

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Einsatz und Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik-Batteriespeichern in Kombination mit Stromsparen

Ergebnisse aus dem BMBF-geförderten Verbundprojekt BuergEn „Perspektiven der Bürgerbeteiligung an der Energiewende unter Berücksichtigung von Verteilungsfragen“ Freiburg, 21.03.2018

Teilprojekt 1, Modul 4.1

Autorinnen und Autoren

Kathrin Graulich
Dierk Bauknecht
Christoph Heinemann
Inga Hilbert
Moritz Vogel
Öko-Institut e.V.

Dieter Seifried
Sebastian Albert-Seifried
Büro Ö-quadrat GmbH

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg
Hausadresse
Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg
Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin

Schicklerstraße 5-7
10179 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
Telefon +49 6151 8191-0

info@oeko.de
www.oeko.de

Partner



Büro Ö-quadrat GmbH
Turnseestraße 44
79102 Freiburg
Telefon +49 761-7079 901
www.oe2.de

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	8
Zusammenfassung	9
Summary	13
1. Hintergrund und Zielsetzungen dieses Vorhabens	17
2. Erhebung von Marktdaten und Anbieterempfehlungen zu Photovoltaik-Anlagen und PV-Batteriespeichern (Marktanalyse)	22
2.1. Nutzen eines Photovoltaik-Batteriespeichers	22
2.2. Aufbau eines PV-Batteriespeichersystems	23
2.3. Verschiedene Technologien bei stationären PV-Batteriespeichern	25
2.3.1. Blei-Säure-Batterien	25
2.3.2. Lithium-Ionen-Batterien	26
2.3.3. Redox-Flow-Batterien	28
2.3.4. Hochtemperatur-Batterien	29
2.3.5. Aqueous-Hybrid-Ion-Batterien	30
2.3.6. Nickel-Cadmium- bzw. Nickel-Metallhydrid-Batterien	32
2.4. PV-Batteriespeicher in Deutschland: Status Quo und Marktentwicklung	32
2.4.1. Marktanteile verschiedener Batterietechnologien	34
2.4.2. Marktanteile verschiedener Speichergrößen	34
2.4.3. Zusammenhang zwischen Nennleistung der Photovoltaik-Anlage, Stromverbrauch des Haushalts und Speicherkapazität des Batteriespeichers	36
2.4.4. Typische Eigenverbrauchsquoten und Autarkiegrade	37
2.4.5. Motive für die Installation eines PV-Batteriespeichers	39
2.5. Marktakteure	39
2.6. Marktübersichten für PV-Batteriespeicher	41
3. Entwicklung eines digitalen Beratungstools: „Stromspar-Speicherrechner“	41
3.1. Auswertung bestehender Online-Tools für PV-Batteriespeicher	41
3.2. Struktur des zu entwickelnden Wirtschaftlichkeitsrechners für PV-Batteriespeicher unter Berücksichtigung von Stromeinspar-Potenzialen	43
3.3. Spezifischer Aufbau des zu entwickelnden Wirtschaftlichkeitsrechners	46
3.3.1. Toolparameter zum Strombedarf und Bestimmung der Stromeffizienzklasse	46
3.3.2. Toolparameter zur Dimensionierung und zum Solarertrag der PV-Anlage	48
3.3.3. Toolparameter für den PV-Batteriespeicher	54

3.3.4.	Toolparameter zur Ermittlung des Stromeinsparpotenzials der Haushalte	60
3.3.5.	Ausgabe der Ergebnisse	63
3.3.6.	Ausgabe der Wirtschaftlichkeitsberechnung	66
3.4.	Aussagekraft des Tools	69
4.	Exemplarische Beratung von Haushalten	71
4.1.	Vorgehensweise zur Auswahl der Testhaushalte	71
4.2.	Anpassungen des Tools auf Basis der Haushaltsberatungen	72
4.3.	Übergreifende Erfahrungen aus den Haushaltsberatungen	74
5.	Bestimmung des optimalen Einsatzes von PV-Anlagen und Batteriespeichern in Kombination mit Stromsparmaßnahmen	76
5.1.	Zielsetzung des Arbeitspaketes	76
5.2.	Auswahl der Szenarien und Berechnungsgrundlagen	76
5.3.	Bilanzielle Optimierung auf Basis der Wirtschaftlichkeitsberechnungen	78
5.3.1.	PV-Bestandsanlage: Investition in Batteriespeicher und Auswirkungen von Stromeinsparungen	78
5.3.2.	Neuinstallation einer PV-Anlage ohne Speicher: Dimensionierung mit und ohne Stromeinsparungen	85
5.3.3.	Neuinstallation einer PV-Anlage mit Speicher: Auswirkungen von Stromeinsparungen	87
5.4.	Fazit zum optimalen Einsatz von PV-Anlagen und Batteriespeichern in Kombination mit Stromsparmaßnahmen	90
6.	Analyse zur optimalen Einbettung der Batteriesysteme ins Netz	91
6.1.	Hintergrund und Fragestellung	91
6.2.	Herausforderungen im Energiesystem durch PV-Speichersysteme zur Eigenverbrauchsmaximierung	91
6.3.	Bestehende Regelungen zur verbesserten Einbettung von PV-Speichersystemen in das Energiesystem	95
6.4.	Lösungsansätze zur erhöhten Netz- und Systemdienlichkeit von PV-Speichersystemen	96
6.4.1.	Feste Einspeisebegrenzung	97
6.4.2.	Feste Einspeisebegrenzung mit Prognose	98
6.4.3.	Dynamische Einspeisebegrenzung	99
6.4.4.	Dynamisches Einspeisemanagement	99
6.5.	Mittelfristige Potenziale von dezentralen Kleinspeichern zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen	99
6.6.	Auswirkungen von Stromverbrauchsreduktionen auf das Stromnetz und das Stromsystem	100

6.7.	Energiepolitische Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf zur optimalen Einbettung von PV-Batteriesystemen ins Netz	100
7.	Fazit und Ausblick	103
7.1.	Wirtschaftlichkeitsberechnung für Photovoltaik-Batteriespeicher kombiniert mit Stromsparmaßnahmen (Stromspar-Speicherrechner)	103
7.2.	Einsatz des Stromspar-Speicherrechners in der fachkundigen Beratung von Haushalten	104
7.3.	Weiterentwicklungspotenziale und Dissemination des Stromspar-Speicherrechners	105
7.4.	Weiterer Forschungsbedarf bzw. politischer Handlungsbedarf zum optimalen Einsatz von PV-Batteriespeichern	106
8.	Literaturverzeichnis	107
9.	Anhang	110
9.1.	Auswertung vorhandener online-Tools für PV-Batteriespeicher	111
9.2.	Im Wirtschaftlichkeitsrechner hinterlegte Sätze für EEG-Einspeisevergütung	130
9.3.	E-Mail-Aufruf zur Gewinnung von Testhaushalten für das Beratungstool	132
9.4.	Protokolle der in fünf Testhaushalten durchgeführten Beratungen	132

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Umweltindikator Energieverbrauch	17
Abbildung 1-2:	Umweltindikator Erneuerbare Energien	18
Abbildung 1-3:	Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien seit 1990	19
Abbildung 2-1:	Entwicklung der Einspeisevergütung (PV-Anlagen < 10 kWp) und des durchschnittlichen Strompreises	22
Abbildung 2-2:	Schematische Darstellung eines DC-gekoppelten Batteriespeichersystems	24
Abbildung 2-3:	Schematische Darstellung eines AC-gekoppelten Batteriespeichersystems	24
Abbildung 2-4:	Kumulierte Anzahl der Installationen von PV-Speichern in Deutschland von Mai 2013 bis April 2017	32
Abbildung 2-5:	Geographische Verteilung der Solarstromspeicher in Deutschland absolut (links) und relativ pro 100.000 Haushalte (rechts)	33
Abbildung 2-6:	Dichtefunktionen der nutzbaren Kapazität der beim Speichermonitoring registrierten Solarstromspeicher	35
Abbildung 2-7:	Unterscheidung zwischen Nenn- und Nutzkapazität der Batteriespeicher	36
Abbildung 2-8:	Stromverbräuche der Haushalte in Deutschland, die einen von der KfW geförderten Batteriespeicher installiert haben (Jahr 2016)	37
Abbildung 2-9:	Mittlere Eigenverbrauchsquoten der ausgewerteten Haushalte in Abhängigkeit von der relativen PV-Nennleistung und der Speicherkapazität	38
Abbildung 2-10:	Motivationsgründe der Käufer KfW-geförderter Solarstromspeicher	39
Abbildung 2-11:	Marktanteile verkaufter Batteriespeichersysteme 2016	40
Abbildung 3-1:	Grundsätzlicher Aufbau des Wirtschaftlichkeitsrechners für PV-Batteriespeicher unter Berücksichtigung von Stromeinspar-Potenzialen	45
Abbildung 3-2:	Stromeffizienzklassen gemäß Stromspiegel 2017	46
Abbildung 3-3:	Tool-Abschnitt „Verbrauchswerte und Berechnung der Stromeffizienzklassen“	47
Abbildung 3-4:	Tool-Abschnitt „Dimensionierung und Bestimmung des Solarertrages der PV-Anlage“	49
Abbildung 3-5:	Tool-Abschnitt „Dimensionierung des Batteriespeichers“	55
Abbildung 3-6:	Verlustmechanismen in Photovoltaik-Batteriesystemen	56
Abbildung 3-7:	Tool-Abschnitt „Einsparpotenzial Ihres Haushaltes“	61
Abbildung 3-8:	Tool-Abschnitt „Ergebnisse“	64
Abbildung 3-9:	Tool-Abschnitt „Ergebnisse – Detailansicht der Energieflüsse für den Batteriespeicher“	65
Abbildung 3-10:	Tool-Abschnitt „Ökonomische Rahmenbedingungen“	66
Abbildung 3-11:	Tool-Abschnitt „Wirtschaftlichkeitsrechnung“	67
Abbildung 3-12:	Tool-Abschnitt „Analyse der Ergebnisse“	68

Abbildung 5-1:	Bestimmung der Stromeffizienzklasse, basierend auf Stromverbrauch, Gebäudetyp, Warmwasserbereitstellung und Personenanzahl	77
Abbildung 5-2:	Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad einer 5 kWp PV-Anlage in Kombination mit einem 5 kWh Batteriespeicher	79
Abbildung 5-3:	Wirtschaftlichkeit eines 5 kWh Batteriespeichers, der nach Auslaufen der EEG-Vergütung zusätzlich zu einer 5 kWp PV-Anlage installiert wird	80
Abbildung 5-4:	Wirtschaftlichkeit der Kombination einer 5 kWp PV-Bestandsanlage mit auslaufender EEG-Vergütung und einem nachgerüsteten Batteriespeicher, im Vergleich mit und ohne parallel realisierte Stromeinsparungen	81
Abbildung 5-5:	Einfluss des Installationsdatums bei PV-Bestandsanlagen auf die Wirtschaftlichkeit eines Speichers	82
Abbildung 5-6:	Wirtschaftlichkeit eines 6 kWh Batteriespeichers, der nachträglich zu einer im Juli 2010 in Betrieb genommenen 6 kWp PV-Anlage installiert wird	84
Abbildung 5-7:	Wirtschaftlichkeit unterschiedlich dimensionierter, neu installierter PV-Anlagen mit und ohne zusätzliche Stromsparmaßnahmen	85
Abbildung 5-8:	Interne Verzinsungsraten unterschiedlich dimensionierter, neu installierter PV-Anlagen mit und ohne zusätzliche Stromsparmaßnahmen	86
Abbildung 5-9:	Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals einer neu installierten 4 kWp PV-Anlage mit und ohne 1000 kWh Stromeinsparungen	87
Abbildung 5-10:	Wirtschaftlichkeit einer neu installierten 6 kWp PV-Anlage mit unterschiedlich dimensionierten Batteriespeichern und Stromeinsparungen	88
Abbildung 5-11:	Interne Verzinsungsrate einer 6 kWp PV-Anlage mit unterschiedlich dimensionierten Batteriespeichern und Stromeinsparungen	89
Abbildung 6-1:	Einspeiseprofil eines PV-Speichersystems ins Netz bei Optimierung des Eigenverbrauchs	92
Abbildung 6-2:	Belastungen und Entlastungen durch PV-Eigenverbrauch im Jahr 2013	94
Abbildung 6-3:	Speicherbefüllung bei festen Einspeisebegrenzungen	97
Abbildung 6-4:	Speicherbefüllung bei festen Einspeisebegrenzungen mit Prognose	98

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Vor- und Nachteile einer DC / AC Batteriekopplung	25
Tabelle 2-2:	Wichtige Charakteristika von Blei-Säure-Batterien	26
Tabelle 2-3:	Wichtige Charakteristika von Lithium-Ionen-Batterien	27
Tabelle 2-4:	Vergleich der Kosten und zyklischen Lebensdauer von LNMC- und LFP-Batterien	28
Tabelle 2-5:	Wichtige Charakteristika von Vanadium-Redox-Flow-Batterien*	28
Tabelle 2-6:	Wichtige Charakteristika von Natrium-Nickelchlorid-Batterien	29
Tabelle 2-7:	Wichtige Charakteristika von Natrium-Schwefel-Batterien	30
Tabelle 2-8:	Wichtige Charakteristika von Aqueous-Hybrid-Ion-Batterien	31
Tabelle 2-9:	Online-Marktübersichten zu Photovoltaik-Batteriespeichern	41
Tabelle 3-1:	Beispiele für Förderprogramme für PV-Anlagen	52
Tabelle 3-2:	Im Wirtschaftlichkeitsrechner hinterlegte Sätze für EEG-Eigenverbrauchsbonus	54
Tabelle 3-3:	Durchschnittliche Endkunden-Preise (netto ohne MwSt.) für einen schlüsselfertigen Lithium-Ionen Heimspeicher inkl. Installation, Batteriewechselrichter, Steuerungssoftware etc.	58
Tabelle 3-4:	Beispiele für Förderprogramme für PV-Batteriespeicher	59
Tabelle 3-5:	Stromeinsparungen und Mehrkosten bei Anschaffung von Bestgeräten im Vergleich zu Standardgeräten nach www.ecotopten.de	62
Tabelle 6-1:	Übersicht: Betriebsstrategien zur erhöhten Netz- und Systemdienlichkeit von PV-Speichersystemen	96
Tabelle 9-1:	EEG-Einspeisevergütungen in Abhängigkeit vom Inbetriebnahmezeitpunkt der PV-Anlage	130

Zusammenfassung

Nach den Zielen der Bundesregierung soll der Stromverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2050 um 25 Prozent gesenkt werden und gleichzeitig im Jahr 2050 der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien 80 Prozent des Bruttostromverbrauchs betragen. Während die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in den zurückliegenden Jahren stetig angestiegen ist, ist der Energieverbrauch dagegen nur leicht gesunken. Der bisherige Trend reicht nicht aus, um das Ziel der Bundesregierung zu erreichen – es bedarf daher neuer innovativer Ansätze, um in den kommenden Jahren höhere Einsparquoten zu erzielen.

Private Haushalte spielen bei der angestrebten Reduzierung des Stromverbrauchs eine wichtige Rolle. Während bislang jedoch als Zielgruppe für *Fördermaßnahmen zum Stromsparen* vor allem Haushalte mit niedrigem Einkommen adressiert wurden, liegen weitere Potenziale zum Stromsparen gerade in Haushalten mit mittlerem bis höherem Einkommen bei vergleichsweise hohen Stromverbräuchen. Da bei diesen in der Regel kein finanzieller Druck zum Einsparen von Stromkosten besteht, ist jedoch anzunehmen, dass sie von sich aus eher keine Stromsparberatung in Anspruch nehmen. Gleichzeitig wurden und werden diese Haushalte adressiert durch *Fördermaßnahmen zur Markt- und Technologieentwicklung erneuerbarer Energien*, in den zurückliegenden Jahren zum Beispiel zur Installation von Photovoltaik-Anlagen, aktuell zur Nutzung von stationären Batteriespeichersystemen in Verbindung mit Photovoltaik-Anlagen.

Im Jahr 2016 wurde fast jede zweite kleine PV-Anlage bereits zusammen mit einem Batteriespeicher installiert und auch in den kommenden Jahren sind, begünstigt durch Förderprogramme, das Auslaufen der ersten auf 20 Jahre befristeten vergleichsweise hohen EEG-Förderungen für Photovoltaik-Anlagen, aber auch durch die weitere Kostendegression vor allem bei Lithium-Ionen-Batteriespeichern, noch erhebliche Wachstumssteigerungen bei stationären Batteriespeichern in Privathaushalten zu erwarten. Gemäß Speichermonitoring 2017 zeigt sich dabei, dass die Betreiber von Solarstromspeichern im Mittel einen signifikant überdurchschnittlich hohen Stromverbrauch haben. Bei den Gründen für die Investition in ein Speichersystem wird neben einem proaktiven Partizipieren an der deutschen Energiewende vor allem die Absicherung gegen steigende Strompreise als Hauptmotiv aufgeführt. Der größte Anteil der Käufer von PV-Speichern kann zudem tendenziell der Gruppe der „Innovators“ bzw. „Early Adopters“ zugerechnet werden, die als überdurchschnittlich gebildet, wohlhabend und technologieinteressiert gelten.

Das vorliegende Forschungsvorhaben adressiert gezielt diejenigen Haushalte, die aktuell in eine Photovoltaikanlage zur Eigenerzeugung von Solarstrom und/oder in einen Photovoltaik-Batteriespeicher zur Erhöhung ihres Eigenverbrauchs bzw. Autarkiegrads investieren wollen. Damit wird eine Zielgruppe erreicht, die grundsätzlich Interesse daran hat, einen eigenen Beitrag zur Energiewende zu leisten, gleichzeitig jedoch im Mittel einen signifikant überdurchschnittlich hohen Stromverbrauch hat.

Zielsetzung ist es, diesen Haushalten zum Zeitpunkt ihrer Investitionsentscheidung in erneuerbare Energien bzw. Speicher anschaulich zu vermitteln, dass gleichzeitige Investitionen in Stromsparmaßnahmen, z.B. durch Austausch alter ineffizienter Geräte, nicht nur einen weiteren Beitrag zur Energiewende liefern, sondern zugleich den Autarkiegrad damit die Absicherung gegen steigende Strompreise erhöhen können, und schließlich auch noch wirtschaftlich von Vorteil sind.

Als Entscheidungsgrundlage zum Einbau einer PV-Anlage und/oder eines Batteriespeichers werden von Anbietern häufig Investitions- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen über 20 Jahre vorgelegt. Die Wirtschaftlichkeit von vorgezogenen Stromeinsparungen wird dabei in der Regel nicht einbezogen und von den Haushalten vermutlich auch nicht eingefordert oder adäquat beachtet.

Dies wird durch eine Analyse der im Internet zur Verfügung stehenden Speicherrechner bestätigt: keines der vom Öko-Institut analysierten Tools bezieht in seine Berechnungen die Möglichkeit des Stromsparens und dessen Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaftlichkeit ein.

Dabei zeigen Berechnungen ein sehr großes finanzielles Einsparpotenzial durch Stromsparmaßnahmen, wobei dieses zum Teil erst durch die Investitionsrechnung über 20 Jahre deutlich wird. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens hat das Öko-Institut daher zusammen mit dem Büro Ö-quadrat erstmalig ein Beratungstool für private Haushalte entwickelt, mit dem sich die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in PV-Anlagen und/oder PV-Batteriespeicher in Kombination mit den finanziellen Potenzialen von Investitionen in Stromsparmaßnahmen ermitteln lässt: den „Stromspar-Speicherrechner“.

Der Stromspar-Speicherrechner des Öko-Instituts liefert folgende Empfehlungen:

- Bei **Neuinstallation einer Photovoltaik-Anlage** über einen Zeitraum von 20 Jahren gesehen ist die Investition in eine möglichst große Anlage bis 10 kWp (für noch größere Anlagen gelten andere EEG-Förderbedingungen), kombiniert mit Investitionen in möglichst hohe Stromeinsparungen, am wirtschaftlichsten. Diese Kombination ist nicht nur finanziell für den Haushalt höchst attraktiv, sondern leistet auch im Sinne der Energiewende den größten Beitrag zu den Zielen der Bundesregierung (Ausbau der erneuerbaren Energien und Reduzierung des Stromverbrauchs). Haushalte sollten daher vorhandene Dachflächen bestmöglich ausnutzen, denn auch große PV-Anlagen, die bilanziell deutlich mehr Strom erzeugen als verbraucht werden kann, rechnen sich wirtschaftlich.

Haushalte, die parallel zur Neuinstallation der PV-Anlage die Anschaffung eines Batteriespeichers planen, um einen höheren Autarkiegrad zu erreichen, können auch durch Reduzierung des Stromverbrauchs den Autarkiegrad erhöhen, so dass die Kombination eines vergleichsweise kleineren Batteriespeichers zusammen mit Stromsparmaßnahmen eine sowohl aus Autarkie- als auch aus finanzieller Sicht optimale Lösung darstellen kann.

- Bei **PV-Bestandsanlagen**, deren hohe Einspeisevergütung durch die EEG-Förderung demnächst ausläuft, ist die alleinige Investition in einen (Lithium-Ionen)-Batteriespeicher nur dann wirtschaftlich, wenn von künftig steigenden Strompreisen bzw. noch stärker sinkenden Speicherpreisen ausgegangen wird. Unter der Annahme, dass die Strompreise aufgrund auslaufender hoher EEG-Einspeisevergütungen nach 2025 leicht sinken werden, lohnt sich finanziell gesehen die Investition in einen Speicher nicht. Ein größerer Speicher führt zwar zu einem höheren Eigenverbrauch und Autarkiegrad, je größer jedoch der Batteriespeicher ausgelegt wird, desto nachteiliger fällt das Ergebnis mit Bezug auf die Wirtschaftlichkeit aus.

Realisiert der Haushalt dagegen neben der Speicheranschaffung zusätzlich Investitionen in Stromsparmaßnahmen, so erhöht sich dadurch nicht nur der Autarkiegrad, sondern es ergibt sich über einen Zeitraum von 20 Jahren gesehen aufgrund der geringeren Strombezugskosten unabhängig von der Batteriegröße in jedem Fall ein wirtschaftlicher Vorteil, sogar bei künftig sinkenden Strompreisen. Empfehlenswert sind daher Investitionen in möglichst hohe Stromsparmaßnahmen in Kombination mit einem möglichst kleinen Speicher.

Der Stromspar-Speicherrechner wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens zunächst in fünf Haushalten in Kombination mit einer Stromsparberatung getestet. Es bestand in allen Haushalten Interesse daran, die während der Vor-Ort-Beratung vorgeschlagenen Stromsparmaßnahmen in Teilen umzusetzen. Als erste Priorität wurden vor allem geringinvestive Maßnahmen anvisiert, wie zum Beispiel die Umstellung der Beleuchtung auf LED oder der Einsatz von Master-Slave-Steckdosen zur Reduzierung des Standby-Verbrauchs. Aber auch für die Umsetzung investiver Maßnahmen wie dem Ersatz alter ineffizienter Geräte wurde Bereitschaft signalisiert.

Über den Stromspar-Speicherrechner wird das Reduzieren des Stromverbrauchs nicht über das Argument „Stromkosten sparen“, sondern über das Argument „Gesamtwirtschaftlichkeit von Investitionen“ vermittelt. Man erreicht die Haushalte zudem zu einem Zeitpunkt, an dem sie bereits gewillt sind, eine Investition in der Größenordnung von mehreren Tausend Euro (für eine PV-Anlage oder einen Batteriespeicher) zu tätigen. Anders als zum Beispiel bei einkommensschwachen Haushalten, in denen vor allem gering-investive Maßnahmen im Fokus stehen, ist bei den Haushalten mit mittlerem bis höherem Einkommen somit tendenziell auch die Realisierung höherer Einsparpotenziale durch investive Maßnahmen wie dem Austausch ineffizienter Altgeräte möglich.

Das Beratungstool „Stromspar-Speicherrechner“ eignet sich somit besonders für den Einsatz und die Erschließung neuer Zielgruppen durch Verbraucherberatungen, Energieberatungen oder Energieversorgungsunternehmen, indem in den Beratungen zu Photovoltaik und Batteriespeichern aufgezeigt wird, dass durch die Kombination mit Stromsparmaßnahmen nicht nur ein weiterer Beitrag zur Energiewende entsteht, sondern sich dadurch zugleich auch der Autarkiegrad und damit die Absicherung gegen steigende Strompreise erhöhen lassen, und die erforderlichen Investitionen schließlich auch noch wirtschaftlich von Vorteil sind.

Vor dem Hintergrund stark wachsender Installationszahlen von PV-Batteriespeichern in privaten Haushalten und einem zu vermutenden noch höherem Zuwachs nach Auslaufen der ersten EEG-Einspeisevergütungen ab 2021, ist jedoch zu beachten, dass eine Vielzahl individueller PV-Speicher bereits heute Auswirkungen auf das Stromnetz und den Markt haben, sofern diese ausschließlich auf den Eigenverbrauch des Haushalts optimiert und nicht netzdienlich gesteuert sind. Die für das Netz ungünstigen hohen Erzeugungsspitzen zur Mittagszeit bleiben unverändert bestehen und zugleich kommt es durch die Batteriespeicher zu viel höheren Einspeisegradierten. Zudem führt eine ausschließliche Optimierung des Eigenverbrauchs der einzelnen Haushalte zu Effizienzverlusten und erhöhten Systemkosten im Gesamtmarkt.

Neben diesen Kernherausforderungen für das Netz ergeben sich zusätzlich Auswirkungen auf das Energiesystem im Allgemeinen, wie eine Literaturrecherche im Rahmen dieses Forschungsvorhabens zeigt:

- Kein volkswirtschaftlich optimaler Einsatz der Speichertechnologien: Die Maximierung des Eigenverbrauchs in Haushalten führt zu einer Vielzahl individueller PV-Batteriespeicher, auch wenn systemweit effizientere und kostengünstigere Speicherlösungen (auch Lastmanagementpotenziale) zur Verfügung stehen. Das kann dazu führen, dass in der Gesamtbilanz die Stromerzeugung aus PV-Anlagen weniger effizient genutzt wird, da durch Umwandlungsverluste jedes einzelnen Speichers höhere Verluste bei der Stromerzeugung aus PV-Anlagen entstehen und diese ggf. durch konventionelle Erzeugungseinheiten gedeckt werden müssen.
- Kein volkswirtschaftlich optimaler Einsatz der Erzeugungstechnologien: Die Einspeicherung von PV-Strom in Batterien kann möglicherweise zu ungünstigen Zeitpunkten stattfinden, beispielsweise, wenn an anderer Stelle im Netz ein Defizit an Strom herrscht und dieser Bedarf dann durch konventionelle Kraftwerke gedeckt werden muss. Umgekehrt kann auch der Fall eintreten, dass nachts in einem Netzgebiet mit vielen Windkraftanlagen diese bei Starkwind abgeregelt werden müssen, weil zu wenig Stromverbraucher und Transportkapazitäten vorhanden sind und der Strombedarf durch Entladung der dezentralen Batteriespeicher abgedeckt wird.
- Verminderter Anreiz zum Ausnutzen der PV-Potenzialfläche: Es besteht die Gefahr, dass der Zubau von PV-Anlagen bei Haushalten mit dem Ziel der Eigenverbrauchsmaximierung systematisch zu einer verminderten Ausnutzung der vorhandenen Dachflächenpotenziale führt. Insbesondere dürfte dies für Einfamilienhäuser zutreffen, bei denen im Verhältnis zum Stromverbrauch der Bewohner eine vergleichsweise große Dachfläche zur Verfügung steht.

- Verminderte Anreize für Effizienz: Durch Fokussierung auf die Eigenverbrauchsquote kann es passieren, dass in den Haushalten Effizienzgesichtspunkte im Sinne der absoluten Verringerung des Stromverbrauchs weniger im Fokus stehen.
- Netzentgelte – Verteilungswirkungen: Der durch den Eigenverbrauch reduzierte Bezug von Strom aus dem Netz kann zu einer Gefährdung der Finanzierung des Netzes führen. Dies ist in der derzeitigen Struktur der Netzentgelte begründet, die mit dem Verbrauch von Strom, also pro verbrauchte kWh erhoben werden und sich in einen volumetrischen und einen fixen Bestandteil gliedern. Auf Haushaltsebene findet eine Refinanzierung des Netzbetriebs besonders durch den volumetrischen Anteil statt. Reduzieren einzelne Verbraucher aufgrund eines höheren Eigenverbrauchs eigener Erzeugungsanlagen ihren Netzbezug (das bedeutet nicht, dass auch der Gesamtverbrauch reduziert wird), so wird die Refinanzierung der Elektrizitätsnetze auf weniger Stromkunden verteilt, die dadurch höhere Belastungen zu erwarten haben.

Im Sinne der Energiewende im Gesamtsystem ist es daher wichtig, dass PV-Batteriespeicher künftig nicht nur zur Eigenverbrauchsoptimierung der einzelnen Haushalte eingesetzt werden. Mögliche Einsatzfelder der Batteriespeicher mit direktem Nutzen für die Energiewende sind:

- Einsatzoptimierung zur Entlastung des lokalen Verteilnetzes bei Auslastungsspitzen.
- Einsatzoptimierung zum Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch von Strom im Gesamtsystem.

Damit stationäre PV-Batteriespeicher künftig adäquat in das bestehende Stromsystem und Netz integriert werden können, sollten Haushalte bereits bei der Anschaffung auf entsprechende technische Voraussetzungen achten. So sind z.B. für eine prognosebasierte Betriebsweise der Speicher, die durch vorausschauende Planung der Batterieladung im Tagesverlauf zur Reduzierung von Einspeisespitzen und somit zur Entlastung des Elektrizitätsnetzes beiträgt, standardisierte IKT-Schnittstellen und entsprechende Betriebsführungsmöglichkeiten notwendig.

Aus energiepolitischer Sicht ergibt sich entsprechend weiterer Handlungs- und Forschungsbedarf der relevanten Akteure um einen möglichst netz- und systemdienlichen Einsatz von PV-Speichern zu fördern: Je früher entsprechende Vorgaben formuliert und Anpassungen des rechtlichen Rahmens vorgenommen werden, desto größer wird der volkswirtschaftliche Nutzen der eingesetzten Batteriespeicher.

Summary

In accordance with the objectives of the German Federal Government, electricity consumption in Germany is to be reduced by 25 percent by 2050, while at the same time the share of electricity generation from renewable energies should reach the level of 80 percent of gross electricity consumption in 2050. While electricity generation from renewable energies has steadily increased over the past few years, energy consumption has only slightly decreased. The current trend is not sufficient to reach the objective of the German Federal Government – new innovative approaches are therefore needed to achieve higher savings rates in the coming years.

Private households play an important role in meeting the objective of reducing electricity consumption. While *promotional measures encouraging power saving* have so far been primarily targeted at low-income households, there is further potential for electricity saving in households with medium to higher incomes and with comparatively high electricity consumption. However, since there will usually be no financial pressure to save electricity costs in such households, it can be assumed that they will not make use of energy-saving counseling on their own initiative. At the same time, these households have been and are being addressed by *promotional measures for the market and technological development of renewable energies*, in recent years for example in terms of installations of photovoltaic systems, and currently by means of the stationary use of battery storage systems in connection with photovoltaic systems.

In 2016, almost one in every two small PV systems was already installed together with a battery storage unit, and in the coming years, due to funding programs, the phasing out of the first comparatively high EEG subsidies for photovoltaic systems, which had been limited to 20 years, and also as a result of the further reduction in costs, especially for lithium-ion battery storage systems, a significant growth in stationary battery storage can be expected for private households. The storage monitoring report of 2017 revealed that the average electricity consumption of operators of solar power storage systems lies significantly above average. The reasons for investing in a storage system were not only the proactive participation in the German energy transition, but also protection against rising electricity prices was cited as a key motivation for the investment. Moreover, the majority of the buyers of PV battery storage systems can be attributed to the group of “innovators” or “early adopters”, who are regarded as highly educated, affluent and having a strong bias towards technology.

This research project specifically addresses those households that are currently planning to invest in a photovoltaic system for the generation of their own solar power and/or in a photovoltaic battery storage system to increase their captive use or their rate of self-sufficiency, thereby reaching a target group that is fundamentally interested in making their own contribution to energy transition, but whose average electricity consumption at the same time is far above average.

The aim is to communicate to these households, at the time of their investment decision in renewable energies or storage facilities, that simultaneous investments in energy-saving measures, e. g. by replacing old inefficient appliances, not only provide a further contribution to the energy transition process, but at the same time increase the degree of self-sufficiency and thereby protection against rising electricity prices, and ultimately are also economically advantageous.

As a decision basis for the installation of a PV system and/or a battery storage unit, suppliers often submit investment and economic efficiency calculations over a period of 20 years. As a rule, the economic efficiency of advanced electricity savings is not taken into account and is probably not reclaimed or adequately considered by households. This is confirmed by an analysis of the storage calculators available on the Internet: none of the tools analyzed by Oeko-Institut allows in its calcu-

lations for the possibility of saving electricity and covers these impacts on the overall cost effectiveness.

Calculations show, however, a very large potential for financial savings as a result of energy saving measures, although this is partly only supported by the investment calculation over 20 years. Within the scope of this research project, Oeko-Institut and Büro Oe-quadrat therefore for the first time developed a consulting tool for private households, which can be used to determine the economic viability of investments in PV systems and/or PV battery storage systems in combination with the financial potential of investments in energy-saving measures: the “energy-saving storage calculator”.

On the basis of Oeko-Institut's energy-saving storage calculator, the following recommendations have been developed:

- When **installing a new photovoltaic system**, seen over a period of 20 years, the investment in the largest possible system of up to 10 kWp (for even larger systems, other EEG¹ funding conditions apply), combined with investments in the highest possible electricity savings, is the most economical option. This combination is not only financially highly attractive for private households, but also provides a major contribution to the goals of the German government in terms of energy transition (increasing the share of renewable energies and reducing electricity consumption). Households should therefore make the best possible use of existing roof surfaces, because even large PV systems which generate significantly more electricity than can be consumed pay off economically.

Private households planning – in parallel to the new installation of the PV system – to purchase a battery storage system in order to achieve a higher degree of self-sufficiency can also increase the degree of self-sufficiency by reducing power consumption, so that the combination of a comparatively smaller battery storage unit together with energy-saving measures can provide an optimal solution from both an autonomous and a financial point of view.

- In the case of **existing PV systems**, whose high level of feed-in remuneration will soon come to an end as a result of EEG subsidies, the sole investment in a (lithium-ion) battery storage system will only be profitable on the supposition that electricity prices will rise and/or storage prices will fall even more sharply in the future. Assuming that electricity prices will fall slightly after 2025 due to the expiry of high EEG feed-in remunerations, however, the investment in a storage facility is not financially worthwhile. Although a larger storage unit leads to a higher internal consumption and a higher degree of self-sufficiency, the larger the battery storage system has been designed, the more disadvantageous will the result be in terms of economic efficiency.

If, on the other hand, the household does not only invest in the procurement of storage facilities but additionally in energy-saving measures, this not only increases the degree of self-sufficiency, but – due to the lower power purchase costs – also provides an economic advantage over a period of 20 years regardless of the size of the battery, even if electricity prices were to fall in the future. It is therefore advisable to invest in the highest possible energy-saving measures in combination with the smallest possible storage capacity.

As part of the research project, the energy-saving storage calculator – in combination with an energy-saving consultation service – was initially tested in five private households. All households were interested in implementing some of the energy-saving measures proposed during the on-site consultation. First priority was given to low-investment measures, such as switching the lighting to LEDs or the use of master-slave sockets to reduce stand-by consumption. Furthermore, the

¹ EEG is the abbreviation of “Erneuerbare Energien Gesetz” and means Renewable Energy Law

households signaled their readiness for the implementation of investment measures such as the replacement of old inefficient appliances.

The energy-saving storage calculator does not use the “saving electricity costs” argument to reduce power consumption, but rather the “overall efficiency of investments” argument. Private households will also be reached at a time when they are already willing to make an investment in the order of several thousand euros (for a PV system or a battery storage unit). In contrast to, for example, low-income households, in which the focus is primarily on low-investment measures, households with a medium to higher income tend to be able to realize higher savings potentials through investment measures such as the replacement of inefficient old appliances.

The “energy-saving storage calculator” consulting tool is thus particularly suitable for the use and development of new target groups through consumer consultations, energy consulting or energy supply companies, in that consultations on photovoltaics and battery accumulators attest that the combination with energy-saving measures not only makes a further contribution to the energy transition process, but at the same time increases the degree of self-sufficiency so that the protection against rising electricity prices can also be achieved. Moreover, the consultations demonstrate that necessary investments are ultimately also economically advantageous.

However, against the backdrop of rapidly growing installation figures for PV battery storage systems in private households and an expected even higher growth rate after the expiry of the first feed-in remunerations for self-produced photovoltaic electricity from 2021 onwards, it should be noted that a large number of individual PV storage systems are already having an impact on the electricity grid and the market, provided that they are optimized exclusively for households' self-consumption and are not controlled from a grid point of view. The high generation peaks at noon, which are unfavorable for the grid, remain unchanged and at the same time, the battery storage units lead to much higher feed-in gradients. In addition, an exclusive optimization of the individual households' self-consumption leads to efficiency losses and increased system costs in the whole market.

In addition to these core challenges for the grid, there are additional effects on the energy system in general, as a literature search conducted within the scope of this research project shows:

- No optimal use of storage technologies in economic terms: Maximizing the self-consumption in private households leads to a large number of individual PV battery storage units, even if more efficient and cost-effective storage solutions (also load management potentials) are available throughout the system. This can lead to the fact that in the overall assessment, electricity generation from PV systems is used less efficiently, since conversion losses of each individual storage unit entail higher losses in the electricity generation from PV systems, and such losses may have to be covered by conventional generation units.
- No optimal use of generation technologies in economic terms: The storage of PV electricity in batteries can possibly take place at unfavorable times, for example, if there is a lack of electricity elsewhere in the grid and this demand must then be covered by conventional power plants. Conversely, it is also possible that at night, in a grid area with many wind turbines, these have to be shut down at high wind levels because there are too few electricity consumers and transport capacities, and the power requirement is covered by discharging the decentralized battery storage units.
- Reduced incentive to exploit the potential PV surface area: There is a risk that the installation of new PV systems in private households with the aim of maximizing their internal consumption will systematically lead to a reduced utilization of the existing roof area potential. In particular, this is

likely to be the case for single-family houses where a comparatively large roof area is available in relation to the electricity consumption of the residents.

- Reduced incentives for efficiency: By focusing on the share of the own domestic consumption it can happen that in private households less emphasis is put on efficiency aspects in terms of the absolute reduction of electricity consumption.
- Network charges - Distribution effects: The reduction in the purchase of electricity from the grid due to internal consumption can jeopardize the financing of the grid. This is due to the current structure of network charges which are based on the consumption of electricity, i.e. per kWh consumed, and are divided into a volumetric and a fixed component. At household level, network operation is refinanced in particular by the volumetric share. If individual consumers reduce their grid purchases due to a higher personal consumption sourced from their own generation facilities (this does not necessarily mean that total consumption is reduced), the refinancing of the electricity networks is distributed among fewer electricity customers who will presumably be exposed to higher burdens as a result.

With a view to energy transition in the overall system, it is thus important that PV battery storage systems will in future not only be used for optimizing individual households' personal consumption. Possible fields of application for battery storage systems with direct benefit for the energy transition process are:

- Optimization of use to relieve the local distribution network during peak load periods.
- Optimization of use to balance the generation and consumption of electricity in the overall system.

In order to ensure that stationary PV battery storage systems can be adequately integrated into the existing electricity system and grid in the future, private households should already pay attention to appropriate technical requirements at the time of purchase. Standardized ICT interfaces and corresponding operational management options are necessary for forecast-based operation of the storage facilities, for example, which means that the battery charge during the course of the day needs to be planned in advance in order to contribute to the reduction of feed-in peaks and to ultimately relieve pressure on the electricity grid.

From the point of view of energy policy, the relevant actors will have to take further action and undertake further research in order to promote a use of PV storage systems that is conducive to the optimum utilization of network and system: The earlier the relevant specifications are formulated and the legal framework is adapted, the greater the economic benefit of the battery storage systems used.

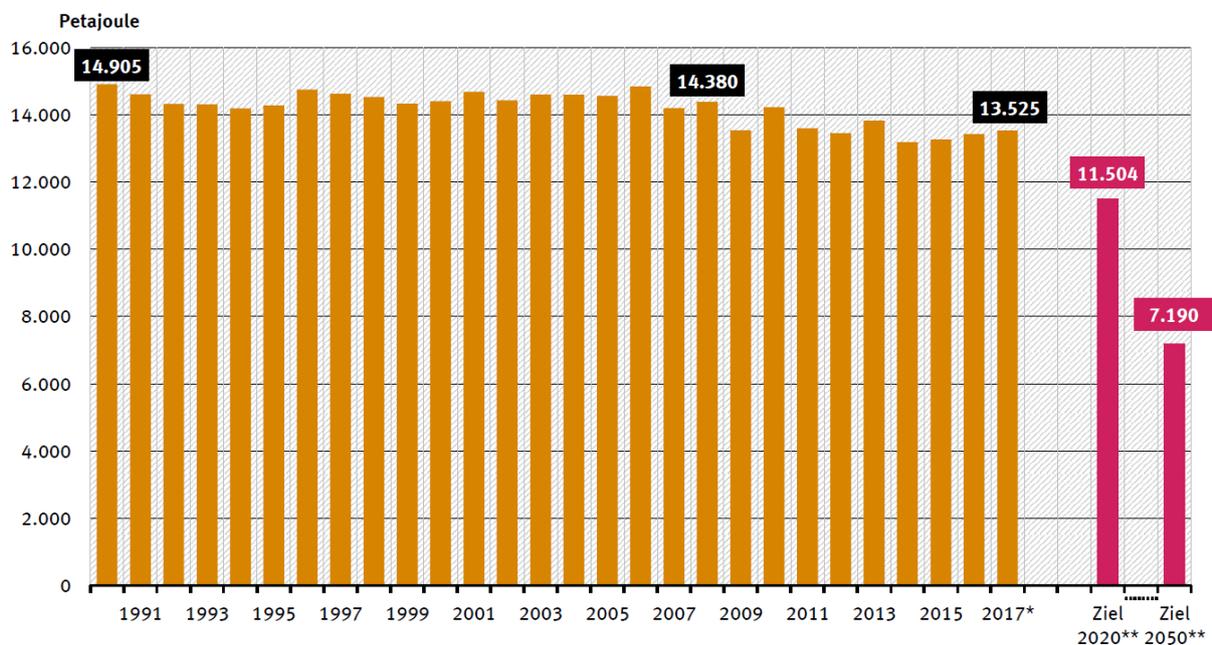
1. Hintergrund und Zielsetzungen dieses Vorhabens

Regierungsziel 2050: Senkung des Stromverbrauchs

Nach den Zielen der Bundesregierung soll der Stromverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2050 um 25 Prozent gegenüber dem Jahr 2008 gesenkt werden (BMW i 2010). Gemäß Umweltbundesamt (2017) ist der Energieverbrauch seit 2008 um durchschnittlich 0,9 Prozent pro Jahr gesunken, siehe Abbildung 1-1. Der bisherige Trend reicht jedoch nicht aus, um die Ziele der Bundesregierung zu erreichen. Hierfür müsste der Primärenergieverbrauch ab 2016 um durchschnittlich 3,7 Prozent pro Jahr zurückgehen, wofür in den kommenden Jahren verstärkte Anstrengungen unternommen werden müssen.

Abbildung 1-1: Umweltindikator Energieverbrauch

Primärenergieverbrauch



* vorläufige Angaben

** Ziele des Energiekonzeptes und der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung: Senkung des Primärenergieverbrauchs bis 2020 um 20 % und bis 2050 um 50 % (Basisjahr 2008)

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2016, Stand 09/2017; für 2016/2017 - AGEB, Primärenergieverbrauch, Stand 12/2017

Quelle: Umweltbundesamt (2017)

Einsparpotenziale in privaten Haushalten spielen dabei eine wichtige Rolle, insbesondere Maßnahmen zur Reduktion des gerätebedingten Stromverbrauchs, zum Beispiel durch geringinvestive Maßnahmen (u.a. Vermeidung von Standby-Verlusten, Einsatz von LED-Lampen), Reduktion von Mehrfachausstattungen von Geräten sowie sukzessiver Austausch von ineffizienten Haushaltsgeräten im Bestand durch hocheffiziente Geräte (Fischer et al. 2016). In den vergangenen Jahren standen als Zielgruppe für Fördermaßnahmen zum Stromsparen vor allem einkommensschwache Haushalte im Fokus, um deren Kostenbelastung zu reduzieren (z.B. Aktion Stromspar-Check des deutschen Caritasverbandes und des Bundesverbands der Energie- und Klimaschutzagenturen, gefördert durch die Nationale Klimaschutzinitiative des Bundesumweltministeriums).

Besonders hohe Stromsparpotenziale bestehen jedoch vor allem in Haushalten mit mittlerem bis höherem Einkommen und bislang hohem Stromverbrauch. Gemäß einer Erhebung von Fischer et al. (2016) besitzen Haushalte mit selbständigem bzw. verbeamteten Haushaltsvorstand besonders hohe Verbräuche, während dagegen zum Beispiel studentische Haushalte sowie Arbeitslose und Nichterwerbstätige im Vergleich besonders wenig Energie verbrauchen. So kommen nach Fischer et al. (2016) zum Beispiel Mehrfachausstattungen von Geräten eher in Haushalten mit höherem Einkommen vor. Da jedoch kein finanzieller Druck zum Einsparen von Stromkosten besteht, ist anzunehmen, dass Haushalte mit mittlerem bis höherem Einkommen von sich aus Stromsparbemühungen eher reserviert gegenüber stehen. Gleichzeitig werden sie kaum als spezifische Zielgruppe von Politikmaßnahmen zum Stromsparen (z.B. Stromsparberatungen, Informationskampagnen) adressiert.

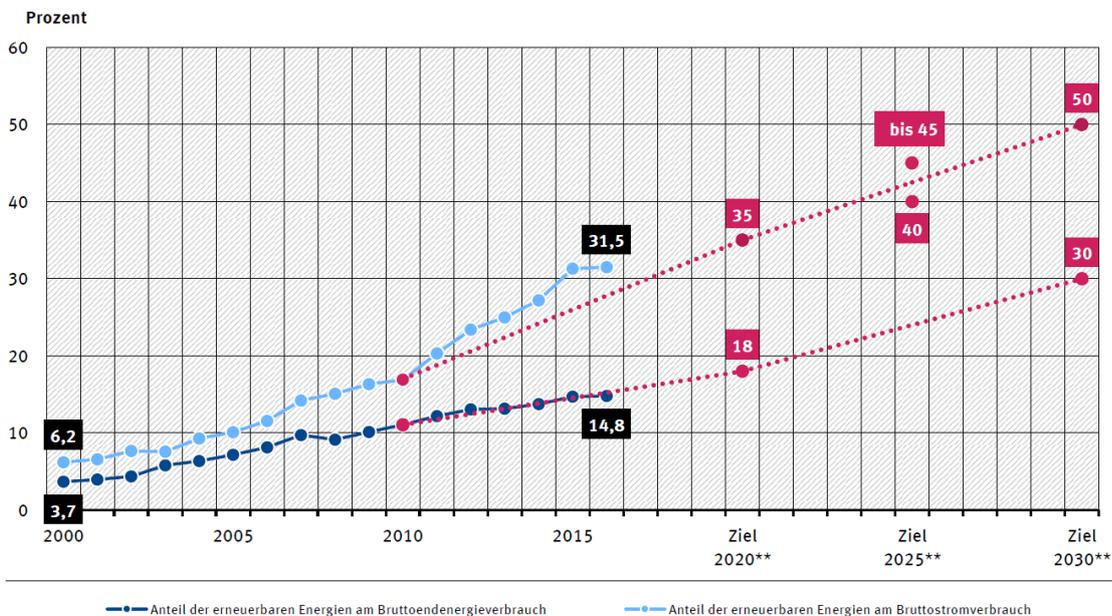
Auf der anderen Seite sind unter den Haushalten mit mittlerem bis höherem Einkommen auch diejenigen zu finden, die gegenüber dem Einsatz Erneuerbarer Energien, insbesondere der Installation von Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen), aufgeschlossen sind.

Regierungsziel 2050: Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien

Nach den Zielen der Bundesregierung soll der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch in Deutschland 80 Prozent bis 2050 betragen (BMWi 2010). Gemäß Wirth (2018) lag Ende 2017 der Anteil für alle Erneuerbaren Energien bei 36 Prozent bezogen auf den Brutto-Stromverbrauch Deutschlands, für die Stromerzeugung aus den 1,6 Millionen installierten PV-Anlagen lag der Anteil bei ca. 6,7 Prozent. Der Anteil der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien allgemein, wie auch aus Photovoltaik, stieg durch den fortschreitenden Ausbau von PV-Anlagen in der Vergangenheit stark an (siehe Abbildung 1-2 und Abbildung 1-3).

Abbildung 1-2: Umweltindikator Erneuerbare Energien

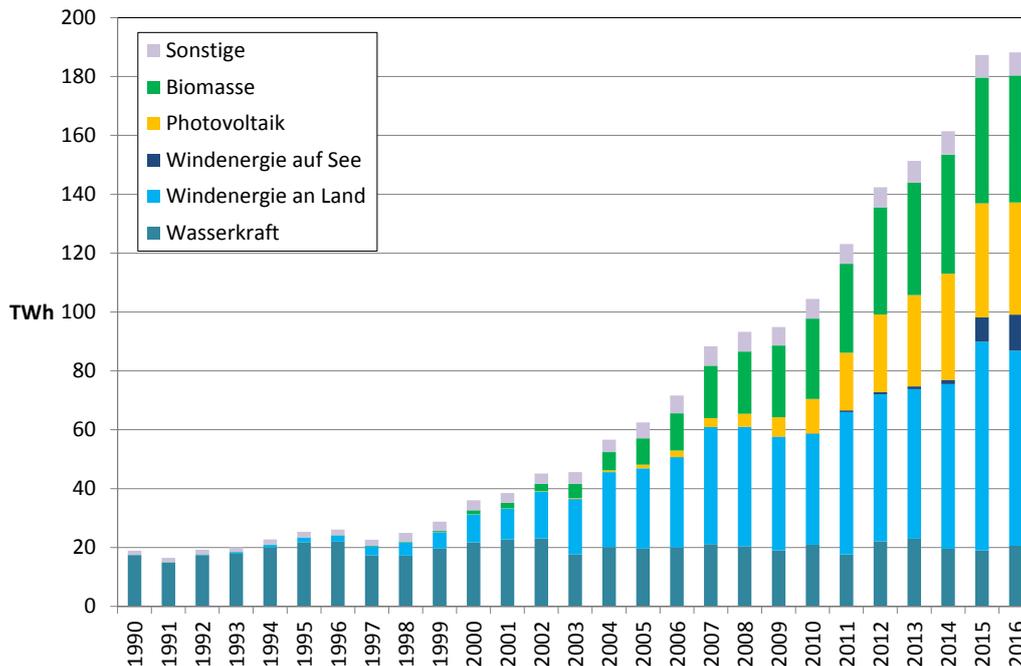
Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch und Bruttoendenergieverbrauch*



* Bruttoendenergieverbrauch berechnet nach Energiekonzept
 ** Quelle Zielwerte: Energiekonzept 2010 und EEG 2014; weitere Ziele: Anteil am Bruttostromverbrauch 2035: 55-60 %, 2040: 65 %, 2050: 80 %; Anteil am Bruttoendenergieverbrauch 2040: 45 %, 2050: 60 %

Quelle: Umweltbundesamt auf Basis Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien - Statistik (AGEE-Stat), Stand 12/2017

Quelle: (Umweltbundesamt 2017)

Abbildung 1-3: Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien seit 1990

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf (Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik 2017)

Es ist davon auszugehen, dass die Zahl der privaten PV-Anlagen weiter wachsen wird. Nach einer aktuellen Regierungsstudie des Bundeswirtschaftsministeriums zu Mieterstrommodellen (Koepp et al. 2017) könnten bis zu 3,8 Millionen weitere Wohnungen mit Solarstrom versorgt werden.

Trend: Batteriespeicher zur Erhöhung des Eigenstromverbrauchs bei PV-Anlagen

Parallel gibt es aktuell einen steigenden Trend zur Nutzung von Batteriespeichern zur Erhöhung des Eigenstromverbrauchs von PV-Anlagen, finanziell begünstigt unter anderem durch ein bundesweites Förderprogramm der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW).

Hintergrund ist, dass sich die Produktion von Photovoltaik-Strom und die Stromnachfrage der Haushalte nur bedingt überschneiden, sowohl jahreszeitlich (niedrige Erträge der PV-Anlage in den Wintermonaten, hoher Stromverbrauch gerade in den Wintermonaten, vor allem für Heizungs-pumpe und Licht), wie auch im Tagesablauf (hohe PV-Produktion mittags bzw. am Vor- und Nachmittag, Hauptstromverbrauch in den Haushalten tendenziell frühmorgens und abends). Dementsprechend kann bei Haushalten mit Photovoltaik-Anlage in der Regel kein hoher Anteil an Eigenstromverbrauch erreicht werden. Der Eigenverbrauch kann jedoch deutlich erhöht werden, wenn der von der PV-Anlage erzeugte Strom in einer Batterie zwischengespeichert und dann zum Zeitpunkt des Strombedarfs verbraucht wird.

Gemäß Figgner et al. (2017) wurde in Deutschland im Jahr 2016 fast jede zweite kleine PV-Anlage bereits zusammen mit einem Batteriespeicher installiert. Ende April 2017 waren etwa 61.000 dezentrale Solarstromspeicher mit einer kumulierten nutzbaren Speicherkapazität von etwa 400 MWh an die deutschen Niederspannungsnetze angeschlossen.

Erhebliche Wachstumssteigerungen bei Batteriespeichern sind in den kommenden Jahren aus mehreren Gründen zu erwarten, begünstigt durch Förderprogramme sowie zuletzt die schnelle Kostendegression vor allem bei Lithium-Ionen-Batteriespeichern:

- In naher Zukunft werden die ersten auf 20 Jahre befristeten EEG-Förderungen auslaufen. Aufgrund der um die Jahrtausendwende noch sehr hohen Kosten für PV-Anlagen lag die Förderung für ins Netz eingespeisten Strom bei 51 Cent/kWh. Nach Auslaufen der EEG-Förderung erhalten diese Haushalte für die Stromeinspeisung jedoch nur noch die Börsenstrompreise, also zwei bis drei Cent/kWh. Von daher besteht ein sehr hoher Anreiz zur eigenen Nutzung des selbst erzeugten Stroms mit Hilfe von Batteriespeichern.
- Auch bei der Installation neuer PV-Anlagen mit der aktuellen Förderung von 12,7 Cent/kWh besteht aufgrund der immer noch großen Differenz zum Durchschnittspreis für Haushaltsstrom mit derzeit rund 30 Cent/kWh ein hoher Anreiz zur Nutzung von Eigenstrom und zur Kombination der PV-Anlagen mit Batteriespeichern.

Zielsetzung: Optimale Netzeinbindung von Photovoltaik-Batteriespeichern

Der zu erwartende Boom bei Batteriespeichern ist aus Sicht der Netzbetreiber nicht unkritisch, vor allem, wenn diese ausschließlich auf die Eigenverbrauchsoptimierung einzelner Haushalte ausgelegt sind. Eine wachsende Zahl an singulären Batteriespeichern hat bereits heute Auswirkungen auf den Betrieb von Netz und Markt. Besonders der nicht-netzoptimierte Betrieb dieser Anlagen kann zu höheren Einspeisegradierten bei gleichbleibender Einspeisespitze führen und so die Funktionalität des Netzes beeinflussen. Auch führt eine ausschließliche Optimierung des Eigenverbrauchs durch viele einzelne Batteriespeicher zu Effizienzverlusten und erhöhten Systemkosten. Bei günstiger Steuerung, eventuell gar mit erlaubtem externen Zugriff, könnten die Batteriespeicher dagegen, zum Beispiel durch Verringerung von Einspeisespitzen, eine sinnvolle Funktion für das Gesamtnetz und -system wahrnehmen.

Vor diesem Hintergrund verfolgt die vorliegende Studie die folgenden Zielsetzungen: Zum einen soll geprüft werden, wie Photovoltaik-Batteriespeicher optimal ins Stromnetz integriert werden können, und welche energiepolitischen Empfehlungen diesbezüglich abgeleitet werden können. Eine frühe energiepolitische Analyse kann dazu beitragen, bei den engagierten Haushalten Enttäuschungen über „unerwartete“ nachträgliche Auflagen oder Einschränkungen zu vermeiden.

Zum anderen bietet der zunehmende Einsatz von PV-Batteriespeichern in Privathaushalten eine interessante Möglichkeit, über die Ansatzpunkte Autarkie und Wirtschaftlichkeit das Thema Stromsparen mit zu adressieren, und damit die beiden Regierungsziele Ausbau der Erneuerbaren Energien sowie Senkung des Stromverbrauchs miteinander zu kombinieren.

Kombination der Ziele Reduzierung des Stromverbrauchs und Ausbau von Photovoltaik

Als Entscheidungsgrundlage zum Einbau einer PV-Anlage und eines Batteriespeichers werden von den Anbietern häufig Investitionsrechnungen über 20 Jahre vorgelegt. Es ist anzunehmen, dass eine Beratung hinsichtlich möglicher Stromeinsparungen zur weiteren Erhöhung des Autarkiegrads oder zur Reduktion der Anlagengrößen von den Haushalten vermutlich nicht eingefordert und auch von Herstellern in der Regel nicht adressiert wird, da dies das eigene Geschäft schmälern würde. Überschlägige Rechnungen zeigen jedoch ein sehr großes finanzielles Einsparpotenzial durch Stromsparen, das erst durch die Investitionsrechnung über 20 Jahre deutlich wird.

Ziel dieses Vorhabens ist daher die Entwicklung eines Beratungstools für private Haushalte, mit dem die Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen und Batteriespeichern ermittelt wird, jedoch unter Berücksichtigung der finanziellen Potenziale von Stromsparmaßnahmen.

Gezielte Adressierung von Haushalten mit höherem Einkommen und höherem Stromverbrauch für das Thema Stromsparen (Nudging)

Gemäß Figgener et al. (2017) werden PV-Batteriespeicher tendenziell häufiger von Haushalten mit erhöhtem Stromverbrauch im Vergleich zum durchschnittlichen Stromverbrauch deutscher Privathaushalte gekauft und installiert. Die Auswertung der Betriebsdaten der Betreiber von Solarstromspeichern im Jahresbericht zum Speichermonitoring zeigt, dass diese im Mittel einen signifikant überdurchschnittlich hohen Stromverbrauch haben. Bei den Gründen für die Investition in ein Speichersystem wird neben dem Beitrag zur Energiewende vor allem die Absicherung gegen steigende Strompreise als Hauptmotiv aufgeführt. Diese Prioritäten zeigen laut Figgener et al. (2017), dass der größte Anteil der Käufer von PV-Speichern heutzutage zumindest tendenziell der Gruppe der „Innovators“ bzw. „Early Adopters“ zugerechnet werden kann, wobei diese Bevölkerungsgruppen als überdurchschnittlich gebildet, wohlhabend und technologieinteressiert gelten.

Gemäß Thorun et al. (2017) sind Menschen in bestimmten Zeitfenstern für Informationen und Aufforderungen bezüglich Lebensstiländerungen eher empfänglich als in anderen (Windows of Opportunity). Auch reagieren die meisten Menschen stärker auf aktuelle Kosten und Nutzen als auf (potentielle) zukünftige, die abstrakt und hypothetisch erscheinen.

Bei Haushalten mit mittlerem bis höherem Einkommen ist anzunehmen, dass sie von sich aus eher keine individuelle Stromsparberatung in Anspruch nehmen werden, da in der Regel kein finanzieller Druck zum Einsparen von Stromkosten besteht. Gleichzeitig nehmen diese Haushalte jedoch voraussichtlich eine Beratung in Anspruch, wenn sie planen in eine Photovoltaik-Anlage bzw. einen PV-Batteriespeicher zu investieren. Dabei spielt neben technischen Fragen oftmals die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der geplanten Investition eine Rolle.

Über das im Rahmen dieses Forschungsvorhabens zu entwickelnde Beratungstool werden neben der Wirtschaftlichkeit der PV-Anlage und des Batteriespeicher gezielt die Möglichkeiten von Stromsparmaßnahmen in die Berechnungen zur Gesamtwirtschaftlichkeit integriert. Das Reduzieren des Stromverbrauchs wird somit nicht über das Argument „Stromkosten sparen“, sondern über das Argument „Gesamtwirtschaftlichkeit von Investitionen“ vermittelt. Man erreicht die Haushalte zudem zu einem Zeitpunkt, an dem sie bereits gewillt sind, eine Investition in der Größenordnung von mehreren Tausend Euro (für eine PV-Anlage oder einen Batteriespeicher) zu tätigen. Anders als zum Beispiel bei einkommensschwachen Haushalten, in denen vor allem gering-investive Maßnahmen im Fokus stehen, bieten sich bei den Haushalten mit mittlerem bis höherem Einkommen somit höhere Einsparpotenziale durch investive Maßnahmen, zum Beispiel dem Austausch ineffizienter Altgeräte, indem aufgezeigt wird, dass diese gesamtwirtschaftlich sinnvoll sind.

Durch das im Rahmen dieses Forschungsvorhabens zu entwickelnde Beratungstool können daher gezielt Haushalte mit höherem Einkommen und höherem Verbrauch als Zielgruppe für die Potenziale des Stromsparens adressiert werden. Es entsteht somit ein bewusster Nudge-Ansatz zum „Anstoßen“ nachhaltiger Konsummuster, indem diesen Haushalten zum Zeitpunkt ihrer Investitionsentscheidung in erneuerbare Energien bzw. Speicher anschaulich vermittelt wird, dass gleichzeitige Investitionen in Stromsparmaßnahmen, z.B. durch Austausch alter ineffizienter Geräte, nicht nur einen weiteren Beitrag zur Energiewende liefern, sondern zugleich den Autarkiegrad damit die Absicherung gegen steigende Strompreise erhöhen können, und schließlich auch noch wirtschaftlich von Vorteil sind.

2. Erhebung von Marktdaten und Anbieterempfehlungen zu Photovoltaik-Anlagen und PV-Batteriespeichern (Marktanalyse)

In diesem Abschnitt wird zunächst ein allgemeiner Überblick über stationäre Photovoltaik-Batteriespeicher in Deutschland gegeben. Dazu zählen auf der einen Seite ihr generelles Funktionsprinzip sowie verschiedene Technologien von PV-Batteriespeichern, auf der anderen Seite die konkrete Anwendung am Markt. Diese Informationen dienen als Hintergrund für die Entwicklung eines digitalen Beratungstools zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von PV-Batteriespeichern (siehe Abschnitt 3).

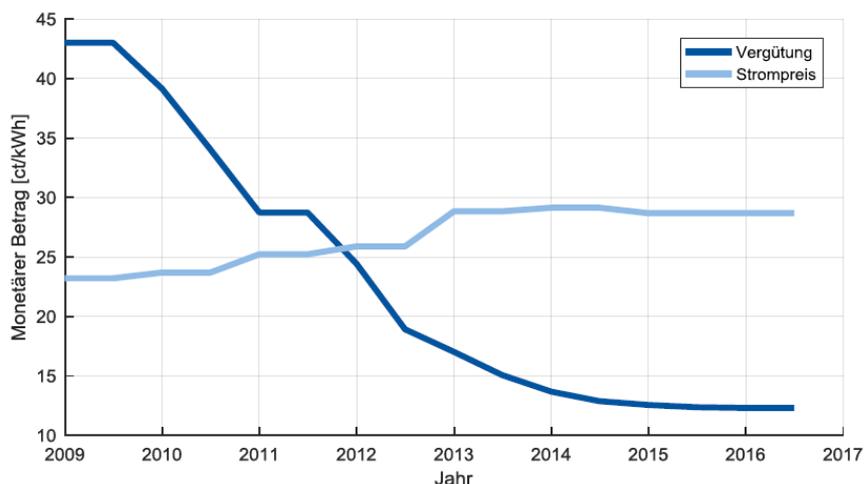
2.1. Nutzen eines Photovoltaik-Batteriespeichers

Der mit einer Photovoltaik-Anlage erzeugte Strom kann vom Haushalt anteilig direkt verbraucht oder ins öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Für die Einspeisung von Strom ins Netz erhält der Betreiber der Photovoltaik-Anlage durch das „Gesetz zur Förderung der erneuerbaren Energien (EEG)“ eine so genannte Einspeisevergütung (siehe Abschnitt 3.3.2).

Ist die Vergütung für die Einspeisung höher als die Kosten für den Bezug von Haushaltsstrom, so lohnt sich eher die Einspeisung des eigenproduzierten Stroms ins Netz; zur Deckung des Strombedarfs kann der Haushalt Strom von einem externen Stromversorger beziehen. Sind jedoch die Strompreise am Markt höher als die gesetzliche Einspeisevergütung, so kann es wirtschaftlicher sein, den produzierten Strom selbst zu verbrauchen anstatt einzuspeisen.

In den letzten Jahren ist der Eigenverbrauch von Strom zu einer attraktiven Option für Verbraucher geworden. Der Grund hierfür sind steigende Letztverbraucherstrompreise, die unter anderem durch den fortschreitenden Ausbau erneuerbarer Energien und den damit verbundenen Anstieg der EEG-Umlage verursacht worden sind. In Abbildung 2-1 ist die Entwicklung der Einspeisevergütung für PV-Anlagen mit einer Kapazität von weniger als 10 kWp sowie die Entwicklung des durchschnittlichen Strompreises aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass seit dem Jahr 2012 die Strompreise höher lagen als die PV-Vergütung. Ab diesem Zeitpunkt ist es für einen Anlagenbetreiber auf den ersten Blick wirtschaftlicher, seinen eigenerzeugten Strom selbst zu verbrauchen und so die Kosten für einen Strombezug aus dem Netz zu vermeiden.

