



ESQUIRE

Energiespeicherdienste
für smarte Quartiere

Knoefel, Jan; Herrmann, Benjamin

Technisch-ökonomische Bewertung von Quartierspeichern

Eine Betrachtung der Wirtschaftlichkeit und der
regionalökonomischen Effekte von
Quartierspeichern

Arbeitspapier im Projekt Esquire

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

 **Fraunhofer**
IAO



i|ö|w
INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE
WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

**KIT**
Karlsruher Institut für Technologie

evohaus ™



Impressum

Projektleitung

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)

Potsdamer Str. 105, 10785 Berlin

www.ioew.de

Kooperationspartner

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

www.iao.fraunhofer.de/lang-de

Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), Institut für Programmstrukturen und Datenorganisation (IPD)

Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe

www.informatik.kit.edu/257.php

evohaus GmbH

Emil-Nolde-Str. 2, 76227 Karlsruhe

www.evohaus.com

ENTEKA AG, Darmstadt

Frankfurter Straße 110, 64293 Darmstadt

www.entega.ag

Der vorliegende Bericht entstand im Forschungsprojekt „Energiespeicherdienste für smarte Quartiere (Esquire)“. Das Projekt wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Förderkennzeichen: 02K15A020 (Teilprojekt IÖW)

Für nähere Informationen zum Projekt: www.esquire-projekt.de

Zitiervorschlag:

Knoefel, Jan; Herrmann, Benjamin (2020): Ökonomische Bewertung von Quartierspeichern. Eine Betrachtung der Wirtschaftlichkeit und der regionalökonomischen Effekte von Quartierspeichern, Esquire, Arbeitspapier, Berlin.

Berlin, Februar 2021

Highlights

- Ökonomisch sind Heim- und Quartierspeicher bei einem reinen Einsatz zur Eigenverbrauchs-erhöhung derzeit nicht rentabel.
- Bei der Dimensionierung von PV-Anlage und Batterie (Kapazität/Leistung) müssen alle drei Komponenten gemeinsam betrachtet werden um Eigenverbrauch und Autarkie sinnvoll zu erhöhen.
- Der Vergleich zwischen einem Quartierspeicher und vielen kleinen Heimspeichern zeigt, dass im Quartier die Autarkie und der Eigenverbrauch nochmals um bis zu 4 % erhöht werden kann und der Quartierspeicher wirtschaftlich besser abschneidet.
- Beim primären Einsatz zur Eigenverbrauchserhöhung wird rund 80 % der Speicherkapazität zeitweise nicht genutzt. Dieser kann zur Erbringung von anderen Speicher- und Netzdienstleistungen eingesetzt werden. Dies ist zum Teil sogar ohne größere negativen Auswirkungen auf die Eigenverbrauchserhöhung möglich.
- Regionale Wertschöpfung entsteht bei der Installation des Speichers, durch Wartung und potenzielle Gewinne, die mit einem Speicher Erlöse werden können. Zurzeit ist allerdings kein rentabler Einsatz von Speichern möglich. Daher generiert zurzeit ein Quartier mit PV-Anlage eine höhere Wertschöpfung als ein Quartier mit PV-Anlage und Batteriespeicher.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
2. Methodisches Vorgehen.....	6
2.1. Bestimmung der Wirtschaftlichkeit von Speichern	6
2.1.1 Erhöhung Eigenverbrauch und Autarkie	7
2.1.2 Multi-Use von Speichern.....	7
2.2. Bestimmung regionale Wertschöpfung	8
2.3. Modellierte Quartiere.....	9
3. Ergebnisse Wirtschaftlichkeitsberechnung	10
3.1. Erhöhung Eigenverbrauch und Autarkie	10
3.1.1 Mehrfamilienhaus-Quartier	10
3.1.2 Einfamilienhaussiedlung	15
3.2. Multi-Use.....	18
4. Ergebnisse regionalökonomische Effekte.....	19
5. Zusammenfassung.....	21
6. Literaturverzeichnis	23

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1: Eigenverbrauchsanteile und Autarkie bei unterschiedlicher Anzahl von Haushalten im Quartier.....	11
Abbildung 3.2: Eigenverbrauchsanteile und Autarkie bei unterschiedlicher Dimensionierung der PV-Kapazität	12
Abbildung 3.3: Eigenverbrauchsanteile und Autarkie bei unterschiedlicher Dimensionierung der Batterie Kapazität	13
Abbildung 3.4: Eigenverbrauchsanteile und Autarkie bei maximaler Dimensionierung der einzelnen Komponenten (PV-Anlage, Batterieleistung und –kapazität) im Mehrfamilienhaus-Quartier	14
Abbildung 3.5: Stromkosten im Mehrfamilienhaus-Quartier	15
Abbildung 3.6: Eigenverbrauchsanteile und Autarkie bei maximaler Dimensionierung der einzelnen Komponenten (PV-Anlage, Batterieleistung und –kapazität) in der Einfamilienhaussiedlung.....	16
Abbildung 3.7: Quartierspeicher vs. Heimspeicher: Autarkiegrad	17
Abbildung 3.8: Stromkosten in der Einfamilienhaussiedlung.....	18
Abbildung 4.1: Regionalökonomische Wertschöpfungseffekte.....	20
Abbildung 4.2: Kumulierte Wertschöpfungseffekte über 10 Jahre.....	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Referenzfälle und Varianten der modellierten Quartiere.....	10
Tabelle 2: Bestimmung der durchschnittlich verfügbaren Kapazität für die sekundäre Dienstleistung beim Mehrfamilienhaus-Quartier.	18

1. Einleitung

Eine wichtige Voraussetzung für die weitere Verbreitung von Quartierspeichern ist deren wirtschaftliche Tragfähigkeit. Auch wenn der Beitrag zur Energiewende und dem Klimaschutz ein wichtiges Motiv bei dem Kauf von Energiespeichern darstellt, ist für einen Großteil der Nutzerinnen und Nutzer wichtig, dass der Quartierspeicher keine zusätzlichen Kosten verursacht (Hoffmann und Mohaupt 2020). Allerdings wurde in früheren Arbeiten bereits dargestellt, dass Speicher in Eigenheimen und in Quartieren bei reiner Eigenverbrauchsoptimierung zurzeit nicht wirtschaftlich betrieben werden können (vgl. u.a. Fluri 2018; Graulich et al. 2018). Dies könnte sich mittelfristig bei weiter sinkenden Speicherpreisen oder steigenden Strompreisen ändern.

Zentrales Motiv bei der Entscheidung zur Investition in eine Speichertechnologie ist für Nutzerinnen und Nutzer die Erhöhung des Eigenverbrauchs (Hoffmann und Mohaupt 2020). Zum einen kann dies mit dem Wunsch nach Autarkie und aus ökologischen Motiven zusammenhängen und zum anderen ist mit dem Eigenverbrauch auch eine wichtige Erlösquelle bei dem Betrieb eines Speichers verbunden. Denn, die zu erzielenden Erlöse aus dem Verkauf von nicht selbst verbrauchtem Strom liegen deutlich unter den Kosten für den Strom, der aus dem Netz bezogen werden muss.

Diese Arbeit legt daher einen Fokus auf die Bestimmung von Eigenverbrauchsquoten bei verschiedenen Quartiers- und Anlagenkonstellationen. In einer anschließenden Wirtschaftlichkeitsberechnung werden die Erkenntnisse früherer Arbeiten bestätigt, dass ein Speichereinsatz zur reinen Eigenverbrauchsoptimierung derzeit nicht wirtschaftlich darstellbar ist. Die gewonnenen Erkenntnisse über Eigenverbrauchsquoten können allerdings in zukünftigen Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit von PV-Speichersystem bei veränderten Markt- und Rahmenbedingungen einfließen.

Außerdem wird in dieser Arbeit zum einen die Wirtschaftlichkeit eines Quartierspeichers im Vergleich zu vielen kleinen Heimspeichern analysiert und zum anderen wird ein Fokus auf dem sogenannten Multi-use gelegt. Ein Quartierspeicher kann neben der Eigenverbrauchsoptimierung auch Netz- und Systemdienstleistungen wie z.B. die Bereitstellung von Regelenergie oder die Kappung von Lastspitzen erbringen, wenn zeitweise ein Teil der Speicherkapazität für diese Dienstleistungen zur Verfügung gestellt wird. Diese Arbeit untersucht welche Auswirkungen die Bereitstellung von Speicherkapazität für Netz- und Systemdienstleistungen auf die Eigenverbrauchsoptimierung hat.

Neben dem individuellen Nutzen für den Betreiber des Speichers hat der Speicher auch regionalökonomische Auswirkungen. In dieser Studie soll ebenfalls untersucht werden inwiefern der Speicher zu einer regionalen Wertschöpfung beitragen kann.

2. Methodisches Vorgehen

2.1. Bestimmung der Wirtschaftlichkeit von Speichern

Ziel dieser Arbeit ist es, eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit von Quartier- und Heimspeichern zu treffen. Dabei soll zum einen bewertet werden inwiefern ein Speicher wirtschaftlich rentabel ist, wenn der Speicher lediglich zur Erhöhung des Eigenverbrauchs und

der Autarkie eingesetzt wird und zum anderen soll analysiert werden inwiefern der Speicher zusätzliche Erlöse über einen Multi-use generieren kann.

2.1.1 Erhöhung Eigenverbrauch und Autarkie

Die Erhöhung des Eigenverbrauchs von selbsterzeugtem Strom und die damit verbundene Steigerung der Autarkie wurde als einer der zentralen Motive von Nutzerinnen und Nutzern genannt um in einen Quartierspeicher zu investieren (Hoffmann und Mohaupt 2020). Aus diesem Grund soll in dieser Studie der Fokus auf die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bei der ausschließlichen Nutzung des Speichers zur Eigenverbrauchserhöhung gelegt werden.

