

Vergleich aktueller Plattform-Projekte in der Energiewirtschaft und die Rolle der Dezentralisierung

Yann Fabel¹, Andreas Zeiselmaier, Robin Spindler¹, Alexander Bogensperger

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., Am Blütenanger 71, 80995 München,
+49 (0)89 158121-0, info@ffe.de, www.ffe.de

Kurzfassung:

Plattformen für lokale Energiemärkte, zum Handel von Flexibilitäten sowie für Herkunftsnachweise nehmen in der Forschung, aber auch zunehmend in der energiewirtschaftlichen Praxis eine stetig wachsende Rolle ein. Die Blockchain-Technologie ist ein relevanter Treiber dieser Entwicklung. Offen ist allerdings immer noch, welchen Mehrwert dezentralisierte gegenüber zentralen Lösungen bieten. Insbesondere die Vorteile der Manipulationssicherheit und Transparenz scheinen in Konkurrenz zu Datenschutz und Datensouveränität zu stehen. Um den Einsatz und potenziellen Mehrwert der Blockchain-Technologie für energiewirtschaftliche Handelsplattformen zu bewerten, werden aktuelle wissenschaftliche und kommerzielle Projekte im deutschsprachigen Raum untersucht. Dabei wird die jeweilige Umsetzung der Systemarchitektur auf Basis von Interviews analysiert. Die Untersuchungen der 12 ausgewählten Projekte hat gezeigt, dass der primäre Einsatzzweck der Blockchain der dezentralen Datenhaltung bzw. des Integritätsnachweises verwendeter Daten dient. Die meisten Projekte entscheiden sich allerdings gegen eine komplett dezentrale Lösung. Als größte Hürde gilt in allen Projekten der Datenschutz. Die Untersuchung zeigt auch, dass die Blockchain-Lösungen deutlich an Komplexität zugenommen haben.

Keywords: Plattformen, Blockchain, Lokaler Energiemarkt, Flexibilitätsmarkt

1 Motivation

Die Energiewirtschaft befindet sich mitten in einem Transformationsprozess. Erzeugung wird erneuerbar und dezentral, Verbrauchssektoren werden elektrifiziert, die Zahl und der Wunsch zur Mitbestimmung seitens Prosumern und Flexumern [1] steigt, die Netzbelastung verändert sich. Die Digitalisierung ist gleichzeitig Bestandteil und Lösung dieses Transformationsprozesses. Dabei sind insbesondere bei der steigenden Anzahl an Akteuren, die miteinander interagieren, klare Standards und eine gemeinsame digitale Infrastruktur notwendig. Insellösungen oder proprietäre Systeme benötigen viele Punkt-zu-Punkt-Integrationen, sodass diese mit steigender Komplexität ineffizient werden.

Digitale Plattformen sind hier eine Lösung, um Prozesse effizient, kostengünstig und interoperabel zwischen vielen Akteuren auszugestalten. Dabei schaffen sie neue Formen der Interaktion und Wertschöpfung, heben Netzwerk-, Synergie- und Skaleneffekte und schaffen

¹ Jungautor

ein „Level-Playing-Field“ für eine Vielzahl auch kleiner Akteure. In anderen Branchen wird aber auch bereits die Kehrseite klassischer Plattformen sichtbar, z. B. durch das Entstehen von Monopolen, Single-Point-of-Failures sowie Intransparenzen und Abhängigkeiten.

Blockchain kann hier als Bestandteil von Plattformen einen Mehrwert liefern [2]. Dies wird u. a. aus dem kürzlich veröffentlichten Diskussionspapier aus dem Projekt InDEED² der FfE, der Universität Bayreuth und der Stiftung Umweltenergie recht zur Zukunft der Blockchain-Technologie in der Energiewirtschaft deutlich [3]. Durch ihre spezifischen Eigenschaften wie Dezentralität, Manipulationsresistenz, hohe Verfügbarkeit und Transparenz kann sie einige Nachteile zentralisierter Plattformen ausgleichen. Mittels technologischer Weiterentwicklungen – z. B. durch sog. 2nd-Layer-Konzepte, die trotz der Auslagerung komplexer Prozesse von den Eigenschaften der Blockchain profitieren können – kann die Technologie mittlerweile auch große Transaktionsgeschwindigkeiten, Datenschutz und Skalierbarkeit leisten [4].

Viele Projekte beschäftigen sich aktuell mit der konzeptionellen und praktischen Erprobung verschiedenster energiewirtschaftlicher Anwendungsfälle von Blockchain-Plattformen. Bei der Gegenüberstellung der Projekte stellt sich die Frage, wie sich deren Architektur einheitlich vergleichen lässt. Dies betrifft beispielsweise die Frage, welche Daten auf der Blockchain gehalten werden, welche Art von Blockchain eingesetzt wird oder den Einsatz von 2nd-Layer-Konzepten. In [5] wurde eine Methode vorgestellt, wie die Architekturen komplexer Blockchain-Plattformen dargestellt und verglichen werden können. Die Methode soll nachfolgend auf ausgewählte Projekte aus dem deutschsprachigen Raum angewandt werden. Daraus soll abgeleitet werden, welcher Mehrwert durch dezentrale Lösungen entsteht, um Erkenntnisse für die Ausgestaltung zukünftiger Plattform-Konzepte zu gewinnen. Die FfE bringt diese Analysen in das Forschungsprojekt PEAK² ein, in welchem die Erfahrungen für die anstehende Konzeption des Peer-to-Peer (P2P) Plattformdesigns genutzt werden sollen.

2 Definitionen und Methodik

Für einen aussagekräftigen Vergleich der untersuchten Plattform-Projekte ist zunächst eine Erläuterung des Plattformbegriffs sowie deren Eigenschaften notwendig. Des Weiteren bildet eine kurze Einführung in verschiedene Blockchain-Technologien die Grundlage für die angewandte Vergleichsmethodik.

2.1 Energiewirtschaftliche Plattformen

Plattformen können allgemein aus zwei dominierenden Perspektiven betrachtet und untersucht werden: zum einen aus wirtschaftstheoretischer Perspektive [6] zum anderen aus technischer Designperspektive [7].

Aus ökonomischer Sicht stellt eine Plattform dabei einen Intermediär für mehrseitige Märkte dar, an denen verschiedene Marktseiten teilnehmen und handeln können. Man spricht hierbei auch von Plattform-geführten Netzwerken oder (mehrseitigen) Plattformen [8], [9], [10]. Im

² Die Projekte „PEAK – Integrierte Plattform für Peer-to-Peer Energiehandel und Aktive Netzführung“ (www.ffe.de/peak) und InDEED (www.ffe.de/indeed) sind gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) – Förderkennzeichen PEAK: 03EI0635F, InDEED: 03E16026A

einfachsten Fall besteht der Markt lediglich aus Käufern und Verkäufern und die Plattform ermöglicht den Kontakt zwischen beiden Gruppen, um dadurch Waren oder Dienstleistungen austauschen zu können. Der Unterschied zu reinen Netzwerken besteht darin, dass Plattformen eine Interaktion verschiedener Nutzergruppen bereitstellen [11]. Aufgrund der Vernetzung der Teilnehmer auf Plattformen kommt es aber auch dort zu Netzwerkeffekten, die den Erfolg der Plattform beeinflussen. So bewirkt beispielsweise eine hohe Anzahl potenzieller Käufer eine hohe Nachfrage, wodurch eine Plattform attraktiv für Anbieter ist. Aus ökonomischer Sicht zeigen Plattformen deshalb insbesondere einen Mehrwert aufgrund ihrer Skalierbarkeit und dem Potenzial der Effizienzsteigerung, sowie durch den einfachen Marktzugang der Teilnehmer.

