Beispiel Burgenland gibt es eine Verordnung mit Eignungszonen zur Errichtung von PV-Freiflächenanlagen, an Orten hoher Erzeugungsleistung. Zuletzt wurden im Jänner 2023 Zonen in Abstimmung mit den Gemeinden ergänzt. Das Burgenland nimmt hier eine Vorreiterrolle hinsichtlich Energiegemeinschaften ein. Damit die lokale Bevölkerung von den Anlagen profitieren kann, werden Energiegemeinschaften gegründet. Als erstes erfolgt im Mai 2023 die Inbetriebnahme der Freiflächen-PV-Anlage in Schattendorf, danach folgt Nickelsdorf. Das Konzept soll in Zukunft auf das gesamte Burgenland ausgerollt werden. (vgl. ORF Burgenland 2023a, 2023b) Die Lage ist in allen Bundesländern unterschiedlich. Beispielsweise wurde in der Steiermark das Sachprogramm PV angekündigt. Das Interview mit einem Netzbetreiber, hat gezeigt, dass es hier verstärkte Zusammenarbeit zwischen den Materien geben soll, denn sie warten auf das Programm, um den Netzausbau zu koordinieren. Die Netze sollen als Erstes dort verstärkt werden, wo es in Zukunft die höchste Erzeugungsleistung gibt. (vgl. Taljan 2022) Neben PV müssen auch die Potenziale von anderen Energieformen erhoben werden. Auch hier gibt es beispielsweise im Burgenland Windkraft-Eignungszonen und in der Steiermark das Sachkonzept Windenergie, mit Ausschluss, Vorrang und Eignungszonen. Besonders in westlichen Bundesländern gibt es noch Aufholpotenzial. Ein erster Schritt zur Verbesserung wurde in Salzburg gemacht, wo im neuesten Landesentwicklungsprogramm aus dem Jahr 2022 elf Vorrangzonen für die Nutzung von Windenergie geschaffen wurden. Für die Erreichung der Energieziele sind diese jedoch nicht ausreichend. (vgl. IG Windkraft 2023)

Mit **Energieraumplänen** auf kommunaler und regionaler Ebene können IST und SOLL von Energiethemen erhoben werden. Diese sollen für jede Gemeinde erstellt werden, als Zusatz zum Örtlichen Entwicklungskonzept (ÖEK). Auf regionaler Ebene ist es Teil von regionalen Entwicklungskonzepten (REK), wodurch gemeindeübergreifende Potenziale abgebildet und mit KEM-Inhalten abgestimmt werden können. Die Erstellung von Energieraumplänen ist noch nicht in jedem Bundesland verpflichtend. In Niederösterreich schon seit der Novelle des Raumordnungsgesetzes. Der Landesentwicklungsplan des Burgenlands schreibt landesweite, regionale und kommunale Energiekonzepte vor. Die Grundlage für die Ziele, die im Energieraumplan dargestellt werden, bilden überörtliche Vorgaben, wie Vorrangzonen. Im Abschnitt SOLL werden Ausbaupotenziale, um den Bedarf zu decken, aufgezeigt. Energieraumpläne sind relevant für Energiegemeinschaften, da Gemeinden und Regionen die häufigsten Initiator:innen sind und der Ausbau von erneuerbaren Energien, durch die Gemeinschaften vorrangig auf kommunaler und regionaler Ebene stattfindet. Die Energieraumpläne bieten detaillierte Grundlagen, auf die sich die Initiator:innen stützen können. Neben Erzeugungspotenzialen, kommen auch Themen, wie Fernwärmeausbaubereiche, Potenziale für die Nutzung von Abwärme und die Nahbereichsauskunft vor. (vgl. ÖROK 2014, S. 29, 45; Becker et al. 2021, S. 95)

Im Zuge der Flächenwidmung gilt es **Flächen** für Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie **freizuhalten** und die genauen Standorte festzulegen. Die Grundlagen bilden Vorrangzonen und die Energieraumplanung. Je nach Bundesland gibt es entweder bestimmte Widmungsarten für erneuerbare Energien oder es werden Sondernutzungen vergeben. Ein Mangel ist, dass dies noch nicht in jedem Bundesland gemacht wird. Bei PV-Anlagen sollen zuerst bereits versiegelte Flächen für den Ausbau genutzt werden. Für PV-Freiflächenanlagen gibt es die Widmung Grünland-Photovoltaikanlage bzw. Grünland-Solaranlage in Niederösterreich, Burgenland, Kärnten und Salzburg. Die anderen Bundesländer nutzen Sonderwidmungen, wie Grünlandsonderwidmung in Oberösterreich und Freifläche Sondergebiet Photovoltaikanlage in Vorarlberg. Bei Windkraft gibt es noch mehr Defizite. In Niederösterreich und im Burgenland gibt es spezifische Windkraft Widmungen. In der Steiermark und in Oberösterreich Sonderwidmungen. Andere Bundesländer haben noch

keine Widmungen und der Ausbau wird erschwert, durch z.B. eine Sichtbarkeitsverordnung in Kärnten, durch welche Windräder aus bis 25 km Entfernung nicht sichtbar sein dürfen. (vgl. Wien Energie 2023)

Die **Funktionsmischung** kann einen positiven Beitrag zur Diversität von Energiegemeinschaften haben. Wenn Wohnen, Arbeit, Versorgung und öffentliche Einrichtungen in räumlicher Nähe sind, können sich die Lastprofile durch verschiedene Verbrauchsspitzen ergänzen. Im Wärmesektor kann durch die Mischung die kaskadische Wärmenutzung ermöglicht werden, bei der zuerst Verbraucher:innen, die höhere Temperaturen brauchen, versorgt werden. Danach folgen schrittweise Verbraucher:innen, die geringere Temperaturen brauchen, bis zu Privathaushalten. Die Funktionsmischung ist in urbanen Gebieten am höchsten, dafür gibt es weniger Möglichkeiten für die Stromerzeugung. In suburbanen und ruralen Gebieten gibt es weniger Mischung, dafür mehr Erzeugungspotenziale. Anders ist bei gemeinschaftlichen Lösungen im Wärmesektor. Hier gibt es in dichter bebauten Gebieten mehr Chancen für grundstücksübergreifende Wärmelösungen. (ÖROK 2014, S. 20–21)

Durch **kompakte, energieeffiziente Siedlungsstrukturen** können ebenfalls mehr Potenziale innerhalb von Energiegemeinschaften ausgeschöpft werden. Durch festgelegte Siedlungsgrenzen kann eine effizientere Nutzung von leitungsgebundener Energieversorgung ermöglicht werden. Es gibt geringere Transportverluste und gemeinschaftliche Lösungen sind einfacher realisierbar. Bebauungsdichte und Bauform können einen Einfluss auf die Energieeffizienz haben, da der Wärmebedarf pro Flächeneinheit bei höherer Dichte geringer ist. Mögliche Wärmeverluste sind abhängig von der Substanz der Gebäude. Bei Neubauten können energetische Standards von Beginn an erfüllt werden, z. B. durch Plusenergiegebäude. In Wien gibt es seit der Novelle der Bauordnung 2018 Gebiete mit Energieraumplänen oder auch Klimaschutzgebieten. Sie sind nicht vergleichbar mit der Energieraumplanung auf kommunaler und regionaler Ebene, sondern sind Ausweisungen von Gebieten, die eine ausreichende Versorgung durch Fernwärme haben. Wenn beim Bau eines neuen Gebäudes in dem Bereich nicht Fernwärme genutzt wird, sind nur bestimmte andere Arten, wie Wärmepumpen, Kraft-Wärme-Kopplung und andere dezentrale Energieversorgungsarten aus erneuerbaren Energien, erlaubt. Im Bestand kann ein Beitrag zur Energieeffizienz durch thermische Sanierungen geleistet werden. Die Herausforderungen im Bestand sind größer, da z. B. der Denkmalschutz eine Rolle spielt. Dadurch kann nicht auf jedem Dach eine PV-Anlage errichtet werden und der Umstieg von einer fossilen zu einer erneuerbaren Wärmeversorgung kann größere Umbauarbeiten hervorrufen. (vgl. Giffinger et al. 2021, S. 25, 34; ÖROK 2014, S. 24, 55)

Bei der **Planung von neuen Quartieren** können Energiegemeinschaften von Beginn an miteingeplant werden. Dies ist eine große Chance für Energiegemeinschaften in urbanen Bereichen, wo es neben Strom auch das Potenzial gibt, Wärme zu integrieren. (vgl. Stefan 2022) Ein Beispiel ist das Klimaschutzquartier Village im Dritten, welches bis 2027 fertiggestellt sein soll. Ziel ist es, möglichst viel Energie vor Ort zu erzeugen. Die Bebauungsstrukturen sind auf die höchste Energieeffizienz ausgelegt und durch Nutzungsmischung sollen sich die Verbrauchsspitzen ergänzen. Aktuell werden 500 Erdwärmesonden für das größte Anergienetz Österreichs eingebaut. Außerdem wird Gebäudeabwärme genutzt und PV-Anlagen auf allen Dächern errichtet. Damit die Bewohner:innen durch niedrigere Energiekosten profitieren können, wird eine Energiegemeinschaft gegründet. Erfahrungen aus dem Projekt P2PQ sind in die Planung eingeflossen. Ob die Blockchain-Technologie ebenfalls genutzt werden soll, ist nicht bekannt. (vgl. Wien Energie o. J.b)

Die **Partizipation** spielt bei Energiegemeinschaften eine Rolle, da Projekte gemeinsam durch die Teilnehmer:innen realisiert werden können. Beteiligung führt zu Akzeptanz und Probleme können frühzeitig erkannt werden. Gemeinsam mit **bewusstseinsbildenden Maßnahmen** kann der lokale und regionale Beitrag zur Energiewende gestärkt werden. Gemeinden

und KEM-Regionen können hier leitende Akteur:innen sein und zielgruppenspezifische Informationen für die Bevölkerung bereitstellen. Durch die Kommunikation der Energieraumpläne und Inhalte der LandesGIS nach außen können die Potenziale anschaulich aufgezeigt werden. Österreichweit kann die Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften einen maßgeblichen Beitrag zur Bewusstseinsbildung für Energiegemeinschaften beitragen. Beispielsweise können Vorzeigeprojekte aufbereitet werden und Maßnahmenkataloge, wie Tabelle 29 für die Raumplanung, für verschiedene Materien erstellt werden (vgl. ÖROK 2021, S. 86, 95, 134; Herold 2023)

Es gibt eine Vielzahl an **Förderungen**, die Aspekte von Energiegemeinschaften betreffen. Im folgenden Absatz werden ausgewählte Beispiele genannt. Direkt auf Energiegemeinschaften bezogen ist die Förderung des Klima- und Energiefonds für innovative Energiegemeinschaften (siehe Kapitel 3.3). Investitionszuschüsse für Anlagen können über das EAG erfolgen. Dafür gibt es die EAG-Abwicklungsstelle, mit einem Kalender, der anzeigt, wann welche Förderung offen ist. Förderungen gibt es für PV-Anlagen, Windkraft, Wasserkraft und Biomasse. Allein für PV-Anlagen werden 2023 600 Millionen Euro bereitgestellt, um den Ausbau anzukurbeln. Innovative Anlagen, wie Agri-PV oder gebäudeintegrierte Anlagen, erhalten einen weiteren Zuschlag. Weitere Förderungen gibt es z. B. über KEMs oder e5-Gemeinden. Geförderte Forschungsprojekte sind hier ebenfalls zu erwähnen, da sie einen großen Beitrag zur Weiterentwicklung von Energiegemeinschaften haben können. (vgl. BMK 2023; EAG Abwicklungsstelle o. J.)

11.3 Zwischenfazit

Die Raumplanung kann mit verschiedenen Planungsmaßnahmen Energiegemeinschaften in Richtung der Vision bringen. Einer der größten Einflussbereiche ist der Beitrag zum Ausbau von erneuerbaren Energien. Durch die Bereitstellung von Grundlagenmaterialien kann aufgezeigt werden, wo es Erzeugungspotenziale gibt. Am Beispiel von PV-Anlagenkann dies von landesweiten Sachprogrammen mit Eignungszonen bis zu Solarpotenzialkatastern auf Gebäudeebene reichen. Da Gemeinden und Regionen die häufigsten Initiator:innen sind, sind flächendeckende Energieraumpläne, die IST und SOLL darstellen, hilfreich. Die Flächenwidmung ist relevant für die Freihaltung von Flächen für Erzeugung, Speicherung und Transport. Außerdem gilt es Nutzungskonflikte zu vermeiden. Die Umsetzung von größeren Erzeugungsanlagen kann durch Genehmigungen verzögert werden. Ein wichtiger Schritt dies zu verbessern ist die im März 2023 beschlossene Novelle des UVP-Gesetzes. Dadurch können Genehmigungen von Vorhaben der Energiewende beschleunigt werden. Für den Aspekt des zellulären Systems können sowohl Planungsmaßnahmen auf Gebäudeebene als auch die Stärkung der kommunalen und regionalen Ebene zählen. Die Zellularität entsteht, wenn es viele räumlich verteilte Energiegemeinschaften gibt, die Einheiten im Kontext des gesamten Energiesystems bilden.

Für die Sektorkopplung und Versorgungssicherheit spielen v. a. die baulichen Strukturen eine Rolle. Durch Funktionsmischung und kompakte Bebauung können leitungsgebundene Energieträger effizienter genutzt werden und es gibt geringere Verluste. Beim Stromverbrauch ergänzen sich die Lastprofile von Nutzer:innengruppen, die ihre Lastspitzen zu unterschiedlichen Tageszeiten haben. Zur Versorgungssicherheit zählt auch der oben beschriebene Ausbau von erneuerbaren Energien auf lokaler und regionaler Ebene. Durch Neubau und Sanierungen kann der Energiebedarf reduziert und die Effizienz erhöht werden. Wärme in Energiegemeinschaften betrifft v. a. kleine lokale und regionale Systeme. Im Stromsektor sind Energiegemeinschaften als Teil des gesamten Systems zu sehen. Ihre Rolle für die Bereitstellung von Flexibilitäten kann Auswirkungen auf die Stabilität des Netzes haben. Dadurch gibt es auch Anforderungen an den Ausbau der Verteilnetze, sowohl räumlich als

auch durch intelligente Digitalisierungsmaßnahmen. Für Mitglieder von Energiegemeinschaften braucht es eine Versorgung mit ausreichender Breitbandinfrastruktur, sodass digitale Prozesse innerhalb von Energiegemeinschaften reibungslos ablaufen können.

Der Aspekt der Heterogenität ist von der Seite der Raumplanung v. a. durch bauliche Strukturen und verschiedene Erzeugungsanlagen realisierbar. Neue Stadtentwicklungsgebiete bieten das Potenzial, Energiegemeinschaften von Beginn an einzuplanen. Dadurch kann innerhalb von dichter bebauten Gebieten Strom und Wärme möglichst lokal durch diverse Teilnehmer:innen genutzt werden. Um Gründung und Wachstum einer Energiegemeinschaft zu vereinfachen, ist die Verortung von Energiegemeinschaften und die erleichterte Nahbereichsauskunft relevant. Für die Erreichung der Klimaziele braucht es Ausbau in jedem Bundesland. Neben der gesetzlichen Festlegung von Zielen kann durch Energiegemeinschaften dazu beigetragen werden, dass mehr durch bottom-up Prozesse passiert. Durch die Nutzung von lokalem Wissen, Bewusstseinsbildung und Partizipation kann die Akzeptanz der Energiewende gesteigert werden.

Die kommunale und regionale Ebene ist wichtig in Bezug auf Energiegemeinschaften: zum einen als Initiator:innen und zum anderen als räumliche Komponente. Die Umsetzung von Maßnahmen auf diesen zwei Ebenen hat Einfluss darauf, wie groß der Beitrag von Energiegemeinschaften zur Energiewende ist. Sie haben jedoch nicht die alleinige Verantwortung, sondern sind abhängig von Datengrundlagen, Programmen und Rechtsrahmen auf Landes- und Bundesebene. Der Erfolg von Energiegemeinschaften ist nicht nur von der Raumplanung abhängig, sondern von einem Zusammenspiel aus verschiedenen Materien, welche dazu beitragen können, Energiegemeinschaften zu optimieren. Es bedarf mehr Zusammenarbeit mit anderen Akteur:innen, wie Netzbetreiber:innen. Es braucht kein Nebeneinander, sondern ein Miteinander, um Fehlplanungen zu vermeiden. Dadurch treffen mehr Interessen aufeinander, was den Koordinierungsaufwand erhöht. Aber wenn verschiedene Materien die Entwicklung von Energiegemeinschaften unterstützen, können sie innovativer werden und einen größeren Beitrag zur Energiewende leisten.

12

Schlussfolgerungen

12. Schlussfolgerungen

Im finalen Kapitel der Arbeit werden zuerst die einzelnen Sub-Forschungsfragen einzeln beantwortet. Danach folgt die zusammenfassende Beantwortung der Haupt-Forschungsfrage und ein Ausblick.

Beantwortung FF 1: Welche Blockchain-Anwendungsfälle gibt es weltweit und was sind deren soziale und technische Erfolgsfaktoren?

Die Blockchain-Technologie ist wohl am bekanntesten für ihren Einsatz bei Kryptowährungen. Sie hat auch einen Nutzen in anderen Bereichen, wie dem Energiesektor. Es können sechs Anwendungsfälle kategorisiert werden: Peer-to-Peer Handel, Großhandel, Zertifizierung, Systemdienstleistungen, E-Mobilität und Finanzierung und Tokenisierung. Sie sind nicht getrennt zu sehen, sondern kommen oft in Kombination vor. Viele der Projekte werden im Rahmen von Forschungsprojekten umgesetzt. Zusammengefasst wird die Blockchain-Technologie genutzt, um bestehende Prozesse zu verbessern oder abzulösen. Außerdem verändert sich die Rolle der Akteur:innen im Energiesektor und Prosumert:innen können sich aktiver beteiligen. Die häufigsten Anwendungen weltweit sind Peer-to-Peer Handel, Systemdienstleistungen und Finanzierung und Tokenisierung. Diese können auch in Energiegemeinschaften eine Funktion haben. Die meist genutzte Blockchain ist Ethereum. Danach folgen Energy Web Chain und Powerledger, welche spezifisch für Anwendungsfälle im Energiesektor sind. Die Anwendungen sind räumlich konzentriert auf Europa, Nordamerika und Australien. Der größte Boom an neuen Projekten fand 2017 und 2018 statt. Der Stromhandel zwischen Prosumert:innen im Rahmen von Brooklyn Microgrid wird als Urknall der Nutzung der Blockchain-Technologie im Energiesektor gesehen. Im Projekt wurde die Versorgungssicherheit verbessert und die lokale Gemeinschaft gestärkt.

Es werden viele Projekte gestartet und manchmal auch wieder verworfen. Es bleiben die übrig, welche sich durch ihre Erfolgsfaktoren auszeichnen. Die Erfolgsfaktoren, die durch die Nutzung der Blockchain-Technologie entstehen, spiegeln sich in ihren Eigenschaften wider. Sicherheit und Vertrauen ist trotz einer Vielzahl an Teilnehmer:innen gegeben. Es gibt keine Abhängigkeit von einer zentralen Instanz und die Daten sind vor Manipulationen geschützt. Durch Smart Contracts können Prozesse automatisiert werden. Handel, Verbrauchs- und Erzeugungsoptimierung und Abrechnungen funktionieren in kurzen Intervallen und sind transparent rückverfolgbar. Smart Meter sind essenziell, bei mehreren Projekten ist der Einbau von zusätzlicher Hardware notwendig gewesen. Die Optimierung der Nutzung von Echtzeitdaten und der Einbau von Prognosen tragen ebenfalls zum Erfolg bei.

Auf der sozialen Seite geht es v. a. darum, den Teilnehmer:innen Mehrwerte zu bieten. Die Technologie selbst ist im Hintergrund. Die Reduktion der Komplexität und Visualisierungen tragen zu einer einfachen Nutzung bei. Ein wichtiger Faktor, um eine breite Masse anzusprechen, sind finanzielle Vorteile durch die Teilnahme. Weiters sind Gemeinschaftlichkeit, Transparenz, Versorgungssicherheit und der Beitrag an der Energiewende Beweggründe. Es ist von Vorteil, wenn es im Projektgebiet bereits Erzeugungsanlagen und weitere Energieinfrastrukturen gibt. Außerdem ist es hilfreich, wenn die Bevölkerung bereits sensibilisiert ist. Ein großer Vorteil entsteht durch die Planung und Umsetzung mit Partizipation. Dies führt zu Akzeptanz und früher Fehlererkennung.

Beantwortung FF 2: Welche Rahmenbedingungen gibt es für die Umsetzung von Energiegemeinschaften mit Blockchain in Österreich?

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für Energiegemeinschaften bilden das EAG und das EIWOG. Auf Grundlage des Clean Energy for all Europeans Package wurden sie 2021 in nationales Recht umgesetzt. Darin ist die mögliche Ausgestaltung von EEGs und BEGs festgelegt. Beide Arten können Energie erzeugen, verbrauchen, speichern und verkaufen. Außerdem dürfen sie Energiedienstleistungen erbringen. Der finanzielle Gewinn ist nicht im Vordergrund, sondern ökologische, wirtschaftliche und sozialgemeinschaftliche Vorteile. Die zwei Arten von EEGs sind durch den Nahbereich begrenzt, während BEGs ab Juli 2023 österreichweit umsetzbar sind. BEGs sind auf elektrische Energie beschränkt. Bei EEGs sind verschiedene erneuerbare Energien erlaubt und die möglichen Teilnehmer:innen sind begrenzt. Österreich ist ein Vorreiter bei der Umsetzung von Energiegemeinschaften und das erste Land, welches ab 2024 die Mehrfachteilnahme an bis zu fünf Energiegemeinschaften ermöglicht. Dadurch steigen die Komplexität und die Anforderungen an digitale Tools.