Um den Einfluss von Speichern bei unterschiedlichen Konstellationen bewerten zu können werden die durchschnittlichen Stromkosten pro kWh mit Hilfe von der Annuitätenmethode nach VDI Richtlinie 2067 errechnet. In die Berechnung fließen unter anderem folgende Kosten und Erlöse ein:

- Strombezugskosten für Strom, der über das Netz bezogen wird
 - 30,43 Cent/kWh (BDEW 2020)
 - Konservative Annahme mit einem jährlichen Strompreisrückgang in Höhe von 1 % (Hein, Peter, et al. 2020; Agora Energiewende 2018)
- Investitionskosten (inkl. Installation) in Anlagen
 - PV bis 10 kWp: 1.300€/kWp (Kelm et al. 2019)
 - PV über 10 kWp: 900€/kWp (Kelm et al. 2019)
 - Quartierspeicher~100-300 kWh: 1.071€/kWh (angelehnt an Figgner et al. 2020; Kelm et al. 2019)
 - Heimspeicher ~6-12 kWh: 1.239€/kWh (angelehnt an Figgner et al. 2020; Kelm et al. 2019)
- Betriebskosten für Anlagen
 - PV: 2,5 % der Investitionssumme (Fraunhofer ISE 2018)
 - Batteriespeicher: 1 % der Investitionssumme (Mongird et al. 2019)
- Stromerlöse durch Einspeisung von überschüssigem Strom in das Netz
 - PV bis 10 kWp: 10,27 Cent/kWh (Inbetriebnahme 1.1.2020, vgl. Bundesnetzagentur 2020)
 - PV bis 750 kWp: 7,94 Cent/kWh (Inbetriebnahme 1.1.2020, vgl. Bundesnetzagentur 2020)

Um bewerten zu können welcher Anteil des Stroms durch eine eigene PV-Anlage gedeckt werden kann, bzw. wieviel Strom ins Netz eingespeist und aus dem Netz bezogen wird, wird das IÖW-Energie-Prosumer-Modell (EProM) genutzt. EProM ist ein Simulationsmodell, das für einen oder mehrere Haushalte bis hin zu einem Quartier die Energieerzeugung und den Energieverbrauch sowie die Wechselwirkungen minutengenau für ein Jahr simuliert. Dabei kann die Steuerung der strom- und wärmeseitigen Erzeuger und Verbraucher in Abhängigkeit vom Anwendungsfall angepasst werden. Das Modell zeichnet sich durch eine hohe zeitliche Auflösung aus, die zu realistischen Werten sowohl im Energieverbrauch, als auch in der Nutzung von verschiedenen Energieträgern führt. Zudem können Schlüsselkomponenten wie zum Beispiel Anzahl Haushalte, Ausstattung, Kapazitäten der Anlagen und Jahresverbrauch variiert werden.

2.1.2 Multi-Use von Speichern

Ausgehend von der Annahme, dass der Quartierspeicher primär zur Erhöhung von Eigenverbrauch und Autarkie angeschafft wurde soll in dieser Studie zudem erörtert werden inwiefern zusätzliche Erlöse für ein wirtschaftlich tragfähiges Geschäftsmodell generiert werden können, wenn ein Teil der Speicherkapazität für Speicher- und Netzdienstleistungen genutzt

wird. Denn, nicht immer wird die komplette Kapazität für die Eigenverbrauchsoptimierung gebraucht. Wird zum Beispiel zeitweise kein zusätzlicher Strom produziert oder ist die Batterie voll, kann die Batterie auch für andere Zwecke genutzt werden. Dabei variiert der Anteil im Tages-, Monats- und Jahresverlauf, der für sekundäre Dienstleistungen genutzt werden kann (z. B. wird im Winter deutlich weniger Strom durch die PV-Anlage produziert). Theoretisch ist es möglich, den Anteil, der für die Eigenverbrauchsoptimierung und den der für die Netz- und Systemdienstleistungen reserviert ist, in jedem Zeitpunkt des Betriebs zu variieren. In der Praxis ist dies allerdings nur bedingt praktikabel. Im Projekt ESQUIRE wurden monatlich die Anteile, die für Eigenverbrauchsoptimierung und sekundäre Dienstleistungen genutzt werden, neu bewertet. In dieser Arbeit soll untersucht werden, inwiefern kürzere Zeitscheiben von einer Woche, einem Tag und einer Minute und unterschiedliche Berechnungen bei der Bestimmung der optimalen Speichergröße zu unterschiedlichen Vermarktungspotenzialen für sekundäre Dienstleistungen führen können.

Bei der Bestimmung der für die Sekundärvermarktung genutzten Kapazität werden zwei Ansätze gewählt:

Konservative Variante: Die Eigenverbrauchsoptimierung soll nicht durch eine sekundäre Vermarktung beeinträchtigt werden. Es wird nur Speicherkapazität für sekundäre Vermarktung zur Verfügung gestellt, wenn diese nicht für die Eigenverbrauchsoptimierung benötigt wird.

Progressive Variante: Speicherplatz wird auch für die sekundäre Vermarktung zur Verfügung gestellt, wenn bei mehrtägigen Speicherscheiben nur in Spitzen eine höhere Speicherkapazität für die Eigenverbrauchsoptimierung benötigt wird. Es wird festgelegt, dass Speicherplatz für die Eigenverbrauchsoptimierung nur reserviert wird, wenn diese an mindestens 40 % der Tage benötigt wird.

Die Analyse erfolgt ex post. Das bedeutet, dass in einer ersten Schleife ein Jahr simuliert wird. Hierbei wird anschließend analysiert, welcher Anteil des Speichers gemäß der definierten Varianten in jedem Zeitpunkt der Simulation für die Eigenverbrauchsoptimierung benötigt wird. Anschließend wird in einer zweiten Schleife mit den vorher ermittelten Grenzen jeweils immer nur ein Teil der Kapazität für die Eigenverbrauchsoptimierung genutzt und der Einfluss der Anpassungen auf den Autarkie und Eigenverbrauchsgrad ermittelt.

Auf die potenziellen Erlösen aus der Sekundärvermarktung sind bereits Schnabel und Kreidel in dem Arbeitspapier "Ökonomische Rahmenbedingungen für Quartierspeicher" (2019) eingegangen. Diese werden in dieser Studie daher nicht näher erläutert.

2.2. Bestimmung regionale Wertschöpfung

Zur Bestimmung der regionalen Wertschöpfung wurde auf das am IÖW entwickelte Modell zur Ermittlung der Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte durch erneuerbare Energien (WeBEE-Modell)¹ zurückgegriffen und durch die Wertschöpfungsketten von Lithium-Ionen basierten Heim- und Quartierspeichern erweitert. Die Wertschöpfung wird hier als die Summe aus Beschäftigteneinkommen, Unternehmensgewinnen sowie die darauf anfallenden Steuern und Abgaben auf kommunaler Ebene definiert. Das WeBEE-Modell bildet diverse Erneuerbare Energien Anlagen in verschiedenen Größenkategorien ab und differenziert dabei die Wertschöpfungsstufen der Anlagenherstellung, der Projektplanung und Installation, des Anlagenbetriebes sowie potentiell anfallende Gewinne der Betreibergesellschaft

¹ Nähere Informationen unter <https://www.ioew.de/frisch-im-ioew-fokus/kommunale-wertschoepfung>

(vgl. z.B. Hirschl et al. 2010; Hirschl et al. 2015). Die Wertschöpfungseffekte der Anlagenherstellung und -installation fallen dabei nur einmalig vor Inbetriebnahme der Anlage an, während die Effekte des Anlagenbetriebs sowie ggf. Betreibergewinne jährlich anfallen und in ähnlicher Höhe über die Lebensdauer der Anlagen in den weiteren Betriebsjahren zu erwarten sind.

In der vorliegenden Betrachtung der auf kommunaler Ebene anfallenden Wertschöpfungseffekte wurde auf eine Berücksichtigung der Anlagenfertigung verzichtet, da die Produktion von Lithium-Ionen Batteriespeichersystemen nahezu ausschließlich außerhalb Deutschlands stattfindet (Tsiropoulos et al. 2018). Um die Wertschöpfungsstufe der Installation möglichst genau abzubilden, wurden aktuelle Investitionskostendaten für Heim- und Quartierspeicher hinterlegt und auf die Wertschöpfungsschritte Batteriezelle, Batteriesystem sowie Installation verteilt (Figgner et al. 2020; Kelm et al. 2019; Müller et al. 2017). Die Kosten für Wartung und Betrieb wurden mit 1 % der Investitionskosten bemessen (Mongird et al. 2019).

2.3. Modellierte Quartiere

Referenzquartiere

Für die Simulation in EProM und die Berechnung der Wertschöpfungseffekte mit dem WeBEE Modell dienen zwei Quartiere von den Praxispartnern evohaus und ENTEGA als Referenzfall. Aufgrund der besseren Datenverfügbarkeit wurden für ein Quartier mit Mehrfamilienhäusern, wie sie von evohaus erbaut werden, das Quartier „anders wohnen“ in Köln-Widdersdorf modelliert. Das Quartier besteht aus insgesamt neun Wohnblöcken mit insgesamt rund 7.700 m² Wohnfläche, 75 Haushalten, einer Photovoltaik Anlage mit 225 kWp und einem Quartierspeicher mit 84 kWh nutzbarer Kapazität und einer maximalen Ladeleistung von 18 kW. Daneben wurde eine Einfamilienhaussiedlung analog zum Praxisquartier „Am Umstädter Bruch“ in Groß Umstadt modelliert. Hierbei wurden basierend auf von ENTEGA bereit gestellten Daten 16 Einfamilienhäuser mit einer Wohnfläche von 2.250m², einer kumulierten Photovoltaik Leistung von 103 kWp und einem Quartierspeicher mit 115 kWh nutzbarer Kapazität und maximalen Ladeleistung von 250 kW modelliert.