Während beim ökonomischen Ansatz die Plattformarchitektur exogen vorgegeben ist, spielt sie die Schlüsselrolle in der technischen Betrachtungsweise. In der Produktentwicklung dienen Plattformen allgemein als Basis von hierarchischen, modularen Systemarchitekturen, um dadurch diversifizierte Produktfamilien zu generieren, indem gemeinsame Strukturen wiederverwendet werden. Robertson und Ulrich [12] beschreiben deshalb Plattformen als Sammlung von Komponenten, Prozessen, Wissen, Menschen und Beziehungen, die von einer Gruppe von Produkten geteilt werden. Folglich stellen Plattformen aus technischer Perspektive vor allem ein Werkzeug der Standardisierung dar, die aufgrund ihrer Wiederverwendbarkeit Entwicklungsaufwand reduzieren.

Während Plattformen in anderen Branchen bereits weit verbreitet und erfolgreich am Markt sind, sind sie in der Energiewirtschaft bisher nur vereinzelt zu finden. Durch zunehmende Digitalisierung und Marktöffnung für kleinere Akteure steigt jedoch der potenzielle Teilnehmerkreis für energiewirtschaftliche Anwendungen. Die Relevanz solcher Plattformen wird entsprechend in Zukunft weiter steigen. Hinzu kommt, dass aus den Erfahrungen bisheriger Entwicklungen gelernt werden kann und sich die Chance bietet, Probleme wie z. B. Monopolbildung oder Lock-In Effekte sowohl durch konzeptionelle als auch technische Lösungen vorzubeugen.

Nachfolgend erfolgt eine Darstellung von Plattform-Projekten mit Blockchain-Technologie in der Energiewirtschaft sowie deren Visualisierung und Vergleich.

2.2 Blockchain in Plattform-Architekturen

Wie zuvor erwähnt, bietet der Einsatz von Blockchain potenzielle Mehrwerte, u. a. hinsichtlich Transparenz, hoher Sicherheitsstandards und der Vermeidung eines sog. Single-Point-of-Failure. Daher wird ihr Einsatz bereits in einigen (Forschungs-)Projekten für energiewirtschaftliche Anwendungsfälle erprobt.

Als Distributed-Ledger-Technologie beschreibt eine Blockchain (BC) im Allgemeinen eine verteilte Datenbankstruktur, die aufgrund der dezentralen Datenhaltung und der Verwendung von Konsensmechanismen Manipulationssicherheit gewährleistet. Teilnehmer des Netzwerks können Transaktionen initiieren und empfangen sowie diese einsehen. Damit Modifizierungen anerkannt werden, müssen sich bestimmte Teilnehmer (Validatoren bzw. Prüfer) über eine Konsensfindung auf die Korrektheit der Daten einigen. Typischerweise werden Blockchains in public und private sowie permissioned und permissionless eingeteilt [13]. Während public BC für jeden mit Internetzugang zugänglich sind, können private BC nur von autorisierten

Teilnehmern (BC Nodes) genutzt werden. Für permissioned BC sind zudem nur ausgewählte Teilnehmer berechtigt, sich als Prüfer an der Konsensfindung zu beteiligen, wohingegen bei permissionless BC jeder Teilnehmer gleichberechtigt ist. Der Konsensmechanismus ist eine weitere bedeutende Charakteristik zur Unterscheidung verschiedener BC-Technologien. Es gibt mittlerweile eine Vielzahl an Methoden, um eine Konsensfindung zu erreichen, die je nach Anwendungsfall Vor- und Nachteile bieten [14].

2.3 Vergleichsmethodik

Für einen aussagekräftigen Vergleich komplexer und anwendungsspezifischer Plattformen mit unterschiedlichen technischen Lösungen ist eine einheitliche Beschreibung der Systemarchitekturen notwendig. Im Rahmen des Forschungsprojekts InDEED entwickelte die fFe eine solche Methode in Form eines Frameworks zur Visualisierung und Bewertung von Anwendungsfällen in der digitalen Energiewirtschaft (siehe Abbildung 1). Diese bildet die Grundlage für die Untersuchungen der Plattform-Projekte in Abschnitt 3.