Ein Defizit bei Energiegemeinschaften ist, dass der Fokus auf dem ländlichen Raum, Strom und PV liegt. In städtischen Gebieten gibt es andere Rahmenbedingungen durch die Netzebenen und andere bauliche und soziale Strukturen. Dennoch gibt es in dichter bebauten Gebieten Potenziale für die Integration von Wärme in Energiegemeinschaften. Es fehlen jedoch noch Vorzeigeprojekte. Außerdem gilt es, die Erzeugung zu diversifizieren, mit z. B. Windkraft und Kleinwasserkraft. Eine bremsende Wirkung auf die Gründung von Energiegemeinschaften haben die aktuell größtenteils ausgesetzten finanziellen Vorteile. Da Energiegemeinschaften ein neues Thema sind, stehen die betroffenen Akteur:innen, v. a. Netzbetreiber:innen, vor vielen neuen Aufgaben. Die Gründung ist ein bürokratischer Aufwand für die Gemeinschaft. Deshalb braucht es Initiator:innen, die dahinter sind. Außerdem braucht es Dienstleister:innen, welche innovative Lösungen in die Breite tragen können.

Die Blockchain-Technologie kann in Energiegemeinschaften für Integration von Prosument:innen, Transparenz, Sicherheit, Automatisierung, faire Energieverteilung, Nachvollziehbarkeit der Transaktionen und Handel eingesetzt werden. Die Nutzung der Blockchain in Energiegemeinschaften wird rechtlich nicht spezifisch geregelt. Die österreichische Bundesregierung ist grundsätzlich offen gegenüber Innovationen mit Blockchain in verschiedenen Sektoren. Da es ein neues Thema ist, gibt es Forschungsprojekte, um Herausforderungen und Rahmenbedingungen zu erfassen. Anwendungen können gemeinsam mit Nutzer:innen in realem Umfeld getestet werden. Die Umsetzung von Energiegemeinschaften mit Blockchain in der Praxis hat im Laufe der Diplomarbeitserstellung begonnen. Im gesamten Burgenland gibt es Energiegemeinschaften, die eine Plattform nutzen, über die alle Schritte optimiert, digitalisiert und automatisiert werden. Die energiewirtschaftlichen Prozesse und Abrechnungen erfolgen über eine Blockchain. Eine der größten Problemstellungen bei der Umsetzung von Energiegemeinschaften mit Blockchain ist die Akzeptanz. Da es sich um eine weniger verbreitete Technologie handelt, sind Nutzer:innen oft skeptisch. Weitere Rahmenbedingungen sind die Skalierbarkeit, Interoperabilität, Standardisierung und die Einhaltung des Datenschutzes.

Die Nutzung der Blockchain-Technologie ist dann relevant, wenn die Energiegemeinschaft viele Teilnehmer:innen hat. Dadurch gibt es auch mehr Erzeugungsanlagen und mehr einzelne Transaktionen zwischen den Mitgliedern der Energiegemeinschaft. Für BEGs eignet sich die Blockchain-Technologie immer. Bei regionalen EEGs ist es abhängig von der Größe. Für lokale EEGs hat die Nutzung die geringste Relevanz.

Beantwortung FF3: Welche Arten von Energiegemeinschaften gibt es und mit welchen Maßnahmen kann die Raumplanung diese als Beitrag zu Energiewende unterstützen?

Es gibt verschiedene Methoden, um Energiegemeinschaften einzuteilen. Mit Stand Ende Februar 2023 gibt es 290 EEGs und 10 BEGs. Es gibt ein schnelles Wachstum an EEGs. BEGs entwickeln sich noch langsamer, aber dies kann sich ändern, sobald sie sich im Sommer 2023 über mehrere Netzgebiete erstrecken können. Lokale EEGs haben durch die Nutzung der Netzebenen 6-7 die größte räumliche Beschränkung. Regionale EEGs haben mit den Netzebenen 4-7 einen größeren Spielraum. Die maximale Ausdehnung kann einen Zusammenschluss von mehreren Gemeinden umfassen. Bei BEGs ist von kleinster Ebene bis zu österreichweiten Projekten alles möglich. Besonders in dicht bebauten Gebieten können in der Umgebung mehrere Netzgebiete liegen. Sieht man sich Energiegemeinschaften sortiert nach der Anzahl der Teilnehmer:innen an, ist erkennbar, dass es viele kleine, mit weniger als 10 Mitgliedern gibt. Das stärkste Wachstum haben Energiegemeinschaften mit 100 – 1.000 Teilnehmer:innen. Dies ist ein Zeichen dafür, dass sie allmählich eine breite Masse erreichen. Der Verein ist die häufigste Organisationsform von Energiegemeinschaften, gefolgt von Genossenschaften.

Teilt man Energiegemeinschaften nach ihren Initiator:innen ein, sind nachbarschaftliche Modelle die kleinsten. Bei ihnen schließen sich Personen zusammen, die in der Nachbarschaft wohnen. Oft handelt es sich um Einfamilienhäuser in Kombination mit PV-Anlagen. Von KMUs aus gibt es wenige Energiegemeinschaften. Es sind Unternehmen mit Erzeugungsanlagen, die Strom außerhalb der Betriebszeiten an Verbraucher:innen in der Umgebung abgeben. In Quartieren sind Energiegemeinschaften ebenfalls noch nicht oft vertreten. Es bestehen Potenziale durch sich ergänzende Lastprofile und die Integration von Wärme. Durch die Gemeinde initiierte Energiegemeinschaften gehören zu der häufigsten Art. Es entstehen Vorteile durch die Nutzung von gemeindeeigenen Gebäuden und den verfügbaren Flächenpotenzialen für den Ausbau von größeren Erzeugungsanlagen. Die Bereitstellung von Energie für die Bevölkerung kann als Teil der lokalen Nahversorgung gesehen werden. Regionen haben ähnliche Potenziale, da es sich um eine Kombination von Gemeinden mit energetischem Zusammenhang handelt. Bestehende Modelle, wie KEM-Regionen, haben gute Voraussetzungen. Noch kaum existent sind überregionale Energiegemeinschaften. Sie haben das Potenzial für BEGs und die österreichweite Vermarktung von Strom. Die Arten der Einteilung haben keine trennscharfen Grenzen, da es keine Standardausführung einer Energiegemeinschaft gibt. Für lokale Herausforderungen gibt es passende lokale Lösungen.

Wenn die Maßnahmen aus Tabelle 29 umgesetzt werden, kann die Raumplanung Energiegemeinschaften bei ihrem Beitrag zu Energiewende unterstützen. Dies betrifft v. a. den Ausbau von Erzeugungsanlagen und die Zunahme an innovativen Energiegemeinschaften. Die Umsetzung erfolgt in folgender Rollenverteilung der Verwaltungsebenen: Die Bundesebene gibt die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Ausgestaltungen von Energiegemeinschaften vor. Außerdem ist die Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften bundesweit für Information und Beratung zuständig. Auf Landesebene werden Grundlagenmaterialien bereitgestellt. Dies betrifft Sachkonzepte und Landeskonzepte zu Energie. Zusätzlich gibt es Konzepte für einzelne Erzeugungsarten, zur Verortung der bestmöglichen Erzeugungspotenziale mit Vorrangzonen. Ein niederschwelliger Zugang zu Grundlagen kann über das jeweilige LandesGIS ermöglicht werden. Dies ermöglicht auch Privatpersonen in Energiegemeinschaften an Informationen zu kommen. Besonders hervorzuheben ist der Sozialpotenzialkataster für Gebäude und Freiland, für erste Abschätzungen der Erzeugungsleistung und die Nahbereichsauskunft, um Energiegemeinschaften in der Umgebung zu finden. Gemeinden und Regionen sind die aktivsten Akteur:innen bei der Gründung von Energiegemeinschaften. Eine flächendeckende

Energieraumplanung liefert Informationen über den Ist-Zustand und zeigt auf, wo noch Potenziale umsetzbar sind. Ein neuer Layer in Energieraumplänen ist die Nahbereichsauskunft über lokale und regionale EEGs. Da die Vollziehung der örtlichen Raumplanung im Wirkungsbereich der Gemeinde liegt, kann dadurch viel für Energiegemeinschaften auf dieser Ebene gemacht werden. Flächen können für Energieerzeugung, Speicherung und Verteilung freigehalten werden. Energiegemeinschaften können durch funktionsgemischte, kompakte Bebauung optimiert werden. Bei Stadtentwicklungsgebieten ergibt sich das große Potenzial Energiegemeinschaften von Beginn an miteinzuplanen. Auf Gebäudeebene kann die Energieeffizienz durch beispielsweise thermische Sanierungen und energetische Standards bei Neubauten verbessert werden. Maßnahmen, die alle Ebenen betreffen sind Förderungen, Partizipation und Bewusstseinsbildung.

Beantwortung der Hauptforschungsfrage: Wie kann die Blockchain-Technologie für die Gründung und den Betrieb von Energiegemeinschaften genutzt werden und welche Rolle spielt die klimawandelgerechte Raumplanung dabei?

Sowohl die Blockchain-Technologie als auch die Raumplanung können einen Einfluss auf die Optimierung von Energiegemeinschaften haben. Die Blockchain bildet den technischen Hintergrund für Organisation und Ausführung von Prozessen innerhalb der Energiegemeinschaft. Durch die Nutzung von Plattformen kann die Komplexität reduziert und der bürokratische Aufwand minimiert werden. Es gibt eine geringere anfängliche Hürde, wodurch eher neue Teilnehmer:innen beitreten. Für die Gründung können alle Verträge an einem Ort gesammelt werden. Beitritt, Ausstieg und Wechsel zwischen Energiegemeinschaften werden für Nutzer:innen der Plattform vereinfacht. Im Betrieb wird die Blockchain-Technologie für ein automatisiertes Energiemanagement von regionalen, dezentralen Energiezellen genutzt. Prosument:innen können eine aktive Rolle im Energiesektor einnehmen. Mit Smart Contracts wird Verteilung von Energie, Handel und die Bereitstellung von Flexibilitäten geregelt. Alle Transaktionen werden auf der Blockchain gespeichert und sind öffentlich einsehbar. Dadurch sind die Energieflüsse und die Abrechnungen manipulationssicher und nachvollziehbar. Die Nutzung der Blockchain-Technologie in Energiegemeinschaften eignet sich v. a. dann, wenn es viele Teilnehmer:innen gibt.

Durch Maßnahmen der Raumplanung kann in Energiegemeinschaften nicht nur ein bilanzieller Ausgleich in Zellen stattfinden, sondern auch ein Infrastrukturausbau. Die Maßnahmen können einen Beitrag zu energieeffizienten Strukturen haben und können für eine optimale Ressourcennutzung sorgen. Der Ausbau von erneuerbaren Energien kann durch die Bereitstellung von Grundlagenmaterialien unterstützt werden. Durch Erhebung und Darstellung von Erzeugungspotenzialen können Vorrangzonen ausgewiesen werden. Aber auch auf Gebäudeebene ist das Solarpotenzial darstellbar, was besonders für Energiegemeinschaften relevant ist. Basierend auf den Grundlagen können Flächen für Energieerzeugung, Speicherung und Verteilung freigehalten werden. Mit einer flächendeckenden Energieraumplanung können IST und SOLL auf kommunaler und regionaler Ebene dargestellt werden. Durch Verortung der Nahbereiche als Layer in Energieraumplänen und im LandesGIS kann das Finden von Energiegemeinschaften in der Umgebung erleichtert werden. Eine Optimierung erfolgt auch durch Funktionsmischung und kompakte Siedlungsstrukturen. Quartiersentwicklungskonzepte bieten das Potenzial Energiegemeinschaften von Beginn an einzuplanen und den Wärmesektor zu integrieren. Die Maßnahmen werden ergänzt durch Förderungen, Bewusstseinsbildung und frühzeitige Partizipation. Es braucht eine Abstimmung zwischen den verschiedenen Planungsebenen für die Erreichung der Ausbauziele. Die Kooperation mit anderen Akteur:innen, wie Netzbetreiber:innen, ist hilfreich für einen bestmöglichen Beitrag zur Energiewende.

Reflexion und Ausblick

Die Diplomarbeit deckt ein umfangreiches Spektrum an Themen aus den Bereichen Blockchain, Energiewirtschaft und Raumplanung ab. Die allgemeineren Teile am Beginn der Arbeit bilden einen Überblick über die Ausgangslage und sind ein wichtiger Einstieg, um Grundwissen für den Rest der Arbeit aufzubauen. Eine globale Analyse von Blockchain-Anwendungsfällen im Energiesektor in dem Ausmaß der Arbeit ist bis dato nicht erstellt worden. Es gibt zwar Berichte zu den verschiedenen Anwendungsarten, jedoch sind diese weniger umfangreich hinsichtlich der quantitativen Ausprägungen. Der hohe Aufwand hat gezeigt, dass man über den Abschnitt selbst eine gesamte Arbeit mit einem höheren Detaillierungsgrad füllen könnte. Durch die Good-Practice-Analyse ist es gelungen, einen Ausschnitt genauer zu analysieren. Die Methode für die Bewertung der Faktoren wurde selbst entwickelt und nutzt die Häufigkeit der Erfolgsfaktoren als Einteilung. In diesem Fall kann das Bewertungsergebnis abhängig von der Wahl der Projekte sein.

Die Beantwortung der zweiten und dritten Forschungsfrage hat besonders von den Interviews und der Gesprächsfreudigkeit der Experten profitiert. Damit war es möglich, an Hintergrundinformationen zu kommen, die durch Recherchen nicht erreichbar sind. Es ist gelungen, mit Personen aus möglichst vielen Fachrichtungen zu sprechen. Diese Erfahrungen aus der Praxis haben v. a. bei der Erstellung des Maßnahmenkatalogs geholfen. Ein weiteres Interview mit Energie Kompass wäre noch interessant gewesen, für Praxiserfahrungen mit Blockchain in Energiegemeinschaften. Jedoch ist durch fehlende Rückmeldungen keines zustande gekommen. Die qualitative Inhaltsanalyse konnte genutzt werden, um die Aussagen aus den Interviews zu strukturieren und bestmöglich in die Arbeit einzubauen.

Die Hauptforschungsfrage konnte aufbauend auf die Arbeit beantwortet werden und zeigt die Rolle der Blockchain-Technologie und der Raumplanung für Energiegemeinschaften auf. Da das Thema sehr breit ist, war es nicht möglich, jeden Teilbereich im gleichen Detaillierungsgrad darzustellen. Eine Herausforderung durch die Aktualität des Themas ist, dass es laufend neue Informationen gibt. Hier musste entschieden werden, ob neue Aspekte aufgenommen werden oder ob ab einem bestimmten Zeitpunkt der Ist-Zustand dargestellt wird.

Die Vielzahl an vorgeschlagenen Planungsmaßnahmen betreffen verschiedene Aspekte von Energiegemeinschaften. Es handelt sich um drei Arten von Maßnahmen: erstens welche, die in der Raumplanung bereits länger etabliert sind, wie Funktionsmischung oder kompakte Siedlungsstrukturen. Zweitens geht es um Themen der Energieraumplanung, die v. a. in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen haben, aber noch nicht in jedem Bundesland durchgeführt werden. Drittens werden neue Maßnahmen vorgestellt, die sich spezifisch auf Energiegemeinschaften fokussieren. Die Summe der Maßnahmen ergibt das Potenzial, Energiegemeinschaften immens zu optimieren. In der Praxis ist es jedoch nicht möglich alles auf einmal umzusetzen. Dafür wäre es interessant herauszufinden, wie groß der Beitrag der einzelnen Instrumente für Energiegemeinschaften bereits ist bzw. in Zukunft sein könnte. Dies ist wichtig, wenn Energiegemeinschaften möglichst schnell in ihrer Anzahl steigen sollen. Im Zuge dessen soll mit den richtigen Maßnahmen gewährleistet werden, dass es einen Beitrag zum Ausbau von erneuerbaren Energien gibt und Energiegemeinschaften nicht nur als innovatives Abrechnungsmodell genutzt werden.

In den nächsten Jahren wird sich zeigen, ob die Blockchain-Technologie von mehr Energiegemeinschaften genutzt wird. Die Grundvoraussetzungen für eine weitere Ausbreitung sind gegeben. Allein während der Entstehung der Arbeit hat sich in Österreich viel weiterentwickelt. Eine meiner ersten Überlegungen zu Beginn der Diplomarbeit war

die Idee einer Plattform, über die die gesamte Organisation von Energiegemeinschaften gebündelt werden kann. Dies wurde nun bereits durch team4energy umgesetzt. Zu erwähnen ist, dass die Blockchain nicht die einzige Lösung für Energiegemeinschaften ist. Weitere Dienstleister:innen nutzen andere Datenbanken oder geben die genaue Technologie im Hintergrund nicht preis. Zu nennen ist beispielsweise das oberösterreichische Unternehmen neoom, das sich auf dezentrale und zukunftssichere Energiesysteme spezialisiert. Es bietet eine Plattform für Energiegemeinschaften an und verkauft eigene PV-Anlagen und Speicher. Im Februar erhielt neoom ein Investment von 25 Millionen Euro, was die Relevanz von digitalen und technischen Entwicklungen für Energiegemeinschaften unterstreicht. (vgl. Pacher 2023)

Die Aktualität des Themas Energiegemeinschaften hat sich an der gut besuchten Konferenz für Energiegemeinschaften kurz vor der Abgabe der Diplomarbeit gezeigt. Bei den Vorträgen und Podiumsdiskussionen haben sich die Ergebnisse der Arbeit bestätigt. An der sehr emotionalen Podiumsdiskussion mit Leonore Gewessler (Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie), Barbara Schmidt (Generalsekretärin Oesterreichs Energie), Alfred Riedl (Präsident Österreichischer Gemeindebund) und Wolfgang Urbanitsch (Vorstand E-Control) war erkennbar, wie viele verschiedene Interessen aufeinander treffen.

In der Arbeit geht es oft um den Beitrag von Energiegemeinschaften zur Energiewende. Sie sind natürlich nicht die gesamte Lösung, sondern ein Puzzlestein der Energiewende. Ein wichtiger Aspekt ist die Erhöhung der Versorgungssicherheit, als Teil der lokalen und regionalen Versorgungssicherheit. Durch die Gemeinschaftlichkeit und die Beteiligung der Bevölkerung kann die Akzeptanz für den Ausbau von erneuerbaren Energien gesteigert werden. Somit können Energiegemeinschaften als Beschleuniger der Energiewende gesehen werden. Der Ausgleich innerhalb von Energiegemeinschaften ist jedoch nicht der einzige Beitrag zur Versorgungssicherheit. Da die Erzeugung ohne fossile Energien volatil ist, steigt die Relevanz von grenzüberschreitendem Austausch. So kommt z. B. Windenergie aus dem Norden Deutschlands, PV aus dem Süden und Österreich hat eine zentrale Rolle durch die Wasserkraft. Energiegemeinschaften sollen in dem Kontext in Zukunft auch einen Beitrag zur Stabilität durch das Anbieten von Flexibilitätsdienstleistungen haben. Das heißt, Energiegemeinschaften sollten nicht als Gegenmodell zum europäischen Netz gesehen werden, sondern als Puzzlestein im gesamten System.

Der Fokus von Energiegemeinschaften liegt aktuell noch im Stromsektor. In Zukunft gilt es, den Wärmesektor mehr zu inkludieren. Für eine breite Anwendung braucht es noch Forschung und Vorzeigemodelle, um aus den Erfahrungen zu lernen. Seitens der Klimaziele ist der Handlungsbedarf im Bereich der Wärme größer, da der Anteil an fossilen Energien um einiges höher ist als bei Strom. Das gleiche gilt für Energiegemeinschaften in Städten. Hier gilt es, Potenziale auszunutzen und bestmöglich umzusetzen. Immerhin lebt ein Großteil der österreichischen Bevölkerung in urbanen Gebieten und auch diese soll eine Chance haben, an Energiegemeinschaften teilzunehmen. Konzessionsgebietsübergreifende BEGs ab Sommer 2023 und die Mehrfachteilnahme ab 2024 werden die Entwicklung von Energiegemeinschaften weiter ankurbeln.

Der Erfolg von Energiegemeinschaften ist abhängig von einer Vielzahl an Akteur:innen. Allen voran braucht es Initiator:innen, die motiviert dahinter sind. Sie schaffen es, das Modell in die Breite zu tragen und die Teilnehmer:innenzahlen zu steigern. Die in der Arbeit thematisierten Bereiche Raumplanung und Dienstleister:innen für Plattformen sind nicht die einzigen Bereiche, die einen Einfluss auf die Optimierung von Energiegemeinschaften haben. Besonders die Netzbetreiber:innen haben eine ausschlaggebende Rolle für den Betrieb von Energiegemeinschaften. Für Innovationen kann die Forschung einen großen Beitrag leisten. Einen Vorreiter in Europa bildet die Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften

als neutraler Ansprechpartner, für Beratung und Bereitstellung von Informationen. In den Ausbau von erneuerbaren Energien selbst fließt die Thematik des Fachkräftemangels und Lieferkettenprobleme ein. Das heißt, die Ideen und Konzepte sind vorhanden, aber es fehlen Arbeitskräfte, um diese in einem schnelleren Tempo umzusetzen.