Modelierte Varianten von Quartieren

Sowohl bei der Sensitivitätsanalyse bzgl. Eigenverbrauch und Autarkie als auch bei der Berechnung der regionalen Wertschöpfung wurden die Quartiere sowohl mit als auch ohne Speicher betrachtet. Zudem wurde die Einfamilienhaussiedlung mit einem Heimspeicherszenario verglichen, in dem jedes Einfamilienhaus mit einem eigenen Speicher ausgestattet wird. Die kumulierte Kapazität der Heimspeicher entspricht hierbei der Kapazität des Quartierspeichers um einen Vergleich von Heimspeichern und Quartierspeicher zu ermöglichen. Bei den Ergebnissen muss allerdings berücksichtigt werden, dass die maximale Ladeleistung bei den Heimspeichern auf 3 kW begrenzt wurde, da dies laut Speichermonitoring der RWTH Aachen (Figgner et al. 2018) der typischen Ladeleistung von Heimspeichern entspricht. Daher liegt die kumulierte Ladeleistung der Heimspeicher der 16 Haushalte bei 48 kW und damit deutlich unter der Ladeleistung von 250 kW des Quartierspeichers.

Darüber hinaus wurden bei der Sensitivitätsanalyse in Bezug auf Autarkie und Eigenverbrauchsanteile unterschiedliche Dimensionierungen von Anzahl Haushalte, Kapazität Photovoltaikanlage, Kapazität Batteriespeicher und Maximale Ladeleistung gewählt. Tabelle 1 fasst die getroffenen Varianten sowie den Referenzfall nochmals zusammen.

Tabelle 1: Referenzfälle und Varianten der modellierten Quartiere

	Mehrfamilienhaus-Quartier		Einfamilienhaussiedlung	
	Referenz	Varianten	Referenz	Varianten
Anzahl Haushalte	75	50; 150; 250	16	12; 20; 24
PV (kWp)	225	150; 450; 750	103	32; 48; 160
Batterie Kapazität (kWh)	0 & 84	63; 168; 231	115	48; 80; 144; 176
Batterie Ladeleistung (kW)	0 & 18	8,4; 42; 84	250	23; 92; 115

3. Ergebnisse Wirtschaftlichkeitsberechnung

3.1. Erhöhung Eigenverbrauch und Autarkie

In diesem Abschnitt wird dargestellt inwiefern ein Speicher den Eigenverbrauch steigern und die Autarkie erhöhen kann und wie sich das auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt. Während beim Mehrfamilienhaus-Quartier detailliert dargelegt wird, welchen Einfluss Veränderungen in einzelnen Komponenten haben, wird bei der Einfamilienhaussiedlung der Fokus auf dem Vergleich von Heimspeichern zu Quartierspeichern gelegt.

3.1.1 Mehrfamilienhaus-Quartier

Beim Referenzquartier ohne Batterie können 32 % des Strombedarfs durch die eigene PV-Anlage gedeckt werden (entspricht dem sog. Autarkiegrad). Durch einen Quartierspeicher erhöht sich der Autarkiegrad auf 37 %. Parallel erhöht sich durch die Batterie der Anteil des direkt verbrauchten eigenproduzierten Stroms von 61 % auf 70 % (entspricht dem sog. Eigenverbrauchsanteil).

Die betrachteten Varianten lieferten verschiedene Erkenntnisse. Es konnte gezeigt werden, dass die verschiedenen Faktoren (Anzahl Haushalte, PV-Kapazität, Batterie Kapazität und Batterie Leistung) einen unterschiedlich starken Einfluss auf die Eigenverbrauchsquote und den Autarkiegrad haben. Den größten Hebel hatten bei den betrachteten Szenarien die unterschiedlichen Dimensionierungen bei den Anzahl Haushalten und der PV-Kapazität.

Während eine Steigerung der Anzahl der Haushalte zu einer Erhöhung der Nachfrage führt, erhöht eine größere PV-Anlage das Angebot. Umso größer die PV-Anlage im Vergleich zur Anzahl an Haushalten ist, umso größer ist der Autarkiegrad. Dafür sinkt allerdings der Anteil des Stroms, der selbstverbraucht wird. In Abbildung 3.1 ist zu erkennen welchen Einfluss die

Erhöhung der Nachfrage durch eine größere Anzahl an Haushalten hat. Zum einen ist zu erkennen, dass der Anteil der selbstverbrauchten Elektrizität mit steigender Anzahl an Haushalten stetig zunimmt, zum anderen ist aber auch zu erkennen, dass die Wirkung zusätzlicher Haushalte beständig abnimmt. Während ein Zuwachs von 50 auf 75 Haushalte noch mit einer Steigerung des Anteils des selbstverbrauchten Stroms um 0,48 Prozentpunkte pro Haushalt (12 Prozentpunkte Steigerung bei 25 Haushalten mehr) verbunden ist, steigt der Anteil der selbstverbrauchten Energie von 75 auf 150 Haushalte nur um 0,26 Prozentpunkte pro Haushalt und von 150 auf 250 Haushalte nur um 0,05 Prozentpunkte pro Haushalt. Dies spiegelt sich auch in sinkenden Autarkiegraden wieder. Auch wenn ein größerer Anteil des Stroms selbst verbraucht werden kann sinkt der Autarkiegrad mit höherer Anzahl an Haushalten von 46 % bei 50 Haushalten auf 16 % bei 250 Haushalten.

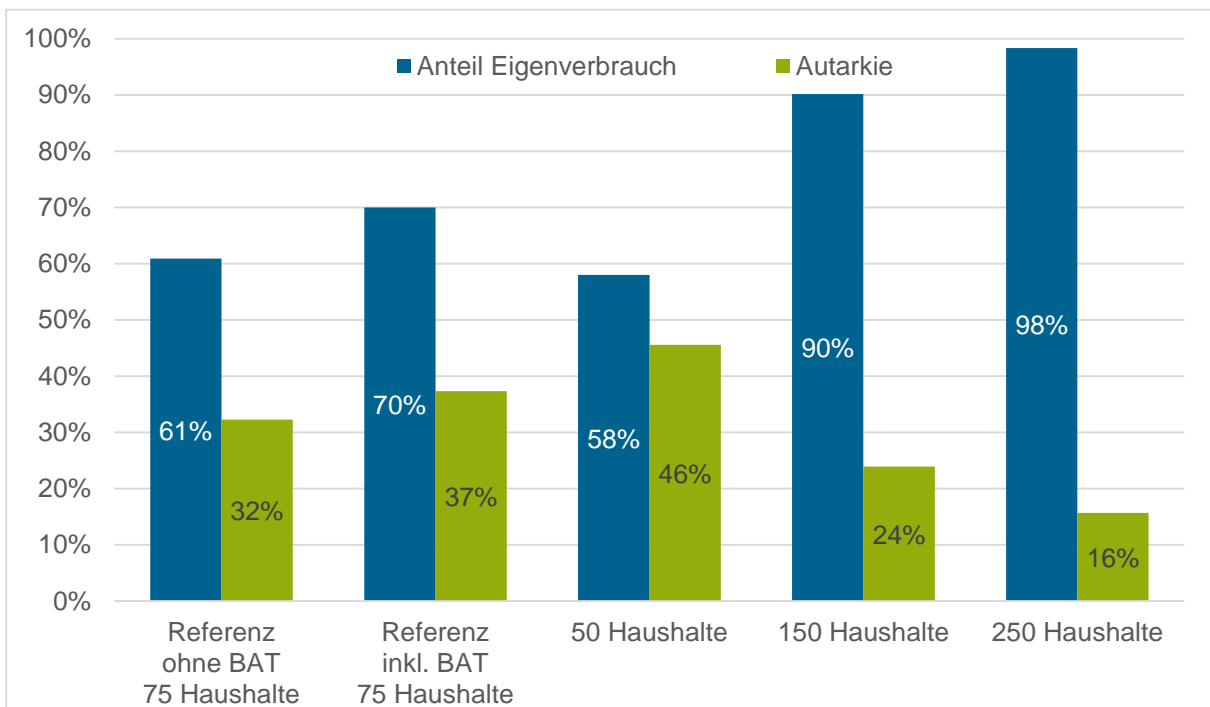


Abbildung 3.1: Eigenverbrauchsanteile und Autarkie bei unterschiedlicher Anzahl von Haushalten im Quartier

Dieser gegensätzliche Einfluss auf Eigenverbrauch und Autarkie ist auch bei der unterschiedlichen Dimensionierung der PV-Anlage zu erkennen. Während eine größere PV-Anlage zu geringeren Eigenverbrauchsanteilen führt, kann die Autarkie erhöht werden. Abbildung 3.2 zeigt für unterschiedliche Dimensionierungen der PV-Anlage den Autarkiegrad und die Eigenverbrauchsquote. Hierbei ist ebenfalls gut zu erkennen, dass sich die Autarkie bei einer Erhöhung der PV-Kapazität immer weniger stark auswirkt umso größer die PV-Anlage ist. Während eine 225 kWp Anlage die Autarkie noch um sieben Prozentpunkte auf 37 % steigern konnte, führt eine Erhöhung der Kapazität von 450 kWp auf 750 kWp nur zu einer Erhöhung der Autarkie um drei Prozentpunkte. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Grenznutzen bei der Dimensionierung der PV-Anlage mit steigender Größe abnehmend ist.