Abbildung 2-1: Entwicklung der Einspeisevergütung (PV-Anlagen < 10 kWp) und des durchschnittlichen Strompreises



Quelle: Entnommen aus ISEA RWTH Aachen (2017)

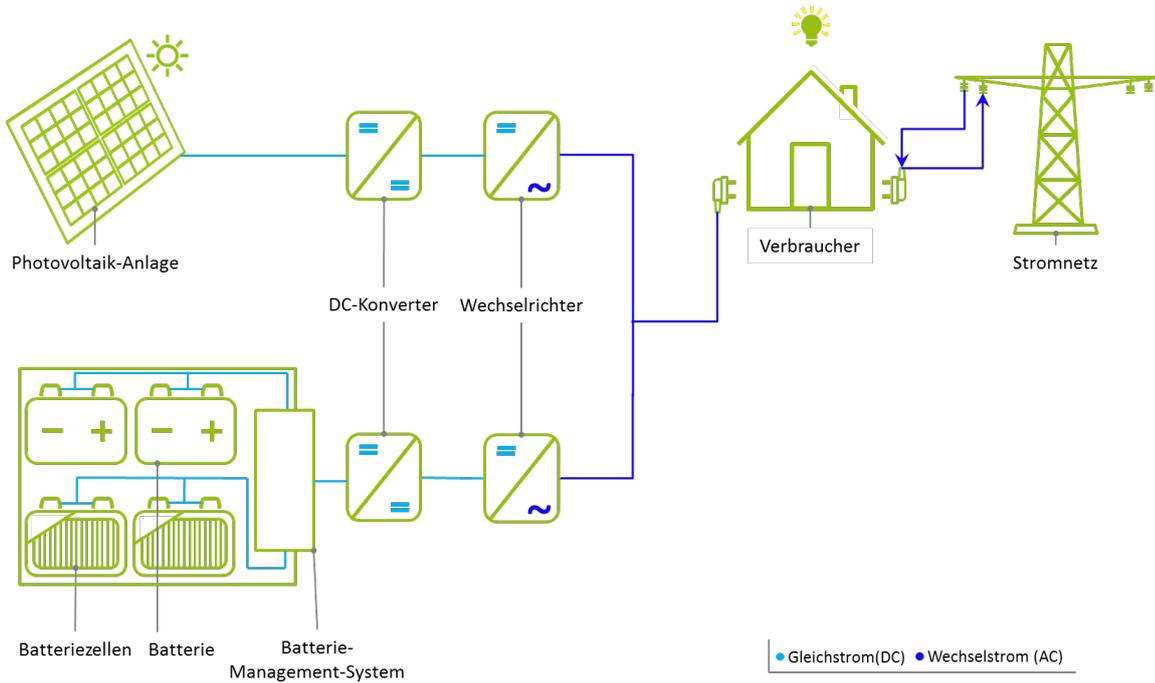
In vielen Fällen fallen jedoch der Zeitpunkt der Stromerzeugung der Photovoltaik-Anlage (tagsüber, höhere Stromerzeugung in den Sommermonaten) und des benötigten Stroms (morgens und abends, höherer Strombedarf in den Wintermonaten) auseinander. Ein Photovoltaik-Batteriespeicher dient in diesen Fällen dazu, den von der Photovoltaikanlage erzeugten Strom zu speichern und zeitversetzt dann wieder zur Verfügung zu stellen, wenn der Strom im Haushalt benötigt wird. Die Haushalte können mit einem Batteriespeicher somit einen höheren Anteil ihres erzeugten Stroms selbst nutzen.

2.2. Aufbau eines PV-Batteriespeichersystems

Für die Installation eines Batteriespeichersystems sind neben den eigentlichen Batterien, die sich wiederum aus mehreren Batteriezellen zusammensetzen, weitere Komponenten notwendig (Batterie-Management-System BMS sowie Wechselrichter). Bei einem BMS handelt es sich nach Baars (2017) um ein zur Batterie gehörendes elektrisches System zur Überwachung und/oder Lenkung ihres Zustands, zur Berechnung sekundärer Daten, Aufzeichnung dieser Daten und/oder Regelung ihrer Umgebung, um damit das Leistungsverhalten und/oder die Lebensdauer der Batterie zu beeinflussen. Das Batterie-Management-System steuert somit die Be- und Entladung der Batterie und je nach Ausgestaltung (einfacher Laderegler versus Energiemanagementsystem) die optimale Nutzung des Batteriespeichers. Zusätzlich sind mehrere Umrichter notwendig, welche für die optimale Spannung zur Ladung des Batteriespeichers sorgen (DC-Konverter) oder den in der Batterie gespeicherten Gleichstrom für den Einsatz im Haushalt zu Wechselstrom umwandeln (Wechselrichter).

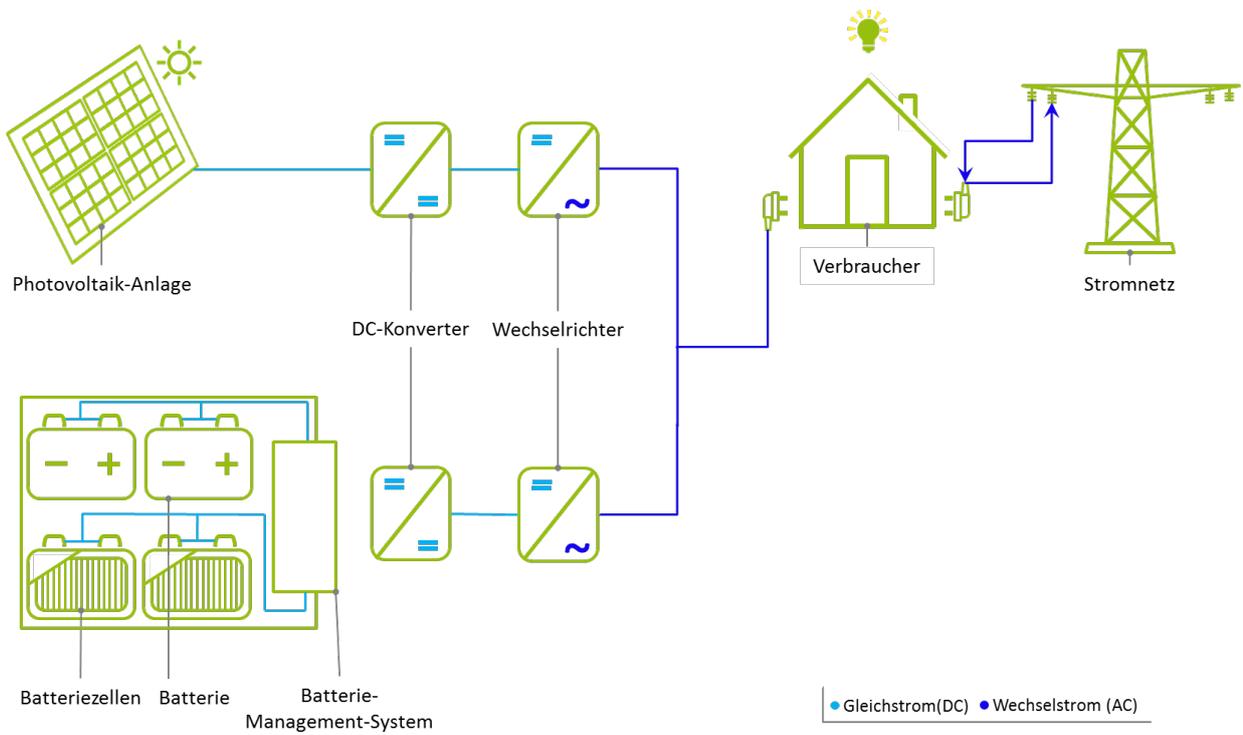
Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, den Batteriespeicher in das Gesamtsystem zu integrieren. Da Solarstromspeicher mit Gleichstrom be- und entladen werden, kann die Batterie zusammen mit der PV Anlage, die ebenfalls Gleichstrom produziert, als sogenannte DC-Kopplung vor dem Wechselrichter installiert werden (siehe Abbildung 2-2). Alternativ können Solarstromspeicher als AC-Kopplung mit einem eigenen Wechselrichter in den Wechselstromkreis eingebaut werden (siehe Abbildung 2-3).

Abbildung 2-2: Schematische Darstellung eines DC-gekoppelten Batteriespeichersystems



Quelle: Öko-Institut 2017

Abbildung 2-3: Schematische Darstellung eines AC-gekoppelten Batteriespeichersystems



Quelle: Öko-Institut 2017

Beide Bauarten bieten jeweils Vor- und Nachteile. Wie Tabelle 2-1 zu entnehmen ist, bieten sich AC-Kopplungen vor allem beim Nachrüsten bestehender PV-Anlagen mit Batteriespeichern, DC-Kopplungen hingegen bei komplett neu installierten Systemen an.

Tabelle 2-1: Vor- und Nachteile einer DC / AC Batteriekopplung

	DC-Systeme	AC-Systeme
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Tendenziell geringere Umwandlungsverluste • Geringer Platzbedarf des integrierten Systems 	<ul style="list-style-type: none"> • Höhere Flexibilität • Einfachere Nachrüstung bestehender Systeme • Freie Skalierung des Batteriesystems
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Flexibilität • Aufwändiges Nachrüsten bestehender Systeme 	<ul style="list-style-type: none"> • Höhere Kosten durch zusätzlichen Wechselrichter • Höherer Platzbedarf durch 2 separate Systeme • Tendenziell höhere Umwandlungsverluste

Quelle: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Ba-Wü (2017), nach RWTH Aachen / www.speichermonitoring.de

2.3. Verschiedene Technologien bei stationären PV-Batteriespeichern

Im Folgenden werden Batterietechnologien vorgestellt, die sich grundsätzlich als stationäre dezentrale Energiespeicher für Solarstrom eignen. Diese weisen durch ihre unterschiedlichen Funktionsweisen und Materialzusammensetzungen verschiedene Eigenschaften auf. Bei den angegebenen technischen Parametern handelt es sich um repräsentative Werte, die den Durchschnitt der Produkte abbilden.

2.3.1. Blei-Säure-Batterien

Blei-Säure-Batterien kommen seit vielen Jahren in unterschiedlichen Anwendungen zum Einsatz (z.B. als mobile Starterbatterie in Verbrennungsmotoren) und zählen zu den ältesten und am weitesten verbreiteten elektrochemischen Energiespeichern (Ausfelder et al. 2015). Blei-Säure-Batterien sind elektrochemische Energiespeicher, in denen Blei als Elektrodenmaterial und Schwefelsäure als Elektrolyt zum Einsatz kommen. Es existieren Batterien, in denen das Elektrolyt in flüssiger Form (geschlossene Batterie) oder als Gel bzw. Vlies (verschlossene Batterie²) vorliegt. Vorteil der geschlossenen Batterien ist eine vergleichsweise längere Lebensdauer, während verschlossene Batterien durch interne Gasrekombination³ eine geringere Ausgasung aufweisen und dadurch verhältnismäßig wartungsärmer sind bzw. verminderte Anforderungen an die notwendige Belüftung entstehen.

Die Technologie gilt als ausgereift, sodass im Gegensatz zu anderen verfügbaren Technologien keine großen Weiterentwicklungen (Steigerung der Lebensdauer sowie Effizienz ausgenommen) mehr zu erwarten sind (Köhler et al. 2017). Durch Materialoptimierungen wird es jedoch möglich sein, eine Verbesserung bestimmter Eigenschaften zu erzielen (Sauer 2013).

² Im Englischen: Valve Regulated Lead Acid – VRLA Battery

³ Bei den Ladevorgängen entsteht innerhalb der Batterie Knallgas, das bei geschlossenen Batterien z.T. in die Umgebung entweicht. Bei verschlossenen Batterien wird der größte Teil des Gases innerhalb der Batterie wieder im Wasser umgewandelt – es gibt lediglich ein Überdruckventil für den Fall, dass der Druck zu groß wird. Daher bestehen unterschiedliche Anforderungen an die Belüftung der Räume, in denen die Batterien untergebracht sind.

Anfang 2017 betrug das durchschnittliche Verhältnis der von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) geförderten Blei-Batterien zwischen Nutz- und Nennkapazität knapp 2 zu 3. Anfang 2017 waren komplette PV-Batteriespeichersysteme, basierend auf Blei-Batterien, ab 700 Euro/kWh Endkundenpreis verfügbar, weitere Preissenkungen werden erwartet (Figgenger et al. 2017). Nicht zu verwechseln sind diese Angaben mit energiebezogenen Preisen für Blei-Batterien, die 2013 zwischen 100 und 250 Euro/kWh lagen. Die leistungsbezogenen Investitionskosten für die entsprechenden Umrichter lagen bei 150 bis 200 Euro/kW (siehe Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2: Wichtige Charakteristika von Blei-Säure-Batterien

Blei-Säure-Batterien	Stand 2013	Stand 2013 + 10 Jahre
Wirkungsgrad Laden-Entladen inkl. Batterieumrichter	70 – 75%	73 – 78%
Energiedichte	50 – 75 Wh/l bzw. 25 Wh/kg	50 – 100 Wh/l
Zykluslebensdauer	500 – 2000	1000 – 4000
Kalendarische Lebensdauer	5 bis 15 Jahre (abhängig von Temperatur und Ladezustand)	8 bis 20 Jahre (abhängig von Temperatur und Ladezustand)
Entladetiefe	70%	80%
Selbstentladung	3 – 5% pro Monat	2 – 4% pro Monat
Leistungsbezogene Investitionskosten (Umrichter)	150 – 200 €/kW	100 – 150 €/kW
Energiebezogene Investitionskosten	100 – 250 €/kWh	50 – 150 €/kWh
Anforderungen Aufstellort	Aufstellraum muss belüftet sein, Luftdurchsatz abhängig von Technologie (geschlossen oder verschlossen); Anforderungen an den notwendigen Luftdurchsatz in Normen geregelt, z.B. DIN EN 50272-2	
Vorteile der Technologie bei Einsatz in PV-Speichern	<ul style="list-style-type: none"> • Etablierte Technologie (sehr gute Marktverfügbarkeit) mit viel Betriebserfahrung in stationären Anlagen, • geringe Investitionskosten; • hohe Recyclingquote (in Europa) 	
Nachteile der Technologie bei Einsatz in PV-Speichern	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe volumetrische Energiedichte führt zu mehr Platzbedarf im Vergleich zu alternativen Batteriespeichersystemen; nachteilig bei begrenztem Platzangebot, • Lüftungsanforderung im Batterieraum nicht immer einfach umsetzbar; • Mit jedem Ladevorgang sinkende Kapazität, insbesondere bei vermehrter Tiefenentladung, daher relativ geringe Zyklanzahl 	

Quelle: (Sauer 2013)

2.3.2. Lithium-Ionen-Batterien

Lithium-Ionen-Batterien (LIB), die zunächst als Speichertechnologie für portable Anwendungen, wie z.B. Mobiltelefone, eingesetzt wurden, sind mittlerweile der am weitverbreitetste Solarstromspeicher in Deutschland (Kairies et al. 2016). Der Wirkungsgrad von Lithium-Ionen Batterien allgemein lag 2013 zwischen 80 bis 85 Prozent, bis zum Jahr 2023 werden Steigerungen auf 85 bis

90 Prozent erwartet. Im Vergleich zu Blei-Säure-Batterien weisen LIB mit 200 bis 350 Wh/l bzw. 150 bis 200 Wh/kg eine relativ hohe Energiedichte auf. Außerdem können LIB zum Teil ohne Lebensdauerverluste bis zu 100 Prozent entladen werden, sodass zwischen Nenn- und Nutzkapazität keine großen Differenzen liegen. Anfang 2017 betrug das durchschnittliche Verhältnis zwischen Nenn- und Nutzkapazität der von der KfW geförderten LIB 93,2 Prozent (Figgenger et al. 2017). Komplette Batteriespeichersysteme, basierend auf LIB, waren laut Figgenger et al. (2017) Anfang 2017 ab 1.000 Euro/kWh Endkundenpreis verfügbar, weitere Preissenkungen werden erwartet. Der Preis der LIB selbst betrug 300 bis 800 Euro/kWh in 2013, für das Jahr 2023 werden Preise von 150 bis 400 Euro/kWh prognostiziert (siehe Tabelle 2-3). Dabei werden vermutlich Skaleneffekte durch die erwartete zunehmende Nutzung in der Elektromobilität eine wichtige Rolle spielen.

Tabelle 2-3: Wichtige Charakteristika von Lithium-Ionen-Batterien

Lithium-Ionen-Batterien	Stand 2013	Stand 2013 + 10 Jahre
Wirkungsgrad Laden-Entladen inkl. Batterieumrichter	80 – 85%	85 – 90%
Energiedichte (Zellen)	200 – 350 Wh/l bzw. 150 – 200 Wh/kg	250 – 500 Wh/l
Zykluslebensdauer	1.000 – 5.000 (Vollzyklen)	2.000 – 10.000 (Vollzyklen)
Kalendarische Lebensdauer	5 bis 20 Jahre (abhängig von Temperatur und Ladezustand)	10 bis 25 Jahre (abhängig von Temperatur und Ladezustand)
Entladetiefe	bis 100%	bis 100%
Selbstentladung	3 – 5% pro Monat	< 3% pro Monat
Leistungsbezogene Investitionskosten (Umrichter)	150 – 200 €/kW	100 – 150 €/kW
Energiebezogene Investitionskosten	300 – 800 €/kWh	150 – 400 €/kWh
Anforderungen Aufstellort	Bislang sind keine speziellen Anforderungen festgelegt.	
Vorteile der Technologie bei Einsatz in PV-Speichern	Lange Lebensdauer, keine Anforderungen an Aufstellort (im Vergleich zu Bleibatterien, die einen separaten belüfteten Raum erfordern), hohe Energiedichte (d.h. kompaktes System), wenig Wartungsaufwand.	
Nachteile der Technologie bei Einsatz in PV-Speichern	Hohe Kosten, wenig Erfahrung mit der Technologie in der gegebenen Anwendung, im Fehlerfall Gefahr von Brand.	

Quelle: (Sauer 2013)

Bei LIB gibt es kein einheitliches Materialkonzept, wie z.B. bei Bleibatterien (Blei plus Säure). Stattdessen ermöglicht eine Vielzahl von Elektrolyten und Kombinationen von Elektrodenmaterial Batterien mit unterschiedlichen Lebensdauern oder Sicherheitsstufen (Sauer 2013).

Für vergleichsweise langlebige Batterien werden kobalthaltige Materialien oder Lithium-Eisenphosphat eingesetzt, die im Unterschied zu hoch manganhaltigen Materialien eine höhere Zyklenfestigkeit aufweisen (Stahl et al. 2016). In stationären PV-Batteriespeichern kommen die beiden Kombinationen Lithium-Nickel-Mangan-Cobaltoxid (LNMC) und Lithium-Eisenphosphat (LFP) am häufigsten zum Einsatz (C.A.R.M.E.N. e.V. 2017). Ein Vergleich der von der Verbraucherzentrale NRW zusammengestellten Batteriespeicher-Marktübersicht (Stand Juni 2016) hat ergeben, dass

LFP im Durchschnitt ca. 500 Euro/kWh teurer sind als LNMC, gleichzeitig aber von den Herstellern durchschnittlich knapp 3.000 mögliche Zyklen mehr angegeben werden (siehe Tabelle 2-4).

Tabelle 2-4: Vergleich der Kosten und zyklischen Lebensdauer von LNMC- und LFP-Batterien

	LNMC	LFP
€/kWh	1599	2083
Vom Hersteller angegebene Zyklenanzahl	6125	9043

Quelle: Eigene Auswertung der Marktübersicht für Solarstromspeicher bis 12 kWh (Juni 2016) der Verbraucherzentrale NRW

2.3.3. Redox-Flow-Batterien

Bei Redox-Flow-Batterien (z.B. Fe/Cr, Br₂/Cr, Vanadium/Vanadium und NaBr+Na₂S₄/Na₂S₂+NaBr₃) besteht das aktive Material aus in einem Lösungsmittel gelösten Salzen, diese wirken gleichzeitig auch als Teil des Elektrolyts. Der Elektrolyt wird in Tanks gelagert und bestimmt den Energiegehalt der Batterie. Für das Ent- und Beladen wird dieser in eine zentrale Reaktionseinheit gepumpt, deren Größe die Leistung der Batterie bestimmt. Die zentrale Reaktionseinheit besteht aus Elektroden, Verteilplatten für die Flüssigkeiten und einer Membran und arbeitet ganz ähnlich wie eine Wasserstoffbrennstoffzelle bzw. ein Elektrolyseur (Stahl et al. 2016).

Die unterschiedlichen Einsatzmaterialien führen auch hier zu variierenden Eigenschaften und Preisen. Vanadium zum Beispiel ist in vier verschiedenen Wertigkeiten stabil, sodass es in beiden Elektroden eingesetzt werden kann und keine Verunreinigungen durch den Durchtritt von Ionen an der Membran entstehen. Gleichzeitig ist bei Vanadium-Batterien das eingesetzte Grundmaterial relativ teuer. Diese Technologie zeichnet sich durch recht niedrige Energiedichten von 20 bis 70 Wh/l (vergleichbar mit Blei-Säure-Batterien), aber einer einfachen Hochskalierbarkeit (größere Tanks, größere Reaktionseinheit) aus. Dadurch eignet sich diese Technologie derzeit hauptsächlich bei industriell genutzten großen Speicheranlagen.

Tabelle 2-5: Wichtige Charakteristika von Vanadium-Redox-Flow-Batterien*

	Stand 2013	Stand 2013 + 10 Jahre
Wirkungsgrad Laden-Entladen inkl. Batterieumrichter und Peripherie	70 – 80% (je nach chemischer Zusammensetzung)	75 – 85% (je nach chemischer Zusammensetzung)
Energiedichte	20 – 70 Wh/l (technologieabhängig)	> 50 Wh/l
Zykluslebensdauer	> 10.000	> 10.000
Kalendarische Lebensdauer	10 – 15 Jahre	15 – 20 Jahre
Entladetiefe	bis 100%	bis 100%
Selbstentladung	sehr gering	sehr gering
Leistungsbezogene Investitionskosten (Umrichter, Pumpen, Stack)	1000 – 1500 €/kW	800 – 1200 €/kW
Energiebezogene Investitionskosten	300 – 500 €/kWh	150 – 250 €/kWh
Anforderungen Aufstellort	Bislang sind keine speziellen Anforderungen definiert.	

Vorteile der Technologie bei Einsatz in PV-Speichern	Hohe Recyclingquote von Vanadium.
Nachteile der Technologie bei Einsatz in PV-Speichern	Hoher Wartungsaufwand für Pumpen, Dichtungen usw. im Batteriesystem, Kosteneffizienz nur bei großen Anlagen vorhanden, hoher Einsatz von Schwefelsäuremengen kritisch durch Gefahr des Austretens.
*Für andere Materialien können sich abweichende Werte ergeben.	

Quellen: Sauer (2013); Stahl et al. (2016)

2.3.4. Hochtemperatur-Batterien

Bei Hochtemperaturbatterien (Natrium-Nickelchlorid oder Natrium-Schwefel) kommen im Gegensatz zu den anderen vorgestellten Batterietypen flüssige Aktivmasse und ein fester keramischer Elektrolyt zum Einsatz. Zur vollen Funktionstüchtigkeit der Batterie muss diese auf einer Betriebstemperatur von 270 bis 350 °C gehalten werden, was sich im täglichen Gebrauch durch die Reaktionswärme beim Be- und Entladen aufrechterhalten lässt. Findet keine tägliche Zyklierung der Batterie statt, müssen die thermischen Verluste (diese entsprechen einer Entladung von ca. 10 bis 15 Prozent am Tag) ausgeglichen werden. Als Solarstromspeicher für kleinere Einheiten scheint der Einsatz unter diesen Bedingungen fraglich. Die Forschung nach neuen Konzepten mit niedrigeren Betriebstemperaturen würde im Erfolgsfall zu geringeren thermischen Verlusten und Sicherheitsrisiken führen (Sauer 2013). In Tabelle 2-6 und Tabelle 2-7 finden sich wichtige Charakteristika von Hochtemperatur-Batterien im Überblick.

Tabelle 2-6: Wichtige Charakteristika von Natrium-Nickelchlorid-Batterien

	Stand 2013	Stand 2013 + 10 Jahre
Wirkungsgrad Laden-Entladen inkl. Batterieumrichter	70 – 74%	73 – 80%
Energiedichte	80 Wh/l (Herstellerangabe)	100 Wh/l
Zyklenlebensdauer	ca. 2.000 (Herstellerangabe)	3.000 – 5000
Kalendarische Lebensdauer	12 Jahre (Herstellerangabe)	15 Jahre
Entladetiefe	80%	80%
Selbstentladung	ca. 10 – 15% pro Tag (bei Stillstand, für Einheiten < 15 kWh)	5% pro Tag
Leistungsbezogene Investitionskosten (Umrichter)	150 – 200 €/kW	100 – 150 €/kW
Energiebez. Investitionskosten	350 – 800 €/kWh	250 – 400 €/kWh
Anforderungen Aufstellort	Keine Normen zu Aufstellbedingungen bekannt, potenzielle Brandgefahr durch hohe Temperaturen in Batterie	
Vorteile der Technologie bei Einsatz in PV-Speichern	Gute Lebensdauer bei akzeptablen Investitionskosten	
Nachteile der Technologie bei Einsatz in PV-Speichern	Geringer Wirkungsgrad; hohe thermische Selbstentladung und damit Verlustkosten, potenzielle Brandgefahr, wenig Erfahrung mit stationären Anlagen, stark eingeschränkte Anbietersituation	

Quellen: Sauer (2013); Stahl et al. (2016)

Tabelle 2-7: Wichtige Charakteristika von Natrium-Schwefel-Batterien

	Stand 2013	Stand 2013 + 10 Jahre
Wirkungsgrad Laden-Entladen inkl. Batterieumrichter	68 – 75%	78 – 83%
Energiedichte	150 – 250 Wh/l	150 – 250 Wh/l
Zykluslebensdauer	5.000 – 10.000	5.000 – 10.000
Kalendarische Lebensdauer	15 – 20 Jahre	18 – 25 Jahre
Entladetiefe	100%	100%
Selbstentladung	ca. 15% pro Tag (bei Stillstand, für Einheiten < 15 kWh)	100 – 150 €/kW
Leistungsbezogene Investitionskosten (Umrichter)	150 – 200 €/kW	100 – 150 €/kW
Energiebezogene Investitionskosten	400 – 600 €/kWh	150 – 250 €/kWh
Anforderungen Aufstellort	Keine Normen zu Aufstellbedingungen bekannt; potenzielle Brandgefahr durch hohe Temperaturen in Batterie	
Vorteile der Technologie bei Einsatz in PV-Speichern	Gute Lebensdauer bei relativ günstigen Investitionskosten, Verwendung preiswerter, in großen Mengen verfügbare Rohstoffe	
Nachteile der Technologie bei Einsatz in PV-Speichern	Hohe Selbstentladung und damit Verlustkosten, potenzielle Brandgefahr, keine Erfahrung mit kleinen stationären Anlagen	

Quellen: Sauer (2013); Stahl et al. (2016)

2.3.5. Aqueous-Hybrid-Ion-Batterien

Der Batterietyp Aqueous-Hybrid-Ion (AHI) wurde von dem US-amerikanischen Unternehmen Aquion Energy entwickelt und patentiert. Dieses verkaufte den Batterietyp bis Anfang des Jahres 2017, auch in Deutschland wurden die Batterien von Aquion Energy (z.B. von dem Berliner Start-up Qinous⁴) zum Verkauf angeboten. Das amerikanische Unternehmen meldete dann jedoch Insolvenz an und wurde von dem chinesischen Konzern Juline-Titans LLC aufgekauft (Prime Communication PR Consulting 2017). Laut Auskunft⁵ von Qinous war Stand Juli 2017 nicht klar, wann die Batterien wieder zum Kauf angeboten werden. Das Unternehmen Bluesky⁶ aus Österreich vertreibt ebenfalls Batterien, die auf der Technologie von Aquion Energy basieren und steht nach eigener Auskunft⁷ bereits in Kontakt mit dem neuen Investor. Dieser produziert laut Auskunft von Bluesky bereits Batterien, die Bluesky in das eigene Plug and Play System zu integrieren plant.

Die Kathode besteht aus Lithium-Manganoxid, die Anode aus Kohlenstoff („activated carbon“), der Separator aus Baumwollvlies und der Elektrolyt aus Salzwasser auf Basis von Natrium-Sulfat. Im Gegensatz zu Lithium-Ionen-Akkus, bei denen ausschließlich Lithium-Ionen den Ladungstransport zwischen Anode und Kathode übernehmen, handelt es sich bei der Salzwasserbatterie gemäß

⁴ <https://www.qinous.de/de/products/>, aufgerufen am 13.07.2017

⁵ Telefonat mit Aquion Energy am 13.07.2017

⁶ <http://www.bluesky-energy.eu/project/greenrock-stromspeicher-m-gesamtsystem/>, aufgerufen am 13.07.2017

⁷ Telefonat mit Bluesky am 13.07.2017

Württemberg (2014) um ein System, das man als „poly-ionisch“ bezeichnen könnte. Dabei wird die Ladung sowohl von Lithium- als auch von Natrium-Ionen transportiert. Dazu kommen Wasserstoff-Protonen, die bei einem bestimmten Ladezustand entstehen und ebenfalls Ladung transportieren.

Tabelle 2-8 fasst die von Aquion Energy bereitgestellten technischen Daten und Kosten der Batterien zusammen. Es wurde mit einer Kostenhalbierung innerhalb der nächsten 10 Jahre gerechnet. Es ist aktuell nicht klar, inwieweit die erwarteten Modelle des Investors davon abweichen werden. Auf Grund der sehr geringen Energiedichte wird das Potential zum Einsatz in privaten Haushalten als gering eingeschätzt.

Tabelle 2-8: Wichtige Charakteristika von Aqueous-Hybrid-Ion-Batterien

	2017
Wirkungsgrad Laden-Entladen inkl. Batterieumrichter*	80 – 90% (in Abh. vom Lade-/Entladestrom)
Energiedichte	12 – 24 Wh/l bzw. 18,6 Wh/kg
Zykluslebensdauer	3000 (bei 70% Restkapazität)
Kalendarische Lebensdauer	noch wenig bekannt
Entladetiefe	100%
Selbstentladung	Hersteller spricht von: „keine größere Selbstentladung“
Leistungsbezogene Investitionskosten (Umrichter, Pumpen, Stack)	1190 – 1600 €/kW (vor Kauf Aquion Energy)
Energiebezogene Investitionskosten	315 – 510 €/kW (vor Kauf Aquion Energy)
Anforderungen Aufstellort	k.A.
Vorteile der Technologie bei Einsatz in PV-Speichern	Tiefenentladung bis 100%, sicherer Betrieb
Nachteile der Technologie bei Einsatz in PV-Speichern	Geringe Energiedichte (d.h. steigender Raumbedarf oder geringere Speicherkapazität), Kapazitätsverlust bei hohen Ladegeschwindigkeiten

* Für den Batterieumrichter ist ein konservativer Wirkungsgrad von 95% pro Richtung angenommen.

Quelle: Verschiedene Produktkennblätter von Aquion Energy

Neben den Aqueous-Hybrid-Ion-Batterien werden auch Aqueous-Ion-Batterien (AIB) angeboten, z.B. von dem chinesischen Unternehmen enpower⁸. Der Unterschied liegt laut den im Internet veröffentlichten Produktbeschreibungen in den verwendeten Ionen. Während bei AIB ausschließlich Natrium- und Wasserstoffionen zur Stromspeicherung genutzt werden, kommen bei AHI Batterien zusätzlich Lithium-Ionen zum Einsatz.

⁸ <http://en.enpower-energy.com/plus/list.php?tid=14>, aufgerufen am 29.08.2017

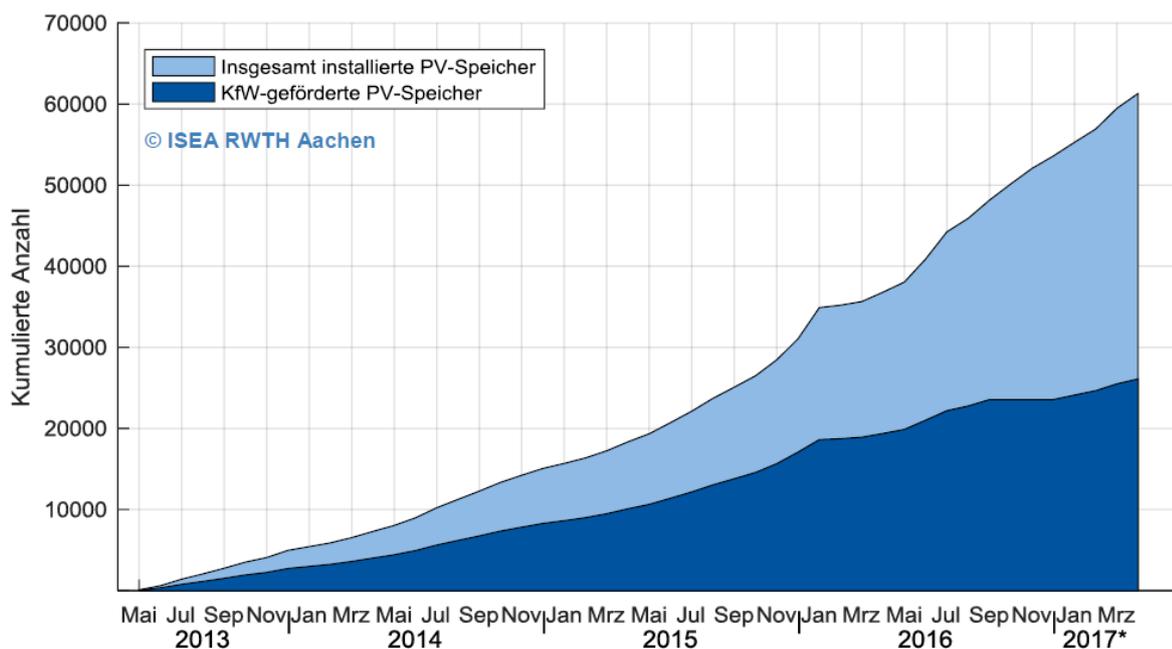
2.3.6. Nickel-Cadmium- bzw. Nickel-Metallhydrid-Batterien

Über die RoHS-Richtlinie (Restriction of hazardous substances) ist die Nutzung dieser Batterietechnologie aufgrund der Verwendung von Cadmium im Haushaltselektronikbereich EU-weit verboten und nur in industriellen Anwendungen zugelassen. Aufgrund der hohen Kosten ist diese Batterie-Technologie zudem nur für den mobilen Bereich, z.B. Hybridfahrzeuge, attraktiv (Sauer 2013).

2.4. PV-Batteriespeicher in Deutschland: Status Quo und Marktentwicklung

Bis Ende April 2017 waren in Deutschland ca. 61.300 PV-Batteriespeicher mit einer nutzbaren Speicherkapazität von 400 MWh installiert, bei insgesamt ca. 1,6 Millionen Photovoltaikanlagen (Stand Ende 2017). Fast alle Speicher sind seit 2013 installiert worden, mit stetig steigenden Installationszahlen (siehe Abbildung 2-4). Allein im Zeitraum Januar bis April 2017 wurden ca. 7.700 neue PV-Batteriespeicher installiert. Dabei werden sowohl bestehende PV-Anlagen nachgerüstet, vor allem aber neue Installationen direkt mit Batteriespeichern ausgestattet. Waren es im Jahr 2014 noch 14 Prozent der neu installierten PV-Anlagen, wurden Ende 2016 bei ca. 46 Prozent der PV-Neuinstallationen Batteriespeicher installiert (Figgner et al. 2017).

Abbildung 2-4: Kumulierte Anzahl der Installationen von PV-Speichern in Deutschland von Mai 2013 bis April 2017



Quelle: (Figgner et al. 2017)

Grundlage dieser Zahlen ist das „wissenschaftliche Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher“ (Speichermonitoring), das jährlich von der RWTH Aachen veröffentlicht wird. Die Universität ist damit beauftragt, das von der KfW aufgesetzte Förderprogramm für Batteriespeicher⁹ zu monitorieren und die Installation KfW-geförderter Speicher zu erfassen und auszuwerten. Dazu wer-

⁹ [https://www.kfw.de/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf%C3%B6rderung\)/PDF-Dokumente/6000002700_M_275_Speicher.pdf](https://www.kfw.de/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000002700_M_275_Speicher.pdf), zuletzt aufgerufen am 19.10.2017

den von allen geförderten PV-Speichersystemen unter anderem folgende Informationen abgefragt (Kairies et al. 2016):

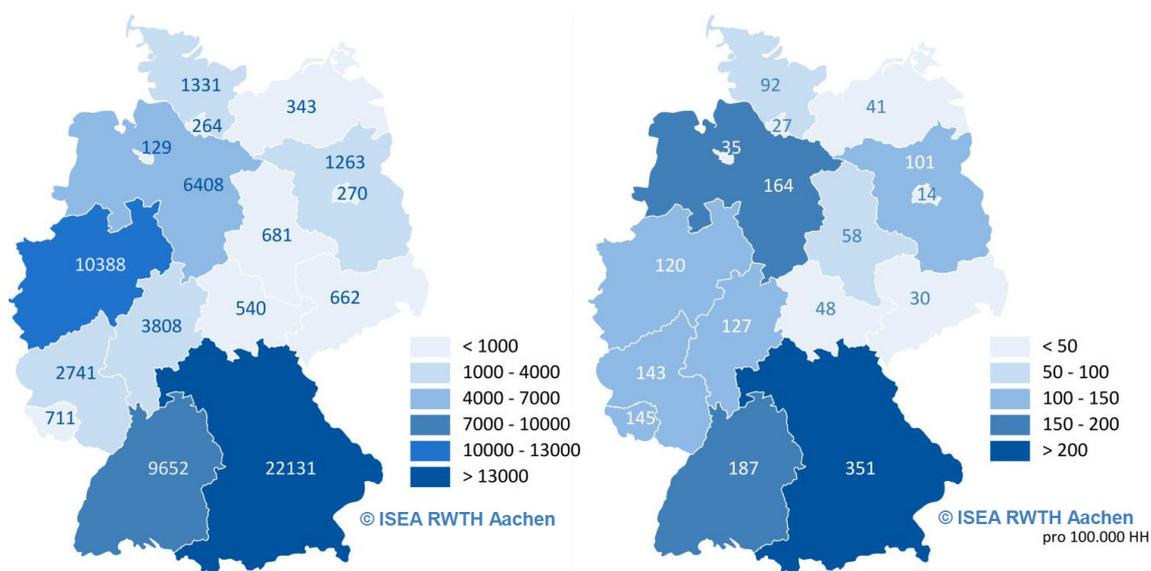
- „Endkundenpreis, Installationsdatum und Nennleistung der PV-Anlage,
- Endkundenpreis und Installationsdatum des Batteriespeichers,
- Art des Systems (1- oder 3-phasig, DC- oder AC-gekoppelt),
- Batterietyp (Lithium-Ionen, Blei-Säure oder andere Batterien),
- Installierte und/oder nutzbare Kapazität des Batteriespeichers, sowie
- Freiwillige Angaben bezüglich der Anzahl der Bewohner im Haushalt, des jährlichen Energieverbrauchs.“

Berücksichtigt werden in dem Speichermonitoring Batteriespeicher bis 50 kWh und PV-Anlagen bis 30 kWp. Verschiedene Hersteller von PV-Speichersystemen, Installationsbetrieben sowie der Bundesverband der Solarwirtschaft (BSW) schätzen, dass in den Jahren 2013 bis 2015 der Anteil geförderter Systeme etwa 50 bis 60 Prozent der insgesamt in Deutschland installierten Systeme ausmachte. In den darauf folgenden Jahren ist nach Einschätzung der RWTH Aachen der Anteil geförderter Systeme stetig zurückgegangen, Anfang 2017 auf ca. 1/3 der installierten Systeme. Für die in der Studie vorgenommenen Hochrechnungen der Gesamtspeicheranzahl wurden diese unterschiedlichen Anteile berücksichtigt.

Im Jahr 2015 lag die Eigenverbrauchsmenge auf Basis dieser Systeme bei ca. 1.700 GWh. Bis zum Jahr 2021 könnte diese weiter auf bis zu ca. 4.100 GWh ansteigen (Leipziger Institut für Energie 2014).

Generell sind in den bevölkerungs- und sonnenreichen Bundesländern im Westen und Süden von Deutschland mehr Batteriespeichersysteme installiert als im Norden und Osten, siehe Abbildung 2-5 (Figgenger et al. 2017).

Abbildung 2-5: Geographische Verteilung der Solarstromspeicher in Deutschland absolut (links) und relativ pro 100.000 Haushalte (rechts)



Quelle: (Figgenger et al. 2017); Haushaltszahlen von Statista GmbH

2.4.1. Marktanteile verschiedener Batterietechnologien

Der Markt an PV-Batteriespeichern ist vielfältig. Während ursprünglich Blei-Säure-Batterien die dominierende Technologie waren, sind mittlerweile Lithium-Ionen-Batterien am weitesten verbreitet. Laut Solarstromspeicher-Preismonitor Deutschland (Tepper 2016) verteilte sich der Speicherabsatz der für den Monitor befragten Installateure im ersten Drittel des Jahres 2016 zu 94 Prozent auf Lithium-Ionen- und zu 6 Prozent auf Blei-Säure-Batteriespeicher, letztere mit weiter sinkenden Marktanteilen. Jenseits der Blei- und Lithiumspeicher sind zudem vereinzelte PV-Batteriespeicher auf Basis von Salzwasser als Elektrolyt sowie Vanadium-Redox-Flow-Batteriespeicher verfügbar. Die in Abschnitt 2.3 detaillierter beschriebenen Technologiealternativen zu Blei- und Lithium-Batterien haben jedoch zum jetzigen Zeitpunkt keinen bedeutenden Marktanteil: beim Speichermonitoring 2017 hatten Redox-Flow-Batterien lediglich einen Anteil von unter 0,05 Prozent (Figgner et al. 2017), die Salzwasserbatterie wird aktuell nur von einem einzigen Hersteller angeboten.

Die für die Zukunft zu erwartenden weiteren Kostendegressionen bei Lithium-Ionen-Batterien lassen darauf schließen, dass auch der Einsatz von Blei-Batterien bei zukünftig installierten Speichern in Deutschland keine signifikante Rolle mehr spielen wird.

2.4.2. Marktanteile verschiedener Speichergrößen

Die Kapazität der auf dem Markt angebotenen Batteriespeichersysteme weist eine große Bandbreite auf. Die kleinsten Komplettsysteme haben typischerweise eine Kapazität von um die 2 kWh (Nutzkapazität). Da Batteriespeicher nicht nur für Ein- oder Zweifamilienhäuser verfügbar sind, sondern auch für größere Systeme angeboten werden, ist eine Begrenzung der theoretisch verfügbaren Größe nach oben nicht möglich (C.A.R.M.E.N. e.V. 2017).

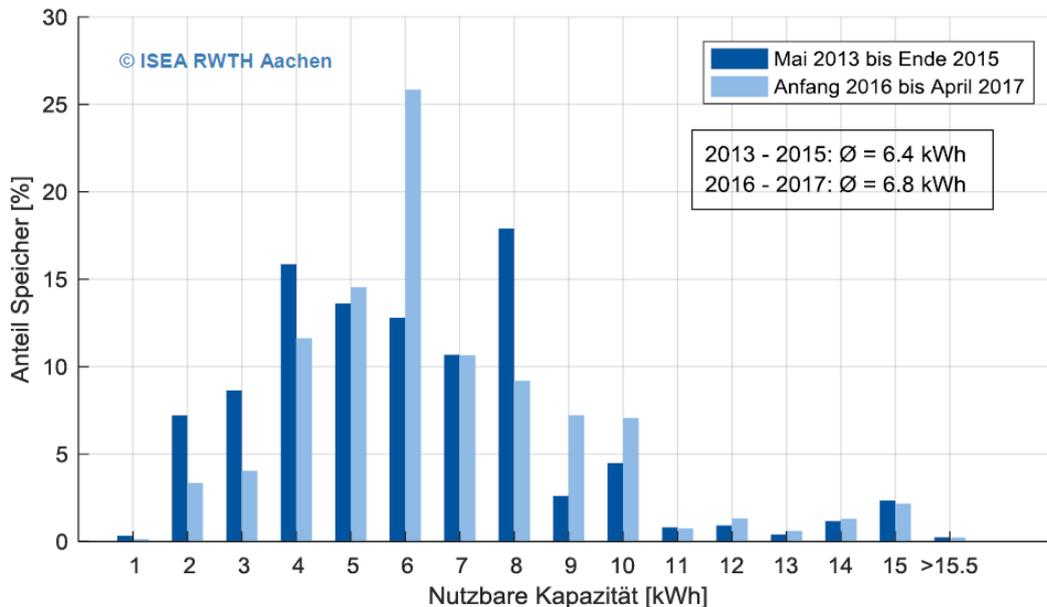
Die Skalierbarkeit der Systeme hängt von der Kapazität eines einzelnen Batteriemoduls ab, auch hier variieren die Angebote stark in ihrer Kapazität. Für die Anwendung als PV-Batteriespeicher für Privathaushalte liegen sie bei ca. 2 bis 3 kWh. Allgemein ist der Verkauf einzelner Batteriemodule eher selten. In den meisten Fällen werden Komplettsysteme angeboten, die alle notwendigen technischen Komponenten umfassen (siehe Kapitel 2.2 für die technischen Komponenten eines Speichersystems). Bei manchen Systemen lässt sich die Anzahl der Batteriemodule im Laufe der Nutzung verändern, sodass die Speichergröße und Kapazität variabel ist. So wäre es zum Beispiel möglich, den Batteriespeicher bei steigendem Strombedarf (z.B. durch eine neu eingebaute Wärmepumpe oder Elektromobilität) nachzurüsten.

Eine Aufschlüsselung der am Markt genutzten Speichergrößen zeigt, dass sich die Anteile in den zurückliegenden Jahren deutlich verändert haben (siehe Abbildung 2-6). Im Zeitraum 2013 bis 2015 wurden Lithium-Ionen-Batterien auf Grund ihrer noch hohen spezifischen Kosten tendenziell kleiner ausgelegt, weswegen viele Systeme mit einer Kapazität kleiner 5 kWh verkauft worden sind. Zusätzlich hat laut Autoren des Speichermonitorings ein kostengünstiges Angebot einer einzelnen Firma dazu geführt, dass ein Blei-Batteriespeicher mit 8 kWh im Zeitraum 2013 bis 2015 besonders häufig gekauft wurde (Figgner et al. 2017).

Die laufende Preisreduktion von Lithium-Ionen Batterien und der daraus folgende zunehmende Marktanteil von Batteriespeichern mit größeren Kapazitäten haben dazu geführt, dass sich für den Zeitraum 2016 bis April 2017 eine andere Verteilung der Speichergrößen ergibt. Bei den von der KfW geförderten Anlagen hat der Anteil der Batteriespeicher, die kleiner als 5 kWh sind, abgenommen, dafür sind im Vergleich zum vorherigen Zeitraum mehr Speicher mit größeren Kapazitäten installiert worden (siehe Abbildung 2-4). Besonders kleine Speichersysteme mit weniger als 2 kWh hatten einen sehr geringen Marktanteil, da die Fixkosten für Leistungselektronik und Installation sie wirtschaftlich unattraktiver machen.

Gleichzeitig lohnen sich Batteriespeicher mit einer Kapazität von mehr als 10 kWh nur bei einer entsprechend großen PV-Anlage und hohem Stromverbrauch, was bei den meisten Privathaushalten nicht gegeben ist. Die nach Bundesländern gewichtete Kapazität der installierten Speicher betrug im Jahr 2016 durchschnittlich 6,78 kWh (Figgenger et al. 2017).

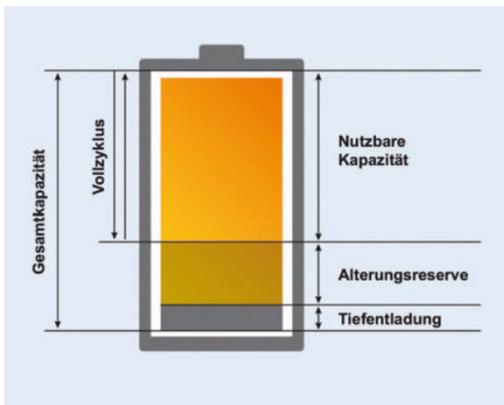
Abbildung 2-6: Dichtefunktionen der nutzbaren Kapazität der beim Speichermonitoring registrierten Solarstromspeicher



Quelle: Figgenger et al. (2017)

Es ist zu beachten, dass bei den Kapazitätsangaben der PV-Batteriespeicher zwischen Nenn- und Nutzkapazität unterschieden werden muss, siehe auch Abbildung 2-7. Die Nutzkapazität in kWh bezeichnet den Teil der Kapazität, der tatsächlich für eine Anwendung im Betrieb zur Verfügung steht. Hierzu wird ausgehend von der Nennkapazität noch die Entladetiefe mit einberechnet. Die Entladetiefe, auch bezeichnet als Depth of Discharge (DoD), gibt an, wie viel Prozent der Nennkapazität der Batterie genutzt werden kann, ohne dabei die Lebensdauer signifikant negativ zu beeinflussen. Die reale Entladetiefe beeinflusst somit die Batterie-Lebensdauer: eine vollständige Entladung um 100 Prozent könnte sich je nach Batterietechnologie negativ auf die Lebensdauer der Batterie auswirken. (C.A.R.M.E.N. e.V. 2017) Die Größe der Entladetiefe ist gemäß (E3/DC GmbH o.J.) vom verwendeten Material abhängig, da bei Bleibatterien lediglich 50 bis 60 Prozent, bei Lithium-Ionen-Speichern hingegen zwischen 70 bis 100 Prozent entnommen werden können.

Abbildung 2-7: Unterscheidung zwischen Nenn- und Nutzkapazität der Batteriespeicher



Quelle: Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Ba-Wü (2017)

2.4.3. Zusammenhang zwischen Nennleistung der Photovoltaik-Anlage, Stromverbrauch des Haushalts und Speicherkapazität des Batteriespeichers

Neben den zuvor beschriebenen äußeren Rahmenbedingungen (technologische Entwicklungen, Sonderangebote etc.) wird die Auswahl der Speichergröße auch von der Leistung der PV-Anlage sowie dem jährlichen Stromverbrauch des Haushalts bestimmt.

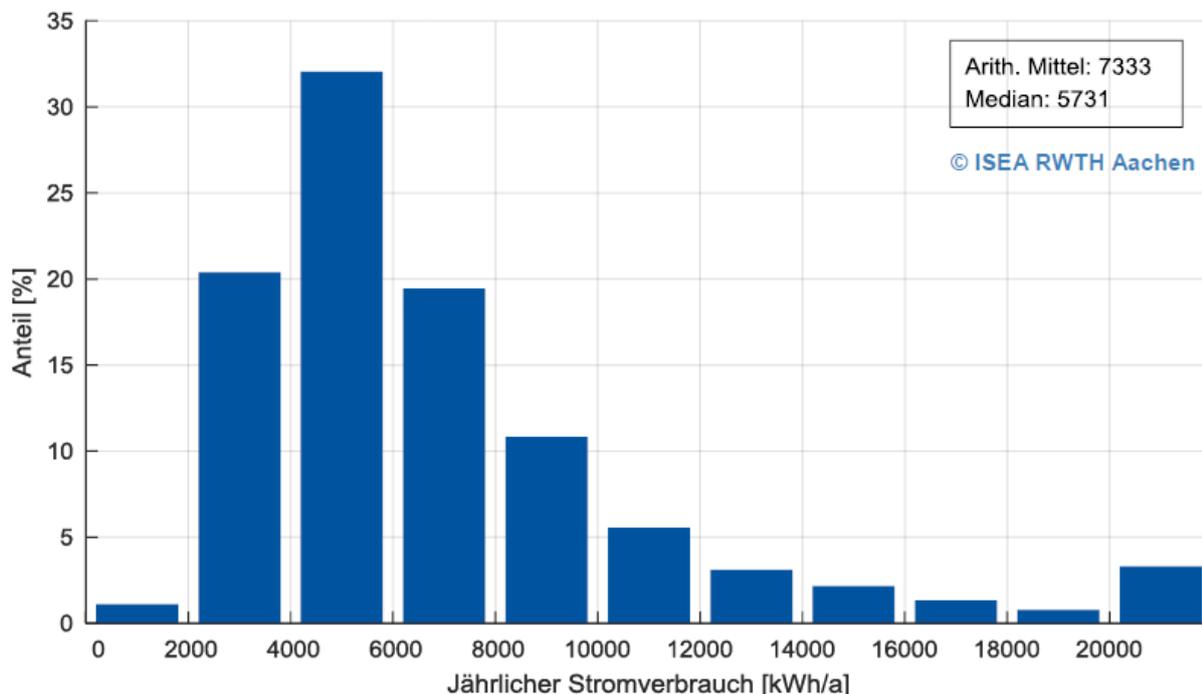
Gemäß Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Ba-Wü (2017) liegt der durchschnittliche Anlagenertrag von PV-Anlagen in Baden-Württemberg pro Jahr im Bereich um 950 Kilowattstunden (kWh) je Kilowattpeak (kWp), in besonders sonnenreichen Lagen sind bei optimaler Ausrichtung auch Werte von deutlich über 1.000 kWh/kWp pro Jahr möglich. Ein Durchschnittshaushalt mit einem jährlichen Strombedarf von 4.000 kWh könnte entsprechend rein rechnerisch bereits mit einer Anlagengröße von ca. 4,5 kWp bedarfsdeckend mit Solarenergie versorgt werden. Da aber Zeitpunkt der Stromerzeugung und des -verbrauchs nicht deckungsgleich sind, wird typischerweise nur ca. ein Drittel des solarerzeugten Stroms direkt selbst verbraucht. Durch die Installation eines Batteriespeichersystems lässt sich diese Menge steigern, indem insbesondere morgens und abends auf den gespeicherten Solarstrom zurückgegriffen wird. (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Ba-Wü 2017)

Bei den im Speichermonitoring erfassten Haushalten ließ sich sowohl eine moderate positive Korrelation zwischen der Größe der PV-Anlage als auch dem jährlichen Stromverbrauch jeweils mit der nutzbaren Kapazität des Batteriespeichers nachweisen. Mit zunehmender Nennleistung der PV-Anlage nahm bei den erfassten Haushalten auch die nutzbare Batteriekapazität zu. Bei der am häufigsten vertretenen PV-Anlagengröße von 9 kWp lag der Median der Speicherkapazität bei knapp unter 8 kWh. PV-Anlagen, die eine kleinere Nennkapazität als 5 kWp haben und dazugehörige Batteriespeicher (Median bei 4 kWh) kamen unter den erfassten Haushalten dagegen verhältnismäßig selten vor.

Bei der Gegenüberstellung von nutzbarer Batteriespeicherkapazität und dem jährlichen Stromverbrauch lässt sich feststellen, dass mit zunehmendem jährlichem Stromverbrauch auch der Median der installierten Speichergröße ansteigt. Bei Haushalten, die einen Stromverbrauch zwischen 3.000 und 3.500 Kilowattstunden hatten, betrug der Median der installierten Speicher ca. 5 Kilowattstunden, bei 5.000 bis 6.000 Kilowattstunden knapp 7 Kilowattstunden nutzbare Batteriekapazität.

In einer gesonderten Auswertung von ausschließlich im Jahr 2016 installierten Anlagen ist die Verteilung des jährlichen Stromverbrauchs der betrachteten Haushalte mit PV-Speicher prozentual dargestellt (siehe Abbildung 2-8). Über 30 Prozent der betrachteten Haushalte liegen im Bereich zwischen 4.000 bis 6.000 Kilowattstunden; je rund 20 Prozent liegen in den Bereichen 2.000 bis 4.000 kWh/Jahr bzw. 6.000 bis 8.000 kWh/Jahr; gut 10 Prozent verbrauchen 8.000 bis 10.000 kWh/Jahr. Der Median, der vor allem durch die vielen Privathaushalte beeinflusst wird, liegt innerhalb des Maximums der Verteilung bei ca. 5.730 kWh/Jahr. Das arithmetische Mittel liegt durch höhere Stromverbräuche insbesondere der landwirtschaftlichen Betriebe und sonstiger Gewerbe bei ca. 7.330 kWh/Jahr (Figgenger et al. 2017).

Abbildung 2-8: Stromverbräuche der Haushalte in Deutschland, die einen von der KfW geförderten Batteriespeicher installiert haben (Jahr 2016)



Quelle: (Figgenger et al. 2017)

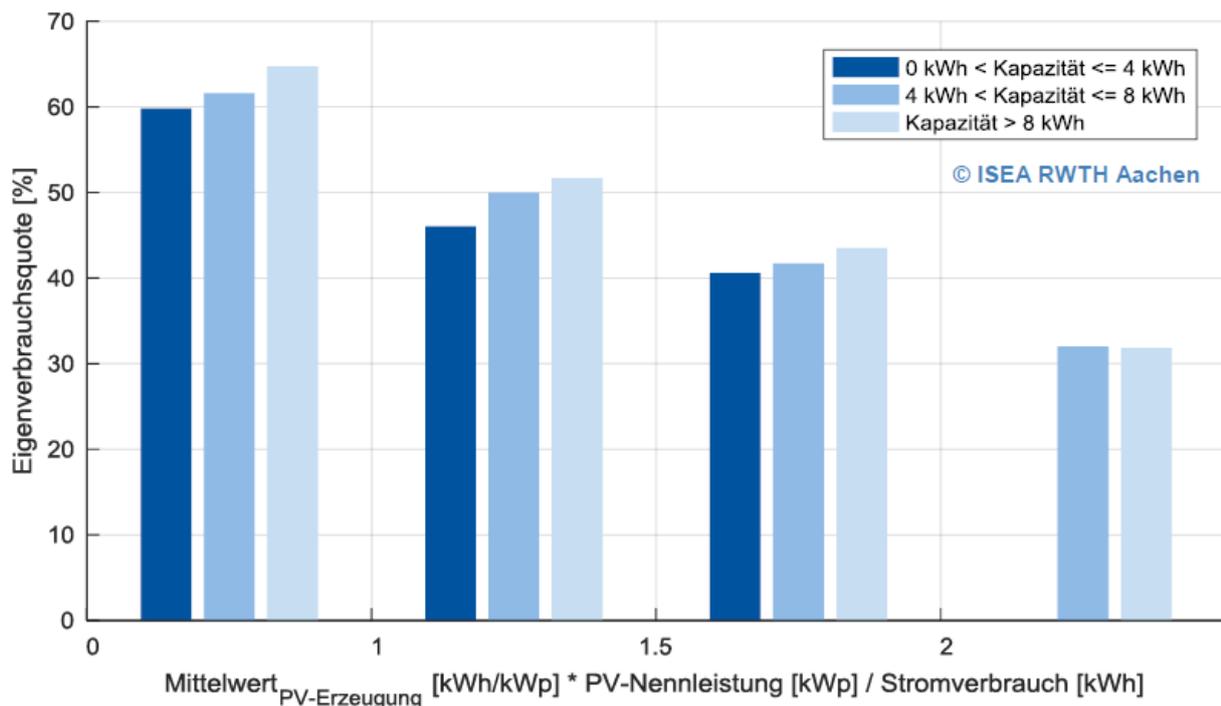
Figgenger et al. (2017) vergleichen diese Stromverbräuche mit dem regelmäßig vom Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) herausgegebenen durchschnittlichen Stromverbrauch deutscher Privathaushalte (freistehende Ein- und Zweifamilienhäuser: 3.500 kWh/Jahr; Haushalte mit 4 Personen: 4.750 kWh/Jahr) und resümieren, dass PV-Batteriespeicher tendenziell häufiger von Haushalten mit erhöhtem Stromverbrauch gekauft und installiert werden. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Motivationsbefragung zur Investition in ein Speichersystem (siehe Kapitel 2.4.5). Die Absicherung gegen steigende Strompreise wird als eines der Hauptmotive aufgeführt und ist bei Haushalten mit höheren Verbräuchen von besonderer Relevanz.

2.4.4. Typische Eigenverbrauchsquoten und Autarkiegrade

Die **Eigenverbrauchsquote** gibt den Anteil des von der PV-Anlage erzeugten Stroms an, der vor Ort tatsächlich vom Haushalt selbst verbraucht wird. (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Ba-Wü 2017)

Die Auswertung des Zusammenhangs von PV-Nennleistung, Speicherkapazität und Eigenverbrauchsquote zeigt, dass auch schon kleine Batteriespeicher (bis zu 4 kWh) Eigenverbrauchsquoten von bis zu 60 Prozent ermöglichen. Allerdings ist nicht die Speichergröße selbst, sondern das Verhältnis zwischen PV-Anlage und Stromverbrauch der entscheidende Faktor der Quote. Je größer das Verhältnis aus PV-Anlage und Haushaltslast ist, desto geringer ist die Eigenverbrauchsquote bei gleichbleibender Speicherkapazität. Praktisch ausgedrückt kann von der Energie verhältnismäßig weniger gespeichert werden, je größer die PV-Anlage ist (Figgener et al. 2017). Für Haushalte, deren PV-Anlage den jährlichen Haushaltsstromverbrauch bilanziell deckt (Werte größer als 1), liegen typische Eigenverbrauchsquoten um die 50 Prozent.

Abbildung 2-9: Mittlere Eigenverbrauchsquoten der ausgewerteten Haushalte in Abhängigkeit von der relativen PV-Nennleistung und der Speicherkapazität



Quelle: (Figgener et al. 2017)

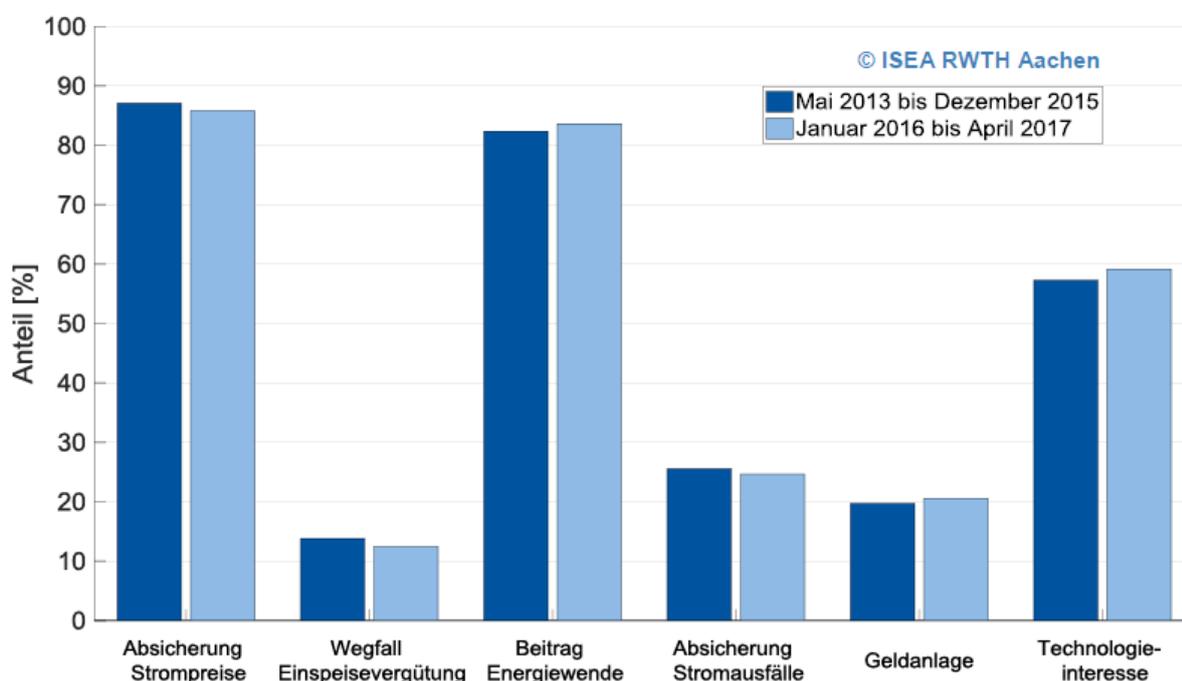
Der **Autarkiegrad** beschreibt, inwieweit sich ein Haushalt – gemessen an seinem Jahresstromverbrauch – mit dem selbsterzeugten Strom der Photovoltaikanlage eigenständig versorgen kann. Er verdeutlicht also das Maß der Unabhängigkeit eines Haushalts von zusätzlichen Strombezügen. (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Ba-Wü 2017)

Der Autarkiegrad steigt ebenfalls mit zunehmender Speichergröße, allerdings führt hier auch eine größere PV-Anlage zu einem höheren Wert. Typische Werte bei einer PV-Anlage mit passend dimensioniertem Speicher liegen zwischen 40 und 70 Prozent Autarkiegrad. Höhere Werte werden aufgrund der durchschnittlich hohen Stromverbräuche der Haushalte selten erreicht.

2.4.5. Motive für die Installation eines PV-Batteriespeichers

Die Befragung der Käufer KfW-geförderter Batteriespeicher im Rahmen des Speichermonitorings hat ergeben, dass die Hauptmotive für die Anschaffung eines PV-Batteriespeichers „Absicherung gegen steigende Strompreise“ und ein „Beitrag zur Energiewende“ sind (siehe Abbildung 2-10). Die durchschnittliche Zustimmung zu diesen Aussagen lag seit Beginn der KfW-Förderung 2013 jeweils zwischen 80 und 90 Prozent (Mehrfachnennungen waren möglich). Knapp 60 Prozent der befragten Haushalte installierten den Speicher auf Grund eines persönlichen Interesses für Technik. Der Wegfall der Einspeisevergütung wurde von ca. 15 Prozent als Kaufgrund genannt (Figgenger et al. 2017). Die Motivation der Käufer ist demzufolge sowohl finanziellen Ursprungs, gleichzeitig wird die Anschaffung eines Batteriespeichers als eigener Beitrag zu Energiewende bewertet.