Zuletzt gibt auch der politische Wille vor, wie schnell sich Energiegemeinschaften weiterentwickeln können. Das BMK ist sehr dahinter und ist offen, aus den ersten Praxiserfahrungen zu lernen. Beispielsweise wird aktuell das EIWOG überarbeitet, um den Handel von Energie zu vereinfachen. Weitere relevante Themen sind z. B. die UVP-G-Novelle und das angekündigte EABG. Letzteres betrifft Erzeugungs- und Netzinfrastruktur, die unter der UVP-Grenze liegt. Hier sollen konzentrierte Verfahren stattfinden, um die Energiewende zu beschleunigen. Genehmigungsverfahren für Wärmepumpen, PV und Speicher für Haushalte sollen innerhalb von maximal einem Monat abgeschlossen sein und für Windkraftanlagen innerhalb von maximal sechs Monaten. (vgl. Jaksch-Fliegenschnee 2023; Zwittering 2023, S. 1–2)

Die Zeiten multipler Krisen, wie Klimawandel, Energiekrise, Inflation und Krieg, haben zu einer größeren Auseinandersetzung mit Energie geführt und damit zu einer Beschleunigungswirkung der Energiewende. Umbrüche können als Chance genutzt werden. Durch den Anstoß des Wandels geht der Trend zu mehr PV-Anlagen und Speicher, um die Selbstversorgung zu erhöhen. Darüber hinaus entstehen soziale Innovationen, die auf lokale Herausforderungen reagieren. Gemeinschaften entwickeln eigenständig Lösungen, direkt in der Praxis, wodurch kleinräumige, selbstorganisierte Strukturen, wie Energiegemeinschaften, entstehen.

Verzeichnisse

Abkürzungen

Abbildungen

Tabellen

Rechtsquellen

Interviews

Literatur

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
APG	Austrian Power Grid AG
BEG	Bürgerenergiegemeinschaft
BMK	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
BGBI.	Bundesgesetzblatt
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CBECI	Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index
CCAF	Cambridge Centre for Alternative Finance
CEP	Clean Energy Package
CO₂	Kohlenstoffdioxid
DACH	Deutschland (D), Österreich (A), Schweiz (CH)
DAO	Dezentrale Autonome Organisation
DSGVO	Datenschutz-Grundverordnung
EABG	Erneuerbaren-Ausbau-Beschleunigungs-Gesetz
EAG	Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz
EDA	Energiewirtschaftlicher Datenaustausch
EEG	Erneuerbare-Energie-Gemeinschaft
EG	Energiegemeinschaft
EIWOG	Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz
E-Mobilität	Elektromobilität
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
EU	Europäische Union
GIS	Geografisches Informationssystem
GWh	Gigawattstunde
ICO	Initial Coin Offering
idF	in der Fassung
IoT	Internet of Things
KEM	Klima- und Energiemodellregion
KLAR!	Klimawandel-Anpassungsmodellregionen
KMU	Kleine- und mittlere Unternehmen
kV	Kilovolt
kWh	Kilowattstunde
kWp	Kilowattpeak
MWh	Megawattstunde
NFT	Non-Fungible Token
ÖEK	Örtliches Entwicklungskonzept
o. Ä.	oder Ähnliches
o. J.	ohne Jahr
OTC	over the counter
PoA	Proof-of-Authority
PoS	Proof-of-Stake
PoW	Proof-of-Work
PV	Photovoltaik
REK	Regionales Entwicklungskonzept
SDG	Sustainable Development Goal
S.	Seite
TWh	Terrawattstunde
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
u. a.	unter anderem
v. a.	vor allem
z. B.	zum Beispiel

Abbildungen

Abbildung 1:

Bruttoinlandsverbrauch, BMK 2022a

Abbildung 2:

Inländische Primärenergieerzeugung, BMK 2022a

Abbildung 3:

Bruttostromerzeugung, BMK 2022a

Abbildung 4:

Netzebenen, eigene Darstellung nach Merz 2019

Abbildung 5:

Energetischer Endverbrauch, BMK 2022a

Abbildung 6:

Fernwärmeerzeugung nach Energieträgern, BMK 2022a

Abbildung 7:

Die vier D's, eigene Darstellung

Abbildung 8:

Ausbau von erneuerbaren Energien bis 2030, eigene Darstellung nach Oesterreichs Energie o. J.

Abbildung 9:

Netzebenen der Energiegemeinschaften, eigene Darstellung

Abbildung 10:

Lokale und regionale EEG, eigene Darstellung nach Netz Burgenland o. J.

Abbildung 11:

Vertragliche Beziehungen, Geiger und Heidler 2022

Abbildung 12:

Einordnung Energiegemeinschaften, eigene Darstellung nach Becker et al. 2021

Abbildung 13:

Merkle-Tree, eigene Darstellung nach Fill und Meier 2020

Abbildung 14:

Merkle-Tree mit manipulierten Daten, eigene Darstellung nach Fill und Meier 2020

Abbildung 15:

Verschlüsselung, eigene Darstellung nach Fill und Meier 2020

Abbildung 16:

Unterschied Zentral - Dezentral – Verteilt, eigene Darstellung nach BDEW 2017

Abbildung 17:

Datenstruktur und Inhalte Block-Header

Abbildung 18:

Proof-of-Work, eigene Darstellung nach Corusa et al. 2020

Abbildung 19:

Proof-of-Stake, eigene Darstellung nach Corusa et al. 2020

Abbildung 20:

Proof-of-Authority, eigene Darstellung nach Corusa et al. 2020

Abbildung 21:

Grad der Zentralisierung, eigene Darstellung nach Schlatt et al. 2016

Abbildung 22:

Bitcoin Logo, Crypto Logos o. J.a

Abbildung 23:

Ethereum Logo, Crypto Logos o. J.c

Abbildung 24:

Tendermint Logo, Cosmos Network o. J.

Abbildung 25:

Hyperledger Logo, Hyperledger Foundation o. J.b

Abbildung 26:

Energy Web Chain Logo, Crypto Logos o. J.b

Abbildung 27:

Powerledger Logo, Crypto Logos o. J.d

Abbildung 28:

Kumulierter Energieverbrauch von Bitcoin, CCAF 2022

Abbildung 29:

Anwendungen der Blockchain, eigene Darstellung

Abbildung 30:

Topologie Brooklyn Microgrid, eigene Darstellung nach Mengelkamp et al. 2017

Abbildung 31:

Handel mit Enerchain, Merz 2019

Abbildung 32:

Grünstromindex, von Perfall 2017

Abbildung 33:

Die 4 D's der Blockchain-Anwendungen, eigene Darstellung

Abbildung 34:

Häufigkeit der Anwendungsarten, eigene Berechnung und Darstellung

Abbildung 35:

Blockchain, eigene Berechnung und Darstellung

Abbildung 36:

Zeitliche Verteilung der Anwendungsfälle, eigene Berechnung und Darstellung

Abbildung 37 - 42:

Neue Anwendungsfelder pro Anwendungsart, eigene Berechnung und Darstellung

Abbildung 43:

Aktive Anwendungsfälle, eigene Berechnung und Darstellung

Abbildung 44 - 51:

Verortung der zeitlichen Entwicklung, eigene Berechnung, erstellt mit Datawrapper

Abbildung 52 - 57:

Verortung der Anwendungsfälle, eigene Berechnung, erstellt mit Datawrapper

Abbildung 58:

Energiegemeinschaften pro Bundesland, eigene Berechnung und Darstellung

Abbildung 59:

Verortung der Energiegemeinschaften, eigene Berechnung, erstellt mit Datawrapper

Abbildung 60:

Rechtsformen, eigene Berechnung und Darstellung

Abbildung 61:

Teilnehmer:innen, eigene Berechnung und Darstellung

Abbildung 62:

Deutschkreutz, Burgenland Tourismus o. J.

Abbildung 63:

Druckerei Roser, Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften 2022a

Abbildung 64:

Grätzl Energie, Ender 2021

Abbildung 65:

Viertel Zwei, Value One o. J.

Abbildung 66:

Lilienfeld, Bezirk Lilienfeld o. J.

Abbildung 67:

Schnifis, Gemeinde Schnifis o. J.

Abbildung 68:

Wolfsberg, Pogacnik 2017

Abbildung 69:

Ollersdorf, Gemeinde Ollersdorf im Burgenland o. J.

Abbildung 70:

Großraming, Nationalparkgemeinde Großraming o. J.

Abbildung 71:

Nickelsdorf, Haider 2023

Abbildung 72:

KEM Elsbeere Wienerwald, Gemeinde Neulengbach o. J.

Abbildung 73:

Windpark Spörbichl, Gruber 2021

Abbildung 74:

Ebenen, eigene Darstellung

Abbildung 75:

Eignung der Blockchain für Energiegemeinschaften, eigene Darstellung

Abbildung 76:

Ausbau erneuerbare Energien, ©VectorMine - stock.adobe.com

Abbildung 77:

Mehrfachteilnahme, ©VectorMine - stock.adobe.com

Abbildung 78:

Sektorkopplung & Versorgungssicherheit, ©VectorMine - stock.adobe.com

Abbildung 79:

Digitalisierung, ©VectorMine - stock.adobe.com

Abbildung 80:

Heterogene Strukturen, ©VectorMine - stock.adobe.com

Abbildung 81:

Gemeinschaft, ©VectorMine - stock.adobe.com

Abbildung 82:

Person 1 ©VectorMine - stock.adobe.com

Abbildung 83:

Person 2, ©VectorMine - stock.adobe.com

Abbildung 84:

Person 3, ©VectorMine - stock.adobe.com

Tabellen

Tabelle 1:

Methodik und Aufbau der Arbeit, eigene Darstellung

Tabelle 2:

Unterschiede und Gemeinsamkeiten von EEGs und BEGs, eigene Darstellung nach E-Control o. J.b

Tabelle 3 - 26:

Ausgewählte Projekte, eigene Darstellung

Tabelle 27 - 28:

Erfolgsfaktoren, eigene Darstellung

Tabelle 29:

Maßnahmenkatalog, eigene Darstellung

Tabelle 30:

Kodierung IST, eigene Darstellung

Tabelle 31:

Kodierung SOLL, eigene Darstellung

Tabelle 32:

Kodierung Allgemein, eigene Darstellung

Rechtsquellen

Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz 2010 (EIWOG 2010) Bundesgesetz, mit dem die Organisation auf dem Gebiet der Elektrizitätswirtschaft neu geregelt wird, StF: BGBl. I Nr. 110/2010 idF BGBl. I Nr. 234/2022

Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz (EAG) Bundesgesetz über den Ausbau von Energie aus erneuerbaren Quellen, StF: BGBl. I Nr. 150/2021 idF BGBl. I Nr. 233/2022.

Systemnutzungsentgelte-Verordnung 2018 (SNE-V 2018) Verordnung der Regulierungskommission der E-Control, mit der die Entgelte für die Systemnutzung bestimmt werden, StF: BGBl. II Nr. 398/2017 idF BGBl. II Nr. 466/2022.

Interviews

Geiger, Konstantin; Hasselbring, Mika (2023): Experteninterview am 18.01.2023.

Heidler, Stephan (2023): Experteninterview am 12.01.2023.

Herold, Fionn (2023): Experteninterview am 18.01.2023.

Puchegger, Markus (2023): Experteninterview am 17.01.2023.

Stefan, Mark (2022): Experteninterview am 01.12.2022.

Taljan, Gregor (2022): Experteninterview am 02.12.2022.

Literatur

7Energy-DAO (2022): Was ist die 7Energy Bürger-Energiegemeinschaft? Online verfügbar unter <https://docs.7energy.at/>, zuletzt geprüft am 20.02.2023.

Ableitner, Liliane; Bättig, Irene; Beglinger, Nick; Brenzikofer, Alain; Carle, Gian; Dürr, Christian et al. (2020): Community energy network with prosumer focus. Quartierstrom (Proposal entitled: „PowerID“). Online verfügbar unter <https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=66041&Load=true>, zuletzt geprüft am 12.09.2022.

Agora Energiewende (2017): Energiewende und Dezentralität. Zu den Grundlagen einer politisierten Debatte. Online verfügbar unter https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2016/Dezentralitaet/Agora_Dezentralitaet_WEB.pdf, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Albersmann, Joachim; Dütsch, Gunther; Martin, Jule; Theile, Hannes; Erken, Emre; Kern, Dominik (2017): Die digitalisierte dezentrale Energieversorgung von morgen gestalten. Online verfügbar unter <https://www.pwc.de/de/energiwirtschaft/studie-gestaltungsmoeglichkeiten-energieversorgung.pdf>, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Albrecht, Simon; Reichert, Stefan; Schmid, Jan; Strüker, Jens; Neumann, Dirk; Fridgen, Gilbert (2018): Dynamics of Blockchain Implementation - A Case Study from the Energy Sector. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/323379759_Dynamics_of_Blockchain_Implementation_-_A_Case_Study_from_the_Energy_Sector, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Allhutter, Doris; Weber, Matthias; Bettin, Steffen; Brunner, Helfried; Kleinfurchnner, Julia; Krieger-Lamina, Jaro et al. (2022): Sichere Stromversorgung und Blackout-Vorsorge in Österreich. Entwicklungen, Risiken und mögliche Schutzmaßnahmen. Online verfügbar unter https://www.parlament.gv.at/ZUSD/PDF/Blackout_Versorgungssicherheit_Endbericht_200122_BF.pdf, zuletzt geprüft am 27.05.2022.

Anania, Alexi; Costello, Ash; Ferreira, Agata; Gonzales-Miranda, Sergio; Joshi, Amit; Mason, Jim et al. (2022): Smart Contracts. Online verfügbar unter https://www.eublockchainforum.eu/sites/default/files/reports/Smart-ContractsReport_Final.pdf, zuletzt geprüft am 16.11.2022.

Anderl, Michael; Bartel, Andreas; Frei, Elisabeth; Gugele, Bernd; Gössl, Michael; Mayer, Simone et al. (2022): Klimaschutzbericht 2022. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0816.pdf>, zuletzt geprüft am 08.02.2023.

Anderl, Michael; Zechmeister, Andreas; Geiger, Konstantin; Gugele, Bernd; Gössl, Michael; Haider, Simone et al. (2021): Klimaschutzbericht 2021. Wien (Report / Umwelt-

bundesamt, REP-0738). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0776.pdf>, zuletzt geprüft am 04.05.2022.

Andoni, Merlinda; Robu, Valentin; Flynn, David; Abram, Simone; Geach, Dale; Jenkins, David et al. (2019): Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118307184>, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

APG (o. J.): Funktioniert Stromversorgung nur europäisch? Online verfügbar unter <https://oesterreichsenergie.at/unser-strom/europaeisches-stromsystem>, zuletzt geprüft am 27.05.2022.

APG (2013): Masterplan 2030. Online verfügbar unter <https://www.apg.at/api/sitecore/projectmedia/download?id=40d1a748-c611-41c7-aefc-9bc110c75367>, zuletzt geprüft am 25.05.2022.

APG; VÜN (2021): Netzentwicklungsplan 2021. Online verfügbar unter <https://www.apg.at/de/Stromnetz/Netzentwicklung>, zuletzt geprüft am 02.05.2022.

Aretz, Astrid; Bost, Mark; Hirsch, Bernd (2016): Prosumer für die Energiewende (2). Online verfügbar unter <https://www.oekologisches-wirtschaften.de/index.php/oew/article/view/1477/1448>, zuletzt geprüft am 05.05.2022.

Arslanian, Henri; Donovan, Robert; Blumenfeld, Matthew; Zamore, Anthony (2021): El Salvador's law: a meaningful test for Bitcoin. Online verfügbar unter <https://www.pwc.com/gx/en/financial-services/pdf/el-salvadors-law-a-meaningful-test-for-bitcoin.pdf>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Babilon, Linda; Battaglia, Manuel; Robers, Moritz; Degel, Melanie; Ludwig, Kathrin (2022): Energy Communities: Beschleuniger der dezentralen Energiewende. Mit digitalen Technologien auf dem Weg zu neuen Rollen im Energiesystem der Zukunft. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/dena-ANALYSE_Energy_Communities_Beschleuniger_der_dezentralen_Energiewende.pdf, zuletzt geprüft am 28.05.2022.

Balance Service Group (2017): GEN Y House: A New Era of Shared Energy. Online verfügbar unter <https://www.balanceservicesgroup.com.au/uploads/resources/Case-Study-WGV-Gen-Y-House.pdf>, zuletzt geprüft am 22.07.2022.

Bauknecht, Dierk; Vogel, Moritz; Funcke, Simon; Öko-Institut e.V. (2015): Energiewende – zentral oder dezentral. Diskussionspapier im Rahmen der Wissenschaftlichen Koordination des BMBF Förderprogramms: „Umwelt- und Gesellschaftsverträgliche Transformation des Energiesystems“. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/oekodoc/2368/2015-534-de.pdf>, zuletzt geprüft am

11.03.2022.

Baumann, Martin; Dolna-Gruber, Christoph; Goritschnig, Wolfgang; Pauritsch, Günter; Rohrer, Michael (2021): Klima- und Energiestrategien der Länder. Energie, Treibhausgasemissionen und die Kongruenz von Länder- und Bundeszielen. Online verfügbar unter https://www.energyagency.at/fileadmin/1_energyagency/projekte/bundeslaenderstudie_klima-_und_energiestrategien/04_igw-bl_vergleich_endbericht_final.pdf, zuletzt geprüft am 15.03.2023.

BDEW (2017): Blockchain in der Energiewirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.bdew.de/service/publikationen/blockchain-energiewirtschaft/>, zuletzt geprüft am 04.03.2022.

Becker, Sören; Klagge, Britta; Naumann, Matthias (Hg.) (2021): Energiegeographie. Eugen Ulmer KG. Stuttgart.

Bensberg, Frank; Gerth, Christian (2018): Potenziale von Blockchain 2.0 in der Energiewirtschaft - Analyse einer Applikation für einen lokalen Energiemarkt auf Basis von Smart Contracts. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/profile/Frank-Bensberg/publication/329894290_Potenziale_von_Blockchain_20_in_der_Energiewirtschaft_-_Analyse_einer_Applikation_fur_einen_lokalen_Energiemarkt_auf_Basis_von_Smart_Contracts/links/5c20e85a92851c22a3432a96/Potenziale-von-Blockchain-20-in-der-Energiewirtschaft-Analyse-einer-Applikation-fuer-einen-lokalen-Energiemarkt-auf-Basis-von-Smart-Contracts.pdf, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Berger, Daniel; Geiselhofer-Kromp, Nina (2022): Erneuerbare-Energie-Gemeinschaften für Unternehmen. Online verfügbar unter https://energiegemeinschaften.gv.at/wp-content/uploads/sites/19/2022/12/EEG-Ratgeber-KMU_15.12.pdf, zuletzt geprüft am 24.01.2023.

BEYOND Project (o. J.): BEYOND. Blockchain-based electricity trading for the integration of national and decentralized local energy markets. Online verfügbar unter <https://beyond-project.eu/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Bezirk Lilienfeld (o. J.): Lilienfeld. Online verfügbar unter <https://bezirkilienfeld.spo.e.at/>, zuletzt geprüft am 13.03.2023.

binance (2023): SolarCoin Price. Online verfügbar unter <https://www.binance.com/en/price/solarcoin>, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

Binance Adademy (2021): Tendermint Explained. Online verfügbar unter <https://academy.binance.com/en/articles/tendermint-explained>, zuletzt geprüft am 13.04.2022.

Bjarghov, Sigurd; Del Crespro Gradano, Pedro; Alonso Pedrero, Raquel (2020): D1.2: Addressing distribution grid challenges with local markets: A review. Online ver-

fügbare unter https://beyond-project.eu/wp-content/uploads/2021/11/Deliverable_local_markets_BEYOND-2.pdf, zuletzt geprüft am 08.07.2022.

BKA (2020): Aus Verantwortung für Österreich. Regierungsprogramm 2020-2024. Online verfügbar unter <https://www.bundeskanzleramt.gv.at/bundeskanzleramt/die-bundesregierung/regierungsdokumente.html>, zuletzt geprüft am 04.05.2022.

Blandin, Appoline; Pieters, Gina; Wu, Yue; Eisermann, Thomas; Dek, Anton; Taylor, Sean; Njoki, Damaris (2020): 3rd Global Cryptoasset Benchmarking Study. Online verfügbar unter <https://www.jbs.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2021/01/2021-ccaf-3rd-global-cryptoasset-benchmarking-study.pdf>, zuletzt geprüft am 06.04.2022.

BMK (2021): Energie in Österreich 2021. Zahlen, Daten, Fakten. Online verfügbar unter <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/zahlen.html>, zuletzt geprüft am 04.05.2022.

BMK (2022a): Energie in Österreich. Zahlen, Daten, Fakten. Online verfügbar unter <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/zahlen.html>, zuletzt geprüft am 03.02.2023.

BMK (2022b): Peer2Peer im Quartier (P2PQ). Online verfügbar unter https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe-2022-26-p2pq.pdf, zuletzt geprüft am 19.07.2022.

BMK (2023): Photovoltaikförderung 2023 startet am 23. März. Online verfügbar unter https://www.bmk.gv.at/service/presse/gewessler/20230315_pv-foerderung.html, zuletzt geprüft am 15.02.2023.

BMK; Klima- und Energiefonds (2020): energy innovation austria, Ausgabe 3/2020. Integrierte Energiesysteme. BürgerInnen nehmen eine aktive Rolle in der Energiewende ein. Online verfügbar unter https://www.energy-innovation-austria.at/wp-content/uploads/2020/09/eia_03_20_fin_deutsch.pdf, zuletzt geprüft am 05.05.2022.

BMK; Klima- und Energiefonds (2021): energy innovation austria, Ausgabe 5/2021. Energiespeicher. Schlüsseltechnologien für die Energiewende. Online verfügbar unter https://www.energy-innovation-austria.at/wp-content/uploads/2021/11/eia_05_21_fin_deutsch.pdf, zuletzt geprüft am 05.05.2022.

BMK; Klima- und Energiefonds (2022): energy innovation austria, Ausgabe 01/2022. Digitale Technologien für die optimale Nutzung erneuerbarer Energien. Ausgabe 1/2022. Online verfügbar unter https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/nw_pdf/eia/eia_221_de.pdf, zuletzt geprüft am 04.05.2022.