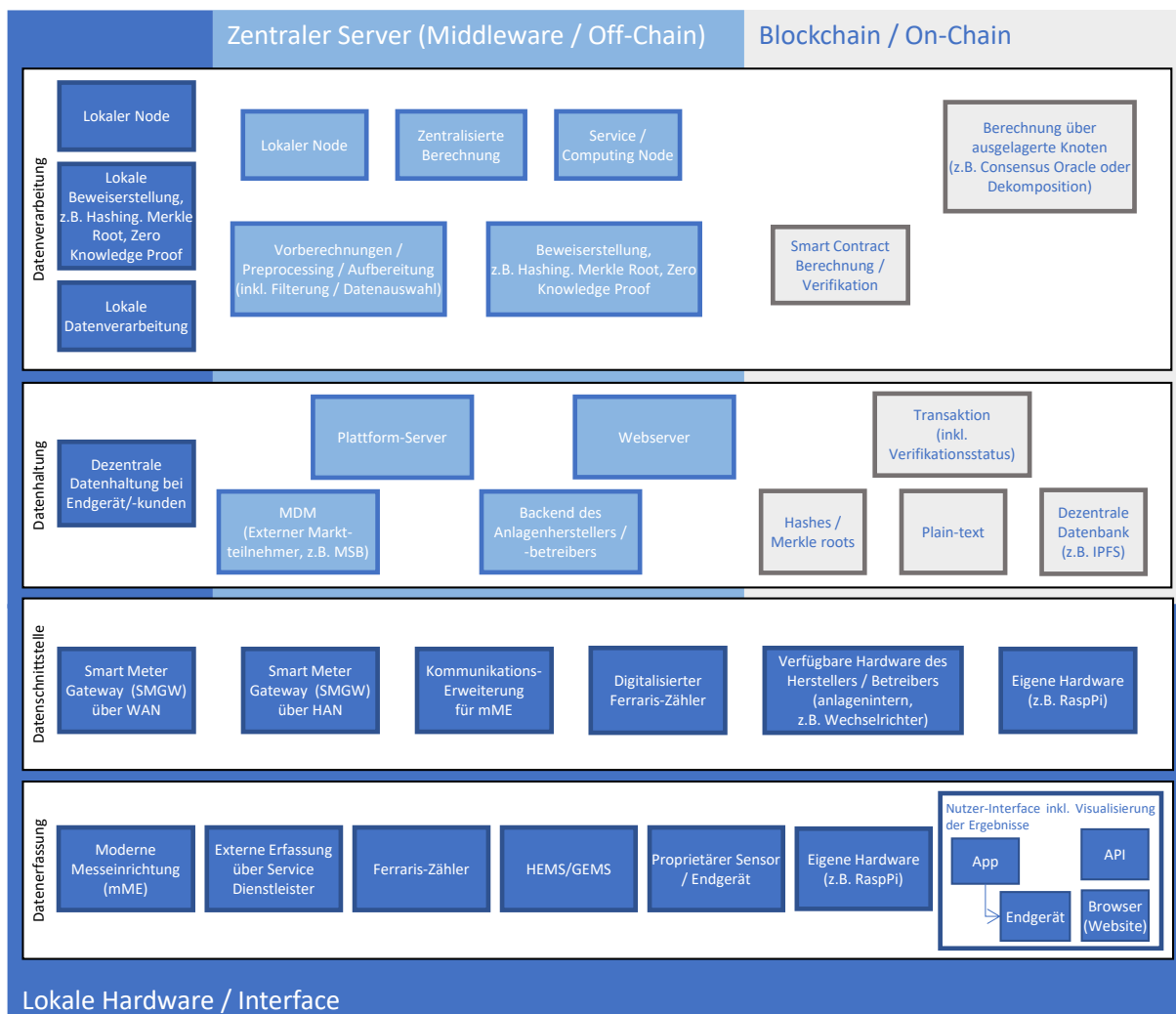


Abbildung 1: Verwendetes „System Cartography Framework for Complex Energy Blockchain Architectures“ nach [5] (Miro-Vorlage unter www.fFe.de/systemcartography)

Das Framework besteht aus drei Domänen (Lokale Hardware, Off-Chain/Zentraler Server, On-Chain/Blockchain) und vier Layern (Datenerfassung, Datenschnittstelle, Datenhaltung und

Datenverarbeitung). Über entsprechende Verknüpfungen der verwendeten Komponenten kann der Weg der Daten in der zu beschreibenden Systemarchitektur individuell für jedes Projekt einheitlich veranschaulicht werden. Eine detaillierte Beschreibung zur Entwicklung und Anwendung der Methode wurde in [5] veröffentlicht.

3 Untersuchte Plattform-Projekte

Der folgende Abschnitt zeigt die Ergebnisse der Anwendung des vorgestellten Frameworks auf die Systemarchitekturen ausgewählter energiewirtschaftlicher Plattform-Projekte. Die Auswahl der untersuchten Plattform-Projekte erfolgte auf Basis verschiedener Kriterien. Einerseits wurden ausschließlich Projekte im deutschsprachigen Raum ausgewählt, so dass ähnliche regulatorische Rahmenbedingungen gelten. Des Weiteren wurden nur aktuell laufende, beziehungsweise vor kurzem abgeschlossene Projekte betrachtet, die überwiegend durch den Blockchain Bayern e. V.³ vernetzt sind. Zuletzt hat neben einer inhaltlichen Vorauswahl auch die Bereitschaft der Projektpartner für ein Interview die hier untersuchten Plattform-Projekte bestimmt. Die Interviews, in welchen gemeinsam mit den Interviewpartnern das vorgestellte Systemarchitektur-Framework ausgefüllt wurde, wurden im Rahmen einer Abschlussarbeit durchgeführt [15]. Die untersuchten Anwendungsfälle der Projekte beinhalteten Lokale Energiemärkte (LEM), Flexibilitäts-Plattformen (FP), Labeling von Energieströmen (LE), Asset Logging (AL) und eine Impact Investment Plattform (IIP). In Tabelle 1 ist eine Übersicht der ausgewählten Projekte zu finden.

Projekt	Anwendungsfall	Beschreibung	Einsatz der Blockchain	Quellen
BASE.V	LEM	BASE.V ist ein Forschungsprojekt der TU München, in welchem das Potenzial von Blockchain-basierten Märkten im Verteilnetz untersucht wird. Im Projekt wird evaluiert, inwieweit stationäre und mobile Energiespeicher intelligent dazu beitragen können, einen lokalen Stromhandel zu ermöglichen und gleichzeitig das Verteilnetz zu stärken.	Dezentral gesteuerte P2P-Energiemarkt inkl. Verteilnetzbetreiber basierend auf einer private permissioned BC. Kommunikation der Teilnehmer über eigene BC-Gateways.	ei.tum.de/ees/forschungsprojekte/basev/ , [16]
Blockpro	LE	Blockpro ist ein von Consolingo und Webanizer AG ins Leben gerufenes Projekt, in dem ein Herkunftsnachweis für Strom auf Blockchain-Basis entwickelt werden soll.	Aufzeichnung erzeugter Strommengen und Erzeugungsart über Doichain (public PoW BC)	[17]
flexQGrid (Sekundärmarkt)	FP	Bei dem auf drei Jahre angelegten Projekt FlexQGrid soll das Zusammenspiel der Verteilnetze, regionaler Stromerzeugung, steuerbarer Verbraucher und Marktteilnehmer sowie Aggregatoren untersucht werden. Als Teil des Projekts wird eine Plattform für den Handel von Leistungsquoten als Sekundärmarkt entwickelt.	Unveränderliche Dokumentation von Quoten, Geboten und Stromverbrauch der Marktteilnehmer für nachvollziehbare Marktergebnisse.	flexqgrid.de , [18]
Grid Singularity	LEM	Bei Grid Singularity wird eine Plattform für den lokalen Austausch von Strom entworfen, die die Daten über Programmierschnittstellen erhält und somit unabhängig von Lösungen für Datenerfassung/-bereitstellung ist.	Optionale Möglichkeit, Transaktionen auf der Blockchain abzulegen (kein integraler Bestandteil der Plattform).	gridsingularity.com , [19]

³ Die Autoren engagieren sich in der Arbeitsgruppe Energie des Blockchain Bayern e. V. (www.blockchain-bayern.de) und konnten eine Vielzahl relevanter Projekte für die Veranstaltungsreihe Blockchain Energy Summit (www.blockchain-bayern.de/blockchain-energy-summit) gewinnen.