Abbildung 2-10: Motivationsgründe der Käufer KfW-geförderter Solarstromspeicher



Quelle:(Figgenger et al. 2017)

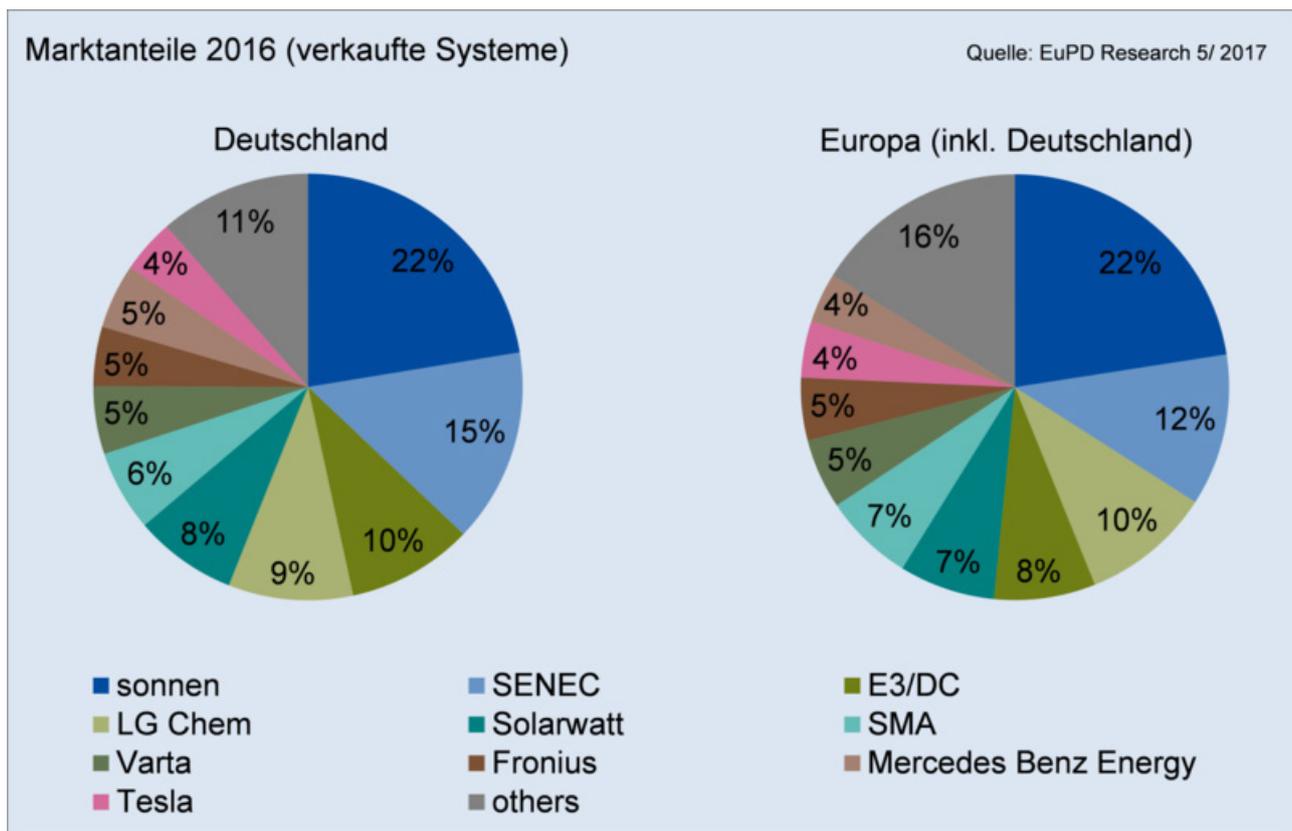
2.5. Marktakteure

PV-Batteriespeicher werden von einer Bandbreite an Akteuren angeboten. Neben dem Vertrieb über Batteriehersteller gibt es eine zunehmende Anzahl an Energieversorgern und Energiedienstleistern, welche Beratung, Verkauf und Installation von Batteriespeichersystemen anbieten.

Hersteller

Die zehn Hersteller, die im Jahr 2016 in Deutschland die meisten Batteriespeichersysteme verkauft haben, sind in absteigender Reihenfolge Sonnen, Senec, E3/DC, LG Chem, Solarwatt, SMA, Varta, Fronius, Mercedes Benz Energy und Tesla. Die drei größten Hersteller decken mit 47 Prozent Marktanteil etwa die Hälfte aller verkauften Systeme ab (siehe Abbildung 2-11). Ein sehr ähnliches Bild zeigt sich für den europäischen Markt, auch hier haben dieselben Unternehmen vergleichbare Marktanteile (EuPD Research Sustainable Management GmbH 2017).

Abbildung 2-11: Marktanteile verkaufter Batteriespeichersysteme 2016



Quelle: EuPD Research Sustainable Management GmbH (2017)

Energieversorger

Auch Energieversorger bieten ihren Kunden mittlerweile PV-Batteriespeicher an. Dadurch, dass sie keine eigenen Speichersysteme produzieren, kooperieren sie in der Regel mit ausgewählten Batterieherstellern. Sowohl sehr große Energieversorger wie E.ON oder Vattenfall haben entsprechende Angebote in ihrem Portfolio als auch kleinere Versorger, wie z.B. die Stadtwerke Jena. Manche Energieversorger bieten keine konkreten Produkte zum Kauf an, sondern stellen auf ihren Internetseiten Beratungsangebote und Informationen für mögliche Interessenten zur Verfügung. Die Elektrizitätswerke Schönau (EWS) bieten ihren Stromkunden beispielsweise ein Förderprogramm für PV-Batteriespeicher für Privathaushalte mit Fokussierung auf Speichersysteme und Hersteller, die sich bezüglich Umweltrelevanz und Qualität positiv hervorheben.

Weitere Akteure

Weitere aktive Akteure sind Beratungsunternehmen, die sich auf Dienstleistungen rund um Batteriespeicher spezialisiert haben. Sie helfen unter anderem bei der Auswahl der Technik und der Dimensionierung der Anlagen. Auch verschiedene Online-Portale adressieren die Thematik, stellen Interessenten Informationen zusammen oder vermitteln Beratungen.

2.6. Marktübersichten für PV-Batteriespeicher

Einen jeweils umfassenden Überblick über das PV-Batteriespeicherangebot mit technischen Details zu den am Markt verfügbaren Batteriespeichersystemen findet man unter anderem in den in Tabelle 2-9 aufgeführten Online-Marktübersichten. Die letzte Aktualisierung sollte dabei jeweils beachtet werden.

Tabelle 2-9: Online-Marktübersichten zu Photovoltaik-Batteriespeichern

	Webseiten mit Marktübersichten
CARMEN e.V. (Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk e.V.)	https://www.carmen-ev.de/sonne-wind-co/stromspeicher/batterien/813-marktuebersicht-fuer-batteriespeichersysteme
Manager Magazin	http://www.manager-magazin.de/unternehmen/artikel/solaranlage-hier-finden-sie-die-besten-stromspeicher-a-1144767.html
PV Magazine	https://www.pv-magazine.de/marktuebersichten/batteriespeicher/
Solaranlagen-Portal	https://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/stromspeicher/photovoltaik-speicher

Quelle: Eigene Zusammenstellung

3. Entwicklung eines digitalen Beratungstools: „Stromspar-Speicherrechner“

Zielsetzung dieses Arbeitspakets ist die Entwicklung eines digitalen Beratungstools, mit dem die Wirtschaftlichkeit von Batteriespeichern in Kombination mit Maßnahmen zum Stromsparen berechnet werden kann. Erste überschlägige Rechnungen während der Antragsphase zu diesem Vorhaben haben gezeigt, dass über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ein sehr großes finanzielles Einsparpotenzial durch Maßnahmen zum Stromsparen besteht.

Das im Rahmen dieses Vorhabens zu entwickelnde Beratungstool soll daher erstmalig die finanziellen Potenziale des Stromsparens in die Gesamtwirtschaftlichkeitsrechnung für Photovoltaikspeicher mit einbeziehen. Im Ergebnis soll der Nutzer eine Darstellung erhalten, ob und in welcher Höhe sich Einsparungen beim Stromverbrauch im Haushalt auf die Gesamtwirtschaftlichkeit der geplanten Investitionen für einen Batteriespeicher auswirken.

3.1. Auswertung bestehender Online-Tools für PV-Batteriespeicher

Im Internet gibt es bereits zahlreiche Speicherrechner verschiedener Akteure sowohl von Herstellern bzw. Anbietern von Batterien als auch von Energieversorgungsunternehmen, Photovoltaik-Magazinen und anderen unabhängigen Akteuren wie Hochschulen, Energieagenturen oder Testzeitschriften. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde eine Reihe dieser Tools ausgewertet (siehe Anhang, Abschnitt 9.1), zum einen, um zu analysieren, ob der Aspekt des Einsparens von Strom als mögliche Maßnahme bereits integriert ist, zum anderen, um einen Überblick über die zugrunde liegenden Strukturen, Fragestellungen und verwendeten Eingangsparameter zu erhalten und hieraus Rückschlüsse für das im Rahmen dieses Vorhabens zu entwickelnde Beratungstool zu ziehen. Die Auswertung der vorhandenen Tools zeigt folgendes:

Grundsätzlich sind manche der Rechner sehr detailliert mit verschiedenen Schritten sowie hinterlegten Erläuterungen und zusätzlichen Informationen. Andere Tools sind sehr einfach und man

bekommt bereits nach wenigen Eingaben ein Ergebnis angezeigt. Manche Rechner sind nur für bereits bestehende PV-Anlagen anwendbar, andere auch dann, wenn eine PV-Anlage erst in Planung ist. Alle Tools haben jeweils eine unterschiedliche Zielsetzung und weisen unterschiedliche Parameter im Ergebnis aus. Nicht alle Tools sind Wirtschaftlichkeitsrechner, manche bestimmen auch nur den Eigenverbrauch und Autarkiegrad bzw. die Dimensionierung des Speichers und/oder der PV-Anlage.

Fast alle Rechner sind ausschließlich für Privathaushalte zugeschnitten. Bei einem Tool kann man auswählen, ob man ein Privathaushalt ist oder nicht, ein anderer Rechner bietet explizit auch eine Auswahlmöglichkeit für Gewerbe und entsprechende Lastprofile an.

Alle Rechner beziehen den Jahresstromverbrauch mit ein entweder durch direkte Eingabemöglichkeit des Nutzers oder alternativ auf Basis von hinterlegten Durchschnittswerten für verschiedene Haushaltsgrößen. Hierbei gibt es jedoch zwischen den verschiedenen Tools deutliche Bandbreiten bei den verwendeten Annahmen für die durchschnittlichen Stromverbräuche der verschiedenen Haushaltsgrößen: für Zwei-Personen-Haushalte werden beispielsweise Verbräuche von 3.000 bis 3.500 kWh/Jahr hinterlegt, bei Vier-Personen-Haushalten liegt die verwendete Bandbreite zwischen 4.200 und 5.200 kWh/Jahr. Keines der Tools erläutert die verwendeten Durchschnittswerte für den Stromverbrauch.

Mehrere Rechner bieten unterschiedliche Verbrauchsprofile zur Auswahl, je nachdem, wie häufig die Personen typischerweise tagsüber zu Hause sind. Bei einem Rechner kann man ergänzend beim Lastprofil auswählen, ob eine Wärmepumpe vorhanden ist. Ein weiterer Rechner fragt ab, ob eine Wärmepumpe und/oder ein Elektroauto vorhanden sind; diese Daten werden jedoch nicht in die Berechnungen einbezogen, sondern es erscheint ein Informationstext mit dem Hinweis, dass aufgrund der sehr unterschiedlichen Wärmepumpentechnologien und Regelungsmechanismen keine pauschale Berechnung des Einflusses auf den Eigenverbrauch durchgeführt werden kann bzw. der Hinweis, dass Pauschalangaben über die Erhöhung der Eigenverbrauchsquote bei Nutzung eines Elektrofahrzeugs nicht so einfach gemacht werden können, da das Ladeverhalten des E-Autos einen großen Einfluss auf den Eigenverbrauch hat.

Bezogen auf den Jahresertrag der Photovoltaik-Anlage muss der Nutzer bei manchen Tools die Leistung der PV-Anlage selbst eintragen. Bei anderen Rechnern werden ausführliche Parameter abgefragt und daraus die PV-Anlagenleistung ermittelt: Anlagenstandort via Postleitzahl oder GoogleMaps; Anlagenart, Himmelsausrichtung, Dachneigung, Dachfläche, Leistung pro PV-Modul und erwartete jährliche Ertragsminderung durch die Alterung der Solarzellen.

Bei keinem der analysierten Tools wird angegeben, auf Basis welcher Speichertechnologie die Dimensionierungen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen erfolgen. Nur bei einem Tool wird in den Hintergrunddaten angegeben, dass der Speicher im zugrunde gelegten Betrachtungszeitraum einmal ersetzt werden muss (anteilige Berücksichtigung).

Die vorgeschlagene Dimensionierung des Batteriespeichers wird von keinem der Tools für den Nutzer erläutert; bei einem Tool beträgt die vorgeschlagene Größe unabhängig von allen anderen Eingangsparametern immer 2 kWh und erscheint daher für einige Anwendungsfälle eher unterdimensioniert. Bei einem anderen Rechner werden dagegen in Abhängigkeit vom Jahresstromverbrauch des Nutzers konkrete Speichergrößen des Batterieherstellers angeboten, die jedoch eher überdimensioniert wirken. Bei einzelnen Rechnern kann die vorgeschlagene Größe des Batteriespeichers nachträglich durch den Nutzer noch verändert werden.

Eines der analysierten Tools weist als Ergebnis die im Zeitraum der Anlagenlebensdauer vermiedenen CO₂-Emissionen aus unter der Annahme, dass die produzierte Solarstrommenge den entsprechenden Anteil an Strom des durchschnittlichen deutschen Strom-Mixes substituiert.

Bezogen auf die Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden unterschiedliche Ergebnisse angezeigt. Einige Rechner weisen lediglich pauschal die Stromkostensparnis pro Jahr bzw. über einen definierten Zeitraum aus (oft 20 Jahre, bei einzelnen Tools 25 Jahre), d.h. die Stromkosten ohne Photovoltaik-Anlage und Speicher im Vergleich zu den Stromkosten mit installierter PV-Anlage und Speicher. Andere Tools weisen dagegen detailliertere Parameter aus und differenzieren zwischen den Einnahmen durch die Einspeisung des Stroms (EEG Einspeisevergütung des Überschussstroms), der Ersparnis durch Nutzung des Eigenstroms und beziehen die Kosten mit ein (einmalige Investitionskosten der Solar-Anlage bzw. des Batteriespeichers, Kosten für Betrieb und Instandhaltung).

Während ein Rechner die Rendite der PV-Anlage ohne / mit Speicher bzw. die Rendite des Speichersystems darstellt, muss bei einem anderen Rechner die zu erwartende Rendite als Eingabeparameter vom Nutzer festgelegt werden. Lediglich zwei der analysierten Rechner beziehen eine mögliche Finanzierung bzw. Förderzuschüsse mit ein und weisen entsprechend Eigenkapital und Kosten für Zins und Tilgung mit aus; eines der analysierten Tools betrachtet explizit die steuerliche Wirkung der Investition (Zahlung bzw. Ersparnis von Einkommenssteuer sowie Umsatzsteuer auf selbstgenutzten Strom).

Nur bei wenigen Rechnern ist die künftige Entwicklung der Strompreise explizit adressiert. Diese kann entweder durch den Nutzer des Tools selbst ausgewählt werden oder es sind Annahmen hinterlegt. Dabei sind jedoch immer nur Erhöhungen auswählbar sowie lediglich lineare Entwicklungen möglich. Keines der Tools bietet die Möglichkeit, in der Zukunft zum Beispiel auch mit sinkenden Stromkosten zu simulieren.

Keines der analysierten Tools bezieht schließlich in seine Berechnungen die Möglichkeiten des Stromsparens und dessen Auswirkungen auf die Gesamtwirtschaftlichkeit mit ein.

3.2. Struktur des zu entwickelnden Wirtschaftlichkeitsrechners für PV-Batteriespeicher unter Berücksichtigung von Stromeinspar-Potenzialen

Zielsetzung des im Rahmen dieses Vorhabens zu entwickelnden Wirtschaftlichkeitsrechners ist die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Investition in einen Photovoltaik-Batteriespeicher unter Einbezug des Stromsparpotenzials des Haushalts in die Wirtschaftlichkeitsberechnung. Ausgehend vom Aufbau der zuvor analysierten vorhandenen Online-Tools werden für diesen Wirtschaftlichkeitsrechner zwei grundsätzliche Pfade ermöglicht (siehe Abbildung 3-1):

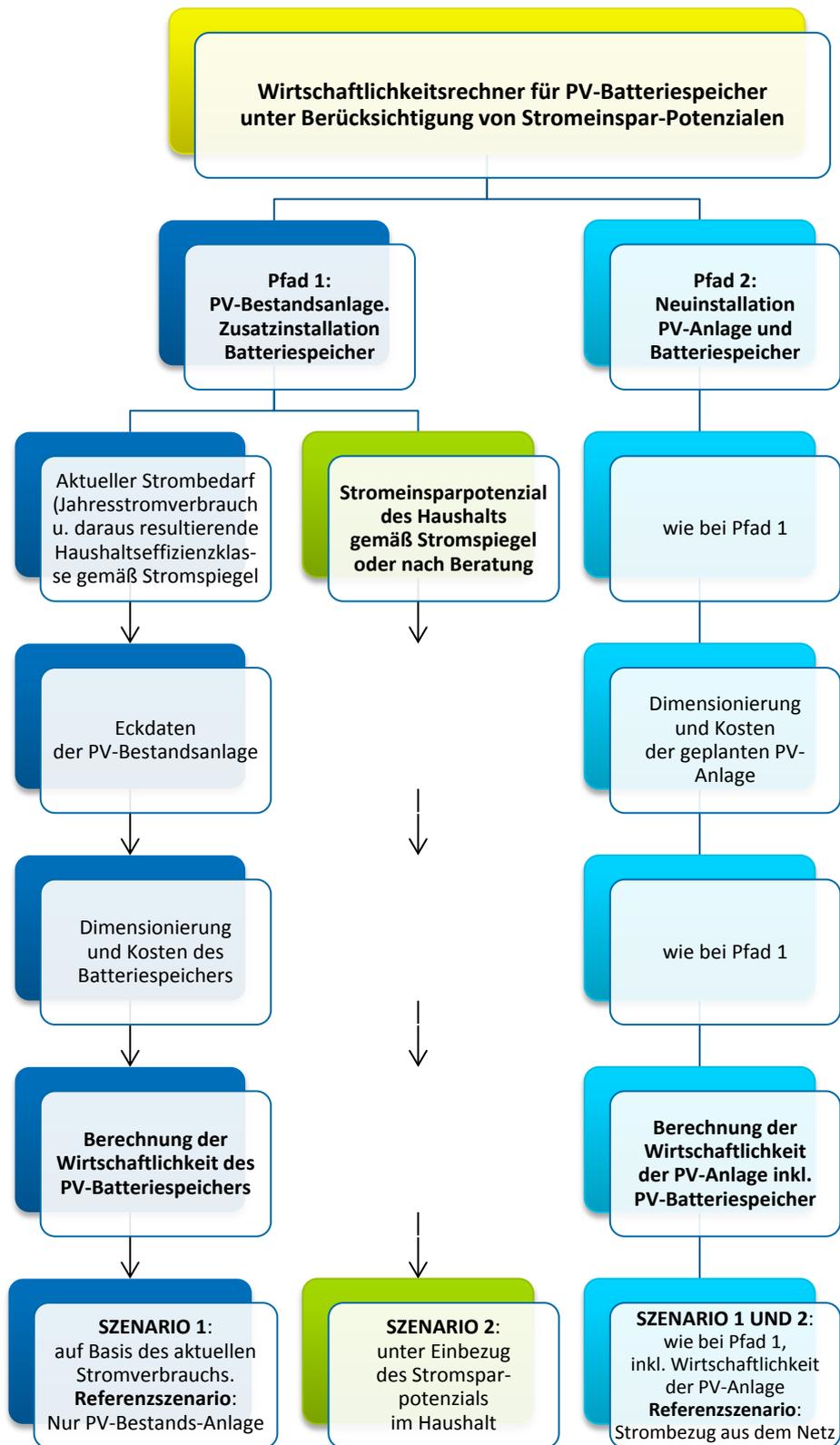
- Im ersten Pfad ist bereits eine Photovoltaik-Anlage vorhanden (PV-Bestandsanlage); in die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird lediglich die nachträgliche Installation eines PV-Batteriespeichers in Kombination mit möglichen Stromeinsparpotenzialen einbezogen.
- Im zweiten Pfad plant der Haushalt die Neuinstallation einer Photovoltaik-Anlage in Kombination mit einem Batteriespeicher, d.h. in die Wirtschaftlichkeitsberechnung werden die Investitions- und Betriebskosten der PV-Anlage, die Installation des Batteriespeichers und die möglichen Stromeinsparpotenziale einbezogen.

Wie in Abbildung 3-1 dargestellt, gibt der Nutzer zunächst seinen aktuellen Strombedarf an und erhält daraus in Anlehnung an den Stromspiegel 2017 (co2online gGmbH 2017) die resultierende Effizienzklasse des Haushalts angezeigt. Auf dieser Basis ergeben sich unterschiedlich hohe Einsparpotenziale für den Stromverbrauch des Haushalts.

Bei PV-Bestandsanlagen kann der jährliche Ertrag eingegeben werden, bei Neuinstallationen kann über die vorhandene Dachfläche die Dimensionierung der PV-Anlage variiert und über die geplante Größe und geographische Lage der jährliche Solarertrag berechnet werden. Das Jahr der Inbetriebnahme bestimmt zudem die Höhe der EEG-Einspeisevergütung. Im nächsten Schritt werden die Dimensionierung und die damit verbundenen Kosten des Batteriespeichers festgelegt. Auf Basis dieser Eingabeparameter des Nutzers sowie weiterer hinterlegter Annahmen und Kennwerte (Details siehe nächster Abschnitt) wird im Ergebnis die Wirtschaftlichkeit der Anschaffung eines Batteriespeichers in Szenarien dargestellt:

- Szenario 1: Anschaffung eines Batteriespeichers auf Basis des derzeitigen Stromverbrauchs
- Szenario 2: Anschaffung eines Batteriespeichers unter Einbezug des Stromsparpotenzials des Haushalts
- Referenzszenario: Ausgangssituation, d.h. im ersten Pfad eine PV-Bestandsanlage ohne Batteriespeicher, im zweiten Pfad ausschließlich die Kosten für den Strombezug aus dem Netz.

Abbildung 3-1: Grundsätzlicher Aufbau des Wirtschaftlichkeitsrechners für PV-Batteriespeicher unter Berücksichtigung von Stromeinspar-Potenzialen



Quelle: Öko-Institut e.V.

3.3. Spezifischer Aufbau des zu entwickelnden Wirtschaftlichkeitsrechners

Ergänzend zur allgemeinen Marktanalyse (siehe Abschnitt 2) wurden zur Entwicklung des Wirtschaftlichkeitsrechners noch weitere Informationen und Daten recherchiert und als Hintergrundparameter für die Berechnungen im Tool genutzt. Diese werden im Folgenden erläutert.

3.3.1. Toolparameter zum Strombedarf und Bestimmung der Stromeffizienzklasse

Vorhandene Wirtschaftlichkeitsrechner für PV-Batteriespeicher beziehen den Jahresstromverbrauch ein entweder durch direkte Eingabemöglichkeit des Nutzers oder alternativ auf Basis von hinterlegten Durchschnittswerten für verschiedene Haushaltsgrößen, die jedoch deutliche Bandbreiten aufweisen. Keines der Tools erläutert die verwendeten Durchschnittswerte (vgl. Abschnitt 3.1). Der im Rahmen dieses Vorhabens entwickelte Wirtschaftlichkeitsrechner bezieht sich dagegen explizit auf den sogenannten „Stromspiegel für Deutschland“ (co2online gGmbH 2017). Der Stromspiegel differenziert den Stromverbrauch von Haushalten nicht nur nach der Anzahl von Personen im Haushalt, sondern auch, ob es sich um ein Ein- bis Zweifamilienhaus oder eine Wohnung im Mehrfamilienhaus handelt, und ob die Warmwasserbereitung mit oder ohne Strom erfolgt. Die daraus resultierenden verschiedenen Stromverbräuche werden jeweils sieben Klassen zugeordnet, so dass man innerhalb einer Kategorie zwischen geringen bis zu sehr hohen Verbräuchen differenzieren kann, siehe Abbildung 3-2.

Abbildung 3-2: Stromeffizienzklassen gemäß Stromspiegel 2017

Gebäudetyp	Warmwasser	Personen im Haushalt	Verbrauch in Kilowattstunden (kWh) pro Jahr						
			Gering	A	B	C	D	E	F
Ein- oder Zweifamilienhaus	ohne Strom	1 Person	bis 1.300	bis 1.700	bis 2.000	bis 2.500	bis 3.000	bis 4.000	über 4.000
		2 Personen	bis 2.100	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.200	bis 3.600	bis 4.400	über 4.400
		3 Personen	bis 2.600	bis 3.000	bis 3.500	bis 3.900	bis 4.300	bis 5.200	über 5.200
		4 Personen	bis 2.900	bis 3.500	bis 3.800	bis 4.200	bis 4.900	bis 5.900	über 5.900
	mit Strom	1 Person	bis 1.500	bis 2.000	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.600	bis 5.000	über 5.000
		2 Personen	bis 2.500	bis 3.000	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.500	bis 5.800	über 5.800
		3 Personen	bis 3.000	bis 3.800	bis 4.200	bis 4.900	bis 5.700	bis 7.300	über 7.300
		4 Personen	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.800	bis 5.500	bis 6.300	bis 8.000	über 8.000
Wohnung im Mehrfamilienhaus	ohne Strom	1 Person	bis 800	bis 1.000	bis 1.200	bis 1.500	bis 1.800	bis 2.200	über 2.200
		2 Personen	bis 1.300	bis 1.600	bis 2.000	bis 2.200	bis 2.600	bis 3.100	über 3.100
		3 Personen	bis 1.700	bis 2.000	bis 2.400	bis 2.800	bis 3.200	bis 3.900	über 3.900
		4 Personen	bis 1.900	bis 2.400	bis 2.800	bis 3.200	bis 3.700	bis 4.500	über 4.500
	mit Strom	1 Person	bis 1.200	bis 1.500	bis 1.800	bis 2.000	bis 2.400	bis 3.000	über 3.000
		2 Personen	bis 2.000	bis 2.500	bis 2.900	bis 3.100	bis 3.500	bis 4.200	über 4.200
		3 Personen	bis 2.600	bis 3.200	bis 3.700	bis 4.100	bis 4.700	bis 5.600	über 5.600
		4 Personen	bis 2.800	bis 3.500	bis 4.000	bis 4.600	bis 5.400	bis 6.500	über 6.500

Quelle: (co2online gGmbH 2017)

Der Stromspiegel ist Teil der Stromsparinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. In seine aktuelle Überarbeitung sind zentrale Ergebnisse aus dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsprojekt "Stromeffizienzklassen für Haushalte" von ISOE – Institut für sozial-ökologische Forschung und Öko-Institut e.V. eingeflossen (siehe <http://www.stromeffizienzklassen.de/>).

Der Wirtschaftlichkeitsrechner legt zur Bewertung des aktuellen Strombedarfs des Haushalts die Matrix des Stromspiegels 2017 zugrunde. Hierzu gibt der Nutzer seinen Jahresstromverbrauch an, die Anzahl an Personen im Haushalt, den Gebäudetyp sowie die Art der Warmwasserbereitung (siehe Abbildung 3-3). Mit diesen Angaben wird dem Nutzer seine Einstufung bei den Stromeffizienzklassen angezeigt. Er erhält somit eine Einschätzung seines Stromverbrauchs im Vergleich zu anderen Haushalten und kann zugleich sein mögliches Einsparpotenzial erkennen.

Der Wirtschaftlichkeitsrechner verwendet ein durchschnittliches Lastprofil, das die Art der Warmwasserbereitung mit einbezieht. Weitere Parameter mit Einfluss auf das Lastprofil (z.B. Wärmepumpe, Elektrofahrzeuge, Anwesenheitszeiten) werden aus Komplexitätsgründen in dem Tool nicht berücksichtigt.

Abbildung 3-3: Tool-Abschnitt „Verbrauchswerte und Berechnung der Stromeffizienzklassen“

Verbrauchswerte und Berechnung der Stromeffizienzklasse

Jahresstromverbrauch (kWh/a)

Haushaltsgröße (Personen im Haushalt)

Gebäudetyp
 Wohnung im Mehrfamilienhaus
 1-2 Familienhaus/Reihenhaus/Doppelhaushälfte

Elektrisch Warmwasser
 Ja Nein

Die derzeitige Stromeffizienzklasse Ihres Haushaltes ist: Klasse C

==>

Klasse A
Klasse B
Klasse C
Klasse D
Klasse E
Klasse F
Klasse G

 Die Skale der Stromeffizienzklassen geht von **A (sehr gut)** bis **G (sehr schlecht)**. Die Einstufung berechnet sich aus Ihrem Jahresstromverbrauch, der Haushaltsgröße, dem Gebäudetyp und ob sie Ihr Warmwasser elektrisch aufbereiten.

zu den SEK Klassen

Quelle: Öko-Institut e.V.

Eingabe durch den Nutzer

- Jahresstromverbrauch (kWh)

Auswahlmöglichkeit durch den Nutzer

- Haushaltsgröße (1/2/3/4/5 Personen im Haushalt)
- Wohnung im Mehrfamilienhaus oder 1-2-Familienhaus / Reihenhaus / Doppelhaushälfte
- WW-Bereitung (mit/ohne Strom),

Im Tool hinterlegte Daten zur Berechnung und Ausgabe

- Einteilung der Stromeffizienzklassen nach Stromspiegel 2017 (co2online gGmbH 2017)
- Typisches Lastprofil für einen Drei-Personen-Haushalt für Warmwasser-Bereitung ohne bzw. mit Strom (mit Strom: auf Basis eines Durchlauferhitzers). Die verwendete Lastkurve wurde von der Forschungsgruppe „Energy Efficient and Smart Cities“ von Frau Dr. Cheng an der Technischen Universität München zur Verfügung gestellt (Jambagi & Kramer 2015). Das für die Berechnun-

gen verwendete Lastprofil wird anschließend anhand des vom Benutzer angegebenen Jahresstromverbrauches skaliert.

Für das Tool getroffene Annahmen

Weitere mögliche Parameter mit Einfluss auf das Lastprofil (z.B. Wärmepumpe, Elektrofahrzeuge, Anwesenheit vorwiegend tagsüber oder morgens/abends) werden aus Komplexitätsgründen in dem Tool nicht berücksichtigt.

Ausgabe / Darstellung

- Energieeffizienzklasse nach Stromspiegel 2017
- Möglichkeit zur Verlinkung auf ein gesondertes Tabellenblatt mit detaillierter Anzeige des Stromspiegels, der aktuellen Einstufung des Nutzers im Vergleich zu anderen Stromeffizienzklassen sowie Auswahlmöglichkeiten für Stromeinsparpotenziale (siehe Abschnitt 3.3.4)
- Diagramm mit Darstellung des monatspezifischen Stromverbrauchs in Abhängigkeit vom Gesamtverbrauch und den hinterlegten Lastprofilen. Parallel dazu wird in dem Diagramm die monatspezifische Solarproduktion dargestellt, siehe Abschnitt 3.3.2.

3.3.2. Toolparameter zur Dimensionierung und zum Solarertrag der PV-Anlage

Im nächsten Schritt werden die Parameter der Photovoltaik-Anlage festgelegt. Das Tool bietet die Auswahlmöglichkeit zwischen einer PV-Bestandsanlage oder der Neuinstallation einer PV-Anlage (siehe Abbildung 3-4).

Bei einer vorhandenen PV-Anlage kann der Nutzer die reale Nennkapazität der Anlage angeben und auswählen, ob die Anlage zur ausschließlichen Netzeinspeisung dienen soll. In diesem Fall wird die Gesamtmenge des erzeugten PV-Stroms bis zum Ende der EEG-Vergütung ins Netz eingespeist und erst nach Ablauf der EEG-Vergütung auf Nutzung des Eigenstroms mittels Batteriespeicher umgestellt.

Ist noch keine PV-Anlage vorhanden und plant der Nutzer eine Neuinstallation, so wird über die Eingabe der vorhandenen Dachfläche die Nennkapazität der PV-Anlage sowie die entsprechenden Installationskosten abgeschätzt. Beide Werte können individuell überschrieben werden, wenn dem Nutzer zum Beispiel ein konkretes Angebot vorliegt.

Der Solarertrag der PV-Anlage wird über die Angabe der ersten beiden Ziffern der Postleitzahl bestimmt. In Abhängigkeit von der geographischen Lage erfolgt eine geographische Differenzierung der solaren Einstrahlung anhand einer Kombination der Postleitzahl und Zuordnung zu den 80 größten deutschen Städten. Weitere Parameter wie z.B. Dachausrichtung / Dachneigung / Anlagenart (Aufdach, Flachdach etc.) werden nicht berücksichtigt (Details siehe unten).

Über den zurückliegenden bzw. geplanten Zeitpunkt der Inbetriebnahme der PV-Anlage werden die Höhe und das Ablaufdatum der EEG-Vergütung bestimmt.

Abbildung 3-4: Tool-Abschnitt „Dimensionierung und Bestimmung des Solarertrages der PV-Anlage“

Dimensionierung und Bestimmung des Solarertrages der PV-Anlage

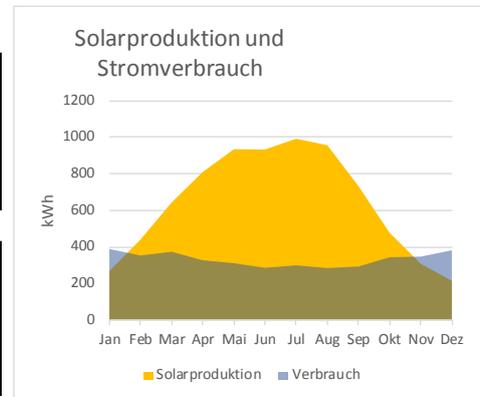
PV Anlage bereits vorhanden? Ja Nein

PV-Neuanlage

Vorhandene Dachfläche in m ²	50
Nennkapazität der PV-Anlage (kWp) (max. 10 kWp)	8,0 kWp <i>überschreiben</i>
Kosten für PV Anlage in Euro	10.240 € <i>überschreiben</i>
Geplanter Installationszeitpunkt PV-Anlage (Monat und Jahr)	Dezember 2017

PV-Bestandsanlage

PV Anlage zur ausschließlichen Netzeinspeisung?	ja
Nennkapazität der PV-Anlage (kWp) (max. 10 kWp)	5,0 kWp
Monat und Jahr der Inbetriebnahme der PV-Anlage	Mai 2002
Geplanter Installationszeitpunkt Batteriespeicher (Jahr)	2018



EEG Einspeisevergütung

Einspeisevergütung (Cent / kWh)	12,20 Cent <i>überschreiben</i>
Auslauf der EEG Einspeisevergütung	31.12.2037

Bestimmung des Solarertrages anhand der Postleitzahl

Region nach Postleitzahl	bitte auswählen
Spezifischer jährlicher Solarertrag (kWh/kWp)	965 kWh <i>überschreiben</i>
Solarertrag absolut (kWh/Jahr)	7720 kWh <i>überschreiben</i>

auf Auswahlfeld klicken

Quelle: Öko-Institut e.V.

Eingabe durch den Nutzer

- Vorhandene Dachfläche in m² (bei geplanter Neuanlage)
- Bei PV-Bestandsanlage: Nennkapazität (kWp)
- Geplanter Installationszeitpunkt Batteriespeicher (Jahr)

Auswahlmöglichkeit durch den Nutzer

- PV-Anlage vorhanden / nicht vorhanden
- Bei PV-Bestandsanlage: PV-Anlage ausschließlich zur Netzeinspeisung ja / nein
- Jahr und Monat der Inbetriebnahme der PV-Anlage (bei Bestandsanlage rückwirkend bis 1997, bei Neuanlagen geplantes Installationsdatum bis einschließlich Ende 2020)
- Geographische Lage durch Auswahl der ersten beiden Ziffern der Postleitzahl

Im Tool hinterlegte Daten zur Berechnung und Ausgabe

- Durchschnittliche Leistung pro PV-Modul (Wp/m²); Annahme: Multikristalline Dickschichtmodule mit einer durchschnittlichen Leistung von 160 Wp/m²

- Jahresertrag in Abhängigkeit von der geographischen Lage (European Commission o.J.): Geographische Differenzierung der solaren Einstrahlung anhand einer Kombination der Postleitzahl und Zuordnung zu den 80 größten deutschen Städten.
- EEG-Einspeisevergütung und Eigenverbrauchsbonus (Details siehe unten)
- Kosten der PV-Anlage in Abhängigkeit von der Nennkapazität (Details siehe unten)
- Kostendegression der PV-Anlage: 5 Prozent pro Jahr bei einer Installation nach 2017

Für das Tool getroffene Annahmen

- Weitere Parameter wie z.B. Dachausrichtung / Dachneigung / Anlagenart (Aufdach, Flachdach etc.) werden aus Komplexitätsgründen nicht berücksichtigt. Es wird eine typische Erzeugungskurve verwendet und diese mit Bezug auf die Jahresstromerzeugung der Anlage in Abhängigkeit von der geographischen Region skaliert. Bei Bedarf können die vorgeschlagenen Werte überschrieben werden.
- Es wird keine jährliche Ertragsminderung der PV-Anlage berücksichtigt. Begründung: Über die Jahre verringert sich der Stromertrag einer PV-Anlage auf Grund jährlicher Ertragsminderungen. Häufig wird dieser Wert konservativ mit 0,5 Prozent angenommen. Laut (Wirth 2017) liegt der Faktor jedoch pro Jahr für die gesamte Anlage inklusiv der Module bei 0,1 Prozent relativer Abnahme des Wirkungsgrades. Die sich daraus ergebenden Änderungen des erzeugten Ertrags sind für den Batterierechner vernachlässigbar gering und werden daher im Tool nicht berücksichtigt.
- Annahme, dass die PV-Anlage (auch bei älteren Bestandsanlagen) 20 Jahre hält und im Betrachtungszeitraum nicht ausgetauscht werden muss.

Ausgabe / Darstellung

- Nennkapazität der PV-Anlage (kWp, berechnet auf Basis der Dachfläche)
- Kosten für die PV-Anlage
- Spezifische EEG-Einspeisevergütung (Cent/kWh) und Auslaufdatum, in Abhängigkeit vom angegebenen Installationsdatum der PV-Anlage
- Spezifischer und absoluter jährlicher Solarertrag (kWh/kWp sowie kWh/Jahr)
- Diagramm mit Darstellung der monatspezifischen Solarproduktion in Abhängigkeit vom jährlichen Solarertrag je nach Größe und geographischer Lage der PV-Anlage. Parallel dazu wird in dem Diagramm der monatspezifische Stromverbrauch dargestellt, siehe Abschnitt 3.3.1.

Möglichkeiten zum Überschreiben durch den Nutzer

- Nennkapazität der PV-Anlage, z.B. wenn diese kleiner als die vorhandene Dachfläche ausgelegt werden soll, Solarmodule mit anderer Leistung verwendet werden, oder ein konkretes Angebot vorliegt
- Kosten für die PV-Anlage, z.B. auf Basis eines konkreten Angebots
- EEG-Einspeisevergütung
- Spezifischer und absoluter jährlicher Solarertrag, z.B. wenn detaillierte Erfahrungswerte der PV-Bestandsanlage vorliegen oder aufgrund ungünstiger Bedingungen (z.B. Ost-West-Ausrichtung oder Verschattung) niedrigere Erträge vermutet werden

Dimensionierung der PV-Anlage

Gemäß Finke (o.J.c) sollte die Nennleistung einer Photovoltaikanlage (üblicherweise in kWp angegeben) bei Hausdach-Anlagen für Ein- oder Zweifamilienhäuser 1,2 bis 4-mal dem Strombedarf (in kWh/1000) entsprechen. Auf Ein- bis Zweifamilienhäusern oder Mietshäusern werden in der Regel Dachanlagen bis einschließlich 10 kWp installierter Leistung installiert.

Solarstrom aus Dachanlagen bis 10 kWp wird zudem nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) bis zu 100 Prozent der Anlagenleistung vergütet, während für PV-Anlagen über 10 kWp andere Bedingungen gelten. (Finke o.J.b) Im Tool ist aus diesem Grund die Größe der PV-Anlage auf maximal 10 kWp gedeckelt, damit die hinterlegten Werte der Einspeisevergütung Gültigkeit haben; dies entspricht einer maximal nutzbaren Dachfläche von ca. 60 m².

Für die Berechnung der Nennkapazität der PV-Anlage in Abhängigkeit von der Größe der vorhandenen Dachfläche wird angenommen, dass es sich um Dickschichtmodule aus multikristallinem Silizium mit einer durchschnittlichen Leistungsdichte von 160 Wp/m² handelt. Laut Finke (o.J.a) werden diese überwiegend für Anlagen auf Dächern von Ein- und Zweifamilienhäusern verwendet, da deren Fläche beschränkt ist und sie im Vergleich zu Dünnschichtmodulen auf derselben Fläche 20 bis 40 Prozent mehr Strom erzeugen.

Die Dachausrichtung und Neigung des Daches haben einen Einfluss auf die erzeugte Energiemenge. Eine PV-Anlage, die nach Süden ausgerichtet ist und einen Aufstellwinkel von 30-35° hat, erzeugt im Vergleich am meisten Energie. Je weiter die Ausrichtung und der Winkel davon abweichen, desto niedriger wird die erzeugte Energiemenge. So erzeugt eine komplett nach Süden ausgerichtete PV-Anlage im Vergleich zur optimalen Aufstellung (30 – 35° = 100 Prozent Erzeugung) bei einem Aufstellwinkel von 0° ca. 13 Prozent weniger, bei 90° sind es 31 Prozent weniger erzeugte Energie. Bei einem optimalen Aufstellwinkel von 30° erzeugt eine Ost-West ausgerichtete Anlage 18 Prozent weniger Strom als eine nach Süden ausgerichtete Anlage (Märtel o.J.a). Für das Tool werden Dachausrichtung und Neigung aus Komplexizitätsgründen nicht detaillierter einbezogen. Es besteht jedoch die Möglichkeit, die automatisch berechnete Nennkapazität der PV-Anlage manuell zu überschreiben und z.B. bei nicht optimalen Bedingungen den Jahresertrag entsprechend zu reduzieren.

Kosten der PV-Anlage

Gemäß Photovoltaik-Preismonitor Deutschland im Auftrag des Bundesverband Solarwirtschaft betragen die durchschnittlichen Systempreise (Nettopreise inkl. Lieferung und Montage) für PV-Aufdachanlagen 2016 (Schmole 2016):

- 1.688 Euro/kWp für Anlagen < 3 kWp
- 1.456 Euro/kWp für Anlagen 3-10 kWp

Laut Finke (o.J.d) kommen zu den PV-Anschaffungskosten noch Netzanschlusskosten hinzu, die sich zusammensetzen aus den Kosten für den Bau bzw. Umbau des Zählerkastens und für den Ankauf bzw. die Miete des Einspeisezählers. Für die Miete sind dabei rund 30 Euro pro Jahr zu veranschlagen, für den Kauf einmalig zwischen 500 und 1.000 Euro. Unter den Betriebskosten einer PV-Anlage sind die Wartungskosten mit jährlich rund ein Prozent des Anlagenpreises der aufwändigste Posten. Die Kosten für eine PV-Versicherung sind mit etwa 0,3 bis 0,8 Prozent des Anlagenkaufpreises anzusetzen.

Für den Wirtschaftlichkeitsrechner werden auf Basis dieser Informationen folgende Kosten zugrunde gelegt: Für eine kleine Anlage mit einer Nennkapazität von 1 kWp werden Anschaffungskosten (umfasst PV-Module, Wechselrichter, sonstige Anlagenkomponenten, Lieferung und Mon-

tage) in Höhe von 1.688 Euro/kWp angenommen, für eine mittlere Anlage mit 5 kWp Nennkapazität 1.400 Euro/kWp und für große PV-Anlagen mit 10 kWp werden 1.200 Euro/kWp angenommen. Für alle anderen Nennkapazitäten werden die Anschaffungskosten entsprechend interpoliert. Ergänzend werden Betriebskosten (inkl. Wartung, Instandhaltung, Versicherung und Betrieb) in Höhe von jährlich zwei Prozent des Anlagenpreises angenommen. Ausgehend vom Jahr 2017 wird bei einer Installation in den Folgejahren eine Kostendegression von fünf Prozent pro Jahr angenommen. Im konkreten Fall können die vom Tool vorgeschlagenen Kosten für die PV-Anlage jedoch vom Nutzer überschrieben werden, wenn zum Beispiel ein konkretes Kostenangebot vorliegt.

Finanzielle Fördermöglichkeiten für PV-Anlagen

Für den Erwerb und Ausbau von Photovoltaikanlagen gibt es seitens Bund, Ländern, Banken, aber auch privatwirtschaftlichen Akteuren verschiedene Fördermöglichkeiten, wie z.B. Zuschüsse, zinsverbilligte Kredite und/oder steuerliche Abschreibungsmöglichkeiten, siehe auszugsweise Tabelle 3-1. Eine aktuelle Übersicht über die wichtigsten und größten überregionalen und bundesweiten Förderprogramme für PV-Anlagen bietet beispielsweise (Märtel o.J.b).

Tabelle 3-1: Beispiele für Förderprogramme für PV-Anlagen

Name	Art der Förderung	Höhe Förderung	Anlaufstelle / Verfügbarkeit
Bundesweit			
Einspeisevergütung ¹⁰	staatliche Vergütung (degressiv) Laufzeit 20 Jahre	<13 ct/kWh	Stromnetzbetreiber (Solarteure übernimmt die Antragstellung) / Bundesweit
Regelung innerhalb der Einspeisevergütung ¹¹	staatliche Vergütung, Laufzeit 20 Jahre	10 – 25 ct/kWh	Stromnetzbetreiber / Bundesweit
Erneuerbare Energien – Standard (KfW-Programm 270) ¹²	Finanzierungskredit	bis zu 100 Prozent der förderfähigen Netto-Investitionskosten, max. 50 Mio. Euro	Hausbank bzw. Kreditinstitut eigener Wahl / Bundesweit
Marktprämienmodell ¹³	kombinierte Vergütung aus Erlös am Strommarkt, staatlicher Förderung und Managementprämie	variabel, vergleichbar zur Einspeisevergütung, abzüglich Vermarktungspauschale	Direktvermarktungsunternehmen / Bundesweit

¹⁰ https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/Photovoltaik/DatenMeldgn_EEG-VergSaetze/DatenMeldgn_EEG_VergSaetze.html;jsessionid=01A7214260BD6D1E484499ED549B3872?nn=414658#neuen

¹¹ <https://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/wirtschaftlichkeit/einspeiseverguetung>

¹² [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-\(270\)](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-(270))

¹³ https://www.haus.co/magazin/wp-content/uploads/2017/05/photovoltaik-foerderung_direktvermarktung_bsw-solar.pdf

Name	Art der Förderung	Höhe Förderung	Anlaufstelle / Verfügbarkeit
Regional (Beispiele, unvollständig)			
Förderprogramm Sonnencent ¹⁴	Zuschuss	Förderung für jede ins öffentliche Netz eingespeiste Kilowattstunde Strom, gestaffelt nach PV-Anlagenleistung, für die ersten 5 Betriebsjahre	Elektrizitätswerke Schönau (nur für Stromkunden der EWS) / Bundesweit
Ökostrom Aktiv ¹⁵	Zuschuss	10 Prozent der Netto-Investitionskosten	badenova / Region Freiburg
Förderprogramm Regenerative Energien ¹⁶	Zuschuss	500 Euro	Stadtwerke Marburg / Marburg

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Da die jeweiligen Fördersätze und -bedingungen sehr unterschiedlich sind und die Inanspruchnahme individuell ist, werden mögliche finanzielle Förderungen nicht in die Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens eingebunden. Eine Ausnahme bildet die EEG-Vergütung, siehe folgender Abschnitt. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Inanspruchnahme von finanzieller Förderung die Gesamtwirtschaftlichkeit im Grunde weiter verbessert.

EEG-Vergütung und Eigenverbrauchsbonus

Der Vergütungssatz für den durch die PV-Anlage erzeugten und ins Netz eingespeisten Strom (EEG-Einspeisevergütung) ist abhängig von der Größe der PV-Anlage und dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme; ab diesem Zeitpunkt wird er über 20 Jahre lang gleichbleibend gezahlt. Die im Tool hinterlegten EEG-Vergütungssätze in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Inbetriebnahme der PV-Anlage sind im Anhang (Abschnitt 9.2) aufgelistet. Der im Rahmen dieses Vorhabens entwickelte Wirtschaftlichkeitsrechner ist ausschließlich für PV-Anlagen mit einer Nennleistung bis zu 10 kWp ausgelegt, die in der Regel von Privathaushalten genutzt werden. Für größere Anlagen gelten andere EEG-Vergütungssätze, die nicht im Tool hinterlegt sind.

Für PV-Anlagen, die in den Jahren 2009 bis 2012 in Betrieb genommen wurden, wird zusätzlich zur EEG-Einspeisevergütung ein sogenannter Eigenverbrauchsbonus gezahlt, wenn ein bestimmter Anteil des erzeugten Stroms selbst verbraucht wird. Die Jahreszahl bezieht sich beim Eigenverbrauch immer auf den Zeitpunkt der Inbetriebnahme der PV-Anlage, nicht auf das Jahr, in dem der Solarstrom verbraucht wird. Die jeweiligen Regelungen gelten ab Zeitpunkt der Inbetriebnahme für die gesamte Dauer der kommenden 20 Jahre, für die auch die reguläre Einspeisevergütung gewährt wird. Im Wirtschaftlichkeitsrechner werden nur die fest definierten Sätze bis zum 31.3.2012 verwendet. Nutzer, für die die Übergangsregelung gilt, können den vom Tool vorgeschlagenen Satz jedoch entsprechend überschreiben.

¹⁴ <https://www.ews-schoenau.de/unser-foerderprogramm/foerderung-fuer-photovoltaik-anlage-erhalten/>

¹⁵ https://www.badenova.de/web/Downloads/Privatkunden/%C3%96kostrom/Oekostrom_Aktiv_Foerderprogramm_Photovoltaik.pdf

¹⁶ http://stadtwerke-marburg.de/fileadmin/media/umweltberatung/foerderprogramme/04_foerd_reg_en.pdf

Tabelle 3-2: Im Wirtschaftlichkeitsrechner hinterlegte Sätze für EEG-Eigenverbrauchsbonus

Inbetriebnahmezeitpunkt	Eigenverbrauchsanteil bis 30%	Eigenverbrauchsanteil über 30%
01.01. – 31.12.2009	25,01 ct/kWh	
01.01. – 30.06.2010	22,76 ct/kWh	
01.07. – 30.09.2010	17,67 ct/kWh	22,05 ct/kWh
01.10. – 31.12.2010	16,65 ct/kWh	21,03 ct/kWh
01.01. – 31.12.2011	12,36 ct/kWh	16,74 ct/kWh
01.01. – 31.03.2012	8,05 ct/kWh	12,43 ct/kWh
01.04. – 30.06.2012	Bis zu diesem Tag galt noch eine Übergangsregelung für die Eigenverbrauchsbedingungen aus dem ersten Quartal 2012. Allerdings nur, wenn vor dem 24. Februar 2012 ein Netzanschlussbegehren für die Photovoltaik Anlage beim örtlichen Netzbetreiber gestellt wurde. Dann konnte die Anlage auch noch bis zum 30. Juni in Betrieb genommen werden und bekam trotzdem noch die Eigenverbrauch Vergütung gewährt, auch wenn diese seit dem 01. April bereits ausgelaufen war.	

Quellen: Solarenergie Förderverein Deutschland e.V. (2017); Märkel (o.J.d)

3.3.3. Toolparameter für den PV-Batteriespeicher

Im folgenden Schritt wird die Größe des Batteriespeichers vorgeschlagen, basierend auf einem Verhältnis von 1 kWh Speicherkapazität je 1 kWp Nennkapazität der PV-Anlage. Gleichzeitig werden die voraussichtlichen Kosten für den Erwerb eines Speichers dieser Größenordnung angezeigt. Der Nutzer erhält eine zusätzliche Information, welchem Anteil des durchschnittlichen Tagesverbrauchs die Speicherkapazität entspricht und wie viel Prozent der durchschnittlichen PV-Tagesproduktion mit dieser Speichergröße eingespeichert werden kann¹⁷. Die vorgeschlagene Speicherkapazität kann vom Nutzer überschrieben werden, sollte eine andere Dimensionierung gewünscht sein.

Abschließend informiert das Tool darüber, dass der wirksamste Beitrag zum Klimaschutz dann erzielt wird, wenn der Stromverbrauch des Haushalts verringert wird. Eine Verlinkung führt zur Möglichkeit, das persönliche Einsparpotenzial ermitteln zu lassen (siehe Abschnitt 3.3.4).

¹⁷ Diese Werte sind Jahresdurchschnittswerte (Jahresverbrauch dividiert durch 365 Tage verglichen mit der Batteriekapazität) und entsprechen somit nicht der Eigenverbrauchsquote und dem Autarkiegrad, welche sich auf das Jahr beziehen und als Integral über das ganze Jahr ermittelt werden.

Abbildung 3-5: Tool-Abschnitt „Dimensionierung des Batteriespeichers“

Dimensionierung des Batteriespeichers

Kennwerte Batteriespeicher

Batteriespeichergröße (kWh)

8,0 kWh

Info: Speichergröße entspricht 73 % des durchschnittlichen Tagesstromverbrauchs

Info: Größe ausreichend für Einspeicherung von 38 % der durchschnittlichen PV-Tagesproduktion

Kosten für Batteriespeicher

10.200 €

überschreiben

Info zur Speichergröße:

Als erste Näherung schlägt das Programm eine Batteriespeichergröße von 1 kWh pro kWp PV-Anlage vor. Die optimale Speichergröße hängt jedoch auch von Ihrem Jahresstromverbrauch und von den Kosten für den Batteriespeicher ab.

Achtung:

Den wirksamsten Beitrag zum Klimaschutz erzielen Sie durch Verringerung Ihres Stromverbrauchs. Ermitteln Sie hier Ihr persönliches Einsparpotenzial!

zum Einsparpotenzial

Quelle: Öko-Institut e.V.

Eingabe durch den Nutzer

- Keine

Auswahlmöglichkeit durch den Nutzer

- Keine

Im Tool hinterlegte Daten zur Berechnung und Ausgabe

- Dimensionierung der Kapazität des Batteriespeichers im Verhältnis von 1 kWh Speicherkapazität je 1 kWp Nennleistung der PV-Anlage
- Kosten des Batteriespeichersystems in Abhängigkeit von der Batteriespeichergröße
- Kostendegression: 10 Prozent pro Jahr bei einer Installation nach 2017

Für das Tool getroffene Annahmen

- Lithium-Ionen-Batterie; Depth of Discharge (DoD) 100 Prozent; Annahme, dass der Speicher 20 Jahre hält und im Betrachtungszeitraum nicht ausgetauscht werden muss (Details siehe unten)
- Wirkungsgrad des Batteriespeichers: 90 Prozent (Details siehe unten)
- Jährliche Kosten für die Wartung des Batteriespeichers: zwei Prozent der ursprünglichen Gesamtkosten

Ausgabe / Darstellung

- Kosten für Batteriespeicher (Euro) in Abhängigkeit von der Batteriespeichergröße (Details siehe unten)
- Information: Speichergröße entspricht xy Prozent des durchschnittlichen Tagesstromverbrauchs; Größe ausreichend für Einspeicherung von xy Prozent der durchschnittlichen PV-Tagesproduktion.

Möglichkeiten zum Überschreiben durch den Nutzer

- Batteriespeichergröße (kWh), z.B. wenn dieser kleiner oder größer als vorgeschlagen ausgelegt werden soll
- Kosten für Batteriespeicher (Euro), z.B. auf Basis eines konkreten Angebots

Batteriespeichertechnologie

Auf Basis der Marktanteile der verschiedenen Batterietechnologien werden für die Auslegung des Tools ausschließlich Lithium-Ionen Batterien berücksichtigt, da diese den vorhandenen Markt sowie die Neuanschaffungen weitgehend dominieren (siehe Abschnitt 2.4.1).

Eine weitere Differenzierung, zum Beispiel zwischen Lithium-Nickel-Mangan-Kobaltoxid (LNMC) und Lithium-Eisenphosphat (LFP) Batterien, wird nicht getroffen. Es wird davon ausgegangen, dass es bei den für den Wirtschaftlichkeitsrechner relevanten Parametern (Wirkungsgrad, Investitions- und Betriebskosten) keine signifikanten Unterschiede zwischen diesen beiden Typen der Lithium-Ionen-Batterie gibt.

Batteriespeichergröße im Zusammenhang zur PV-Anlagen-Leistung und Strombedarf

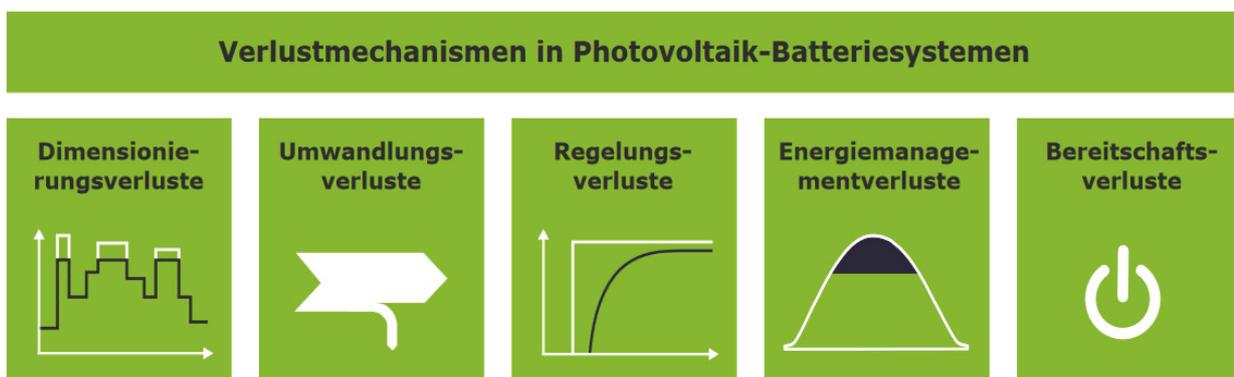
Grundsätzlich stellt die Installation einer nutzbaren Speicherkapazität von 1 kWh je 1 kWp PV-Leistung eine sinnvolle Dimensionierung des Batteriespeichersystems dar und wird daher für die Berechnungen im Tool verwendet. Gemäß Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Ba-Wü (2017) erreicht ein Durchschnittshaushalt mit einem 4 kWp PV-System mit Hilfe eines 4 kWh-Batteriespeichers einen Eigenverbrauchsanteil von etwa 60 Prozent und einen Autarkiegrad von etwa 55 Prozent.

Im Rahmen dieses Wirtschaftlichkeitsrechners ist die maximale Nennkapazität der PV-Anlage auf 10 kWp begrenzt, da für größere Anlagen andere Förderbedingungen durch das Erneuerbare Energien Gesetz gelten, die im Tool nicht hinterlegt sind. Analog wird daher die Auslegung die maximale Größe des Batteriespeichers auf 10 kWh gedeckelt.

Effizienzverluste und Gesamtwirkungsgrad bei PV-Batteriesystemen

Für die Berechnung des Gesamtwirkungsgrads eines PV-Batteriespeichersystems müssen Effizienzverluste an verschiedenen Stellen des Systems berücksichtigt werden. So entstehen nach Weniger et al. (2017) Dimensionierungs-, Umwandlungs-, Regelungs-, Energiemanagement- und Bereitschaftsverluste. Dimensionierungsverluste entstehen durch Leistungsbeschränkungen der Systemkomponenten (z.B. ein maximaler Be- und Entladestrom). Die Energieumwandlung in den leistungselektronischen Komponenten und im Batteriespeicher ruft ebenfalls Verluste hervor. Zusätzlich entstehen durch die Regelung und das Energiemanagement Verluste. Bereitschaftsverluste entstehen durch die Leistungsaufnahme der Komponenten im Leerlauf - oder Standby-Betrieb (siehe Abbildung 3-6).

Abbildung 3-6: Verlustmechanismen in Photovoltaik-Batteriesystemen



Quelle: Weniger et al. (2017)

Die Systemeffizienz beschreibt den Wirkungsgrad des Systems nach Abzug der Umwandlungsverluste aller beteiligten Geräte. Je größer der Effizienzverlust, desto weniger Energie kann im Haushalt genutzt werden. Gemäß Baars (2017) sind für Speichersysteme vier unterschiedliche Wirkungsgrade entscheidend:

1. „PV2AC“ gibt an, wie hoch der Wirkungsgrad für die zeitgleich zur Erzeugung verbrauchte PV-Energie und die ins Netz eingespeiste Energie ist.
2. „PV2BAT“ gibt an, wie hoch der Wirkungsgrad für die Ladung der Batterie aus PV-Energie ist.
3. „BAT2AC“ gibt an, wie hoch der Wirkungsgrad der Leistungselektronik beim Entladen der Batterie ist.
4. BAT gibt den Wirkungsgrad für die Zwischenspeicherung in der Batterie an. Dabei fließen nicht nur die Verluste der Batteriezellen (Selbstentladung), sondern auch die Verluste des Batteriemanagementsystems mit ein.

Die Bereitschaftsverluste eines Batteriespeichersystems entstehen unabhängig von den Wirkungsgraden bei der Leistungsumwandlung. Sie entstehen im sogenannten Leerlauf- und Standby-Betrieb (Baars 2017). Als Leerlaufverbrauch wird der Energiebedarf des Speichers bezeichnet, wenn dieser weder lädt noch entlädt, sich jedoch in Bereitschaft für sofortiges Laden bzw. Entladen befindet. Der Standby-Verbrauch beschreibt den Stromverbrauch des Systems während dieses nicht aktiv ist, also weder laden noch entladen kann. Im Gegensatz zum Leerlauf ist das Batteriespeichersystem dabei nicht verfügbar, also nicht in sofortiger Bereitschaft.

Gemäß der C.A.R.M.E.N. Marktübersicht (Stand Februar 2017)¹⁸ liegt der durchschnittliche Leerlaufverbrauch für Lithium-Speichersysteme mit einer Speicherkapazität von weniger als 15 kWh bei 29,8 Watt, bei einer Bandbreite von 1 bis 90 Watt. Der durchschnittliche Standby-Verbrauch der erfassten Systeme liegt bei 9,2 Watt, bei einer Bandbreite von 0,1 bis 20 Watt. Allgemein variiert der Standby-Verbrauch je nach Art des Speichersystems. Systeme zur Garantie einer Ununterbrochenen Stromversorgung (USV) können je nach Modell und Baujahr sogar bis zu 100 Watt Standby-Verbrauch aufweisen (PV Magazine 2016).

Die am Markt vorhandenen spezifischen Batteriespeichersysteme besitzen je nach Art der Batterietechnologie, dem Aufbau des Systems sowie der Qualität der verwendeten einzelnen Komponenten eine Bandbreite an möglichen Wirkungsgraden. Für den Wirtschaftlichkeitsrechner wird ein durchschnittlicher Gesamtwirkungsgrad des Batteriesystems von 90 Prozent angenommen.

Es wird keine Unterscheidung beim Wirkungsgrad zwischen DC- und AC-gekoppelten Systemen (siehe Abschnitt 2.2) vorgenommen. Zwar sind bei AC gekoppelten Systemen zwei Wechselrichter erforderlich (von der Photovoltaik-Anlage zum PV-Wechselrichter und von der Batterie zum Batterie-Wechselrichter), während bei DC-gekoppelten Systemen nur ein Wechselrichter benötigt wird (von der PV-Anlage zur Batterie zum Wechselrichter). Manche Quellen (z.B. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Ba-Wü (2017)) berichten daher von einer höheren Effizienz der DC-Kopplung. Laut BSW & BVES (2017) besitzen jedoch AC-gekoppelte Systeme in dem Pfad „Batterie zum AC-Stromkreis“ (BAT2AC) einen Effizienzvorteil von 2 bis 4 Prozent, was genau den höheren Verlust von 2 bis 4 Prozent des Pfades von der „PV-Anlage zur Batterie“ (PV2BAT) ausgleichen würde, sodass kein signifikanter Unterschied in der Gesamteffizienz der beiden Systeme bestehen würde.

¹⁸ https://www.carmen-ev.de/files/Sonne_Wind_und_Co/Speicher/Markt%C3%BCbersicht-Batteriespeicher_2016.pdf , zuletzt aufgerufen am 04.09.2017

Kosten verschiedener Speichersysteme

Der Solarstromspeicher-Preismonitor Deutschland des Bundesverbandes Solarwirtschaft gibt für das erste Halbjahr 2016 die folgenden Werte als durchschnittliche Lithium-Batteriesystempreise pro kWh Nennkapazität an (Verkaufspreis schlüsselfertig an Kunden inkl. Batteriesteuerung und Installation, aber ohne Mehrwertsteuer): Lithium-System bis 5 kWh: 1.648 Euro/kWh (Fallzahl n = 36); Lithium-System bis 10 kWh: 1.410 Euro/kWh (Fallzahl n = 38); die Preisspreizungen der in den Preismonitor einbezogenen Systeme ist allerdings relativ hoch (Tepper 2016).

Gemäß Märkel (o.J.c) gibt das Fachmagazin pv magazine zusammen mit Büro F, einem Marktanalytist mit Spezialisierung auf Erneuerbare Energien, einen Preisindex heraus. Tabelle 3-3 zeigt die Preise für Lithium-Ionen Speicher entsprechend ihrer Kapazität für das zweite Halbjahr 2016.