BML (o. J.): Biogas aus Österreich: Erneuerbare-Gase-Gesetz geht in Begutachtung. Online verfügbar unter <https://>

info.bml.gv.at/themen/wald/wald-und-klima/erneuerbare-gase-gesetz-in-begutachtung.html, zuletzt geprüft am 21.02.2023.

bmvit; Klima- und Energiefonds (2018): energy innovation austria, Ausgabe 2/2018. Smart Grid-Innovationen aus Österreich. Neue Komponenten und Speichersysteme für die Energieversorgung von morgen. Online verfügbar unter https://www.energy-innovation-austria.at/wp-content/uploads/2018/05/eia_02_18_fin_deutsch.pdf, zuletzt geprüft am 05.05.2022.

BMWF (2017): Mehr Sonnenstrom für Österreich. Neuerungen der „kleinen Ökostromnovelle“. Online verfügbar unter https://pv-gemeinschaft.at/wp-content/uploads/2018/02/2017-10-Broschuere_Mehr_Sonnenstrom_fuer_Oesterreich.pdf, zuletzt geprüft am 11.07.2022.

BMWK (2022): Energie von morgen. Wie Forschung und Förderung erfolgreich zur Energiewende beitragen. Online verfügbar unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energie-von-morgen.html>, zuletzt geprüft am 08.07.2022.

BNetzA (2019): Die Blockchain-Technologie. Potenziale und Herausforderungen in den Netzsektoren Energie und Telekommunikation. Online verfügbar unter https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2019/DiskussionspapierBlockchain.pdf?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Bogensperger, Alexander; Zeiselmaier, Andreas; Hinterstocker, Michael (2018a): Die Blockchain-Technologie: Chance zur Transformation der Energieversorgung. Berichtsteil Technologiebeschreibung. Online verfügbar unter https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2019/06/Blockchain_Teilbericht_Technologiebeschreibung.pdf, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Bogensperger, Alexander; Zeiselmaier, Andreas; Hinterstocker, Michael; Dufter, Christa (2018b): Die Blockchain-Technologie: Chance zur Transformation der Energiewirtschaft? Berichtsteil Anwendungsfälle. Online verfügbar unter <https://www.ffe.de/projekte/blockchain-chance-zur-transformation-der-energiewirtschaft/>, zuletzt geprüft am 01.04.2022.

Bogner, Alexander; Littig, Beate; Menz, Wolfgang (2014): Interviews mit Experten. Eine praxisorientierte Einführung. Springer VS. Wiesbaden.

BSI (2019): Blockchain sicher gestalten. Konzepte, Anforderungen, Bewertungen. Online verfügbar unter https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Krypto/Blockchain_Analyse.pdf;jsessionid=88A0A6196C6F527228CFCE820BF8D0B7.internet472?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 05.04.2022.

Burgahn, Christopher; Kirpes, Benedikt; Roon, Micha; Staveley, Adam; Henderson, John; Barua, Arzon (2020): Open Charging Network. Documentatio. Online verfügbar unter <https://shareandcharge.com/wp-content/uploads/2020/11/OCN-Documentation-v1.1.1.pdf>, zuletzt geprüft am 15.04.2022.

Burgenland Tourismus (o. J.): Deutschkreutz - Mittelburgenland. Online verfügbar unter <https://www.blaufraenkischland.at/weinbaugemeinden/deutschkreutz/>, zuletzt geprüft am 13.03.2023.

Burger, Christoph; Kuhlmann, Andreas; Richard, Philipp; Weinmann, Jens (2016): Blockchain in der Energiewende. Eine Umfrage unter Führungskräften der deutschen Energiewirtschaft. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9165_Blockchain_in_der_Energiewende_deutsch.pdf, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Burzan, Nicole (2015): Quantitative Methoden kompakt. UVK. Konstanz, München.

CCAF (2022): Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index. Online verfügbar unter <https://ccaf.io/cbeci/index>, zuletzt geprüft am 06.04.2022.

Cejka, Stephan; Poplavskaya, Ksenia; Monsberger, Carolin; Stefan, Mark (2021): Blockchain technology and peer-to-peer trading in energy communities: a regulatory perspective. Online verfügbar unter https://pubdb.ait.ac.at/files/PubDat_AIT_148584.pdf, zuletzt geprüft am 22.06.2022.

Cleanwatts (o. J.): Resilient Clean Energy. Online verfügbar unter <https://www.cleanwatts.energy/>, zuletzt geprüft am 05.02.2023.

Corusa, Andreas; Predel, Johannes; Schöne, Nikolas (2020): Eine Marktübersicht der Blockchain in der Energiewirtschaft. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/344543085_Eine_Marktuebersicht_der_Blockchain_in_der_Energiewirtschaft_Von_der_Idee_zum_Geschäftsmodell_von_der_Technologie_zur_aktuellen_Anwendung, zuletzt geprüft am 04.03.2022.

Cosmos Network (o. J.): Tendermint Logo. Online verfügbar unter <https://v1.cosmos.network/images/logos/tendermint-logo-black.png>, zuletzt geprüft am 31.05.2022.

Crypto Logos (o. J.a): Bitcoin (BTC). Online verfügbar unter <https://cryptologos.cc/bitcoin>, zuletzt geprüft am 31.05.2022.

Crypto Logos (o. J.b): Energy Web Token (EWT). Online verfügbar unter <https://cryptologos.cc/energy-web-token>, zuletzt geprüft am 31.05.2022.

Crypto Logos (o. J.c): Ethereum (ETH). Online verfügbar unter <https://cryptologos.cc/ethereum>, zuletzt geprüft am 31.05.2022.

Crypto Logos (o. J.d): Powerledger Logo. Online verfügbar unter <https://cryptologos.cc/power-ledger>, zuletzt geprüft am 03.02.2023.

DB Systel (2019): Blockchain Proof of Concept. Der entscheidende Test auf Tragfähigkeit Ihres Blockchain-Konzeptes. Online verfügbar unter https://blockchain.deutschebahn.com/resource/blob/5108702/666f3758c6ccd22c030d3cc015d40bc3/Blockchain_Proof_of_concept_Information-data.pdf, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

dena (2019): Blockchain in der integrierten Energiewende. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena-Studie_Blockchain_Integrierte_Energiewende_DE4.pdf, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Deutsch, Marrhias; Langenheld, Alexandra; Schnauß, Andreas; Theis, Annecatrין; Kopp, Oliver; Maaß, Christian; Phent, Martin (2019): Wie werden Wärmenetze grün? Online verfügbar unter https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2019/Waermenetze/155_Waermenetze_WEB.pdf, zuletzt geprüft am 21.02.2023.

Discoveryg (2021): Verbundprojekt BloGPV. Entwicklung einer Blockchain-Anwendung für die dezentrale Energieerzeugung und Versorgung der Zukunft. Online verfügbar unter <https://blogpv.net/>, zuletzt geprüft am 07.09.2022.

Döbelt, Susen; Kreusslein, Maria (2016): Contribution NEMoGrid to ERA Net SES Working Group Consumer and Citizen Involvement: Conflicting user needs “degrees of freedom” and ease of use. Online verfügbar unter https://nemogrid.eu/wp-content/uploads/Conflicting_User_Needs_Degrees_of_Freedom_and_Ease_of_Use.pdf, zuletzt geprüft am 20.07.2022.

Döbelt, Susen; Kreusslein, Maria (2018): D 2.3 Results regarding consumer/prosumer requirements. Online verfügbar unter https://nemogrid.eu/wp-content/uploads/D2.3-Results-regarding-consumer-prosumer-requirements_TUC.pdf, zuletzt geprüft am 22.07.2022.

Döbelt, Susen; Kreusslein, Maria (2019): D 4.1 Guidelines for user-centered development of approaches for enhancing social acceptance and user collaboration. Online verfügbar unter https://nemogrid.eu/wp-content/uploads/D4.1_FINAL_WEBSEITE_2.pdf, zuletzt geprüft am 22.07.2022.

Doleski, Oliver D. (2020): Realisierung Utility 4.0 Band 2. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Donnerer, David; Lacassagne, Sylvie (2019): Blockchains and Energy Transition. What Challenges for Cities? On-

line verfügbar unter https://energy-cities.eu/wp-content/uploads/2019/01/energy-cities-blockchain-study_2018_en.pdf, zuletzt geprüft am 08.09.2022.

Dvorak, Eva; Heidler, Stephan; Seidel, Wolfgang (2021): Erneuerbare Energiegemeinschaften für Gemeinden. Online verfügbar unter https://energiegemeinschaften.gv.at/wp-content/uploads/sites/19/2022/02/EEG-Ratgeber-Gemeinden_Februar_2022.pdf, zuletzt geprüft am 03.06.2022.

EAG Abwicklungsstelle (o. J.): Schon eingereicht? Förderungen einfach und übersichtlich finden! Online verfügbar unter <https://eag-abwicklungsstelle.at/foerderkalender/>, zuletzt geprüft am 15.03.2023.

E-Control (o. J.a): Befreiung von Erneuerbaren-Förderkosten. Online verfügbar unter <https://www.e-control.at/befreiung-von-erneuerbaren-foerderkosten>, zuletzt geprüft am 13.02.2023.

E-Control (o. J.b): Die verschiedenen Arten Energie effizient selbst zu erzeugen und zu nutzen im Vergleich. Online verfügbar unter <https://www.e-control.at/vergleich-der-energiegemeinschaften>, zuletzt geprüft am 06.02.2023.

E-Control (2023): Preiszusammensetzung Strom, Haushalt mit 3.500 kWh Jahresverbrauch. Online verfügbar unter <https://www.e-control.at/konsumenten/strom-gaspreise>, zuletzt geprüft am 08.02.2023.

EEG Lechtal (o. J.): EEG-Lechtal eGen. Online verfügbar unter <https://eeg-lechtal.at/>, zuletzt geprüft am 20.02.2023.

Ender, Fabian (2021): Grätzl bekommt Energie. Online verfügbar unter <https://www.graetzlenergie.wien/2021/10/graetzl-bekommt-energie/>, zuletzt geprüft am 13.03.2023.

Energiebezirk Freistadt (o. J.): Pilot-Energiegemeinschaft „Spörbichl-Dreissgen“. Online verfügbar unter <https://www.energiebezirk.at/energiegemeinschaft/>, zuletzt geprüft am 20.02.2023.

Energy Web Foundation (2019): The Energy Web Chain. Accelerating the Energy Transition with an Open-Source, Decentralized Blockchain Platform. Online verfügbar unter <https://energyweb.org/wp-content/uploads/2019/05/EWF-Paper-TheEnergyWebChain-v2-201907-FINAL.pdf>, zuletzt geprüft am 12.04.2022.

ENTSO-E (2022): Continental Europe successful synchronisation with Ukraine and Moldova power systems. Online verfügbar unter <https://www.entsoe.eu/news/2022/03/16/continental-europe-successful-synchronisation-with-ukraine-and-moldova-power-systems/>, zuletzt geprüft am 31.05.2022.

Erneuerbare Energiegemeinschaft Ennstal (o. J.): Erneuerbare Energiegemeinschaft Ennstal. Online verfügbar unter <https://www.eeg-ennstal.at/>, zuletzt geprüft am

20.02.2023.

Europäische Kommission (o. J.): Energy communities. Online verfügbar unter https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-communities_en, zuletzt geprüft am 26.01.2023.

Europäische Kommission (2022a): Digitalisierung des Energiesystems - EU-Aktionsplan. Online verfügbar unter <https://positionen.wienenergie.at/wp-content/uploads/2022/12/EU-Aktionsplan-Digitalisierung-des-Energiesystems.pdf>, zuletzt geprüft am 16.02.2023.

Europäische Kommission (2022b): RePowerEU-Plan. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fc930f14-d7ae-11ec-a95f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF, zuletzt geprüft am 25.02.2023.

Europäische Kommission; Generaldirektion Energie (2019): Saubere Energie für alle Europäer. Online verfügbar unter https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b4e46873-7528-11e9-9f05-01aa75ed71a1/language-en?WT.mc_id=Searchresult&WT.ria_c=null&WT.ria_f=3608&WT.ria_ev=search, zuletzt geprüft am 16.01.2023.

eurostat (2021): Applying the Degree of Urbanisation. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/15348338/KS-02-20-499-EN-N.pdf/0d412b58-046f-750b-0f48-7134f1a3a4c2?t=1669111363941>, zuletzt geprüft am 14.02.2023.

EWE (2021a): enera Projektkompandium | Gemeinsamer Abschlussbericht des Konsortiums | Medium 2/2. Online verfügbar unter <https://projekt-enera.de/wp-content/uploads/enera-projektkompandium.pdf>, zuletzt geprüft am 23.06.2022.

EWE (2021b): enera Projektmagazin | Gemeinsamer Abschlussbericht des Konsortiums | Medium 1/2. Online verfügbar unter <https://projekt-enera.de/wp-content/uploads/enera-projektmagazin.pdf>, zuletzt geprüft am 23.06.2022.

Exner, Carmen (2021): Energiewende Praxistest im Schwarzwald. Online verfügbar unter <https://www.energiesystem-forschung.de/interviews/verteilnetz-projekt-flexqgrid-carmen-exner-netzebw>, zuletzt geprüft am 08.07.2022.

Fechner, Hubert (2020): Ermittlung des Flächenpotentials für den Photovoltaik-Ausbau in Österreich: Welche Flächenkategorien sind für die Erschließung von besonderer Bedeutung, um das Ökostromziel realisieren zu können. mit Fokus auf bis 2030 realisierbare PV-Potentiale im Gebäudesektor und technische Potentiale auf anderen Flächen. Online verfügbar unter https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Publicationsdatenbank/Studien/2020/PV-Studie_2020.pdf, zuletzt geprüft am 04.05.2022.

FFG (2023): Aktuelle Ausschreibungen zur Energiewende. Online verfügbar unter https://www.ffg.at/sites/default/files/allgemeine_downloads/thematische%20programme/Energie/2023_Energiewende_F%C3%B6rderberatung_alle%20Folien_0.pdf, zuletzt geprüft am 04.03.2023.

Fill, Hans-Georg; Meier, Andreas (2020): Blockchain kompakt. Grundlagen, Anwendungsoptionen und kritische Bewertung. 1. Aufl.: Springer Vieweg.

Fina, Bernadette (2023): Maßnahmen zur raschen Ausrollung von Energiegemeinschaften und Beispiele aus der Praxis. Konferenz Energiegemeinschaften 2023. Online-Konferenz, 09.03.2023.

flexQgrid (2020): Wie flexQgrid die Blockchain-Technologie für den quotenbasierten Sekundärmarkt nutzt. Online verfügbar unter <https://flexqgrid.de/wie-flexqgrid-die-blockchain-technologie-fuer-den-quotenbasierten-sekundaermarkt-nutzt/>, zuletzt geprüft am 06.09.2022.

flexQgrid (2022): Umfragen im Projekt als wertvolles Werkzeug zur Ermittlung individueller Eindrücke. Online verfügbar unter <https://flexqgrid.de/umfragen-im-projekt-als-wertvolles-werkzeug-zur-ermittlung-individueller-eindruecke/>, zuletzt geprüft am 06.09.2022.

FMA (2018): ICO. Online verfügbar unter <https://www.fma.gv.at/kontaktstelle-fintech-sandbox/fintechnavigator/initial-coin-offering/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Frieden, Dorian; Türk, Andreas; Neumann, Camilla (2020): Energiegemeinschaften. Neue Geschäftschancen für die grüne Energiezukunft. Online verfügbar unter https://greenenergylab.at/wp-content/uploads/2020/04/gtc_energiegemeinschaften_radar_3_2020_web-002.pdf, zuletzt geprüft am 08.02.2023.

Frieden, Dorian; Vallant, Heribert; Neumann, Camilla; Bozic, Josip; Tuerk, Andreas; Nacht, Thomas et al. (2021): Energieforschungsprogramm. Publizierbarer Endbericht. Online verfügbar unter <https://energieforschung.at/wp-content/uploads/sites/11/2021/08/210815-Publizierbarer-Endbericht-SEED-FFGNr-881171.pdf>, zuletzt geprüft am 15.03.2023.

Fuchs, Giuliano (2022): Solarkataster in Österreich. Online verfügbar unter <https://www.net4energy.com/deat/energie/solarkataster-oesterreich>, zuletzt geprüft am 13.02.2023.

Geiger, Konstantin; Heidler, Stephan (2022): Erneuerbare-Energie-Gemeinschaften im urbanen Raum. Online verfügbar unter https://energiegemeinschaften.gv.at/wp-content/uploads/sites/19/2022/08/EEG_Broschuere_Urbaner_Raum.pdf, zuletzt geprüft am 25.01.2023.

Gemeinde Neulengbach (o. J.): Bürgerbefragung. Was den Neulengbachern wichtig ist: Kultur, Gastro, Leben im Zentrum. Online verfügbar unter <https://www.noen.at/neulengbach/buergerbefragung-was-den-neulengbachern-wichtig-ist-kultur-gastro-leben-im-zentrum-neulengbach-buergerbefragung-buergerbeteiligung-stadtentwicklung-print-322835284>, zuletzt geprüft am 13.03.2023.

Gemeinde Ollersdorf im Burgenland (o. J.): Marktgemeinde Ollersdorf i. Bgd. Das Energiedorf. Online verfügbar unter <https://www.ollersdorf-burgenland.at/>, zuletzt geprüft am 13.03.2023.

Gemeinde Schnifis (o. J.): Schnifis. Online verfügbar unter <https://www.schnifis.at/>, zuletzt geprüft am 13.03.2023.

Giffinger, Rudolf; Kalasek, Robert; Pühringer, Florian; Brugger, Arno; Kammerhofer, Arthur; Kerschbaum, Philipp; Redlein, Alexander (2021): Digitalisierung in der Stadplanung: Von der Raumplanung bis zur Digitalisierung im Bauwesen. Online verfügbar unter https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe-2021-11-pbm-integrativ.pdf, zuletzt geprüft am 12.02.2023.

Goranovic, Andrija; Meisel, Markus; Fotadis, Lampros; Wilker, Stefan; Treytl, Albert; Sauter, Thilo (2017): Blockchain Applications in Microgrids. An overview of current projects and concepts. Online verfügbar unter https://publik.tuwien.ac.at/files/publik_265619.pdf, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Green, Jemma; Newman, Peter; Forse, Nick (2020): RE-NeW Nexus. Enabling resilient, low cost & localised electricity markets through blockchain P2P & VPP trading. Online verfügbar unter https://assets.website-files.com/5fc9b61246966c23f17d2601/607e724f8dfb1a2d5928bbc0_renew-nexus-project-report.pdf, zuletzt geprüft am 08.09.2022.

Green Energy Lab (o. J.): Blockchain Grid. Blockchain basierter Abruf von Flexibilitäten in Verteilnetzen. Online verfügbar unter <https://greenenergylab.at/projects/blockchain-grid/>, zuletzt geprüft am 06.09.2022.

Gruber, Manuel (2021): Energiekooperative. 100 Ökostrom-Anlagen liefern regionalen Strom. Online verfügbar unter https://www.meinbezirk.at/freistadt/c-lokales/100-oekostrom-anlagen-liefern-regionalen-strom_a4484222, zuletzt geprüft am 13.03.2023.

Haber, Alfons; Hauke, Sascha (2018): Blockchain als Lösungsansatz für die zukünftige Stromversorgung? Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/323446733_BLOCKCHAIN_ALS_LOSUNGSANSATZ_FUR_DIE_ZUKUNFTIGE_STROMVERSORGUNG, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Haber, Alfons; Urbanitsch, Wolfgang (2022): Ausfall-

und Störungsstatistik Strom für Österreich 2022. Ergebnisse für das Jahr 2021. Online verfügbar unter <https://www.e-control.at/documents/1785851/1811582/Strom-AuSS-Veroeffentlichung-2022-fuer-Berichtsjahr-2021.pdf/bd965c19-d8f2-926f-b715-3b7c351a-c75e?t=1663220603901>, zuletzt geprüft am 11.01.2022.

Haider, Kathrin (2022): Zusammenhalt untereinander und in Energiefragen. Ortsreportage Nickelsdorf. Online verfügbar unter https://www.meinbezirk.at/neusiedl-am-see/c-lokales/zusammenhalt-untereinander-und-in-energiefragen_a5727076, zuletzt geprüft am 23.02.2023.

Haider, Kathrin (2023): PV-Freiflächenanlagen. 12 Gemeinden im Bezirk als geeignet ausgewiesen. Online verfügbar unter https://www.meinbezirk.at/neusiedl-am-see/c-lokales/12-gemeinden-im-bezirk-als-geeignet-ausgewiesen_a5849500, zuletzt geprüft am 13.03.2023.

Haller, Birgit; Langniß, Ole; Reuter, Albrecht; Spengler, Nicolas (2020): 1,5°Csellsius. Energiewende zellulär - partizipativ - vielfältig umgesetzt. 1. Auflage. Stuttgart: C/sells Verlag.

Hanle, Jutta (2022): Digitale Energiegemeinschaften als Schlüssel zur Energiewende. Online verfügbar unter https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20220907_OT50096/digitale-energiegemeinschaften-als-schluesel-zur-energie-wende-bild, zuletzt geprüft am 09.03.2023.

Hasse, Felix; von Perfall, Axel; Hillebrand, Thomas; Smole, Erwin; Lay, Lena; Charlet, Maximilian (2016): Blockchain - Chance für Energieverbraucher? Online verfügbar unter <https://www.pwc.de/de/energiwirtschaft/blockchain-chance-fuer-energieverbraucher.pdf>, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Hofmeister, Bernd (o. J.): EEG Schnüfer Strom. Online verfügbar unter <https://gemeinschaffen.com/gem/projekt/ENER/99>, zuletzt geprüft am 20.02.2023.