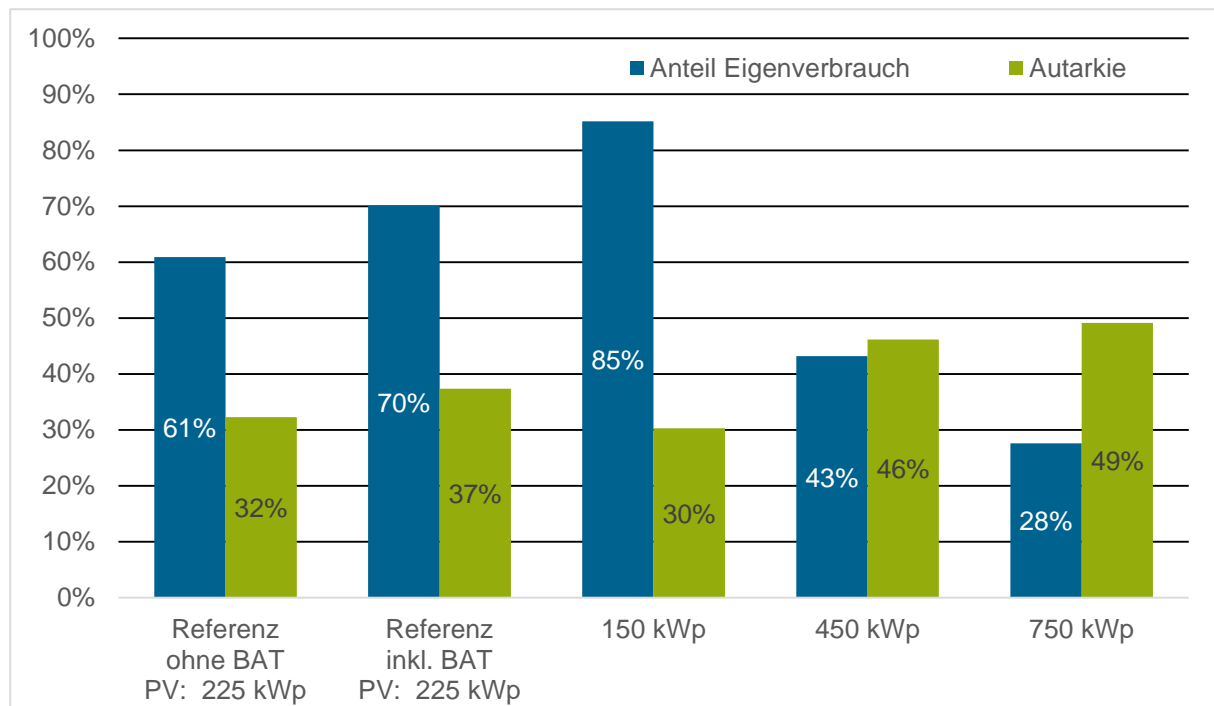


Abbildung 3.2: Eigenverbrauchsanteile und Autarkie bei unterschiedlicher Dimensionierung der PV-Kapazität

Im Gegensatz zu den starken Effekten auf Eigenverbrauch und Autarkie hat eine unterschiedliche Dimensionierung der Batteriekapazität in den betrachteten Quartiersvarianten einen deutlich geringeren Einfluss. Bei einer Erhöhung der Batteriekapazität und der Batterieleistung ließ sich der Autarkiegrad nur marginal um wenige Prozentpunkte erhöhen. Eine Erhöhung der Batteriekapazität von 63 kWh auf 231 kWh führte lediglich zu einer Steigerung des Eigenverbrauchsanteils von 68 % auf 72 % und Erhöhung der Autarkie von 37 % auf 39 %. Im Falle der Leistung wurde die Autarkie von 35 % bei 8 kW Leistung auf 38 % bei 84 kW Leistung gesteigert.

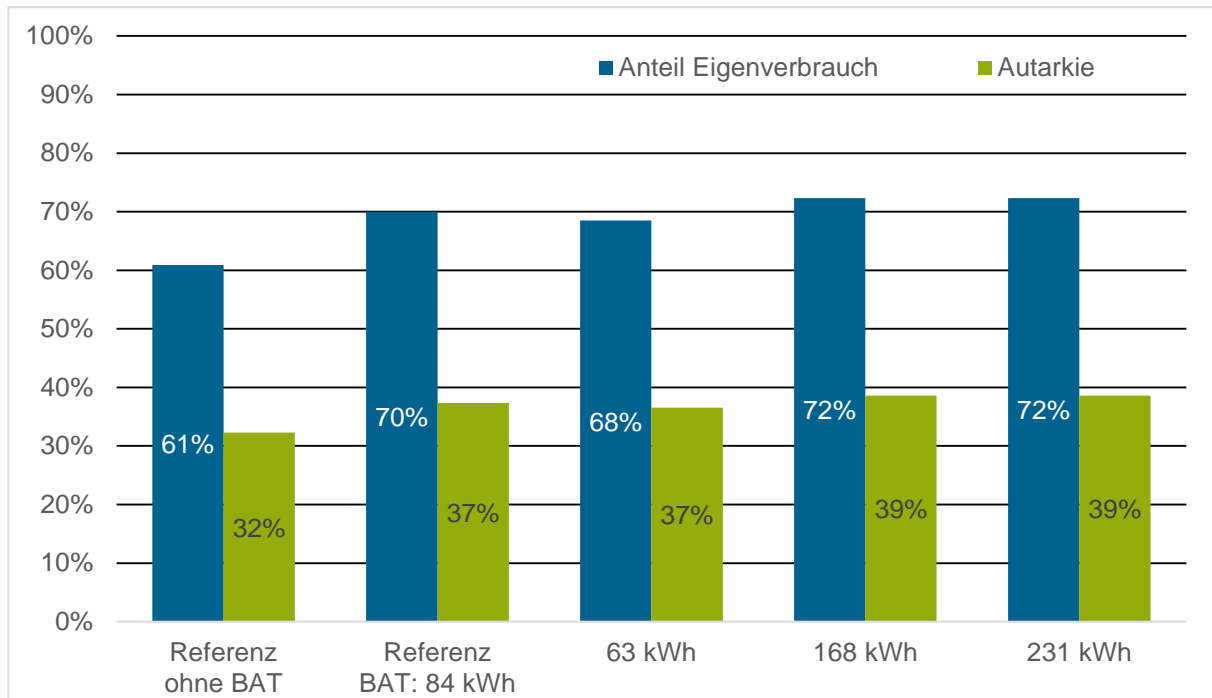


Abbildung 3.3: Eigenverbrauchsanteile und Autarkie bei unterschiedlicher Dimensionierung der Batterie Kapazität

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass sich durch die singuläre Erhöhung der Kapazitäten von PV oder Leistung / Kapazität der Batterie die Autarkie nur in einem begrenzten Umfang erhöhen lässt und die einzelnen Komponenten einen unterschiedlich hohen Einfluss haben, die für sich genommen die Autarkie nur bis zu einem bestimmten Grad erhöhen können. In Abbildung 3.4: Eigenverbrauchsanteile und Autarkie bei maximaler Dimensionierung der einzelnen Komponenten (PV-Anlage, Batterieleistung und –kapazität) im Mehrfamilienhaus-Quartier

ist neben der maximalen Erhöhung einzelner Komponenten auch der Effekt bei einer gleichzeitigen Erhöhung aller Komponenten dargestellt. Hierbei ist zu erkennen, dass bei dem betrachteten Quartier eine maximale Erhöhung der Batteriekapazität/-leistung für sich genommen den geringsten Einfluss hat. In Kombination mit einer größeren PV-Anlage kann eine größere Batterie allerdings dazu beitragen, dass die Autarkie auf 61 % gesteigert wird im Vergleich zu einer Autarkie von 49 %, wenn nur die PV-Kapazität erhöht wird.

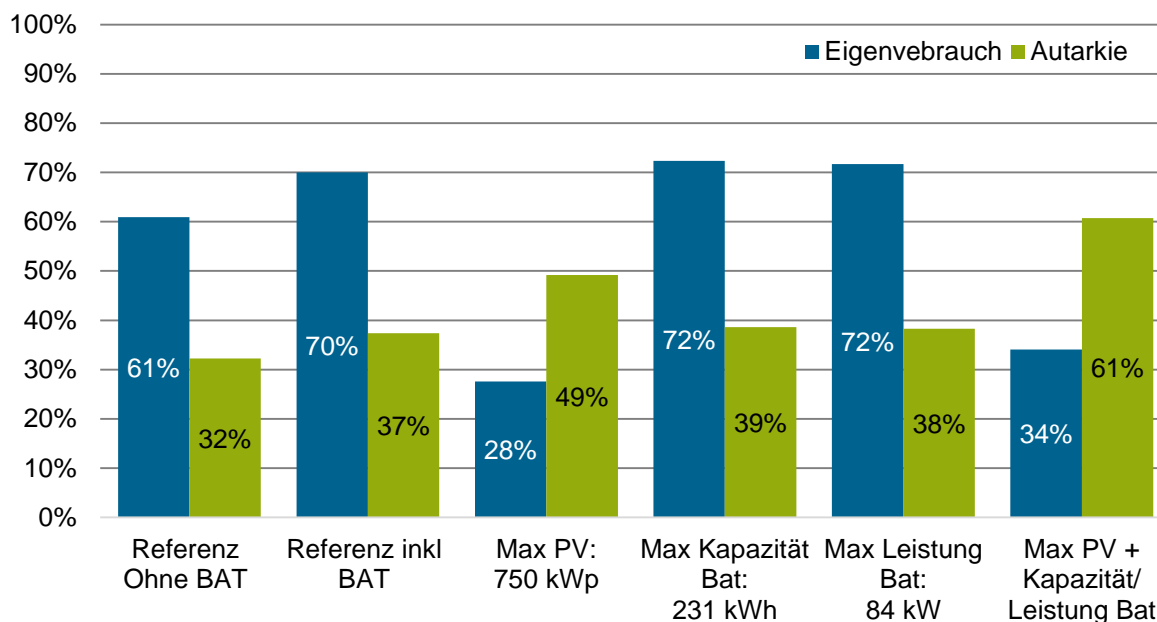


Abbildung 3.4: Eigenverbrauchsanteile und Autarkie bei maximaler Dimensionierung der einzelnen Komponenten (PV-Anlage, Batterieleistung und –kapazität) im Mehrfamilienhaus-Quartier

Auch wenn sich die Autarkie durch eine größere Dimensionierung der PV-Anlage oder Batterie erhöhen lässt, so ist dies zurzeit aus ökonomischer Sicht bei einem reinen Betrieb zur Eigenversorgung nicht sinnvoll. Eingesparte Kosten durch einen geringeren Netzbezug wiegen nicht geringere Erlöse aufgrund von weniger eingespeistem Strom, Kosten für Umlagen bei der Ein- und Ausspeicherung und die Investitions- und Betriebskosten auf. In Abbildung 3.5 werden für die verschiedenen Szenarien die Stromkosten im Quartier dargestellt. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Batterien unterschiedliche Kosten von Umlagen verursachen können je nachdem, ob bei der Ein- und Ausspeicherung eine Personenidentität vorliegt (vgl. Gährs und Knoefel 2018).