Tabelle 3-3: Durchschnittliche Endkunden-Preise (netto ohne MwSt.) für einen schlüsselfertigen Lithium-Ionen Heimspeicher inkl. Installation, Batteriewechsler, Steuerungssoftware etc.

	4 kWh nutzbare Speicherkapazität	6 kWh nutzbare Speicherkapazität	8 kWh nutzbare Speicherkapazität
Durchschnittlicher Preis (netto) pro Kilowattstunde	1.529 Euro/kWh	1.290 Euro/kWh	1.275 Euro/kWh
Preise basieren auf	19 Datensätzen	23 Datensätzen	19 Datensätzen

Quelle: (Märkel o.J.c)

Für den Wirtschaftlichkeitsrechner werden diese drei Werte für die Berechnung der Kosten des Batteriespeichers zugrunde gelegt; die Kosten für Speicher mit dazwischen liegenden Kapazitäten werden entsprechend interpoliert.

Gemäß Märkel (o.J.c) ist die Datenbasis des Preisindex mit 27 bzw. 31 befragten Firmen allerdings recht klein und bei diesen Angaben die Spreizung der Preise noch relativ hoch. Die Mittelwerte von 1.275 Euro bis 1.529 Euro pro Kilowattstunde nutzbare Speicherkapazität haben eine Varianz von rund 700 Euro nach oben und unten. So ermittelte der Preisindex für PV-Speicher mit 6 kWh Speicherkapazität in der Spitze auch Preise von 2.050 Euro/kWh bzw. 574 Euro/kWh. Faktoren, die für die Unterschiede bei der Preisgestaltung von Batteriespeichern ausschlaggebend sind, sind gemäß Märkel (o.J.c):

- die Einbindung des Solarstromspeicher in die Hauselektrik: AC-gekoppelte oder DC-gekoppelte Speicher,
- Garantieleistungen seitens des Herstellers,
- die Anzahl der Ladezyklen,
- der Installationsaufwand und
- weiterführende Funktionalitäten hinsichtlich Regelenergiemarkt, Notstromoption und Einbindung von Elektroautos.

Schließlich ist zu beachten, dass die Preise für Photovoltaik-Speicher zuletzt innerhalb von drei Jahren (von 2013 auf 2016) um rund 40 Prozent gesunken sind. Nach Märkel (o.J.c) kommt ein Untersuchungsbericht der RWTH Aachen ("Speichermonitoring 2016") hinsichtlich der Preisent-

wicklung zu ähnlichen Ergebnissen. Demnach sinken die Preise für Solarstromspeicher mit Lithium-Ionen Technologie für den Heimgebrauch derzeit um rund 18 Prozent pro Jahr.

Im Wirtschaftlichkeitsrechner wird ausgehend von 2017 bei einer Installation in den Folgejahren eine Kostendegression von zehn Prozent pro Jahr angenommen. Im konkreten Fall können die vom Tool vorgeschlagenen Kosten für den Batteriespeicher vom Nutzer überschrieben werden, wenn zum Beispiel ein konkretes Kostenangebot vorliegt.

Förderprogramme für PV-Speichersysteme

Für den Erwerb von PV-Batteriespeichersystemen gibt es seitens Bund, Ländern, Banken, aber auch privatwirtschaftlichen Akteuren verschiedene Fördermöglichkeiten, wie z.B. Zuschüsse oder zinsverbilligte Kredite, siehe Tabelle 3-4.

Tabelle 3-4: Beispiele für Förderprogramme für PV-Batteriespeicher

Name	Art d. Förderung	Höhe der Förderung	Anlaufstelle / Verfügbarkeit
Bundesweit			
Erneuerbare Energien – Speicher (KfW-Programm 275) ¹⁹	Tilgungszuschuss zu einem Finanzierungskredit der KfW (degressiv)	mehrere hundert bis einige tausend Euro	Hausbank bzw. Kreditinstitut eigener Wahl / Bundesweit
Erneuerbare Energien – Standard (KfW-Programm 270) ²⁰	Finanzierungskredit	bis zu 100% der förderfähigen Netto-Investitionskosten, max. 50 Mio. Euro	Hausbank bzw. Kreditinstitut eigener Wahl / Bundesweit
Regional (unvollständig)			
EnergieBonus Bayern ²¹	Zuschuss (degressiv)	1.000 – 3.900 Euro	Antragsstellung ausschließlich Online / Bayern
EnergieBonus Bayern ²²	Zuschuss	1.000 Euro	Antragsstellung ausschließlich Online / Bayern
progres.nrw ²³	Zuschuss	max. 10% bzw. 50% der zuwendungsfähigen Ausgaben, max. 30.000 Euro, Bagatellgrenze 350 Euro	Bezirksregierung Arnsberg / NRW
Dezentrale Stromspeicher (InES4) ²⁴	Zuschuss (De-minimis-Behilfe)	40% der förderfähigen Ausgaben für den Stromspeicher, max. 20.000 Euro	Sächsische Aufbaubank / Sachsen

¹⁹ [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-%E2%80%93-Speicher-\(275\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-%E2%80%93-Speicher-(275)/)

²⁰ [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-\(270\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Energie-Umwelt/F%C3%B6rderprodukte/Erneuerbare-Energien-Standard-(270)/)

²¹ https://www.haus.co/magazin/wp-content/uploads/2017/05/photovoltaik-foerderung_bayern_energiebonusbayern_t3.pdf

²² https://www.haus.co/magazin/wp-content/uploads/2017/05/photovoltaik-foerderung_bayern_energiebonusbayern_h.pdf

²³ https://www.haus.co/magazin/wp-content/uploads/2017/05/photovoltaik-foerderung_nordrhein-westfalen_progres.nrw_.pdf

²⁴ https://www.haus.co/magazin/wp-content/uploads/2017/05/photovoltaik-foerderung_sachsen_ines4.pdf

Name	Art d. Förderung	Höhe der Förderung	Anlaufstelle / Verfügbarkeit
Solar Invest ²⁵	Zuschuss (De-minimis-Beihilfe)	bis zu 80% der zuwendungsfähigen Ausgaben, max. 100.000 Euro	Thüringer Aufbaubank / Thüringen
Ökostrom Aktiv ²⁶	Zuschuss	10% der Netto-Investitionskosten	badenova / Region Freiburg
Förderprogramm Regenerative Energien ²⁷	Zuschuss	500 Euro	Stadtwerke Marburg / Marburg
Städtische Förderungen ²⁸	Zuschuss	7,5% der Investitionskosten, max. 1.000 Euro	Stadt Winsen / Winsen

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Da die jeweiligen Fördersätze und -bedingungen für PV-Batteriespeicher sehr unterschiedlich sind und die Inanspruchnahme individuell ist, werden mögliche finanzielle Förderungen nicht in die Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens eingebunden. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Inanspruchnahme von finanzieller Förderung die Gesamtwirtschaftlichkeit im Grunde weiter verbessert.

3.3.4. Toolparameter zur Ermittlung des Stromeinsparpotenzials der Haushalte

Das Tool unterscheidet zwei Varianten zur Bestimmung des Einsparpotenzials im Haushalt (siehe Abbildung 3-7):

- **Variante A:** Wurde das Einsparpotenzial anhand einer Energieberatung ermittelt? In diesem Fall können die Ergebnisse der Stromsparberatung (einsparbare kWh pro Jahr) direkt eingetragen werden, unterschieden nach geringinvestiven Maßnahmen (z.B. Beleuchtung, Steckerleisten, Verhaltensänderungen) und investiven Maßnahmen (Austausch von Bestandsgeräten gegen effizientere Neugeräte). Das Tool weist die bisherige Stromeffizienzklasse aus sowie zum Vergleich die neu erreichte Stromeffizienzklasse nach Durchführung der Stromsparmaßnahmen.
- **Variante B:** Anhand der ermittelten aktuellen Stromeffizienzklasse des Haushalts gemäß Stromspiegel 2017 legt der Haushalt selbst fest, welche – niedrigere – Stromeffizienzklasse erreicht werden soll. Das Programm ermittelt dann auf Basis der für die Klassen hinterlegten Grenzwerte, wie viele Kilowattstunden Strom der Haushalt jährlich einsparen muss, um die gewünschte Zielklasse zu erreichen.

Das Tool zeigt den verbleibenden Jahresstromverbrauch nach Durchführung der Einsparmaßnahme an sowie die voraussichtlichen Investitionskosten für diese Effizienzmaßnahmen (Details siehe unten). Die Kosten können vom Nutzer des Tools überschrieben werden, wenn zum Beispiel im

²⁵ https://www.haus.co/magazin/wp-content/uploads/2017/05/photovoltaik-foerderung_thueringen_solar-invest.pdf

²⁶ https://www.badenova.de/web/Downloads/Privatkunden/%C3%96kostrom/Oekostrom_Aktiv_Foerderprogramm_Speicher.pdf

²⁷ http://stadtwerke-marburg.de/fileadmin/media/umweltberatung/foerderprogramme/04_foerd_reg_en.pdf

²⁸ https://www.winsen.de/downloads/datei/OTAyMDAxMDcwOy07L3Vzci9sb2Nhbc9odHRwZC92aHRkb2NzL2Ntcy93aW5zZW4vbWVkaWVuL2Rva3VtZW50ZS92M19mbHllcmVuZXJnaWVvcGFycHJvZ3JhbW1fc3RhZHR3aW5zZW4ucGRm/v3_flyerenergiesparprogramm_stadtwinen.pdf

Rahmen einer Energieberatung haushaltsspezifische Austauschmaßnahmen und die dafür erforderlichen Kosten identifiziert wurden.

Abschließend führt ein Link zum Tabellenblatt mit den Ergebnissen, auf dem dargestellt wird, wie sich die Investitionen in Stromsparmaßnahmen auszahlen.

Abbildung 3-7: Tool-Abschnitt „Einsparpotenzial Ihres Haushaltes“

Einsparpotenzial Ihres Haushaltes

Einsparpotenzial nach Energieberatung oder gewünschter Effizienzklasse ermitteln?

Energieberatung

Bitte auf Auswahlfeld klicken und auswählen:
Sofern das Einsparpotential durch eine Energieberatung ermittelt wurde, können Sie hier die Ergebnisse übertragen. Alternativ können Sie nach Auswahl von "Effizienzklasse" weiter unten die Stromeffizienzklasse angeben, die Sie erreichen

Einsparpotenzial nach Energieberatung	SEK vor Einsparungen:	Klasse C
Einsparpotenzial mit geringinvestiven Maßnahmen: 200 kWh		
Einsparpotenzial mit investiven Maßnahmen: 300 kWh	SEK nach Einsparungen:	Klasse B
Einsparpotenzial gesamt: 500 kWh		

Einsparpotenzial nach Effizienzklasse

Welche Effizienzklasse möchten Sie erreichen? **bitte wählen**

Benötigte Einsparungen bis zur gewünschten Klasse: 400 kWh
(Wenn keine Auswahl getroffen wird, wird automatisch die nächst bessere Klasse angenommen)

auf Auswahlfeld klicken

Verbleibender Jahresstromverbrauch: 3500 kWh

Kosten für Effizienzmaßnahmen: 409 € **überschreiben**

Wie sich die Investitionen in Stromeinsparung auszahlen, erfahren Sie hier: **zu den Ergebnissen**

Quelle: Öko-Institut e.V.

Ableitung der Investitionskosten für die vorgesehenen Einsparmaßnahmen

Zur Ableitung der Investitionskosten für die vorgesehenen Einsparmaßnahmen werden im Wirtschaftlichkeitsrechner folgende Annahmen zugrunde gelegt:

- 30 Prozent der Kosten entfallen auf geringinvestive Einsparmaßnahmen, 70 Prozent der Kosten auf investive Einsparmaßnahmen.
- Investitionskosten für geringinvestive Einsparmaßnahmen: für geringinvestive Einsparmaßnahmen werden pro eingesparte Kilowattstunde Kosten von 0,05 Euro/kWh angenommen. Dieser Wert wurde anhand des Projektes Stromspar-Check abgeleitet (Dt. Caritasverband e.V. und Bundesverband der Energie- und Klimaschutzagenturen Deutschland e.V. 2017). Im Rahmen des Projektes wurden bei über 200.000 Haushalten geringinvestive Maßnahmen umgesetzt. Die durchschnittlichen Hardware-Kosten für diese geringinvestiven Maßnahmen lagen bei 0,035 Euro/kWh.
- Investitionskosten für investive Einsparmaßnahmen: für investive Einsparmaßnahmen werden pro eingesparte Kilowattstunde durchschnittliche Kosten von zunächst 1,20 Euro/kWh angenommen (siehe Tabelle 3-5). Es ist jedoch davon auszugehen, dass in einem Haushalt mit hohem Verbrauch die Investitionskosten pro eingesparte Kilowattstunde niedriger sind als in einem bereits relativ effizienten Haushalt. Daher werden die Investitionskosten für einen Haushalt der Effizienzklasse G um rund 20 Prozent niedriger als der Mittelwert angesetzt und ein Wert von 1,00 Euro/kWh hinterlegt. Für einen Haushalt der Effizienzklasse A wird hingegen mit einem Investitionsbetrag von 1,50 Euro/kWh gerechnet. Befindet sich der Haushalt in einer der Effizienz-

klassen dazwischen, so werden die Investitionskosten für investive Maßnahmen zwischen diesen beiden Eckwerten linear interpoliert.

- Kennt der Nutzer die geplanten Stromsparmaßnahmen sowie die dafür erforderlichen Investitionskosten, z.B. auf Basis konkreter Gerätepreise für angedachte Ersatzbeschaffungen, so kann der berechnete Wert für die Investitionskosten überschrieben werden.

Der Mittelwert von 1,20 Euro/kWh für investive Einsparmaßnahmen wurde wie folgt ermittelt:

Zunächst wurden auf Basis der Verbraucherplattform www.ecotopten.de für die in Tabelle 3-5 aufgeführten Produktkategorien jeweils für ein durchschnittliches Standardgerät und ein EcoTopTen-Bestgerät der jährliche Stromverbrauch sowie die einmaligen Anschaffungskosten ermittelt. Für die Berechnung der Investitionskosten wird davon ausgegangen, dass die Haushalte eine Ersatzanschaffung in jedem Fall planen; die investive Einsparmaßnahme besteht darin, dass anstelle eines Standardgerätes ein Bestgerät angeschafft wird. Folglich werden jeweils nur die Differenzen zwischen Standard- und Bestgerät in die Berechnung einbezogen. Hieraus ergibt sich ein ungewichteter Mittelwert von rund 1,20 Euro Kosten pro eingesparte Kilowattstunde. Es wird angenommen, dass die Investition in vergleichsweise effizientere Geräte einmalig zu Beginn der Berechnungsperiode von 20 Jahren erfolgt. Ein weiterer Ersatz während dieses Gesamtzeitraums wird in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Tabelle 3-5: Stromeinsparungen und Mehrkosten bei Anschaffung von Bestgeräten im Vergleich zu Standardgeräten nach www.ecotopten.de

Haushaltsgerät	Leistungsparameter	Parameter Standardgerät			Parameter Bestgerät			Differenz		
		Klasse	Verbrauch (kWh/Jahr)	Kaufpreis (Euro)	Klasse	Verbrauch (kWh/Jahr)	Kaufpreis (Euro)	Stromeinsparung (kWh/Jahr)	Kosten (Euro)	Investition (Euro/kWh)
Waschmaschine*	7 kg Trommel	A+	220	k.A.	A+++	122	k.A.	98	0	0,00
Wäschetrockner*	Standard	A+	337	k.A.	A+++	189	k.A.	148	200	1,35
Geschirrspülmaschine	Standard	A+	299	767	A+++	176	809	123	42	0,34
Kühl-Gefrier-Kombination	307/82 Liter Kühl-/Gefrier-Volumen bei A+ 377/118 Liter bei A+++	A+	345	768	A+++	196	839	149	71	0,48
Gefriertruhe	ca. 250 Liter Gefriervolumen	A+	260	394	A+++	131	507	129	113	0,88
Herd*	E-Plattenherd / Induktionsherd größer 120 cm	---	355	400	---	235	800	120	400	3,33
Fernseher	Diagonale	B	117	849	---	42	999	75	150	2,00
Summe								842	976	1,20

* Preisdifferenz geschätzt

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Daten aus www.ecotopten.de

Eingabe durch den Nutzer (ideal: ermittelt durch einen Energieberater)
<ul style="list-style-type: none"> • Einsparpotenzial mit geringinvestiven Maßnahmen (kWh/Jahr) • Einsparpotenzial mit investiven Maßnahmen (kWh/Jahr)
Auswahlmöglichkeit durch den Nutzer
<ul style="list-style-type: none"> • Auswahl: Einsparpotenzial auf Basis einer Energieberatung oder auf Basis der gewünschten Effizienzklasse • Bei gewünschter Energieeffizienzklasse: Auswahl Klasse A bis G
Im Tool hinterlegte Daten zur Berechnung und Ausgabe
<ul style="list-style-type: none"> • Durchschnittliche Kosten für geringinvestive Maßnahmen (Euro/kWh)

- Durchschnittliche Kosten für investive Maßnahmen in Relation zur Ausgangs-Energieeffizienzklasse (Euro/kWh)

Für das Tool getroffene Annahmen

- Verhältnis der Kosten durch geringinvestive bzw. investive Einsparmaßnahmen = 30:70
- Durchschnittliche Kosten für geringinvestive Maßnahmen (Euro/kWh), Details siehe oben
- Durchschnittliche Kosten für investive Maßnahmen (Euro/kWh), Details siehe oben

Ausgabe / Darstellung

- Bei Energieberatung: Stromeffizienzklasse vor und nach den geplanten Einsparmaßnahmen
- Bei gewünschter Effizienzklasse: Benötigte Einsparungen (kWh) bis zur gewünschten Effizienzklasse
- Verbleibender Jahresstromverbrauch nach Anwendung der Einsparmaßnahmen (kWh/Jahr)
- Kosten für die Effizienzmaßnahmen (Euro)

Möglichkeiten zum Überschreiben durch den Nutzer

- Kosten für die Effizienzmaßnahmen, z.B. auf Basis konkreter Gerätepreise

3.3.5. Ausgabe der Ergebnisse

Im Tool werden im Excel-Sheet „Ergebnisse“ in zwei Szenarien diejenigen Veränderungen dargestellt, die sich durch den Einsatz eines Stromspeichers im Vergleich zur Ausgangssituation ohne Batteriespeicher („Referenzszenario“) ergeben, im Szenario 1 ohne Stromsparmaßnahmen und im Szenario 2 mit Stromsparmaßnahmen (siehe Abbildung 3-8).

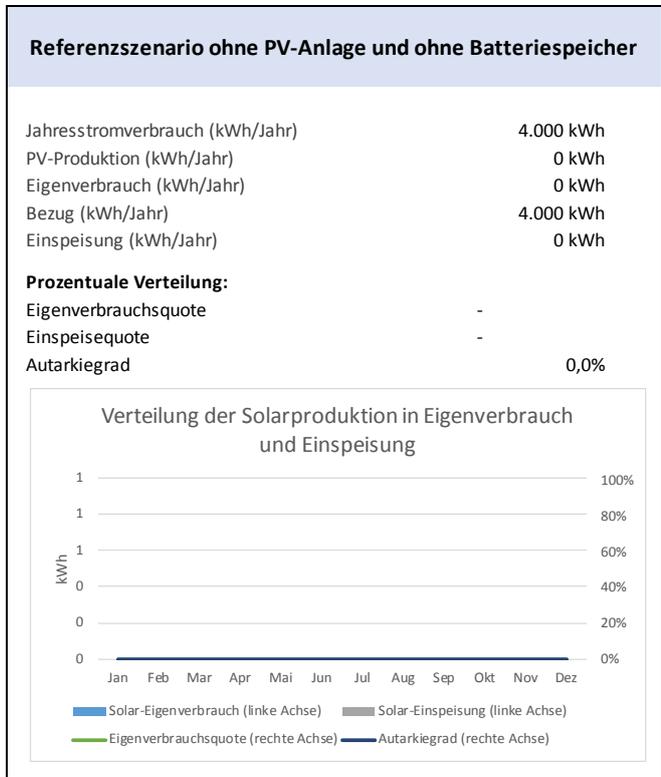
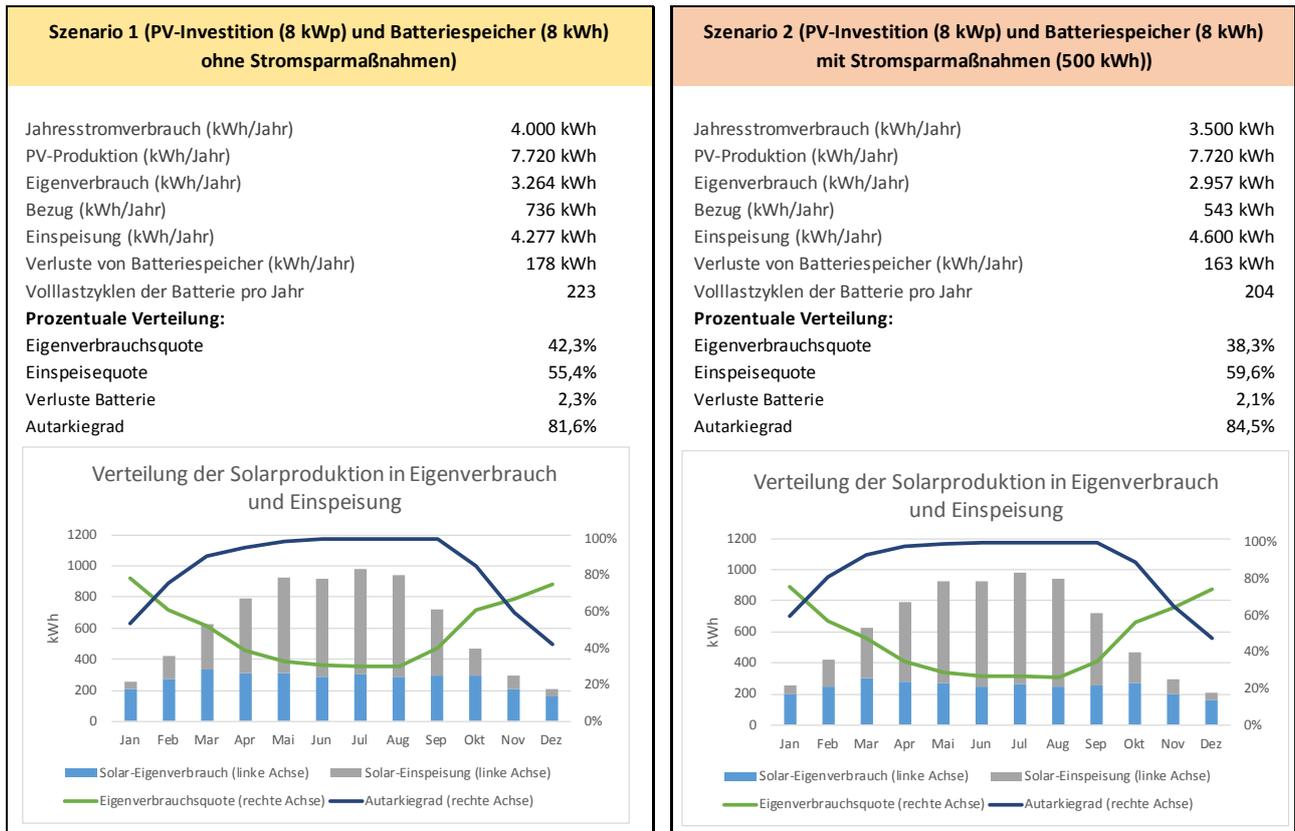
So ermittelt das Programm auf Basis der bisher eingegebenen Daten, wie viele Kilowattstunden der jährlichen Stromproduktion der PV-Anlage jeweils auf den Eigenverbrauch, die Einspeisung ins Netz sowie die Verluste des Batteriespeichers entfallen, und wie viele Kilowattstunden zur Deckung des Jahresstromverbrauchs noch ergänzend aus dem Stromnetz bezogen werden müssen. Angezeigt werden auch die prozentualen Parameter Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad.

An dieser Stelle kann der Nutzer des Tools durch Veränderung der drei Stellgrößen Jahresstromverbrauch, Nennleistung der PV-Anlage und Speicherkapazität die jeweiligen Auswirkungen auf Eigenverbrauch und Einspeisung des Solarstroms bzw. auf den erforderlichen Bezug von Strom erkennen. Die Eingabeparameter können beispielsweise so variiert werden, dass eine gewünschte Eigenverbrauchsquote erreicht wird oder bei gleichbleibender PV-Anlage die Auswirkungen eines kleineren oder größeren Speichers ermittelt werden können.

Durch den Vergleich der Szenarien „Batteriespeicher ohne Stromsparmaßnahmen“ und „Batteriespeicher mit Stromsparmaßnahmen“ kann der Nutzer zudem erkennen, wie sich die Einsparungen beim Stromverbrauch auf Eigenverbrauch, Einspeisung und den erforderlichen Strombezug auswirken.

Grafisch angezeigt wird schließlich, wie sich die absoluten Werte für den Solar-Eigenverbrauch und die Solar-Einspeisung, sowie die prozentualen Werte für Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad auf die einzelnen Monate im Jahr verteilen. Die grafische Darstellung entfällt im Referenzszenario, wenn in der Ausgangssituation noch keine Photovoltaik-Anlage vorhanden ist.

Abbildung 3-8: Tool-Abschnitt „Ergebnisse“

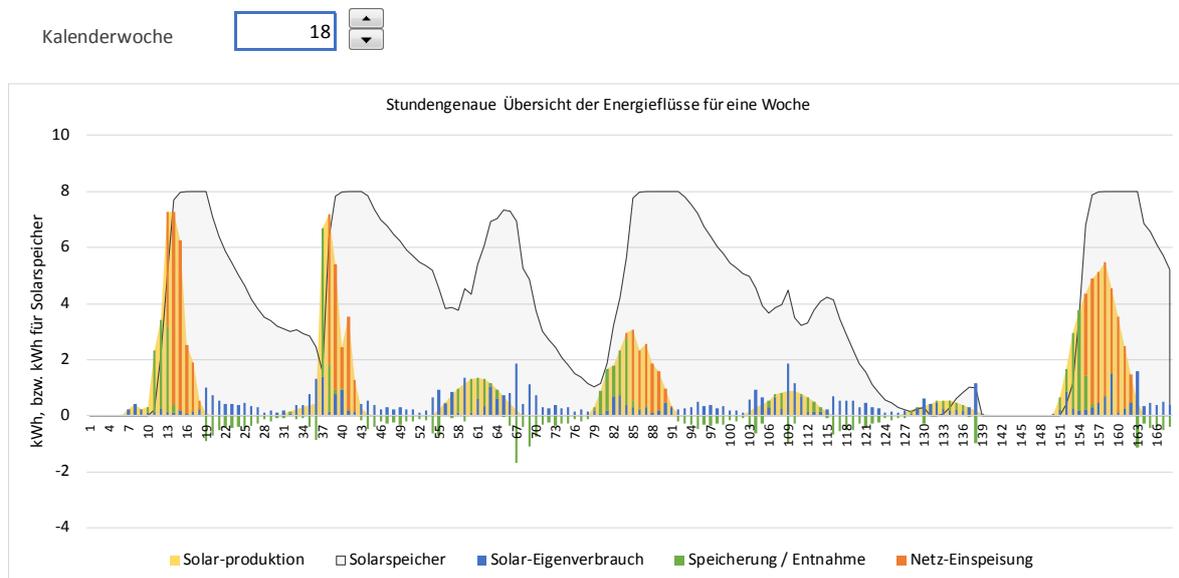


Bei einer PV-Bestandsanlage werden in nebenstehender Abbildung die Ergebnisse für die Berechnungen der jetzigen Situation angezeigt. Da keine PV-Bestandsanlage ausgewählt wurde, wird keine grafische Auswertung angezeigt.

Quelle: Öko-Institut e.V.

Abbildung 3-9: Tool-Abschnitt „Ergebnisse – Detailansicht der Energieflüsse für den Batteriespeicher“

Detailansicht der Energieflüsse für den Batteriespeicher



Quelle: Öko-Institut e.V.

Eingabe durch den Nutzer

- Keine

Auswahlmöglichkeit durch den Nutzer

- Keine

Im Tool hinterlegte Daten zur Berechnung und Ausgabe

- Keine

Für das Tool getroffene Annahmen

- Zur Berechnung der Vollastzyklen des Batteriespeichers wird zunächst die Gesamtmenge der im Batteriespeicher über ein Jahr eingespeicherten Energie berechnet. Anschließend wird dieser Wert durch die Nutzkapazität des Batteriespeichers dividiert.

Ausgabe / Darstellung

- Übernahme der Daten aus den vorherigen Eingabemasken: Jahresstromverbrauch (kWh/Jahr); Speichergöße (kWh); Größe der PV-Anlage (kWp)
- Eigenverbrauch (kWh/Jahr)
- Einspeisung (kWh/Jahr)
- Verluste des Batteriespeichers (kWh/Jahr)
- Erforderlicher Strombezug aus dem Netz (kWh/Jahr)
- Anzahl Vollastzyklen der Batterie pro Jahr, d.h. wenn der PV-Speicher einmal bis zur Entladetiefe entladen und anschließend vollständig wieder aufgeladen wird.

- Eigenverbrauchsquote (%)
- Einspeisequote (%)
- Autarkiegrad (%)
- Verluste der Batterie (%)
- Grafische Darstellung: Monatliche Verteilung der Solarproduktion in Eigenverbrauch und Einspeisung sowie prozentuale Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad

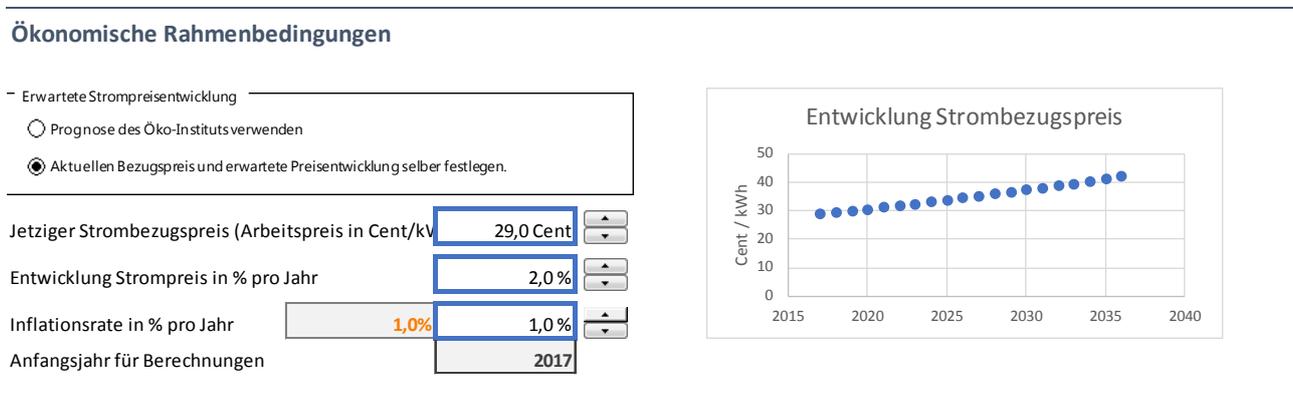
Möglichkeiten zum Überschreiben durch den Nutzer

- Jahresstromverbrauch (kWh/Jahr)
- Speichergröße (kWh)
- Größe der PV-Anlage (kWp)

3.3.6. Ausgabe der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Während im Tabellenblatt „Ergebnisse“ des Tools der Fokus auf den Veränderungen beim Strom liegt (d.h. das Referenzszenario im Vergleich zum Szenario 1 mit Batteriespeicher ohne Stromsparmaßnahmen und zum Szenario 2 mit Batteriespeicher und mit Stromsparmaßnahmen), werden im Tabellenblatt „Wirtschaftlichkeitsberechnung“ die ökonomischen Auswirkungen dieser drei Szenarien betrachtet (siehe Abbildung 3-11). Alle Kosten und Erträge werden über eine angenommene Nutzungsdauer von 20 Jahren aufsummiert. Bei den zukünftig anfallenden Stromkosten für den Strombezug wird eine spezifische Preisentwicklungsrate für Strom, bei den sonstigen Kosten die allgemeine Inflationsrate berücksichtigt, siehe Abbildung 3-10.

Abbildung 3-10: Tool-Abschnitt „Ökonomische Rahmenbedingungen“



Quelle: Öko-Institut e.V.

Bezüglich der erwarteten Strompreisentwicklung kann der Nutzer auswählen, ob er ausgehend von seinem aktuellen Bezugspreis die erwartete Preisentwicklung (d.h. lineare prozentuale Preissteigerung) selbst festlegen, oder die Prognose des Öko-Instituts verwenden möchte. Die Prognose des Öko-Instituts beruht auf Daten des „Projektionsberichts 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013“ (BMUB 2017). Hierin erfolgt ein leichter kontinuierlicher Anstieg bis 2025 aufgrund steigender Netzentgelte und Großhandelspreise, sowie ein Absinken der Stromkosten nach 2025 unter der Annahme einer prognostizierten fallenden EEG-Umlage.

Referenzszenario: Ausgangssituation (Strombezug aus dem Netz oder PV-Bestandsanlage)

Im Referenzszenario werden zunächst die Kosten bzw. Erträge des Haushalts für die Ausgangssituation bestimmt. Ist noch gar keine Photovoltaik-Anlage installiert, so fallen lediglich die Kosten für den Strombezug aus dem Netz an. Besitzt der Haushalt eine PV-Bestandsanlage (im Referenzszenario noch ohne Batteriespeicher), ermittelt das Tool neben den Kosten für den Strombezug aus dem Netz auch die Erträge (Einspeisevergütung sowie ggf. Eigenverbrauchszuschuss).

Szenario 1: Investition Batteriespeicher (und ggf. PV-Anlage), ohne Stromsparmaßnahmen

Im Szenario 1 wird die Gesamtwirtschaftlichkeit inklusive des zusätzlich gewählten Batteriespeichers berechnet, bezogen auf den bisherigen Jahresstromverbrauch. Berücksichtigt werden neben den Kosten für den Strombezug aus dem Netz und den Erträgen (Einspeisevergütung sowie ggf. Eigenverbrauchszuschuss) ergänzend die einmaligen Investitionskosten sowie die jährlichen Wartungskosten für den Batteriespeicher. Ist im Referenzszenario noch keine PV-Bestandsanlage vorhanden, so werden in diesem Szenario ergänzend die einmaligen Investitionskosten sowie die jährlichen Kosten für die PV-Anlage eingerechnet. Das Ergebnis wird mit dem Referenzszenario verglichen.

Szenario 2: Investition Batteriespeicher (und ggf. PV-Anlage), mit Stromsparmaßnahmen

Szenario 2 entspricht dem Szenario 1, ergänzt um eine einmalige Investition in Stromsparmaßnahmen, die in einem geringeren Jahresstromverbrauch resultieren. Das Ergebnis aus Szenario 2 wird wiederum mit dem Referenzszenario, d.h. dem Ergebnis der Ausgangssituation verglichen.

Abbildung 3-11: Tool-Abschnitt „Wirtschaftlichkeitsrechnung“

Wirtschaftlichkeitsrechnung

	Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation ohne PV-Anlage								
Strombezugskosten (€)	(für 4000 kWh)		- 1.183 €	- 1.207 €	- 1.231 €		- 1.724 €	- 28.749 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)		- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 0 kWh)		- €	- €	- €		- €	- €
							Kosten:	- 28.749 €

Szenario 1 (PV-Investition (8 kWp) und Batteriespeicher (8 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)								
Kosten PV (€)	(für 8,0 kWp)	- 10.240 €	- 207 €	- 209 €	- 211 €		- 250 €	- 14.795 €
Kosten Speicher (€)	(für 8,0 kWh)	- 10.200 €	- 206 €	- 208 €	- 210 €		- 249 €	- 14.737 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €		- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 736 kWh)	- 218 €	- 222 €	- 226 €			- 317 €	- 5.287 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €			- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 4277 kWh)	522 €	522 €	522 €			128 €	10.043 €
								- 24.775 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								3.973 €

Szenario 2 (PV-Investition (8 kWp) und Batteriespeicher (8 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (500 kWh))								
Kosten PV (€)	(für 8,0 kWp)	- 10.240 €	- 207 €	- 209 €	- 211 €		- 250 €	- 14.795 €
Kosten Speicher (€)	(für 8,0 kWh)	- 10.200 €	- 206 €	- 208 €	- 210 €		- 249 €	- 14.737 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 500 kWh)	- 409 €	- €	- €	- €		- €	- 409 €
Strombezugskosten (€)	(für 543 kWh)	- 160 €	- 164 €	- 167 €			- 234 €	- 3.899 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €			- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 4600 kWh)	561 €	561 €	561 €			138 €	10.800 €
							Summe:	- 23.040 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								5.709 €

Quelle: Öko-Institut e.V.

In einem weiteren Schritt wird die interne Verzinsung des eingesetzten Kapitals ermittelt (IRR, Internal Rate of Return). Hierzu werden die jährlichen Resultate aus Einnahmen und Ausgaben mit der Inflationsrate abgezinst. Beträgt die durchschnittliche Inflationsrate zwei Prozent, so werden z.B. die Nettoerträge von 1.000 Euro im ersten Jahr um zwei Prozent abgezinst (mit dem Faktor $1/1,02$ multipliziert), im zweiten Jahr mit dem Faktor $1/1,02^2$ korrigiert und so weiter. Mit der Formel für den IRR wird danach die Kapitalrendite ermittelt. Die Ergebnisse werden zum einen als Nominalwerte dargestellt (Nominalwerte sind gegenüber den realen Werten aufgrund der Inflationsrate höher), zum anderen als Realwerte, d.h. um die Inflationsrate korrigiert.

Abbildung 3-12: Tool-Abschnitt „Analyse der Ergebnisse“

Szenario 1 (PV-Investition (8 kWp) und Batteriespeicher (8 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	0,7% Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 3973 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 1509 Euro.	
<small>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</small>	
	
Szenario 2 (PV-Investition (8 kWp) und Batteriespeicher (8 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (500 kWh))	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	1,4% Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 5709 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 3029 Euro.	
<small>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</small>	
	

Quelle: Öko-Institut e.V.

Eingabe durch den Nutzer
<ul style="list-style-type: none"> • Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh) • Entwicklung Strompreis pro Jahr (%) • Anfangsjahr für Berechnungen
Auswahlmöglichkeit durch den Nutzer
<ul style="list-style-type: none"> • Erwartete Strompreisentwicklung (Prognose des Öko-Instituts verwenden oder aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen)
Im Tool hinterlegte Daten zur Berechnung und Ausgabe
<ul style="list-style-type: none"> • Voreingestellter Bezugspreis Strom: 29 ct/kWh • Entwicklung Strompreis pro Jahr (%) gemäß Prognose Öko-Institut (Details siehe oben) • Allgemeine Inflationsrate: 1 Prozent • Investitionskosten inkl. Kostendegression für die Folgejahre sowie jährliche Wartungskosten PV-Anlage, siehe Abschnitt 3.3.2 • Investitionskosten inkl. Kostendegression für die Folgejahre sowie jährliche Wartungskosten PV-Batteriespeicher, siehe Abschnitt 3.3.3 • Sätze für die EEG-Einspeisevergütung und Eigenverbrauchsbonus in Abhängigkeit vom Datum der Inbetriebnahme der PV-Anlage, siehe Abschnitt 3.3.2

Für das Tool getroffene Annahmen

- Berechnungszeitraum 20 Jahre; Annahme, dass eine PV-Bestandsanlage innerhalb des Betrachtungszeitraums nicht ausgetauscht werden muss
- Lithium-Ionen-Batterie; Annahme, dass der Speicher 20 Jahre hält und im Betrachtungszeitraum nicht ausgetauscht werden muss
- Einsatz von 100 Prozent Eigenkapital für die erforderlichen Investitionen, d.h. keine Kreditfinanzierung
- Keine Inanspruchnahme von zusätzlichen Zuschüssen oder Fördergeldern
- Keine Berücksichtigung von steuerlichen Aspekten

Ausgabe / Darstellung

- Strombezugskosten (Euro/Jahr; Euro in 20 Jahren)
- Einspeisevergütung (Euro/Jahr; Euro in 20 Jahren)
- Eigenverbrauchszuschuss (Euro/Jahr; Euro in 20 Jahren)
- Einmalige Investitionskosten und jährliche Kosten PV-Anlage (Euro/Jahr; Euro in 20 Jahren)
- Einmalige Investitionskosten und jährliche Kosten PV-Speicher (Euro/Jahr; Euro in 20 Jahren)
- Einmalige Investitionskosten für Stromsparmaßnahmen (Euro/Jahr; Euro in 20 Jahren)
- Wirtschaftlicher Vor- bzw. Nachteil von Szenario 1 / 2 ggü. Referenzszenario (Euro in 20 Jahren)
- Interne Verzinsungsrate (Internal Rate of Return, IRR) für die eingesetzten Investitionen (%)
- Information, ob die Investition wirtschaftlich ist oder nicht
- Ausgabe des Gewinns oder Verlusts (Euro in 20 Jahren), nominal und inflationsbereinigt

Möglichkeiten zum Überschreiben durch den Nutzer

- Inflationsrate pro Jahr (%)

3.4. Aussagekraft des Tools

Das im Rahmen dieses Vorhabens entwickelte Excel-Tool basiert auf einer Simulation der Energieflüsse zwischen Stromerzeugung durch eine PV-Anlage, Einspeicherung von Strom in einen Batteriespeicher, Stromverbrauch des Haushalts sowie Einspeisung von Strom ins Netz bzw. Bezug von Strom aus dem Netz. Parallel dazu werden auf Basis der Investitions- und Betriebskosten der Anlagen (PV-Anlage und Batteriespeicher) sowie der Kosten für den Strombezug bzw. der Erlöse durch die Einspeisung von Strom ins Netz Szenarien für die Gesamtwirtschaftlichkeit über eine Laufzeit von 20 Jahren berechnet. Die berechneten Energieflüsse und die Wirtschaftlichkeitsberechnung liefern eine gute Prognose darüber, ob sich bei PV-Bestandsanlagen die zusätzliche Investition in einen Batteriespeicher wirtschaftlich rechnet, bzw. bei nicht vorhandener PV-Anlage die Wirtschaftlichkeit der Investition in eine PV-Anlage, ggf. inklusive Batteriespeicher.

Alternativ zu bereits vorhandenen Wirtschaftlichkeitsrechnern für Batteriespeicher kombiniert dieses Tool darüber hinaus erstmalig die Wirtschaftlichkeit von Batteriespeichern mit der Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Stromeinsparmaßnahmen (z.B. Ersatz alter, ineffizienter Haushaltsgeräte). Die vorgeschlagenen Stromsparmaßnahmen stehen nicht einzeln für sich, son-

den werden in die Berechnungen zur Gesamtwirtschaftlichkeit der geplanten Investitionen integriert und bieten daher einen zusätzlichen finanziellen Anreiz zur Umsetzung.

Um die Berechnungen im Tool überschaubar und nachvollziehbar zu halten, wurden einige Annahmen und Voreinstellungen getroffen, aus denen sich jedoch Ungenauigkeiten im Ergebnis ergeben können. Die Ergebnisse hängen insbesondere stark von den im Tool hinterlegten Parametern ab, wie z.B. den durchschnittlichen Kosten für die Anschaffung eines Batteriespeichers, die sich derzeit schnell ändern. Das Tool lässt zudem Sonderfälle und individuelle Anpassungen durch den Benutzer durch Überschreiben der voreingestellten Parameter zu. Dies ermöglicht einerseits einen weiten Einsatzbereich des Tools, erhöht aber andererseits auch die Anfälligkeit für Fehler bei der Bedienung des Tools. Der Wirtschaftlichkeitsrechner wurde daher explizit nicht als selbst bedienbares Web-Tool entwickelt, sondern als Excel-Beratungstool, das dafür gedacht ist, durch Experten, zum Beispiel Energieversorger, Stadtwerke oder Anbieter von PV-Anlagen und Batteriespeichern, bei der Beratung von Haushalten eingesetzt zu werden.

Im Folgenden werden zusammenfassend noch einmal diejenigen Parameter und getroffenen Annahmen reflektiert, die wesentliche Auswirkungen auf die Aussagekraft des Tools haben können.

- **Solareinstrahlung:** Die Wirtschaftlichkeit eines Batteriespeichers hängt stark von der Stromerzeugung der PV-Anlage und der verwendeten Lastkurve für den Haushalt ab. Die im Tool zugrunde gelegte Solareinstrahlung basiert auf den Wetterdaten aus dem Jahr 2013 für eine PV-Anlage mit Südausrichtung in Freiburg, die für die Berechnungen im Tool entsprechend den Solarerträgen je nach geographischer Lage des tatsächlichen PV-Anlagenstandortes des Tool-Nutzers skaliert wird. PV-Anlagen mit Ost-West-Ausrichtung, bei denen die Stromerzeugung in der Regel geringer ist, können derzeit im Tool nicht korrekt abgebildet werden, was in diesem Fall die Wirtschaftlichkeit für einen Batteriespeicher überschätzt.
- **Durchschnittliche Lastkurve und Zeitschritte für die Berechnung des Lastprofils:** Die im Tool hinterlegte Lastkurve ist eine typische Lastkurve für einen 3-Personen-Haushalt mit einem Jahresstromverbrauch von 3.000 kWh, die für die Berechnungen im Tool entsprechend dem tatsächlichen Jahresstromverbrauch des Tool-Nutzers skaliert wird. Die Wirtschaftlichkeit kann gegebenenfalls vom berechneten Ergebnis abweichen, wenn der Haushalt eine atypische Verbrauchskurve hat, z.B. längere Perioden, in denen die Wohnung komplett leer steht, ein Elektroauto regelmäßig tagsüber bzw. nachts geladen wird etc. Die Modell-Rechnung wurde in Zeitschritten von einer Stunde für jeweils ein Jahr berechnet. Durch diese relativ grobe Zeitauflösung wird das ursprünglich viel detailliertere, jedoch sehr unregelmäßige Lastprofil geglättet. Hierdurch kommt es zu einer höheren Überdeckung von Solarproduktion und Lastprofil, was die Eigenverbrauchsquote erhöht. Dieser Glättungseffekt fällt besonders bei der Systemkonfiguration „nur PV“ stark aus und führt daher zu einer Unterschätzung der Einspareffekte von Solar speichern. In einer Berechnung außerhalb des Tools wurden für eine Konstellation (5.500 kWh Jahresstromverbrauch, 5 kWp Solarertrag und 4,6 kWh Batteriespeicher-Kapazität) die Berechnungen mit Auflösungen von jeweils einer Minute und einer Stunde abgeglichen. Mit einer einminütigen Auflösung lag die Eigenverbrauchsquote bei 60,3 Prozent anstatt bei 61,4 Prozent. Der Fehler aufgrund der im Tool verwendeten stundenweisen Simulation beträgt somit ca. zwei Prozent.
- **Angenommene Nutzungsdauer Batteriespeicher und PV-Anlage:** Für die Nutzungsdauer des Batteriespeichers werden im Tool derzeit 20 Jahre angenommen, was der typischen Lebensdauer von Lithium-Ionen-Speichern gemäß Herstellerangaben entspricht. Zusätzlich werden laufende jährliche Betriebskosten in Höhe von zwei Prozent der Investitionskosten angesetzt. Auch für die PV-Anlage wird angenommen, dass kein Austausch innerhalb des Berechnungsraums erfolgen muss. Ein vorzeitig notwendiger Komplett-Austausch des Batteriespei-

chers oder der PV-Anlage innerhalb dieses Berechnungszeitraums hätte große Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit.

- **Einfluss von Förderungen oder Kreditkosten auf die Wirtschaftlichkeit:** Aufgrund der Vielzahl an Möglichkeiten werden im Tool weder mögliche finanzielle Förderungen (z.B. KfW) noch Kosten für die Aufnahme eines Kredits zur Finanzierung der Anschaffung der PV-Anlage bzw. des Batteriespeicher in die Berechnungen einbezogen. Daher kann es zu abweichenden Ergebnissen bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung kommen, wenn Fremdkapital für die Investition notwendig wird oder ergänzend Förderzuschüsse erhalten werden. Auch mögliche steuerliche Auswirkungen werden mit dem Wirtschaftlichkeitsrechner nicht abgebildet.
- **Mögliche Deckelung der PV-Einspeiseleistung:** Eine der Fördervoraussetzungen für das KfW-Programm 275 (Erneuerbare Energien „Speicher“) besteht darin, dass die maximale Leistungsabgabe der Photovoltaikanlage über die gesamte Lebensdauer, mindestens 20 Jahre, nur 50 Prozent der installierten Leistung der PV-Anlage betragen darf. Das bedeutet, dass über diesen gesamten Zeitraum immer mindestens 50 Prozent des Stroms selbst verbraucht werden müssen. Das Tool berücksichtigt diese Deckelung und die entsprechenden Auswirkungen nicht.
- **Zugrunde gelegte Investitionskosten für die Stromsparmaßnahmen:** Bei den erforderlichen Investitionskosten für Stromsparmaßnahmen wird mit pauschalierten Werten gerechnet (30 Prozent der Kosten entfallen auf geringinvestive Einsparmaßnahmen à 0,05 Euro pro eingesparte Kilowattstunde, 70 Prozent der Kosten auf investive Einsparmaßnahmen die je nach Stromeffizienzklasse zwischen 1,00 bis 1,50 Euro je Kilowattstunde liegen). Die tatsächlichen Kosten für Stromsparmaßnahmen können je nach individueller Maßnahme (z.B. spezifischer Geräteaustausch) hiervon abweichen. Für das Tool geht es jedoch hauptsächlich darum, den Haushalt zu ermuntern die Einsparmöglichkeiten überhaupt in Betracht zu ziehen, wenn er schon in einen teuren Speicher investieren will.

4. Exemplarische Beratung von Haushalten

Innerhalb dieses Arbeitspaketes wurden fünf Haushalte, die aktuell planen einen Photovoltaik-Batteriespeicher zu installieren, exemplarisch mit dem neu entwickelten Tool beraten, inklusive einer Beratung zum möglichen Stromsparerpotenzial in diesen Haushalten. Zielsetzung war die Funktionsweise und Verständlichkeit des Tools zu erproben und es bei Bedarf anhand der Rückmeldungen zu modifizieren. Aufgrund des engen Zeitrahmens des Projektes und beschränktem Projektbudget wurde die Gruppe der zu beratenen Haushalte nicht so groß angelegt, wie es aus statistischer Sicht sinnvoll wäre.

4.1. Vorgehensweise zur Auswahl der Testhaushalte

Zur Gewinnung der fünf Testhaushalte hat das Öko-Institut e.V. per Email einen Aufruf unter seinen Vereinsmitgliedern versandt (siehe Anhang, Abschnitt 9.3). Angeschrieben wurden insgesamt circa 1.000 Mitglieder, von denen sich 54 Haushalte über eine eigens eingerichtete online-Anmeldeseite des Öko-Instituts mit Interesse zur Teilnahme zurückgemeldet haben. Über die Anmeldeseite wurden neben den Kontaktdaten folgende Informationen erfasst: Jahresstromverbrauch, Personenanzahl im Haushalt, Warmwasserbereitung mit oder ohne Strom sowie (Nicht-) Vorhandensein einer Solaranlage.

Bei der Auswahl der fünf Haushalte, in denen die exemplarische Beratung durchgeführt werden sollte, wurde darauf geachtet, dass möglichst unterschiedliche Ausgangsvoraussetzungen gegeben waren:

- **PV-Anlage:** Es wurden drei Haushalte mit und zwei ohne installierter PV-Anlage ausgewählt.
- **Warmwasserbereitstellung:** In vier der ausgewählten Testhaushalte wird Warmwasser mit Gas, in einem mit Strom bereitgestellt. Unter den angemeldeten Haushalten befanden sich insgesamt im Verhältnis deutlich weniger Haushalte mit Warmwasserbereitstellung auf Basis von Strom.
- **Aktueller Jahresstromverbrauch:** Entsprechend der durchschnittlich höheren Stromverbräuche von Haushalten mit Batteriespeichern (siehe Kapitel 2.4), wurden auch für die Beratung vier Haushalte mit überdurchschnittlich hohem Stromverbrauch ausgewählt. Ergänzend dazu wurde die Beratung eines Haushalts mit unterdurchschnittlichem Stromverbrauch genutzt, um zu prüfen, ob auch hier weitere Einsparpotenziale identifiziert werden können.
- **Personenanzahl im Haushalt:** Es wurden drei Zwei-Personen-Haushalte und zwei Vier-Personen-Haushalte ausgewählt.
- **Geografische Verteilung:** Die fünf Testhaushalte befinden sich in Baden-Württemberg, Saarland und Nordrhein-Westfalen. Basierend auf der geographischen Verteilung werden für die Wirtschaftlichkeitsberechnung entsprechend unterschiedliche solare Einstrahlwerte verwendet.

4.2. Anpassungen des Tools auf Basis der Haushaltsberatungen

In allen fünf Haushalten wurden mit Hilfe des Beratungstools verschiedene Szenarien mit variierenden Parametern bzgl. der Auslegung des Batteriespeichers, der PV-Anlage sowie der erwarteten Inflationsrate und der künftigen Strompreise berechnet. In allen Haushalten wurde zudem eine Stromsparberatung durchgeführt und die ermittelten Einsparpotenziale wurden ebenfalls in den Berechnungen berücksichtigt. Die anonymisierten Protokolle der in den fünf Testhaushalten durchgeführten Beratungen befindet sich im Anhang (Abschnitt 9.4).

Grundsätzlich hat sich das im Rahmen dieses Vorhabens entwickelte Beratungstool zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von PV-Batteriespeichern unter Einbezug des Potenzials zum Stromsparen als sinnvoll und praxistauglich erwiesen. Basierend auf den Rückmeldungen und Erfahrungen durch die Beratungen in den fünf Testhaushalten wurden jedoch an unterschiedlichen Stellen noch die folgenden Überarbeitungen am Tool vorgenommen:

- Einspeisung der PV-Anlage ausschließlich ins Netz: in der vorläufigen Version des Tools wurde in allen drei Szenarien (Referenz, PV-Anlage mit Batteriespeicher ohne Stromeinsparungen sowie PV-Anlage mit Batteriespeicher und Stromeinsparungen) ein möglichst hoher Eigenverbrauch des erzeugten PV-Stroms angenommen. Während der Beratungen hat sich herausgestellt, dass es für ältere Anlagen aus finanzieller Sicht attraktiv ist, die hohen Einspeisevergütungen bis zum Ablauf der 20 Jahre zu beziehen und den Strom komplett ins öffentliche Netz einzuspeisen. Um diesem Aspekt Rechnung zu tragen, wurde bei der Überarbeitung des Tools bei der Abfrage von Daten zu bereits installierten PV-Anlagen die Option „PV Anlage zur ausschließlichen Netzeinspeisung“ hinzugefügt.
- Mindestgröße von Speichern: Es hat sich heraus gestellt, dass die Vorgabe einer Mindest-Batteriespeichergröße sinnvoll ist. Ansonsten wird bei PV-Anlagen kleiner 2 kWp vom Tool entsprechend ein sehr kleiner Speicher vorgeschlagen, da sich die vorgeschlagene Batteriespeichergröße im Verhältnis 1:1 an der Größe der PV-Anlage orientiert. Laut Marktrecherche (siehe Kapitel 2.4.2) bieten die meisten Hersteller Batteriespeicher erst ab 2 bis 3 kWh an. Noch kleinere Speichereinheiten sind auf Grund der fixen Kosten für die Elektronik dagegen verhältnismäßig teuer und meist unwirtschaftlich. Die Mindestgröße der kalkulierten Speicher wurde daher auf 2 kWh festgelegt. Es ist weiterhin möglich, eine Batteriespeichergröße von 0 kWh auszuwählen

um die Wirtschaftlichkeit von PV-Anlage und/oder Stromeinsparungen ohne Batteriespeicher berechnen zu können.

- Anpassung der hinterlegten Strompreise: Die während der Beratungen gesichteten Stromrechnungen haben gezeigt, dass dort kein Bezugspreis mit den gesamten Kosten für eine bezogene Kilowattstunde angegeben wird, sondern ein (brutto) Arbeitspreis sowie ein Grundpreis. Um Missverständnisse zu vermeiden, wurde im Tool die Bezeichnung „Bezugspreis“ in „Arbeitspreis“ geändert. Des Weiteren wurde nun auch in der Strompreis-Prognose des Öko-Instituts lediglich der Arbeitspreis hinterlegt, während hier zuvor eine Kombination aus Arbeits- und Grundpreis hinterlegt war.
- Optische Kennzeichnung überschriebener Felder: Die durchgeführten Beratungen haben gezeigt dass es sinnvoll ist, das Überschreiben hinterlegter Werte im Tool zu kennzeichnen. Überschriebene Angaben werden so lange berücksichtigt, bis sie wieder gelöscht werden. Um zu vermeiden, dass eigene Annahmen vergessen und für neue Szenarien (zu denen sie nicht passen) nicht gelöscht werden, werden überschriebene Felder in der überarbeiteten Version mit einem grünen Haken gekennzeichnet.
- Anpassung des Druckbereichs für die Dokumentation: Die Beratungen haben gezeigt, dass es sinnvoll ist, mit Hilfe der Druck-Funktion aus den Tabellenblättern des Tools PDFs erstellen zu können. So lassen sich berechnete Szenarien einfach und übersichtlich abspeichern. Zur optimalen Darstellung war eine Anpassung des Druckbereichs notwendig.
- Kurztitel des Tools: Für die bessere Vermarktung des Tools wurde vorgeschlagen, dem Tool einen kurzen prägnanten Namen zu geben. Dieser sollte gleichzeitig den zusätzlichen Fokus auf das Thema Stromsparen hervorheben. Aufgrund dieser Empfehlung wurde die Bezeichnung „Stromspar-Speicherrechner“ gewählt.
- Kosten der Stromsparmaßnahmen: Die Beratungen haben gezeigt, dass die im Tool hinterlegten Investitionen für Stromsparmaßnahmen meist als viel zu gering empfunden werden. Es ist bei zukünftigen Beratungen darauf zu achten, dass das Vorgehen zur Ermittlung der Durchschnittskosten (siehe Kapitel 3.3.4) ausführlich erläutert wird. Da im Tool nur die Differenz zwischen einem neu anzuschaffenden Standardgerät und einem neu anzuschaffenden Bestgerät berücksichtigt wird, sollte für die Fälle, in denen aktuell kein Austausch des Geräts geplant ist, eine höhere Investitionssumme per Hand eingetragen werden. Im Ergebnis zeigen die Berechnungen mit dem Tool jedoch auch bei höheren Investitionskosten für Stromsparmaßnahmen noch eine Wirtschaftlichkeit (siehe Abschnitt 5).

Nicht umgesetzte Vorschläge

Im Rahmen der Beratungen wurden darüber hinaus einige Aspekte angesprochen, die in der Aktualisierung des Tools (bewusst) nicht umgesetzt wurden:

- Berücksichtigung von PV-Anlagen mit Ost-West-Ausrichtung: Einige der beratenen Haushalte besitzen ein nach Ost-West ausgerichtetes Dach. Um die Komplexität des Tools zu begrenzen, wurde diese Auswahlmöglichkeit jedoch bewusst ausgeschlossen. Der geringere Ertrag gegenüber der im Tool hinterlegten Nord-Süd-Ausrichtung lässt sich zum Teil durch eine Verminderung der solaren Einstrahlung darstellen, die Veränderung der Erzeugungskurve ist jedoch nicht möglich. Dadurch wird die Wirtschaftlichkeit eines Batteriespeichers tendenziell überschätzt (siehe Kapitel 3.4), was bei der Ergebnisinterpretation zu berücksichtigen ist.

- Weitere Differenzierung der Personenanzahl: Es wurde vorgeschlagen, häufigen Besuch durch eine zusätzliche halbe Person darstellen zu können. Da Besuch im jährlichen Stromverbrauch enthalten ist und davon auszugehen ist, dass keine signifikante Verschiebung des Lastprofils entsteht, ist die Optimierung der Ergebnisse durch diese Maßnahme vernachlässigbar. Es wurde daher davon abgesehen, eine weitere Differenzierung zu ermöglichen.
- Verschiebung der Last durch Schaltuhren: Um den Stromverbrauch nicht nur zu senken, sondern gleichzeitig der eigenen Solarstromproduktion anzupassen, wurde der Einsatz von Schaltuhren zur Verschiebung bestimmter Lasten (z.B. Waschmaschine etc.) vorgeschlagen. Solche Verschiebungen im Tool abzubilden, ist aus Komplexitätsgründen nicht möglich. Auch wird auf Grund der Vielzahl der Themen (Wirtschaftlichkeit PV-Anlage und Batteriespeicher sowie Stromsparen) davon abgesehen, diesen zusätzlichen Aspekt als festen Bestandteil in die Anwendung des Tools mit aufzunehmen. Es spricht allerdings nichts dagegen, den Hinweis in passenden Beratungssituationen mit einzubringen.
- Berücksichtigung von Zinsraten: Es wurde angemerkt, dass das benötigte Kapitel nicht immer als Eigenkapital zur Verfügung steht und daher die Aufnahme eines Kredits bei Bedarf abgebildet werden sollte. Wie in Kapitel 3.4 beschrieben, wurden Kredite und Zinsraten nicht mit berücksichtigt, da die Vielzahl von Konditionen und Rückzahloptionen es schwer bis unmöglich macht, einen sinnvollen Durchschnittswert im Tool zu hinterlegen.

4.3. Übergreifende Erfahrungen aus den Haushaltsberatungen

Der Praxistest in den fünf Haushalten hat gezeigt, dass Gründe für die (mögliche) Installation eines PV-Batteriespeichers sowohl wirtschaftliche Motive sind (u.a. Auslaufen der EEG-Vergütung) als auch der Wunsch, genaues Wissen über die Herkunft des Stroms zu haben sowie einen Beitrag zur Energiewende zu leisten.

Insgesamt verfügten die teilnehmenden Haushalte über ein überdurchschnittlich hohes Wissen über den Einsatz von PV-Anlagen und Batteriespeichern sowie deren Einsatz und Rolle im Rahmen der Energiewende. Dies hatte den Vorteil, dass der Aufbau und die Funktionen des Tools in Zusammenarbeit mit sehr fachkundigen und damit kritischen Anwendern getestet wurden (vorgenommene Änderungen basierend auf dem Praxistest siehe oben, Abschnitt 4.2). Andererseits ist es möglich, dass mögliche Schwierigkeiten, die Anwender ohne entsprechendes Vorwissen gegebenenfalls haben könnten, bei diesen Beratungen nicht aufgezeigt wurden.

Bei der Anwendung des Tools bestand ein besonderes Interesse der Haushalte daran, in verschiedenen Szenarien die Speichergröße zu variieren und die jeweilige Wirtschaftlichkeit zu berechnen. Auch bestand Interesse, die Größe neu zu installierender PV-Anlagen zu variieren oder bei PV-Bestandsanlagen einen Zubau²⁹ von Photovoltaik-Modulen zu simulieren. Weniger gefragt wurden die Auswirkungen variierender Inflationsraten oder Strompreise.

Generell bestand in den Haushalten mit unter- als auch mit überdurchschnittlich hohem Stromverbrauch Interesse an einer Stromsparberatung. Diese wurde durch eine Vor-Ort-Begehung und Sichtung der vorhandenen Haushaltsgeräte, Beleuchtung, Heizungsanlage und weiteren Stromverbrauchern durchgeführt. Bei einem Haushalt war eine Begehung nicht möglich, sodass ein mündlicher Bericht über die vorhandenen Geräte und deren ungefähres Alter als Anhaltspunkt für die Stromsparberatung gedient hat.

²⁹ Eine Kombination von PV-Bestandsanlage und Zubau kann mit Hilfe des Tools nicht direkt abgebildet werden. Es ist innerhalb einer Berechnung nur möglich entweder die Bestandsanlage oder eine Neuinstallation zu berechnen und anschließend Rückschlüsse aus den einzelnen Szenarien zu kombinieren.

Das Bewusstsein für den eigenen Stromverbrauch und vor allem den Möglichkeiten, diesen zu reduzieren, war in den fünf ausgewählten Testhaushalten unterschiedlich ausgeprägt. Allen Haushalten war die Einordnung ihres jeweiligen Stromverbrauchs gegenüber dem bundesweiten Durchschnitt bekannt, da sie diesen den Stromrechnungen ihres jeweiligen Anbieters entnehmen konnten³⁰. Die Unterschiede lagen vor allem in der aktuellen Umsetzung möglicher Sparmaßnahmen. Während in einigen Haushalten schon sehr genau auf den Verbrauch geachtet wird (effiziente Geräte plus Verhaltensänderungen), waren in anderen, z.B. alte, ineffiziente Kühl- und Gefriergeräte im Keller oder zusätzliche Stromverbraucher, wie ein Aquarium oder eine Sauna für die teils hohen Verbräuche verantwortlich. Auch technisch notwendige Vielverbraucher, wie z.B. ein Entfeuchter im Keller, haben den Stromverbrauch zum Teil in die Höhe getrieben.

Es bestand in allen Haushalten Interesse daran, die während der Vor-Ort-Beratung vorgeschlagenen Stromsparmaßnahmen in Teilen umzusetzen. Als erste Priorität wurden vor allem geringinvestive Maßnahmen anvisiert, wie zum Beispiel die Umstellung der Beleuchtung auf LED oder der Einsatz von Master-Slave-Steckdosen. Für die Umsetzung investiver Maßnahmen, wie dem Ersatz alter ineffizienter Geräte, wurde ebenfalls Bereitschaft signalisiert. Die im Beratungstool verwendete Höhe der Stromeinsparpotenziale basierte jeweils auf den zuvor durchgeführten Beratungen. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden dabei konservativ nur diejenigen Maßnahmen berücksichtigt, deren Umsetzung von den Haushalten tatsächlich als realistisch eingeschätzt und in absehbarer Zeit angestrebt wird.

Insgesamt hat sich somit gezeigt, dass die Testhaushalte über das ursprüngliche Interesse an einer Wirtschaftlichkeitsberechnung für geplante Technologieinvestitionen mit Hilfe des Beratungstools und der kombinierten Stromsparberatung sehr gut für das Thema Stromsparen sensibilisiert werden konnten.