Holstenkamp, Lars; Radtke, Jörg (Hg.) (2018): Handbuch Energiewende und Partizipation. Springer VS. Wiesbaden. Hörchens, Ulrike; Bloch, Mathias (2019): Blockchain pilot reveals potential of decentralised home storage systems for tomorrow's energy infrastructure. Online verfügbar unter https://www.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/News/German/Hoerchens/2019/20190508_PM-results-blockchain-pilotproject_Sonnen-TenneT_EN.pdf, zuletzt geprüft am 16.04.2022.

Hyperledger Foundation (o. J.a): An Overview of Hyperledger Foundation. Online verfügbar unter https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2021/11/HL_Paper_HyperledgerOverview_102721.pdf, zuletzt geprüft am 13.03.2022.

Hyperledger Foundation (o. J.b): Fabric Logo. Online verfügbar unter <https://cn.hyperledger.org/fabric-logo-2>, zu-

letzt geprüft am 31.05.2022.

IBM (o. J.): Open, Prove, Enterprise-grade DLT. Online verfügbar unter <https://www.ibm.com/downloads/cas/0XMOQJNP>, zuletzt geprüft am 12.04.2022.

IG Windkraft (2023): IG Windkraft begrüßt Vorrangzonen für Windkraft in Salzburg. Online verfügbar unter <https://w3.windmesse.de/windenergie/pm/42771-ig-windkraft-vorrangzone-windkraft-salzburg-ausweisung-energiekrise-zonenausweisung-nutzung-verband>, zuletzt geprüft am 15.03.2023.

Iglar, Branislav; Fina, Bernadette; Jung, Martin; Mrakotsky-Kolm, Elisabeth; Tötzer, Tanja; Zellinger, Michael et al. (2021): Energiegemeinschaften im Tourismussektor. Online verfügbar unter <https://energiegemeinschaften.gv.at/wp-content/uploads/sites/19/2022/01/Energiegemeinschaften-im-Tourismussektor.pdf>, zuletzt geprüft am 25.01.2023.

Industr (2021): Strom, Wärme und E-Mobilität intelligent vernetzen. Feldtest für FlexQgrid. Online verfügbar unter <https://www.industr.com/de/strom-waerme-und-e-mobilitaet-intelligent-ernetzen-2621778>, zuletzt geprüft am 08.07.2022.

Jaksch-Fliegenschnee, Martin (2023): UVP-Novelle und Erneuerbaren-Ausbau-Beschleunigungs-Gesetz können Meilensteine für Energiewende werden. Online verfügbar unter https://www.ots.at/presseaussendung/OTS_20230111_OTS0113/uvp-novelle-und-erneuerbaren-ausbau-beschleunigungs-gesetz-koennen-meilensteine-fuer-energiewende-werden#:~:text=Durch%20die%20ein%20Erneuerbaren%2DAusbau,15%20und%2030%20MW%2DLeistung, zuletzt geprüft am 26.01.2023.

Kalinov, Valentin; Voshmgir, Shermin (2017): Blockchain. A Beginners Guide. Online verfügbar unter [https://s3.eu-west-2.amazonaws.com/blockchainhub.media/Blockchain+Technology+\(Handbook\).pdf](https://s3.eu-west-2.amazonaws.com/blockchainhub.media/Blockchain+Technology+(Handbook).pdf), zuletzt geprüft am 28.11.2022.

Kastrati, Gresa; Weissbart, Christoph (2016): Kurz zum Klima: Blockchain – Potenziale und Herausforderungen für den Strommarkt. Online verfügbar unter <https://www.ifo.de/DocDL/sd-2016-23-kastrati-weissbart-kzk-blockchain-2016-12-08.pdf>, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Kaucher, Alexander (2020): Blockchain: Funktionsweise und Applikationsmöglichkeiten. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/338966644_Blockchain_Funktionsweise_und_Applikationsmoeglichkeiten?channel=doi&linkId=5e354bc6458515072d742fcd&showFulltext=true, zuletzt geprüft am 12.03.2022.

Klein, Cornel; Helfert, Markus; Berns, Karsten; Gusikhin, Oleg (2020): Smart Cities, Green Technologies, and Intel-

ligent Transport Systems. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-030-89170-1.pdf>, zuletzt geprüft am 28.11.2022.

Klima- und Energiefonds (o. J.): KEMs als Vorreiter bei Energiegemeinschaften. Online verfügbar unter <https://www.klimaundenergiemodellregionen.at/service/newsletter/neue-newsletter-022022/kems-als-vorreiter-bei-energiegemeinschaften/>, zuletzt geprüft am 20.02.2023.

Klima- und Energiefonds (2022): Leitfaden Energiegemeinschaften. Ausschreibung 2022. Online verfügbar unter https://www.umweltfoerderung.at/fileadmin/user_upload/umweltfoerderung/betriebe/Energiegemeinschaften/KLIEN_Leitfaden_Energiegemeinschaft.pdf, zuletzt geprüft am 05.01.2023.

Klima- und Energiefonds (2023): Konferenz Energiegemeinschaften 2023. Online-Konferenz, 09.03.2023.

Koch, Jonathan (2018): From the Brooklyn Microgrid to EXERGY – A Conversation with Lawrence Orsini, CEO of LO3 Energy. Online verfügbar unter <https://www.cleantech.com/from-the-brooklyn-microgrid-to-exergy-a-conversation-with-lawrence-orsini-ceo-of-lo3-energy/>, zuletzt geprüft am 12.09.2022.

Kostopoulos, Nikos; Damvakeraki, Tonia; Dionysopoulos, Lambis; Charalambous, Marianna; Giaglis, George; Noszek, Zalan et al. (2021): Demystifying Non-Fungible Tokens (NFTs). Online verfügbar unter https://www.eublockchainforum.eu/sites/default/files/reports/DemystifyingNFTs_November%202021_2.pdf, zuletzt geprüft am 19.04.2022.

Kounelis, Ioannis; Giuliani, Raimondo; Geneiatakis, Dimitrios; Di Gioia, Rosanna; Karopoulos, Georgios; Steri, Gary et al. (2017): Blockchain in Energy Communities. Online verfügbar unter <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC110298>, zuletzt geprüft am 11.07.2022.

Krause, Flo (2022): Tal.Markt Deutsches Blockchain-Projekt für Öko-Strom. Online verfügbar unter <https://blockchainwelt.de/tal-markt-deutsches-blockchain-projekt-fuer-oeko-strom/>, zuletzt geprüft am 12.09.2022.

lab10 (o. J.): Our Collective. Online verfügbar unter <https://lab10.coop/about/about-us/>, zuletzt geprüft am 04.03.2023.

Lelievre, Mathias (2020): Klimawandel und die Chancen durch Elektrifizierung. Online verfügbar unter <https://www.energie.de/et/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/klimawandel-und-die-chancen-durch-elektrifizierung>, zuletzt geprüft am 04.05.2022.

Longchamp, Yves; Deshpande, Saurabh; Mehra, Ujjwal (2020): The Blockchain Trilemma. Online verfügbar

unter <https://theblockchaintest.com/uploads/resources/SEBA%20-%20The%20Blockchain%20Trilema%20-%202020%20-%20Oct.pdf>, zuletzt geprüft am 05.03.2023.

Lucke, Michael; Gebhardt, Sebastian; Brunner, Christoph; Vogler, Tanja; Wiegand, Volker; Heringer, Florian et al. (2022): Projektmagazin pebbles. Ideen und Visionen vom Energiemarkt der Zukunft. Online verfügbar unter https://pebbles-projekt.de/wp-content/uploads/2018/05/220302_Pebbles_Mag_Digital.pdf, zuletzt geprüft am 08.09.2022.

Luke, Max; Lee, Stephen; Pekarek, Zdenek; Dimitrova, Anna (2018): Blockchain in Electricity: a Call for Policy and Regulatory Foresight. Online verfügbar unter https://cdn.eurelectric.org/media/3114/paper2_blockchain_eurelectric-h-CD3AAA18.pdf, zuletzt geprüft am 22.06.2022.

Macura, Beate (2019): Smart-Meter-Umstellung: Was Kunden wissen müssen. Online verfügbar unter <https://help.orf.at/v3/stories/2964686/#:~:text=Hoher%20Absicherungsaufwand,Messger%C3%A4te%20potenzielles%20Einfallstor%20f%C3%BCr%20Cyberkriminelle.,> zuletzt geprüft am 10.05.2022.

Maldet, Matthias; Revheim, Frida Huglen; Schwabeneder, Daniel; Lettner, Georg; Crespo Del Granado, Pedro; Saif, Aziz et al. (2022): Trends in local electricity market design: Regulatory barriers and the role of grid tariffs. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622014159>, zuletzt geprüft am 08.07.2022.

Mantegazzini, Barbara Antonioli (2020): D 2.1 Guidelines for the implementation of new business models. Online verfügbar unter https://nemogrid.eu/wp-content/uploads/Guidelines-for-business-models_final.pdf, zuletzt geprüft am 22.07.2022.

Marke, Alastair; Nellore, Sai; Mihaylov, Mihail; Khvatky, Jenya; Floyd, Hayden; Symes, Thomas et al. (2021): Blockchain for sustainable energy and climate in the Global South. Use cases and opportunities. Online verfügbar unter <https://www.unep.org/resources/report/blockchain-sustainable-energy-and-climate-global-south>, zuletzt geprüft am 22.06.2022.

Mayring, Philipp (2015): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Technik. 12. Auflage. BELTZ. Basel.
Medici, Vasco; Strepparava, Davide (2020): D 5.4 Implementation API for integration in Swiss testbed. Online verfügbar unter https://nemogrid.eu/wp-content/uploads/D5.4_Implementation_API_for_integration_in_Swiss_testbed_Website.pdf, zuletzt geprüft am 22.07.2022.

Mengelkamp, Esther; Gärtner, Johannes; Rock, Kerstin; Kessler, Scott; Orsini, Lawrence; Weinhardt, Christof (2017): Designing microgrid energy markets. A case study: The Brooklyn Microgrid. Online verfügbar unter

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191730805X>, zuletzt geprüft am 04.03.2022.

Merz, Michael (2019): Blockchain im B2B-Einsatz: Technologien, Anwendungen und Projekte. 1. Aufl.: MM Publishing.

Mischinger, Stefan; Seidl, Hannes; Limbacher, Elie-Lukas; Fasbender, Sebastian; Stalleicken, Frederik (2017): dena-INNOVATIONSREPORT Systemdienstleistungen. Aktueller Handlungsbedarf und Roadmap für einen stabilen Betrieb für das Stromsystem bis 2030. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9239_Innovationsreport_Systemdienstleistugen.pdf, zuletzt geprüft am 17.04.2022.

Mission Innovation Austria (2022): Innovative Energiegemeinschaften. Energiegemeinschaften gründen, betreiben, optimieren und weiterentwickeln. Vortrag am 17.05.2022. Stegersbach, 2022.

Mougayar, William (2015): Blockchain 2015: Strategic Analysis in Financial Services. Online verfügbar unter <http://startupmanagement.org/2015/12/22/blockchain-2015-strategic-analysis-in-financial-services-slides-deck/>, zuletzt geprüft am 02.05.2022.

Nakamoto, Satoshi (2008): Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Online verfügbar unter <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, zuletzt geprüft am 12.03.2022.

Nationalparkgemeinde Großraming (o. J.): Großraming. Online verfügbar unter <https://www.grossraming.at/>, zuletzt geprüft am 13.03.2023.

Nespoli, Lorenzo; Medici, Vasco (2020): D 3.5 Distributed Artificial Intelligence. Online verfügbar unter https://nemogrid.eu/wp-content/uploads/D3.5_Distributed_Artificial_Intelligence.pdf, zuletzt geprüft am 22.07.2022.

Netz Burgenland (o. J.): EEG-Nahbereichsgrenzen. Online verfügbar unter <https://analytics.netzburgenland.at/eeg-nahbereichsabfrage-karte>, zuletzt geprüft am 03.02.2023.

Neubarth, Jürgen (2019): Blockchain-Anwendungen in der Energiewirtschaft am Beispiel der TenneT-Pilotprojekte. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/334883682_Blockchain-Anwendungen_in_der_Energiewirtschaft_am_Beiispiel_der_TenneT-Pilotprojekte, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Neubarth, Jürgen (2020): Energiegemeinschaften im zukünftigen österreichischen Strommarkt. Erforderliche Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Umsetzung. Online verfügbar unter https://static1.squarespace.com/static/5b978be0697a98a663136c47/t/5f06c9503a503e19bf876e55/1594280276688/2020-06-16-Diskussionspapier_EEOe_Energiegemeinschaften.pdf, zuletzt geprüft am 04.05.2022.

Neumann, Hans-Martin; Stollberger, Romana; Stor-tecky, Sebastian; Etmnan, Ghazal; Schrammel, Johann (2020): Energiegemeinschaften als Bestandteil smarter und nachhaltiger Stadtquartiere. Online verfügbar unter <https://positionen.wienenergie.at/wp-content/uploads/2021/04/Studie-Energiegemeinschaften.pdf>, zuletzt geprüft am 16.02.2023.

Neureuter, Jack; Gray, Daniel (2022): The Ethereum Merge. What to Expect from the Biggest Protocol Change to the World's Second-Largest Digital Asset. Online verfügbar unter https://www.fidelitydigitalassets.com/sites/default/files/documents/Fidelity%20Digital%20Assets%20Research_Ethereum%20Merge%20Report.pdf, zuletzt geprüft am 31.10.2022.

Next Kraftwerke (o. J.): Virtuelles Kraftwerk: einfach erklärt. Online verfügbar unter <https://www.next-kraftwerke.at/wissen/virtuelles-kraftwerk>, zuletzt geprüft am 09.02.2023.

nobilegroup (2021): Leitfaden zur Finanzierung Erneuerbarer Energiegemeinschaften. Online verfügbar unter https://energiegemeinschaften.gv.at/wp-content/uploads/sites/19/2022/01/Leitfaden-Umweltbundesamt-Langfassung_UA.pdf, zuletzt geprüft am 24.01.2023.

ÖAW; AIT (2018): Peer-to-Peer(P2P)-Energiehandel. Online verfügbar unter https://www.parlament.gv.at/ZUSD/FTA/047_P2P-energiehandel.pdf, zuletzt geprüft am 04.03.2022.

Oesterreichs Energie (o. J.): Woher der erneuerbare Strom bis 2030 kommen muss. Online verfügbar unter <https://oesterreichsenergie.at/downloads/grafiken/detailseite/woher-der-erneuerbare-strom-bis-2030-kommen-muss>, zuletzt geprüft am 08.02.2023.

Oesterreichs Energie (2020): Netzberechnungen Österreich. Einfluss der Entwicklungen von Elektromobilität und Photovoltaik auf das österreichische Stromnetz. Online verfügbar unter https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Publikationsdatenbank/Studien/2020/2020.11_Studie_NetzberechnungenAT_PVundEV.pdf, zuletzt geprüft am 18.04.2022.

Oesterreichs Energie (2022a): Bürgerenergiegemeinschaften – netzgebietsübergreifende Energiezuweisung. Online verfügbar unter https://www.eutilities.at/files/oe-e-db-app/MaKo/webinar%20-%20Konsultation%20%E2%80%9EBurgerenergiegemeinschaften%20%E2%80%93%20netzgebietsuebergreifende%20Energiezuweisung%E2%80%9C/20221008_Webinar_B%3BCrgerenergiegemeinschaften.pdf, zuletzt geprüft am 05.03.2023.

Oesterreichs Energie (2022b): Umsetzung von Energiegemeinschaften mit Oktober 2022 und Ausblick: Mehrfachteilnahme, Einsatz von Batterien innerhalb von Energie-

gemeinschaften und Bürgerenergiegemeinschaften über mehrere Konzessionsgebiete. Online verfügbar unter https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Publikationsdatenbank/Leitfaden/2022/20220812_V1_Kurzfassung_Handlungsanweisung_Anmerkungen_inkl._TunaYildiz.pdf, zuletzt geprüft am 24.01.2023.

Öhlinger, Christine (2022): Energiegemeinschaften in der Europäischen Union. Online verfügbar unter <https://energiegemeinschaften.gv.at/wp-content/uploads/sites/19/2022/12/EEGs-in-der-EU-07.12-rot.pdf>, zuletzt geprüft am 24.01.2023.

ORF Burgenland (2022): Interesse an Energiegemeinschaften wächst. Online verfügbar unter <https://burgenland.orf.at/stories/3183983/>, zuletzt geprüft am 20.02.2023.

ORF Burgenland (2023a): Sonnenpark Schattendorf geht im Mai ans Netz. Online verfügbar unter <https://burgenland.orf.at/stories/3197836/>, zuletzt geprüft am 15.03.2023.

ORF Burgenland (2023b): Weitere PV-Eignungszonen festgelegt. Online verfügbar unter <https://burgenland.orf.at/stories/3192746/>, zuletzt geprüft am 15.03.2023.

ÖROK (2014): Energieraumplanung. Materialband.

ÖROK (2021): ÖREK 2030. Österreichisches Raumentwicklungskonzept. Raum für Wandel. ÖROK-Schriftenreihe 210. Wien.

Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften (o. J.a): Arbeitsprogramm der Plattform Energiegemeinschaften. Online verfügbar unter <https://energiegemeinschaften.gv.at/arbeitsprogramm-der-plattform-energiegemeinschaften/>, zuletzt geprüft am 15.02.2023.

Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften (o. J.b): Beteiligte in einer Energiegemeinschaft. Online verfügbar unter <https://energiegemeinschaften.gv.at/beteiligte-glossar/>, zuletzt geprüft am 08.02.2023.

Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften (o. J.c): Dienstleistungsanbieter für Energiegemeinschaften. Online verfügbar unter <https://energiegemeinschaften.gv.at/dienstleister-in-oesterreich/>, zuletzt geprüft am 13.02.2023.

Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften (o. J.d): Forschungsprojekte im Bereich Energiegemeinschaften. Online verfügbar unter <https://energiegemeinschaften.gv.at/forschung-zum-thema/>, zuletzt geprüft am 15.02.2023.

Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften (o. J.e): Struktur einer Energiegemeinschaft. Online verfügbar unter <https://energiegemeinschaften.gv.at/struktur-einer-energiegemeinschaft/>, zuletzt geprüft am 15.02.2023.

gv.at/struktur/, zuletzt geprüft am 08.02.2023.

Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften (2021): Rechtliche Grundlagen. Online verfügbar unter <https://energiegemeinschaften.gv.at/rechtsgrundlagen/>, zuletzt geprüft am 26.01.2023.

Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften (2022a): Energiegemeinschaften in Österreich. Online verfügbar unter <https://energiegemeinschaften.gv.at/energiegemeinschaften-in-oesterreich/>, zuletzt geprüft am 22.07.2022.

Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften (2022b): Erneuerbare-Energie-Gemeinschaften für Haushalte. Online verfügbar unter https://energiegemeinschaften.gv.at/wp-content/uploads/sites/19/2022/07/EEG-Factsheet-1_Mitmachen_Haushalt_final.pdf, zuletzt geprüft am 13.02.2023.

Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften (2022c): Erneuerbare-Energie-Gemeinschaften für Umsetzer:innen. Online verfügbar unter <https://energiegemeinschaften.gv.at/schritte-zur-gruendung/>, zuletzt geprüft am 09.07.2022.

Österreichische Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften (2022d): Erneuerbare-Energie-Gemeinschaften für Umsetzer:innen. Online verfügbar unter https://energiegemeinschaften.gv.at/wp-content/uploads/sites/19/2022/11/EEG-Factsheet-2_Umsetzung_ohne-Schnittmarken.pdf, zuletzt geprüft am 13.02.2023.

OurPower (2022): Strom direkt aus deiner Community: OurPower startet fünf Pilot-Energie-Gemeinschaften! Online verfügbar unter <https://www.ourpower.coop/>, zuletzt geprüft am 23.07.2022.

Pacher, Martin (2023): neoom: OÖ Energy-Scaleup schließt Series-B-Finanzierung in Höhe von 25 Millionen Euro ab. Online verfügbar unter <https://brutkasten.com/neoom-series-b-runde/>, zuletzt geprüft am 15.03.2023.

Pachernegg, Denise (2020): Die Blockchain-Technologie im Fokus der DSGVO – Diskrepanz zwischen Innovation und unialem Datenschutz? Online verfügbar unter <https://epub.jku.at/obvulihs/download/pdf/4898963?originalFilename=true>, zuletzt geprüft am 11.03.2023.

Pauritsch, Günter; Brandauer, Werner; Hierzinger, Roland; Lechner, Herbert; Dolna-Gruber, Christoph (2017): Digitale Transformation der Energiewelt. Ergebnisse einer Umfrage bei österreichischen (Energie-)Unternehmen. Online verfügbar unter https://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/publikationen/Studien/AEA_Digitale_Transformation_der_Energiewelt_Mai_2017.pdf, zuletzt geprüft am 04.03.2022.

Peise, Marco; Kuhlenkamp, Jörn; Busse, Anselm; Ebe-

rhardt, Jacob; Ulbricht, Max; Tai, Stefan (2021): Blockchain-based Local Energy Grids: Advanced Use Cases and Architectural Considerations. Online verfügbar unter https://www.ise.tu-berlin.de/fileadmin/fg308/publications/2021/peise_icsa_2021.pdf, zuletzt geprüft am 07.09.2022.

Pogacnik, Vid (2017): Wolfsberg (Kärnten). Online verfügbar unter 13.03.2023.

Powerledger (2019): Whitepaper. Online verfügbar unter <https://www.powerledger.io/company/power-ledger-whitepaper>, zuletzt geprüft am 05.07.2022.