In der Grafik ist gut zu erkennen, dass im Vergleich zu den durchschnittlichen Netzbezugskosten in Höhe von 29,2 Cent/kWh² alle Szenarien geringere Stromkosten hervorrufen. Dies ist allerdings nicht auf die Batterie sondern auf die geringen Stromgestehungskosten bei der Erzeugung mit einer PV-Anlage zurückzuführen. Daher sinken die Stromkosten auch umso größer die PV-Kapazität je Haushalt ist. Gegenteilig steigen die Kosten bei einer größeren Dimensionierung der Batterie.

² Ø Netzbezugskosten von 29,2 Cent ergeben sich durch die angenommenen Netzbezugskosten in Höhe von 30,43 Cent/kWh in 2020 und dem jährlicher Strompreistrückgang in Höhe von 1 %

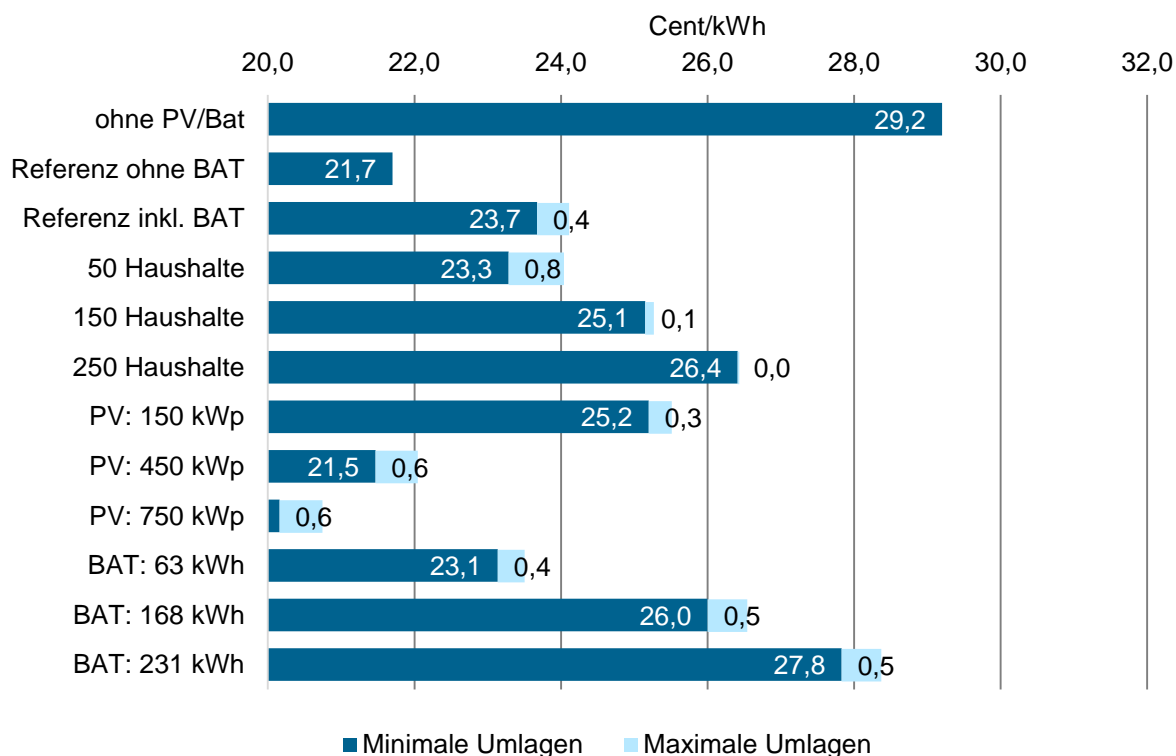


Abbildung 3.5: Stromkosten im Mehrfamilienhaus-Quartier

3.1.2 Einfamilienhaussiedlung

Die Simulation von verschiedenen Quartiersvarianten einer Einfamilienhaussiedlung ergab ähnliche Ergebnisse wie bei dem Mehrfamilienhaus-Quartier in Bezug auf den Einfluss der verschiedenen Faktoren auf den Eigenverbrauch und den Autarkiegrad. Insgesamt lag die Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad etwas über denen im Mehrfamilienhaus-Quartier. Der Grund liegt in der größeren Dimensionierung der PV-Anlage je Haushalt. In der Einfamilienhaussiedlung wurden auf Basis der Referenzquartiere rund 6,5 kWp pro Haushalt angenommen und im Mehrfamilienhaus-Quartier rund 3 kWp je Haushalt.

In Abbildung 3.6 sind die Ergebnisse der Simulation der beiden Referenzfälle, sowie bei einer Maximierung der einzelnen Komponenten dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der größte Hebel um die Autarkie und den Eigenverbrauchsanteil zu erhöhen in der Dimensionierung der PV-Kapazität je Haushalt liegt. Da der Grenznutzen allerdings wie beim Mehrfamilienhaus-Quartier abnehmen ist, waren die Autarkie- und Eigenverbrauchszuwächse (von 56 % auf 64 %) etwas geringer bei einer Maximierung der PV-Kapazität im Vergleich zum Mehrfamilienhaus-Quartier (vgl. Abbildung 3.4: 37 % auf 49 %). In dieser Abbildung ist außerdem zu erkennen, dass in dem betrachteten Fall eine Erhöhung der Batterieleistung keinen weiteren Nutzen gebracht hat, da diese bereits im Referenzfall mit 250 kW Leistung sehr hoch gewählt wurde und diese kein limitierender Faktor bei der Ein- und Ausspeicherung von Energie war.

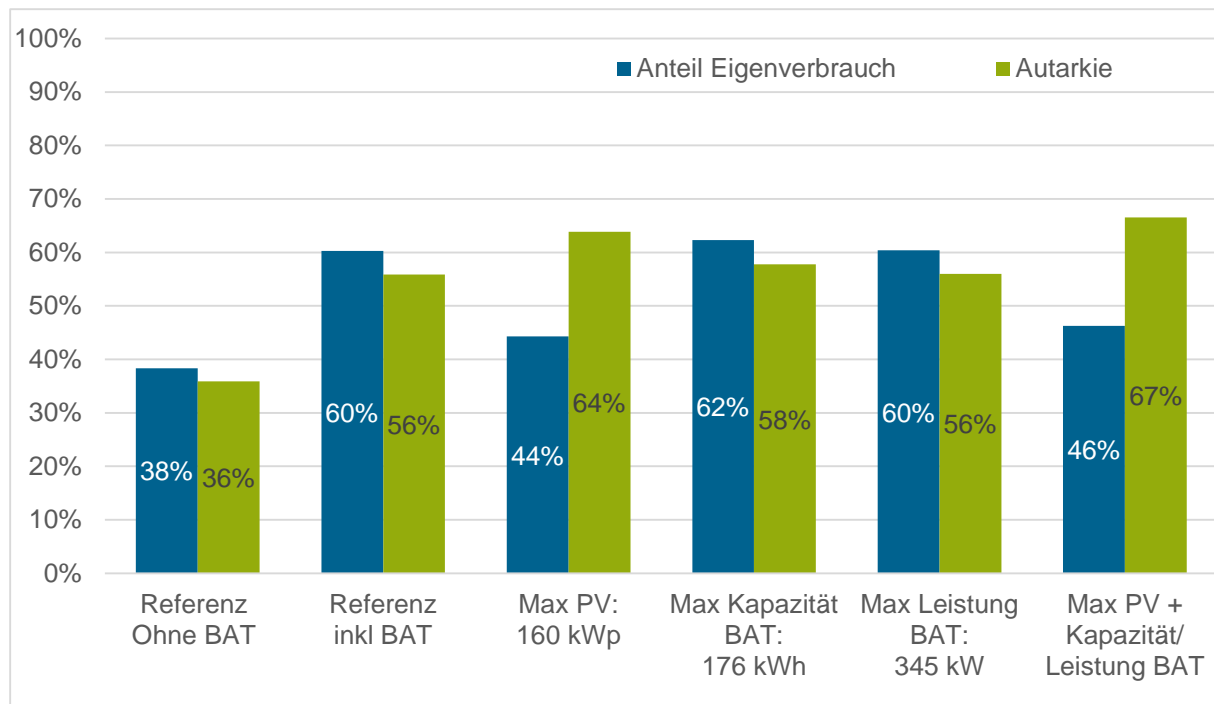


Abbildung 3.6: Eigenverbrauchsanteile und Autarkie bei maximaler Dimensionierung der einzelnen Komponenten (PV-Anlage, Batterieleistung und –kapazität) in der Einfamilienhaussiedlung