Vor dem Hintergrund, dass alle Testhaushalte Vereinsmitglieder des Öko-Instituts e.V. sind und somit tendenziell ein überdurchschnittliches Interesse an Umwelt- und Klimaschutz haben, sind diese Ergebnisse nicht uneingeschränkt verallgemeinerbar. Zwar lässt sich für die ausgewählten Testhaushalte die Erfahrung aus dem bundesweiten Speichermonitoring nach Figgenger et al. (2017) übertragen, dass sie als Käufer von PV-Speichern der Gruppe der „Innovators“ bzw. „Early Adopters“ zugerechnet werden können, die als überdurchschnittlich gebildet, wohlhabend und technologieinteressiert gelten. Vor allem die Bereitschaft, auch aufwändigere, investive Maßnahmen zum Stromsparen umzusetzen, könnte jedoch in anderen Haushalten geringer sein, während auf der anderen Seite anzunehmen ist, dass für leicht umsetzbare, geringinvestive Maßnahmen allgemein eine hohe Umsetzungsbereitschaft bestehen wird.

³⁰ Die Angabe des bundesweiten Durchschnittsstromverbrauchs auf den Stromrechnungen erfolgt nicht anhand der detaillierten Haushaltseffizienzklassen A-G des Stromspiegels (siehe www.stromspiegel.de), auf der das Beratungstool des Öko-Instituts basiert. Stattdessen wurden die Verbräuche auf den Stromrechnungen i.d.R. auf einer allgemeinen Skala von sehr niedrig bis sehr hoch eingeordnet.

5. Bestimmung des optimalen Einsatzes von PV-Anlagen und Batteriespeichern in Kombination mit Stromsparmaßnahmen

5.1. Zielsetzung des Arbeitspaketes

Nach Fertigstellung des Stromspar-Speicherrechners wurde das Tool dazu genutzt, auf Grundlage unterschiedlicher Nutzungsszenarien die Kombination eines Batteriespeichers mit einer PV-Bestands- oder PV-Neuanlage sowie Stromeinsparmaßnahmen zu simulieren und aus den Ergebnissen Rückschlüsse über den optimalen Einsatz von Batteriespeichern in Privathaushalten zu ziehen.

5.2. Auswahl der Szenarien und Berechnungsgrundlagen

Zur Ableitung von Empfehlungen wurden insgesamt drei verschiedene Szenarien definiert, mit denen folgende Fragen beantwortet werden können:

Szenario A: PV-Bestandsanlage: Investition in einen Batteriespeicher und Auswirkungen von Stromeinsparungen

- Ist bei PV-Bestandsanlagen, deren EEG-Vergütung demnächst ausläuft, die Installation eines PV-Batteriespeichers zur Erhöhung des Eigenverbrauchs wirtschaftlich? Und wenn ja, welche Batteriespeichergröße ist von Vorteil? Wie würden sich zusätzliche Investitionen in Stromeinsparmaßnahmen auf den Autarkiegrad und die Wirtschaftlichkeit auswirken?

Szenario B: Neuinstallation einer PV-Anlage ohne Speicher: Dimensionierung mit und ohne Stromeinsparungen

- Welche Dimensionierung bietet bei einer geplanten Neuinstallation einer PV-Anlage den größten wirtschaftlichen Vorteil? Macht es Sinn, parallel zur Installation einer PV-Anlage in Stromeinsparungen zu investieren, auch wenn der Strom günstig und ökologisch selber erzeugt wird? Ist es finanziell sinnvoll, die vorhandene Dachfläche maximal auszunutzen oder sollte die PV-Anlage kleiner dimensioniert werden, wenn sich mein Strombedarf verringert?

Szenario C: Neuinstallation einer PV-Anlage mit Speicher: Auswirkungen von Stromeinsparungen

- Bietet sich bei Neuinstallation einer PV-Anlage die parallele Investition in einen Batteriespeicher zur Erhöhung des Autarkiegrads an? Welche Auswirkungen haben Stromeinsparungen auf den Autarkiegrad, die erforderliche Dimensionierung des Batteriespeichers und die Gesamtwirtschaftlichkeit der geplanten Investitionen?

Die zugrunde liegenden Eingabeparameter wurden so ausgewählt, dass ein möglichst durchschnittlicher Haushalt, der über die Anschaffung eines PV-Batteriespeichers nachdenkt, abgebildet wird: ein Zwei-Personen-Haushalt, der in einem Ein- bis Zweifamilienhaus wohnt und einen eher überdurchschnittlichen Stromverbrauch hat. Um die Ergebnisse der unterschiedlichen Szenarien vergleichbar zu machen, wurden in den Berechnungen nur einzelne Inputparameter variiert. Folgende Eingaben sind für alle Szenarien gleich:

- Durchschnittlicher jährlicher Stromverbrauch: 4.000 kWh; für einen Zwei-Personen-Haushalt in einem Ein- bis Zweifamilienhaus entspricht dies der Stromeffizienzklasse F (siehe dung 5-1).
- Die Warmwasserbereitstellung erfolgt nicht elektrisch.

- Für die solare Einstrahlung wurde der bundesweite Durchschnitt von 965 kWh/kWp angesetzt.
- Als Kosten für die PV-Anlage und den Batteriespeicher wurden die im Tool hinterlegten Werte genutzt.
- Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit über 20 Jahre wird eine durchschnittliche jährliche Inflationsrate von 1 Prozent angenommen.
- Für den Strompreis und die Strompreisentwicklung wurden, wenn nicht anders definiert, die hinterlegten Prognosen des Öko-Instituts verwendet; darin wird ein Anstieg der Strompreise bis zum Jahr 2025 angenommen, danach sinken die Strompreise unter der Annahme einer prognostizierten fallenden EEG-Umlage.
- Für die Berechnung, ab wieviel Prozent Strompreissteigerung sich ein Batteriespeicher finanziell lohnt, wurde als Ausgangswert ein Durchschnittsstrompreis (Arbeitspreis, Stand Mai 2017) von 0,2923 Euro/kWh gemäß BDEW (2017) angenommen.
- Es werden unterschiedliche hohe Stromeinsparungen berücksichtigt (Reduzierung um 1.000 kWh bzw. 2.000 kWh). Bei allen Szenarien wird eine Aufteilung von 30 Prozent für geringinvestive und 70 Prozent für investive Maßnahmen angenommen. Als zu investierende Kosten für die Energieeinsparungen werden die im Tool hinterlegten Werte genutzt (771 Euro und 1.542 Euro).

Abbildung 5-1: Bestimmung der Stromeffizienzklasse, basierend auf Stromverbrauch, Gebäudetyp, Warmwasserbereitung und Personenanzahl

Gebäude- typ	Warm- wasser	Personen im Haushalt	Verbrauch in Kilowattstunden (kWh) pro Jahr						
			Gering						Sehr hoch
			A	B	C	D	E	F	G
Ein- oder Zweifami- lienhaus	ohne Strom	1 Person	≤ 1.300	≤ 1.700	≤ 2.000	≤ 2.500	≤ 3.000	≤ 4.000	> 4.000
		2 Personen	≤ 2.100	≤ 2.500	≤ 3.000	≤ 3.200	≤ 3.600	≤ 4.400	> 4.400
		3 Personen	≤ 2.600	≤ 3.000	≤ 3.500	≤ 3.900	≤ 4.300	≤ 5.200	> 5.200
	mit Strom	1 Person	≤ 2.900	≤ 3.500	≤ 3.800	≤ 4.200	≤ 4.900	≤ 5.900	> 5.900
		2 Personen	≤ 3.500	≤ 4.000	≤ 4.800	≤ 5.400	≤ 6.000	≤ 7.500	> 7.500
		3 Personen	≤ 1.500	≤ 2.000	≤ 2.500	≤ 3.000	≤ 3.600	≤ 5.000	> 5.000
Wohnung im Mehrfami- lienhaus	ohne Strom	1 Person	≤ 2.500	≤ 3.000	≤ 3.500	≤ 4.000	≤ 4.500	≤ 5.800	> 5.800
		2 Personen	≤ 3.000	≤ 3.800	≤ 4.200	≤ 4.900	≤ 5.700	≤ 7.300	> 7.300
		3 Personen	≤ 3.500	≤ 4.000	≤ 4.800	≤ 5.500	≤ 6.300	≤ 8.000	> 8.000
	mit Strom	1 Person	≤ 4.200	≤ 5.000	≤ 6.000	≤ 7.000	≤ 8.000	≤ 10.900	> 10.900
		2 Personen	≤ 800	≤ 1.000	≤ 1.200	≤ 1.500	≤ 1.800	≤ 2.200	> 2.200
		3 Personen	≤ 1.300	≤ 1.600	≤ 2.000	≤ 2.200	≤ 2.600	≤ 3.100	> 3.100
Wohnung im Mehrfami- lienhaus	ohne Strom	1 Person	≤ 1.700	≤ 2.000	≤ 2.400	≤ 2.800	≤ 3.200	≤ 3.900	> 3.900
		2 Personen	≤ 1.900	≤ 2.400	≤ 2.800	≤ 3.200	≤ 3.700	≤ 4.500	> 4.500
		3 Personen	≤ 2.200	≤ 2.800	≤ 3.500	≤ 4.000	≤ 4.800	≤ 5.700	> 5.700
	mit Strom	1 Person	≤ 1.200	≤ 1.500	≤ 1.800	≤ 2.000	≤ 2.400	≤ 3.000	> 3.000
		2 Personen	≤ 2.000	≤ 2.500	≤ 2.900	≤ 3.100	≤ 3.500	≤ 4.200	> 4.200
		3 Personen	≤ 2.600	≤ 3.200	≤ 3.700	≤ 4.100	≤ 4.700	≤ 5.600	> 5.600
mit Strom	1 Person	≤ 2.800	≤ 3.500	≤ 4.000	≤ 4.600	≤ 5.400	≤ 6.500	> 6.500	
	2 Personen	≤ 2300	≤ 3000	≤ 3500	≤ 4200	≤ 4600	≤ 5300	> 5.300	
	3 Personen								

Quelle: Öko-Institut, basierend auf dem „Stromspiegel 2017“ (co2online gGmbH 2017)

5.3. Bilanzielle Optimierung auf Basis der Wirtschaftlichkeitsberechnungen

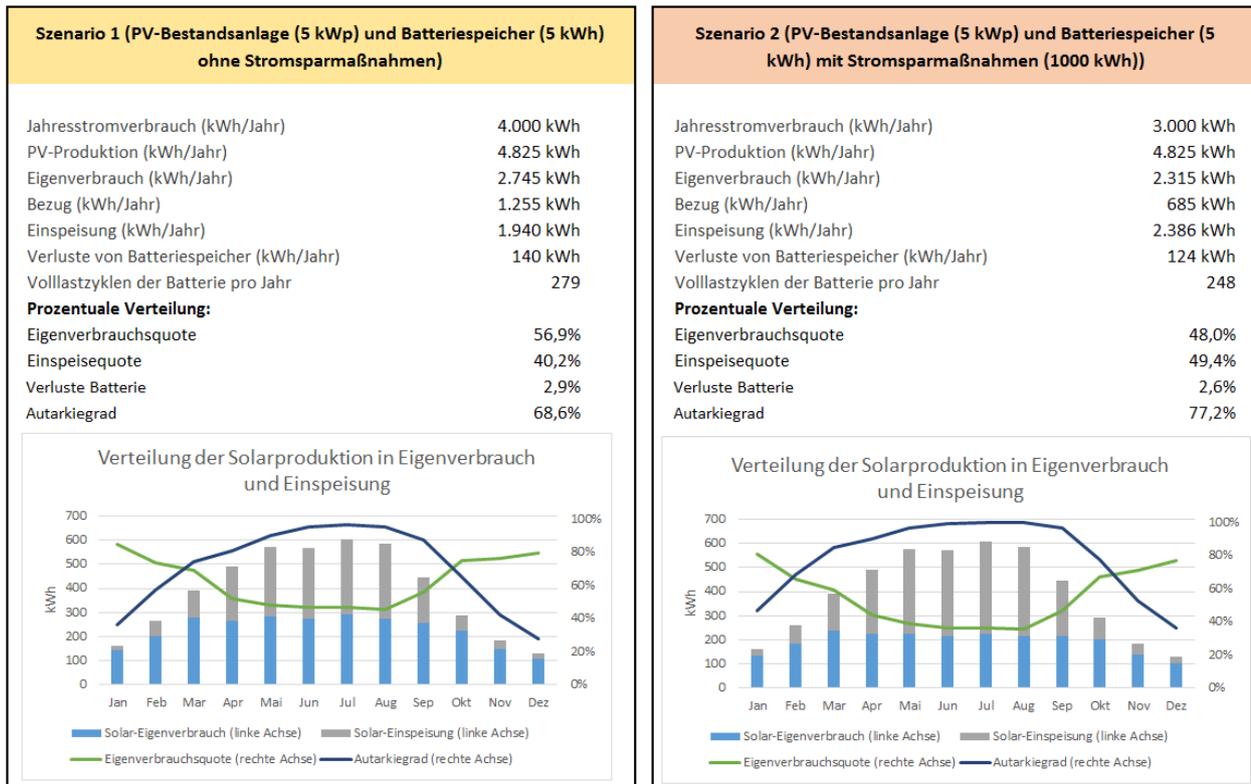
5.3.1. PV-Bestandsanlage: Investition in Batteriespeicher und Auswirkungen von Stromeinsparungen

Das erste Nutzungsszenario beschreibt einen Haushalt, der kurz nach Einführung der EEG-Förderung im Jahr 2000 eine PV-Anlage installiert hat und bisher den erzeugten Strom für über 50 Cent/kWh komplett in das öffentliche Stromnetz einspeist. Die EEG-Förderung wird zum 31.12.2020 auslaufen, danach wird die Einspeisung lediglich mit dem Börsenstrompreis (Stand Dez 2017: ca. 3 Cent/kWh) vergütet. Da der Bezugspreis für Strom mit einem Arbeitspreis um die 29 Cent/kWh deutlich höher liegt, scheint ein möglichst hoher Eigenverbrauch durch einen nachträglich installierten Batteriespeicher ab 2021 eine sinnvolle Alternative zu sein. Im Zug einer Stromsparberatung wurde ein Einsparpotential von 1.000 kWh identifiziert und der Haushalt möchte gerne wissen, wie sich die Umsetzung der Stromeinsparungen bilanziell auswirken würde, und ob nach deren Realisierung gegebenenfalls ein kleinerer Speicher ausreicht. Zusätzlich interessiert sich der Haushalt dafür, wie sich die Installation eines Batteriespeichers bzw. Stromeinsparungen auf den Autarkiegrad auswirken.

Gemäß Berechnungen des Stromspar-Speicherrechners führt die Installation eines Speichers, wie zu erwarten, zu einem höheren Eigenverbrauch und Autarkiegrad im Vergleich zur alleinigen Nutzung der PV-Anlage. Unter der Annahme, dass eine 5 kWp PV-Bestandsanlage mit einem 5 kWh Batteriespeicher nachgerüstet wird, erhöht sich die Eigenverbrauchsquote von 31 Prozent ohne Speicher auf knapp 57 Prozent, der Autarkiegrad von 37 Prozent auf 69 Prozent. Wird eine kleinere Speichergröße gewählt, z.B. ein 2-kWh Batteriespeicher, liegen sowohl die Eigenverbrauchsquote mit 43 Prozent als auch der Autarkiegrad mit 53 Prozent etwas niedriger. Insgesamt liegen die ermittelten Werte jedoch in der Bandbreite typischer Eigenverbrauchsquoten und Autarkiegrade von Privathaushalten mit PV-Anlage und Batteriespeicher (siehe Kapitel 2.4.4).

Werden ergänzend zum 5-kWh-Speicher Stromeinsparungen in Höhe von 1.000 Kilowattstunden realisiert, so sinkt auf der einen Seite die Eigenverbrauchsquote (von 57 Prozent auf 48 Prozent), während gleichzeitig der Autarkiegrad sogar noch weiter gesteigert werden kann, nämlich von 69 Prozent auf 77 Prozent (siehe Abbildung 5-2, Szenario 2).

Bei den Angaben handelt es sich jeweils um den jährlichen Durchschnitt, die tatsächlichen Werte variieren deutlich über das Jahr, wie in den Diagrammen in Abbildung 5-2 sichtbar ist.

Abbildung 5-2: Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad einer 5 kWp PV-Anlage in Kombination mit einem 5 kWh Batteriespeicher


Quelle: Öko-Institut e.V.

Betrachtet man die Gesamtwirtschaftlichkeit der Investitionen, so ist die alleinige Installation eines Batteriespeichers bei einer PV-Bestandsanlage unter den oben beschriebenen Annahmen knapp nicht wirtschaftlich. Die Installation eines 5 kWh Batteriespeichers im Jahr 2021, d.h. nach Auslaufen der hohen EEG-Vergütung, würde gerechnet über einen Zeitraum von 20 Jahren zu einem wirtschaftlichen Nachteil von insgesamt 172 Euro führen (siehe Abbildung 5-3).

Abbildung 5-3: Wirtschaftlichkeit eines 5 kWh Batteriespeichers, der nach Auslaufen der EEG-Vergütung zusätzlich zu einer 5 kWp PV-Anlage installiert wird

	Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation mit einer PV-Bestandsanlage (5 kWp) und ausschließlich Netzeinspeisung								
Strombezugskosten (€)	(für 4000 kWh)		- 765 €	- 767 €	- 769 €		- 682 €	- 14.672 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)		- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 4825 kWh)		100 €	100 €	100 €		100 €	2.002 €
							Kosten:	- 12.669 €

Bei der gewählten PV-Bestandsanlage mit ausschließlicher Netzeinspeisung wird bis zum Ende der EEG-Vergütung die gesamte PV-Erzeugung eingespeist. Danach wird eine Umstellung auf Eigenstromnutzung angenommen (Strombezug: 2512 kWh/a, Stromeinspeisung: 3337 kWh/a).

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (5 kWp) und Batteriespeicher (5 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)								
Kosten PV (€)	(für 5,0 kWp)	- €	- €	- €	- €		- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 5,0 kWh)	- 4.620 €	- 93 €	- 94 €	- 95 €		- 113 €	- 6.675 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €		- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 1255 kWh)		- 382 €	- 383 €	- 384 €		- 341 €	- 7.330 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)		- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 1940 kWh)		58 €	58 €	58 €		58 €	1.164 €
								- 12.841 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								-172 €

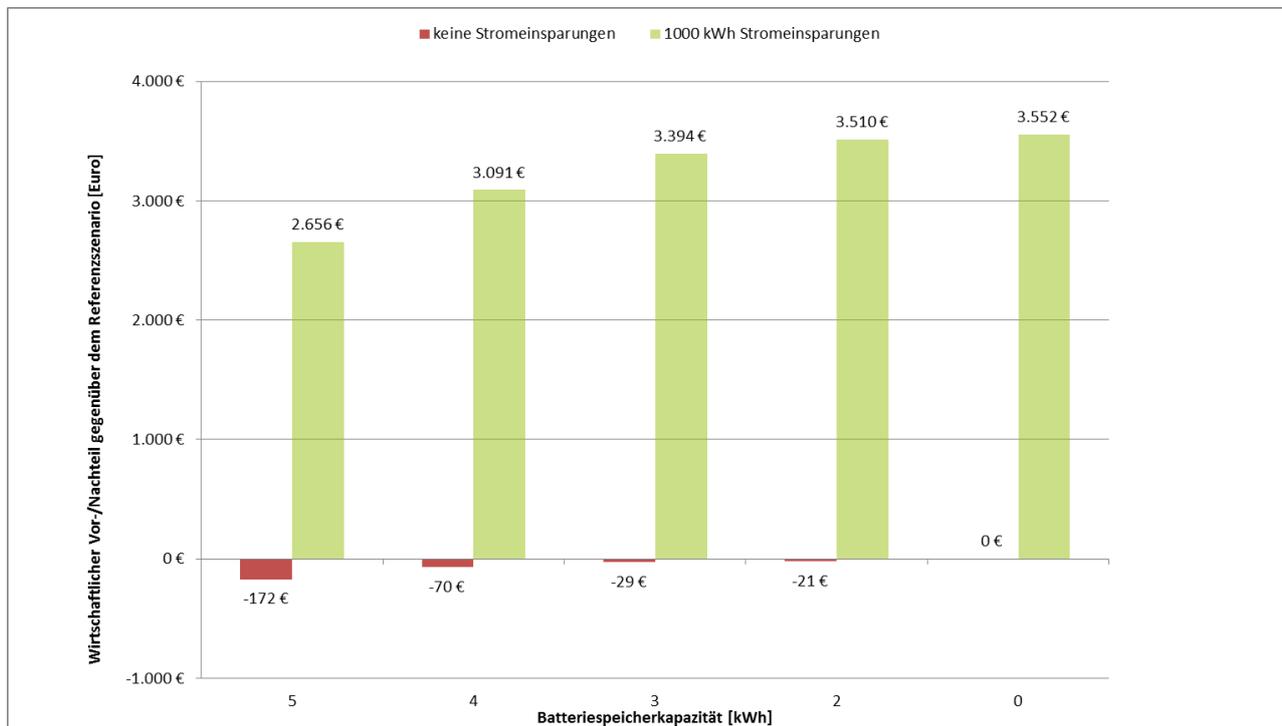
Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (5 kWp) und Batteriespeicher (5 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (1000 kWh))								
Kosten PV (€)	(für 5,0 kWp)	- €	- €	- €	- €		- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 5,0 kWh)	- 4.620 €	- 93 €	- 94 €	- 95 €		- 113 €	- 6.675 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 1000 kWh)	- 771 €	- €	- €	- €		- €	- 771 €
Strombezugskosten (€)	(für 685 kWh)		- 209 €	- 209 €	- 210 €		- 186 €	- 3.999 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)		- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 2386 kWh)		72 €	72 €	72 €		72 €	1.431 €
							Summe:	- 10.014 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								2.656 €

Quelle: Öko-Institut e.V.

Simuliert man unterschiedliche Speichergrößen zwischen 2 bis 5 kWh, so wird der wirtschaftliche Nachteil mit sinkender Speicherkapazität kontinuierlich kleiner: Bei einem 2-kWh-Batteriespeicher würde über einen Zeitraum von 20 Jahren betrachtet noch ein wirtschaftlicher Nachteil von insgesamt 21 Euro entstehen (siehe Abbildung 5-4). Inflationsbereinigt würde die interne Verzinsungsrate eines Batteriespeichers für alle betrachteten Größen bei ca. minus 1 Prozent liegen.

Dagegen stellt die Investition in einen Batteriespeicher kombiniert mit Stromeinsparungen gegenüber dem Referenzszenario, d.h. einer PV-Bestandsanlage ohne diese Maßnahmen, in jedem Fall einen wirtschaftlichen Vorteil dar. Realisiert der Haushalt neben der Anschaffung eines 5-kWh-Speichers finanzielle Investitionen in Stromeinsparmaßnahmen von 1.000 kWh, so ergibt sich ein wirtschaftlicher Vorteil von 2.656 Euro gegenüber der Ausgangssituation. Die Ergebnisse zeigen aber, dass dieser Vorteil ausschließlich auf die Stromeinsparungen zurückzuführen ist. Je kleiner der Batteriespeicher ausgelegt wird, desto positiver fällt das Ergebnis aus. Aus gesamtwirtschaftlicher Sicht am vorteilhaftesten ist es, wenn ausschließlich die Stromeinsparungen von 1.000 Kilowattstunden realisiert werden. In diesem Fall würde der Haushalt über einen Zeitraum von 20 Jahren aufgrund des niedrigeren Strombezugs einen wirtschaftlichen Vorteil von insgesamt 3.552 Euro erwirtschaften. Dies entspricht einer internen Verzinsung von 32 Prozent, die Verzinsungsrate mit zusätzlichem Batteriespeicher würde je nach Größe zwischen vier bis neun Prozent betragen.

Abbildung 5-4: Wirtschaftlichkeit der Kombination einer 5 kWp PV-Bestandsanlage mit auslaufender EEG-Vergütung und einem nachgerüsteten Batteriespeicher, im Vergleich mit und ohne parallel realisierte Stromesparungen



Quelle: Öko-Institut e.V.

Wie in Kapitel 5.2 beschrieben, basieren die in den Berechnungen zugrunde gelegten Strompreisentwicklungen auf Prognosen des Öko-Instituts gemäß BMUB (2017), in denen aufgrund der auslaufenden hohen Einspeisevergütungen davon ausgegangen wird, dass die EEG-Umlage ab 2025 sinkt und dies in den Folgejahren zu insgesamt leicht reduzierten Stromkosten führt. Zusätzliche Berechnungen haben gezeigt, dass unter Annahme einer jährlichen Steigerung des Strompreises ab 0,9 Prozent der Break-Even erreicht wird, das heißt die Investition in einen 5 kWh Batteriespeicher über einen Zeitraum von 20 Jahren gesehen wirtschaftlich wird. Die reale Verzinsung liegt in diesem Fall bei 0,1 Prozent, der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario bei 571 Euro. Höhere Annahmen bezüglich der jährlichen Strompreissteigerung führen wie zu erwarten zu einer weiteren Steigerung der internen Verzinsungsrate (z.B. von 0,3 Prozent IRR bei einer angenommenen jährlichen Strompreissteigerung von 1 Prozent).

PV-Bestandsanlagen mit zusätzlicher EEG-Vergütung durch Eigenverbrauchsbonus

Photovoltaik-Anlagen, die im Zeitraum zwischen 2009 und Anfang 2012 installiert wurden, erhalten abhängig von ihrem genauen Installationsdatum über das EEG auf jede Kilowattstunde, die von dem erzeugten PV-Strom selbst genutzt wird, einen zusätzlichen Eigenverbrauchsbonus, der sogar höher ausfällt, wenn der Eigenverbrauch über 30 Prozent liegt (siehe Abschnitt 3.3.2). Für diese Fälle soll mit dem Stromspar-Speicherrechner ermittelt werden, ob die Investition in einen PV-Batteriespeicher zur Erhöhung des Eigenverbrauchs tatsächlich wirtschaftlich ist, wie in Abbildung 5-5 dargestellt.

Abbildung 5-5: Einfluss des Installationsdatums bei PV-Bestandsanlagen auf die Wirtschaftlichkeit eines Speichers

Jahr	Quartal	Einspeise-tarif [€ct./kWh]	Eigen-verbrauchs-bonus [€ct./kWh]	Bonus für >30% Eigen-verbrauch [€ct./kWh]	KfW?	Enerkeep Speicher-Wert-Index [10=Speicher macht Sinn]	Kommentar
2000	Q1-Q4	50,62				8,0	Hoher Einspeisetarif, aber für nur noch wenige Jahre.
2001	Q1-Q4	50,62				6,8	
2002	Q1-Q4	48,1				6,0	
2003	Q1-Q4	45,7				5,4	
2004	Q1-Q4	57,4				1,8	Hoher Einspeisetarif mit noch einigen Jahren Laufzeit: Einspeisung macht mehr Sinn als Speicherung
2005	Q1-Q4	54,53				1,2	
2006	Q1-Q4	51,8				0,7	
2007	Q1-Q4	49,2				0,3	
2008	Q1-Q4	46,75				0,0	
2009	Q1-Q4	43,01	25,01			8,3	Eigenverbrauchs-bonus: Speichern rechnet sich!
2010	Q1	39,14	22,76			8,5	
	Q2	39,14	22,76			8,5	
	Q3	34,05	17,67	22,05		10,0	Eigenverbrauchs-bonus + spezieller Bonus ab einer Eigenverbrauchs-quote von 30% (was mit Speichern leicht erreichbar ist): Speichern lohnt sich! Übrigens: Mit AC-Systemen holen Sie mehr aus dem Bonus heraus! [€]
	Q4	33,03	16,65	21,03		10,0	
2011	Q1	28,74	12,36	16,74		9,8	
	Q2	28,74	12,36	16,74		9,8	
	Q3	28,74	12,36	16,74		9,8	
	Q4	28,74	12,36	16,74		9,8	
2012	Q1	24,43	8,05	12,43		9,5	
	Q2	19,50				6,6	Niedrige Einspeisetarife machen Speicher attraktiv
	Q3	18,92				6,8	
	Q4	18,54				7,0	

2013	Q1	17,02	Ja	8,2	Kontinuierlich absinkende Einspeisetarife + Speicherförderung der KfW (bis zu 33% der Speichersystemkosten) machen Speicher attraktiv!
	Q2	15,92	Ja	8,5	
	Q3	15,07	Ja	8,8	
	Q4	14,27	Ja	9,1	
2014	Q1	13,68	Ja	9,4	
	Q2	13,28	Ja	9,4	
	Q3	12,88	Ja	9,4	
	Q4	12,65	Ja	9,5	
2015	Q1	12,56	Ja	9,5	
	Q2	12,47	Ja	9,6	
	Q3	12,37	Ja	9,6	
	Q4	12,31	Ja	9,8	
2016	Q1	12,31	Ja	9,8	
	Q2	12,31	Ja	9,8	
	Q3	12,31	Ja	9,8	
	Q4	12,31	Ja	9,8	
2017	Q1	12,30	Ja	9,8	
	Q2	12,27	Ja	9,8	
	Q3	12,20	Ja	9,8	
	Q4	12,20	Ja	9,8	
2018	Q1	12,20	Ja	9,8	

Quelle: Enerkeep (2018)

Die Simulation eines 6 kWh Speichers, der im Jahr 2018 nachträglich zu einer 6 kWp PV-Anlage³¹ aus Q1/2009 oder Q3/2010 installiert wird, zeigt unter den beschriebenen Annahmen, dass auch hier die Investition in einen Speicher über einen Zeitraum von 20 Jahren betrachtet einen wirtschaftlichen Nachteil gegenüber dem Referenzszenario ohne Batteriespeicher bedeutet. Auch in dieser Konstellation würden zusätzliche Investitionen in Stromsparmaßnahmen den wirtschaftlichen Nachteil reduzieren (siehe Abbildung 5-6).

Erklären lässt sich das Ergebnis durch die Höhe der entgangenen Einspeisevergütungen. Ein höherer Eigenverbrauch bedeutet gleichzeitig, dass weniger Solarstrom ins Netz eingespeist wird. Der tatsächliche Vorteil gegenüber der Netzeinspeisung besteht also lediglich aus der Differenz zwischen Eigenverbrauchsbonus (inklusive dem Extrabonus für einen Eigenverbrauch von mehr als 30 Prozent) und der jeweils gültigen EEG-Vergütung. Im dritten Quartal 2010 entspricht dies $(22,05 \text{ ct/kWh} + 17,67 \text{ ct/kWh}) - 34,05 \text{ ct/kWh} = 5,67 \text{ ct/kWh}$. Zu anderen Zeitpunkten ist diese Differenz sogar negativ, sodass mit jeder Kilowattstunde, die selber verbraucht anstatt ins Netz eingespeist wird, ein finanzieller Nachteil entsteht. In allen der beschriebenen Fälle lohnt sich daher die nachträgliche Installation eines Speichers aus gesamtwirtschaftlicher Sicht nicht.

³¹ Im Vergleich zu den bisherigen Berechnungen wurde eine größere PV-Anlagengröße gewählt, sodass die Eigenverbrauchsquote ohne Speicher unter 30 Prozent liegt und der Bonus erst durch den Speicher realisiert wird. Eine 5 kWp PV-Anlage deckt einen jährlichen Stromverbrauch von 4.000 kWh bereits zu über 30 Prozent ab.

Abbildung 5-6: Wirtschaftlichkeit eines 6 kWh Batteriespeichers, der nachträglich zu einer im Juli 2010 in Betrieb genommenen 6 kWp PV-Anlage installiert wird

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (6 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)								
Kosten PV (€)	(für 6,0 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 6,0 kWh)	- 6.970 €	- 141 €	- 142 €	- 144 €	-	- 170 €	- 10.070 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	-	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 1030 kWh)	-	- 304 €	- 312 €	- 313 €	-	- 285 €	- 6.098 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 2970 kWh)	-	579 €	579 €	579 €	-	- €	6.368 €
Einspeisevergütung (€)	(für 2663 kWh)	-	907 €	907 €	907 €	-	80 €	10.692 €
								892 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								-4.670 €

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (6 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (1000 kWh))								
Kosten PV (€)	(für 6,0 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 6,0 kWh)	- 6.970 €	- 141 €	- 142 €	- 144 €	-	- 170 €	- 10.070 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 1000 kWh)	- 771 €	- €	- €	- €	-	- €	- 771 €
Strombezugskosten (€)	(für 552 kWh)	-	- 163 €	- 167 €	- 168 €	-	- 153 €	- 3.268 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 2448 kWh)	-	464 €	464 €	464 €	-	- €	5.101 €
Einspeisevergütung (€)	(für 3208 kWh)	-	1.092 €	1.092 €	1.092 €	-	96 €	12.882 €
								3.874 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								-1.688 €

Quelle: Öko-Institut

Fazit:

- Bei PV-Bestandsanlagen, deren EEG-Förderung Ende 2020 ausläuft, lohnt sich unter den zugrunde gelegten Annahmen die Installation eines Batteriespeichers im Jahr 2021 aus finanzieller Sicht nicht. Auch für PV-Bestandsanlagen aus dem Zeitraum 2009 bis 2012, die einen zusätzlichen Eigenverbrauchsbonus erhalten, führt die Installation eines Speichers zu einem finanziellen Nachteil. Je kleiner der Speicher ausgelegt wird, desto kleiner fällt der wirtschaftliche Nachteil gegenüber dem Referenzszenario ohne Batteriespeicher aus.
- Der finanzielle Nachteil für PV-Anlagen mit auslaufender EEG-Vergütung ist vergleichsweise gering, sodass sich das Ergebnis durch veränderte Rahmenbedingungen (z.B. schnelleres Sinken der Batteriepreise oder Annahme steigender Strompreise) ändern kann. Bei PV-Anlagen, die einen Eigenverbrauchsbonus erhalten, ist der finanzielle Nachteil durch Investition in einen Batteriespeicher so groß, dass sich das grundsätzliche Ergebnis nicht so schnell ändern wird.
- Die Investition in Stromsparmaßnahmen, z.B. dem Ersatz alter ineffizienter Geräte, ist nicht nur ein wichtiger Bestandteil der Energiewende, sondern führt durch die Verringerung der Kosten für den Strombezug über einen Zeitraum von 20 Jahren gesehen zu einem gesamtwirtschaftlichen Vorteil. Auch bei einer PV-Bestandsanlage, deren Eigenverbrauchsquote durch Effizienzmaßnahmen sinkt, überwiegen die wirtschaftlichen Vorteile des Stromeinsparens.
- Die Nachrüstung einer PV-Bestandsanlage mit einem Batteriespeicher führt zu einer höheren Eigenverbrauchsquote und einem höheren Autarkiegrad. Werden zusätzlich Stromeinsparungen vorgenommen, kann der Autarkiegrad sogar noch weiter gesteigert werden.

Praktischer Hinweis für den Kauf eines Batteriespeichers: Da die EEG-Förderung für alle Anlagen, die innerhalb eines Jahres installiert worden sind, gleichzeitig zum 31. Dezember eines Jahres ausläuft, sollte die Installation in einen Batteriespeicher rechtzeitig geplant werden. Es ist denkbar, dass es jeweils vor Jahresende zu einer erhöhten Nachfrage kommt und sich dadurch die Lieferzeiten verlängern oder auch die Preise erhöhen könnten.

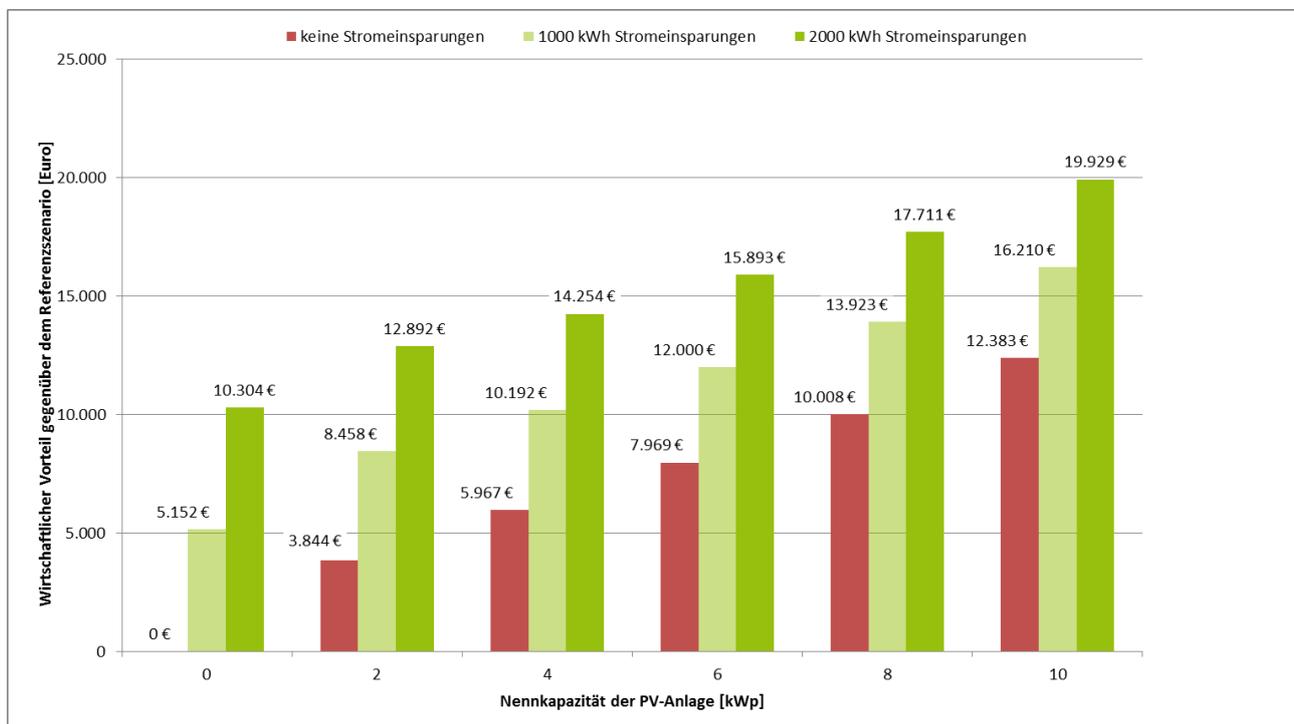
5.3.2. Neuinstallation einer PV-Anlage ohne Speicher: Dimensionierung mit und ohne Stromeinsparungen

Dieses Nutzungsszenario beschreibt einen Haushalt, der die Neuinstallation einer PV-Anlage plant und unentschieden ist, wie groß die Anlage dimensioniert werden soll. Generell ist der Haushalt daran interessiert, einen eigenen Beitrag zur Energiewende zu leisten und eine möglichst große PV-Anlage zu installieren, allerdings nur wenn dadurch kein finanzieller Nachteil entsteht. Der Haushalt hat einen durchschnittlichen Jahresverbrauch von 4.000 kWh, es wurden Stromeinsparpotentiale von 1.000 kWh für 771 Euro Investitionskosten bzw. 2.000 kWh für 1.542 Euro identifiziert.

Wie Abbildung 5-7 verdeutlicht, lohnt sich nicht nur eine 4-5 kWp PV-Anlage, die bilanziell gesehen den Jahresstrombedarf des Haushalts abdeckt, sondern auch größere Anlagen bis zu 10 kWp³². Die Installation einer 10-kWp-Anlage würde aufgrund der EEG-Einspeisevergütung über 20 Jahre gesehen einen wirtschaftlichen Vorteil von 12.383 Euro gegenüber der Ausgangssituation ohne PV-Anlage erzielen, eine 4-kWp-Anlage 5.967 Euro (jeweils ohne Berücksichtigung der Inflation).

Investiert der Haushalt darüber hinaus zusätzlich in Stromsparmaßnahmen, so erhöht sich der finanzielle Vorteil aufgrund der verringerten Kosten für Strombezug noch weiter. Bei einer 10-kWp-Anlage führen Stromeinsparungen von jährlich 1.000 kWh über einen Zeitraum von 20 Jahren gesehen zu einem Vorteil von 16.210 Euro, Investitionen in Sparmaßnahmen von jährlich 2.000 kWh sogar zu einem Vorteil von knapp 20.000 Euro gegenüber der Ausgangssituation ohne PV-Anlage und ohne Stromsparmaßnahmen.

Abbildung 5-7: Wirtschaftlichkeit unterschiedlich dimensionierter, neu installierter PV-Anlagen mit und ohne zusätzliche Stromsparmaßnahmen



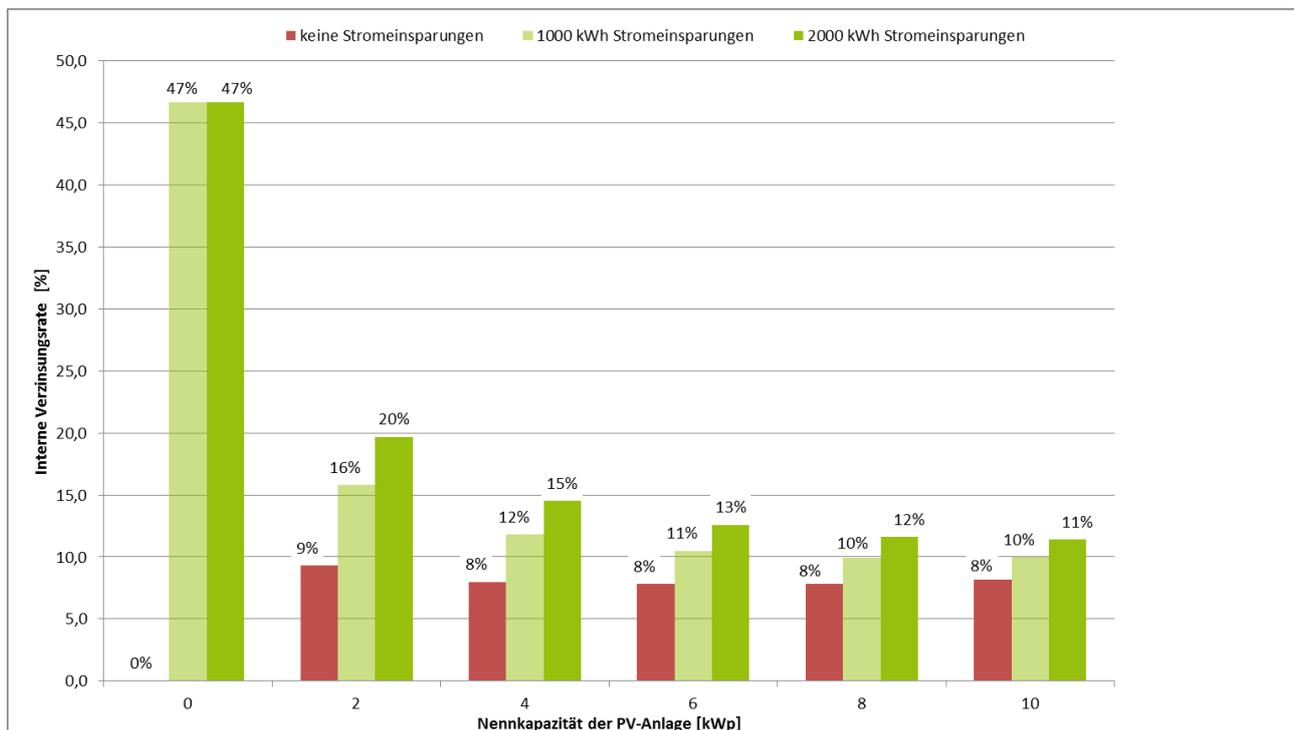
Quelle: Öko-Institut e.V.

³² Wie in Kapitel 3.3.2 beschrieben wird, gelten bei Anlagen größer 10 kWp andere EEG-Förderbedingungen, weswegen dieses im Tool nicht berücksichtigt werden.

Der Autarkiegrad würde bei verschiedenen PV-Anlagengrößen (2 bis 10 kWp, ohne Batteriespeicher) zwischen 26 und 43 Prozent liegen. Durch die gleichzeitige Realisierung von Stromsparmaßnahmen könnte dieser weiter gesteigert werden. Einsparungen von 1.000 kWh würden für den Haushalt zu einer Erhöhung des Autarkiegrads auf 30 bis 45 Prozent, bei 2.000 kWh auf 35 bis 48 Prozent führen. Dabei fällt die zusätzliche Steigerung des Autarkiegrads durch Stromeinsparungen prozentual kleiner aus, je größer die angenommene PV-Anlage ist. Den höchsten Autarkiegrad von knapp 50 Prozent erreicht der im Szenario beschriebene Haushalt mit einer 10 kWp PV-Anlage und 2.000 kWh Stromeinsparungen.

Die ebenfalls berechnete interne Verzinsungsrate (Internal Rate of Return = IRR) gibt an, welche Verzinsung das eingesetzte Kapital über die betrachteten 20 Jahre unter Berücksichtigung einer Inflationsrate von 1 Prozent erfährt. Diese liegt für PV-Anlagen von 2 bis 10 kWp zwischen 8 bis 9 Prozent auf einem konstant hohen Niveau (siehe Abbildung 5-8). Im Vergleich dazu wird das eingesetzte Kapital, werden ausschließlich Stromsparmaßnahmen realisiert, mit einem mehr als fünf Mal so hohem IRR von 47 Prozent verzinst. Erwartungsgemäß liegen die internen Verzinsungsraten in jedem Fall höher als bei der alleinigen Installation einer PV-Anlage, wenn eine neue PV-Anlage gebaut und gleichzeitig Stromeinsparungen realisiert werden. Die IRR liegt dann zwischen 10 und 22 Prozent, Tendenz steigend mit der Höhe der Energieeinsparungen und leicht sinkend mit zunehmender Anlagengröße.

Abbildung 5-8: Interne Verzinsungsraten unterschiedlich dimensionierter, neu installierter PV-Anlagen mit und ohne zusätzliche Stromsparmaßnahmen



Quelle: Öko-Institut e.V.

Der Stromspar-Speicherrechner ermöglicht den Anwendern bei jeder Berechnung einen direkten Vergleich der IRR mit und ohne Stromeinsparungen (siehe Abbildung 5-9).

Abbildung 5-9: Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals einer neu installierten 4 kWp PV-Anlage mit und ohne 1000 kWh Stromeinsparungen

Szenario 1 (PV-Investition (4 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	8,4% Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 7304 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 5982 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	

Szenario 2 (PV-Investition (4 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (1000 kWh))	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	12,4% Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 12522 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 10591 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	

Quelle: Öko-Institut

Fazit:

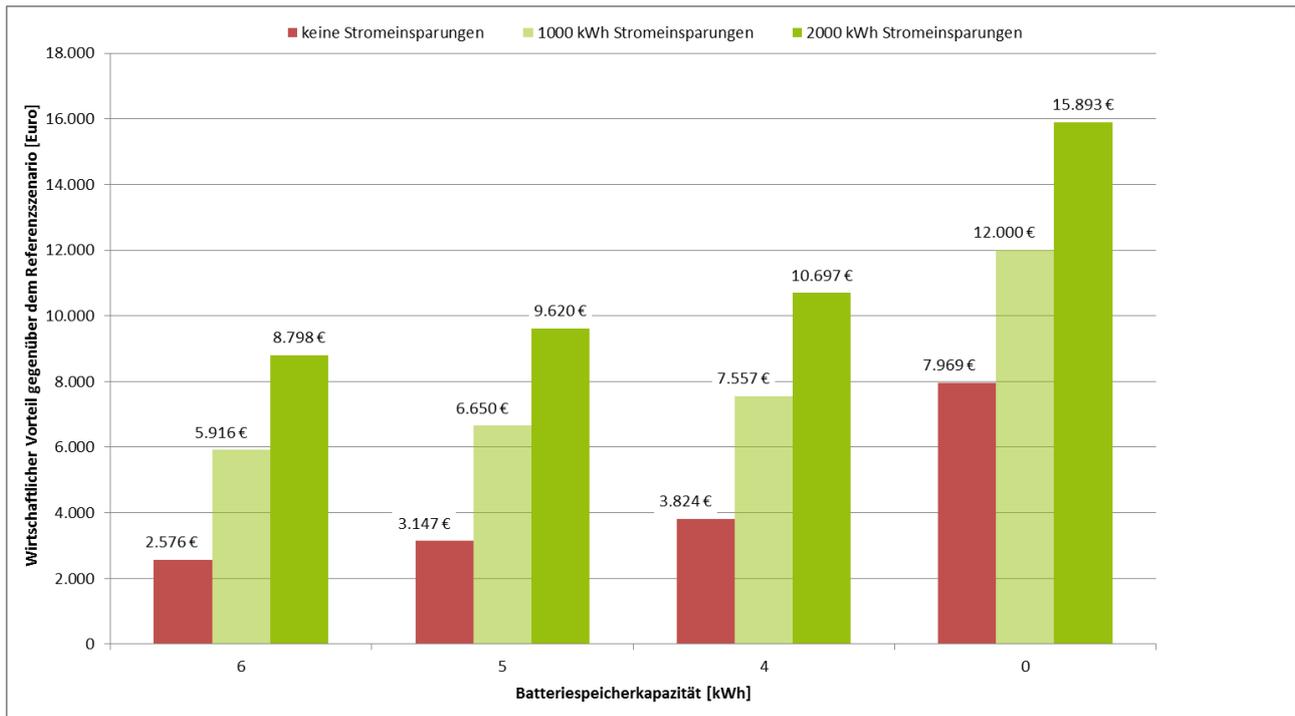
- Die Neuinstallation einer PV-Anlage ist unter den beschriebenen Annahmen unabhängig von der Dimensionierung immer wirtschaftlich. Auch eine große Anlage, die bilanziell im Laufe des Jahres mehr Strom erzeugt als in dem Haushalt selbst verbraucht wird und dementsprechend eine geringere Eigenverbrauchsquote hat, rechnet sich wirtschaftlich.
- Die interne Verzinsung ist (ohne Berücksichtigung von Stromeinsparungen) für alle Anlagengrößen mit 8 bis 9 Prozent in etwa gleich hoch. Steht Investitionskapital zur Verfügung, so lohnt es sich nicht nur im Sinne der Energiewende, sondern auch aus finanzieller Sicht eine möglichst große PV-Anlage zu installieren. Die zur Verfügung stehende Dachfläche sollte daher wenn möglich komplett genutzt werden.
- Investiert der Haushalt zusätzlich zur PV-Anlage in Stromsparmaßnahmen, so erhöht sich der finanzielle Vorteil gegenüber der Ausgangssituation aufgrund der verringerten Kosten für den Strombezug noch weiter. Das eingesetzte Kapital wird in beiden beschriebenen Fällen (1.000 kWh bzw. 2.000 kWh Einsparungen) mit jeweils 47 Prozent verzinst.
- Im Sinne der Energiewende sowie aus ökonomischer Sicht am vorteilhaftesten ist daher die Investition in eine möglichst große PV-Anlage in Kombination mit Investitionen in möglichst hohe Stromsparmaßnahmen.
- Bereits ohne Batteriespeicher lässt sich mit einer großen PV-Anlage in Kombination mit Stromsparmaßnahmen ein Autarkiegrad von knapp 50 Prozent erreichen.

5.3.3. Neuinstallation einer PV-Anlage mit Speicher: Auswirkungen von Stromeinsparungen

Das letzte Nutzungsszenario beschreibt einen Haushalt, dem angeraten wurde, bei der geplanten Neuinstallation einer 6 kWp PV-Anlage gleich in einen Batteriespeicher mit zu investieren, um seinen Autarkiegrad zu erhöhen und damit möglichst unabhängig vom Stromnetz zu sein. Mit Hilfe des Stromspar-Speicherrechners soll dargestellt werden, welche Auswirkungen auf den Autarkiegrad und die Wirtschaftlichkeit zusätzliche Investitionen in Stromsparmaßnahmen von 1.000 Kilowattstunden für 771 Euro bzw. 2.000 Kilowattstunden für 1.542 Euro Investitionskosten hätten.

Der Vergleich mit dem Referenzszenario, d.h. dem ausschließlichen Strombezug aus dem Netz, zeigt, dass die Kombination aus neu installierter PV-Anlage, Batteriespeicher und Stromeinsparungen in allen betrachteten Fällen einen finanziellen Vorteil erwirtschaftet (siehe Abbildung 5-10). Allerdings bestehen große Unterschiede in der Wirkung der Maßnahmen: So führt die Installation eines Batteriespeichers zusätzlich zur PV-Anlage zum geringsten wirtschaftlichen Vorteil, während die Kombination PV-Anlage ohne Speicher, aber mit hohen Stromeinsparungen über einen Zeitraum von 20 Jahren betrachtet den größten finanziellen Vorteil bietet.

Abbildung 5-10: Wirtschaftlichkeit einer neu installierten 6 kWp PV-Anlage mit unterschiedlich dimensionierten Batteriespeichern und Stromeinsparungen



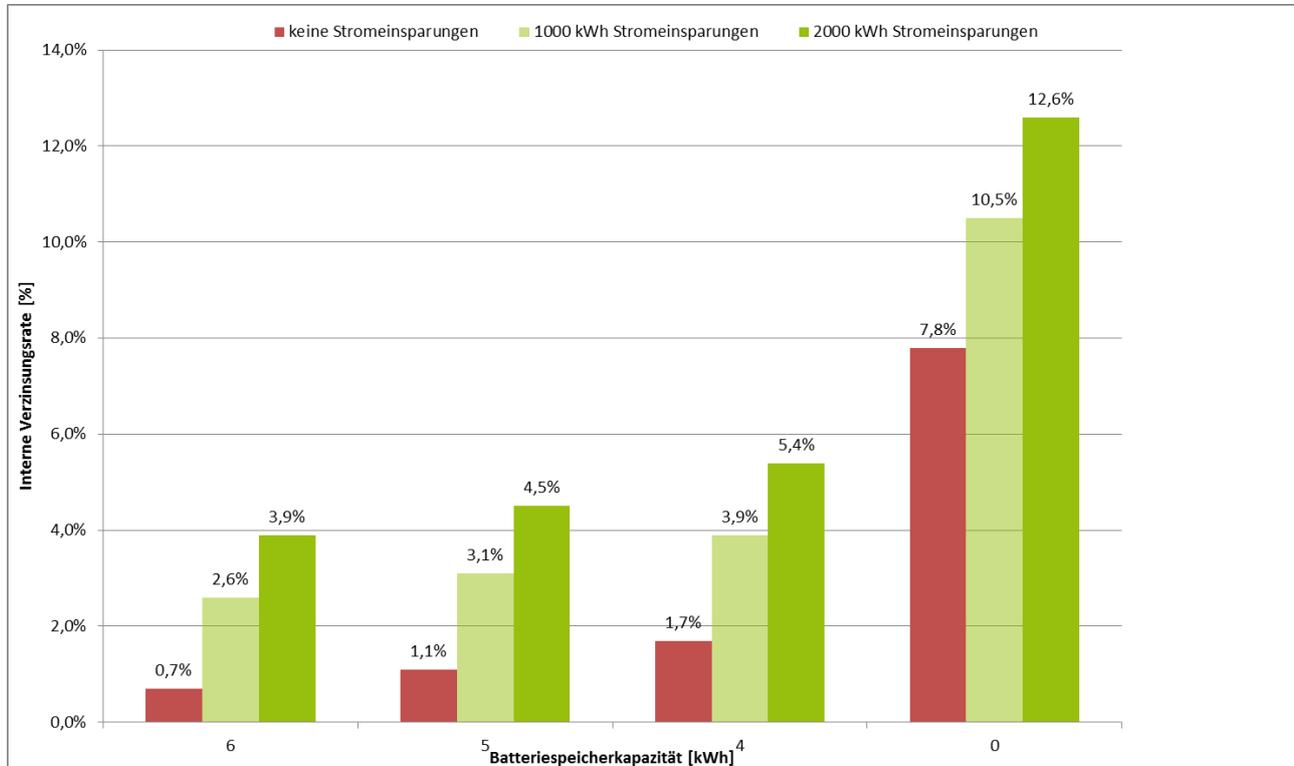
Quelle: Öko-Institut e.V.

Gleichzeitig kann durch die Stromeinsparungen zusätzlich zum Batteriespeicher auch der Autarkiegrad noch weiter erhöht werden. Wird beispielsweise zur 6 kWp-PV-Anlage ein 6-kWh-Speicher installiert und zusätzlich der Stromverbrauch um 1.000 kWh reduziert, ergibt sich ein Autarkiegrad von über 80 Prozent. Werden statt 4.000 kWh nur noch 2.000 kWh jährlich verbraucht, erreicht der Haushalt zusammen mit dem Speicher sogar einen Autarkiegrad von durchschnittlich 90 Prozent. Die Wirkung von Stromeinsparungen ist vergleichsweise höher, wenn sie in Kombination mit einem, wenn auch kleinen, Batteriespeicher umgesetzt werden. So resultiert die alleinige Umsetzung von 1.000 kWh Stromeinsparung bei einer 6 kWp PV-Anlage ohne Batteriespeicher in einer Steigerung des Autarkiegrads von drei Prozent. In Kombination mit einem 4 kWh Batteriespeicher führen die gleichen 1.000 kWh Einsparungen zu einer zusätzlichen Steigerung von neun Prozent.

Die Auswertung der internen Verzinsungsrate zeigt, dass das eingesetzte Kapital über einen Zeitraum von 20 Jahren in allen beschriebenen Fällen positiv verzinst wird (siehe Abbildung 5-11). Allerdings fällt die Verzinsung höher aus, je höher die Stromeinsparungen sind und je kleiner der installierte Batteriespeicher ist. Während die Variante 6-kWh-Batteriespeicher in Kombination mit einer 6-kWp-PV-Anlage mit knapp 1 Prozent verzinst wird, sind es bei einem 4-kWh-Speicher

knapp 2 Prozent. Insgesamt am höchsten fällt die Verzinsung mit knapp 13 Prozent aus, wenn lediglich in eine PV-Anlage zusammen mit hohen Stromeinsparungen investiert wird.

Abbildung 5-11: Interne Verzinsungsrate einer 6 kWp PV-Anlage mit unterschiedlich dimensionierten Batteriespeichern und Stromeinsparungen



Quelle: Öko-Institut

Fazit:

- Steht neben dem Investitionskapital für eine neue PV-Anlage noch weiteres Geld zur Verfügung, lohnt es sich aus ökologischer und ökonomischer Sicht in jedem Fall, zunächst in Stromeinsparmaßnahmen zu investieren. Über 20 Jahre gerechnet wird das so investierte Geld immer höher verzinst, als wenn es in einen Batteriespeicher investiert würde.
- Haushalte, die zusätzlich zur PV-Anlage die Anschaffung eines Batteriespeichers planen, um einen höheren Autarkiegrad zu erreichen, können auch durch Reduzierung des Stromverbrauchs den Autarkiegrad erhöhen, so dass die Kombination eines vergleichsweise kleineren Batteriespeichers zusammen mit Stromsparmaßnahmen eine sowohl aus Autarkie- als auch aus finanzieller Sicht optimale Lösung darstellen kann.

Praktischer Hinweis für den Kauf eines Batteriespeichers: Ist die Installation eines Batteriespeichers geplant, sollte bei der Auswahl darauf geachtet werden, eine Batterie mit möglichst geringen negativen Umweltauswirkungen und mit einer Möglichkeit zur netzdienlichen Betriebsweise (siehe Kapitel 6) zu wählen (Details siehe Graulich & Manhart (2017)).

5.4. Fazit zum optimalen Einsatz von PV-Anlagen und Batteriespeichern in Kombination mit Stromsparmaßnahmen

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen mit dem Stromspar-Speicherrechner des Öko-Instituts ergeben folgende Empfehlungen³³:

Bei **Neuinstallation einer Photovoltaik-Anlage** ist über einen Zeitraum von 20 Jahren gesehen am wirtschaftlichsten die Investition in eine möglichst große Anlage bis 10 kWp (für noch größere Anlagen gelten andere EEG-Förderbedingungen) kombiniert mit Investitionen in möglichst hohe Stromeinsparungen. Diese Kombination ist nicht nur finanziell für den Haushalt höchst attraktiv, sondern leistet auch im Sinne der Energiewende den größten Beitrag zu den Zielen der Bundesregierung (Ausbau der erneuerbaren Energien und Reduzierung des Stromverbrauchs). Haushalte sollten daher vorhandene Dachflächen bestmöglich ausnutzen, denn auch große PV-Anlagen, die bilanziell deutlich mehr Strom erzeugen als verbraucht werden kann, rechnen sich wirtschaftlich.

Haushalte, die parallel zur Neuinstallation der PV-Anlage die Anschaffung eines Batteriespeichers planen, um einen höheren Autarkiegrad zu erreichen, können auch durch Reduzierung des Stromverbrauchs den Autarkiegrad erhöhen, so dass die Kombination eines vergleichsweise kleineren Batteriespeichers zusammen mit Stromsparmaßnahmen eine sowohl aus Autarkie- als auch aus finanzieller Sicht optimale Lösung darstellen kann.

Bei **PV-Bestandsanlagen**, deren hohe Einspeisevergütung durch die EEG-Förderung demnächst ausläuft, ist die alleinige Investition in einen (Lithium-Ionen)-Batteriespeicher nur dann wirtschaftlich, wenn künftig von steigenden Strompreisen bzw. noch stärker sinkenden Speicherpreisen ausgegangen wird. Unter der Annahme, dass die Strompreise aufgrund der auslaufenden hohen EEG-Einspeisevergütungen nach 2025 leicht sinken werden, lohnt sich die Investition in einen Speicher finanziell gesehen nicht. Ein größerer Speicher führt zwar zu einem höheren Eigenverbrauch und Autarkiegrad, je größer jedoch der Batteriespeicher ausgelegt wird, desto nachteiliger fällt das Ergebnis mit Bezug auf die Wirtschaftlichkeit aus.

Realisiert der Haushalt dagegen neben der Speicheranschaffung zusätzlich Investitionen in Stromsparmaßnahmen, so erhöht sich dadurch nicht nur der Autarkiegrad, sondern es ergibt sich über einen Zeitraum von 20 Jahren gesehen aufgrund der geringeren Strombezugskosten unabhängig von der Batteriegröße in jedem Fall ein wirtschaftlicher Vorteil, sogar bei künftig sinkenden Strompreisen. Empfehlenswert sind daher Investitionen in möglichst hohe Stromsparmaßnahmen in Kombination mit einem möglichst kleinen Speicher

Zu beachten ist, dass die in diesem Abschnitt dargestellten exemplarischen Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen abhängig sind von den im Stromspar-Speicherrechner zugrunde gelegten Hintergrunddaten und Annahmen. Relativ hohe Spannbreiten bei den Investitionskosten für PV-Anlagen, Batteriespeicher sowie Haushaltsgeräte, aber vor allem die Unsicherheit bezüglich der künftigen Entwicklung der Strompreise sorgen dafür, dass sich je nach verwendeten Inputparametern abweichende Ergebnisse ergeben können (siehe auch Abschnitt 3.4, in dem diejenigen Parameter und Annahmen reflektiert werden, die wesentliche Auswirkungen auf die Aussagekraft des Tools haben können).

³³ Hinweis: Der Stromspar-Speicherrechner des Öko-Instituts ist nicht anwendbar für Hauseigentümergeinschaften oder Mieterstrom-Modelle, für PV-Anlagen größer 10 kWp sowie für Gewerbe mit spezifischen Lastprofilen.

6. Analyse zur optimalen Einbettung der Batteriesysteme ins Netz

6.1. Hintergrund und Fragestellung

Der zunehmende Einsatz von Photovoltaik-Batteriespeichern in Haushalten, wie in Abschnitt 2.4 skizziert, und der damit verbundene Anstieg des Eigenverbrauchs von selbsterzeugtem Strom aus Photovoltaikanlagen hat bereits heute Auswirkungen auf den Betrieb von Netz und Markt. Besonders der nicht-gesteuerte Betrieb dieser Anlagen kann zu Spannungsschwankungen im Verteilnetz führen und so die Funktionalität des Netzes beeinflussen. Auch im Markt führt eine ausschließliche Optimierung des Eigenverbrauchs zu Effizienzverlusten und erhöhten Systemkosten. Die Einbettung von Batteriespeichern in das Stromsystem ist in der aktuellen Regulierung nicht ausgereift und vor allem nicht dazu ausgelegt, die Integration einer großen Zahl dieser Speicher in das System zu organisieren. Eine Novellierung des regulatorischen Rahmens wird daher in diesem Systembereich mittelfristig notwendig. Vor diesem Hintergrund werden die folgenden Fragestellungen analysiert:

- **Zu welchen Herausforderungen im Energiesystem führt der Zubau von PV-Batteriesystemen zur Maximierung des Eigenverbrauchs schon heute?**
- **Wie wird momentan regulatorisch auf die bestehenden Herausforderungen durch den Zubau von PV-Speichersystemen reagiert?**
- **Welche Betriebsstrategien und weitere Optionen gibt es, um PV-Batteriesysteme optimal in das System zu integrieren?**
- **Welche energiepolitischen Empfehlungen lassen sich daraus ableiten?**

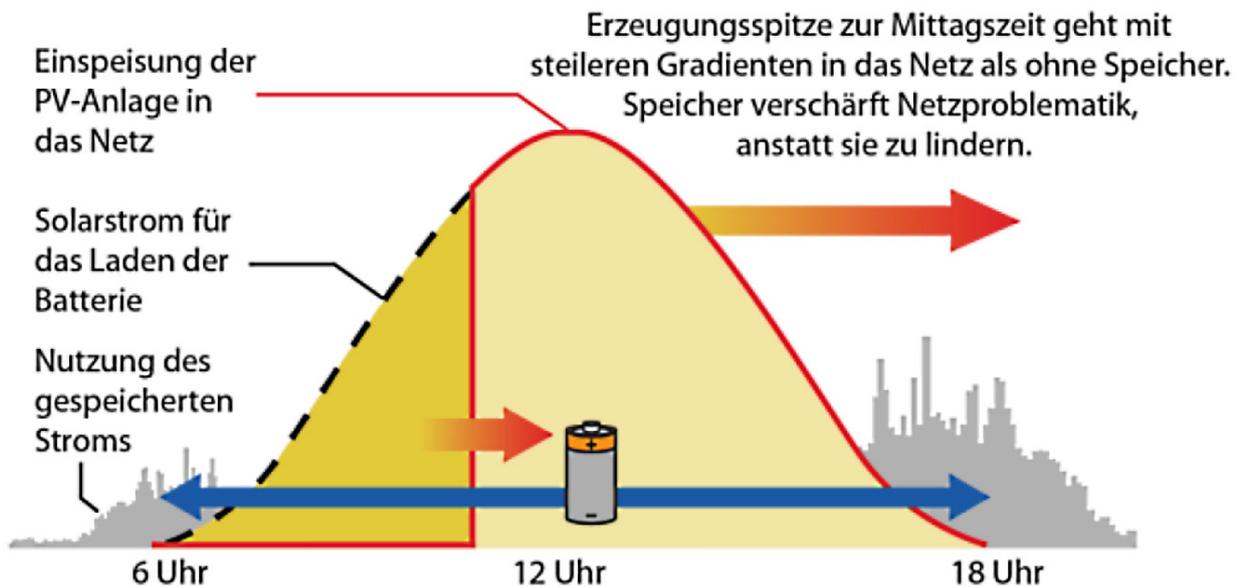
Die im Folgenden zusammengefasste Analyse dieser Fragestellungen basiert auf einer Literaturrecherche. Die Literaturlage ist dabei als sehr gut zu bewerten, denn insbesondere in den vergangenen fünf Jahren entstand eine Vielzahl von einschlägigen Studien zu diesem Thema.