LAMP	LEM	Pilot- und Forschungsprojekt zur Entwicklung einer Handelsplattform für dezentral erzeugte, grüne Energie mit agentenbasierter Transaktionsabwicklung.	Keine Verwendung von Blockchain-Technologien.	im.iism.kit.edu/1093_2058.php , [20]
SMaas	LEM	Folgeprojekt von LAMP mit dem Ziel, durch einen LEM Effizienzsteigerungen im lokalen Energiesystem zu erreichen. Lokale Verbraucher sollen dabei automatisiert mit Hilfe virtueller Energieagenten Wärme und Strom handeln.	Keine Verwendung von Blockchain-Technologien.	smaas.iism.kit.edu/ , [21]
pebbles	LEM	Das Forschungsprojekt pebbles untersucht lokale Energiemärkte auf Basis einer digitalen Plattform zum Handel von Flexibilitäten. Dadurch sollen Netzengpässe vermieden werden und die Transaktionskosten gesenkt werden.	Aufzeichnung gehandelter Strommengen sowie Erzeugungsart, -Ort und -Zeit. Möglichkeit der Teilnehmer individueller Handels-Präferenzen.	pebbles-projekt.de , [22], [33]
RegHEE	LEM, LE	RegHEE hat sich das Ziel gesetzt, eine lokale Stromhandelsplattform auf Blockchain-Basis zu erforschen, entwickeln und aufzubauen, welche den Strom eindeutig kennzeichnet. Durch den parallelen Aufbau einer zentralen und einer dezentralen, Blockchain-basierten Lösung wird der Mehrwert der Blockchain für einen regionalen Energiemarkt untersucht und bewertet.	Stromkennzeichnung im regionalen Energiemarkt. Umsetzung von Marktlogiken und Abrechnung über Smart Contracts.	reghee.de/ , [34], [23]
Equigy	FP	Bei Equigy handelt es sich um eine Initiative europäischer Übertragungsnetzbetreiber, die es Haushalten ermöglichen soll, aktiv an der Energiewende mitzuwirken und aus kleineren dezentralen Anlagen Flexibilitäten zu erbringen.	Transaktionsaufzeichnungen, Validierung von Flexibilitätsbereitstellung.	equigy.com/ , [24]
Youki.ai (likwid)	IIP	Plattform des Blockchain-Service Dienstleister Youki.ai GmbH für Investitionsmöglichkeiten in erneuerbare Energieanlagen basierend auf einem dezentralen und sicheren BC-Netzwerks und eigener Energiemessinfrastruktur.	Dezentraler BC-Node speichert Daten aus SMGW und verwaltet Smart Contracts, die automatisiert Transaktionen tätigen.	youki.ai/likwid , [25]
OLI-Market	LEM	OLI-Market ist eine Plattform für Mieterstrommodelle und P2P-Trading der Firma OLI Systems GmbH. Basierend auf eigenen Software- und Hardware Komponenten sowie BC-Lösungen sollen insbesondere kleineren dezentralen Anlagen die Möglichkeit gegeben werden, sich aktiv an der Energiewende zu beteiligen.	Ergebnisse aus zentralisierten Marktberechnungen werden über Smart Contracts verarbeitet und als Hashes auf der BC abgelegt.	my-oli.com/oli-marketP , [26]
InDEED	LE, AL	Das Forschungsprojekt InDEED hat zum Ziel, das Konzept einer verteilten Datenplattform auf BC-Basis für energiewirtschaftliche Anwendungsfälle praktisch umzusetzen und wissenschaftlich zu bewerten (u. a. Potenzialanalysen, Systemrückwirkungen, veränderte Wertschöpfungsstrukturen). Inhaltlich werden insbesondere die Anwendungsfelder „Labeling“ und „Asset Logging“ untersucht.	AL: Integrität der erfassten Anlagendaten werden durch Merkle Proofs auf der Blockchain gewährleistet. LE: Zero-Knowledge-Proofs bieten Nachweis über korrekte Zuordnung von Angebot und Nachfrage, ohne sensible Daten Preis zu geben.	ffe.de/indeed , [27], [28], [29]
PEAK	LEM, FP	Im Rahmen von PEAK soll ein Prototyp einer integrierten Plattform für P2P-Stromhandel und aktiver Netzführung mit marktbasierter Nutzung von Flexibilitäten entwickelt werden. Auf Basis eines Feldtests in einem realen Verteilnetz und virtuellen Erprobungen sollen Skalierungs- und Portierungspotenziale ermittelt werden.	Konkreter Einsatz der Blockchain zum Zeitpunkt der Untersuchung noch in der Konzeption.	ffe.de/peak

Tabelle 1: *Untersuchte Plattform Projekte*

3.1 Eingesetzte Systemkomponenten

Wie in der Systemlandschaftsbeschreibung erläutert, sind die Plattform-Komponenten in vier Layer aufgeteilt, die jeweils lokale Hardware, zentrale Server (Middleware) oder einen Teil der BC darstellen. In Abbildung 2 ist das Framework der Systemlandschaft erneut abgebildet, wobei die Häufigkeit der verwendeten Komponenten in den untersuchten Projekten farblich differenziert ist. Deutlich zu erkennen ist, dass oftmals moderne Messeinrichtungen (mME), sowie Smart-Meter-Gateways (SMGW) für die Datenerfassung und als Datenschnittstelle dienen, während meist zentrale Server für die Datenhaltung und Verarbeitung verwendet werden. Auf Blockchain-Ebene werden vor allem Smart Contracts für die automatisierte Abwicklung von Transaktionen verwendet, wobei sich die konkrete Umsetzung der Blockchain je nach Anwendungsfall und Plattform sehr unterscheidet. Für einen detaillierten Vergleich lohnt sich daher eine individuelle Betrachtung der Projekte.