Beim Vergleich zwischen Quartierspeicher und Heimspeicher wurde bei der Einfamilienhaussiedlung untersucht inwiefern sich Eigenverbrauch und Autarkie des Quartiers als Ganzes durch die Nutzung eines Quartierspeichers im Vergleich zu vielen kleinen Heimspeichern verändert. In Abbildung 3.7 ist zu sehen, dass sich in allen betrachteten Szenarien der Autarkiegrad des Quartieres beim Quartierspeicher im Vergleich zu vielen kleinen Heimspeichern erhöht. Je nach Szenario schwanken die Steigerungen zwischen 1 % und 4 %. Dies verdeutlicht, dass der Quartierspeicher im Vergleich zu Heimspeichern bei einer Betrachtung auf Quartiersebene für das Quartier vorteilhaft ist. Unterschiede in den Lastkurven einzelner Haushalte werden besser ausgenutzt um die Batterie bestmöglich zu nutzen. Zur Einordnung: Eine Erhöhung der Autarkie um 4 % wie im Referenzfall bedeutet für den einzelnen Haushalt bei einem Strombedarf für Heizung (mit Wärmepumpe), Warmwasser und Haushaltsgeräte von rund 4.500 kWh, dass 180 kWh weniger vom Netz bezogen werden müssen und diese Strommenge stattdessen durch die eigene PV Anlage gedeckt werden kann. In der Grafik wird außerdem deutlich, dass der Unterschied zwischen Quartierspeicher und Heimspeicher bei verschiedenen Dimensionierungen unterschiedlich groß sein kann. Während bei der extremen Dimensionierung von einzelnen Komponenten jeweils der Quartierspeicher deutlich besser abschneidet, liegt die Autarkie bei einer gleichzeitigen Maximierung von PV Kapazität, Kapazität und Leistung der Batterie beim Quartierspeicher nur marginal über der des Heimspeichers (67 % vs. 66 %). Die Höhe des Eigenverbrauchs liegt

beim Quartierspeicher analog zu den Autarkiegraden ebenfalls um bis zu 4 % über denen des Heimspeichers.

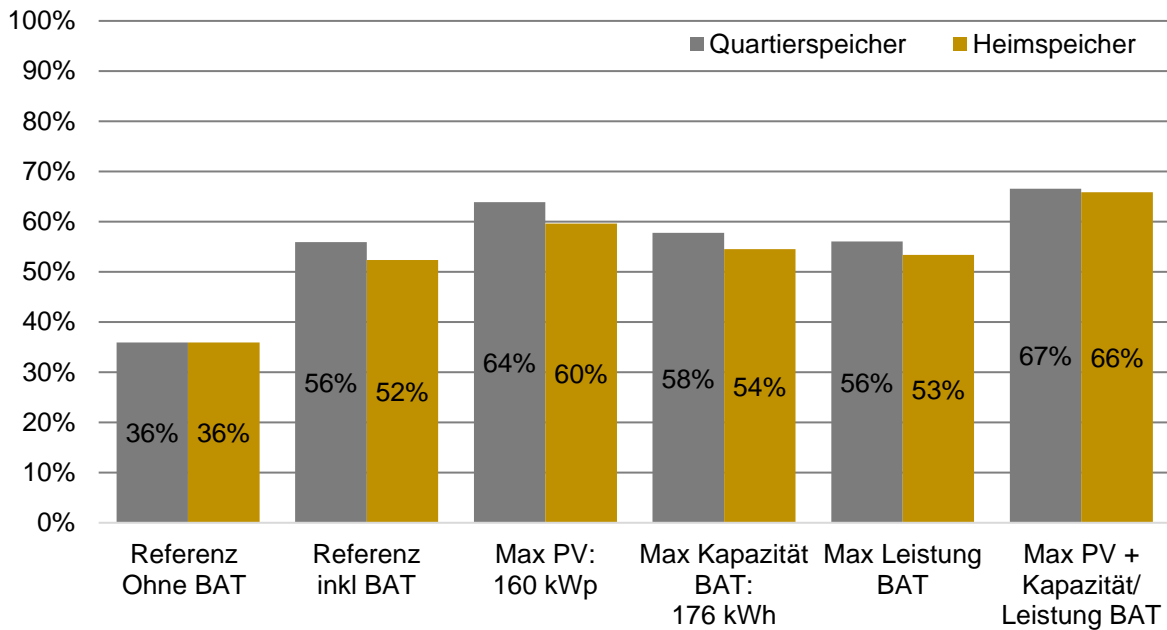


Abbildung 3.7: Quartierspeicher vs. Heimspeicher: Autarkiegrad

Bei einem Vergleich der Stromkosten bei verschiedenen Szenarien wird wie auch bei dem Mehrfamilienhaus-Quartier deutlich, dass ein Batteriespeicher zur reinen Eigenverbrauchserhöhung derzeit nicht wirtschaftlich betrieben werden kann. Das Referenzquartier ohne Batterie verdeutlicht, dass eine PV-Anlage die Stromkosten verringern kann. Sobald aber ein Quartierspeicher (QS) oder Heimspeicher (HS) installiert ist, erhöhen sich die durchschnittlichen Stromkosten je kWh im Quartier. Hierbei ist allerdings zu erkennen, dass die Stromkosten in vergleichbaren Szenarien beim Quartierspeicher immer leicht unter denen des Heimspeichers liegen. Das liegt unter anderem an geringeren Investitions- und Betriebskosten bei einem großen Quartierspeicher im Vergleich zu vielen kleinen Heimspeichern. Allerdings liegen die durchschnittlichen Strombezugskosten bei vielen kleinen Heimspeichern auch über denen von einem Quartierspeicher wenn gleiche Investitions- und Betriebskosten angenommen werden. Dies weist daraufhin, dass der höhere Eigenverbrauch (vgl. Abbildung 3.7) ebenfalls einen positiven Einfluss auf die durchschnittlichen Strombezugskosten hat.

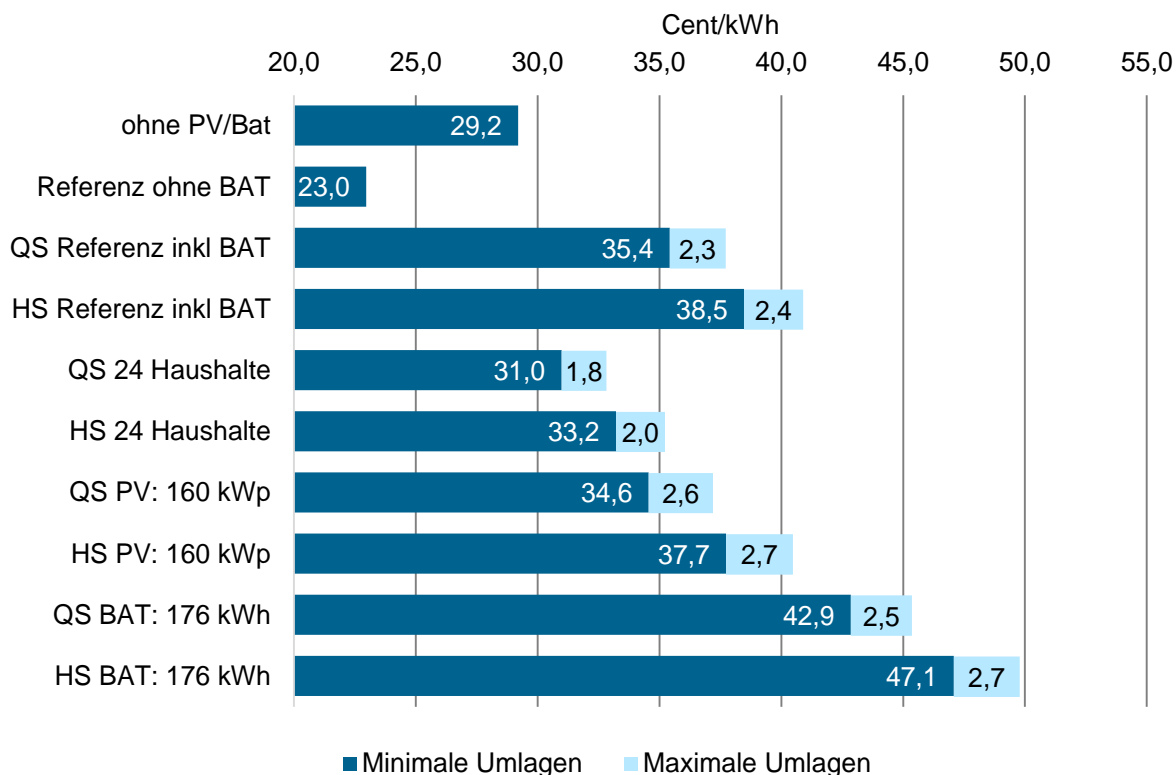


Abbildung 3.8: Stromkosten in der Einfamilienhaussiedlung

3.2. Multi-Use

Wie aus den vorangegangenen Analysen ersichtlich war, lassen sich zwar Autarkie und Eigenverbrauch durch einen Speicher erhöhen, aus ökonomischer Sicht ist dies aber nicht wirtschaftlich. Um zusätzliche Erlöse für ein wirtschaftlich tragfähiges Geschäftsmodell zu generieren, kann ein Teil der Speicherkapazität für Speicher- und Netzdienstleistungen genutzt werden.

In Tabelle 2 wird dargestellt wie sich unterschiedlich restriktive Ansätze bei der Festlegung der Kapazität für die Eigenverbrauchsoptimierung auf die Ergebnisse auswirken.