6.2. Herausforderungen im Energiesystem durch PV-Speichersysteme zur Eigenverbrauchsmaximierung

In privaten Haushalten erfolgt der Betrieb von Photovoltaik-Speichersystemen vorrangig zur Maximierung des Eigenverbrauchs. Ziel ist es dabei, möglichst wenig des von der PV-Anlage erzeugten Stroms in das Netz einzuspeisen und den Speicher so zu nutzen, dass die Stromnachfrage des Haushalts möglichst mit der Erzeugung aus der eigenen PV-Anlage gedeckt werden kann. Diese Strategie wird in Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (2015) als „direktes Laden“ bezeichnet (siehe Abbildung 6-1).

Abbildung 6-1: Einspeiseprofil eines PV-Speichersystems ins Netz bei Optimierung des Eigenverbrauchs

1. Direktes Laden



Quelle: Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (2015), S.14

Wie in Abbildung 6-1 zu erkennen ist, führt die eigenverbrauchsoptimierte Betriebsweise nicht zu einer Verringerung, sondern zu einer gleichbleibenden Einspeisespitze im Netz und darüber hinaus zusätzlich zu hohen Einspeisegradierten. Somit wird das Netz durch eine solche reine eigenverbrauchsorientierte Betriebsweise verstärkt belastet.

Neben diesen Kernherausforderungen für das Netz ergeben sich zusätzlich auch Auswirkungen auf das Energiesystem im Allgemeinen:

- **Kein volkswirtschaftlich optimaler Einsatz der Speichertechnologien:** Die Zielsetzung privater Haushalte zur Maximierung des Eigenverbrauchs führt zu einem Einsatz einer Vielzahl einzelner Batteriespeicher, auch wenn systemweit effizientere und kostengünstigere Speicher (auch Lastmanagementpotenziale) zur Verfügung stehen. Das kann dazu führen, dass in der Gesamtbilanz die Erzeugung aus PV-Anlagen weniger effizient genutzt wird und die in Summe höheren Umwandlungsverluste vieler einzelner Speicher (siehe Abschnitt 3.3.3) durch konventionelle Erzeugungseinheiten gedeckt werden müssen.
- **Kein volkswirtschaftlich optimaler Einsatz der Erzeugungstechnologien:** Die Einspeicherung von PV-Erzeugung in einer Batterie vor Ort kann möglicherweise zu Zeitpunkten stattfinden, an denen an anderer Stelle ein Defizit an Strom herrscht und dann konventionelle Kraftwerke diesen Bedarf decken müssen. *„Umgekehrt kann der Fall eintreten, dass nachts in einem Netzgebiet mit vielen Windkraftanlagen diese bei Starkwind abgeregelt werden müssen, wenn zu wenig Stromverbraucher und Transportkapazitäten vorhanden sind und die dezentralen Batteriespeicher voll sind und entladen.“* Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (2015), S. 15
- **Verminderter Anreiz zum Ausnutzen der PV-Potenzialfläche:** Laut Schill et al. (2017) kann davon ausgegangen werden, dass der Zubau von PV-Anlagen mit dem Ziel der Eigenver-

brauchsmaximierung systematisch zu einer verminderten Ausnutzung der Dachflächenpotenziale führt. Insbesondere dürfte dies für Einfamilienhäuser zutreffen, bei denen im Verhältnis zum Stromverbrauch der Bewohner ein großes Dachflächenpotenzial zur Verfügung steht. Dieser Zusammenhang kann möglicherweise bei einer Verringerung des Haushaltsstromverbrauchs durch Stromsparmaßnahmen noch verschärft werden. Die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes zeigen dagegen, dass eine möglichst hohe Ausnutzung der Dachflächen nicht nur mit Bezug auf die Ziele der Bundesregierung zum Ausbau erneuerbarer Energien, sondern auch aus Wirtschaftlichkeitsgründen für Haushalte erstrebenswert ist (siehe Abschnitt 5.3.2).

- **Verminderte Anreize für Effizienz:** Durch die Fokussierung auf die Eigenverbrauchsquote geht Schill et al. (2017) davon aus, dass in den Haushalten Effizienzgesichtspunkte im Sinne der Vermeidung von Stromverbrauch weniger im Fokus stehen. So könnten Haushalte unter der Annahme agieren, dass Energieeffizienz und Stromsparen nicht mehr relevant seien, da der Strom erneuerbar „vom Dach“ kommt. Dabei zeigen die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes jedoch eindeutig, dass Stromsparmaßnahmen ergänzend zur PV-Eigenerzeugung sowohl aus Autarkiesicht als auch aus Wirtschaftlichkeitsgründen für die Haushalte von Vorteil sind (siehe Abschnitt 5.3).
- **Netzentgelte – Verteilungswirkungen:** Der durch den Eigenverbrauch reduzierte Bezug von Strom aus dem Netz kann zu Mehrbelastung von Netzkunden führen, die keinen eigenerzeugten Strom verbrauchen. Dies ist in der derzeitigen Struktur der Netzentgelte begründet, die in einen Grundbetrag und einen Arbeitspreis gegliedert sind. Dieser Grund- und Arbeitspreis wird jedoch sehr unterschiedlich in die Strompreise umgerechnet³⁴. Die Netzentgelte werden in der Kundenabrechnung mit dem Verbrauch von Strom, also pro verbrauchte Kilowattstunde erhoben. Reduzieren einzelne Verbraucher aufgrund eines höheren Eigenverbrauchs den Strombezug aus dem Netz, so sinkt der Beitrag zur Finanzierung des Netzes. Andere Konsumenten müssen diesen Fehlbetrag folglich ausgleichen und werden höher belastet.

In der folgenden Abbildung 6-2 sind die Belastungen durch den PV-Eigenverbrauch im Jahr 2013³⁵ den Entlastungen gegenübergestellt. Diese Daten wurden im Rahmen der Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichts zum EEG 2014 ermittelt. Im Endeffekt zeigt sich eine Mehrbelastung durch Eigenverbrauch.

³⁴ Vgl.: <https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/FAQs/DE/Sachgebiete/Energie/Verbraucher/Energielexikon/Netzentgelt.html>

³⁵ Neuere Daten liegen leider nicht vor.

Abbildung 6-2: Belastungen und Entlastungen durch PV-Eigenverbrauch im Jahr 2013

Bezeichnung	Höhe der Belastung bzw. Entlastung“	Belastungen / Entlastungen für...
	[Mio. €]	Akteur
Belastungen		
Konzessionsabgabe	24,4	Kommunen
Netznutzungsentgelte	95,2	Netzbetreiber
Stromsteuer	36,1	Staat
KWK-Umlage	2,2	Letztverbraucher
EEG-Umlage	92,9	Letztverbraucher
Offshore-Haftungsumlage	4,4	Letztverbraucher
StromNEV-Umlage	5,8	Letztverbraucher
Σ Belastungen	261	
Entlastungen		
PV-Differenzkosten	-143,8	Übertragungsnetzbetreiber
<ul style="list-style-type: none"> • Anteil eingesparte EEG-Vergütungszahlungen 	-214,2	Übertragungsnetzbetreiber
<ul style="list-style-type: none"> • Anteil entgangene Börsenerlöse PV-Strom 	70,4	Übertragungsnetzbetreiber
Differenz 2013 (Belastungen abzgl. Entlastungen)	117,2	

Quelle: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (2014)

Dem stellt Prognos AG (2016) im Auftrag des Speicherherstellers Sonnen gegenüber, dass bei netzdienlicher Speichernutzung, d.h. Kappung der Einspeisespitze, der Ausbau des Elektrizitätsnetzes reduziert werden könne. Dieser Effekt wird jedoch auch schon heute durch die Abregelung der Einspeisespitze (EEG) teilweise erreicht.

Momentan existieren also keine regulatorischen Regelungen, um diese Verteilungswirkung von Eigenverbrauch, insbesondere im Bereich der Netzentgelte, zu beheben. Tagesspiegel Background berichtete in diesem Zusammenhang am 04.11.2017 jedoch, dass eine detaillierte Analyse des Vergleichsportals Verivox einen Umbau der Entgeltstruktur seitens der Netzbetreiber feststellen konnte. So erhöhen viele Netzbetreiber ihre Grundgebühren stark, während der Arbeitspreis konstant bleibt. Diese Preisstruktur mache Eigenverbrauch unattraktiver, führt jedoch auf der anderen Seite auch zu Mehrbelastungen bei Haushalten mit geringer Stromnachfrage und reduziert Anreize zur Verbrauchsreduktion. Auch Agora Energiewende weist auf diese Zusammenhänge hin (Agora Energiewende 2018).

- Die Herausforderungen im Energiesystem durch PV-Speichersysteme zur Eigenverbrauchsmaximierung sind vor dem Hintergrund der Netz- sowie der Systemdienlichkeit zu bewerten. Zudem müssen Verteilungseffekte berücksichtigt werden.
- Durch reine Eigenverbrauchsoptimierung sind netzseitig hohe Einspeisegradien sowie weiterhin gleichbleibende Einspeisespitzen zu erwarten.
- Mit Blick auf das Gesamtsystem kann eine reine Eigenverbrauchsoptimierung zur suboptimalen

Ausnutzung der vorhandenen Infrastruktur (Erzeugungs- und Speichertechnologien) führen.

- Zudem können Anreize zur optimalen Ausnutzung von Dachpotenzialflächen sowie Anreize zur Energieeffizienz vermindert werden.
- Die Refinanzierung der Elektrizitätsnetze wird in der bestehenden Entgeltstruktur durch hohen Eigenverbrauch von Stromerzeugung auf weniger Stromkunden verteilt, die im Resultat höhere Kosten zu erwarten haben.
- Kurzfristig sollte die Entgelt- und Abgabenstruktur an den steigenden Anteil an eigenverbrauchtem Strom angepasst werden: Die heute geltende Netzentgeltbefreiung von eigenverbrauchtem Strom sollte zukünftig nur bei netzdienlichem Einsatz des Speichers gelten.

6.3. Bestehende Regelungen zur verbesserten Einbettung von PV-Speichersystemen in das Energiesystem

Die hohe Leistung der auf Verteilnetzebene angeschlossenen PV-Anlagen führt zu Herausforderungen im Verteilnetzbetrieb. Daher befinden sich in aktuellen Anschluss- und Förderbedingungen für PV-Anlagen und verbundene Speicher unterschiedliche Regelungen, zu deren Einbettung in das Stromsystem. Damit soll ein Betrieb sichergestellt werden, der eine Überlastung des Stromnetzes vermeidet. Betreiber von PV-Anlagen bis 30 kWp müssen bei einer Förderung im Rahmen des *Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)* entweder dem Netzbetreiber in kritischen Netzsituationen die Abregelung ermöglichen oder aber eine pauschale Reduktion der Wirkleistung einer Anlage auf 70 Prozent hinnehmen. Da für ein aktives Einspeisemanagement eine Nachrüstung der Anlage mit IT notwendig ist, erfolgt in der Regel eine pauschale Reduktion der Wirkleistung, um Einspeisespitzen zu reduzieren und kritischen Situationen vorzubeugen.

Der zusätzliche Betrieb eines Batteriespeichers zur Erhöhung des Eigenverbrauchs der PV-Erzeugung ist besonders dann problematisch, wenn die Speicherbeladung in Zeiten erfolgt, in denen der Strom zur Verbrauchsdeckung oder zur Unterstützung des Netzbetriebs benötigt würde oder es durch den Speichereinsatz zu besonders starken Lastgradienten kommt (siehe Kapitel 6.2). Daher ist die Förderung von Batteriespeichern durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) mit Betriebsbedingungen verbunden (KfW Bankengruppe 2017). Der Anlagenbetreiber ist verpflichtet, die Wirkleistung der mit dem Speicher verbundenen PV-Anlage im Netzeinspeisefall auf 50 Prozent der installierten Leistung zu reduzieren. Dies stellt also eine Verschärfung der ohnehin durch das EEG definierten Einspeisegrenze von 70 Prozent kWp dar. Außerdem ist er verpflichtet, technisch den Zugriff durch einen Netzbetreiber zu ermöglichen, sodass zukünftig ein Einsatz zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen erfolgen kann. Weitere technische Anschlussbedingungen und Betriebskonzepte sind in FNN & VDE (2016) erläutert.

Die festen Einspeisebegrenzungen zur Reduktion der Einspeisespitze von PV-Speichersystemen zielen auf eine verringerte Belastung des Elektrizitätsnetzes ab. Diese Maßnahme führt jedoch gleichzeitig dazu, dass die Stromerzeugung aus PV-Anlagen abgeregelt wird und so durch andere, ggf. konventionelle Anlagen bereitgestellt werden muss. Die Abregelung aufgrund der festen Einspeisegrenze von 50 Prozent der installierten Leistung gemäß KfW Förderbedingung wird auf circa 12 Prozent quantifiziert (E-Bridge Consulting et al. 2014; Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin 2016).

- Erste Ansätze in den Förderbedingungen der KfW sollen die Netzverträglichkeit sicherstellen.
- Eine netzentlastende feste Einspeisegrenze von 50 Prozent der Leistung führt jedoch zur Abregelung von circa 12 Prozent der PV-Erzeugung, die ggf. durch andere, konventionelle Anlagen gedeckt werden muss.

6.4. Lösungsansätze zur erhöhten Netz- und Systemdienlichkeit von PV-Speichersystemen

Angelehnt an Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (2015) wird bei der Bewertung von Betriebsstrategien von Speichern zwischen Netzdienlichkeit und Systemdienlichkeit unterschieden.

- **Netzdienlich** sind Betriebsstrategien, die Einspeisepeaks und steile Einspeisegradien generell vermeiden oder sich dynamisch an die Netzsituation anpassen.
- **Systemdienlich** sind Betriebsstrategien, die systemweite Abregelung vermeiden sowie einen optimalen Einsatz der Infrastrukturkomponenten durch die Orientierung an zentrale Preissignale unterstützen³⁶.

Neben der eigenverbrauchsmaximierenden Betriebsweise werden in der einschlägigen Literatur weitere Betriebsstrategien vorgestellt. In Tabelle 6-1 werden diese inklusive einer Bewertung bezüglich der Netz- bzw. Systemdienlichkeit vorgestellt.

Tabelle 6-1: Übersicht: Betriebsstrategien zur erhöhten Netz- und Systemdienlichkeit von PV-Speichersystemen

	Eigenverbrauchs-optimierende Betriebsweise ohne Einspeisebegrenzung	Feste Einspeisebegrenzung, siehe 6.4.1	Feste Einspeisebegrenzung mit Prognose, siehe 6.4.2	Dynamische Einspeisebegrenzung, siehe 6.4.3	Dynamisches Einspeise-management, siehe 6.4.4
Netzdienlichkeit	Hohe Einspeisespitzen	Reduzierte Einspeisespitzen	Reduzierte Einspeisespitzen	Reduzierte Einspeisespitzen	
	Steile Einspeisegradien	Steile Einspeisegradien verbleiben	Steile Einspeisegradien verbleiben	Geringe Einspeisegradien	
Systemdienlichkeit	Keine Orientierung an Systembedarf	Keine Orientierung an Systembedarf	Keine Orientierung an Systembedarf	Orientierung an Systembedarf möglich	Orientierung an Systembedarf
	Keine Abregelungsverluste	Vergleichsweise hohe Abregelung	Minimierte Abregelung	Minimierte Abregelung	

Quelle: Öko-Institut e.V. auf Basis von Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin (2016)

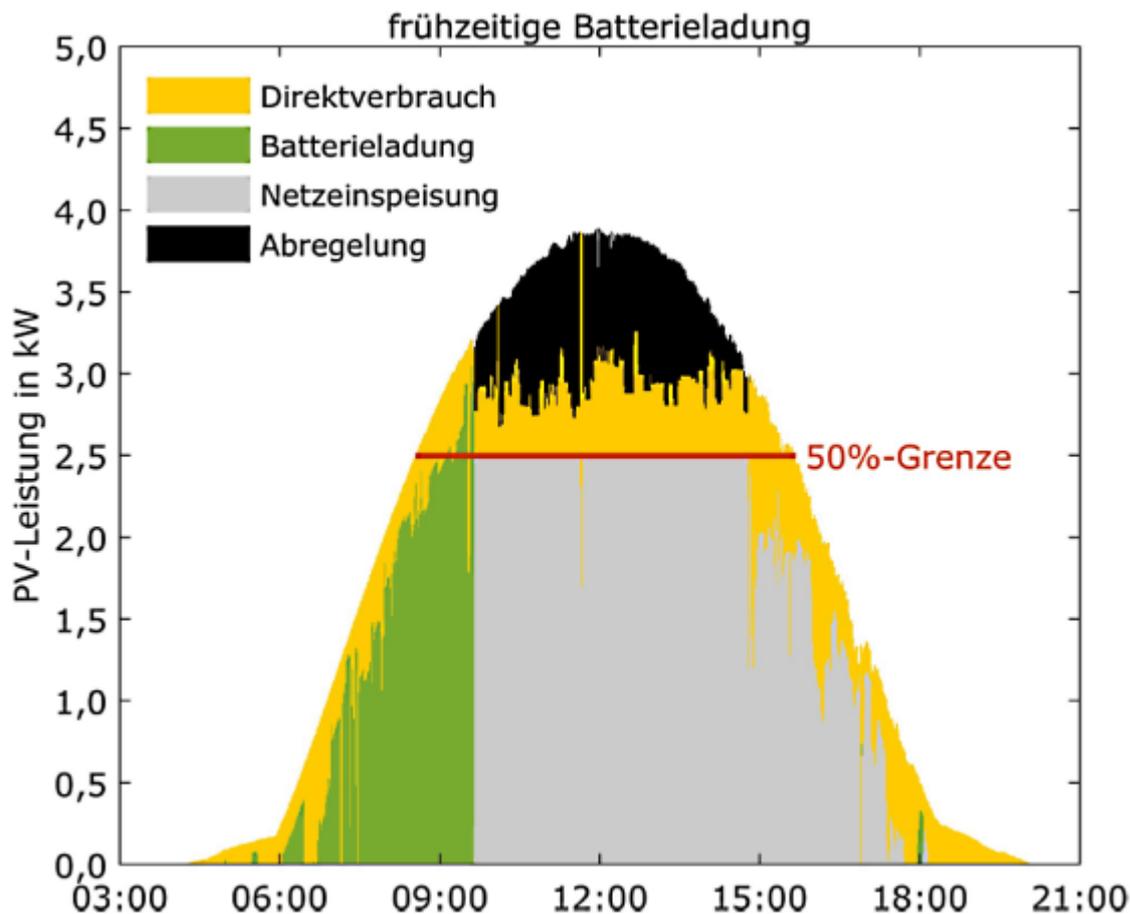
³⁶ Vergleiche hierzu auch Kapitel 6.5 zur möglichen Systemdienlichkeit von dezentralen Batteriespeichern.

6.4.1. Feste Einspeisebegrenzung

Beschreibung

Wie in Kapitel 6.3 beschrieben, legen der heutige regulatorische Rahmen beziehungsweise die Förderbedingungen des KfW Speicherprogramms feste Einspeisebegrenzungen fest. Aufgrund von fehlenden Informationen zur erwarteten PV-Erzeugung im Tagesverlauf haben Haushalte als Betreiber von PV-Speichersystemen den Anreiz, möglichst frühzeitig den Speicher zu befüllen, um das Ausfallrisiko möglichst gering zu halten (vergleiche Abbildung 6-3).

Abbildung 6-3: Speicherbefüllung bei festen Einspeisebegrenzungen



Quelle: Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin (2016)

Auswirkungen auf das Netz

Feste Einspeisebegrenzungen ohne weitere Regelungskomponenten führen zu einer Reduktion der Einspeisespitzen. Die Einspeisegradien hingegen werden nicht direkt adressiert und können daher auf dem für die Netzdienlichkeit ungünstigen hohen Niveau verbleiben.

Auswirkungen auf das Gesamtsystem

Aufgrund der festen Einspeisebegrenzungen sind Abregelungsverluste zu erwarten, die jedoch durch einen PV-Batteriespeicher mit ausreichender Kapazität durch die Speicherbeladung reduziert werden können. Diese potenzielle Stromerzeugung aus PV-Anlagen steht dem Gesamtsys-

tem nicht zur Verfügung und die Nachfrage muss gegebenenfalls von emissionsintensiven und teureren Kraftwerken gedeckt werden.

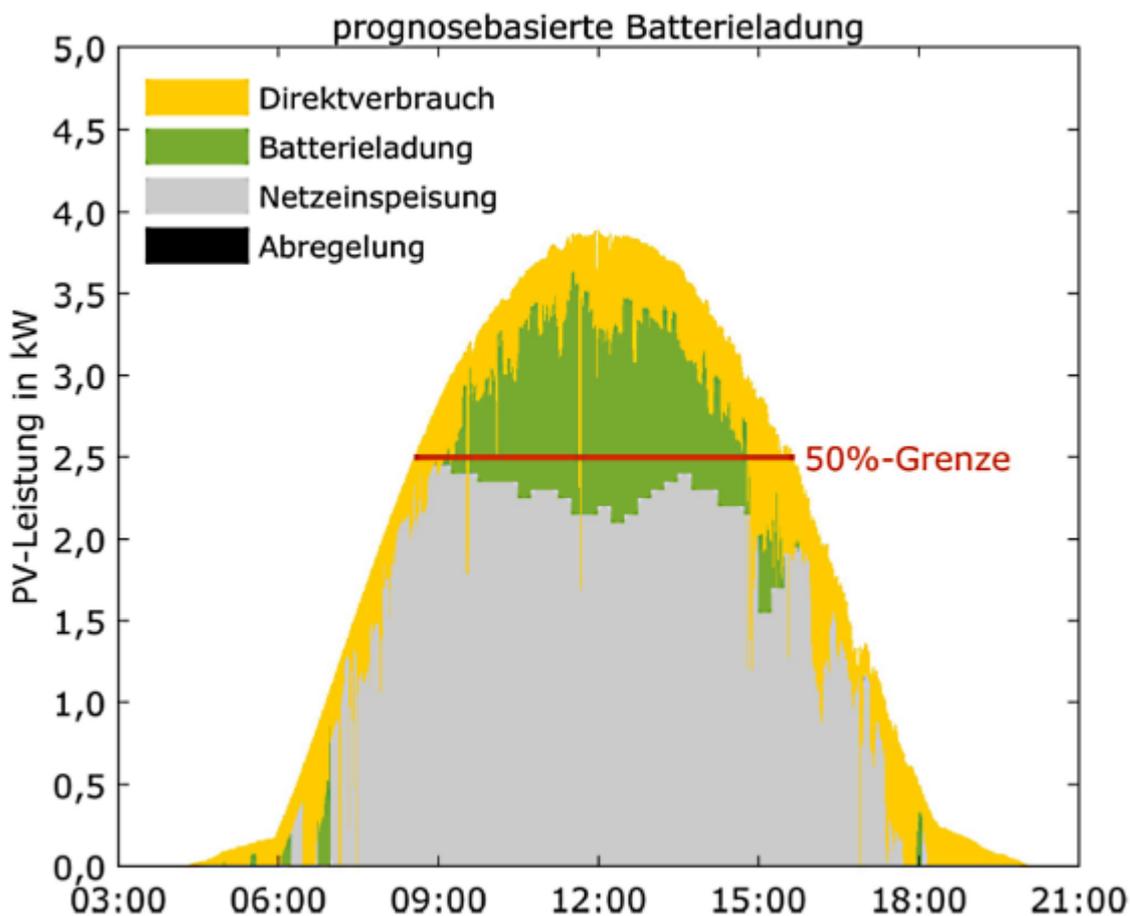
Zudem erfolgt die Speicherbeladung lediglich eigenverbrauchsorientiert und richtet sich nicht nach den Anforderungen des Gesamtsystems. Hierzu wäre eine Kopplung des Systems an zentrale Preissignale, z.B. an den Börsenstrompreis des Intraday-Handels, notwendig.

6.4.2. Feste Einspeisebegrenzung mit Prognose

Beschreibung

Wird die Betriebsweise des PV-Speichersystems durch Prognosen unterstützt, so kann die Speicherbeladung dann erfolgen, wenn die feste Einspeisegrenze überschritten wird (vergleiche Abbildung 6-4). Bei verbleibender Kapazität wird der Speicher auch am Anfang des Tages beladen.

Abbildung 6-4: Speicherbefüllung bei festen Einspeisebegrenzungen mit Prognose



Quelle: Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin (2016)

Auswirkungen auf das Netz

Wie bei der festen Einspeisebegrenzung wird die Einspeisespitze reduziert. Die Einspeisegradien-ten hingegen werden nicht direkt adressiert und können auf dem für die Netzdienlichkeit ungünstigen hohen Niveau verbleiben.

Auswirkungen auf das Gesamtsystem

Durch Nutzung der Prognose kann die Erzeugung oberhalb der Einspeisespitze durch den Speicher genutzt werden. Die Abregelung von PV-Erzeugung wird somit reduziert. Studien zeigen, dass die prognosebasierte Beladung des Speichers die Verluste durch Abregelung um mehr als die Hälfte reduzieren kann (Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin 2016).

6.4.3. Dynamische Einspeisebegrenzung

Die dynamische Einspeisebegrenzung kann die Einspeisegrenze dynamisch an die momentane Netzsituation sowie die Systemanforderungen anpassen. So kann die vorhandene Infrastruktur optimal genutzt werden, d.h. reduzierte Einspeisespitzen, geringe Einspeisegradien, Orientierung am Systembedarf möglich sowie minimierte Abregelung.

6.4.4. Dynamisches Einspeisemanagement

In der bestehenden Literatur werden insbesondere Betriebsweisen mit Bezug auf die Einspeisebegrenzung diskutiert. Zukünftig könnten jedoch auch Fälle auftreten, in denen Strom aus dem Batteriespeicher in das Netz eingespeist werden sollte, um das Netz zu stabilisieren. Dieser Fall könnte z.B. auftreten, wenn eine hohe Nachfrage aufgrund von Elektrofahrzeugen auftritt und im gleichen Netzstrang Batteriesysteme diese Nachfrage decken könnten. Solche Fälle könnten insbesondere für Netzengpässe definiert werden. Die vorhandene Infrastruktur kann sich an dem Systembedarf orientieren.

Zusammenfassung

- Verschiedene Betriebsweisen von PV-Speichersystemen unterscheiden sich maßgeblich bezüglich der Netz- bzw. der Systemdienlichkeit.
- Verbindliche, feste Einspeisegrenzen entlasten zwar das Elektrizitätsnetz durch die direkte Reduktion der Einspeisespitze, verringern jedoch nicht die hohen Einspeisegradien.
- Systemdienlichkeit und insbesondere eine Reduktion der systematischen Abregelung von PV-Erzeugung bedarf einer prognosebasierten Betriebsweise.
- Für eine prognosebasierte Betriebsweise bedarf es entsprechender IKT-Schnittstellen und Betriebsführungsmöglichkeiten des PV-Batteriespeichers.

6.5. Mittelfristige Potenziale von dezentralen Kleinspeichern zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen

Für die Bewertung von PV-Speichersystemen zur Eigenverbrauchsmaximierung wurden in den vorigen Abschnitten die Netzdienlichkeit und die Systemdienlichkeit herangezogen. Dezentrale Batteriespeicher können jedoch perspektivisch auch Systemdienstleistungen übernehmen. Heute übernehmen bestehende konventionelle Kraftwerke einen Großteil der notwendigen Systemdienstleistungen. Diese Struktur verändert sich jedoch im Zuge der Energiewende. Somit muss eine mittel- bis langfristige Bewertung von PV-Speichersystemen auch die Potenziale zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen berücksichtigen. Unter der Annahme, dass Batteriespeicher eine Lebensdauer von ca. 10 bis 15 Jahre (Bleibatterie-Speicher) bis hin zu 20 Jahre (Lithium-Ionen-Speicher) haben, sollten die technischen und regulatorischen Rahmenbedingungen schon bald entsprechend gesetzt werden.

In Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (2015) werden die zukünftigen Potenziale für Netz und Markt zusammengetragen.³⁷

Diese zukünftigen Potenziale können jedoch nur gehoben werden, wenn

- die Batterien technisch entsprechend ausgelegt sind,
- die Batterien eine IKT-Anbindung an zentrale Steuerprozesse haben und
- entsprechende Anreize oder Regularien bestehen, die den Betreiber der Batterie dazu bewegen, solche Dienstleistungen zu erbringen.

6.6. Auswirkungen von Stromverbrauchsreduktionen auf das Stromnetz und das Stromsystem

Zielsetzung dieses Forschungsvorhabens war es, die Kombination von Photovoltaik-Anlagen und PV-Batteriespeichern mit Stromsparmaßnahmen in Haushalten im Hinblick auf die Gesamtwirtschaftlichkeit zu analysieren und mit Hilfe des entwickelten Beratungstools neue Zielgruppen für das Thema Stromsparen zu adressieren. Aus Gesamtsystemsicht ist die Reduktion des Stromverbrauchs eine wichtige und notwendige Maßnahme. Sie führt nicht nur zu einer Reduktion der Stromproduktion – und somit auch zu sinkenden CO₂-Emissionen – sondern auch mittelfristig zu einer Einsparung von Infrastruktur. So müssen zur Deckung der Stromnachfrage weniger Erneuerbare-Energien Anlagen errichtet werden, was wiederum zu geringerem Flächenverbrauch und sonstigen Umwelteinflüssen führt.

Für die Dimensionierung der Verteilnetze sind sowohl die Last- als auch die Einspeisespitzen relevant. Netzengpässe bzw. Überlastungen treten momentan jedoch insbesondere durch die Einspeisespitzen aufgrund der zeitgleichen Einspeisung von PV-Anlagen auf. Die Problematik von Einspeisespitzen in Verbindung mit PV-Speichersystemen wurde in den vorangegangenen Kapiteln diskutiert. Lastspitzen durch zu hohen Energiebezug werden dagegen für die Netzdimensionierung voraussichtlich erst dann wieder relevant, wenn durch eine zunehmende Nutzung von elektrisch betriebenen PKW die Anschlussleistungen erhöht werden und somit die Lastspitze enorm steigt.

Verbrauchsreduktionen würden vor allem dann zu einer Netzentlastung beitragen, wenn der Strombedarf zum Zeitpunkt der Spitzenlast reduziert wird. Hierzu sollten mittelfristig das Lastverschiebepotenzial sowie das Potenzial zur Lastspitzenkappung genutzt werden. Anreize könnten hier variable Netzentgelte bieten.

6.7. Energiepolitische Empfehlungen und weiterer Forschungsbedarf zur optimalen Einbettung von PV-Batteriesystemen ins Netz

Ziel des Forschungsvorhabens war es, den Kontext einer optimalen Einbettung einer voraussichtlichen Vielzahl von einzelnen PV-Batteriesystemen aus Privathaushalten in das Energiesystem zu analysieren. Die Auswertung der Studien lässt die folgenden **Schlussfolgerungen** zu:

- Die **Herausforderungen im Energiesystem durch PV-Speichersysteme, die vorrangig zur Eigenverbrauchsmaximierung genutzt werden**, sind vor dem Hintergrund der Netz- sowie der Systemdienlichkeit zu bewerten. Zudem müssen Verteilungseffekte berücksichtigt werden.

³⁷ Demnach können Batteriespeicher durch die Bereitstellung von Blindleistung, Blindleistungskompensation und Kurzschlussleistung zur Spannungshaltung beitragen. Ein Beitrag zur Frequenzhaltung kann zudem durch die Bereitstellung von Regel- und Reserveleistung geleistet werden. Dabei werden zukünftig dezentrale Batteriespeicher im Verbund agieren müssen. Batteriespeicher können zudem so ausgelegt sein, dass sie schwarzstartfähig sind.

Durch reine Eigenverbrauchsoptimierung sind netzseitig hohe Einspeisegradien sowie gleichbleibende Einspeisespitzen zu erwarten. Mit Blick auf das Gesamtsystem kann eine reine Eigenverbrauchsoptimierung zur suboptimalen Ausnutzung von der vorhandenen Infrastruktur (Erzeugungs- und Speichertechnologien) führen. Zudem können Anreize zur optimalen Ausnutzung von Dachpotenzialflächen sowie Anreize zur Energieeffizienz vermindert werden. Die Refinanzierung der Elektrizitätsnetze wird durch hohen Eigenverbrauch von Stromerzeugung auf weniger Stromkunden verteilt, die dadurch höhere Belastungen zu erwarten haben.

- Der **Ausbau der PV-Speichersysteme** erfolgt derzeit in einem schnellen Tempo. Ende April 2017 waren 61.300 Batteriespeicher mit einer nutzbaren Speicherkapazität von 400 MWh in Deutschland installiert. Erste Ansätze in den Förderbedingungen der KfW sollen die Netzverträglichkeit sicherstellen. So ist der Anlagenbetreiber verpflichtet, die Wirkleistung der mit dem Speicher verbundenen PV-Anlage auf 50 Prozent der installierten Leistung zu reduzieren. Eine netz-entlastende feste Einspeisegrenze von 50 Prozent der Leistung führt jedoch im Durchschnitt zu einer Abregelung von ca. 12 Prozent der PV-Erzeugung.
- Verschiedene **Betriebsweisen** von PV-Speichersystemen unterscheiden sich maßgeblich bezüglich der Netz- bzw. der Systemdienlichkeit. Insbesondere Betriebsweisen mit Anreiz zur Kappung der Einspeisespitze entlasten das Elektrizitätsnetz. Systemdienlichkeit und besonders eine Reduktion der systematischen Abregelung von PV-Erzeugung kann auf Basis **prognosebasierter Betriebsweisen** erzielt werden. Für eine prognosebasierte Betriebsweise bedarf es jedoch entsprechender IKT-Schnittstellen und Betriebsführungsmöglichkeiten der PV-Batteriespeicher.

Aus diesem Kontext ergeben sich die folgenden **energiepolitische Empfehlungen**:

- Ein netzdienlicher Betrieb der PV-Speichersysteme ist schon heute von großer Relevanz und wird durch erste Ansätze im Rahmen der KfW-Förderung angereizt. Die RWTH Aachen (2015) schlägt in diesem Zusammenhang vor, die **technischen Voraussetzungen für einen netzdienlichen Betrieb von PV-Speichern kontinuierlich zu verschärfen** und somit den Innovationsdruck aufrecht zu erhalten.
- Während eine reine Netzdienlichkeit auch mit starren Einspeisegrenzen ermöglicht werden kann, so wird für eine Systemdienlichkeit eine **IKT-Anbindung** der PV-Speicher an zentrale Märkte (Bauknecht et al. 2017) notwendig. Bislang werden durch die KfW-Förderung keine standardisierten Schnittstellen vorgeschrieben (Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher 2015). Somit wird eine zentrale Ansteuerung durch einen Netzbetreiber oder eine Reaktion auf Marktpreise erschwert. Eine standardisierte IKT-Schnittstelle würde auch dynamische Grenzen für Einspeisespitzen zulassen und somit eine optimale Auslastung der Netzinfrastruktur zulassen.
- Die Reduktion der maximalen Einspeiseleistung sollte mittelfristig dynamisch durch den Netzbetreiber angepasst werden können. Es sollte mittelfristig eine **dynamische, netzpunkt- und netzzustandsabhängige Regulierung der maximalen Einspeiseleistung durch den Netzbetreiber** angestrebt werden. Somit wird nur dann PV-Erzeugung abgeregelt, wenn das Netz tatsächlich überlastet ist. (RWTH Aachen 2015)
- Kurzfristig sollte die **Entgelt- und Abgabenstruktur** an den steigenden Anteil an eigenverbrauchtem Strom angepasst werden: Die heute geltende Netzentgeltbefreiung von eigenverbrauchtem Strom sollte zukünftig nur bei netzdienlichem Einsatz des Speichers gelten. Die Befreiung von Umlagen und Abgaben auf eigenverbrauchtem Strom sollte nur bei einem systemdienlichen Einsatz des Speichers gelten.

- Die **Relation von Grundgebühr zu Arbeitspreis** beeinflusst den Anreiz zum Eigenverbrauch stark. Derzeit werden von einigen Versorgern die Grundgebühren stark erhöht, damit sich die Anreize zum Eigenverbrauch reduzieren. Somit reduzieren sich jedoch auch die Anreize zur Stromverbrauchsreduktion. Die faire Refinanzierung der Netzinfrastruktur sollte grundsätzlich überarbeitet werden, damit keine solchen Fehlanreize entstehen. Diskutiert werden die folgenden Ansätze zur Reformierung der Netzentgelte (May & Neuhoff 2016): Fester Grundpreis für Netzkosten; Leistungspreis für Netznutzung abhängig von maximaler Leistung; Ende der Befreiung von Netzgebühren; Sondertarife für Eigenverbraucher.

Die Auswertung hat zudem gezeigt, dass folgender weiterer **Forschungsbedarf** besteht:

- Momentan besteht eine Marktentwicklung hin zu Einzelspeicherlösungen im Bereich der dezentralen Speicher. Die Ausführungen in diesem Kapitel haben gezeigt, dass dieser Ausbau in Verbindung mit dem Ziel der Eigenverbrauchsoptimierung aus System Sicht nicht immer optimal ist. Aus diesem Grund wird weitere Forschung im Bereich der folgenden beiden Themenfelder vorgeschlagen:
 - Neben oder anstelle der Nutzung einer Vielzahl von einzelnen PV-Batterien sollte verstärkt die Erhöhung des Eigenverbrauchs durch **eine Verlagerung des Stromverbrauchs (Lastmanagement)** in den Fokus rücken, wofür sich insbesondere Haushalte eignen, in denen bereits Großverbraucher wie Wärmepumpen vorhanden sind. Dafür sprechen verschiedene Gründe: Erstens fallen die hohen Investitionskosten für einen Speicher weg und somit könnten seitens Staat die Förderaufwände reduziert bzw. anderweitig verteilt werden. Zweitens werden im Vergleich zur Neuanschaffung eines Batteriespeichers für das Lastmanagement auf Basis von vorhandenen Großgeräten keine zusätzlichen Ressourcen benötigt. Einschränkend muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass das Lastverschiebepotenzial in privaten Haushalten vergleichsweise gering ist und durch Stromsparmaßnahmen sogar noch weiter reduziert würde.
 - Anstelle von Investitionen in viele Einzelspeicher könnten Konzepte entwickelt werden, wie **Privathaushalte in Großspeicher investieren** können, die Netz- und Systemdienlich betrieben werden. Hier gibt es erste Konzepte, die weiter entwickelt werden könnten³⁸. Zu analysieren wäre, ob und wie auf diese Weise für Haushalte finanzielle Vorteile entstehen können, ohne dass der Speicher im eigenen Haushalt verortet sein muss.
- **Vorhandene Dachflächen müssen optimal für den PV-Zubau ausgenutzt werden:** Es besteht das Risiko, dass aufgrund der Fokussierung auf den Eigenverbrauch die vorhandenen Dachflächen nicht mehr optimal für den mittelfristig notwendigen PV-Ausbau zur Erreichung der Erzeugungsziele ausgenutzt werden. Die notwendige PV-Anlagenkapazität für die Optimierung des Eigenverbrauchs ist meist geringer als das Kapazitätspotenzial der Dachfläche. Hier bedarf es neuer Herangehensweisen, mit denen sichergestellt werden kann, dass die vorhandenen Dachflächen weiterhin optimal ausgenutzt werden.

³⁸ https://www.mvv.de/de/mvv_energie_gruppe/nachhaltigkeit_2/nachhaltig_wirtschaften_1/innovationen_1/strombank/strombank_1.jsp

7. Fazit und Ausblick

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsvorhabens hat das Öko-Institut zusammen mit dem Büro Ö-quadrat das Beratungstool „Stromspar-Speicherrechner“ für private Haushalte mit bestehender oder geplanter Photovoltaik-Anlage entwickelt, mit dem die Wirtschaftlichkeit einer Investition in einen Photovoltaik-Batteriespeicher über einen Zeitraum von 20 Jahren berechnet wird, erstmalig in Kombination mit den finanziellen Potenzialen von Investitionen in Stromsparmaßnahmen.

7.1. Wirtschaftlichkeitsberechnung für Photovoltaik-Batteriespeicher kombiniert mit Stromsparmaßnahmen (Stromspar-Speicherrechner)

Mit dem Beratungstool „Stromspar-Speicherrechner“ des Öko-Instituts erreicht man vorrangig Haushalte mit mittlerem bis hohem Einkommen, die für das Thema Energiewende grundsätzlich aufgeschlossen sind, indem sie in erneuerbare Energien investieren. Gleichzeitig besitzen Haushalte, die einen Batteriespeicher anschaffen, gemäß Literatur einen tendenziell höheren Stromverbrauch, während in der Regel kein finanzieller Druck zum Einsparen von Stromkosten besteht. Der Stromspar-Speicherrechner bietet somit den Vorteil, dass die Vorschläge für Stromsparmaßnahmen nicht einzeln für sich stehen, sondern in die Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die geplante Investition in den PV-Speicher integriert werden. Man erreicht die Haushalte zu einem Zeitpunkt, an dem sie bereits gewillt sind, eine Investition (für einen Batteriespeicher) zu tätigen. Anders als zum Beispiel bei einkommensschwachen Haushalten erscheint die zusätzliche finanzielle Investition in Stromsparmaßnahmen, zum Beispiel durch Neuanschaffung effizienter Geräte, daher umsetzbarer, wenn sie nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch gesehen sinnvoll ist.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen mit dem Stromspar-Speicherrechner des Öko-Instituts ergeben folgende Empfehlungen³⁹:

- Bei **Neuinstallation einer Photovoltaik-Anlage** ist über einen Zeitraum von 20 Jahren gesehen die Investition in eine möglichst große Anlage bis 10 kWp (für noch größere Anlagen gelten andere EEG-Förderbedingungen), kombiniert mit Investitionen in möglichst hohe Stromeinsparungen am wirtschaftlichsten. Diese Kombination ist nicht nur finanziell für den Haushalt höchst attraktiv, sondern leistet auch im Sinne der Energiewende den größten Beitrag zu den Zielen der Bundesregierung (Ausbau der erneuerbaren Energien und Reduzierung des Stromverbrauchs). Haushalte sollten daher vorhandene Dachflächen bestmöglich ausnutzen, denn auch große PV-Anlagen, die bilanziell deutlich mehr Strom erzeugen als verbraucht werden kann, rechnen sich wirtschaftlich.
- Bei **PV-Bestandsanlagen**, deren hohe Einspeisevergütung durch die EEG-Förderung demnächst ausläuft, ist die alleinige Investition in einen (Lithium-Ionen)-Batteriespeicher nur dann wirtschaftlich, wenn von künftig steigenden Strompreisen bzw. noch stärker sinkenden Speicherpreisen ausgegangen wird. Unter der Annahme, dass die Strompreise aufgrund auslaufender hoher EEG-Einspeisevergütungen nach 2025 leicht sinken werden, lohnt sich finanziell gesehen die Investition in einen Speicher nicht. Ein größerer Speicher führt zwar zu einem höheren Eigenverbrauch und Autarkiegrad, je größer jedoch der Batteriespeicher ausgelegt wird, desto nachteiliger fällt das Ergebnis mit Bezug auf die Wirtschaftlichkeit aus. Realisiert der Haushalt dagegen neben der Speicheranschaffung zusätzlich Investitionen in Stromsparmaßnahmen, so erhöht sich dadurch nicht nur der Autarkiegrad, sondern es ergibt sich über einen Zeitraum von 20 Jahren gesehen aufgrund der geringeren Strombezugskosten unabhängig von der Batteriegroße in jedem Fall ein wirtschaftlicher Vorteil, sogar bei künftig sinkenden Strompreisen. Aus finanzieller Sicht empfehlenswert sind daher Investitionen in möglichst hohe Stromsparmaßnahmen in Kombination mit einem möglichst kleinen Speicher.

³⁹ Hinweis: Der Stromspar-Speicherrechner des Öko-Instituts ist nicht anwendbar für Hauseigentümergeinschaften oder Mieterstrom-Modelle, für PV-Anlagen größer 10 kWp sowie für Gewerbe mit spezifischen Lastprofilen.

7.2. Einsatz des Stromspar-Speicherrechners in der fachkundigen Beratung von Haushalten

Aufbau und Bedienung des Stromspar-Speicherrechners sind so angelegt, dass das Tool direkt von privaten Haushalten für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit ihrer geplanten Investitionen in einen Batteriespeicher und/oder eine PV-Anlage genutzt und dabei auch die Möglichkeiten zum Stromsparen in Betracht gezogen werden könnten. Die exemplarischen Beratungen von insgesamt fünf Testhaushalten im Rahmen dieses Forschungsvorhabens haben gezeigt, dass die Zielgruppe tendenziell über ein gutes Wissen zum Einsatz von PV-Anlagen und Batteriespeichern verfügt.

Besonders eignet sich der Stromspar-Speicherrechner des Öko-Instituts jedoch zum Einsatz in der fachkundigen Beratung von Haushalten, beispielsweise durch Energieversorger, Energieagenturen, Verbraucherberatungen sowie Anbieter von Photovoltaikanlagen und PV-Batteriespeichern. Dies hat den Vorteil, dass Fragen des Haushalts in der Beratung adressiert und entsprechende Beratungsvarianten direkt im Tool abgebildet werden können, zum Beispiel zur optimalen Dimensionierung oder geeigneten Technologie und den entsprechenden Kosten der Anlagen sowie zur Identifikation der spezifischen Stromeinsparpotenziale des Haushalts und Kosten für die Ersatzbeschaffung effizienterer Geräte.

Im Sinne einer Bürgerbeteiligung an der Energiewende sind aus Sicht des Öko-Instituts folgende Aspekte für eine ganzheitliche Beratung von Haushalten besonders wichtig:

- Bei Neuinstallation von PV-Anlagen sollten Haushalte ihre vorhandene Dachfläche bestmöglich ausnutzen, denn auch große PV-Anlagen, die bilanziell deutlich mehr Strom erzeugen als verbraucht wird, rechnen sich wirtschaftlich und tragen zum Ausbauziel für Erneuerbare Energien bei.
- Investitionen in Stromsparmaßnahmen, zum Beispiel Ersatzbeschaffungen effizienter Geräte, bieten über einen Zeitraum von 20 Jahren gerechnet immer einen wirtschaftlichen Vorteil für den Haushalt und liefern gleichermaßen einen wichtigen Beitrag zur Energiewende.
- Der detaillierte „Stromspiegel für Deutschland“ mit Einteilung in Stromeffizienzklassen hilft Haushalten besser die Höhe ihres eigenen Stromverbrauchs zu bewerten als die üblicherweise auf der Jahresstromabrechnung angegebenen allgemeinen Durchschnittsverbräuche. Zudem können Haushalte den Jahresstromverbrauch der effizientesten Klasse als Orientierung für das mögliche Einsparpotenzial nehmen.
- Die Investition in einen PV-Batteriespeicher zur Erhöhung des Eigenstromverbrauchs ist für Haushalte nur unter bestimmten Voraussetzungen wirtschaftlich tragfähig, nämlich bei zukünftig steigenden Strompreisen und gleichzeitig sinkenden Kosten für den Batteriespeicher sowie bei Investition in einen langlebigen Speicher, der innerhalb des Berechnungszeitraums von 20 Jahren nicht ausgetauscht werden muss.
- Bei der Investition in einen PV-Batteriespeicher sollten Haushalte nicht nur in Bezug auf Dimensionierung und Kosten beraten werden. Welche Technologie welche Vor- bzw. Nachteile bietet, ob die Herstellung negative Umweltauswirkungen hat und wie langlebig bzw. wartungsintensiv die jeweiligen Speicher sind, sollten ebenfalls wichtige Bausteine der Haushaltsberatung sein.
- Aus Netz- und Systemsicht ist eine Vielzahl von individuellen Batteriespeichern, die ausschließlich auf die Optimierung des Eigenstromverbrauchs der einzelnen Haushalte ausgelegt sind, nicht sinnvoll und kann unter Umständen sogar zu Nachteilen in Bezug auf die Energiewende führen. Haushalte sollten daher auch dahingehend beraten werden, wie ihr PV-Batteriespeicher möglichst optimal für das Stromnetz und System genutzt werden kann (z.B. durch prognosebasierte Betriebsweise), und welche IKT-Schnittstellen und Betriebsführungsmöglichkeiten es hierfür gegebenenfalls bedarf.

7.3. Weiterentwicklungspotenziale und Dissemination des Stromspar-Speicherrechners

Die Kombination von Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Photovoltaik-Speicher mit Investitionen in Stromsparmaßnahmen hat sich insgesamt als sehr zielführend erwiesen. Zielgruppe für den Stromspar-Speicherrechner des Öko-Instituts sind momentan ausschließlich Privathaushalte, d.h. Hauseigentümer mit eigener PV-Anlage sowie typischen Lastprofilen. Die PV-Anlagengröße ist im Rechner auf maximal 10 kWp begrenzt, da für größere PV-Anlagen andere EEG-Fördersätze gelten, die in dem Tool nicht hinterlegt sind.

Um den Stromspar-Speicherrechner für weitere Einsatzmöglichkeiten nutzen zu können und so auch weitere Zielgruppen, die in einen PV-Batteriespeicher investieren wollen, für die Vorteile des Stromsparens in Bezug auf Autarkie und Wirtschaftlichkeit zu sensibilisieren, bestehen folgende Weiterentwicklungspotenziale des Tools:

- Einbezug weiterer Lastprofile bei privaten Haushalten, zum Beispiel durch den Einsatz von Wärmepumpen oder Elektrofahrzeugen. Dies würde ggf. auch eine Anpassung bzw. weitere Spezifizierung des Stromspiegels für Deutschland erfordern.
- Anpassung des Stromspar-Speicherrechners für die Anwendung auf Mieterstrom-Modelle oder Hauseigentümer-Gemeinschaften, die gemeinschaftlich in eine PV-Anlage bzw. einen PV-Batteriespeicher investieren, jedoch individuell zum Stromverbrauch und den möglichen Einsparmaßnahmen beitragen.
- Einbezug kleinerer Gewerbebetriebe oder landwirtschaftlicher Betriebe als Zielgruppe, mit der Möglichkeit zur Eingabe größerer Dachflächen und damit höherer PV-Anlagenleistung, den entsprechenden EEG-Fördersätzen sowie spezifischen Lastprofilen für Gewerbebetriebe.
- Einbezug von Fördermöglichkeiten (z.B. durch die KfW, aber auch durch Energieversorgungsunternehmen) in die Wirtschaftlichkeitsberechnungen des Stromspar-Speicherrechners.
- Analyse und ggf. Einbezug von individuellen Produkt-Service-Paketen der Energieversorgungsunternehmen in den Stromspar-Speicherrechner. Typische Produkt-Service-Pakete bestehen aus einer PV-Anlage, einem Batteriespeicher mit Wechselrichter und Zähler sowie einer Mitgliedschaft in einer so genannten Strom-Cloud. Im Rahmen einer monatlichen Gebühr ist darin eine gewisse Anzahl an Kilowattstunden enthalten, die je nach Anbieter entweder insgesamt verbraucht werden darf oder aus der Cloud bezogen werden kann. Oberhalb der jeweiligen Grenze wird der mehr verbrauchte Strom dann individuell in Rechnung gestellt.

Erste Rückmeldungen während des Forschungsvorhabens zeigen, dass vor allem Energieversorger, Energieagenturen und Verbraucherberatungen besonderes Interesse an dem Stromspar-Speicherrechner haben, da sie es zur integrierten Beratung der Themen Erneuerbare Energien (Photovoltaik und Batteriespeicher) und Stromsparen nutzen und damit für die Gestaltung neuer Dienstleistungen und Angebote gegenüber den Verbraucherinnen und Verbrauchern verwenden können.

Zielsetzung wäre daher über das vorliegende Forschungsvorhaben hinaus, in dem der Stromspar-Speicherrechner zunächst entwickelt wurde, die Dissemination des Stromspar-Speicherrechners unter entsprechenden Akteuren und einen flächendeckenden Einsatz in der Beratung von Haushalten zu erreichen, um die Potenziale mit Blick auf eine Bürgerbeteiligung an der Energiewende weiter zielgerichtet auszubauen.

7.4. Weiterer Forschungsbedarf bzw. politischer Handlungsbedarf zum optimalen Einsatz von PV-Batteriespeichern

Aktuell gibt es einen steigenden Trend zur Anschaffung eines Batteriespeichers im Zusammenhang mit einer Photovoltaikanlage. Bei bestehenden Photovoltaik-Anlagen werden in naher Zukunft die ersten auf 20 Jahre befristeten, recht hohen Förderungen aus dem Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) auslaufen. Da diese Haushalte danach nur noch sehr geringe Börsenstrompreise für die Stromeinspeisung ins Netz erhalten, besteht ein Anreiz zur möglichst hohen Eigennutzung des selbst erzeugten Stroms mit Hilfe eines Batteriespeichers. Sinkende Preise vor allem bei Lithium-Ionen-Speichern, finanzielle Zuschüsse der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) sowie Angebote und Werbung von Batterieherstellern, Energieversorgungsunternehmen und weiteren Akteuren begünstigen den Trend bei Privathaushalten zur Investition in PV-Speicher.

Die Analysen zur optimalen Einbettung der Batteriesysteme ins Netz im Rahmen dieses Forschungsvorhabens (siehe Abschnitt 6) zeigen jedoch, dass durch eine Vielzahl von PV-Speichersystemen, die vorrangig zur Eigenverbrauchsmaximierung genutzt werden, unter Umständen Nachteile mit Bezug auf die Netz- und der Systemdienlichkeit entstehen können. Zu nennen sind netzseitig hohe Einspeisegradien bei gleichbleibenden Einspeisespitzen, mit Blick auf das Gesamtsystem eine suboptimale Ausnutzung der vorhandenen, ggf. effizienteren Infrastruktur (Erzeugungs- und Speichertechnologien), die Abregelung von PV-Erzeugung durch festgelegte Einspeisegrenzen, fehlende Anreize zur optimalen Ausnutzung der vorhandenen Dachflächenpotenziale sowie verringerte Anreize zum Stromsparen, aber auch die Verteilung der Refinanzierung der Elektrizitätsnetze auf weniger Stromkunden, die dadurch höhere Belastungen zu erwarten haben. Hinzu kommen der Ressourcenaufwand für die Herstellung der Batteriespeicher sowie die Recycling- bzw. Entsorgungsfrage am Ende der Lebensdauer der Batteriespeicher.

Für einen möglichst netz- und systemdienlichen Einsatz von PV-Batteriespeichern besteht daher weiterer Forschungs-, aber auch politischer Handlungs- sowie Kommunikationsbedarf zwischen den relevanten beteiligten Akteuren:

- Politik: Anpassung der Anforderungen in Förderprogrammen (EEG, KfW etc.), Schaffung von Rahmenbedingungen für einheitliche IKT-Schnittstellen zur prognosebasierten Ansteuerung von Batteriespeichern, Anforderungen an die Effizienz und den Einsatz von Batteriespeichern oder Förderung geeigneter Alternativen wie zum Beispiel Lastmanagement etc..
- Hersteller und Anbieter von PV-Batteriespeichern: Angebot von Batteriesystemen mit einheitlichen IKT-Schnittstellen zur Erleichterung prognosebasierter Betriebsführung, Steigerung von Qualität, Effizienz und Lebensdauer der Batteriesysteme, Ausbau von Rücknahme- und Recyclinginfrastrukturen für PV-Batteriesysteme etc..
- Energieversorgungsunternehmen: Schaffung von Gebührenstrukturen, die Anreize zum Stromsparen liefern; netzdienliche Steuerung von Last und Einspeisung in Rückkopplung mit den Bedürfnissen der Verbraucher etc..
- Energie- und Verbraucherberatungen: Information über die Vor- und Nachteile netzdienlicher Steuerung von Last und Einspeisung, Beratung zur optimalen Technologie und Dimensionierung der Anlagen, Beratung weiterer Zielgruppen zu den ökologischen und ökonomischen Vorteilen des Stromsparens etc..
- Wissenschaft: Analyse der ökologischen, ökonomischen sowie netz- und systembezogenen Vor- und Nachteile verschiedener Einzelspeicherlösungen im Vergleich zu Großverbrauchern, Lastmanagementlösungen etc..

8. Literaturverzeichnis

- Agora Energiewende (2018): Netzentgelte 2018: Problematische Umverteilung zulasten von Geringverbrauchern. Berlin. Online verfügbar: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2014/transparente-energiwirtschaft/Agora_RAP_Netzentgelte_2018_WEB.pdf; letzter Abruf am 16.01.2018.
- Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (2017): Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland (BMWi, Hrsg.). Berlin.
- Ausfelder, F. et al. (2015): Energiespeicherung als Element einer sicheren Energieversorgung. Chemie Ingenieur Technik 1-2 (2015), S. 17–89.
- Baars (2017): Neuer Effizienzleitfaden: Darauf solltet ihr bei Speichersystemen achten, SMA. Online verfügbar: <http://www.sma-sunny.com/neuer-effizienzleitfaden-darauf-solltet-ihr-bei-speichersystemen-achten/>; letzter Abruf am 08.03.2018.
- Bauknecht et al. (2017): Bestandsaufnahme und orientierende Bewertung dezentraler Energiemanagementsysteme (Climate Change).
- BDEW (2017): BDEW - Strompreisanalyse Mai 2017. Online verfügbar: [https://www.bdew.de/internet.nsf/res/ACB6766AE4CA66E0C1258132004BC873/\\$file/170531_BDEW_Strompreisanalyse_Mai2017.pdf](https://www.bdew.de/internet.nsf/res/ACB6766AE4CA66E0C1258132004BC873/$file/170531_BDEW_Strompreisanalyse_Mai2017.pdf); letzter Abruf am 25.08.2017.
- BMUB (2017): Projektionsbericht 2017 für Deutschland gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013 (BMUB, Hrsg.). Online verfügbar: http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/projections/envwqc4_g/170426_PB_2017_-_final.pdf; letzter Abruf am 23.02.2018.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung (BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Hrsg.). Online verfügbar: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.html>; letzter Abruf am 28.12.2017.
- BSW & BVES (2017): Effizienzleitfaden für PV-Speichersysteme. Online verfügbar: http://www.bves.de/wp-content/uploads/2017/04/Effizienzleitfaden_V1.0.4_April2017.pdf; letzter Abruf am 24.08.2017.
- C.A.R.M.E.N. e.V. (2017): Marktübersicht Batteriespeicher. Informationsangebot (C.A.R.M.E.N. e.V., Hrsg.). Online verfügbar: https://www.carmen-ev.de/files/Sonne_Wind_und_Co/Speicher/Markt%C3%BCbersicht-Batteriespeicher_2017.pdf; letzter Abruf am 13.10.2017.
- co2online gGmbH (co2online gGmbH, Hrsg.) (2017): Stromspiegel für Deutschland 2017. Klimaschutz zu Hause. Online verfügbar: https://www.die-stromsparinitiative.de/fileadmin/bilder/Stromspiegel/broschuere/Stromspiegel_2017_web.pdf; letzter Abruf am 08.03.2018.
- Dt. Caritasverband e.V. und Bundesverband der Energie- und Klimaschutzagenturen Deutschland e.V. (Hg.) (2017): Datenbank des Projektes Stromspar-Check.
- E3/DC GmbH (o.J.): Batterietechnologie der Stromspeicher. Online verfügbar: <https://www.e3dc.com/ratgeber/stromspeicher/batterietechnologie/>; letzter Abruf am 09.01.2017.
- E-Bridge Consulting et al. (2014): Moderne Verteilnetze für Deutschland. Abschlussbericht (Bundesminister für Wirtschaft und Energie, Hrsg.). Berlin.
- Enerkeep (2018): Speicher-Nachrüstung für bestehende PV-Anlagen. Online verfügbar: <https://enerkeep.com/DE/de>; letzter Abruf am 12.01.2018.
- Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG).
- EuPD Research Sustainable Management GmbH (2017): Deutsche Anbieter behaupten Führungsposition im deutschen und europäischen Markt für Solarspeicher. Online verfügbar: <http://www.eupd-research.com/en/home/view-details/deutsche-anbieter-behaupten-fuehrungsposition-im-deutschen-und-europaeischen-markt-fuer-solarspeiche/>; letzter Abruf am 20.10.2017.

- European Commission (European Commission, Hrsg.) (o.J.): Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps. Online verfügbar: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>; letzter Abruf am 12.01.2018.
- Figgenger et al. (2017): Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher 2.0. Jahresbericht 2017. Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe der RWTH Aachen. Online verfügbar: http://www.speichermonitoring.de/fileadmin/user_upload/Speichermonitoring_Jahresbericht_2017_ISEA_RWTH_Aachen.pdf; letzter Abruf am 31.07.2017.
- Finke (o.J.a): Dickschicht oder Dünnschicht - Welcher Modultyp ist besser für Ihr Dach geeignet?, PVS Solarstrom | spondeus Inh. Hanns-Stefan Finke. Online verfügbar: <https://photovoltaiksolarstrom.com/aufbau-photovoltaik/photovoltaikmodule/vergleich/>; letzter Abruf am 23.02.2018.
- Finke (o.J.b): Die Vergütung für eingespeisten Solarstrom 2017, PVS Solarstrom. Online verfügbar: <https://photovoltaiksolarstrom.com/einspeiseverguetung/>; letzter Abruf am 25.10.2017.
- Finke (o.J.c): Photovoltaik-Auslegung und Dimensionierung, PVS Solarstrom. Online verfügbar: <https://photovoltaiksolarstrom.com/photovoltaiklexikon/photovoltaik-auslegung/>; letzter Abruf am 31.08.2017.
- Finke (o.J.d): Photovoltaik-Kosten, PVS Solarstrom. Online verfügbar: <https://photovoltaiksolarstrom.com/photovoltaik-kosten/>; letzter Abruf am 31.08.2017.
- Fischer et al. (2016): Konzept zur absoluten Verminderung des Energiebedarfs: Potenziale, Rahmenbedingungen und Instrumente zur Erreichung der Energieverbrauchsziele des Energiekonzepts (Climate Change Nr. 17). Umweltbundesamt.
- FNN & VDE (2016): Anschluss und Betrieb von Speichern am Niederspannungsnetz (FNN, Hrsg.). Berlin.
- Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (2015): Der positive Beitrag dezentraler Batteriespeicher für eine stabile Stromversorgung. Regenburg. Online verfügbar: https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/BEE_HM_FENES_Kurzstudie_Der_positive_Beitrag_von_Batteriespeichern_2015.pdf; letzter Abruf am 14.11.2017.
- Graulich & Manhart (2017): Entwicklung von Kriterien und Herstellerempfehlungen für ein Förderprogramm der EWS zu Photovoltaik-Batteriespeichern. Kurzstudie für die Elektrizitätswerke Schönau Vertriebs GmbH (EWS). Öko-Institut e.V. Online verfügbar: https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Foerderkriterien_PV-Batteriespeicher_EWS.pdf; letzter Abruf am 10.01.2018.
- Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin (2016): 50%-Studie: Effekte der 50%-Einspeisebegrenzung des KfW-Förderprogramms für Photovoltaik-Speichersysteme. Berlin. Online verfügbar: <https://pvspeicher.htw-berlin.de/wp-content/uploads/2016/02/HTW-Berlin-50-Prozent-Studie.pdf>; letzter Abruf am 14.11.2017.
- ISEA RWTH Aachen (2017): Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher 2.0. Jahresbericht 2017 (ISEA RWTH Aachen, Hrsg.). Aachen.
- Jambagi, A. & Kramer, M. (2015): Residential Electricity Demand Modelling. In: , *3rd International Renewable and Sustainable Conference (IRSEC)* .
- Kairies et al. (2016): Wissenschaftliches Mess- und Evaluierungsprogramm Solarstromspeicher. Jahresbericht 2016 (Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe der RWTH Aachen, Hrsg.). Online verfügbar: http://www.speichermonitoring.de/fileadmin/user_upload/Speichermonitoring_Jahresbericht_2016_Kairies_web.pdf; letzter Abruf am 04.07.2017.
- KfW Bankengruppe (2017): KfW-Programm Erneuerbare Energien "Speicher" (275), KfW Bankengruppe. Online verfügbar: [https://www.kfw.de/KfW-Konzern/Service/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf.\)-\(D-EN\)/Barrierefreie-Dokumente/KfW-Programm-Erneuerbare-Energien-Speicher-\(275\)-Merkblatt/](https://www.kfw.de/KfW-Konzern/Service/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf.)-(D-EN)/Barrierefreie-Dokumente/KfW-Programm-Erneuerbare-Energien-Speicher-(275)-Merkblatt/); letzter Abruf am 04.12.2017.
- Koepp et al. (2017): Mieterstrom. Rechtliche Einordnung, Organisationsformen, Potenziale und Wirtschaftlichkeit von Mieterstrommodellen (MSM) (BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Hrsg.).