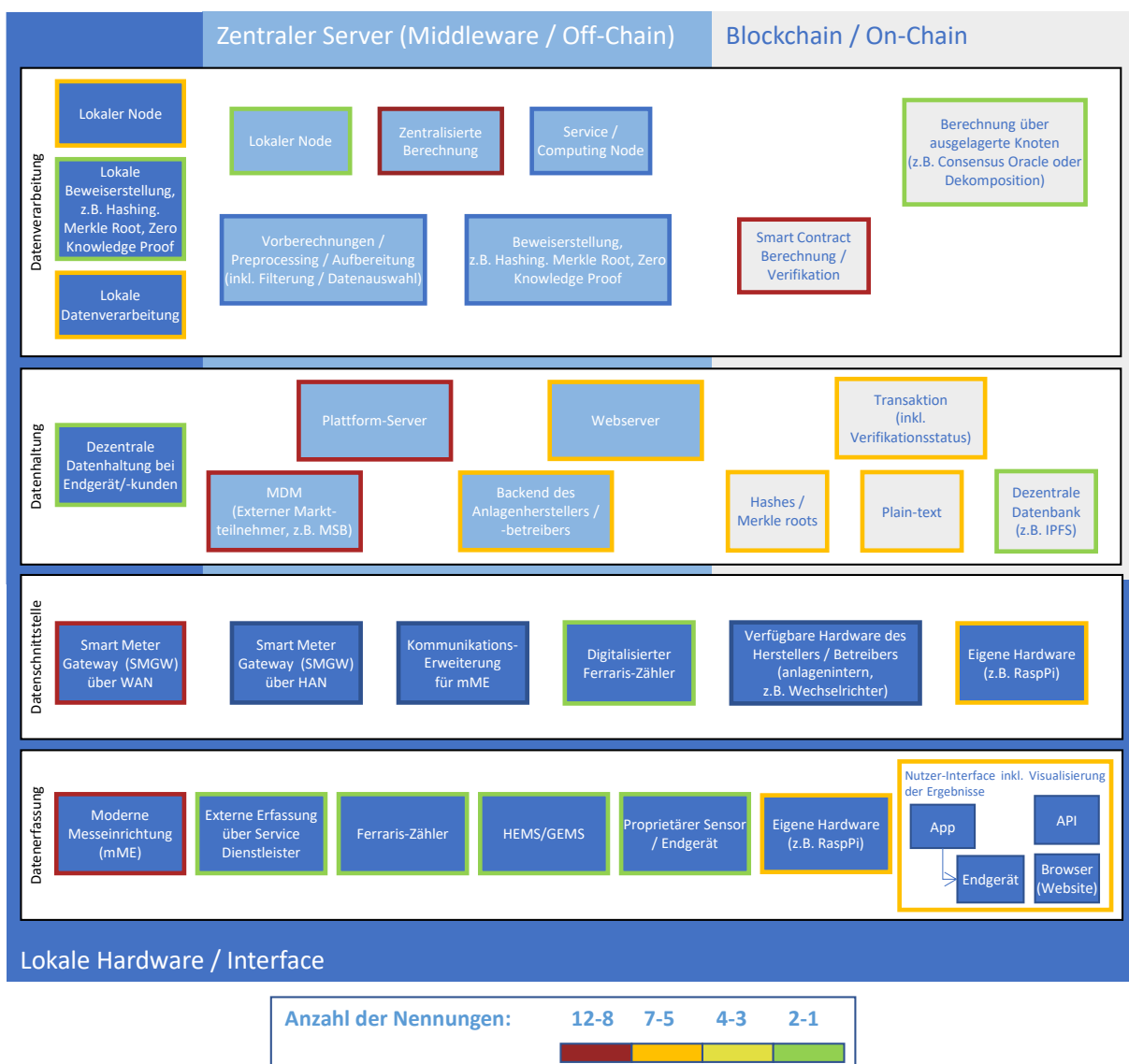


Abbildung 2: Übersicht zu Häufigkeit der eingesetzten Systemkomponenten

3.2 Datenerfassung und -übertragung

In Tabelle 2 ist eine Übersicht der verwendeten Komponenten in den jeweiligen Projekten abgebildet. Abgesehen von einer Ausnahme werden die Daten immer digital erfasst und können somit direkt bereitgestellt werden. Auffallend ist, dass moderne Messeinrichtungen (mME) oft in Kombination mit eigener Hardware bzw. Heim- und Gebäudemanagementsystemen (HEMS/GEMS) verwendet werden. Gleiches gilt für die Datenschnittstelle, bei der die Daten meist sowohl über Smart Meter Gateways (SMGW) als auch direkt über die eigene Hardware (HW) bzw. das Energiemanagementsystem zur Verfügung gestellt werden. Weitere Komponenten für Datenerfassung sind: externe Erfassung über Service Dienstleister (ext. Erfass.), Ferraris-Zähler, proprietäre Hardware (prop. HW), z. B. Sensoren/Endgeräte vom Hersteller/Betreiber des Messsystems und eigene Hardware, beispielsweise ein System-on-a-Chip, der einfach an den Anwendungsfall anzupassen ist. Letzteres kann zusätzlich auch als Schnittstelle dienen.

Projekt	Datenerfassung						Datenschnittstelle		
	mME	Ext. Erfass.	Ferraris Zähler	HEMS/ GEMS	Prop. HW	Eigene HW	SMGW	Eigene HW	Digital. Ferraris Z.
BASE.V	✓	✓		✓		✓	✓	✓	
Blockpro						✓		✓	
FlexQGrid	✓			✓			✓		
Grid Singularity									
Lamp			✓						✓
SMaaS	✓				✓		✓	✓	
Pebbles	✓					✓	✓	✓	
RegHEE	✓			✓			✓		
Equigy									
Youki	✓						✓		
OLI Systems	✓					✓	✓	✓	
InDEED (Labeling)	✓							✓	
Summe	8	1	1	3	1	4	7	6	1

Tabelle 2: Übersicht zu Datenerfassung und -haltung in den betrachteten Projekten

3.3 Datenhaltung und -verarbeitung

Analog zu Tabelle 2 ist in Tabelle 3 eine Übersicht zu den verwendeten Komponenten für die Datenhaltung und Datenverarbeitung zu sehen. Auch wenn die meisten Plattform-Projekte bei der Datenhaltung auf zentrale Lösungen setzen, gibt es teilweise große Unterschiede. Abhängig davon, um welche Daten es sich handelt, werden diese teils lokal am Kundenendgerät oder zentral auf einem Plattform- oder Webserver des Plattformbetreibers, sowie bei externen Marktteilnehmern (z. B. im Meter Data Management (MDM) des Messstellenbetreibers) und im Backend von Anlagenherstellern gehalten. Darüber hinaus unterscheiden sich die Projekte teilweise deutlich, wenn es um die Daten geht, die auf die Blockchain geschrieben werden. Die Datenverarbeitung erfolgt ebenfalls teils lokal und teils zentral. Lokal werden Berechnungen häufig direkt über Blockchain-Nodes mittels Smart Contracts ausgeführt, während aufwändigere Berechnungen meist off-chain auf zentralen Servern stattfinden. Auch eine Kombination von dezentraler und zentraler Datenverarbeitung wird in einigen Fällen verwendet. Diese basieren z. T. auf 2nd-Layer Berechnungen, die off-chain stattfinden, aber z. B. im Fall von Zero-Knowledge-Proofs (ZKP) einen Nachweis über die Korrektheit der Berechnung auf der Blockchain ablegen [30].

Projekt	Datenhaltung					Datenverarbeitung	
	Kunden-Endgerät	MDM	Plattform-server	Web-server	Back-end AH	Lokal (BC)	Zentral
BASE.V	✓	✓	✓		✓	✓	
Blockpro	✓					✓	
FlexQGrid		✓		✓			
Grid Singularity				✓	✓		✓
Lamp		✓		✓	✓		✓
SMaaS		✓		✓	✓		✓
Pebbles		✓	✓				✓
RegHEE		✓	✓	✓	✓		✓
Equigy			✓				✓
Youki	✓		✓			✓	
OLI Systems		✓	✓			✓	
InDEED (Labeling)	✓		✓			✓	✓
Summe	4	7	7	5	5	5	7

Tabelle 3: Übersicht zu Datenhaltung und -verarbeitung in den betrachteten Projekten

4 Erkenntnisse der vergleichenden Untersuchung

Im Nachfolgenden erfolgt eine detailliertere Analyse von vier Kernaspekten der digitalen Plattformen. Diese umfassen die Vermarktung und Geschäftsmodelle, deren digitale Infrastruktur und den Dezentralisierungsgrad. Da die BC als transparente Plattform Herausforderungen beim Datenschutz mit sich bringt, wird dieser Punkt zusätzlich beleuchtet. Für jeden Punkt werden die verschiedenen untersuchten Plattformen verglichen und Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede aufgezeigt.