Preßmair, Guntram; Maltet, Matthias; Mayr, Martin; Marksz, Martin-Christian (2022): Energy Point. Offene Energiehandelsplattform für alle Marktteilnehmer zur Etablierung neuer Marktkonzepte. Online verfügbar unter https://www.e-sieben.at/publikationen/21021_Energy_Point/Energy_Point_Whitepaper_final.pdf?m=1655125833&, zuletzt geprüft am 23.07.2022.

Pumhösel, Alois (2020): Nachbarschaft mit eigenem Stromnetz. Online verfügbar unter <https://www.derstandard.at/story/2000117707778/nachbarschaft-mit-eigenem-stromnetz>, zuletzt geprüft am 04.03.2023.

PwC Österreich (2016): Österreichs Energiewirtschaft im Fokus. Die Branche im Umbruch. Online verfügbar unter <https://www.pwc.at/de/energy-barometer/energie-studie.pdf>, zuletzt geprüft am 04.03.2022.

Reetz, Fabian (2019): Blockchain & das Klima. Warum die nationale Blockchain-Strategie Innovations- und Klimapolitik zusammenbringen sollte. Online verfügbar unter https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/blockchain_und_das_klima.pdf, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Region Elsbeere Wienerwald (2021): OurPower - Die EnergieCooperative. Online verfügbar unter <https://www.elsbeere-wienerwald.at/Energiegemeinschaften>, zuletzt geprüft am 20.02.2023.

REScoop (2022): Transposition tracker - Definitions. Online verfügbar unter <https://www.rescoop.eu/transposition-tracker>, zuletzt geprüft am 26.01.2023.

Riddle & Code Energy (2021): My Power. Online verfügbar unter [https://uploads-ssl.webflow.com/60e340c911810738fcc024f9/6228a3de8544f352aeffdf4f_RIDDLE%26CODE-Energy-MyPower%20\(1\).pdf](https://uploads-ssl.webflow.com/60e340c911810738fcc024f9/6228a3de8544f352aeffdf4f_RIDDLE%26CODE-Energy-MyPower%20(1).pdf), zuletzt geprüft am 14.05.2022.

Saif, Aziz; Khadem, Shafi; Conlon, Michael; Norton, Brian (2021): Hosting a community-based local electricity market in a residential network. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1049/esi2.12062>, zuletzt geprüft am 08.07.2022.

Schlatt, Vincent; Schweizer, André; Urbach, Nils; Fridgen, Gilbert (2016): Blockchain: Grundlagen, Anwendungen und Potenziale. Online verfügbar unter https://www.fit.fraunhofer.de/content/dam/fit/de/documents/Blockchain_WhitePaper_Grundlagen-Anwendungen-Potentiale.pdf, zuletzt geprüft am 12.03.2022.

Schneemann, Andreas (2023): Innovationslabor Act4Energy – Erkenntnisse aus beiden Welten: zwischen Forschung und Umsetzung. Konferenz Energiegemeinschaften 2023. Online-Konferenz, 09.03.2023.

Schramme, Sarah (2022): 1 Jahr Energiegemeinschaft Grätzl Energie – Michaela Turetschek & Roland Kuras im Interview. Online verfügbar unter <https://www.graetzler-energie.wien/2022/06/1-jahr-energiegemeinschaft-graetzler-energie-michaela-turetschek-roland-kuras-im-interview/>, zuletzt geprüft am 18.02.2023.

Schwarz, Markus; Gugg, Bernhard; Herold, Fionn; Fuchs, Patrick (2022): Erneuerbare-Energie-Gemeinschaften Rechtsformen. Online verfügbar unter <https://energiegemeinschaften.gv.at/wp-content/uploads/sites/19/2023/01/Ratgeber-Rechtsformen-Erneuerbare-Energie-Gemeinschaften.pdf>, zuletzt geprüft am 06.02.2023.

Sloot, Daniel; Lehmann, Nico; Ardone, Armin (2022): Explaining and promoting participation in demand response programs: The role of rational and moral motivations among German energy consumers. Online verfügbar unter doi.org/10.1016/j.erss.2021.102431, zuletzt geprüft am 08.07.2022.

Smartgrids Austria (o. J.): Was sind Smart Grids. Online verfügbar unter <https://www.smartgrids.at/smart-grids.html>, zuletzt geprüft am 04.05.2022.

SolarCoin Foundation (2018): SolarCoin. A blockchain-based solar energy incentive. Online verfügbar unter http://www.smallake.kr/wp-content/uploads/2018/06/SolarCoin_Policy_Paper_FINAL.pdf, zuletzt geprüft am 16.04.2022.

SolarCoin Foundation (2021): Migrating to Ethereum-based SolarCoin: the Overview. Online verfügbar unter <https://solarcoin.medium.com/migrating-to-ethereum-based-solarcoin-the-overview-740bc92d0737>, zuletzt geprüft am 09.09.2022.

Stefan, Mark; Hemm, Regina; Graf, Roman; Zehetbauer, Paul; Tötzer, Tanja; Schmidt, Ralf-Roman et al. (2020a): Effiziente Lösungen für Photovoltaik-Energiemanagement basierend auf Blockchain-Technologie. SonnWende+. Online verfügbar unter https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe-2022-13-sonnwende.pdf, zuletzt geprüft am 28.05.2022.

Stefan, Mark; Zehetbauer, Paul; Cejka, Stephan; Zeilin-

ger, Franz; Taljan, Gregor (2020b): Blockchain-based self-consumption optimization and energy trading in Renewable Energy Communities. Online verfügbar unter https://www.ioeb-innovationsplattform.at/fileadmin/user_upload/Media_Library/Uploads/Innovation/Downloads/CI-RED_144.pdf, zuletzt geprüft am 06.09.2022.

Strauß, Oliver; Härle, Julia; Kett, Holger; Hempel, Gunnar; Leiter, Chris (2019): Potenzialstudie Blockchain. Blockchain-Anwendungsfälle für Smart Energy Communities: wie die Blockchain-Technologie für Energiegenossenschaften und kleine Energieerzeuger nutzbringend eingesetzt werden kann. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation; Fraunhofer IRB-Verlag. Stuttgart.

Strauß, Oliver; Kett, Holger; Müller, Tobias; Stetter, Daniel; Renner, Thomas; Hempel, Gunnar et al. (2021): Smart Energy Communities. Smart Services und Konzepte zum nachhaltigen Betrieb erneuerbarer Energieanlagen. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/359135480_Smart_Energy_Communities_-_Smart_Services_und_Konzepte_zum_nachhaltigen_Betrieb_erneuerbarer_Energieanlagen, zuletzt geprüft am 27.05.2022.

Strecker, Katharina; Felder, Martin; Matthiss, Benjamin; Medici, Vasco; Nespoli, Lorenzo (2019): D 3.4 Short Term Prediction Model. Online verfügbar unter https://nemogrid.eu/wp-content/uploads/D3.4_forecasting_deliverable.pdf, zuletzt geprüft am 22.07.2022.

Strepparava, Davide; Lindborg, Joachim (2019): D 5.3 Control logic API for integrating groups of assets in the Swedish testbed. Online verfügbar unter https://nemogrid.eu/wp-content/uploads/D5.3_Control_logic_API_for_integrating_groups_of_assets_in_the_Swedish_testbed_website.pdf, zuletzt geprüft am 22.07.2022.

SunContract (2017): WHITEPAPER. An energy trading platform that utilises blockchain technology to create a new disruptive model for buying and selling electricity. Online verfügbar unter <https://suncontract.org/wp-content/uploads/2020/12/whitepaper.pdf>, zuletzt geprüft am 12.09.2022.

Value One (o. J.): Viertel Zwei. Online verfügbar unter https://www.value-one.com/de/Projekte/Viertel-Zwei_project_320, zuletzt geprüft am 13.03.2023.

Victoria Bitter (2022): VB Solar Exchange. Online verfügbar unter <https://victoriabitter.com.au/vb-solar-exchange>, zuletzt geprüft am 06.09.2022.

von Perfall, Axel (2017): Blockchain im Energiemarkt der Zukunft. Online verfügbar unter https://www.efzn.de/fileadmin/documents/Goettinger_Energietagung/Vortr%C3%A4ge/2017/07_Perfall.pdf, zuletzt geprüft am 31.05.2022.

Westphal, Kirsten; Pastukhova, Maria; Pepe, Jacopo Maria (2021): Geopolitik des Stroms - Netz, Raum und Macht. Online verfügbar unter https://www.swp-berlin.org/publications/products/studien/2021S14_Geopolitik_Strom.pdf, zuletzt geprüft am 27.05.2022.

Weyer, Johannes (2019): Die Echtzeitgesellschaft. Wie smarte Technik unser Leben steuert. Campus Verlag. Frankfurt, New York.

Widl, Edmund; Kupzog, Friedrich; Tötzer, Tanja; Iglar, Branislav; Schmidt, Ralf-Roman; Gahleitner, Bernhard (2022): Synthesebericht 4: PIONIER FÜR REALLABORE. Online verfügbar unter https://www.sinteg.de/fileadmin/media/Ergebnisberichte/SF4_Reallabore/20220502-SINTEG-SyF4_bf.pdf, zuletzt geprüft am 22.07.2022.

Wien Energie (o. J.a): Blockchain-Technologie revolutioniert die Energiewirtschaft. Online verfügbar unter <https://positionen.wienenergie.at/projekte/digitalisierung/blockchain-pilotprojekte/>, zuletzt geprüft am 04.02.2023.

Wien Energie (o. J.b): Innovatives Klimaschutzquartier für nachhaltiges Leben. Online verfügbar unter <https://positionen.wienenergie.at/projekte/waerme-kalte/villa-gem-im-dritten/>, zuletzt geprüft am 15.03.2023.

Wien Energie (o. J.c): Überholspur für Erneuerbare in der UVP-G-Novelle. Online verfügbar unter <https://positionen.wienenergie.at/blog/uvp-g-begutachtung/>, zuletzt geprüft am 15.03.2023.

Wien Energie (2021): Sonnenenergie für alle: Wien Energie startet neues BürgerInnensolkraftwerk. Online verfügbar unter <https://www.wienenergie.at/press-release/sonnenenergie-fuer-alle-wien-energie-startet-neues-buergerinnen-solkraftwerk/>, zuletzt geprüft am 07.09.2022.

Wien Energie (2023): Raumordnung und Energiewende. Online verfügbar unter https://positionen.wienenergie.at/wissenshub/einfach-erklart/oesterreichische-gesetzgebung/raumordnung/?utm_source=mailpoet&utm_medium=email&utm_campaign=energiepolitisches-update_21, zuletzt geprüft am 24.01.2023.

Wiener Netze (o. J.): Rechtliches zum Smart Meter. Online verfügbar unter <https://www.wienernetze.at/rechtliches>, zuletzt geprüft am 04.05.2022.

WKO (o. J.): Schaffung einer datenrechtlich sicheren Basis für Blockchain Anwendungen in Österreich. Distributed Ledger Technology (DLT) and Data Protection Law. Online verfügbar unter <https://www.wko.at/service/netzwerke/projekt-sichere-datenbasis.html>, zuletzt geprüft am 05.11.2022.

Yildiz, Tuna; Gruber, Lia; Tauschek, Ursula (2023): Webinar: Weg zur Umsetzung der Mehrfachteilnahme ab 1. Jänner 2024. Online, 03.03.2023.

ZAMG (2023): Erster hochauflösender Kataster für Solarpotenzial im Land Salzburg. Online verfügbar unter <https://www.zamg.ac.at/cms/de/aktuell/news/erster-hochaufloesender-kataster-fuer-solarpotenzial-im-land-salzburg>, zuletzt geprüft am 13.03.2023.

Zeiselmair, Andreas; Bogensperger, Alexander; Zarth, Jonte; Hinterstocker, Michael; Haberkorn, Florian (2018): Woher kommt mein Oekostrom wirklich? Mit Blockchain gegen Greenwashing. Online verfügbar unter https://www.ffe.de/wp-content/uploads/2019/01/20181029_ET_Woher_kommt_mein_Oekostrom_wirklich_FfE.pdf, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Zoerner, Thorsten (2016): GrünStromJeton. Von Ökostrom zu Grünstrom. Online verfügbar unter <https://de.slideshare.net/zoernert/grnstromjeton-verdienen-am-stromverbrauch-mit-der-blockchain>, zuletzt geprüft am 15.04.2022.

Zwitting, Christian (2023): E-Wirtschaft begrüßt Genehmigungs-Turbo für Erneuerbaren-Ausbau. Online verfügbar unter https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Presseinformationen/2023/20230110_Genehmigungs-Turbo_f%C3%BCr_Erneuerbaren-Ausbau.pdf, zuletzt geprüft am 01.03.2023.

Anhang

Interviewleitfaden
Kodierung
Quellen Kapitel 6

Interviewleitfaden

Leitfaden Mark Stefan & Gregor Taljan (Fokus Anwendungen Blockchain im Energiesektor)

Einstiegsfragen

- Was ist Ihr persönlicher oder beruflicher Hintergrund zum Thema?
- Wie lange und in welchem Bereich beschäftigen Sie sich bereits mit der Blockchain im Energiesektor?
- Von welcher Richtung sind Sie zu der Thematik gekommen?

Thema 1: Anwendungen mit Blockchain im Energiesektor bis jetzt und deren Herausforderungen und Potenziale

Erfahrungen

- Bei welchen Projekten waren sie bis jetzt beteiligt?
- Für was wurde Blockchain genutzt?
- Was waren die größten Learnings?

Herausforderungen

- Was waren die größten Herausforderungen oder Hürden bis jetzt?
- Z. B. Technisch, regulatorisch, sozial...

Potenziale/Chancen

- Wo sehen sie die größten Potenziale bei der Nutzung von Blockchain für Anwendungen im Energiesektor?
- Welche Anwendungsart hat sich aus den Projekten als die wichtigste herausgestellt?
- Welchen Beitrag zu Energiewende sehen Sie in der Blockchain-Technologie?

Thema 2: Anwendungen mit Blockchain im Energiesektor (v.a. Energiegemeinschaften) in Zukunft

Anwendungsfall Energiegemeinschaften und Blockchains

- zB in der Projektbeschreibung von SonnWende+: „Eine großflächige Anwendung und somit einen Beitrag zur Energiewende kann die Blockchain-Technologie durch den Einsatz in einer Energiegemeinschaft erfahren“
- Welche Rolle sehen sie in Zukunft bei der Nutzung von Blockchain in Energiegemeinschaften?
- Für welche Bereiche kann die Blockchain in Energiegemeinschaften genutzt werden?
- Wo kann die Blockchain Gründung und Betrieb von Energiegemeinschaften unterstützen?
- Wie sieht für Sie die optimale Energiegemeinschaft in Zukunft aus?
- Um welchen Zeitraum handelt es sich, bis Blockchain in Energiegemeinschaften präsenter sein kann?

Zu verändernde/verbessernde Rahmenbedingungen

- Was braucht es, um zu den Zukunftsvorstellungen zu kommen?
- Wie kann Upscaling von Pilotprojekten zu größeren Projekten gelingen?
- Welche Rahmenbedingungen müssen verbessert werden? (sozial, regulatorisch, politisch, technisch; im Bereich von Blockchain, Energiesektor, Akzeptanz...)

Rollen/Aufgaben/Kompetenzen für die Umsetzung

- Welche Rolle haben Bürger:innen/Gemeinschaften/Gemeinden selbst und welche Unterstützung brauchen sie?
- Wo können Planer eingreifen, um die zukünftigen Entwicklungen zu unterstützen? Kompetenzen?

Leitfaden Stephan Heidler (Fokus Energiegemeinschaften Allgemein)

Einstiegsfragen

- Was ist Ihr persönlicher oder beruflicher Hintergrund zum Thema?
- Wie lange und in welchem Bereich beschäftigen Sie sich bereits mit Energiegemeinschaften? Wie sind sie dazu gekommen? Was sind Ihre Aufgaben im Bereich der Energiegemeinschaften?
- Welchen Bezug haben Sie zu Blockchain? Nur zB aus den Medien oder auch schon mal mehr darüber informiert?)

Thema 1: Energiegemeinschaften status quo

Fakten zu EGs

- Gibt die Landkarte zu Energiegemeinschaften auf der Website der Energiegemeinschaften. Wie vollständig ist diese?
- Wie viele Energiegemeinschaften gibt es aktuell? mehr EEG als BEG?
- EEGs können ja mehr als Strom, gibt es schon welche die mehr machen? Was sind aktuell Schwierigkeiten bei anderen Energieformen als Strom?
- Wie groß (Teilnehmer/Erzeugungsanlagen)?
- Welche Energieerzeugungsanlagen am häufigsten? (PV?)
- Wer sind die häufigsten Initiatoren, sind das Gemeinden, KMUs, Privatpersonen...?

Herausforderungen

- Was waren die größten Hürden/Herausforderungen bei der Umsetzung von Energiegemeinschaften bis jetzt?
- z. B. Technisch, regulatorisch, sozial
- Von mehreren Personen gehört Energiegemeinschaft ist nicht leicht und hoher administrativer Aufwand: sehen Sie das auch so?
- Sind Unterschiede zwischen urbanen und ländlichen Energiegemeinschaften erkennbar? Wenn ja, welche?

Thema 2: Energiegemeinschaften in Zukunft

Potenziale/Chancen

- Wo sehen Sie die größten Potenziale von Energiegemeinschaften?
- Wie groß sehen Sie den Beitrag von Energiegemeinschaften zum Ausbau von erneuerbaren Energieanlagen?
- Wie werden sich Ihrer Meinung nach Energiegemeinschaften hinsichtlich Anzahl, Erzeugungsart, Teilnehmeranzahl... entwickeln?

Zukunftsperspektiven

- Wie sieht für Sie die optimale Energiegemeinschaft in Zukunft aus? (alle Wünsche offen)

Reale Perspektive:

- Wie sehen Energiegemeinschaften für Sie in 5 Jahren aus?
- Wie sehen Energiegemeinschaften für Sie in 10 bis 15 Jahren aus?

Zu verbessernde Rahmenbedingungen

- Welche Änderungen/Verbesserungen braucht es, um die Zukunftsvorstellungen zu erreichen?
- Welche Rahmenbedingungen (sozial, regulatorisch, politisch, technisch...) müssen verbessert werden?

Beispiel Blockchain

- Auf Website der Energiegemeinschaften, bei Forschung zum Thema: 4-5 Projekte wo mit Blockchain gearbeitet wird. Und auch bei dem Abschnitt Kommunikationssysteme wird es einmal erwähnt
- Ist das ein Aspekt, der in laufenden oder in Planung Energiegemeinschaften vorkommt oder geht es hier mehr um Nischen/Forschungsprojekte?
- Welche Rolle spielen sonstige digitale Instrumente z. B. zur Automatisierung?

Rollen/Akteure/Kompetenzen für die weitere Umsetzung von Energiegemeinschaften

- Welche Rolle hat die Koordinationsstelle für Energiegemeinschaften?
- Welche Rolle haben Gemeinden/Regionen wie z. B. Klima- und Energiemodellregionen?
- Welche Rolle haben Raumplaner? Welche möglichen Aufgaben können diese erfüllen, um die zukünftigen Entwicklungen zu unterstützen?

Leitfaden Markus Puchegger, Konstantin Geiger, Mika Hasselbring und Fionn Herold (Fokus Energiegemeinschaften Burgenland, Wien und Salzburg)

Einstiegsfragen

- Was ist Ihr persönlicher oder beruflicher Hintergrund zum Thema?
- Wie lange und in welchem Bereich beschäftigen Sie sich bereits mit Energiegemeinschaften? Wie sind sie dazu gekommen?
- Was ist Ihre Rolle im Bereich der Energiegemeinschaft in Ihrem Bundesland?

Thema 1: Energiegemeinschaften status quo

Fakten zu EGs (Burgenland/Wien/Salzburg)

- Wie viele Energiegemeinschaften gibt es aktuell? mehr EEG als BEG?
- Wie viele sind in Betrieb und wie viele sind in Planung?
- EEGs können ja mehr als Strom, gibt es schon welche die mehr machen? Was sind aktuell Schwierigkeiten bei anderen Energieformen als Strom?
- Wie groß (Teilnehmer/Erzeugungsanlagen)?
- Welche Energieerzeugungsanlagen am häufigsten? (PV?)
- Wer sind die häufigsten Initiatoren, sind das Gemeinden, KMUs, Privatpersonen...?
- In welchen Bereichen befinden sich die EGs? Sehr ländlich, oder Richtung größere Ortschaften/Urbaner?

Erfahrungen aus Projekten

- Waren Sie an Pilotprojekten beteiligt?
- Wie hat sich die Bevölkerung beteiligt? Wie hat Partizipation funktioniert?
- Waren es eher bottom-up oder top-down Projekte?
- Gibt es Forschungsprojekte zum Thema EG im Bundesland? Wenn ja, was wird genau geforscht?
- Wie werden Erzeugung und Verbrauch festgehalten? Wie funktioniert die Abrechnung?
- Wie ist die Umsetzung gelungen?

Herausforderungen

- Was waren die größten Hürden/Herausforderungen bei der Umsetzung von Energiegemeinschaften bis jetzt? Zum einen allgemein auf Energiegemeinschaften bezogen und zum anderen bundeslandspezifisch

- z. B. Technisch, regulatorisch, sozial
- Von mehreren Personen gehört Energiegemeinschaft ist nicht leicht und hoher administrativer Aufwand: sehen Sie das auch so?

Thema 2: Energiegemeinschaften in Zukunft

Zukunftsperspektiven

- Wie sieht für Sie die optimale Energiegemeinschaft in Zukunft aus? (alle Wünsche offen)

Reale Perspektive:

- Wie sehen Energiegemeinschaften für Sie in 5 Jahren aus?
- Anzahl, Erzeugungsart, Wärme, Mobilität?
- Wie groß sehen Sie den Beitrag von Energiegemeinschaften zum Ausbau von erneuerbaren Energieanlagen?