Tabelle 2: Bestimmung der durchschnittlich verfügbaren Kapazität für die sekundäre Dienstleistung beim Mehrfamilienhaus-Quartier. vgl. 2.1.2 zur Erklärung von konservativer und progressiver Variante

Variante Speicherscheibe	Eigenverbrauch	Autarkie	Kapazität für Sekundäre Dienstleistung
Minütlich	70,1 %	37,4 %	81,1 %
Täglich	70,1 %	37,2 %	34,3 %
Wöchentlich (konservativ)	70,1 %	37,2 %	10,0 %
Wöchentlich (progressiv)	69,8 %	37,1 %	21,9 %
Monatlich (konservativ)	70,1 %	37,2 %	1,7 %
Monatlich (progressiv)	69,7 %	37,0 %	21,4 %
Jährlich (konservativ)	70,1 %	37,4 %	0 %
Jährlich (progressiv)	70,1 %	37,2 %	0 %

Die Tabelle 2 zeigt deutlich, dass umso kürzer die Taktung bei den Speicherscheiben ist, umso mehr Kapazität steht für sekundäre Dienstleistungen zur Verfügung. Die Kapazität in Höhe von 81,1 % für sekundäre Dienstleistungen bei der minütlichen Speicherscheibe ist das theoretische Potenzial, das angibt, wieviel Speicherkapazität vermarktbar wäre, wenn Verbrauch und Erzeugung perfekt vorhersehbar wären und eine minütliche Vermarktung möglich wäre. Bei täglichen Speicherscheiben steht immer noch 34,3 % der Kapazität für die sekundäre Vermarktung zur Verfügung. Bei einer wöchentlichen und monatlichen Speicherscheibe zeigen sich erhebliche Unterschiede zwischen den beiden betrachteten Varianten. Wenn bei Variante B an min. 40 % der Tage die Kapazität ausgenutzt werden muss, dann bleibt bei der wöchentlichen immer noch 21,9 % und bei der monatlichen Speicherscheibe 21,4 % der Speicherkapazität für sekundäre Dienstleistungen. Wenn der maximale Ladezustand nur einmalig erreicht werden muss, bleibt nur noch 10 % bzw. 1,7 % der Speicherkapazität für die sekundäre Vermarktung. Gleichzeitig ist zu erkennen, dass der Einfluss auf die Autarkie und den Eigenverbrauch bei beiden Varianten nur marginal ist. Folglich lässt sich ein Multi-use ohne größere Beeinträchtigung der Eigenverbrauchsoptimierung auch beim weniger restriktiven Ansatz gut miteinander verbinden. Bei den möglichen Erlösen aus der Vermarktung des freien Speichers soll an dieser Stelle auf das Arbeitspapier Schnabel und Kreidel (2019) verwiesen werden.

4. Ergebnisse regionalökonomische Effekte

Neben den wirtschaftlichen Interessen der Betreibenden stellt sich gerade für politische Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträgern, die Frage inwiefern neben möglichen positiven Auswirkungen durch eine dezentrale, nachhaltige Erzeugung und Verbrauch von Strom ein Quartierspeicher auch zu einer regionalen Wertschöpfung beitragen kann.

Die Ergebnisse der Wertschöpfungsbetrachtung sind in Abbildung 4.1 und Abbildung 4.2 dargestellt.

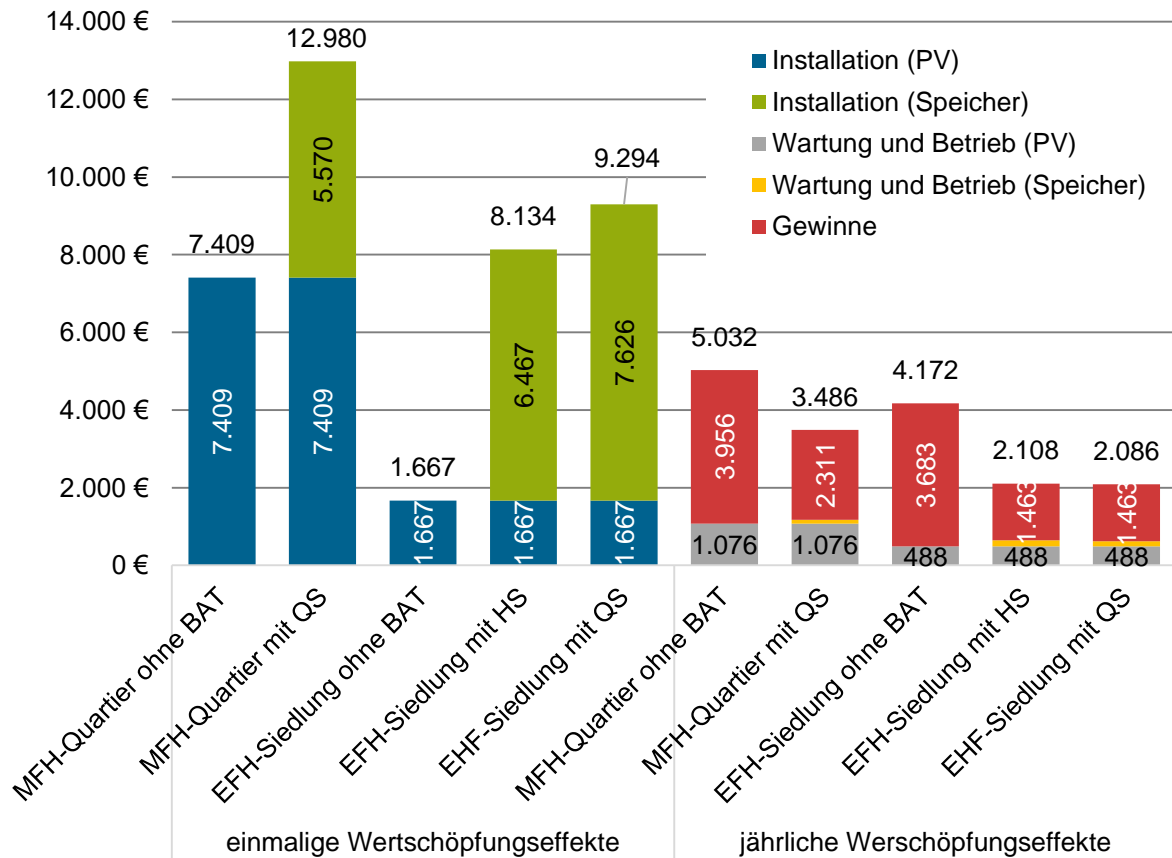


Abbildung 4.1: Regionalökonomische Wertschöpfungseffekte

Auffallend in den Ergebnissen ist, dass Batteriespeichertechnologien zwar die einmaligen Wertschöpfungseffekte durch die hohen Installationskosten erhöhen, aber darüber hinaus keine nennenswerten widerkehrenden Wertschöpfungseffekte mit sich bringen. Zusätzlich liegt die erwartbare Rendite in den Szenarien mit Speicher unter den Renditerwartungen in den Referenzquartieren ohne Speicher, sodass die Berteibergewinne dort niedriger ausfallen (Kelm et al. 2019). Somit wirkt sich die fehlende Rentabilität der Batteriespeicher (vgl. Kapitel 3) durch niedrigere Gewinne auch auf die Wertschöpfung negativ aus.

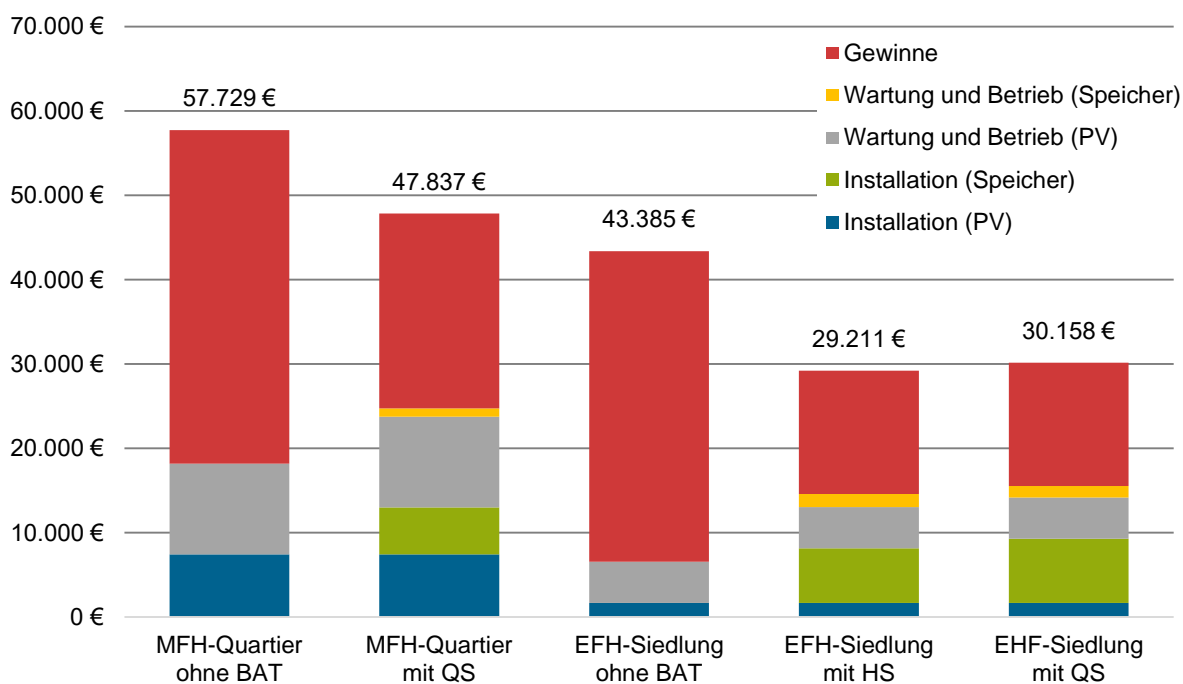


Abbildung 4.2: Kumulierte Wertschöpfungseffekte über 10 Jahre

Betrachtet man die kumulierte Wertschöpfung über einen Horizont von 10 Jahren, übersteigt die Wertschöpfung der Referenzquartiere ohne Speicher aufgrund der höheren Gewinne die Wertschöpfung der Quartiere mit Speicher.