4.1 Vermarktung und Geschäftsmodelle

In allen untersuchten Anwendungsfällen, insbesondere im Rahmen von lokalen Energiemärkten, wird eine regionale Vermarktung gefördert, wovon insbesondere Erneuerbare-Energie-Anlagen, welche aus der EEG-Förderung fallen, profitieren können und somit auch nach Ende der Förderung ein wirtschaftlicher Betrieb dieser Anlagen möglich ist. Offen sind allerdings noch die Fragen, wie ein lokaler Energiemarkt als Marktmodell attraktiv für Verbraucher bzw. Prosumer gestaltet werden kann und wie ein solcher Markt in das bestehende Energiesystem eingebunden wird. Eine Herausforderung stellt hier neben der fehlenden digitalen Infrastruktur auf der Ebene von Letztverbrauchern auch der rechtliche Stand von Prosumern dar [3]. Flexibilitätsmärkte bieten daneben die Möglichkeit, die Flexibilität kleinerer, dezentraler Anlagen netzdienlich einzusetzen. Durch Impact-Investment-Plattformen besteht die Möglichkeit, auf Basis sog. Token-Modelle [31] in Erneuerbare Energien zu investieren und die Erträge transparent abzurechnen. In den Labeling-Anwendungsfällen bieten Herkunftsnachweise Transparenz. So kann Strom aus Erneuerbaren Energien kleinteilig und hochaufgelöst zertifiziert und nachverfolgbar vermarktet werden.

Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass die Anwendungsfälle insbesondere darauf abzielen, kleinteilige und dezentrale Erzeuger, Verbraucher und Flexibilitäten entweder ins Energiesystem zu integrieren oder zusätzliche Mehrwerte für diese zu schaffen.

4.2 Infrastruktur

Wie bereits in Abschnitt 3 erwähnt, ist in den meisten Projekten der Einsatz intelligenter Messsysteme und Smart-Meter-Gateways für die Datenerfassung und Weitergabe vorgesehen. Die Daten werden anschließend meist extern im Meter Daten Management des Messtellenbetreibers verwaltet. Dies hat den Vorteil, dass die entsprechende Hardware standardisiert und zertifiziert sein muss, wodurch Datenintegrität gewährleistet werden kann und Daten über diesen Kommunikationsweg abrechnungsrelevant sind. Allerdings ist die Verfügbarkeit solcher Messeinrichtungen momentan in Deutschland begrenzt und auch der Ausbau geht nur langsam voran [32], weshalb viele Projekte parallel auf einen alternativen Datenweg mit eigener Hardware setzen.

Es lässt sich entsprechend konstatieren, dass insbesondere in den Bereichen, in denen die Potenziale der BC für Geschäftsmodelle oder das Energiesystem gesehen werden (siehe Abschnitt 4.1) die fehlende digitale Infrastruktur eine große Hürde (in Deutschland) darstellt.

4.3 Dezentalisierungsgrad und Mehrwert der Blockchain

Obwohl die meisten der betrachteten Projekte eine BC-Lösung für die jeweiligen Plattformen verfolgen, wird häufig kein vollständig dezentrales System angestrebt. Insbesondere gilt das für den Anwendungsfall der lokalen Energiemärkte. In erster Linie finden hier Berechnungen des Marktalgorithmus inklusive Optimierung auf zentralen Servern statt. Dies hat den Vorteil, dass zentrale Infrastruktur höhere Rechenleistungen zu geringeren Kosten bietet, einfacher umsetzbar ist und bessere Skalierbarkeit ermöglicht. Dezentrale Berechnungen erfordern ab einem gewissen Maß an Komplexität entsprechend leistungsfähige Hardware bei den Plattformteilnehmern (Kunden), die höhere Anschaffungs- und Betriebskosten verursacht. Auf der anderen Seite schafft eine transparente und dezentrale Datenhaltung und Verarbeitung Vertrauen und verhindert Risiken des Single-Point-of-Failure. Darüber hinaus streben manche Projekte ein höheres Maß an Dezentralität an, die technische Komplexität und begrenzte Ressourcen beschränken jedoch die Möglichkeiten.

Im Rahmen der Interviews wurde außerdem der Einsatzzweck der Blockchain ausgewertet. Bei der Mehrheit der untersuchten Projekte dient die Blockchain vorrangig der transparenten und manipulationssicheren Datenhaltung bzw. deren Nachweis (10 von 12 Projekten). Für die Forschungsprojekte ohne direkte kommerzielle Anwendung spielt zudem die wissenschaftliche Untersuchung des Mehrwerts der BC-Technologie eine wesentliche Rolle (4 von 12). So werden alternative Ansätze ohne BC teilweise parallel entwickelt und erprobt, um anschließend einen Vergleich beider Umsetzungen zu ziehen.

Die Blockchain als vollständig dezentrales System, inklusive dezentraler Datenverarbeitung via Smart Contracts, kommt in drei Projekten zur Anwendung. Automatisierung durch den Einsatz von Smart Contracts wurde in zwei Projekten als Mehrwert der BC genannt. Im Fall flexQgrid werden diese zur Umsetzung des Marktmechanismus im Sekundärmarkt verwendet, die auf Gebote und Fahrpläne der Leistungsquoten automatisiert reagieren. Ähnlich dienen Smart Contracts bei Youki zur automatisierten Ausführung vertraglich bedingter Prozesse, z. B. der Gewinnausschüttung bei vermarkteten Erzeugungsanlagen, in die investiert wurde.

Bei zwei Projekten zu LEM wurde sich bewusst gegen eine Blockchain entschieden, da die Herausforderungen, wie z. B. der erhöhte Implementierungsaufwand, als zu groß für den

erwarteten Mehrwert angesehen werden. Als Argument wurde auch die starke Regulierung des Energiemarktes genannt. Aufgrund geltender Rahmenbedingungen, die von allen Teilnehmern akzeptiert werden, wird fehlendes Vertrauen nicht als ausschlaggebend bewertet und somit der Einsatz einer Blockchain obsolet, so die Argumentation.

Es lässt sich entsprechend aus den Projekten ableiten, dass sich der Einsatz der BC stark zu vielen ursprünglichen Konzepten aus den Anfangsjahren unterscheidet. Wurde zu Beginn oft davon ausgegangen, einen kompletten Prozess durch die Technologie abzubilden, werden heute nur bestimmte Komponenten mittels BC transparenter oder nachverfolgbar gestaltet. Der Einsatz von 2nd-Layer-Konzepten ermöglicht hier zwar, dass trotz Zentralisierung einzelner Komponenten z. B. die Vertrauenskette gewahrt bleibt, die Komplexität der Systeme steigt jedoch dadurch stark.