Zu verbessernde Rahmenbedingungen

- Welche Änderungen/Verbesserungen braucht es, um die Zukunftsvorstellungen zu erreichen?
- Welche Rahmenbedingungen (sozial, regulatorisch, politisch, technisch...) müssen verbessert werden?

Thema 3: Blockchain und Raumplanung

Beispiel Blockchain

- Welchen Bezug haben Sie zu Blockchain? (Nur z. B. aus den Medien oder auch schon mal mehr darüber informiert?)
- Website der Energiegemeinschaften, bei Forschung zum Thema: 4 oder 5 Projekte wo mit Blockchain gearbeitet wird. Und auch bei dem Abschnitt Kommunikationssysteme wird es einmal erwähnt
- Ist das ein Aspekt, der in laufenden oder in Planung Energiegemeinschaften vorkommt oder geht es hier mehr um Nischen/Forschungsprojekte?
- Welche Rolle spielen sonstige digitale Instrumente z. B. zur Automatisierung?

Rollen/Akteure/Kompetenzen für die weitere Umsetzung von Energiegemeinschaften

- Welche Rolle haben Gemeinden/Regionen wie z. B. Klima- und Energiemodellregionen?
- Gibt es viel Zusammenarbeit mit der Koordinationsstelle beziehungsweise mit den Anlaufstellen der anderen Bundesländer?
- Welche Rolle haben Raumplaner? Welche möglichen Aufgaben können diese erfüllen, um die zukünftigen Entwicklungen zu unterstützen?

Kodierung

IST		
Projekte Allgemein	Herausforderungen & Potenziale	Energiegemeinschaften
Projekte mit Blockchain	Herausforderungen	Fakten
Projekte ohne Blockchain	Potenziale	Herausforderungen
		Arten

Tabelle 30: Kodierung IST, eigene Darstellung

SOLL		
Energiegemeinschaften	Rahmenbedingungen	Akteur:innen
Zukunftsperspektiven	Technisch	Rolle Raumplanung
Reale Perspektive	Wirtschaftlich	Rolle sonstige Akteur:innen
Hindernisse	Regulatorisch	
	Administrativ	
	Sozial	
	Sonstige	

Tabelle 31: Kodierung SOLL, eigene Darstellung

ALLGEMEIN		
Blockchain	Erfahrungen	Sonstiges
Akzeptanz	Erfahrungen Blockchain	Relevant, ohne Kategorie
Zukunftseinschätzung	Erfahrungen Energie	Zitate
Blockchain in Energiegemeinschaften		

Tabelle 32: Kodierung Allgemein, eigene Darstellung

Quellen Kapitel 6

Adams, Gemma (2017): Prototype blockchain electric vehicle charging and billing system. Online verfügbar unter <https://medium.com/signals-of-change/prototype-blockchain-electric-vehicle-charging-and-billing-system-cf8998fc31e8>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Arnone, Nicole (2020): Vodafone Business and Energy Web Collaborate to Bring IoT and Blockchain Technologies to Renewable and Distributed Energy Assets. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/vodafone-business-and-energy-web-collaborate-to-bring-iot-and-blockchain-technologies-to-renewable-aac4d68502de>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Arnone, Nicole; Chavez, Carlos (2020): Central American electricity retailer, Mercados Eléctricos, and Energy Web complete first stage of digital I-REC trading platform for verified renewables. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/central-american-electricity-retailer-mercados-el%C3%A9ctricos-and-energy-web-complete-first-stage-of-a147541c8c44>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Balance Service Group (2017): GEN Y House: A New Era of Shared Energy. Online verfügbar unter <https://www.balanceservicesgroup.com.au/uploads/resources/Case-Study-WGV-Gen-Y-House.pdf>, zuletzt geprüft am 22.07.2022.

Baqer, Muhammad; Zhao, Jun; Niyato, Dusit; Lam, Kwok-Yan (2020): Blockchain for Future Smart Grid: A Comprehensive Survey. Online verfügbar unter <https://arxiv.org/pdf/1911.03298.pdf>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

BEST Strommarkt (o. J.): BEST: Blockchainbasiertes dezentrales Energiemarktdesign und Managementstruktur. Online verfügbar unter <https://best-strommarkt.de/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

BEYOND Project (o. J.): BEYOND. Blockchain-based electricity trading for the integration of national and decentralized local energy markets. Online verfügbar unter <https://beyond-project.eu/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

BitDegree (o. J.): Start.Solar dApp. Online verfügbar unter <https://www.bitdegree.org/crypto-tracker/top-ethereum-dapps/start-solar>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Bronski, Peter (2020a): DENA Selects Energy Web to Build Prototype Identity Registry for Germany's Energy Market. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/dena-selects-energy-web-to-build-prototype-identity-registry-for-germanys-energy-market-2580f53b2d20>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Bronski, Peter (2020b): Foton and Energy Web launch

blockchain-based I-REC marketplace in Turkey. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/foton-and-energy-web-launch-blockchain-based-i-rec-marketplace-in-turkey-e2847db835f>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Bronski, Peter (2021): Bebat Launches EasyBat, an Open-Source, Decentralized Solution for Battery Lifecycle Management. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/bebat-launches-easybat-an-open-source-decentralized-solution-for-battery-lifecycle-management-281f2ace61e9>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Bronski, Peter (2022): Energy Web Foundation and Minna Denryoku Conclude Test of Blockchain for Japanese Renewable Energy Markets. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/energy-web-foundation-and-minna-denryoku-conclude-test-of-blockchain-for-japanese-renewable-energy-bf0627a9ccff>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Bronski, Peter; Arnone, Nicole (2020a): Austrian Power Grid and Energy Web Foundation Launch Proof of Concept to Use Distributed Energy Resources for Frequency Regulation. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/austrian-power-grid-and-energy-web-foundation-launch-proof-of-concept-to-use-distributed-energy-d9a378f5f5ee>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Bronski, Peter; Arnone, Nicole (2020b): Share&Charge Foundation Launches Open Charging Network on Energy Web Chain. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/share-charge-foundation-launches-open-charging-network-on-energy-web-chain-84af7f6f5b3c>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Bronski, Peter; Arnone, Nicole; Ridthichai, Supharat (2019): PTT and Energy Web Foundation Launch Blockchain-based Renewables Platform for Thailand, ASEAN, Japan. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/ptt-and-energy-web-foundation-launch-blockchain-based-renewables-platform-for-thailand-asean-c84a304eb5c>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Bronski, Peter; Schuricht, Jennifer; van Deventer, Meg (2020): NV Energy, Blockchains LLC, and Energy Web announce blockchain pilot for Nevada's residential solar market. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/nv-energy-blockchains-llc-and-energy-web-announce-blockchain-pilot-for-nevadas-residential-bbf4571179da>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

CEEW (2022): The Role of Blockchain Technology in the Power Sector. Online verfügbar unter <https://www.ceew.in/cef/masterclass/explains/the-role-of-blockchain-technology-in-the-power-sector>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Centrica (o. J.): The power plant next door. Online verfügbar unter <https://www.centrica.com/Story/The-Power>

Plant-Next-Door/, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Chain of Things (o. J.): Where the Grid Ends, Liquidstar Begins. Online verfügbar unter <https://www.chainofthings.com/liquidstar/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Climate Action Stories (o. J.): Urban Pioneers CommunityEnergy. Community P2P blockchain project for optimized usage and virtual trading of selfproduced photovoltaics energy. Online verfügbar unter <https://www.climateactionstories.com/energy-re-ee/urban-pioneers-community>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Coin Market Cap (2022): Energi. Online verfügbar unter <https://coinmarketcap.com/de/currencies/energi/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Commuterz (o. J.): Making Carpooling Fun Again. Online verfügbar unter <https://www.commuterz.io/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

CORDIS (o. J.a): Pro-sumer AwaRe, Transactive Markets for Valorization of Distributed flexibility enabled by Smart Energy Contracts. Online verfügbar unter <https://cordis.europa.eu/project/id/864319>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

CORDIS (o. J.b): Scaling-up Power Flexible Communities business models empowered by Blockchain and AI. Online verfügbar unter <https://cordis.europa.eu/project/id/870146>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Crunchbase (o. J.a): Green Energy Wallet. Online verfügbar unter <https://www.crunchbase.com/organization/green-energy-wallet>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Crunchbase (o. J.b): Green Power Exchange. Online verfügbar unter <https://www.crunchbase.com/organization/green-power-exchange>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Deign, Jason (2019): Iberdrola Uses Blockchain to Authenticate Clean Energy for Corporate Customers. Online verfügbar unter <https://www.greentechmedia.com/articles/read/iberdrola-uses-blockchain-to-authenticate-green-energy>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

dena (2022): dena testet Blockchain-basierte Infrastruktur für die Identifizierung von Anlagen im Energiesystem. Online verfügbar unter <https://www.dena.de/newsroom/meldungen/dena-testet-blockchain-basierte-infrastruktur-fuer-die-identifizierung-von-anlagen-im-energiesystem/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Discovery (o. J.): Verbundprojekt BloGPV. Online verfügbar unter <https://blogpv.net/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Döbelt, Susen; Kreusslein, Maria (2016): Contribution NEMoGrid to ERA Net SES Working Group Consumer and

Citizen Involvement: Conflicting user needs “degrees of freedom” and ease of use. Online verfügbar unter https://nemogrid.eu/wp-content/uploads/Conflicting_User_Needs_Degrees_of_Freedom_and_Ease_of_Use.pdf, zuletzt geprüft am 20.07.2022.

Doleski, Oliver D. (2020): Realisierung Utility 4.0 Band 2. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Donnerer, David; Lacassagne, Sylvie (2019): Blockchains and Energy Transition. What Challenges for Cities? Online verfügbar unter https://energy-cities.eu/wp-content/uploads/2019/01/energy-cities-blockchain-study_2018_en.pdf, zuletzt geprüft am 08.09.2022.

EFFORCE (2019): White Paper. Online verfügbar unter https://efforce.io/WP_ENG_V1.pdf?v=3, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

ENERES (o. J.): Our approaches to the future. Online verfügbar unter <https://www.eneres.co.jp/english/future>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Energieleben (2021a): Profis am Wort: „So können wir dem Strom ein Mascherl umhängen“. Online verfügbar unter <https://www.energieleben.at/profis-am-wort-so-koennen-wir-dem-strom-ein-mascherl-umhaengen/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Energieleben (2021b): Profis am Wort: Allen technischen Herausforderungen gewachsen. Online verfügbar unter <https://www.energieleben.at/profis-am-wort-groesste-photovoltaikanlage-des-landes/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Energy Source & Distribution (2016): Busselton retirees trial blockchain technology. Online verfügbar unter <https://esdnews.com.au/busselton-retirees-selling-power-neighbours/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Energy Web (o. J.): E-Mobility Dashboard. Online verfügbar unter <https://www.energyweb.org/case-studies/e-mobility-elia/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Energy Web (2021a): AEMO announces open-source operating system for world-leading distributed energy marketplace design trial. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/aemo-announces-open-source-operating-system-for-world-leading-distributed-energy-marketplace-design-a211a6f6c415>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Energy Web (2021b): California grid operator launches new demand flexibility platform enhancements to Flex Alert system, leveraging Energy Web technology. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/california-grid-operator-launches-new-demand-flexibility-platform-enhancements-to-flex-alert-system-e01ae8030da0>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Energy Web (2021c): Catalanian Grid Operator Electra

Caldense, Energy Web, and Bamboo Energy Announce Grid Flexibility Project. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/catalonian-grid-operator-electra-caldense-energy-web-and-bamboo-energy-announce-grid-flexibility-51c75e5bcc25>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Energy Web (2021d): Google Backs Energy Web to Harmonize Low-Carbon Electricity Markets Across Europe. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/google-backs-energy-web-to-harmonize-low-carbon-electricity-markets-across-europe-204c18cd2f12>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Energy Web (2022): Allgäuer Überlandwerke joins the Energy Web ecosystem as a member and validator. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/allg%C3%A4uer-%C3%BCberlandwerke-joins-the-energy-web-ecosystem-as-a-member-and-validator-2719e99c0973>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Energy21 (2019): First local energy community is live! LEF in Hoog Dalem. Online verfügbar unter <https://www.energy21.com/first-local-energy-community-is-live/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Energy21; STEDIN (2018): Whitepaper Layered Energy System. Online verfügbar unter <https://ileco.energy/wp-content/uploads/2019/08/layered-energy-system-whitepaper.pdf>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

EPRI (2020a): Alectra - Demand Response Pilot. Online verfügbar unter <https://techportal.epri.com/demonstrations/demo/ubig/7HvSmytd79dwp1loumQCUj>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

EPRI (2020b): Busselton Lifestyle village P2P Pilot. Online verfügbar unter <https://techportal.epri.com/demonstrations/demo/ubig/32AOkBqxr9dU9kDRsp9NIq>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

EPRI (2020c): Demonstrations Alliander - Joullette Token. Online verfügbar unter <https://techportal.epri.com/demonstrations/demo/ubig/4PyykLyXHqqUfIXTroMYGQ>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

EPRI (2020d): Demonstrations Latrobe Valley Microgrid Feasibility Study. Online verfügbar unter <https://techportal.epri.com/demonstrations/demo/ubig/2NWVg11OFdsn2lvx200Vsn>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

EPRI (2020e): KEPCO P2P Energy Trading with Power Ledger Platform. Online verfügbar unter <https://techportal.epri.com/demonstrations/demo/ubig/1rQn2qa4TRelS5zv0CURPX>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

EVOolve Power (o. J.): Charging Electric Vehicles. Online verfügbar unter <https://www.evolvepower.co.uk/>, zuletzt

geprüft am 28.09.2022.

EWE (2021): enera Projektkompodium | Gemeinsamer Abschlussbericht des Konsortiums | Medium 2/2. Online verfügbar unter <https://projekt-enera.de/wp-content/uploads/enera-projektkompodium.pdf>, zuletzt geprüft am 23.06.2022.

Fabel, Yann; Zeiselmair, Andreas; Spindler, Robin; Bogensperger, Alexander (2021): Vergleich aktueller Plattform-Projekte in der Energiewirtschaft und die Rolle der Dezentralisierung. Online verfügbar unter https://iewt2021.eeg.tuwien.ac.at/download/contribution/fullpaper/110/110_fullpaper_20210901_112405.pdf, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Fabian, Chris (2019): Introducing Blockchain Impact Award Winner BitLumens. Online verfügbar unter <https://www.newsweek.com/2019/03/08/bitlumens-blockchain-impact-award-winner-energy-finance-1339330.html>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

FfE (o. J.): Das Projekt InDEED. Online verfügbar unter <https://www.ffe.de/projekte/indeed/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

FfE (2021): PEAK – Integrierte Plattform für Peer-to-Peer Energiehandel und aktive Netzführung. Online verfügbar unter <https://www.ffe.de/projekte/peak-integrierte-plattform-fuer-peer-to-peer-energiehandel-und-aktive-netzfuehrung/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

FFG (2017): SonnWende+. Online verfügbar unter <https://projekte.ffg.at/projekt/2808377/pdf>, zuletzt geprüft am 04.03.2022.

FH Salzburg (2017): Blockchain-Pilotprojekt gestartet. Online verfügbar unter <https://its.fh-salzburg.ac.at/aktuelles/news/suche/blockchain-pilotprojekt-gestartet/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Flexidao (o. J.): CFE Score. Online verfügbar unter <https://www.flexidao.com/our-solutions/cfescore>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

flexQgrid (2020): Projekt flexQgrid. Online verfügbar unter <https://flexqgrid.de/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Fraunhofer (2021): WindNODE-Projekt erfolgreich abgeschlossen. Online verfügbar unter <https://www.fokus.fraunhofer.de/de/news/fokus/windnod>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Freelio (o. J.): Projects. Online verfügbar unter <http://freel.io/projects>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Green, Gemma; Newman, Peter; Forse, Nick (2020): RENeW Nexus. Enabling resilient, low cost & localised electricity markets through blockchain P2P & VPP

trading. Online verfügbar unter https://assets.website-files.com/5fc9b61246966c23f17d2601/607e724f8dfb1a2d5928bbc0_renew-nexus-project-report.pdf, zuletzt geprüft am 08.09.2022.

Green Energy Lab (2018): Blockchain Grid. Blockchain basierter Abruf von Flexibilitäten in Verteilnetzen. Online verfügbar unter <https://greenenergylab.at/projects/blockchain-grid/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

GreenSync (o. J.): Powering new opportunities for the energy industry. Online verfügbar unter <https://dex.energy/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Grid Singularity (2019): EVENT HORIZON. Energy Blockchain Startups Who-Is-Who. Online verfügbar unter https://eventhorizonsummit.com/data/uploads/2019/06/EnergyBlockchainStartupsReport_EventHorizon2019.pdf, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Haller, Birgit; Langniß, Ole; Reuter, Albrecht; Spengler, Nicolas (2020): 1,5°Celsius. Energiewende zellulär - partizipativ - vielfältig umgesetzt. 1. Auflage. Stuttgart: C/sells Verlag.

Hasse, Felix; von Perfall, Axel; Hillebrand, Thomas; Smole, Erwin; Lay, Lena; Charlet, Maximilian (2016): Blockchain - Chance für Energieverbraucher? Online verfügbar unter <https://www.pwc.de/de/energiewirtschaft/blockchain-chance-fuer-energieverbraucher.pdf>, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

Hive Power (o. J.a): Kennen Sie unser Projekt - NEMoGrid (Förderung dezentraler Energiequellen). Online verfügbar unter <https://www.hivepower.tech/de/projekte/kennen-sie-unser-projekt-nemogrid-zur-f%C3%B6rderung-dezentraler-energiequellen>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Hive Power (o. J.b): Kennen Sie unsere Projekte - LIC (Energiegemeinschaften). Online verfügbar unter <https://www.hivepower.tech/de/projekte/kennen-unsere-projekte-lizenzierte-energiegemeinschaften>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Houser, Kristin (2017): A New Blockchain Token Is Ready to Lead Us Into the Fossil Fuel-Free Future. Online verfügbar unter <https://futurism.com/grid-blockchain-token-renewable-energy>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Hunink, Yvo (o. J.): Energy Bazaar. Online verfügbar unter <https://challenge.whatdesigncando.com/projects/energy-bazaar/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Iberdola (o. J.): How can blockchain be used to certify the source of green energy? Online verfügbar unter <https://www.iberdola.com/innovation/blockchain-energy>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

ICO Drops (o. J.): Eleoncity (Energy). Online verfügbar

unter <https://icodrops.com/eloncity/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

IISM (o. J.): Smart Microgrids as a Service. Online verfügbar unter <https://smaas.iism.kit.edu/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

InnovateUK (o. J.): CEDISON. Community Energy Dynamic Solution. Online verfügbar unter <https://www.iesve.com/research-learning/project-resources/cedison/cedison-flyer.pdf>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Internet of Energy Network (2021): IOEN. The Internet of Energy Network (IEON) Currency Whitepaper. Online verfügbar unter <https://www.ioen.tech/whitepaper>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Jardine, Chloe (2021): Germany launches blockchain energy trading project. Online verfügbar unter <https://www.argusmedia.com/en/news/2182684-germany-launches-blockchain-energy-trading-project>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

JCM (2020): 2.7MW Solar Power Project with Blockchain Technology in Chiang Mai University Town Community. Online verfügbar unter http://gec.jp/jcm/projects/20pro_05/, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Jones, Jonathan Spencer (2021): Chile's electricity coordinator launches blockchain renewables registry. Online verfügbar unter <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/new-technology/chiles-electricity-coordinator-launches-blockchain-renewables-registry/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Jones, Jonathan Spencer (2022a): Australian Energy Market Operator and Energy Web partner on blockchain-based VPP pilot. Online verfügbar unter <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/energy-grid-management/australian-energy-market-operator-and-energy-web-partner-on-blockchain-based-vpp-pilot/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Jones, Jonathan Spencer (2022b): New blockchain crowdfunding platform to launch for solar in Africa. Online verfügbar unter <https://www.smart-energy.com/renewable-energy/new-blockchain-crowdfunding-platform-to-launch-for-solar-in-africa/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

JRC Smart Electricity Systems and Interoperability (2022): Energy system blockchain solutions. Online verfügbar unter <https://ses.jrc.ec.europa.eu/node/31977>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Juliens, Janoost; Taanman, Mattjis; Ünlu, İlhan (2017): Blockchain X Energy, A Natural Match. Online verfügbar unter https://www.blocklab.nl/media/uploads/2017/09/Beta-Paper-Blockchain-x-Energy-online_opmaak.pdf, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Kaaru, Steve (2022): South Africa's Sinan Energy launches carbon tokenization blockchain platform. Online verfügbar unter <https://coingeek.com/south-africa-sinan-energy-launches-carbon-tokenization-blockchain-platform/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

KIT (o. J.): LAMP Projekt. Online verfügbar unter [im.iism.kit.edu/1093_2058.php](https://www.kit.edu/1093_2058.php), zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Klaus, Joachim; Ziegler, Christian (2018): Blockchain-Projekte bei AÜW. Online verfügbar unter https://pebbles-projekt.de/wp-content/uploads/2018/05/emw_U_trends_AUeW_022018.pdf, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Klima- und Energiefonds (2020): Projekt LEAFS: Strom aus lokaler Erzeugung nutzen. Online verfügbar unter <https://energieforschung.at/presseaussendungen/projekt-leafs-strom-aus-lokaler-erzeugung-nutzen/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Koch, Jonathan (2018): From the Brooklyn Microgrid to EXERGY – A Conversation with Lawrence Orsini, CEO of LO3 Energy. Online verfügbar unter <https://www.cleantech.com/from-the-brooklyn-microgrid-to-exergy-a-conversation-with-lawrence-orsini-ceo-of-lo3-energy/>, zuletzt geprüft am 12.09.2022.