- Online verfügbar: http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/schlussbericht-mieterstrom.pdf?__blob=publicationFile&v=10; letzter Abruf am 28.12.2017.
- Köhler et al. (2017): Vergleichende ökonomische und ökologische Bewertung von innovativen, stationären Energiespeichertechnologien in der industriellen Produktion (VDI ZRE, Hrsg.).
- Leipziger Institut für Energie (2014): Mittelfristprognose zur EEG-Stromeinspeisung bis 2019. Online verfügbar: https://www.netztransparenz.de/de/file/IE_2014-10-28_EEG-Mittelfristprognose-Internet.pdf; letzter Abruf am 17.04.2015.
- Märtel (PHOTOVOLTAIKWEB, Hrsg.) (o.J.a): Auswirkungen der PV Neigung auf den Ertrag. Online verfügbar: <https://www.photovoltaik-web.de/photovoltaik/dacheignung/dachneigung>; letzter Abruf am 04.09.2017.
- Märtel (Solaranlagen Portal, Hrsg.) (o.J.b): Photovoltaik Förderung: aktuelle Programme im Überblick. Online verfügbar: <https://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/wirtschaftlichkeit/foerderung>; letzter Abruf am 28.12.2017.
- Märtel (Solaranlagen Portal, Hrsg.) (o.J.c): Solarstromspeicher Preise. Online verfügbar: <https://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/stromspeicher/preise>; letzter Abruf am 28.12.2017.
- Märtel (Solaranlagen Portal, Hrsg.) (o.J.d): Vergütung für Eigenverbrauch von Solarstrom. Online verfügbar: <https://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/eigenverbrauch/einspeiseverguetung>; letzter Abruf am 28.12.2017.
- May, N. & Neuhoff, K. (2016): Eigenversorgung mit Solarstrom« – ein Treiber der Energiewende? DIW Roundup, Politik im Fokus (2016).
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Ba-Wü (2017): Photovoltaik und Batteriespeicher. Technologie, Integration, Wirtschaftlichkeit (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Ba-Wü, Hrsg.). Online verfügbar: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/UM_PV_Batteriespeicher.pdf; letzter Abruf am 06.07.2017.
- Prime Communication PR Consulting (Der Tagesspiegel, Hrsg.) (2017): Chinesen kaufen Aquion Energy. Online verfügbar: <http://www.tagesspiegel.de/advertorials/ots/prime-communication-pr-consulting-chinesen-kaufen-aquion-energy/19966576.html>; letzter Abruf am 13.07.2017.
- Prognos AG (2016): Auswirkungen von Batteriespeichern auf das Stromsystem in Süddeutschland. Kurzdokumentation. Online verfügbar: https://www.prognos.com/fileadmin/pdf/publikationsdatenbank/160115_Prognos_Studie_Batteriespeicher_Sueddeutschland_kurz.pdf; letzter Abruf am 14.11.2017.
- PV Magazine (PV Magazine, Hrsg.) (2016): Batteriespeicher: die Frage nach der Effizienz. Online verfügbar: <https://www.pv-magazine.de/2016/03/11/batteriespeicher-die-frage-nach-der-effizienz/?L=1%5C%27&cHash=d66efee1d9c34504c661c907dd4fe246>; letzter Abruf am 04.09.2017.
- RWTH Aachen (2015): Nachhaltige Entwicklung dezentraler Solarstromspeicher aus wissenschaftlicher Sicht. Ergebnisse der Begleitforschung. Aachen. Online verfügbar: http://www.speichermonitoring.de/fileadmin/user_upload/Nachhaltige_Entwicklung_dezentraler_Solarstromspeicher_aus_wissenschaftlicher_Sicht_web.pdf; letzter Abruf am 14.11.2017.
- Sauer (2013): Marktanreizprogramm für dezentrale Speicher insbesondere für PV-Strom. Kurzgutachten. RWTH Aachen - Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe. Online verfügbar: https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/Gutachten/kurzgutachten_marktanreizprogramm_bf.pdf?__blob=publicationFile&v=2; letzter Abruf am 07.07.2017.
- Schill et al. (2017): Dezentrale Eigenstromversorgung mit Solarenergie und Batteriespeichern: Systemorientierung erforderlich (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Hrsg.) (DIW Wochenbericht 12.2017). Berlin. Online verfügbar: http://www.diw.de/documents/publikationen/73/diw_01.c.554835.de/17-12-1.pdf; letzter Abruf am 28.03.2017.

- Schmole (2016): Photovoltaik-Preismonitor Deutschland. German PV ModulePriceMonitor© 2016 Ergebnisse 1. Quartal, EuPD Research Sustainable Management GmbH. Online verfügbar: https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/user_upload/BSW_Preismonitor_Q1_2016.pdf; letzter Abruf am 31.08.2017.
- Solarenergie Förderverein Deutschland e.V. (Solarenergie Förderverein Deutschland e.V., Hrsg.) (2017): Solarstrom-Vergütungen im Überblick. Online verfügbar: <http://www.sfv.de/lokal/mails/sj/verguetu.htm>; letzter Abruf am 28.12.2017.
- Stahl et al. (2016): Ableitung von Recycling- und Umweltaanforderungen und Strategien zur Vermeidung von Versorgungsrisiken bei innovativen Energiespeichern (Umweltbundesamt, Hrsg.). Dessau-Roßlau. Online verfügbar: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_07_2016_ableitung_von_recycling-und_umweltaanforderungen.pdf; letzter Abruf am 07.07.2017.
- Tepper (2016): Solarstromspeicher - Preismonitor Deutschland. Ergebnisse 1. Halbjahr 2016, Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW) und Intersolar Europe. Online verfügbar: https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/user_upload/BSW_Speicherpreismonitor_1hj_2016.pdf; letzter Abruf am 31.08.2017.
- Thorun et al. (2017): Nudge-Ansätze beim nachhaltigen Konsum: Ermittlung und Entwicklung von Maßnahmen zum „Anstoßen“ nachhaltiger Konsummuster. Abschlussbericht (Umweltbundesamt, Hrsg.) (UBA-Texte 69/2017). Online verfügbar: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-08-22_texte_69-2017_nudgeansaeetze_nach-konsum_0.pdf; letzter Abruf am 28.12.2017.
- Umweltbundesamt (2017): Daten zur Umwelt 2017. Indikatorenbericht (Umweltbundesamt, Hrsg.). Online verfügbar: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/daten_zur_umwelt_2017_indikatorenbericht.pdf; letzter Abruf am 23.02.2018.
- Weniger et al. (2017): Vergleich verschiedener Kennzahlen zur Bewertung der energetischen Performance von PV-Batteriesystemen. HTW Berlin. Online verfügbar: https://pvspeicher.htw-berlin.de/wp-content/uploads/2017/03/WENIGER-2017_03-Vergleich-verschiedener-Kennzahlen-zur-Bewertung-der-energetischen-Performance-von-PV-Batteriesystemen.pdf; letzter Abruf am 04.09.2017.
- Wirth (2017): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland (Fraunhofer ISE, Hrsg.). Online verfügbar: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>; letzter Abruf am 25.08.2017.
- Wirth (2018): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fassung vom 3.1.2018. Fraunhofer ISE. Online verfügbar: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>; letzter Abruf am 19.01.2018.
- Württemberg (2014): Der Salzwasser-Akku. Neuer Energiespeicher. Online verfügbar: <http://www.elektroniknet.de/elektronik/power/der-salzwasser-akku-108903.html>; letzter Abruf am 18.10.2017.
- Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (2014): Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichts 2014 - Vorhaben Ilc Solare Strahlungsenergie. Stuttgart.

9. Anhang

9.1. Auswertung vorhandener online-Tools für PV-Batteriespeicher

<https://www.pv-magazine.de/speicherrechner/>

Auslegung und Wirtschaftlichkeit von Batteriespeichern zur Eigenverbrauchserhöhung: Mit diesem Tool kann man berechnen, wie teuer ein Heim-Batteriespeicher sein darf, wenn man eine bestimmte Renditeerwartung hat. Im ersten Schritt wird die passende Speichergöße berechnet; im zweiten Schritt berechnet das Programm, welches Budget potenzielle Käufer für die Solaranlage und den Speicher bei einem bestimmten Renditewunsch zur Verfügung haben. Grundlage der Berechnung ist der erwartete Autarkiegrad, der zu einem großen Teil von der Größe der Solaranlage, von der Größe des Speichersystems und vom Verbrauchsverhalten abhängt.

Einzugebende Parameter	Ausgabeparameter
<ul style="list-style-type: none"> • Schritt 1: Berechnung der passenden Speichergöße <ul style="list-style-type: none"> – Stromverbrauch (kWh/Jahr) von 2.500 bis 5.000 kWh in 100 kWh-Schritten – Gesamtleistung der PV-Anlage (Auswahl 2-5,5 kWp in 0,1 kWp-Schritten) – Gewünschter Autarkiegrad (Auswahl: Bandbreite von 21 bis 80 Prozent in Ein-Prozent-Schritten; angezeigte Bandbreite in Abhängigkeit von den zuvor gewählten Parametern) – Höhe des Strombezugs (%) von 20 bis 69 Prozent in Ein-Prozent-Schritten; angezeigte Bandbreite in Abhängigkeit von den zuvor gewählten Parametern • Schritt 2: Wirtschaftlichkeitsberechnung <ul style="list-style-type: none"> – Renditeerwartung (Auswahl: 2 bis 6 Prozent in 0,1-Prozent-Schritten) – Systemkosten für PV-Anlage ohne Speicher (Auswahl: 1.300 bis 2.000 Euro/kWp in 10-Euro/kWp-Schritten) – EEG-Vergütung (Auswahl: 10 bis 15,92 ct. in 0,02 ct Schritten) – Spezifischer Jahresertrag der PV-Anlage (kWh/kWp) (Auswahl: 850 – 1.050 kWh/kWp in 1-kWh/kWp-Schritten) 	<ul style="list-style-type: none"> • Schritt 1: Berechnung der passenden Speichergöße: <ul style="list-style-type: none"> – In Zahlen und als Balkendiagramm: Verhältnis Strombezugsanteil zu Autarkiegrad – Passende Speichergöße (nutzbare Kapazität) von 0 bis knapp 12 kWh in Abhängigkeit von den zuvor gewählten Parametern • Schritt 2: Wirtschaftlichkeitsberechnung <ul style="list-style-type: none"> – Gesamtbudget (mit/ohne Förderung) – Davon Budget PV-Anlage / Speichersystem – Beschreibung, in welcher Höhe Stromkosten (Euro) eingespart werden, Einnahmen (Euro) aus der Einspeisung des Solarstroms und Kosten für Wartung und Ersatzinvestitionen entstehen. Die zugrunde liegenden Annahmen beruhen auf 2 Szenarien: <ul style="list-style-type: none"> – Szenario konservativ: Strompreis 2014: 23,78 Cent/kWh netto. Anfangs steigt der Strompreis um 4 Prozent/Jahr; die Steigerung verringert sich jedoch, so dass im Jahr 2034 der Strom 33 Cent pro Kilowattstunde kostet. Wartung kostet anfangs 225 Euro/Jahr. Sie wird mit 2 Prozent Inflation jedes Jahr teurer. Im Jahr 2024 muss der Wechselrichter für dann 80 Euro pro Kilowattpeak getauscht werden, die Batterie für 400 Euro pro Kilowattstunde – Szenario optimistisch: Strompreis 2014: 23,78 Cent/kWh netto. Der Strompreis steigt kontinuierlich um 4 Prozent/Jahr auf 50 Cent pro kWh (brutto). Wartung kostet anfangs 150 Euro/Jahr. Sie wird mit 2 Prozent Inflation jedes Jahr teurer. Im Jahr 2024 muss der Wechselrichter für 80 Euro/kWp getauscht werden; Batterie wird nicht getauscht, weil sie 20 Jahre hält. • Beide Szenarien: Wirtschaftlichkeitsberechnung über 20 Jahre; Degradation PV-Module mit 0,5 Prozent pro Jahr; Inflation (der Wartungskosten) 2 Prozent pro Jahr

<http://www.energieagentur.nrw/tool/pv-rechner/>

Mit diesem Online-Rechner kann man überprüfen, ob sich die Investition in eine PV-Anlage, ggf. inkl. Batteriespeichersystem, lohnt. Man erhält eine grobe Abschätzung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, die für die Planung eine erste Orientierung gibt. Das Tool greift auf Strahlungsdaten von 750 Wetterstationen in Deutschland zu (Durchschnittswerte der vergangenen fünf Jahre; Kooperation mit dem Wetterdienst Meteogroup). Zur Berechnung des Eigenverbrauchsanteils für Privathaushalte werden Daten der HTW Berlin verwendet.

Einzugebende Parameter	Ausgabeparameter
<ul style="list-style-type: none"> • Anlagendaten <ul style="list-style-type: none"> – Anlagenstandort (Eingabe Postleitzahl) – Anlagenart (Auswahl: Aufdach, Dachintegriert, Fassadenintegriert, Flachdach) – Ausrichtung (Auswahl: Himmelsrichtung in °-Schritten) – Neigung (Auswahl: 0–90° in 1°-Schritten) – Dachfläche (Auswahl: 0–250 m² in 1m²-Schritten) – Leistung pro Modul (Auswahl: Monokristallin (155 Wp/m²), Polykristallin (150 Wp/m²) oder Dünnschichtmodul (125 Wp/m²); oder alternativ exakten Wert eingeben; dann Modulgröße (Auswahl: 0 – 3 m²) und Leistung pro Modul (Auswahl: 100 – 400 Wp)) – Inbetriebnahme (Jan 2016 bis Dez. 2018) – Erwartete jährliche Ertragsminderung durch Alterung der Solarzellen (0–2 Prozent in 0,1-Prozent-Schritten) • Nutzungsdaten <ul style="list-style-type: none"> – Auswahl, ob der erzeugte Solarstrom möglichst selbst genutzt werden soll (ja/nein) – Privathaushalt (ja/nein) – Jahresstromverbrauch (freie Wahl in 1-kWh-Schritten; oder durchschnittliche Stromverbräuche in Abhängigkeit von der Personenzahl: <ul style="list-style-type: none"> • 1 Person: 2000 kWh/Jahr • 2 Personen: 3500 kWh/Jahr • 3 Personen: 4250 kWh/Jahr • 4 Personen: 5000 kWh/Jahr – Strompreis netto (15 – 35 Cent/kWh in 1-Cent/kWh-Schritten) – Strompreis-Entwicklung (0 bis 10 Prozent in Ein-Prozent-Schritten); Information: n den letzten 10 Jahren betrug die durchschnittliche jährliche Strompreissteigerung etwa 4 Prozent – PV-Anlagenleistung (Auswahl: 0 bis knapp 40 kWp in 0,5-kWp-Schritten); Bandbreite abhängig von 	<ul style="list-style-type: none"> • Maximale Leistung der PV-Anlage (kWp) • Voraussichtlicher Ertrag; spezifisch (kWh/kWp) und jährlich (kWh/Jahr) • EEG-Vergütungssatz (Cent/kWh) • Einspeisevergütung (Euro) • Eigenverbrauchsanteil • Jährliche Stromkostensparnis (Euro/Jahr) • Information über Höhe der Zuschüsse <ul style="list-style-type: none"> – durch das Förderprogramm progres.nrw Markteinführung des Landes NRW und – Tilgungszuschuss der KfW bei Inanspruchnahme eines KfW-Darlehens • Ergebnis: <ul style="list-style-type: none"> – Diagramm der Wirtschaftlichkeit bei 25 Jahren Betrieb – Tabelle mit Informationen für jedes Jahr (Eigenkapital, Betriebskosten, Kosten für Zins und Tilgung, jährliche Auszahlung, vermiedene Stromkosten, Erlöse durch Einspeisung, jährliche Erlöse, Summe für das jeweilige Jahr und kumulierte Werte)

Einzugebende Parameter

Ausgabeparameter

den im ersten Schritt eingegebenen Anlagendaten

- Nutzbare Speicherkapazität (0 – 250 kWh in 0,5-kWh-Schritten); Bandbreite abhängig von den im ersten Schritt eingegebenen Anlagendaten
- Investitionskosten
 - Kosten PV-Anlage pro kWp (1200 – 2000 Euro/kWp in 50-Euro/kWp-Schritten)
 - Betriebskosten PV-Anlage (0 – 5 Prozent in 0,1-Prozent-Schritten); Information: dazu gehören u.a. Versicherung, Wartung, Stromzähler und Rücklagen für Reparaturen
 - Durchschnittliche jährliche Betriebskostensteigerung (0 – 5 Prozent in 0,5-Prozent-Schritten)
 - Mögliche individuelle Zuschüsse (Euro); je nach Anlagendaten Information / Auswahlmöglichkeit, ob Zuschüsse der Programme progres.nrw sowie KfW in Anspruch genommen werden sollen
 - Preis des Speichersystems (Auswahl: 1.000 – 60.000 € in 100-€-Schritten)
 - Ladezyklen des Speichersystems (Auswahl: 1.000 – 20.000 in 100er-Schritten)
 - Betriebsjahr des Austausches des Speichersystems (Auswahl: 0 – 20 Jahre in 1-Jahres-Schritten). Information: zur Abschätzung, in welchem Betriebsjahr mit einem Austausch zu rechnen ist, kann man als Faustformel die angegebenen Ladezyklen durch 250 teilen.
 - Kosten für Speicheraustausch (Auswahl: 1.000 – 60.000 in 1-Euro-Schritten)
- Finanzierung (ja/nein)
 - Art (Auswahl: Annuitätendarlehen, Tilgungsdarlehen)
 - Kredithöhe (0 – ... Euro in 1-Euro-Schritten, Bandbreite in Abhängigkeit von den zuvor eingegebenen Daten)
 - Nominalzins (Auswahl: 2 – 10 Prozent in 0,1-Prozent-Schritten)
 - Laufzeit (Auswahl: 1 – 25 Jahre in 1-Jahres-Schritten)
 - tilgungsfreie Zeit (Auswahl: keine, ein Jahr, zwei Jahre, drei Jahre)

<https://www.test.de/Photovoltaik-Rechner-1391893-0/>

Der Finanz-test-Rechner ermittelt Kosten, Erträge und Rendite der Photovoltaik-Anlage. Mit diesem Excel-Rechner kann man den Investitionsplan für eine Photovoltaikanlage aufstellen und die Rendite berechnen. Der Investitionsplan zeigt die prognostizierten Einnahmen und Ausgaben inklusive der steuerlichen Wirkungen für eine Betriebsdauer von 20 Jahren (plus Jahr der Inbetriebnahme). Anteilige Kosten für einen Stromspeicher können separat berücksichtigt werden.

Einzugebende Parameter	Ausgabeparameter
<ul style="list-style-type: none"> • Photovoltaikanlage <ul style="list-style-type: none"> – Anschaffungskosten ohne MwSt. (Euro) – Davon anteilige Kosten für Stromspeicher (Euro) – Spitzenleistung (kWp) – Jahr der Anschaffung / Inbetriebnahme (Auswahl: Jan 2017 bis Dez 2019) – Jährlicher Stromertrag pro kW Spitzenleistung (kWh/kWp) – Anteil des selbst verbrauchten Stroms (%) – Stromkostensparnis (Euro/kWh) – Geschätzte Strompreiserhöhung (Prozent/Jahr) – Betriebskosten pro Jahr (Auswahl: in Prozent der Anschaffungskosten oder in Euro/Jahr) – Betriebskostensteigerung (Prozent/Jahr) – Minderung des Stromertrags (Prozent/Jahr) • Finanzierung berücksichtigen (ja/nein) • Steuern <ul style="list-style-type: none"> – Abschreibung (linear) – Sonderabschreibung (berücksichtigt im 1. Jahr 20 Prozent der Anschaffungskosten als Sonderabschreibung. Die Sonderabschreibung verringert die Abschreibungen ab dem 6. Jahr) – Steuersatz (%) • Umsatzsteuerpflichtig (ja/nein); falls ja, Umsatzsteuerbefreiung ab dem 7. Jahr (ja/nein) 	<ul style="list-style-type: none"> • Einspeisevergütung (Euro/kWh) • Renditen <ul style="list-style-type: none"> – Objektrendite vor / nach Steuern (%) – Eigenkapitalrendite nach Steuern (mit Finanzierung) (%) • Investitions- und Finanzierungsplan für jedes Jahr (Euro/Jahr) <ul style="list-style-type: none"> – Einspeisevergütung – Ersparte Stromkosten – Gesamtertrag – Betriebskosten – EEG-Umlage – Einkommenssteuer Zahlung bzw. Ersparnis – Umsatzsteuer auf selbstgenutzten Strom – Überschuss / Unterdeckung nach Steuern • Steuerliche Wirkung der Investition für jedes Jahr (Euro/Jahr) <ul style="list-style-type: none"> – Einspeisevergütung – Teilwert Stromentnahme – Betriebskosten – Schuldzinsen (inkl. Disagio) – Abschreibung – Steuerliches Ergebnis (Gewinn bzw. Verlust) – Einkommenssteuer / Umsatzsteuer / Steuer gesamt • Diagramm zur Liquiditätsentwicklung

<https://www.photovoltaikforum.com/static/speicher.php>

Berechnung von Autarkiequote und Einsparungen für die PV-Anlage plus Speicher.

Einzugebende Parameter	Ausgabeparameter
<ul style="list-style-type: none"> • Stromverbrauch (kWh/Jahr) • Alternativ: Haushaltgröße (Anzahl Personen); hier werden durchschnittliche Stromverbräuche in Abhängigkeit von der Personenzahl angegeben: <ul style="list-style-type: none"> – 2 Personen: 3500 kWh/Jahr – 4 Personen: 4500 kWh/Jahr – 6 Personen: 6000 kWh/Jahr • Bruttostrompreis (Cent/kWh) • Annahme zum Strompreisanstieg (% pro Jahr); (eigene Eingabe oder Auswahl: +1%; +3%; +5%) • Verbrauchsprofil (Auswahl: tagsüber zu Hause; tagsüber nicht zu Hause; durchschnittlicher Verbrauch) • Dachausrichtung (Auswahl: Ost, Südost, Süd, Südwest, West oder Ausrichtung in Grad) • Inbetriebnahme der PV-Anlage (Datum) • Geplante Inbetriebnahme Speicher (Datum) • PV-Anlagendaten <ul style="list-style-type: none"> – Anlagengröße (eigene Angabe in kWp) – Systempreis (€/kWp bei Installation) – Anlage bereits auf Eigenstromverbrauch ausgelegt (ja/nein) • Postleitzahl 	<ul style="list-style-type: none"> • Speichergröße der Batterie (kWh) • Autarkiequote ohne und mit Speicher (%) • Ausgaben für den Speicher (Euro) • Entgangene EEG-Vergütung wegen geringer Einspeisung (Euro) • Zusätzliche EEG-Vergütung auf Eigenverbrauch (Euro) • Einsparungen Stromkosten durch zusätzlichen Eigenverbrauch (Euro) • Ergebnis / Ergebnis inflationsbereinigt (Euro) • Einsparungen der PV-Anlage ohne / mit Speicher (Euro) • Einsparungen des Speichersystems (Euro) • Rendite der PV-Anlage ohne / mit Speicher (%) • Rendite des Speichersystems (%) <p>Annahmen: Betrachtungszeitraum zur Wirtschaftlichkeitsberechnung 25 Jahre zzgl. Jahr der Inbetriebnahme ab Installation der PV-Anlage; kalendarische Lebensdauer des Akkus 15 Jahre, Berücksichtigung der anteiligen Austauschkosten; Berücksichtigung des Wertverlustes; Berechnung der Rendite nach der modifizierten internen Zinsfußmethode, d.h. die positiven Zahlungen werden mit 1,5 Prozent wieder angelegt.</p>

<https://pvspeicher.htw-berlin.de/unabhaengigkeitsrechner/>

Mit diesem Unabhängigkeitsrechner kann man Autarkiegrad und Eigenverbrauchsanteil je nach Größe des PV-Speichersystems abschätzen.

Einzugebende Parameter	Ausgabeparameter
<ul style="list-style-type: none"> • Jahresstromverbrauch (2.000 – 10.000 kWh in 100 kWh Schritten); Anmerkung: Der durchschnittliche Stromverbrauch von Einfamilienhaushalten liegt bei rund 4000 kWh pro Jahr; je geringer der Stromverbrauch ist, desto höher ist der erreichbare Autarkiegrad • Photovoltaikleistung (0,1 – 10 kWp in 0,1-kWp-Schritten); Anmerkung: Nennleistung der PV-Module; pro 1 kWp PV-Leistung wird eine Dachfläche von etwa 5-10 m² benötigt • Nutzbare Speicherkapazität (0 – 10 kWh in 0,1-kWh-Schritten); Anmerkung: kann geringer sein als die Nennkapazität 	<ul style="list-style-type: none"> • Eigenverbrauchsanteil (%) • Autarkiegrad (%) <p>Jeweils mit Darstellung der Anteile an Direktverbrauch, Direkteinspeisung, Ein- und Auspeicherung, Strombezug aus dem Netz.</p> <p>Information: Der Eigenverbrauchsanteil beschreibt den Anteil des erzeugten Solarstroms, der entweder zeitgleich durch die Stromverbraucher oder zur Ladung des Batteriespeichers genutzt wird. Je höher der Eigenverbrauchsanteil ist, desto weniger Solarstrom wird in das Netz eingespeist.</p> <p>Der Autarkiegrad gibt den Anteil des Stromverbrauchs an, der durch das Photovoltaik-System versorgt wird. Hierzu trägt entweder der zeitgleiche Direktverbrauch des erzeugten Solarstroms oder die Entladung des Batteriespeichers bei. Je höher der Autarkiegrad, desto weniger Energie wird aus dem Stromnetz bezogen</p>

<http://photovoltaik-shop.de>

Einzugebende Parameter

- Stromverbrauch (kWh/Jahr)
- Alternativ: Haushaltsgröße (Anzahl Personen); hier werden durchschnittliche Stromverbräuche in Abhängigkeit von der Personenzahl angegeben:
 - 1 Person: 2000 kWh/Jahr
 - 2 Personen: 3000 kWh/Jahr
 - 3 Personen: 4000 kWh/Jahr
 - 4 Personen: 5000 kWh/Jahr
 - 5 Personen: 6000 kWh/Jahr

Ausgabeparameter

Ausgabe jeweils für PV-Anlage mit und ohne Batteriespeicher im Vergleich

- PV-Anlagengröße (kWp)
- Speichergröße der Batterie (kWh)
- Energie-Ertrag (kWh)
- Unabhängigkeit (%)
- Eigenverbrauch pro Jahr (kWh)
- Ersparnis pro Jahr (€)
- Einspeisung (kWh)
- Vergütung pro Jahr (€)
- Netzbezug (€)
- Gewinn pro Jahr (€)
- Gewinn nach 25 Jahren (€)
- Stromkosten über die nächsten 25 Jahre (€)

http://pvaustria.at/sonnenklar_rechner/

Photovoltaik-Eigenverbrauchsrechner, mit dem die individuelle und optimal ausgelegte Anlagenlösung berechnet werden kann. Die Größe der Photovoltaikanlage sollte möglichst gut zum Jahresstromverbrauch und dem durchschnittlichen Nutzungsverhalten (Lastprofil) passen. Geltungsbereich: Wien und Umgebung

Einzugebende Parameter	Ausgabeparameter
<ul style="list-style-type: none"> • Stromverbrauch (kWh/Jahr): 0 – 10.000 kWh in 50-kWh-Schritten • Alternativ: Haushaltsgröße (Anzahl Personen); hier werden durchschnittliche Stromverbräuche in Abhängigkeit von der Personenzahl angegeben: <ul style="list-style-type: none"> – 1 Person: 2000 kWh/Jahr – 2 Personen: 3100 kWh/Jahr – 3 Personen: 4200 kWh/Jahr – 4 Personen: 4700 kWh/Jahr – 5 Personen: 5200 kWh/Jahr – 6 Personen: 5400 kWh/Jahr • Verbrauchsprofil: Personen typischerweise unter der Woche tagsüber zuhause? (Auswahl: keiner, weniger als die Hälfte, etwa die Hälfte, mehr als die Hälfte, alle) • PV-Neigung (Auswahl: 0 – 70° in 10°-Schritten) • PV-Ausrichtung (Auswahl: Ost, Ostsüdost, Südost, Südsüdost, Süd, Südsüdwest, Südwest Westsüdwest, West, Ost-West) • Installierte PV-Leistung (Auswahl 0 – 10 kWp in 0,25-kWp-Schritten) • Elektrisches Lastmanagement vorhanden / nicht vorhanden • Nutzbare Akkukapazität (Auswahl 0 – 10 kWh in 0,5-kWh-Schritten) • Elektrische Warmwasserbereitung (Auswahl 0 – 5 kW in 0,25-kW-Schritten) • Wärmepumpe: Infotext u.a. mit dem Hinweis, dass aufgrund der sehr unterschiedlichen Wärmepumpentechnologien und Regelungsmechanismen keine pauschale Berechnung des Einflusses 	<ul style="list-style-type: none"> • In Zahlen und als Balkendiagramm: Erwarteter PV-Ertrag (kWh/Jahr), davon <ul style="list-style-type: none"> – Eigenverbrauch direkt – Eigenverbrauch mittels Akku – Eigenverbrauch Warmwasserbereitung – Einspeisung ins Stromnetz • Als Tortendiagramm: Prozentuale Verteilung der Eigenverbrauchsanteile und Einspeisung ins Stromnetz • Strombezug aus dem Netz (kWh/Jahr) • Warmwasser-Anteil durch PV (%) • CO₂-Einsparung (t) • Geschätzter Flächenbedarf (Bsp.: bei einer 10 kWp-PV-Anlage): <ul style="list-style-type: none"> – für polykristalline Module 65,5 m² – für monokristalline Module 60,8 m² – für Dünnschichtmodule (CIGS) 78,0 m² – für Hochleistungsmodule 53,7 m² • Bewertung der Eigenverbrauchsquote in 4 Stufen: <ul style="list-style-type: none"> – <30 Prozent („sehr gering“) – 30-55 Prozent („ganz gut, aber noch optimierbar“) – 56-80 Prozent („sehr guter Eigenverbrauch“) – >80 Prozent („sehr hoch“) • Bewertung der Auslegung mit verschiedenen Antwortoptionen: <ul style="list-style-type: none"> – Ihre PV-Anlage ist im Vergleich zum aktuellen Stromverbrauch zu groß geplant. Der Eigenverbrauch Ihres PV-Stromes ist sehr gering. Reduzieren Sie entweder

Einzugebende Parameter

- auf den Eigenverbrauch durchgeführt werden kann.
- Elektroauto: Infotext u.a. mit dem Hinweis, dass Pauschalangaben über die Erhöhung der Eigenverbrauchsquote bei Nutzung eines Elektrofahrzeugs nicht so einfach gemacht werden können, da das Ladeverhalten des E-Autos einen großen Einfluss auf den Eigenverbrauch hat

Ausgabeparameter

- die PV-Leistung oder nutzen Sie weitere Möglichkeiten zur Erhöhung des Eigenverbrauchs.
- Ihre PV-Anlage ist im Vergleich zum Stromverbrauch relativ groß geplant. Der Eigenverbrauch Ihres PV-Stromes ist daher gering. Reduzieren Sie entweder die PV-Leistung oder nutzen Sie weitere Möglichkeiten zur Erhöhung des Eigenverbrauchs.
 - Ihre Anlagenplanung ermöglicht einen hohen Eigenverbrauch des PV-Stromes. Die Anlage ist aber im Vergleich zum Stromverbrauch relativ klein. Möglicherweise haben Sie Ihre PV-Anlagen zu klein geplant.
 - Sie haben Ihre PV-Anlage sehr ausgewogen und passend zum Verbrauchsprofil ausgelegt. Allerdings ist die gewählte Kapazität des Stromspeichers sehr hoch gewählt, was mitunter zu unnötig hohen Kosten führt.
 - Sie haben Ihre PV-Anlage sehr ausgewogen und passend zum Verbrauchsprofil ausgelegt.

<https://memodo.de/speicher-rechner>

Einzugebende Parameter	Ausgabeparameter
<ul style="list-style-type: none"> • Verbrauch: <ul style="list-style-type: none"> – Stromverbrauch (kWh/Jahr) – Haushaltgröße – Energienutzung (Auswahl: meist tagsüber; 50:50; berufstätig, d.h. nur früh und abends) • PV-Anlage und Autarkie <ul style="list-style-type: none"> – PV-Anlagengröße (kWp) – PV-Sonneneinstrahlung (Auswahl: sehr niedrige, 750 kWp / niedrige, 850 kWp / mittlere, 950 kWp / hohe, 1050 kWp / sehr hohe, 1150 kWp) – Gewünschter Autarkiegrad mit Speicher (Auswahl 50-70 Prozent in 5-Prozent-Schritten) 	<ul style="list-style-type: none"> • Empfohlene Speichergröße (kWh) • Selbst verbrauchter Solarstrom (kWh) • Stromkosten-Ersparnis pro Jahr (€)

<https://www.e3dc.com/konfigurator/>

Bestimmung der passenden Kapazität der Batterie sowie Ermittlung der Erträge und Wirtschaftlichkeit.

Einzugebende Parameter

- Jahresverbrauch (Auswahl: 1.000 – 15.000 kWh in 100-kWh-Schritten)
- Lastprofil (Auswahl: Standard Lastprofil der Energieversorgungsunternehmen; Familie/berufstätig/Kleinkind; Single/berufstätig/Wohnung; Senioren/Rentner)
- Optional Wärmepumpe
 - Personenanzahl im Haus (1 – 9)
 - Heizenergie nach KfW Norm (Auswahl: 40, 55, 70, 85)
 - Nutzfläche des Hauses (90 – 350 m² in 1-m²-Schritten)
 - Bei Bestandsanlagen mit bekannter Jahresheizenergie (Auswahl 0 – 20000 kWh/Jahr); sonst automatische wird Wert geschätzt
- Stromkosten (Cent/kWh); (Auswahl: 10 – 40 ct. in 0,1-ct.-Schritten)
- Erwartete Stromkostensteigerung der nächsten 20 Jahre (Prozent/Jahr); (Auswahl: 0 – 10 Prozent in 0,1-Prozent-Schritten)
- EEG-Vergütung (Auswahl: 1 – 50 Cent in 0,1-ct.-Schritten)
- Standort (Auswahl: Ortsangabe in GoogleMaps-Fenster, Stadt reicht als Angabe)
- Dachausrichtung (Auswahl: Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd, Südwest, West, Nordwest)
- Dachneigung (Auswahl: 5 – 90° in 5-°-Schritten)
- Gewünschte PV-Anlagenleistung (Auswahl: 1 – 20 kWp in 0,1-kWp-Schritten); kann optional als Bestandsanlage angegeben werden. Optional kann 2. bzw. 3. Dachfläche hinzugefügt werden. Angezeigt wird, welcher Dachfläche (m²) die gewünschte PV-Anlagenleistung ungefähr entspricht.

Ausgabeparameter

- Vorschlag für Batterieauslegung (kWh); dieser kann durch Auswahl verschiedener Speichersysteme des Anbieters „überschrieben“ werden
- Autarkiegrad (%)
- Eigenstromverbrauch (%)
- Jahresertrag (kWh)
- Einspeisung (kWh)
- Netzbezug (kWh)
- Hausverbrauch (kWh)
- Einsparungen in 20 Jahren (Euro)
- Durchschnittliche Einsparung pro Jahr (Euro/Jahr)
- Einnahmen in 20 Jahren (Euro)
- Durchschnittliche Einnahmen pro Jahr (Euro/Jahr)
- Diagramme:
 - Hausverbrauch, Solarproduktion und Autarkie
 - Eigenstrom, Netzbezug, Solar-Einspeisung und Solar-Eigenverbrauch

<https://www.hycube.com/service/stromrechner>

Einzugebende Parameter	Ausgabeparameter
<ul style="list-style-type: none"> • Stromverbrauch (kWh/Jahr) • Alternativ: Haushaltgröße (Anzahl Personen); hier werden durchschnittliche Stromverbräuche in Abhängigkeit von der Personenzahl angegeben: <ul style="list-style-type: none"> – 1 Person: 1700 kWh/Jahr – 2 Personen: 3000 kWh/Jahr – 3 Personen: 3500 kWh/Jahr – 4 Personen: 4200 kWh/Jahr – 5 Personen: 4700 kWh/Jahr • Stromkosten (ct/kWh) • PV-Anlagengröße (kWp) • Kostensteigerungen null oder 3 Prozent 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimale Speichergröße (kWh); allerdings nur in Abhängigkeit vom Jahresstromverbrauch: <ul style="list-style-type: none"> – Bis 2999 kWh/Jahr => 4,8 kWh Speichergröße – 3000-3999 kWh/Jahr => 7,2 kWh Speichergröße – 4000-4999 kWh/Jahr => 9,6 kWh Speichergröße – 5000-5499 kWh/Jahr => 12 kWh Speichergröße – Ab 5500 kWh/Jahr => 14,4 kWh Speichergröße • Stromkosten (pro Monat und pro Jahr) ohne PV/Speicher im Vergleich zu Stromkosten mit PV/Speicher • Gesamtersparnis über 25 Jahre ohne EEG Einspeisevergütung des Überschussstroms • Eigenverbrauchsquote (%) • Autarkiegrad (%)

<http://www.stadtwerke-bielefeld.de/privatkunden/dienstleistungen/fuer-hausbesitzer/bisolar/rechner.html>

Einzugebende Parameter	Ausgabeparameter
<ul style="list-style-type: none"> • Auswahl Privat oder Gewerbe • Privat: Verbrauchen sie regelmäßig mittags Strom (Auswahl: Ja, unterschiedlich, nur am Wochenende, Nein) • Gewerbe: Lastprofil (Auswahl: Gewerbe allgemein; werktags 8-18h; durchgehend; Laden/Frisör; Bäckerei) • Jahresstromverbrauch (kWh) • Privat: Bruttostrompreis; Gewerbe: Nettostrompreis (ct/kWh) • Postleitzahl • Doppelbelegung bei Ost-West-Ausrichtung (ja/nein) • Dachausrichtung (5-°-Schritte von Ost (90°) bis West (-90°)) • Dachneigung (0 – 45° in 5-°-Schritten) 	<ul style="list-style-type: none"> • PV-Anlagengröße (kWp) • Solarstromverbrauch (kWh/Jahr) • Autarkiegrad (%) • Pauschale Annahme, unabhängig von den anderen Parametern: Stromspeicher mit 2 kWh • Monatliche Gebühr für Pacht PV-Anlage und Dienstleistungspauschale (€/Monat) • Ersparnis über die Anlagenlebensdauer 25 Jahre (€) • Vermiedene CO₂-Emissionen (Prozent und Tonnen). Angenommen: Substitution des Strommixes (576 g CO₂/kWh) in Höhe der über die Anlagenlebensdauer produzierten Solarstrommenge (100 g CO₂/kWh, d.h. 476 g CO₂/kWh werden vermieden)

<https://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/solarspeicher-rechner>

Berechnung der Ersparnisse durch Eigenverbrauch: Der Solarspeicher-Rechner ermittelt die passende Größe des Solarspeichers und zeigt die notwendigen Investitionskosten auf sowie die erwartbare staatliche KfW-Förderung. Der Rechner ermittelt die Menge des eingespeisten Stroms und die entsprechenden Einnahmen für die nächsten 20 Jahre durch die Einspeisevergütung.

Einzugebende Parameter	Ausgabeparameter
<ul style="list-style-type: none"> • Standort der PV-Anlage (Postleitzahl) • Dachfläche (m²) • Dachneigung des Hauses (Grad); Auswahl: Flachdach, ca. 15°, ca. 30°, ca. 45°, ca. 60°; andere Neigung) • Ausrichtung des Hausdaches (Auswahl Ost, Süd/Ost, Süd, Süd/West, West) • Anzahl Bewohner im Haus (Auswahl 1-2; 3-4; 5-6; mehr als 6; Stromverbrauch eingeben) • Installationszeitpunkt (Auswahl: Umgehend; in den nächsten 3 Monaten; in mehr als 3 Monaten) 	<ul style="list-style-type: none"> • Auswahl: Solaranlage ohne Batterie oder Solaranlage mit Batterie • Eigenverbrauchsquote (%) • Unabhängigkeit durch Solarstrom (%) • Gesparte Stromkosten, d.h. Gesamtersparnis nach 20 Jahren (Euro) • Staatliche Einspeisevergütung (Cent/kWh) und Gesamtvergütung nach 20 Jahren (Euro) • Einmalige Investitionskosten inkl. Investition und Inbetriebnahme (Euro) • Laufende Kosten, d.h. Gesamtkosten nach 20 Jahren inkl. Betriebs- und Finanzierungskosten inkl. Steuern und Abgaben (Euro) • Gesamtersparnisse nach 20 Jahren (Euro)

<https://realdaten.sonnenbatterie.de/>

Mit diesem so genannten Standort-Check werden anhand der Postleitzahl installierte sonnenBatterien im eigenen Umkreis ermittelt. Man erhält Infos zur durchschnittlichen genutzten Größe der PV-Anlage und der sonnenBatterie sowie den damit verbundenen Einsparungen.

Einzugebende Parameter	Ausgabeparameter
<ul style="list-style-type: none"> • Postleitzahl • Dachfläche in m² oder Auswahl über 3 Piktogramme (25 m², 50 m², 75 m²) • Stromverbrauch (kWh/Jahr) • Alternativ: Haushaltsgröße (Anzahl Personen); hier werden durchschnittliche Stromverbräuche in Abhängigkeit von der Personenzahl angegeben: <ul style="list-style-type: none"> – 1 Person: 2000 kWh/Jahr – 2 Personen: 3500 kWh/Jahr – 3 Personen: 4275 kWh/Jahr – 4 Personen: 5000 kWh/Jahr 	<ul style="list-style-type: none"> • PV-Anlagengröße (kWp) • Speichergröße der Batterie (kWh) • Autarkiegrad (%) • Ersparnis (Euro) mit der Information: Es handelt sich hierbei um Durchschnittswerte von bestehenden sonnenBatterie Kunden über 20 Jahre. Bei der Strompreissteigerung wurde ein Wert von 3 Prozent p.a. verwendet. • Landkarte mit Anzeige der Standorte im Umkreis der eingegebenen Postleitzahl von sonnenBatterie-Besitzern allgemein, von sonnenBatterie-Besitzern mit ähnlicher Dachfläche • Anzahl von Haushalten mit gleicher Konfiguration

<https://stromrechner.ibc-solar.de/>

Der Rechner errechnet die Stromkostensparnis durch Eigenverbrauch mit und ohne Speicher.

Einzugebende Parameter	Ausgabeparameter
<ul style="list-style-type: none"> • Eingabe der Adresse (Straße, Ort); genaue Standortbestimmung des Hauses über GoogleMaps Tool • Dachfläche bestimmen durch Klicken auf die Eckpunkte der Dachfläche im Satellitenbild von GoogleMaps oder selber eingeben (Länge, Breite, Ausrichtung, Neigung) • Dachneigung (Auswahl: 0 – 45 Prozent in 5-Prozent-Schritten) • Anzahl der PV-Module durch Klicken auf verfügbarer Dachfläche veränderbar • Anordnung von PV-Modulen (vertikal / quer) • Jahresstromverbrauch (0 – 100.000 kWh in 50-kWh-Schritten) • Aktueller Strompreis (0 – 50 ct/kWh in 0,1-ct/kWh-Schritten) • Jährliche Strompreiserhöhung (0 – 10 Prozent in 0,01-Prozent-Schritten) 	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl der PV-Module mit PV-Anlagengröße (kWp) • Solarertrag pro Jahr (kWh) • Diagramm: Prognostizierte Stromkostenentwicklung (Stromkosten pro Jahr) • Auswertung ohne / mit Solarstromspeicher; entweder pro Jahr, oder nach 20 Jahren <ul style="list-style-type: none"> – Unabhängigkeitsgrad (%) – Stromkostensparnis (Euro/Jahr) – Einnahmen durch Einspeisung (Euro/Jahr) – Gesamtersparnis (Euro/Jahr)

<http://staging.pv-rechner.net/>

Berechnung der Rendite der Solaranlage

Einzugebende Parameter

- Standort der geplanten Solaranlage (Postleitzahl)
- Hauseigentümer (ja/nein)
- Jahresstromverbrauch (kWh/Jahr); alternativ: Haushaltsgröße (Anzahl Personen); hier werden durchschnittliche Stromverbräuche in Abhängigkeit von der Personenzahl angegeben:
 - 1 Person: 2950 kWh/Jahr
 - 2 Personen: 3150 kWh/Jahr
 - 3 Personen: 3750 kWh/Jahr
 - 4 Personen: 4250 kWh/Jahr
 - 5 Personen: 5250 kWh/Jahr
 - 6 Personen: 6000 kWh/Jahr
- Bruttostrompreis (Cent/kWh)
- Angaben bei geplanter PV-Anlage:
 - Dachausrichtung (in 10-°-Schritten)
 - Dachneigung (Auswahl: 0 – 50° in 10-°-Schritten)
 - Dachfläche (Länge und Breite in m)
- Angaben bei PV-Bestandsanlage:
 - Leistung in kWp
 - Anschlussjahr
 - Durchschnittlicher Ertrag pro Jahr (kWh/kWp)
 - Eigenverbrauchsquote (%)

Ausgabeparameter

- Eigenverbrauchsquote (%)
- Unabhängigkeitsgrad (%)
- Größe der Solaranlage (kWp)
- Größe des Speichers (kWh)
- Kein Speicher / Kauf des Speichers
- Als Balkendiagramm: Bilanz nach 25 Jahren bei Kauf bzw. Pacht der Solaranlage
 - Einnahmen durch Stromeinspeisung
 - Ersparnis durch Nutzung des Eigenstroms
 - Investitionskosten der Solar-Anlage (netto)
 - Kosten für Betrieb und Instandhaltung

<http://die-sonne-speichern.de/speicherrechner/>

Berechnung der passenden Speichergröße in Abhängigkeit vom Jahresstromverbrauch, der Gesamtleistung der PV-Anlage und dem gewünschten Autarkiegrad.

Einzugebende Parameter	Ausgabeparameter
Jahresstromverbrauch (2.000 – 6.000 kWh) Gesamtleistung der PV-Anlage (3 – 9 kWp in 100-Wp-Schritten) Autarkiegrad (%); zur Verfügung stehende Bandbreite in Abhängigkeit von den zuvor eingegebenen Parametern	<ul style="list-style-type: none"> • Passende Speichergröße (nutzbare Kapazität) in kWh

<https://www.varta-storage.com/anlage-berechnen-berechnungstool/>

Das Berechnungstool schlägt auf Basis der Angaben einen passenden Energiespeicher vor. Das Tool kann sowohl zur Berechnung von neuen als auch von bereits bestehenden Anlagen genutzt werden. Gleichzeitig wird ermittelt, mit welchem Einsparpotenzial und welcher Autarkie- und Eigenverbrauchsquote man rechnen kann.

Einzugebende Parameter	Ausgabeparameter
<ul style="list-style-type: none"> • Adresse (Straße, Ort) • Größe der PV-Anlage (kWp) • Installationsart (Auswahl: Neuinstallation der Anlage zusammen mit einem Speicher bzw. Nachrüstung einer bestehenden Anlage mit einem Speicher) • Installationskosten PV-Anlage (Euro/kWp) • Dachausrichtung (Auswahl: Süd, Süd-Ost, Ost, Nord-Ost, Nord, Nord-West, West, Süd-West, Ost-West) • Dachneigung (%) • Erwarteter Jahresertrag der PV-Anlage, oder Übernahme des vorgeschlagenen Wertes • Lastprofil (Auswahl: Privathaushalt; Privathaushalt mit Wärmepumpe; Gewerbe; Landwirtschaft) • Jahresstromverbrauch (kWh) • Bei Wärmepumpe: Stromverbrauch (kWh/Jahr); alternativ: thermische Leistung (kW) und Heizstunden (h/Jahr) 	<p>Simulation kann nur nach Angabe persönlicher Daten gestartet werden</p>

9.2. Im Wirtschaftlichkeitsrechner hinterlegte Sätze für EEG-Einspeisevergütung

Tabelle 9-1: EEG-Einspeisevergütungen in Abhängigkeit vom Inbetriebnahmezeitpunkt der PV-Anlage

Inbetriebnahmezeitpunkt	Mindest-Solarstromvergütung (Ct/kWh)	Erneuerbare-Energien-Gesetz Stand
Bis 2000	50,62	EEG 2000
2001	50,62	EEG 2000
2002	48,10	EEG 2000
2003	45,70	EEG 2000
2004	57,40	EEG 2004
2005	54,53	EEG 2004
2006	51,80	EEG 2004
2007	49,21	EEG 2004
2008	46,75	EEG 2004
2009	43,01	EEG 2009
2010 (1.1.-30.6.)	39,14	EEG 2009
2010 (1.7.-30.9.)	34,05	EEG-Novelle 2010
2010 (1.10.-31.12.)	33,03	EEG-Novelle 2010
2011	28,74	EEG-Novelle 2010
2012 (1.1.-31.3.)	24,43	EEG 2012 (PV-Novelle)
2012 (April)	19,50	EEG 2012 (PV-Novelle)
2012 (Mai)	19,31	EEG 2012 (PV-Novelle)
2012 (Juni)	19,11	EEG 2012 (PV-Novelle)
2012 (Juli)	18,92	EEG 2012 (PV-Novelle)
2012 (August)	18,73	EEG 2012 (PV-Novelle)
2012 (September)	18,54	EEG 2012 (PV-Novelle)
2012 (Oktober)	18,36	EEG 2012 (PV-Novelle)
2012 (November)	17,90	EEG 2012 (PV-Novelle)
2012 (Dezember)	17,45	EEG 2012 (PV-Novelle)
2013 (Januar)	17,02	EEG 2012 (PV-Novelle)
2013 (Februar)	16,64	EEG 2012 (PV-Novelle)
2013 (März)	16,28	EEG 2012 (PV-Novelle)
2013 (April)	15,92	EEG 2012 (PV-Novelle)
2013 (Mai)	15,63	EEG 2012 (PV-Novelle)
2013 (Juni)	15,35	EEG 2012 (PV-Novelle)

Inbetriebnahmezeitpunkt	Mindest-Solarstromvergütung (Ct/kWh)	Erneuerbare-Energien-Gesetz Stand
2013 (Juli)	15,07	EEG 2012 (PV-Novelle)
2013 (August)	14,80	EEG 2012 (PV-Novelle)
2013 (September)	14,54	EEG 2012 (PV-Novelle)
2013 (Oktober)	14,27	EEG 2012 (PV-Novelle)
2013 (November)	14,07	EEG 2012 (PV-Novelle)
2013 (Dezember)	13,88	EEG 2012 (PV-Novelle)
2014 (Januar)	13,68	EEG 2012 (PV-Novelle)
2014 (Februar)	13,55	EEG 2012 (PV-Novelle)
2014 (März)	13,41	EEG 2012 (PV-Novelle)
2014 (April)	13,28	EEG 2012 (PV-Novelle)
2014 (Mai)	13,14	EEG 2012 (PV-Novelle)
2014 (Juni)	13,01	EEG 2012 (PV-Novelle)
2014 (Juli)	12,88	EEG 2012 (PV-Novelle)
2014 (August)	12,75	EEG 2014
2014 (September)	12,69	EEG 2014
2014 (Oktober)	12,65	EEG 2014
2014 (November)	12,62	EEG 2014
2014 (Dezember)	12,59	EEG 2014
2015 (Januar)	12,56	EEG 2014
2015 (Februar)	12,53	EEG 2014
2015 (März)	12,50	EEG 2014
2015 (April)	12,47	EEG 2014
2015 (Mai)	12,43	EEG 2014
2015 (Juni)	12,40	EEG 2014
2015 (Juli)	12,37	EEG 2014
2015 (August)	12,34	EEG 2014
2015 (1.9.-31.12.)	12,31	EEG 2014
2016	12,31	EEG 2014
2017 (1.1.-30.4.)	12,30	EEG 2017
2017 (1.5.-31.5.)	12,27	EEG 2017
2017 (1.6.-30.6.)	12,24	EEG 2017
2017 (1.7.-31.12.)	12,20	EEG 2017
2018 (1.1.-31.1.)	12,20	EEG 2017

Quelle: (Solarenergie Förderverein Deutschland e.V. 2017)

9.3. E-Mail-Aufruf zur Gewinnung von Testhaushalten für das Beratungstool

Sie planen oder sind bereits im Besitz einer Solaranlage und planen zusätzlich die Anschaffung eines Batteriespeichers, um Ihren Eigenstromverbrauch zu erhöhen?

Testhaushalte gesucht:

Wirtschaftlichkeitsrechnung Batteriespeicher in Kombination mit Stromsparen

In einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekt entwickelt das Öko-Institut derzeit zusammen mit dem Büro Ö-quadrat einen Wirtschaftlichkeitsrechner für Photovoltaikanlagen in Kombination mit einem Batteriespeicher

(weitere Informationen: <http://transformation-des-energiesystems.de/projekt/batteriespeicher>).

Während vorhandene Rechner auf Basis des üblichen Jahresstromverbrauchs oft eine maximal mögliche Dimensionierung der Batteriespeicher vorschlagen, zeigen überschlägige Rechnungen über einen Zeitraum von 20 Jahren ein sehr großes finanzielles Einsparpotenzial durch Stromsparen. Dieses Einsparpotenzial erhöht sich weiter, wenn dadurch von vornherein kleinere Anlagen, also auch geringere Investitionskosten, erforderlich sind. Der Rechner des Öko-Instituts bezieht erstmalig die Potenziale des Stromsparens in die Gesamtwirtschaftlichkeitsrechnung für Photovoltaikspeicher mit ein.

Wir möchten die Anwendung des Rechners in der Praxis testen um ihn bei Bedarf weiter zu optimieren. Dafür suchen wir Haushalte, die im Zeitraum Ende November bis Anfang Dezember 2017 Interesse an einer Vor-Ort-Beratung durch das Öko-Institut haben.

Bitte melden Sie sich bei Interesse hier an => <http://secure.oeko.de/Testhaushalte/anmeldung.php>

9.4. Protokolle der in fünf Testhaushalten durchgeführten Beratungen

Ergebnisprotokoll: Test Wirtschaftlichkeitsrechner für PV-Batteriespeicher + Stromsparberatung im Testhaushalt 1 (Dez. 2017)

- Um die Wirtschaftlichkeit eines PV-Batteriespeichers auszurechnen, wurden Daten zum Stromverbrauch sowie die aktuelle Wohnsituation des Haushaltes aufgenommen:
 - Testhaushalt 1 wohnt aktuell zu zweit in einem Reihenhaus, welches noch keine PV-Anlage besitzt.
 - Die Warmwassererzeugung erfolgt mit Hilfe einer Gasheizung und Solarkollektoren.
 - Der jährliche Stromverbrauch beträgt etwa 4650 kWh.
 - Laut dem [Stromspiegel 2017](#) liegt Testhaushalt 1 damit in der Effizienzklasse G (Klassen A-G theoretisch möglich).
 - Das Haus besitzt eine Dachfläche (Ost-West-Ausrichtung) mit einer Größe von ca. 65m². Geplant ist eine möglichst große PV-Anlage zu installieren; für die Berechnungen wird eine 10 kWp PV-Anlage berücksichtigt, da für größere Anlagen andere EEG-Förderbedingungen gelten. Auf Grund der Ost-West-Ausrichtung (im Tool derzeit nicht auswählbar) wurde der jährliche Solarertrag in den Berechnungen um 10% reduziert.
 - Die PV Anlage soll voraussichtlich im Januar 2019 installiert werden. Darüber hinaus ist die parallele Anschaffung eines Elektroautos angedacht.
 - Es werden aktuell 29ct / kWh Arbeitspreis (brutto) für den Strom gezahlt, dieser wird in den darauf folgenden Berechnungen berücksichtigt sowie ein erwarteter Anstieg der Stromkosten um jährlich 2 %; die Inflationsrate von 1,2% wurde zwischen den Szenarien nicht verändert.
- Im folgendem Schritt wurden die Stromverbraucher im Haus erfasst und mögliches Einsparpotential identifiziert:
 - Generell wurde beim Kauf neuer Geräte darauf geachtet, die zum jeweiligen Zeitpunkt effizientesten (und langlebigsten) Geräte zu kaufen.
 - In der Küche befindet sich ein Induktionsherd, mit dem durchschnittlich oft gekocht wird. Unter der Spüle befindet sich ein Durchlauferhitzer, der warmes Wasser für die Küche bereitstellt (durch einen Perlator könnte Warmwasser und somit Strom gespart werden). Es gibt zwei Backöfen, von denen nur der modernere und effizientere mit sehr guter Wärmedämmung genutzt wird. Auf Grund der guten Außen- und Innenverkleidung des neuen Backofens stellt es laut Hersteller aus energetischer Sicht kein Problem dar, dass der Kühlschrank direkt neben dem Backofen platziert wurde. Des Weiteren gibt es eine relativ neue Kaffeemaschine ohne Warmhaltefunktion, für die kein Einsparpotential angenommen wird.
 - Der Kühlschrank von Liebherr in der Küche wurde neu gekauft und hat die Effizienzklasse A+++.
 - Im Keller findet sich außerdem ein 10 Jahre alter Gefrierschrank. Ein Austausch des Gefrierschranks würde ein Einsparpotential von ca. 350kWh jährlich bieten (zur genaueren Abschätzung wäre die Messung des Stromverbrauchs über eine Woche notwendig).
 - Weitere Geräte im Haushalt sind eine große Miele-Waschmaschine (10 Jahre alt) und ein großer Miele-Eco-Wärmepumpentrockner (neu gekauft), die beide einem zwei Personen HH entsprechend verwendet werden; für die Waschmaschine wird ein Einsparpotential von 50 kWh angenommen.
 - Die Beleuchtung des Haushaltes ist eine Mischung aus LED-, Energiespar- und Halogenlampen (mit Ausnahme von drei Glühlampen im selten genutzten Dachstuhl):

- Insgesamt gibt es 18 leicht ersetzbare Halogenlampen, deren Austausch unter Berücksichtigung der jeweiligen Brenndauern jährlich ca. 380 kWh einsparen würde. Bei dimmbaren Lampen ist darauf zu achten, dass die entsprechenden LEDs auf der Verpackung als dimmbar gekennzeichnet sind; Achtung: nicht alle LEDs sind mit jedem Dimmer kompatibel, dies sollte geprüft werden
- Es existieren weitere Lampen, deren Austausch mit mehr Aufwand verbunden wäre oder auf Grund der Passform derzeit nicht möglich ist; auf Grund der schnellen Weiterentwicklung der LED-Technik sollte hier regelmäßig geprüft werden, ob passende Alternativen angeboten werden
 - Halogenstifte am Esstisch und im Arbeitszimmer (die entsprechenden LED-Versionen sind i.d.R. länger und passen daher z.T. nicht in die eingebauten Leuchten nicht)
 - Beim Austausch von Halogenlampen, die in einer Leuchte mit Trafo verbaut sind, erreichen die entsprechenden LEDs z.T. nicht die für den Trafo notwendige Mindestlast sodass bei der Umstellung auf LED auch der Trafo ausgetauscht werden müsste
- Die Außenbeleuchtung (in Verbindung mit einem Helligkeitssensor verbaut) ist zwar bereits auf 4W Energiesparlampen umgestellt, auf Grund der langen Brenndauer (14-15 h täglich) bietet die Umstellung auf LED ein weiteres Einsparpotential von ca. 35 kWh im Jahr
- Die Junkers-Pumpe der Heizungsanlage wurde im Jahr 2012 ausgetauscht und ist bedarfsgeregt. Es sollte geprüft werden, ob eine hocheffiziente Heizungspumpe weiteres Einsparpotential bietet.
- Im Haushalt gibt es diverse Informations- und Unterhaltungsgeräte. Für die Geräte im Wohnzimmerbereich (Fernseher, Hifi-Anlage und Receiver) werden Master-Slave-Steckdosen empfohlen. Dadurch können Stand-by Verbräuche von ca. 30 kWh für den Fernseher und 20 kWh für die Hifi-Anlage vermieden werden. Das Einsparpotential des Internetreceivers wird nicht in der Berechnung berücksichtigt, da das erneute Einrichten der Internetverbindung nach vollständigem Ausschalten des Geräts jeweils ein paar Minuten dauert und die Umstellung zunächst nicht geplant wird.
- Der vorhandene Drucker und Scanner schalten sich bei Nicht-Betrieb komplett ab.
- Im Keller ist eine Sauna, die kaum in Betrieb ist. Lediglich zwei Mal im Jahr wird sie für ca 1,5 Stunden eingeschaltet, um die feuchten Wände dahinter zu trocknen. Da die genaue Leistung nicht bekannt ist, und die Sauna ohnehin sehr selten benutzt wird, wird kein Einsparpotential für die Berechnungen berücksichtigt.
- Das Volumen des Batteriespeichers hängt von der jeweiligen Speicherkapazität und der Energiedichte ab. Typische Energiedichten der Zellen liegen bei 200 – 350 Wh/l bzw. 150-200 Wh/kg (Stand 2013). Für 2023 werden 250 – 500 Wh/l erwartet.
- In **Szenario A** wurde die Wirtschaftlichkeit einer 10kWp PV-Anlage mit 10 kWh Batteriespeicher berechnet.
 - Ohne Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 3.456€, die interne Verzinsungsrate beträgt 0,4%.
 - Mit Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 6.235€, die interne Verzinsungsrate beträgt 1,5%.

- In **Szenario B** wurde die Wirtschaftlichkeit einer 10kWp PV-Anlage ohne Batteriespeicher berechnet.
 - Ohne Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 12.246€, die interne Verzinsungsrate beträgt 8,4%.
 - Mit Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 15.853€, die interne Verzinsungsrate beträgt 10,3%.

- **Szenario C** zeigt die Wirtschaftlichkeit einer 10kWp PV-Anlage mit einem 5kWh großen Batteriespeicher.
 - Ohne Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 8.739€, die interne Verzinsungsrate beträgt 3,6%.
 - Mit Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 11.989€, die interne Verzinsungsrate beträgt 5,1%.

- **Szenario D** zeigt die Wirtschaftlichkeit einer 10 kWp PV-Anlage mit einem 3kWh großen Batteriespeicher
 - Ohne Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 9.647€, die interne Verzinsungsrate beträgt 4,6%.
 - Mit Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 13.197€, die interne Verzinsungsrate beträgt 6,3%.

- **Szenario E** zeigt die Wirtschaftlichkeit ohne PV-Anlage und ohne Batteriespeicher.
 - Ohne Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 0€, es ist keine interne Verzinsungsrate vorhanden.
 - Mit Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 4.653€, die interne Verzinsungsrate beträgt 86,2%.