4.4 Datenschutz: Herausforderungen und Lösungsansätze

Alle untersuchten Projekte nannten den Datenschutz als größte Hürde bei der Umsetzung einer BC-basierten Plattform. Im Rahmen der Forschungsprojekte wurde das Problem meist durch vertragliche Vereinbarungen zur Nutzung der Daten gelöst, da der Fokus mehr auf der technischen Umsetzbarkeit der Plattform lag. Nichtsdestotrotz werden auch im Rahmen dieser Projekte Lösungen für datenschutzkonforme Ansätze erarbeitet. Die Maßnahmen zur Gewährleistung des Datenschutzes, insb. zur Einhaltung des Artikel 17a der DSGVO, der das Recht zur Löschung eigener Daten beinhaltet, sind dabei vielschichtig und werden oft in Kombination miteinander eingesetzt.

Alternativ kann durch den Einsatz einer privaten BC der Zugriff nur auf authentifizierte Teilnehmer begrenzt werden. Die Daten sind somit nicht von außerhalb des Netzwerks einsehbar. Zudem bietet sie den Vorteil, dass Regelungen bzgl. der Plattformnutzung einfacher umgesetzt werden können. Die Projekte BASE.V, Equigy und Youki (likwid) haben sich bereits explizit für den Einsatz einer privaten BC ausgesprochen. Ein weiterer Ansatz ist es, personenbezogene Daten nur in verschlüsselter Form auf die BC zu schreiben, so dass diese nur mit Hilfe des passenden Kodierungsschlüssels lesbar gemacht werden können. Alternativ dazu können durch Anonymisierung die Daten im Nachhinein nicht mehr einer Person zugeordnet werden. Eine verbreitete Methode der Anonymisierung ist ein off-chain Mapping, bei der die wahre Identität einer Person/Anlage außerhalb der BC gehalten wird und nur ein zufällig generiertes Pseudonym auf der BC abgelegt wird. Dadurch können bei Löschung der Verknüpfung (Mapping) zwischen Person und Pseudonym die Daten nicht mehr mit der Person in Verbindung gebracht werden. Um einer potenziellen Disaggregation vorzubeugen, wird beispielsweise im Projekt flexQgrid die Identität von Anlagen alle 15 Minuten geändert. Zudem können Phantomanlagen integriert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass personenbezogene Daten bereits anonymisiert aus dem Meter Data Management oder einem Aggregator weitergegeben werden und zu keinem Zeitpunkt eine Zuordnung möglich ist. Im Gegensatz dazu werden bei 2nd-Layer Konzepten personenbezogene Daten gar nicht erst auf die Blockchain geschrieben, sondern im Vorhinein off-chain verarbeitet und nur der Beweis für die Gültigkeit der Daten auf der BC abgelegt. In Tabelle 4 ist eine Übersicht der in den Projekten verwendeten Ansätze zum Umgang mit den Datenschutzherausforderungen zu finden. Abschließend ist noch hervorzuheben, dass

aufgrund der komplexen und teilweise unklaren Rechtslage die Maßnahmen nicht pauschal bezüglich ihrer Datenschutzkonformität bewertet werden können.

	Verschlüsselung	Anonymisierung	2nd-Layer
BASE.V			
Blockpro	✓		✓
FlexQGrid	✓	✓	
Grid Singularity		✓	
Lamp	✓		
SMaaS	✓		
Pebbles		✓	
RegHEE	✓		
Equigy		✓	
Youki	✓		
OLI Systems			✓
InDEED (Labeling)			✓
Summe	6	4	3

Tabelle 4: Umgang mit Datenschutz in den betrachteten Projekten

Aus den Projekten zeigt sich, dass der Datenschutz eine Herausforderung darstellt. Diese ist jedoch auf vielfältigen Wegen lösbar und verhindert nicht pauschal den Einsatz der BC. Analog zu Abschnitt 4.3 steigt durch hohe Datenschutzerfordernungen jedoch auch die Komplexität der Systeme.

5 Fazit und Ausblick

Die Untersuchung der ausgewählten Plattformprojekte und der Vergleich mit Hilfe des vorgestellten Frameworks haben gezeigt, dass sich die Komponenten und Prozessschritte je nach Anwendungsfall deutlich unterscheiden.

Bei der Wahl der technischen Infrastruktur zeigte sich, dass die immer noch fehlende Digitalisierung Plattformumsetzungen erschwert. Eine flächendeckende Verfügbarkeit intelligenter Messsysteme kann hier perspektivisch als digitale Basisinfrastruktur die Grundlage einer Vielzahl neuer Plattformkonzepte und Geschäftsmodelle mit einer Vielzahl kleinteiliger Marktakteure sein. Die Lösung BC-seitiger Herausforderungen wurden in vielen Projekten bereits praktisch gezeigt. Eine größere Hürde als die technische Reife der BC stellt entsprechend die schleppend voranschreitende Digitalisierung dar. Es ist zudem anzunehmen, dass der großflächige Ausbau der digitalen Infrastruktur in Deutschland länger dauert als die Lösung noch vorhandener technischer Herausforderungen der BC.

Beim Einsatz der BC zeigte sich, dass diese immer noch als relevante Technologie in energiewirtschaftlichen Anwendungen angesehen wird – insbesondere aufgrund der transparenten und manipulationsresistenten Datenhaltung in einem zunehmend komplexeren Marktumfeld. Dieser Eindruck bestätigt sich zudem in den diskutierten Thesen in [3]⁴. Das Ziel, ein vollständig dezentrales System aufzubauen, ist dabei zunehmend in den Hintergrund geraten, da Hürden und Nachteile oft den Mehrwert der Dezentralität übersteigen. Insbesondere haben zentrale Server den Vorteil, komplexe Probleme effizienter und im größeren Maßstab zu berechnen. Des Weiteren wird sich vermehrt mit Lösungen für die

⁴ Im Rahmen des Diskussionspapiers wurden anhand von 27 Thesen die *Zukunftsperspektive der Blockchain in der Energiewirtschaft* aus allgemeiner, technischer, juristischer und energiewirtschaftlicher Sicht untersucht.

Einhaltung des Datenschutzes auseinandergesetzt. 2nd-Layer Konzepte erfahren steigendes Interesse. Probleme der Skalierbarkeit, des Energieverbrauchs der BC und des Datenschutzes können dadurch gleichzeitig gelöst werden. Der Einsatz einer Blockchain sollte auf der anderen Seite nicht zum Selbstzweck werden oder als reines Marketinginstrument dienen. Ohnehin sollte den Anwender die Blockchain-Interaktion nicht beeinträchtigen. In den Interviews wurde klar, dass bei potenziellen Kunden bislang häufig ein Verständnis für den Mehrwert dezentraler Anwendungen fehlt. Letztlich spielen Nutzerfreundlichkeit und Anpassungsfähigkeit eine deutlich zentralere Rolle. Abschließend ist das Potential von BC-Lösungen noch nicht abzuschätzen, da die Entwicklungen neuer Methoden stetig vorangeht und eine umfangreiche Erprobung in kommerziellen Anwendungen noch aussteht.