Krause, Flo (2022): Bittwatt – Energie für das 21. Jahrhundert. Online verfügbar unter <https://blockchainwelt.de/bittwatt-energie-fuer-das-21-jahrhundert-blockchain/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

KWHCoin (o. J.): KWH Renewable Energy. Online verfügbar unter <https://twitter.com/kwhcoin?lang=de>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Largue, Pamela (2018): Blockchain boosts clean energy production in the Philippines. Online verfügbar unter <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/blockchain-clean-energy-philippines/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Ledger Insights (2020): Japanese Ministry, Kyocera in blockchain renewable energy solution. Online verfügbar unter <https://www.ledgerinsights.com/japanese-ministry-kyocera-in-blockchain-renewable-energy-solution/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Ledger Insights (2021): Wien Energie, RIDDLE&CODE tokenize renewable energy installations. Online verfügbar unter <https://www.ledgerinsights.com/wien-energie-riddlecode-tokenize-renewable-energy-installations-blockchain/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Lilic, John; Lundfall, Martin (2016): Energy meets Blockchain. Online verfügbar unter <https://www.the-blockchain.com/docs/Energy%20meets%20Blockchain%20-%20Consensus.pdf>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Lumenaza (o. J.): Unsere Produkte. Kombinieren Sie unsere Produkte Ihren Bedürfnissen entsprechend und profitieren Sie von einer kurzen Markteinführungszeit und reduzierten Cost-to-Serve. Online verfügbar unter <https://www.lumenaza.de/de/produkte/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Maihofer, Giacomo (2022): Aufstieg und Fall eines genialen deutschen Krypto-Start-ups. Online verfügbar unter <https://www.btc-echo.de/schlagzeilen/lition-aufstieg-und-fall-eines-genialen-deutschen-krypto-start-ups-140474/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Maloney, Peter (2019): Green Mountain Power, LO3 pilot utilizes blockchain. Online verfügbar unter <https://www.publicpower.org/periodical/article/green-mountain-power-lo3-pilot-utilizes-blockchain>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Marcos, Patricia; Zunino, Florencia Sanchez; Carevic, David; Elaine, Susan; Mok, Rachel; Pizarro, Rodrigo (2020): Using Blockchain to support the Energy Transition and Climate Markets. Online verfügbar unter <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/35371/Using-Blockchain-to-Support-the-Energy-Transition-and-Climate-Markets-Results-and-Lessons-from-a-Pilot-Project-in-Chile.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Marke, Alastair; Nellore, Sai; Mihaylov, Mihail; Khvatsky, Jenya; Floyd, Hayden; Symes, Thomas et al. (2021): Blockchain for sustainable energy and climate in the Global South. Use cases and opportunities. Online verfügbar unter <https://www.unep.org/resources/report/blockchain-sustainable-energy-and-climate-global-south>, zuletzt geprüft am 22.06.2022.

Mengelkamp, Esther; Gärtner, Johannes; Rock, Kerstin; Kessler, Scott; Orsini, Lawrence; Weinhardt, Christof (2017): Designing microgrid energy markets. A case study: The Brooklyn Microgrid. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191730805X>, zuletzt geprüft am 04.03.2022.

Merz, Michael (2019): Blockchain im B2B-Einsatz: Technologien, Anwendungen und Projekte. 1. Aufl.: MM Publishing.

Miller, Doug (2021a): Making Crypto Green with Energy Web Zero. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/making-crypto-green-with-energy-web-zero-301cf4a979e5>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Miller, Doug (2021b): PJM-EIS UPDATE: Modernizing a legacy U.S. REC tracking system with blockchain-based technology. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/pjm-eis-update-modernizing-a-legacy-u-s-rec-tracking-system-with-blockchain-based-technology-db0ad5a4f924>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Montemayor, Leoncio (2018): Top 10 Energy and Blockchain Projects in Asia. Online verfügbar unter <https://www.solarplaza.com/resource/11948/top-10-energy-and-blockchain-projects-asia/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Montemayor, Leoncio; Boersma, Thomas; van Dorp, Tom (2017): Comprehensive Guide to Companies involved in Blockchain & Energy. Online verfügbar unter <https://ipci.io/wp-content/uploads/2017/12/Energy-Blockchain-Report.compressed.pdf>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Nair, Rahul (2020): Read more at: Uttar Pradesh Starts India's First Blockchain-Enabled Rooftop Solar Trading Platform | Mercom India. Online verfügbar unter <https://mercomindia.com/uttar-pradesh-blockchain-rooftop-solar-trading/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Network for Digital Economy and Environment (o. J.a): EneriToken. Online verfügbar unter <https://www.digitalenergyenvironment.org/resources/blockchain/categories/energy/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Network for Digital Economy and Environment (o. J.b): ImpactPPA. Online verfügbar unter <https://www.digitalenergyenvironment.org/resources/blockchain/categories/energy/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Network for Digital Economy and Environment (o. J.c): The Energy Origin (TEO). Online verfügbar unter <https://www.digitalenergyenvironment.org/resources/blockchain/inventory/the-energy-origin-teo/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Neubarth, Jürgen (2019): Blockchain-Anwendungen in der Energiewirtschaft am Beispiel der TenneT-Pilotprojekte. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/334883682_Blockchain-Anwendungen_in_der_Energiewirtschaft_am_Beispiel_der_TenneT-Pilotprojekte, zuletzt geprüft am 11.03.2022.

OLI Systems (o. J.): OLI Market. Online verfügbar unter <https://www.my-oli.com/oli-market>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

One Watt Solar (o. J.): Blockchain-powered digital electricity. Online verfügbar unter <https://onewattsolar.com/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

OpenEMS Association (o. J.): „BloGPV“ – Blockchainbasierter verteilter Großspeicher für PV-Anlagenbetreiber. Online verfügbar unter <https://openems.io/research/blogpv-blockchainbasierter-verteilter-grossspeicher-fuer-pv-anlagenbetreiber/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Orbit Network (2020): Orbit Is Revolutionizing the Renewable Energy Industry Using the Ethereum Blockchain. Online verfügbar unter <https://www.globenewswire.com/>

[news-release/2020/10/31/2118063/0/en/Orbit-Is-Revolutionizing-the-Renewable-Energy-Industry-Using-the-Ethereum-Blockchain.html](https://www.globenewswire.com/news-release/2020/10/31/2118063/0/en/Orbit-Is-Revolutionizing-the-Renewable-Energy-Industry-Using-the-Ethereum-Blockchain.html), zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Pieniak, Norman; Hofmann, Johannes; Reisch, Friederike (2021): Blockchain für einen smarten Energiemarkt: BEST. Online verfügbar unter <https://reiner-lemoine-institut.de/blockchain-energiemarkt-best/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Positiveblockchain (o. J.a): Drift. Online verfügbar unter <https://positiveblockchain.io/database/drift/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Positiveblockchain (o. J.b): SolarDAO. Online verfügbar unter <https://positiveblockchain.io/database/solardao/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Positiveblockchain (o. J.c): SolShare. Online verfügbar unter <https://positiveblockchain.io/database/solshare/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Positiveblockchain (o. J.d): Wattcoin Labs. Online verfügbar unter <https://positiveblockchain.io/database/wattcoin-labs/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Positiveblockchain (o. J.e): XiWATT. Online verfügbar unter <https://positiveblockchain.io/database/xiwatt/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Positiveblockchain (2016): eCharge. Online verfügbar unter <https://positiveblockchain.io/database/echarge/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Power2Peer (o. J.): Virtual Clean Power Network. Online verfügbar unter <https://power2peer.com/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Powerledger (2018): Vicinity To Trial Powerledger's Energy Blockchain Technology. Online verfügbar unter <https://www.powerledger.io/media/vicinity-to-trial-power-ledgers-energy-blockchain-technology>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Powerledger (2019a): Power Ledger partners with Sharing Energy and eRex for P2P trial to strengthen foothold in Japan. Online verfügbar unter <https://medium.com/power-ledger/power-ledger-partners-with-sharing-energy-and-erex-for-p2p-trial-to-strengthen-foothold-in-japan-ade7cad048ca>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Powerledger (2019b): Powerledger and Silicon Valley Power trial to turn electric vehicles into mobile atms. Online verfügbar unter <https://www.powerledger.io/media/power-ledger-and-silicon-valley-power-trial-to-turn-electric-vehicles-into-mobile-atms>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Powerledger (2019c): Powerledger launches first regional trial to bring blockchain to the bush. Online verfügbar

unter <https://www.powerledger.io/media/power-ledger-launches-first-regional-trial-to-bring-blockchain-to-the-bush>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Powerledger (2019d): Powerledger secures first commercial customer in Canberra, Australia. Online verfügbar unter <https://www.powerledger.io/media/power-ledger-secures-first-commercial-customer-in-canberra-australia>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Powerledger (2019e): Powerledger signs eight-month P2P trial with SEDA in Malaysia. Online verfügbar unter <https://www.powerledger.io/media/power-ledger-signs-eight-month-p2p-trial-with-seda-in-malaysia>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Powerledger (2020a): American PowerNet eyes rollout of energy trading technology in North America. Online verfügbar unter <https://www.powerledger.io/media/american-powernet-eyes-rollout-of-energy-trading-technology-in-north-america>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Powerledger (2020b): Powerledger signed an exclusive partnership with TDED to accelerate blockchain-based digital energy business in Thailand. Online verfügbar unter <https://www.powerledger.io/media/power-ledger-signed-an-exclusive-partnership-with-tded-to-accelerate-blockchain-based-digital-energy-business-in-thailand>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Powerledger (2020c): Powerledger, Nicheliving sign 3-year deal to bring blockchain energy trading tech to Western Australian homes. Online verfügbar unter <https://www.powerledger.io/media/power-ledger-nicheliving-sign-3-year-deal-to-bring-blockchain-energy-trading-tech-to-western-australian-homes>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Powerledger (2021): Construction begins at carbon-neutral development using Powerledger's energy trading platform. Online verfügbar unter <https://medium.com/power-ledger/construction-begins-at-carbon-neutral-development-using-powerledgers-energy-trading-platform-22ba3942bb77>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Powerledger (2022): Our clients & partners. Online verfügbar unter <https://www.powerledger.io/clients>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Prawitz, Sven (2021): ZF-Tochter „Car eWallet“: Neuer Name, neue Funktionen. Online verfügbar unter <https://www.next-mobility.de/zf-tochter-car-ewallet-neuer-name-neue-funktionen-a-994155/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Prosume (2018): E-Prosume. Integrating Blockchain with the Smart Home Gateways. Online verfügbar unter https://prosume.io/wp-content/uploads/PROSUME_Case_e-Prosume.pdf, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Prosume (2019a): Barcelona Energy Community. Energy Data Exchange for Real People. Online verfügbar unter https://prosume.io/wp-content/uploads/PROSUME_Case_Barcelona-Energy-Community-2.pdf, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Prosume (2019b): Energy Commons Protocol. Interoperability between and within Energy Systems. Online verfügbar unter https://prosume.io/wp-content/uploads/PROSUME_Case_Ledger-Program.pdf, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Prosume (2020a): DLT4EU. Enabling Peer-to-Peer Energy Exchange. Online verfügbar unter https://prosume.io/wp-content/uploads/PROSUME_-_Case-DLT4EU-versione-giusta.pdf, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Prosume (2020b): SNAM. Trading Platform for the Italian NG TSO. Online verfügbar unter https://prosume.io/wp-content/uploads/PROSUME_-_Case-SNAM.pdf, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

pwc (2018): Feldversuch: Dezentrale Laststeuerung von Strom mittels Blockchain. Online verfügbar unter <https://www.pwc.de/de/energiwirtschaft/pwc-gestaltet-die-zukunft-der-energie/feldversuch-dezentrale-laststeuerung-von-strom-mittels-blockchain.html>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

pwc (2019): Lokale Energiemärkte auf Blockchain-Basis. Zwischenstand White-PaperProjekt mit dem Karlsruher Institut für Technologie. Online verfügbar unter https://www.kim.tu-berlin.de/fileadmin/fg280/veranstaltungen/kim/konferenz_2018/Votr%C3%A4ge/2018_09_06-vortrag_kneuper-lokale_energiemaerkte.pdf, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

pwc; BDEW (2019): Blockchain Radar - Energie & Mobilität. Online verfügbar unter <https://www.pwc.de/de/energiwirtschaft/blockchain-radar20200124.pdf>, zuletzt geprüft am 04.03.2022.

Quartierstrom (o. J.): Quartierstrom 1.0. Rückblick auf das Leuchtturmprojekt Quartierstrom, unterstützt vom Bundesamt für Energie BFE. Online verfügbar unter <https://quartier-strom.ch/index.php/qs1-inkuerze/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Riddle & Code Energy (2021): My Power. Online verfügbar unter [https://uploads-ssl.webflow.com/60e340c911810738fcc024f9/6228a3de8544f352_aeffdf4f_RIDDLE%26CODE-Energy-MyPower%20\(1\).pdf](https://uploads-ssl.webflow.com/60e340c911810738fcc024f9/6228a3de8544f352_aeffdf4f_RIDDLE%26CODE-Energy-MyPower%20(1).pdf), zuletzt geprüft am 14.05.2022.

Rotter, Michael (2017): Car eWallet – Blockchain powered Payments – Komfortables Bezahlen auf der Überholspur. Online verfügbar unter <https://blog.doubleslash.de/car-ewallet-komfortables-bezahlen-auf-der-ueberholspur/>,

zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Schmidt, Jasmina (2020): The Sun Protocol verbindet erneuerbare Energie mit der Blockchain. Online verfügbar unter <https://reset.org/sun-protocol-verbindet-erneuerbare-energie-der-blockchain-und-bringt-sie-orte-ohne-stromnetz-04/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Seetao (2022): Africa explores the use of blockchain technology to develop clean energy. Online verfügbar unter <https://www.seetao.com/details/162420.html>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Semow, Thomas; Bronski, Peter (2020): SunSpec Alliance Joins Energy Web, Announces Strategic Partnership. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/sunspec-alliance-joins-energy-web-announces-strategic-partnership-43c8438f199d>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

SGInnovative (2018): Blockchain And Energy—Power, Not Magic. Online verfügbar unter <https://www.asianscientist.com/2018/11/features/sginnovate-blockchain-energy-power-magic/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Siefert, Kai (o. J.): MeiPower. Dein Zugang zu dezentralen Energiemärkten. Online verfügbar unter https://www.rtr.at/TKP/aktuelles/veranstaltungen/veranstaltungen/netzwerk-digital/Herr_Siefert_Meipower_Energiemaerkte.pdf, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Smart Energy International (2015): Smart meters prepaid: Bankymoon develops Bitcoin solution. Online verfügbar unter <https://www.smart-energy.com/top-stories/smart-meters-payment-bankymoon-develops-bitcoin-solution/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Solar Bankers (2017): An Introduction to Solar Bankers Singapore. Whitepaper. Online verfügbar unter http://solarbankers.com/wp-content/uploads/2017/08/Solarbankers_whitepaper_Vers1.pdf, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Solar Bankers (2018): Solar Bankers tests its model for P2P energy trading with Turkish utility company Enerclever in Izmir. Online verfügbar unter <https://solar-bankers.medium.com/solar-bankers-tests-its-model-for-p2p-energy-trading-with-turkish-utility-company-enerclever-in-371eda9e2e51>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

sonnen GmbH (2021): Forschungsprojekt BASE.V. Online verfügbar unter <https://sonnen.de/blog/forschungsprojekt-base-v/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

South Pole (o. J.): D-REC Initiative. Online verfügbar unter <https://www.southpole.com/clients/d-rec-initiative>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

SP Group (2018): SP Group launches one of the world's first blockchain-powered trading of Renewable Ener-

gy Certificates. Online verfügbar unter <https://www.spgroup.com.sg/wcm/connect/spgrp/e3854238-5db1-4f42-8e3d-3f7fcfa74e32/%5B20181029%5D+Media+Release+-SP+Group+launches+one+of+the+world+%27s+first+blockchain-powered+trading+of+renewable+energy+certificates.pdf?MOD=AJPERES&CVID=>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Start Up Energy Transition (o. J.): Nydro Energy S.A.S. Online verfügbar unter <https://www.startup-energy-transition.com/set100-database/nydro-energy/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Start US Insights (2019): 5 Top Blockchain Startups Impacting The Energy Industry. Online verfügbar unter <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/5-top-blockchain-startups-impacting-the-energy-industry>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Stefan, Mark; Hemm, Regina; Graf, Roman; Zehetbauer, Paul; Tötzer, Tanja; Schmidt, Ralf-Roman et al. (2020): Effiziente Lösungen für Photovoltaik-Energiemanagement basierend auf Blockchain-Technologie. SonnWende+. Online verfügbar unter https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe-2022-13-sonnwende.pdf, zuletzt geprüft am 28.05.2022.

Strauß, Oliver; Härle, Julia; Kett, Holger; Hempel, Gunnar; Leiter, Chris (2019): Potenzialstudie Blockchain. Blockchain-Anwendungsfälle für Smart Energy Communities : wie die Blockchain-Technologie für Energiegenossenschaften und kleine Energieerzeuger nutzbringend eingesetzt werden kann. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation; Fraunhofer IRB-Verlag. Stuttgart.

Strauß, Oliver; Kett, Holger; Müller, Tobias; Stetter, Daniel; Renner, Thomas; Hempel, Gunnar et al. (2021): Smart Energy Communities. Smart Services und Konzepte zum nachhaltigen Betrieb erneuerbarer Energieanlagen. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/359135480_Smart_Energy_Communities_-_Smart_Services_und_Konzepte_zum_nachhaltigen_Betrieb_erneuerbarer_Energieanlagen, zuletzt geprüft am 27.05.2022.

STROMDAO (o. J.): Die Energychain. Digitaler Strom für die Zukunft schon heute. Online verfügbar unter <https://corrently.de/gruenstromerlebnis/energychain.html>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

SunContract (2017): WHITEPAPER. An energy trading platform that utilises blockchain technology to create a new disruptive model for buying and selling electricity. Online verfügbar unter <https://suncontract.org/wp-content/uploads/2020/12/whitepaper.pdf>, zuletzt geprüft am 12.09.2022.

Tata Power-DDL (2021): Tata Power-DDL rolls out live

peer-to-peer (P2P) Solar Energy Trading, a first-of-its-kind pilot project in Delhi. Online verfügbar unter [https://www.tatapower-ddl.com/pr-details/199/1658486/tatapower-ddl-rolls-out-live-peer-to-peer-\(p2p\)-solar-energy-trading,-a-first-of-its-kind-pilot-project-in-delhi](https://www.tatapower-ddl.com/pr-details/199/1658486/tatapower-ddl-rolls-out-live-peer-to-peer-(p2p)-solar-energy-trading,-a-first-of-its-kind-pilot-project-in-delhi), zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Thill, David (2019): Ameren tests software that could unlock future 'transactive energy marketplace'. Online verfügbar unter <https://www.renewableenergyworld.com/storage/ameren-tests-software-that-could-unlock-future-transactive-energy-marketplace/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

TU München (o. J.): RegHEE Blockchain. Online verfügbar unter <https://reghee.de/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022. University of Houston (o. J.): Volt Markets. Online verfügbar unter <https://techmap.uh.edu/entity/volt-markets>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Unlock Blockchain (2020): Powerledger partners with Ekwateur for France Energy market. Online verfügbar unter <https://www.unlock-bc.com/news/2020-04-09/powerledger-partners-with-ekwateur-for-france-energy-market/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Victoria Bitter (2022): VB Solar Exchange. Online verfügbar unter <https://victoriabitter.com.au/vb-solar-exchange>, zuletzt geprüft am 06.09.2022.

Vlachos, Ioannis; Lima, Claudio; Grindroz, Bernard; Ruslanova, Meerim; Roon, Micha; Gehain, Etienne et al. (2022): Blockchain Application in the Energy Sector. Online verfügbar unter https://www.eublockchainforum.eu/sites/default/files/reports/EUBOF-Thematic_Report_Energy_Sector.pdf, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

VLUX (2018): Verv VLUX Whitepaper. The Evolution of Energy. Online verfügbar unter https://vlux.io/media/VLUX_Whitepaper.pdf, zuletzt geprüft am 22.06.2022.

Wien Energie (2021): Sonnenenergie für alle: Wien Energie startet neues BürgerInnen-Solarkraftwerk. Online verfügbar unter <https://www.wienenergie.at/press-release/sonnenenergie-fuer-alle-wien-energie-startet-neues-buergerinnen-solarkraftwerk/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Wiener Stadtwerke (o. J.): Urban Pioneers Community. Online verfügbar unter <https://www.wienerstadtwerke.at/urban-pioneers-community>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Wood, Miranda (2019): Power Ledger partners with Clearway for blockchain energy trading platform. Online verfügbar unter <https://www.ledgerinsights.com/power-ledger-clearway-blockchain-energy-trading/>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Zelazny, Stefan (2021): ENGIE Energy Access and Energy Web Announce DeFi Crowdfunding Platform to Help Scale Solar, Mini Grids in Sub-Saharan Africa. Online verfügbar unter <https://medium.com/energy-web-insights/engie-energy-access-and-energy-web-announce-defi-crowdfunding-platform-to-help-scale-solar-mini-2142029ad84f>, zuletzt geprüft am 28.09.2022.

Zero Labs (o. J.): Programmable Sustainability tools to accelerate the zero-carbon economy. Online verfügbar unter <https://www.zerolabs.green/>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.

Zhao, Yuehao; Peng, Ke; Xu, Bingyin; Liu, Yuquan; Xiong, Wen; Han, Yu (2019): Applied engineering programs of energy blockchain in US. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219311178>, zuletzt geprüft am 30.09.2022.