5. Zusammenfassung

Diese Arbeit kann die derzeitige Einschätzung bestätigen, dass Quartierspeicher unter aktuellen Markt- und Rahmenbedingungen bei einer Nutzung zur reinen Eigenverbrauchserhöhung derzeit nicht wirtschaftlich tragfähig sind. Allerdings konnte gezeigt werden, dass ein Quartierspeicher gegenüber vielen kleinen Heimspeichern ökonomisch vorteilhaft ist. Es ist anzunehmen, dass bei weiter fallenden Speicherpreisen oder, wenn die Stromkosten entgegen der Annahme steigen sollten, Investitionen in Quartierspeicher früher rentabel umsetzbar sind als Investitionen in Heimspeicher. Die bessere Rentabilität beruht dabei nicht nur auf geringere Investitions- und Betriebskosten sondern lässt sich auch durch höhere Eigenverbrauchsanteile erklären. Durch die höhere Aggregation von Erzeugung und Verbrauch wird mehr selbsterzeugter Strom verbraucht und die Autarkie konnte in den betrachteten Quartieren um bis zu 4 % im Vergleich zu einem Quartier mit Heimspeichern gesteigert werden. Bei der Dimensionierung der PV-Anlage und Batterie (Kapazität/Leistung) müssen alle Komponenten gemeinsam betrachtet werden. So kann eine Erhöhung der Batteriekapazität nur einen Nutzen bringen, wenn die PV-Anlage Strom produziert, der nicht direkt im Quartier verbraucht werden kann.

Diese Arbeit konnte auch zeigen, dass im Laufe des Jahres im Mittel nur rund 20 % der Speicherkapazität genutzt wird. Einen Großteil der Zeit ist der Speicher leer oder nur teilweise durch eingespeicherten Strom aus der eigenen PV-Anlage gefüllt. Wenn eine perfekte Prognose von Verbrauch und Erzeugung gelingen würde und die technischen Voraussetzungen es erlauben, könnten also 80 % der Speicherkapazität für Netz- und Systemdienstleistungen genutzt werden. Selbst bei keiner perfekten Prognose könnten immer

noch signifikante Kapazitäten von rund 20 % für Netz- und Systemdienstleistungen genutzt werden, wenn wöchentlich oder monatlich neu entschieden werden würde, welcher Anteil der Speicherkapazitäten für Eigenverbrauchsoptimierung und welcher für Netz- und Systemdienstleistungen eingesetzt wird. Eine Bereitstellung eines Teils der Kapazität für Netz- und Systemdienstleistungen ist überdies zum größten Teil auch ohne größere negative Auswirkungen auf die Eigenverbrauchserhöhung möglich.

Neben der wirtschaftlichen Betrachtung für Betreiberinnen und Betreibern konnte diese Arbeit auch zeigen, dass ein Quartierspeicher bei der Installation zu einer regionalen Wertschöpfung beitragen kann. In Folgejahren führt eine mangelnde Wirtschaftlichkeit von Speichern allerdings dazu, dass im Vergleich zu einem Quartier, welches nur eine PV-Anlage und keinen Speicher hat, die Wertschöpfung geringer ist.

6. Literaturverzeichnis

- Agora Energiewende (2018): 65 Prozent Erneuerbare bis 2030 und ein schrittweiser Kohleausstieg. https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2018/65_EE_und_Kohleausstieg/142_Stromsektor-2030_65-Prozent-EE-und-schrittweiser-Kohleausstieg_WEB.pdf.
- BDEW (2020): BDEW-Strompreisanalyse Januar 2020.
- Bundesnetzagentur (2020): EEG-Registerdaten und -Fördersätze. Website: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG_Registerdaten/EEG_Registerdaten_node.html (Zugriff: 27. Oktober 2020).
- Figgenger, Jan, David Haberschusz, Kai-Philipp Kairies, Oliver Wessels, Benedikt Tepe und Dirk Uwe Sauer (2018): Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher 2.0. Jahresbericht 2018. Aachen: Institut für Stromrichtertechnik (ISEA); Elektrische Antriebe der RWTH Aachen.
- Figgenger, Jan, Peter Stenzel, Kai-Philipp Kairies, Jochen Linßen, David Haberschusz, Oliver Wessels, Georg Angenendt, Martin Robinius, Detlef Stolten und Dirk Uwe Sauer (2020): The development of stationary battery storage systems in Germany—A market review. *Journal of Energy Storage* 29: 101153.
- Fluri, Verena (2018): Wirtschaftlichkeit von zukunftsfähigen Geschäftsmodellen dezentraler Stromspeicher. Universität Flensburg. <https://www.zhb-flensburg.de/fileadmin/content/spezial-einrichtungen/zhb/dokumente/dissertationen/fluri/fluri-2019-wirtschaftlichkeit-dez-stromspeicher.pdf#%5B%7B%22num%22%3A248%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C48%2C571%2C0%5D>.
- Fraunhofer ISE (2018): Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien - März 2018. https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf (Zugriff: 10. Dezember 2018).
- Gährs, Swantje und Jan Knoefel (2018): Anforderungen verschiedener Stakeholder an Dienstleistungen mit Quartierspeichern. Ergebnisse einer Analyse von Stakeholderinterviews. Projekt ESQUIRE, Arbeitspapier. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung. https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/2018/G%C3%A4hrs-Knoefel_Anforderungen_verschiedener_Stakeholder_ESQUIRE_2018-09-17.pdf.
- Graulich, Kathrin, Dierk Bauknecht, Christoph Heinemann, Inga Hilbert, Moritz Vogel, Dieter Seifried und Sebastian Albert-Seifried (2018): Einsatz und Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik-Batteriespeichern in Kombination mit Stromsparen. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/PV-Batteriespeicher-Endbericht.pdf#%5B%7B%22num%22%3A107%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2C54%2C154%2C0%5D>.
- Hein, Fabian, Frank Peter und Patrick Graichen (2020): The German Power Market - State of Affairs in 2019. Agora Energiewende. https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2019/Jahresauswertung_2019/A-EW_German-Power-Market-2019_Summary_EN.pdf (Zugriff: 15. Oktober 2020).
- Hirschl, Bernd, Astrid Aretz, Andreas Prahl, Timo Böther, Katharina Heinbach, Daniel Pick und Simon Funcke (2010): Kommunale Wertschöpfung durch erneuerbare Energien. Schriftenreihe des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung (Hrsg.). Nr. 196/10.

- Berlin. http://www.ioew.de/uploads/tx_ukioewdb/IOEW_SR_196_Kommunale_Wertsch%C3%B6pfung_durch_Erneuerbare_Energien.pdf.
- Hirschl, Bernd, Katharina Heinbach, Andreas Prah, Steven Salecki, André Schröder, Astrid Aretz und Julika Weiß (2015): Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien - Ermittlung der Effekte auf Länder- und Bundesebene. Schriftenreihe des IÖW 210/15. Berlin. http://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publicationen/Schriftenreihen/IOEW_SR_210_Wertsch%C3%B6pfung_durch_erneuerbare_Energien_auf_Landes-_und_Bundesebene.pdf.
- Hoffmann, Esther und Franziska Mohaupt (2020): Joint Storage. A Mixed-Method Analysis of Consumer Perspectives on Community Energy Storage in Germany. *Energies* 2020 13, Nr. 11: 3025.
- Kelm, Tobias, Jochen Metzger, Henning Jachmann, Dr. Dieter Günnewig, Michael Püschel, Sven Schicketanz, Pascal Kinast, Miron Thylmann und Venus Nazerian (2019): Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichts gemäß § 97 EEG - Teilvorhaben IIc: Solare Strahlungsenergie. https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/bmwi_de/zsv-boschundpartner-vorbereitung-begleitung-eeg.pdf?__blob=publicationFile&v=7 (Zugriff: 27. August 2020).
- Mongird, Kendall, Vilayanur V. Viswanathan, Patrick J. Balducci, Md Jan E. Alam, Vanshika Fotedar, V S. Koritarov und Boualem Hadjerioua (2019): Energy Storage Technology and Cost Characterization Report. United States Department of Energy. <http://www.osti.gov/servlets/purl/1573487/> (Zugriff: 27. August 2020).
- Müller, Marcus, Lorenz Viernstein, Cong Nam Truong, Andreas Eiting, Holger C. Hesse, Rolf Witzmann und Andreas Jossen (2017): Evaluation of grid-level adaptability for stationary battery energy storage system applications in Europe. *Journal of Energy Storage* 9: 1–11.
- Schnabel, Frieder und Katrin Kreidel (2019): Ökonomische Rahmenbedingungen für Quarterspeicher. Analyse der ökonomisch relevanten Kenngrößen für Energiedienstleistungen. Projekt ESQUIRE, Arbeitsbericht. Stuttgart: Fraunhofer IAO. https://www.esquire-projekt.de/data/esquire/Dateien/Schnabel_Arbeitspapier_%C3%B6konom._Rahmenbedingungen_Esquire.pdf.
- Tsiropoulos, I, D Tarvydas, N Lebedeva, European Commission und Joint Research Centre (2018): Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications: scenarios for costs and market growth. European Commission: Joint Research Centre. http://publications.europa.eu/publication/manifestation_identifier/PUB_KJNA29440ENN (Zugriff: 27. August 2020).



ESQUIRE

Energiespeicherdienste
für smarte Quartiere

www.esquire-projekt.de

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



i|ö|w
INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE
WIRTSCHAFTSFORSCHUNG



Fraunhofer
IAO

evohaus ™