Übergeordnet zeigt sich, dass die in Abschnitt 2.3 dargestellte Vergleichsmethode („Systemlandschaft“) geeignet ist, um verschiedenste Projekte im Energiebereich zu vergleichen. So konnten alle Projekte über diese einheitliche Struktur adäquat abgebildet und verglichen werden. Im Rahmen der Interviews konnte so auch teilweise verdeutlicht werden, wo ggf. Schwächen bei einzelnen Konzepten z. B. hinsichtlich des Datenschutzes bestehen. Die Methode kann so auch dabei helfen, BC Plattformen einheitlich zu beschreiben und etwaige Schwächen zu identifizieren. Ein zukünftiger Einsatz der Methode in Normung und Standardisierung wäre denkbar.

Basierend auf den wertvollen Vorarbeiten der untersuchten Projekte werden die Erkenntnisse dieser Arbeit in die Diskussion und Abstimmung der Konzeptionierung und Entwicklung der PEAK-Plattform einfließen.

Literatur

- [1] Westphal, Egon Leo et al.: Flexumer als Gestalter der digitalen Energiezukunft – Eine Begriffseinordnung. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 7/8. Berlin: Bayernwerk AG, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V., 2019.
- [2] Hinterstocker, Michael et al.: Potential Impact of Blockchain Solutions on Energy Markets. In: 15th International Conference on the European Energy Market; Łódź: Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, 2018.
- [3] Bogensperger, Alexander et al.: Welche Zukunft hat die Blockchain-Technologie in der Energiewirtschaft? - FfE Discussion Paper 2021-02. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2021. ISSN 2700-7111
- [4] Zeiselmaier, Andreas et al.: Analysis and Application of Verifiable Computation Techniques in Blockchain Systems for the Energy Sector. In: Frontiers in Blockchain 2021. Munich, Germany: Technical University of Munich, Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2021.
- [5] Zeiselmaier, Andreas et al.: Development of a System Cartography and Evaluation Framework for Complex Energy Blockchain Architectures. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2021.
- [6] Rochet, Jean-Charles et al.: Platform competition in two-sided markets. In: Journal of the European Economic Association June 2003, 1(4). Toulouse, Frankreich: Universität Toulouse, 2003.
- [7] Lehnerd, Alvin et al.: The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership. New York: Free Press, 1997.
- [8] McIntyre, David et al.: Networks, Platforms and Strategy: Emerging Views and Next Steps. Providence: Providence College, 2016.
- [9] Evans, David et al.: Markets with Two-Sided Platforms. London: University College London, 2008.

- [10] Franck, Jens-Uwe et al.: Market Definition and Market Power in the Platform Economy. Brüssel: Centre on Regulation in Europe, 2019.
- [11] Working Paper – The Market Power of Platforms and Networks. Bonn: Bundeskartellamt, 2016.
- [12] Robertson, David et al.: Planning for Product Platforms. In: Sloan Management Review Volume 39, Issue 4. Philadelphia, PA, USA: University of Pennsylvania, 1998.
- [13] Andoni, Merlinda et al.: Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 100/2019. United Kingdom: Heriot-Watt University, 2019.
- [14] Bogensperger, Alexander; Zeiselmaier, Andreas, Hinterstocker, Michael: Die Blockchain-Technologie - Chance zur Transformation der Energieversorgung? - Berichtsteil Technologiebeschreibung. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2018.
- [15] Spindler, Robin: Nutzung digitaler Blockchain Plattformen zur Integration erneuerbarer Energien. Bachelorarbeit. Herausgegeben durch die Technical University of Munich, betreut durch Rutschmann, Peter: Munich, Germany, 2021.
- [16] Englberger, Stefan: Interview - Blockchain-Plattformen in der Energiewirtschaft, BASE.V; Interview, geführt von Spindler, Robin; München: Technische Universität München, 2021
- [17] Neuburger, Ottmar: Interview - Blockchain-Plattformen in der Energiewirtschaft, Blockpro; Interview, geführt von Spindler, Robin; Hannover: Webanizer AG, 2021
- [18] Stumpp, Matthias: Interview - Blockchain-Plattformen in der Energiewirtschaft, FlexQGrid; Interview, geführt von Spindler, Robin; Karlsruhe: Blockinfinity, 2021
- [19] Dietrich, Christopher: Interview - Blockchain-Plattformen in der Energiewirtschaft, Grid Singularity; Interview, geführt von Spindler, Robin; Berlin: Grid Singularity, 2021
- [20] Richter, Bent: Interview - Blockchain-Plattformen in der Energiewirtschaft, LAMP; Interview, geführt von Spindler, Robin; Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie, 2021
- [21] Meinke, Joshua: Interview - Blockchain-Plattformen in der Energiewirtschaft, SMaaS; Interview, geführt von Spindler, Robin; Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie, 2021
- [22] Klaus, Joachim: Interview - Blockchain-Plattformen in der Energiewirtschaft, pebbles; Interview, geführt von Spindler, Robin; Kempten: Allgäuer Überlandwerke, 2021
- [23] Tzscheuschler, Peter et al.: RegHEE - Regionaler Handel von Strom aus erneuerbaren Energien und Stromkennzeichnung auf einer Blockchain-Plattform. In: <https://www.ei.tum.de/ewk/forschung/projekte/reghee/>. (Abruf am 2020-10-12); München: Technische Universität München, 2019.
- [24] Anonym: Interview - Blockchain-Plattformen in der Energiewirtschaft, Equigy; Interview, geführt von Spindler, Robin; Bayreuth: Tennet DE, 2021
- [25] Amann, Ottmar: Interview - Blockchain-Plattformen in der Energiewirtschaft, Youki; Interview, geführt von Spindler, Robin; Amberg: Youki.ai, 2021
- [26] Förster, Felix: Interview - Blockchain-Plattformen in der Energiewirtschaft; Interview, geführt von Spindler, Robin; Stuttgart: OLI-Systems, 2021
- [27] Bogensperger, Alexander et al.: Updating renewable energy certificate markets via integration of smart meter data, improved time resolution and spatial optimization in 17th International Conference on the European Energy Market (EEM2020). Stockholm, Sweden: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., 2020.
- [28] Hinterstocker, Michael et al.: Blockchain technology as an enabler for decentralization in the energy system. In: 10th Solar & Storage Integration Workshop; Darmstadt: FfE GmbH, 2020.
- [29] Zeiselmaier, Andreas et al.: Asset Logging – transparent documentation of asset data using a decentralized platform. In: Energy Informatics 31/2019. Berlin: Springer Nature, 2019.
- [30] Ben-Sasson, Eli et al.: Scalable, transparent, and post-quantum secure computational integrity. Haifa, Israel: Zerocash, 2018.

- [31]** Voshmgir, Shermin: Token Economy - How Blockchains and Smart Contracts Revolutionize the Economy. Berlin: BlockchainHub, 2019.
- [32]** BNetzA Monitoringbericht 2020. Bonn: Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, 2021.
- [33]** Gasten, Jan et al.: Ein Plattform-Konzept für eine kostenoptimierte Energiewende mit Hilfe lokaler Energiemärkte. Kempten: pebbles, 2021.
- [34]** Zadé, Michel: Interview - Blockchain-Plattformen in der Energiewirtschaft, RegHEE; Interview, geführt von Spindler, Robin; München: Technische Universität München, 2021