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung
 Prognose des Öko-Instituts verwenden

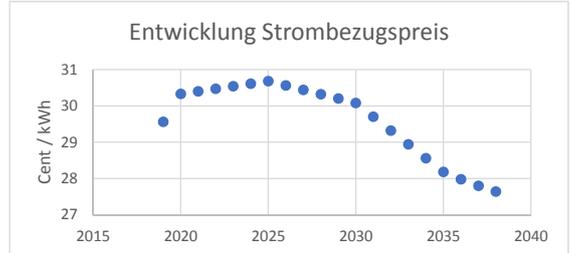
Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

	Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation ohne PV-Anlage								
Strombezugskosten (€)	(für 4650 kWh)	-	1.410 €	1.414 €	1.417 €	-	1.279 €	27.447 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Kosten:								- 27.447 €

Szenario 1 (PV-Investition (10 kWp) und Batteriespeicher (10 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)								
Kosten PV (€)	(für 10,0 kWp)	-	10.830 €	219 €	222 €	224 €	-	15.752 €
Kosten Speicher (€)	(für 10,0 kWh)	-	10.330 €	209 €	212 €	214 €	-	15.024 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 825 kWh)	-	250 €	251 €	252 €	-	227 €	4.872 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 4965 kWh)	-	606 €	606 €	606 €	-	149 €	11.658 €
Summe:								- 23.990 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								3.456 €

Szenario 2 (PV-Investition (10 kWp) und Batteriespeicher (10 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (860 kWh))								
Kosten PV (€)	(für 10,0 kWp)	-	10.830 €	219 €	222 €	224 €	-	15.752 €
Kosten Speicher (€)	(für 10,0 kWh)	-	10.330 €	209 €	212 €	214 €	-	15.024 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 860 kWh)	-	423 €	- €	- €	- €	- €	423 €
Strombezugskosten (€)	(für 511 kWh)	-	155 €	155 €	156 €	-	141 €	3.019 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 5539 kWh)	-	676 €	676 €	676 €	-	166 €	13.006 €
Summe:								- 21.212 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								6.235 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Investition (10 kWp) und Batteriespeicher (10 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	0,4% Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 3456 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 742 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	

Szenario 2 (PV-Investition (10 kWp) und Batteriespeicher (10 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (860 kWh))	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	1,5% Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 6235 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 3159 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

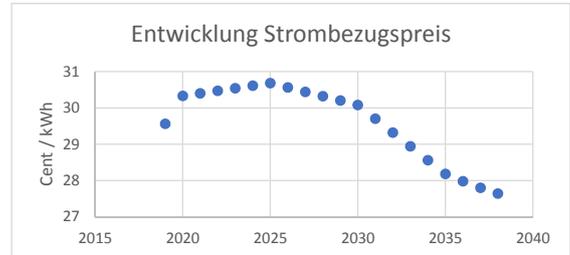
- Prognose des Öko-Instituts verwenden
- Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

	Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation ohne PV-Anlage								
Strombezugskosten (€)	(für 4650 kWh)	-	1.410 €	1.414 €	1.417 €	-	1.279 €	27.447 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Kosten:								- 27.447 €

Szenario 1 (PV-Investition (10 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)								
Kosten PV (€)	(für 10,0 kWp)	-	10.830 €	219 €	222 €	224 €	-	15.752 €
Kosten Speicher (€)	(für 0,0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 2718 kWh)	-	825 €	826 €	828 €	-	748 €	16.046 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 7068 kWh)	-	862 €	862 €	862 €	-	212 €	16.597 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								12.246 €

Szenario 2 (PV-Investition (10 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (860 kWh))								
Kosten PV (€)	(für 10,0 kWp)	-	10.830 €	219 €	222 €	224 €	-	15.752 €
Kosten Speicher (€)	(für 0,0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 860 kWh)	-	423 €	- €	- €	- €	- €	423 €
Strombezugskosten (€)	(für 2153 kWh)	-	653 €	654 €	656 €	-	592 €	12.707 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 7363 kWh)	-	898 €	898 €	898 €	-	221 €	17.288 €
Summe:								- 11.594 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								15.853 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Investition (10 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	8,4% Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 12246 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 9685 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	

Szenario 2 (PV-Investition (10 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (860 kWh))	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	10,3% Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 15853 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 12835 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

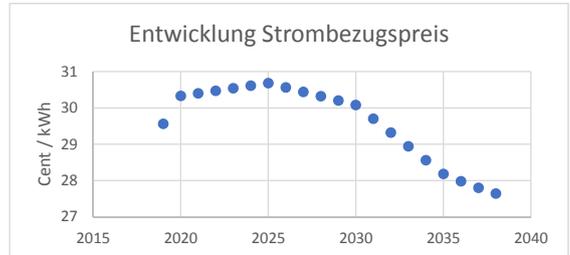
- Prognose des Öko-Instituts verwenden
- Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

	Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation ohne PV-Anlage								
Strombezugskosten (€)	(für 4650 kWh)	-	1.410 €	1.414 €	1.417 €	-	1.279 €	27.447 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Kosten:								- 27.447 €

Szenario 1 (PV-Investition (10 kWp) und Batteriespeicher (5 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)									
Kosten PV (€)	(für 10,0 kWp)	-	10.830 €	219 €	222 €	224 €	-	275 €	15.752 €
Kosten Speicher (€)	(für 5,0 kWh)	-	5.710 €	116 €	117 €	118 €	-	145 €	8.305 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	-	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 1262 kWh)	-	383 €	384 €	384 €	-	347 €	7.447 €	
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €	
Einspeisevergütung (€)	(für 5450 kWh)	-	665 €	665 €	665 €	-	163 €	12.796 €	
Summe:								- 18.707 €	
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								8.739 €	

Szenario 2 (PV-Investition (10 kWp) und Batteriespeicher (5 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (860 kWh))									
Kosten PV (€)	(für 10,0 kWp)	-	10.830 €	219 €	222 €	224 €	-	275 €	15.752 €
Kosten Speicher (€)	(für 5,0 kWh)	-	5.710 €	116 €	117 €	118 €	-	145 €	8.305 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 860 kWh)	-	423 €	- €	- €	- €	-	- €	423 €
Strombezugskosten (€)	(für 805 kWh)	-	244 €	245 €	245 €	-	221 €	4.749 €	
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €	
Einspeisevergütung (€)	(für 5865 kWh)	-	715 €	715 €	715 €	-	176 €	13.770 €	
Summe:								- 15.458 €	
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								11.989 €	

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Investition (10 kWp) und Batteriespeicher (5 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	3,6% Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 8739 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 5938 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	

Szenario 2 (PV-Investition (10 kWp) und Batteriespeicher (5 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (860 kWh))	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	5,1% Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 11989 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 8772 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

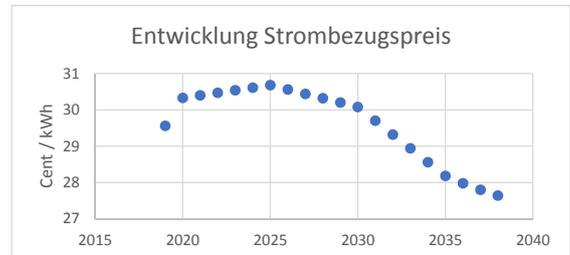
- Prognose des Öko-Instituts verwenden
- Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

	Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation ohne PV-Anlage								
Strombezugskosten (€)	(für 4650 kWh)	-	1.410 €	1.414 €	1.417 €	-	1.279 €	27.447 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Kosten:								- 27.447 €

Szenario 1 (PV-Investition (10 kWp) und Batteriespeicher (3 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)								
Kosten PV (€)	(für 10,0 kWp)	-	10.830 €	219 €	222 €	224 €	-	15.752 €
Kosten Speicher (€)	(für 3,0 kWh)	-	4.010 €	81 €	82 €	83 €	-	5.832 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 1737 kWh)	-	527 €	528 €	529 €	-	478 €	10.251 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 5978 kWh)	-	729 €	729 €	729 €	-	179 €	14.035 €
Summe:								- 17.799 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								9.647 €

Szenario 2 (PV-Investition (10 kWp) und Batteriespeicher (3 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (860 kWh))								
Kosten PV (€)	(für 10,0 kWp)	-	10.830 €	219 €	222 €	224 €	-	15.752 €
Kosten Speicher (€)	(für 3,0 kWh)	-	4.010 €	81 €	82 €	83 €	-	5.832 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 860 kWh)	-	423 €	- €	- €	- €	- €	423 €
Strombezugskosten (€)	(für 1188 kWh)	-	360 €	361 €	362 €	-	327 €	7.014 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 6291 kWh)	-	768 €	768 €	768 €	-	189 €	14.772 €
Summe:								- 14.250 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								13.197 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Investition (10 kWp) und Batteriespeicher (3 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	4,6% Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 9647 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 6933 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	

Szenario 2 (PV-Investition (10 kWp) und Batteriespeicher (3 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (860 kWh))	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	6,3% Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 13197 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 10033 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

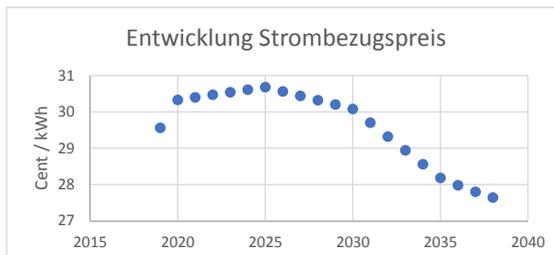
- Prognose des Öko-Instituts verwenden
- Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

	Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation ohne PV-Anlage								
Strombezugskosten (€)	(für 4650 kWh)		- 1.410 €	- 1.414 €	- 1.417 €		- 1.279 €	- 27.447 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)		- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 0 kWh)		- €	- €	- €		- €	- €
							Kosten:	- 27.447 €

Szenario 1 (PV-Investition (0 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)								
Kosten PV (€)	(für 0,0 kWp)	- €	- €	- €	- €		- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 0,0 kWh)	- €	- €	- €	- €		- €	- €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €		- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 4650 kWh)		- 1.410 €	- 1.414 €	- 1.417 €		- 1.279 €	- 27.447 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)		- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 0 kWh)		- €	- €	- €		- €	- €
								27.447 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								0 €

Szenario 2 (PV-Investition (0 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (860 kWh))								
Kosten PV (€)	(für 0,0 kWp)	- €	- €	- €	- €		- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 0,0 kWh)	- €	- €	- €	- €		- €	- €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 860 kWh)	-	423 €	- €	- €		- €	423 €
Strombezugskosten (€)	(für 3790 kWh)		- 1.150 €	- 1.152 €	- 1.155 €		- 1.042 €	- 22.370 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)		- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 0 kWh)		- €	- €	- €		- €	- €
							Summe:	22.793 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								4.653 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Investition (0 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)		
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	kein IRR	Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:		
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 0 Euro.		
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 0 Euro.		
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>		

Szenario 2 (PV-Investition (0 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (860 kWh))		
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	86,2%	Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:		
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 4653 Euro.		
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 4077 Euro.		
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>		

Ergebnisprotokoll: Test Wirtschaftlichkeitsrechner für PV-Batteriespeicher + Stromsparberatung im Testhaushalt 2 (Dez. 2017)

- Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung eines PV-Batteriespeichers wurde zunächst eine Bestandsaufnahme der aktuellen Wohnsituation, sowie Stromverbrauch und Erzeugung gemacht:
 - Testhaushalt 2 wohnt aktuell mit 3 Personen in einem Reihenhaus, die Warmwassererzeugung erfolgt durch Gas
 - der jährliche Stromverbrauch beträgt durchschnittlich 3400 kWh
 - Testhaushalt 2 liegt damit laut dem [Stromspiegel 2017](#) in Effizienzklasse C (Klassen A-G theoretisch möglich)
 - Im Okt. 2017 wurde eine PV-Anlage mit 5,6 kWp auf dem Dach (Ost /West Ausrichtung) installiert, diese produziert laut eigenen Berechnungen von Testhaushalt 2 jährlich ca. 5899 kWh
 - Es wird derzeit ein verhältnismäßig günstiger Arbeitspreis von 24,5 ct/ kWh beim Stromanbieter bezahlt, dieser wird in den darauf folgenden Berechnungen berücksichtigt, sowie ein erwarteter Anstieg der Stromkosten um 2 % jährlich und eine Inflationsrate von ebenfalls 2%
- In **Szenario A** wurde die Wirtschaftlichkeit eines 5,6 kWh großen Energiespeichers berechnet; basierend auf den angenommenen Werten ergibt sich ein (nominaler) wirtschaftlicher Nachteil von - 5.538 € gegenüber dem Referenzszenario (jetzige Situation mit PV-Anlage ohne Speicher) und eine interne Verzinsungsrate von -12,3%
- In **Szenario B** wurde ein kleinerer Speicher mit 3 kWh in der Berechnung berücksichtigt, hieraus ergibt sich ein wirtschaftlicher Nachteil von - 3.391 € gegenüber dem Referenzszenario und eine interne Verzinsungsrate von -11%
- In einem nächsten Schritt wurden im Rahmen einer Stromsparberatung die Stromverbraucher im Haushalt erfasst und mögliche Einsparpotentiale identifiziert:
 - Die Küchengeräte (Kühlgefrierkombination, Herd, Backofen, Spülmaschine) sind unterschiedlich alt (Herd mit 7 Jahren das älteste Gerät); bei der Anschaffung wurde jeweils darauf geachtet, möglichst effiziente Geräte zu kaufen; ein vorzeitiger Austausch wird nicht empfohlen, sollten die Geräte irgendwann kaputt gehen ist auf eine hohe Energieeffizienz zu achten
 - Einfache Verhaltensmaßnahmen um Strom zu sparen (z.B. immer nur so viel Wasser kochen wie benötigt wird, Kaffeemaschine nach der Nutzung ausstellen, Master-Slave-Steckdose für PC, Drucker etc.) werden bereits berücksichtigt und bieten kein weiteres Einsparpotential
 - Bei der Beleuchtung findet sich ein Mix aus LED-, Glüh- und Halogenlampen sowie Leuchtstoffröhren; es wird empfohlen, zunächst die Halogenlampen der viel genutzten Leuchten (Leuchte über dem Esstisch, Standleuchte im Wohnzimmer) entsprechend gegen LEDs auszutauschen sowie die Lampen über der Arbeitsplatte; dadurch lassen sich vermutlich Einsparungen von ca. 220 kWh erzielen; die Glühlampen im Keller kommen sehr selten zum Einsatz, sodass ein Austausch nur geringe Einsparungen erzielen würde; wenn diese kaputt gehen, sollten sie aber unbedingt durch LEDs ersetzt werden
 - Der Verbrauch der Sauna im Keller ist unbekannt und könnte mit Hilfe eines Strommessgeräts erfasst werden (Vorsicht: übliche Messgeräte können nur bis 3 kW eingesetzt werden. Eine Sauna hat i.d.R. aber eine höhere Anschlussleistung, sodass ein spezielles Messgerät notwendig wäre.)

- Im Keller befindet sich eine zweite Kühl-Gefrier-Kombination; da es sich um ein älteres Gerät handelt besteht vermutlich hohes Einsparpotential entweder durch eine veränderte Nutzung (Anschalten nur bei Bedarf / am Wochenende) oder den Austausch durch ein neues, effizientes Gerät; zusätzlich ermöglicht die Umstellung der Temperatur von 4 auf 7 °C und Nutzung des Temperaturgefälles im Kühlschrank Einsparungen
- Die Heizungsanlage und somit die Pumpen sind relativ alt, der Einsatz einer neuen, effizienten Heizungspumpe würde Einsparungen von ca. 130 kWh jährlich ermöglichen
- Nach der Bestandsaufnahmen wurde das ermittelte Einsparpotential von 200 kWh für geringinvestive, 300 kWh für investive Maßnahmen in **Szenario C** berücksichtigt; alle anderen Annahmen entsprechen Szenario A
 - Für die Einsparung von 500 kWh werden von dem Tool 409 € Investitionskosten berechnet, grob überschlagen reichen diese Investitionsmittel eher nur knapp, um die angestrebten Einsparungen umzusetzen (Beleuchtungsumstellung auf LED, neue effiziente Heizungspumpe, neue Kühl-Gefrier-Kombi für den Keller)
 - Über 20 Jahre gerechnet würde die Installation eines 5,6 kWh Speichers und das Einsparen von 500 kWh einen nominalen wirtschaftlichen Nachteil von -4.143 € gegenüber dem Referenzszenario (aktueller Stromverbrauch + 5,6 kWp PV-Anlage) erzielen, die interne Verzinsungsrate läge bei -8,2%
- In **Szenario D** wurde ein 3 kWh Batteriespeicher und die ermittelten Stromsparpotentiale von 500 kWh als Eingabeparameter berücksichtigt
 - Der nominale wirtschaftliche Nachteil gegenüber dem Referenzszenario liegt mit -1.672 € niedriger als in Szenario C mit einem 5,6 kWh Speicher
- In **Szenario E** wird kein Batteriespeicher, sondern lediglich 500 kWh Einsparpotential berücksichtigt
 - Mit dem aktuellen Stromverbrauch und der prognostizierten Stromerzeugung der PV-Anlage stellt die Realisierung von Stromeinsparungen die rentabelste Variante dar: gegenüber dem Referenzszenario wird ein nominaler wirtschaftlicher Vorteil von 1.810 € erwartet; die interne Verzinsungsrate der Investition in Stromsparmaßnahmen beträgt 17,4%

Hinweis: Alle mit dem Wirtschaftlichkeitstool durchgeführten Berechnungen finden sich im Anhang dieses Protokolls (siehe Szenario A – E)



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

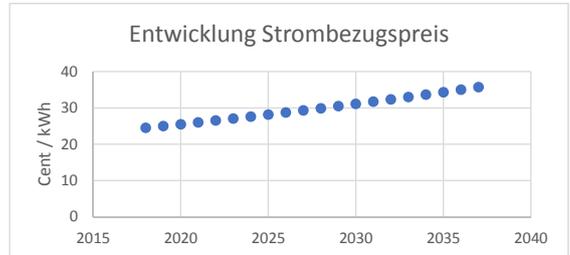
- Erwartete Strompreisentwicklung
Prognose des Öko-Instituts verwenden
- Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugpreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

	Kenngröße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation mit einer PV-Bestandsanlage (5,6 kWp)								
Strombezugskosten (€)	(für 2019 kWh)	-	505 €	515 €	525 €	-	735 €	12.261 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 4518 kWh)	-	551 €	551 €	551 €	-	136 €	10.193 €
Kosten:								- 2.068 €

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (5,6 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)								
Kosten PV (€)	(für 5,6 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 5,6 kWh)	-	6.750 €	138 €	140 €	143 €	-	201 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 741 kWh)	-	185 €	189 €	193 €	-	270 €	4.499 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3098 kWh)	-	378 €	378 €	378 €	-	93 €	6.989 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								-5.538 €

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (5,6 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (0 kWh))								
Kosten PV (€)	(für 5,6 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 5,6 kWh)	-	6.750 €	138 €	140 €	143 €	-	201 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 741 kWh)	-	185 €	189 €	193 €	-	270 €	4.499 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3098 kWh)	-	378 €	378 €	378 €	-	93 €	6.989 €
Summe:								- 7.606 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								-5.538 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (5,6 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)		
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	- 12,3%	Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.
Ergebnis:		
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -5538 Euro.		
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -5842 Euro.		
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>		

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (5,6 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (0 kWh))		
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	- 12,3%	Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.
Ergebnis:		
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -5538 Euro.		
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -5842 Euro.		
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>		



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung
 Prognose des Öko-Instituts verwenden

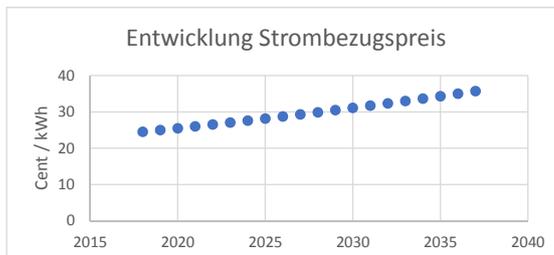
Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kenngröße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation mit einer PV-Bestandsanlage (5,6 kWp)							
Strombezugskosten (€)	(für 2019 kWh)	-	505 €	515 €	525 €	-	12.261 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 4518 kWh)	551 €	551 €	551 €	-	136 €	10.193 €
Kosten:							- 2.068 €

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (3 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)							
Kosten PV (€)	(für 5,6 kWp)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 3,0 kWh)	4.450 €	91 €	93 €	94 €	132 €	6.656 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 1104 kWh)	-	276 €	281 €	287 €	402 €	6.701 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3501 kWh)	427 €	427 €	427 €	-	105 €	7.898 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							-3.391 €

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (3 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (0 kWh))							
Kosten PV (€)	(für 5,6 kWp)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 3,0 kWh)	4.450 €	91 €	93 €	94 €	132 €	6.656 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 1104 kWh)	-	276 €	281 €	287 €	402 €	6.701 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3501 kWh)	427 €	427 €	427 €	-	105 €	7.898 €
Summe:							- 5.459 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							-3.391 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (3 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	- 11,0% Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -3391 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -3645 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (3 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (0 kWh))	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	- 11,0% Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -3391 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -3645 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

Prognose des Öko-Instituts verwenden

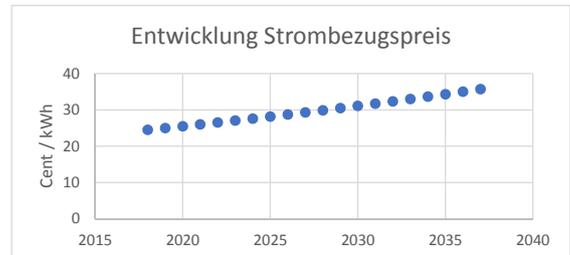
Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugpreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kenngröße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe	
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation mit einer PV-Bestandsanlage (5,6 kWp)								
Strombezugskosten (€)	(für 2019 kWh)	-	505 €	515 €	525 €	-	735 €	
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	
Einspeisevergütung (€)	(für 4518 kWh)	551 €	551 €	551 €	-	136 €	10.193 €	
Kosten:							-	2.068 €

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (5,6 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)							
Kosten PV (€)	(für 5,6 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 5,6 kWh)	-	6.750 €	138 €	140 €	143 €	201 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 741 kWh)	-	185 €	189 €	193 €	-	270 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3098 kWh)	378 €	378 €	378 €	-	93 €	6.989 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							-5.538 €

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (5,6 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (500 kWh))								
Kosten PV (€)	(für 5,6 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	
Kosten Speicher (€)	(für 5,6 kWh)	-	6.750 €	138 €	140 €	143 €	201 €	
Kosten für Einsparungen (€)	(für 500 kWh)	-	600 €	- €	- €	- €	- €	
Strombezugskosten (€)	(für 521 kWh)	-	130 €	133 €	136 €	-	190 €	
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	
Einspeisevergütung (€)	(für 3391 kWh)	414 €	414 €	414 €	-	102 €	7.651 €	
Summe:							-	6.210 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							-4.143 €	

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (5,6 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	- 12,3% Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -5538 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -5842 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (5,6 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (500 kWh))	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	- 8,2% Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -4143 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -4817 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

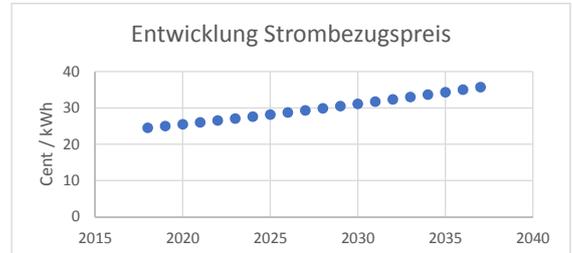
- Erwartete Strompreisentwicklung
- Prognose des Öko-Instituts verwenden
 - Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kenngröße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation mit einer PV-Bestandsanlage (5,6 kWp)							
Strombezugskosten (€)	(für 2019 kWh)	-	505 €	515 €	525 €	-	12.261 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 4518 kWh)	551 €	551 €	551 €	-	136 €	10.193 €
Kosten:							- 2.068 €

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (3 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)							
Kosten PV (€)	(für 5,6 kWp)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 3,0 kWh)	4.450 €	91 €	93 €	94 €	132 €	6.656 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 1104 kWh)	-	276 €	281 €	287 €	402 €	6.701 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3501 kWh)	427 €	427 €	427 €	-	105 €	7.898 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							-3.391 €

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (3 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (500 kWh))							
Kosten PV (€)	(für 5,6 kWp)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 3,0 kWh)	4.450 €	91 €	93 €	94 €	132 €	6.656 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 500 kWh)	600 €	- €	- €	- €	- €	600 €
Strombezugskosten (€)	(für 793 kWh)	-	198 €	202 €	206 €	289 €	4.817 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3693 kWh)	451 €	451 €	451 €	-	111 €	8.332 €
Summe:							- 3.740 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							-1.672 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (3 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	- 11,0% Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -3391 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -3645 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (3 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (500 kWh))	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	- 5,3% Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -1672 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -2365 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

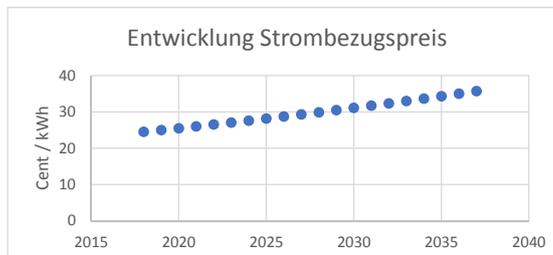
- Erwartete Strompreisentwicklung
- Prognose des Öko-Instituts verwenden
 - Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugpreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

	Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation mit einer PV-Bestandsanlage (5,6 kWp)								
Strombezugskosten (€)	(für 2019 kWh)	-	505 €	515 €	525 €	-	735 €	12.261 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 4518 kWh)	-	551 €	551 €	551 €	-	136 €	10.193 €
Kosten:								- 2.068 €

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)								
Kosten PV (€)	(für 5,6 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 0,0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 2019 kWh)	-	505 €	515 €	525 €	-	735 €	12.261 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 4518 kWh)	-	551 €	551 €	551 €	-	136 €	10.193 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								0 €

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (500 kWh))								
Kosten PV (€)	(für 5,6 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 0,0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 500 kWh)	-	600 €	- €	- €	- €	- €	600 €
Strombezugskosten (€)	(für 1683 kWh)	-	421 €	429 €	438 €	-	613 €	10.221 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 4682 kWh)	-	571 €	571 €	571 €	-	140 €	10.563 €
Summe:								- 258 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								1.810 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)		
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	kein IRR	Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:		
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 0 Euro.		
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 0 Euro.		
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>		

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (5,6 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (500 kWh))		
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	17,4%	Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:		
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 1810 Euro.		
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 1353 Euro.		
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>		

Ergebnisprotokoll: Test Wirtschaftlichkeitsrechner für PV-Batteriespeicher + Stromsparberatung im Testhaushalt 3 (Dez. 2017)

- Um die Wirtschaftlichkeit eines PV-Batteriespeichers auszurechnen, wurden Daten zum Stromverbrauch sowie die aktuelle Wohnsituation des Haushaltes aufgenommen:
 - Testhaushalt 3 wohnt aktuell zu viert in einem Reihenhaus, welches noch keine PV-Anlage besitzt
 - Die Warmwassererzeugung erfolgt mit Hilfe eines Brennwertkessels
 - Der jährliche Stromverbrauch beträgt etwa 4500 kWh (Februar 2016 – Februar 2017). Der Haushalt misst wöchentlich den Stromverbrauch.
 - Laut dem [Stromspiegel 2017](#) liegt Testhaushalt 3 damit in der Effizienzklasse E (Klassen A-G theoretisch möglich)
- Das Haus ist von vorne (Südseite) Fassadengeschützt, weshalb zum aktuellen Zeitpunkt nicht klar ist wieviel m² PV installiert werden können; bei dem Hauptdach handelt sich um ein Mansarddach mit in Nord-Süd-Richtung geneigten Dachflächen; an der Nordseite findet sich seit 1985 ein Anbau mit einer in Ost-West-Richtung geneigten Dachfläche (Giebeldach), auf der PV-Module nach Ost-West ausgerichtet werden könnten; in den Szenarien werden daher variierende PV-Anlagen zwischen 15 – 30 m² angenommen; für die konkrete Planung der Anlage wird professionelle Beratung in Anspruch genommen
- Die PV Anlage kann frühestens nach der für 2019 anvisierten Dachsanierung installiert werden (bisher ist das Dach nicht gedämmt)
- Es werden aktuell 27ct / kWh Arbeitspreis (brutto) für den Strom gezahlt, dieser wird in den darauf folgenden Berechnungen berücksichtigt sowie ein erwarteter Anstieg der Stromkosten um jährlich 2 %; die Inflationsrate wurde zwischen den Szenarien variiert
- In **Szenario A** wurde die Wirtschaftlichkeit eines 3,2 kWh Energiespeichers berechnet; es ergibt sich ein wirtschaftlicher Vorteil von +3.819€ gegenüber dem Referenzszenario (ohne PV-Anlage und ohne Energiespeicher) und einer interne Verzinsungsrate von 2,1%.
- Im folgendem Schritt wurden die Stromverbraucher im Haus erfasst und mögliches Einsparpotential identifiziert:
 - Generell wurde beim Kauf neuer Geräte darauf geachtet, die zum jeweiligen Zeitraum effizientesten (und langlebigen) Geräte zu kaufen
 - In der Küche befindet sich ein Elektroherd, mit dem sehr viel gekocht wird; ein Induktionsherd würde im Vergleich weniger Strom brauchen; diese sind in der Anschaffung jedoch so teuer, dass sich der Austausch aus wirtschaftlicher Sicht vermutlich nicht lohnen würde; für die folgenden Berechnungen wird aus diesem Grund kein Einsparpotential berücksichtigt
 - Der Kühlschrank in der Küche ist 6 Jahre alt, hat die Effizienzklasse A++ und ist bereits stromsparend auf 8 °C eingestellt; da dieser Kühlschrank den Bedarf nach Kühlvolumen nicht abdeckt, wurde 2016 ein weiterer Kühlschrank (A+++ , ohne Sternefach) für den Keller angeschafft, auch dieser Kühlschrank ist auf 8 °C eingestellt; im Keller findet sich außerdem ein 13 Jahre alter Gefrierschrank, der auf -16°C eingestellt ist; ein Austausch der Gefriertruhe würde ein Einsparpotential von ca. 200 kWh bieten

- Weitere Geräte im Haushalt sind eine Miele Waschmaschine (16 Jahre alt) und ein Miele Kondensationstrockner (ebenfalls 16 J.), die beide einem vier Personen HH entsprechend verwendet werden; der Verbrauch des Trockners wurde bereits gemessen (3 kWh / Durchgang – jährlich ca. 300 kWh); die Anschaffung eines neuen, effizienten Trockners wurde ca. 140 kWh/ Jahr einsparen; der Austausch der Waschmaschine würde jährlich ca. 60 kWh einsparen
- Die Beleuchtung des Haushaltes ist eine Mischung aus LED-, Glüh- und Halogenlampen:
 - Insgesamt gibt es 15 leicht ersetzbare Halogenlampen, deren Austausch unter Berücksichtigung der jeweiligen Brenndauern jährlich ca. 334 kWh/a einsparen würde; bei dimmbaren Lampen ist darauf zu achten, dass die entsprechenden LEDs auf der Verpackung als dimmbar gekennzeichnet sind; Achtung: nicht alle LEDs sind mit jedem Dimmer kompatibel, dies sollte geprüft werden
 - es existieren weitere Halogenlampen deren Austausch mit mehr Aufwand verbunden wäre (Niedervolt-Halogenlampen im Bad, evtl. ist der Trafo nicht mit LEDs kompatibel) oder auf Grund der Passform derzeit nicht möglich ist (Halogenstifte in der Küche – die entsprechenden LED-Versionen sind i.d.R. länger und passen daher nicht)
- Die Pumpe der Heizungsanlage wurde im Jahr 2010 ausgetauscht und besitzt drei Stufen, die manuell eingestellt werden können (31W, 48W, 67W); aktuell ist die Anlage auf Stufe 2, eingestellt; evtl. könnte die Anlage auf Stufe 1 umgestellt werden – sollte von einem Fachmann geprüft werden (hydraulischer Abgleich nötig)
- Ebenfalls befinden sich im Haushalt diverse Informations- und Unterhaltungsgeräte wie ein Fernseher, ein Radio, ein PC und ein Drucker; hierfür wurden unter anderem Master-Slave-Steckdosen empfohlen, sodass die Geräte alle komplett ausgeschaltet werden können; zu prüfen wäre, ob auch der Receiver über eine solche Leiste komplett ausgeschaltet werden könnte; es würde sich ein Einsparpotential von ca. 70 kWh im Jahr ergeben; nicht in der Berechnung berücksichtigt, da derzeit keine Umstellung geplant wird (um Zeit des Hochfahrens zu vermeiden)
- Nachträglich recherchiert: Das 50 Liter Aquarium benötigt Strom z.B. für die Wassererwärmung, Beleuchtung (tagsüber) und Filter; insgesamt wird der Verbrauch auf ca. 300 kWh/a geschätzt (in den Berechnungen nicht berücksichtigt).
- In **Szenario B** wurden Stromsparmaßnahmen von 774kWh miteinberechnet (400 kWh investive Maßnahmen und 334 kWh gering-investive Maßnahmen – Maßnahmen siehe oben); es wurde wie in Szenario A ein Batteriespeicher mit 3,2 kWh Kapazität berücksichtigt;
 - ohne Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 3.819€, die interne Verzinsungsrate beträgt 2,1%
 - Mit Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 5.417€, die interne Verzinsungsrate beträgt 2,3%
- **Szenario C** zeigt die Wirtschaftlichkeit einer 3,2 PV-Anlage, eines 3,2 kWh Speichers und einer Inflationsrate von 1,5 %
 - ohne Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 2.096€, die interne Verzinsungsrate beträgt 0,8%
 - Mit Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 3.188€, die interne Verzinsungsrate beträgt 1,1%

- In **Szenario D** wurde ein 3,2 kWh Batteriespeicher berücksichtigt, und die Inflationsrate auf 1% gesenkt:
 - Ohne die Berücksichtigung von Stromsparmaßnahmen ergibt sich ein nominaler wirtschaftlicher Vorteil von +2.308€ gegenüber dem Referenzszenario und eine interne Verzinsungsrate von 1,5%
 - Mit Stromsparmaßnahmen ergibt sich ein nominaler wirtschaftlicher Vorteil von 3.401€ und eine interne Verzinsungsrate von 1,8%
- **Szenario E** zeigt die Wirtschaftlichkeit einer 4,8 kWp PV-Anlage, eines 4,8 kWh Batteriespeichers und einer Inflationsrate von 1,5%
 - ohne Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 5.609€, die interne Verzinsungsrate beträgt 2,4%
 - Mit Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 6.768€, die interne Verzinsungsrate beträgt 2,3%



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

Prognose des Öko-Instituts verwenden

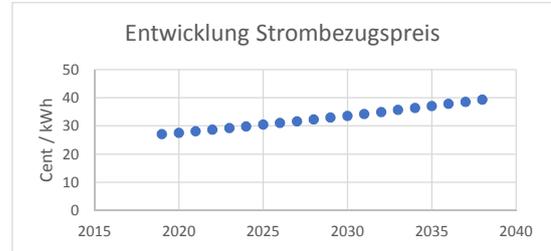
Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation ohne PV-Anlage							
Strombezugskosten (€)	(für 4500 kWh)	- 1.239 €	- 1.264 €	- 1.289 €		- 1.805 €	- 30.112 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Kosten:							- 30.112 €

Szenario 1 (PV-Investition (3,2 kWp) und Batteriespeicher (3,2 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)							
Kosten PV (€)	(für 3,2 kWp)	- 4.417 €	- 90 €	- 91 €	- 92 €	- 119 €	- 6.491 €
Kosten Speicher (€)	(für 3,2 kWh)	- 4.210 €	- 85 €	- 87 €	- 88 €	- 113 €	- 6.186 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 2316 kWh)	- 638 €	- 651 €	- 664 €		- 929 €	- 15.500 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 802 kWh)	98 €	98 €	98 €		24 €	1.884 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							3.819 €

Szenario 2 (PV-Investition (3,2 kWp) und Batteriespeicher (3,2 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (0 kWh))							
Kosten PV (€)	(für 3,2 kWp)	- 4.417 €	- 90 €	- 91 €	- 92 €	- 119 €	- 6.491 €
Kosten Speicher (€)	(für 3,2 kWh)	- 4.210 €	- 85 €	- 87 €	- 88 €	- 113 €	- 6.186 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 2316 kWh)	- 638 €	- 651 €	- 664 €		- 929 €	- 15.500 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 802 kWh)	98 €	98 €	98 €		24 €	1.884 €
Summe:							- 26.293 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							3.819 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Investition (3,2 kWp) und Batteriespeicher (3,2 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)

Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen: **2,1%** Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 3819 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 1969 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier. i

Szenario 2 (PV-Investition (3,2 kWp) und Batteriespeicher (3,2 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (0 kWh))

Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen: **2,1%** Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 3819 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 1969 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier. i



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

Prognose des Öko-Instituts verwenden

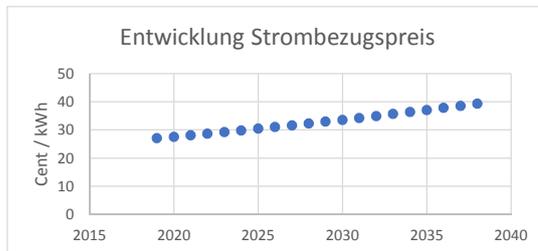
Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation ohne PV-Anlage							
Strombezugskosten (€)	(für 4500 kWh)	- 1.239 €	- 1.264 €	- 1.289 €		- 1.805 €	- 30.112 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Kosten:							- 30.112 €

Szenario 1 (PV-Investition (3,2 kWp) und Batteriespeicher (3,2 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)							
Kosten PV (€)	(für 3,2 kWp)	- 4.417 €	- 90 €	- 91 €	- 92 €	- 119 €	- 6.491 €
Kosten Speicher (€)	(für 3,2 kWh)	- 4.210 €	- 85 €	- 87 €	- 88 €	- 113 €	- 6.186 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 2316 kWh)	- 638 €	- 651 €	- 664 €		- 929 €	- 15.500 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 802 kWh)	98 €	98 €	98 €		24 €	1.884 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							3.819 €

Szenario 2 (PV-Investition (3,2 kWp) und Batteriespeicher (3,2 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (774 kWh))							
Kosten PV (€)	(für 3,2 kWp)	- 4.417 €	- 90 €	- 91 €	- 92 €	- 119 €	- 6.491 €
Kosten Speicher (€)	(für 3,2 kWh)	- 4.210 €	- 85 €	- 87 €	- 88 €	- 113 €	- 6.186 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 774 kWh)	- 3.000 €	- €	- €	- €	- €	- 3.000 €
Strombezugskosten (€)	(für 1675 kWh)	- 461 €	- 471 €	- 480 €		- 672 €	- 11.208 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 933 kWh)	114 €	114 €	114 €		28 €	2.191 €
Summe:							- 24.694 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							5.417 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Investition (3,2 kWp) und Batteriespeicher (3,2 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)

Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen: **2,1%** Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 3819 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 1969 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier. i

Szenario 2 (PV-Investition (3,2 kWp) und Batteriespeicher (3,2 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (774 kWh))

Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen: **2,3%** Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 5417 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 2882 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier. i



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

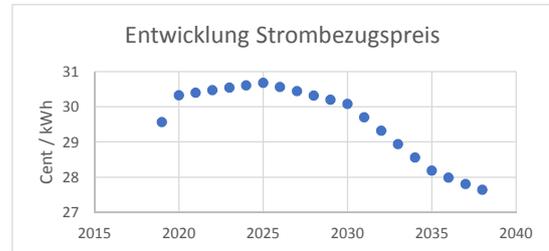
- Prognose des Öko-Instituts verwenden
- Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation ohne PV-Anlage							
Strombezugskosten (€)	(für 4500 kWh)	- 1.365 €	- 1.368 €	- 1.371 €		- 1.237 €	- 26.561 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Kosten:							- 26.561 €

Szenario 1 (PV-Investition (3,2 kWp) und Batteriespeicher (3,2 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)							
Kosten PV (€)	(für 3,2 kWp)	- 4.417 €	- 90 €	- 91 €	- 92 €	- 119 €	- 6.491 €
Kosten Speicher (€)	(für 3,2 kWh)	- 4.210 €	- 85 €	- 87 €	- 88 €	- 113 €	- 6.186 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 2316 kWh)	- 703 €	- 704 €	- 706 €		- 637 €	- 13.672 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 802 kWh)	98 €	98 €	98 €		24 €	1.884 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							2.096 €

Szenario 2 (PV-Investition (3,2 kWp) und Batteriespeicher (3,2 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (774 kWh))							
Kosten PV (€)	(für 3,2 kWp)	- 4.417 €	- 90 €	- 91 €	- 92 €	- 119 €	- 6.491 €
Kosten Speicher (€)	(für 3,2 kWh)	- 4.210 €	- 85 €	- 87 €	- 88 €	- 113 €	- 6.186 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 774 kWh)	- 3.000 €	- €	- €	- €	- €	- 3.000 €
Strombezugskosten (€)	(für 1675 kWh)	- 508 €	- 509 €	- 510 €		- 461 €	- 9.887 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 933 kWh)	114 €	114 €	114 €		28 €	2.191 €
Summe:							- 23.373 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							3.188 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Investition (3,2 kWp) und Batteriespeicher (3,2 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)

Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen: **0,8%** Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 2096 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 645 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier. i

Szenario 2 (PV-Investition (3,2 kWp) und Batteriespeicher (3,2 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (774 kWh))

Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen: **1,1%** Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 3188 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 1169 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier. i



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

- Prognose des Öko-Instituts verwenden
- Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation ohne PV-Anlage							
Strombezugskosten (€)	(für 4500 kWh)	- 1.365 €	- 1.368 €	- 1.371 €		- 1.237 €	- 26.561 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Kosten:							- 26.561 €

Szenario 1 (PV-Investition (3,2 kWp) und Batteriespeicher (3,2 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)							
Kosten PV (€)	(für 3,2 kWp)	- 4.417 €	- 89 €	- 90 €	- 91 €	- 108 €	- 6.382 €
Kosten Speicher (€)	(für 3,2 kWh)	- 4.210 €	- 85 €	- 86 €	- 87 €	- 103 €	- 6.083 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 2316 kWh)	- 703 €	- 704 €	- 706 €		- 637 €	- 13.672 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 802 kWh)	98 €	98 €	98 €		24 €	1.884 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							2.308 €

Szenario 2 (PV-Investition (3,2 kWp) und Batteriespeicher (3,2 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (774 kWh))							
Kosten PV (€)	(für 3,2 kWp)	- 4.417 €	- 89 €	- 90 €	- 91 €	- 108 €	- 6.382 €
Kosten Speicher (€)	(für 3,2 kWh)	- 4.210 €	- 85 €	- 86 €	- 87 €	- 103 €	- 6.083 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 774 kWh)	- 3.000 €	- €	- €	- €	- €	- 3.000 €
Strombezugskosten (€)	(für 1675 kWh)	- 508 €	- 509 €	- 510 €		- 461 €	- 9.887 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 933 kWh)	114 €	114 €	114 €		28 €	2.191 €
Summe:							- 23.160 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							3.401 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Investition (3,2 kWp) und Batteriespeicher (3,2 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)

Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen: **1,5%** Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 2308 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 1280 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier. i

Szenario 2 (PV-Investition (3,2 kWp) und Batteriespeicher (3,2 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (774 kWh))

Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen: **1,8%** Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 3401 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 1981 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier. i



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

Prognose des Öko-Instituts verwenden

Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation ohne PV-Anlage							
Strombezugskosten (€)	(für 4500 kWh)	- 1.239 €	- 1.264 €	- 1.289 €		- 1.805 €	- 30.112 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Kosten:							- 30.112 €

Szenario 1 (PV-Investition (4,8 kWp) und Batteriespeicher (4,8 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)							
Kosten PV (€)	(für 4,8 kWp)	- 6.127 €	- 124 €	- 126 €	- 128 €	- 165 €	- 9.003 €
Kosten Speicher (€)	(für 4,8 kWh)	- 5.570 €	- 113 €	- 115 €	- 116 €	- 150 €	- 8.185 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 1671 kWh)	- 460 €	- 469 €	- 479 €		- 670 €	- 11.183 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 1647 kWh)	201 €	201 €	201 €		49 €	3.868 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							5.609 €

Szenario 2 (PV-Investition (4,8 kWp) und Batteriespeicher (4,8 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (774 kWh))							
Kosten PV (€)	(für 4,8 kWp)	- 6.127 €	- 124 €	- 126 €	- 128 €	- 165 €	- 9.003 €
Kosten Speicher (€)	(für 4,8 kWh)	- 5.570 €	- 113 €	- 115 €	- 116 €	- 150 €	- 8.185 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 774 kWh)	- 3.000 €	- €	- €	- €	- €	- 3.000 €
Strombezugskosten (€)	(für 1134 kWh)	- 312 €	- 319 €	- 325 €		- 455 €	- 7.588 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €		- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 1888 kWh)	230 €	230 €	230 €		57 €	4.433 €
Summe:							- 23.343 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							6.768 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Investition (4,8 kWp) und Batteriespeicher (4,8 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)		
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	2,4%	Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:		
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 5609 Euro.		
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 3053 Euro.		
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>		

Szenario 2 (PV-Investition (4,8 kWp) und Batteriespeicher (4,8 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (774 kWh))		
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	2,3%	Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:		
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 6768 Euro.		
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 3596 Euro.		
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>		

Ergebnisprotokoll: Test Wirtschaftlichkeitsrechner für PV-Batteriespeicher + Stromsparberatung bei Testhaushalt 4 (Dez. 2017)

- Um die Wirtschaftlichkeit eines PV-Batteriespeichers auszurechnen, wurden Daten zum Stromverbrauch sowie die aktuelle Wohnsituation des Haushaltes aufgenommen:
 - Testhaushalt 4 wohnt aktuell zu zweit in einem Einfamilienhaus, welches eine 6 kWp Ost-West -PV-Anlage besitzt
 - Die Warmwassererzeugung erfolgt mit Hilfe von Strom
 - Bei der Anschaffung neuer Geräte wird in hochwertige, langlebige Produkte investiert; diese werden i.d.R. so lange genutzt bis sie kaputt gehen, daher finden sich etliche sehr alte Geräte im Haushalt (s.u.)
 - Der jährliche Stromverbrauch beträgt etwa 4200 kWh
 - Laut dem [Stromspiegel 2017](#) liegt Testhaushalt 4 damit in der Effizienzklasse E (Klassen A-G theoretisch möglich)
 - Die PV-Anlage hat eine Nennkapazität von 6,0 kWp und ist seit August 2016 in Betrieb (Eigenverbrauch + Netzeinspeisung); die Installation des Batteriespeichers ist für 2019 anvisiert; die Einspeisevergütung liegt bei 12,31ct und läuft am 31.12.2036 aus, der absolute Solarertrag beträgt ca. 5000 kWh jährlich (unter Berücksichtigung der Ost-West-Ausrichtung)
 - In den Berechnungen wird der Strompreis sowie seine zukünftige Entwicklung laut bestehender Prognosen des Öko-Instituts angenommen; die Inflationsrate wurde auf 1% jährlich festgelegt
- Im folgendem Schritt wurden die Stromverbraucher im Haus erfasst und mögliches Einsparpotential identifiziert:
 - Der Haushalt duscht ausschließlich kalt, weshalb eine Sparbrause für die Dusche kein großes Stromeinsparpotential bietet (stattdessen wird häufiger warm gebadet); auch kommt häufiger Besuch der ebenfalls warmes Wasser nutzt
 - Der Kühlschrank in der Küche wurde im Jahr 2016 gekauft und hat die Effizienzklasse A+++
 - Im Haus befinden sich 2 Gefrierschränke, die beide zwischen 30 und 40 Jahre alt sind; da nicht beide Gefrierschränke ausgetauscht werden sollen bzw. vorerst kein Gefrierschrank ausgeschaltet werden soll, wird für die Berechnungen nur ein geringes Einsparpotential angenommen
 - Weitere Geräte im Haushalt sind eine Miele Waschmaschine (30 Jahre alt), die beide einem zwei Personen HH ca. drei Mal in der Woche verwendet wird; der HH besitzt keinen Trockner, sondern hängen die Wäsche auf eine Wäscheleine; das Wasser wird nach Benutzung ausgestellt
 - Die Beleuchtung des Haushaltes ist eine Mischung aus LED-, Glüh- und Energiesparlampen: In dem gesamten Haushalt gibt es keine Halogenlampen mehr, diese wurde durch Energiespar- und LED-Lampen ersetzt; insgesamt gibt es verhältnismäßig viele Lampen im Haus die überdurchschnittlich lange brennen; die Energiesparlampen sollten nach Ende der Lebensdauer durch LEDs ersetzt werden, die verbleibenden Glühbirnen sofort; es wird ebenfalls der Austausch der Glühlampen im Keller empfohlen, da diese nach eigener Angabe ab und zu vergessen werden und dann für mehrere Stunden brennen
 - Ebenfalls befinden sich im Haushalt diverse Informations- und Unterhaltungsgeräte wie ein Fernseher, ein PC und ein Telefon; hierfür werden z.T. bereits Master-Slave-Steckdosen verwendet, sodass die Geräte alle komplett ausgeschaltet werden können, einzelne Geräte wie das Telefon

befinden sich an einem separatem Stecker, da sie nicht mit anderen Geräten zusammen ausgeschaltet werden sollen

- Die Heizungsanlage läuft über einen Gaskessel aus dem Jahr 2003, der von Oktober bis März nachts in Betrieb ist; vermutlich ließe sich durch das Austauschen der Heizungspumpe weiteres Einsparpotential realisieren (da keine Vor-Ort-Besichtigung möglich war keine konkrete Angabe zum Einsparpotential möglich)
- Der Haushalt selber schätzt, dass ein jährliches Einsparpotential von 400 kWh möglich wäre, und dafür Investitionskosten von 1300 € anfallen würden; diese Werte wurden wenn nicht anders angegeben in den nachfolgenden Berechnungen verwendet
- **Szenario A** wurde ein Batteriespeicher von 6,0 kWh miteinberechnet
 - ohne Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Nachteil gegenüber dem Referenzszenario -4.182€, die interne Verzinsungsrate beträgt -9,3%
 - Mit Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario -3.813€, die interne Verzinsungsrate beträgt -6.9%
- In **Szenario B** wurde ein Batteriespeicher von 2,0 kWh miteinberechnet
 - ohne Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Nachteil gegenüber dem Referenzszenario -1.847€, die interne Verzinsungsrate beträgt -8,9%
 - Mit Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario -1.301€, die interne Verzinsungsrate beträgt -4.4%
- **Szenario C** zeigt die Wirtschaftlichkeit der 6kWp PV-Anlage und eines 3,0 kWh Speichers
 - ohne Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario -2.576€, die interne Verzinsungsrate beträgt -8,9%
 - Mit Stromsparmaßnahmen (400kWh) beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario -2.043€, die interne Verzinsungsrate beträgt -5,3%
- In **Szenario D** wurde kein Batteriespeicher berücksichtigt
 - Ohne die Berücksichtigung von Stromsparmaßnahmen ergibt sich ein nominaler wirtschaftlicher Vorteil von 0€ gegenüber dem Referenzszenario und keine interne Verzinsungsrate
 - Mit Stromsparmaßnahmen von 400 kWh ergibt sich ein nominaler wirtschaftlicher Vorteil von 552€ und eine interne Verzinsungsrate von 2,9%
- **Szenario E** zeigt die Wirtschaftlichkeit der 6,0kWp PV-Anlage, ohne Batteriespeicher und angenommenen Kosten von 329 € für die Realisierung der 400 kWh Einsparungen (der vom Tool vorgeschlagene Wert)
 - ohne Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 0€ und es liegen keine Interne Verzinsungsraten vor.
 - Mit Stromsparmaßnahmen (400 kWh) beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 1.523€, die interne Verzinsungsrate beträgt 33,1%
- **Szenario F** zeigt die Wirtschaftlichkeit der 6,0kWp PV-Anlage, ohne Batteriespeicher und 700 kWh Stromeinsparungen mit angenommenen Investitionskosten von 1000 €
 - ohne Stromsparmaßnahmen beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 0€ und es liegen keine Interne Verzinsungsraten vor.

- Mit Stromsparmaßnahmen (700 kWh) beträgt der nominale wirtschaftliche Vorteil gegenüber dem Referenzszenario 2.302€, die interne Verzinsungsrate beträgt 16,8%



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

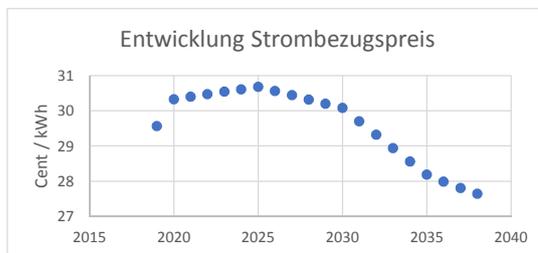
- Prognose des Öko-Instituts verwenden
- Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation mit einer PV-Bestandsanlage (6 kWp)							
Strombezugskosten (€)	(für 2556 kWh)	- 775 €	- 777 €	- 779 €	-	- 703 €	15.084 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3356 kWh)	413 €	413 €	413 €	-	101 €	7.012 €
						Kosten:	8.072 €

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (6 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)							
Kosten PV (€)	(für 6,0 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 6,0 kWh)	- 6.270 €	- 127 €	- 128 €	- 129 €	- 153 €	9.059 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 1193 kWh)	- 362 €	- 363 €	- 364 €	-	- 328 €	7.045 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 1842 kWh)	227 €	227 €	227 €	-	55 €	3.849 €
							12.254 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							-4.182 €

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (6 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (400 kWh)							
Kosten PV (€)	(für 6,0 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 6,0 kWh)	- 6.270 €	- 127 €	- 128 €	- 129 €	- 153 €	9.059 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 400 kWh)	- 1.300 €	- €	- €	- €	- €	1.300 €
Strombezugskosten (€)	(für 978 kWh)	- 297 €	- 297 €	- 298 €	-	- 269 €	5.774 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 2033 kWh)	250 €	250 €	250 €	-	61 €	4.247 €
						Summe:	11.886 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							-3.813 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (6 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)

Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen: **- 9,3%** Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -4182 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -4403 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier. i

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (6 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (400 kWh))

Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen: **- 6,9%** Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -3813 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -4190 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier. i



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

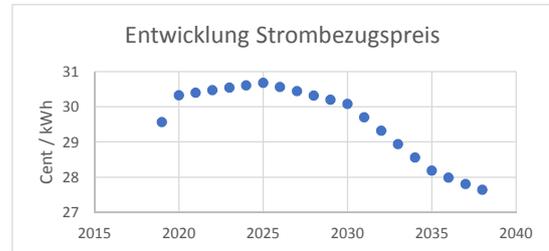
- Prognose des Öko-Instituts verwenden
- Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation mit einer PV-Bestandsanlage (6 kWp)							
Strombezugskosten (€)	(für 2556 kWh)	-	775 €	777 €	-	779 €	15.084 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3356 kWh)	413 €	413 €	413 €	-	101 €	7.012 €
Kosten:							8.072 €

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (2 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)							
Kosten PV (€)	(für 6,0 kWp)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 2,0 kWh)	-	2.860 €	58 €	58 €	59 €	4.132 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 1917 kWh)	-	582 €	583 €	584 €	-	11.317 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 2646 kWh)	326 €	326 €	326 €	-	79 €	5.530 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							-1.847 €

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (2 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (400 kWh))							
Kosten PV (€)	(für 6,0 kWp)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 2,0 kWh)	-	2.860 €	58 €	58 €	59 €	4.132 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 400 kWh)	-	1.300 €	- €	- €	- €	1.300 €
Strombezugskosten (€)	(für 1653 kWh)	-	501 €	502 €	504 €	-	9.754 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 2782 kWh)	342 €	342 €	342 €	-	83 €	5.813 €
Summe:							9.373 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							-1.301 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (2 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)

Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen: **- 8,9%** Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -1847 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -1954 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier. i

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (2 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (400 kWh))

Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen: **- 4,4%** Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -1301 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -1582 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier. i



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

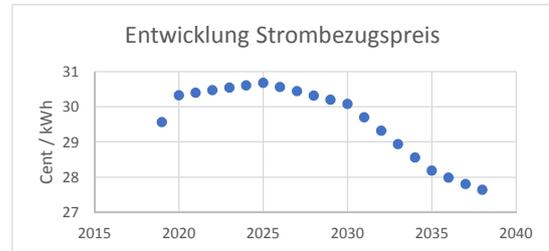
- Prognose des Öko-Instituts verwenden
- Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation mit einer PV-Bestandsanlage (6 kWp)							
Strombezugskosten (€)	(für 2556 kWh)	- 775 €	- 777 €	- 779 €	-	- 703 €	15.084 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3356 kWh)	413 €	413 €	413 €	-	101 €	7.012 €
Kosten:							- 8.072 €

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (3 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)							
Kosten PV (€)	(für 6,0 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 3,0 kWh)	- 4.010 €	- 81 €	- 82 €	- 83 €	- 98 €	5.794 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 1657 kWh)	- 503 €	- 504 €	- 505 €	-	- 456 €	9.781 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 2357 kWh)	290 €	290 €	290 €	-	71 €	4.926 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							-2.576 €

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (3 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (400 kWh))							
Kosten PV (€)	(für 6,0 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 3,0 kWh)	- 4.010 €	- 81 €	- 82 €	- 83 €	- 98 €	5.794 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 400 kWh)	- 1.300 €	- €	- €	- €	- €	1.300 €
Strombezugskosten (€)	(für 1396 kWh)	- 423 €	- 424 €	- 425 €	-	- 384 €	8.238 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 2496 kWh)	307 €	307 €	307 €	-	75 €	5.216 €
Summe:							- 10.115 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							-2.043 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (3 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)

Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen: **- 8,9%** Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -2576 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -2728 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier. i

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (3 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (400 kWh))

Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen: **- 5,3%** Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -2043 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -2367 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier. i



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

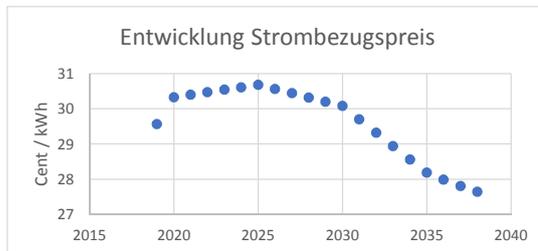
- Prognose des Öko-Instituts verwenden
- Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation mit einer PV-Bestandsanlage (6 kWp)							
Strombezugskosten (€)	(für 2556 kWh)	- 775 €	- 777 €	- 779 €	-	- 703 €	- 15.084 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3356 kWh)	413 €	413 €	413 €	-	101 €	7.012 €
						Kosten:	8.072 €

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)							
Kosten PV (€)	(für 6,0 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 0,0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 2556 kWh)	- 775 €	- 777 €	- 779 €	-	- 703 €	- 15.084 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3356 kWh)	413 €	413 €	413 €	-	101 €	7.012 €
							8.072 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							0 €

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (400 kWh))							
Kosten PV (€)	(für 6,0 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 0,0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 400 kWh)	- 1.300 €	- €	- €	- €	- €	- 1.300 €
Strombezugskosten (€)	(für 2289 kWh)	- 694 €	- 696 €	- 697 €	-	- 629 €	- 13.511 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3489 kWh)	429 €	429 €	429 €	-	105 €	7.291 €
						Summe:	7.520 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							552 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	kein IRR Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 0 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 0 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (400 kWh))	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	2,9% Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 552 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 377 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

Prognose des Öko-Instituts verwenden

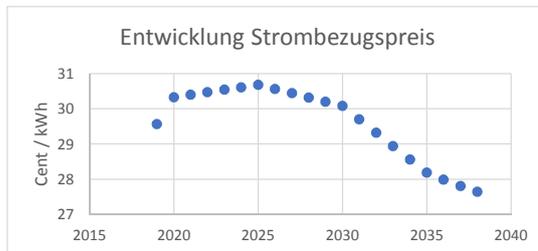
Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation mit einer PV-Bestandsanlage (6 kWp)							
Strombezugskosten (€)	(für 2556 kWh)	- 775 €	- 777 €	- 779 €	-	- 703 €	- 15.084 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3356 kWh)	413 €	413 €	413 €	-	101 €	7.012 €
						Kosten:	8.072 €

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)							
Kosten PV (€)	(für 6,0 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 0,0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 2556 kWh)	- 775 €	- 777 €	- 779 €	-	- 703 €	- 15.084 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3356 kWh)	413 €	413 €	413 €	-	101 €	7.012 €
							8.072 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							0 €

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (400 kWh))							
Kosten PV (€)	(für 6,0 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 0,0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 400 kWh)	- 329 €	- €	- €	- €	- €	329 €
Strombezugskosten (€)	(für 2289 kWh)	- 694 €	- 696 €	- 697 €	-	- 629 €	- 13.511 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3489 kWh)	429 €	429 €	429 €	-	105 €	7.291 €
						Summe:	6.549 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							1.523 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	kein IRR Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 0 Euro.
	Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 0 Euro.
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (400 kWh))	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	33,1% Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 1523 Euro.
	Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 1348 Euro.
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

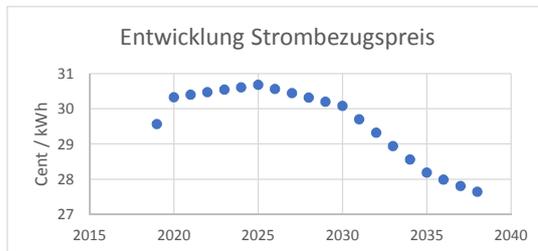
- Prognose des Öko-Instituts verwenden
- Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Arbeitspreis in Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe				
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation mit einer PV-Bestandsanlage (6 kWp)											
Strombezugskosten (€)	(für 2556 kWh)	-	775 €	-	777 €	-	779 €	-	703 €	-	15.084 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	-	- €	-	- €	-	- €	-	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3356 kWh)	413 €	413 €	413 €					101 €		7.012 €
Kosten:										-	8.072 €

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)													
Kosten PV (€)	(für 6,0 kWp)	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€
Kosten Speicher (€)	(für 0,0 kWh)	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€
Strombezugskosten (€)	(für 2556 kWh)	-	775 €	-	777 €	-	779 €	-	703 €	-	15.084 €		
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	-	- €	-	- €	-	- €	-	- €		
Einspeisevergütung (€)	(für 3356 kWh)	413 €	413 €	413 €					101 €		7.012 €		
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):											0 €		

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (700 kWh))													
Kosten PV (€)	(für 6,0 kWp)	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€
Kosten Speicher (€)	(für 0,0 kWh)	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€	-	€
Kosten für Einsparungen (€)	(für 700 kWh)	-	1.000 €	-	€	-	€	-	€	-	1.000 €		
Strombezugskosten (€)	(für 2073 kWh)	-	629 €	-	630 €	-	632 €	-	570 €	-	12.236 €		
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	-	- €	-	- €	-	- €	-	- €		
Einspeisevergütung (€)	(für 3573 kWh)	440 €	440 €	440 €					107 €		7.466 €		
Summe:											-	5.770 €	
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):											2.302 €		

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	kein IRR Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 0 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 0 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (6 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (700 kWh))	
Interne Verzinsungsrate (IRR) für Investitionen:	16,8% Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:	
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 2302 Euro.	
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 1990 Euro.	
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>	

Ergebnisprotokoll: Test Wirtschaftlichkeitsrechner für PV-Batteriespeicher + Stromsparberatung bei Testhaushalt 5 (Nov. 2017)

- Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung eines PV-Batteriespeichers wurde zunächst eine Bestandsaufnahme der aktuellen Wohnsituation, sowie Stromverbrauch und Erzeugung gemacht:
 - Testhaushalt 5 wohnt aktuell mit 2 Personen in einem Reihenhaus, die Warmwassererzeugung erfolgt durch Gas
 - der jährliche Stromverbrauch beträgt durchschnittlich 3000 kWh
 - Testhaushalt 5 liegt damit laut dem [Stromspiegel 2017](#) in Effizienzklasse C (Klassen A-G theoretisch möglich)
 - Im Juli 2000 wurde eine PV-Anlage mit 1,2 kWp auf dem Dach installiert, diese produziert jährlich ca. 1200 kWh
 - Es wird derzeit ein Arbeitspreis von 26 ct/ kWh beim Stromanbieter bezahlt, dieser wird in den darauf folgenden Berechnungen berücksichtigt, sowie ein erwarteter Anstieg der Stromkosten um 2 % jährlich und eine Inflationsrate von 1%
- In **Szenario A** wurde basierend auf diesen Parametern die Wirtschaftlichkeit eines 2,5 kWh großen Energiespeichers bei aktuellem Stromverbrauch berechnet:
 - als Richtwert wird in dem Tool ein Verhältnis der PV-Nennleistung und der Speicherkapazität von 1 kWp : 1 kWh vorgeschlagen; da so kleine Speicher aber von vielen Anbietern nicht im Sortiment geführt werden, wurde eine Speichergroße von 2,5 kWh angenommen
 - basierend auf den angenommenen Werten ergibt sich ein (nominaler) wirtschaftlicher Nachteil von - 2.332 € gegenüber dem Referenzszenario (jetzige Situation mit PV-Anlage ohne Speicher) und eine interne Verzinsungsrate von -11%
- In **Szenario B** wurde der Zubau auf insgesamt 5 kWp PV-Anlage und die Installation eines 5 kWh Speichers berechnet
 - Achtung: im Tool kann keine Kombination aus Bestandsanlage und PV-Neuinstallation eingegeben werden, die Anlage wird in der Berechnung komplett als Neuinstallation berücksichtigt
 - hieraus ergibt sich ein (nominaler) wirtschaftlicher Vorteil von 2.215 € gegenüber dem Referenzszenario (jetzige Situation mit PV-Anlage ohne Speicher) und eine interne Verzinsungsrate von 0,5%
- In **Szenario C** wird lediglich die Wirtschaftlichkeit einer Erweiterung der PV-Anlage auf 5 kWp berücksichtigt, ohne Installation eines Speichers und der Berücksichtigung von Stromsparmaßnahmen
 - Achtung: im Tool kann keine Kombination aus Bestandsanlage und PV-Neuinstallation eingegeben werden, die Anlage wird in der Berechnung komplett als Neuinstallation berücksichtigt
 - Daraus ergibt sich ein nominaler wirtschaftlicher Vorteil von 7.066 € gegenüber dem Referenzszenario, und eine interne Verzinsungsrate des eingesetzten Kapitals von 7,5 %
- In einem nächsten Schritt wurden im Rahmen einer **Stromsparberatung** die Stromverbraucher im Haushalt erfasst und mögliche Einsparpotentiale identifiziert:
 - Die Küchengeräte (Kühlgefrierkombination, Herd, Backofen, Spülmaschine, Dampfgarer) sind unterschiedlich alt, bei der Anschaffung wurde jeweils die zum Zeitpunkt der Anschaffung effizientesten verfügbaren Geräte gekauft

- die Spülmaschine verfügt bereits über einen Warmwasseranschluss
- mit dem Anheben der Kühlschranktemperatur von 5 auf 7 °C und Nutzung des Temperaturgefälles im Kühlschrank können alle Lebensmittel ausreichend gekühlt werden und der Stromverbrauch reduziert werden
- die Kleingeräte wie Radio etc. sind nicht warm und weisen keine nennenswerten Stand-by-Verbräuche auf
- Der Keller ist bedingt durch seine Bauweise sehr feucht, daher kommt im Sommer ein Entfeuchter zum Einsatz; dieser hat eine Leistungsaufnahme von 700 W, wobei nicht klar ist wie lange lediglich der Ventilator läuft bzw. das Gerät die volle Leistung zieht; nächsten Sommer wird ein Strommessgerät angeschlossen um den Stromverbrauch zu erfassen
- Zusätzlich gibt es im Keller ein zweites Gefriergerät, das zur Lagerung von größeren Fleischbestellungen genutzt wird; in längeren Abwesenheiten (Sommerurlaub etc.) wird dieses Gerät immer ausgestellt; ein Strommessgerät wurde vor Ort gelassen und der genaue Stromverbrauch erfasst, geschätzt wird ein jährliches Einsparpotential von 200 kWh bei Austausch gegen ein neues, effizientes Gerät
- Waschmaschine und Trockner sollten, sobald sie kaputt gehen, gegen Geräte mit dem höchsten aktuellen Stromeffizienz ausgetauscht werden (Wärmepumpentrockner statt Kondensationstrockner)
- Die Pumpe des Heizungssystems läuft auf Stufe 2, diese könnten evtl. auf Stufe 1 reguliert werden, dann wäre zu Überprüfen ob ausreichend Druck für die Versorgung des Hauses vorhanden ist; auch wäre ein Umbau auf eine neue, effizientere Umlwälzpumpe möglich, wenn diese eingebaut wird ist ein hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage notwendig (vom Heizungsinstallateur durchführen lassen!); im Sommer werden die Pumpen bereits ausgeschaltet
- Die Beleuchtung ist fast komplett auf LED umgestellt, lediglich über dem Esstisch im Wohnzimmer und der Küche kommen momentan noch Halogenlampen zum Einsatz; im Esszimmer ist ein einfacher Austausch möglich (auf Dimmbarkeit der LED auf der Packungsangabe achten); bei den Halogenlampen in der Küche wurde bereits ein Austausch versucht, allerdings scheint der in der Leuchte eingebaute Transformator nicht kompatibel für geringere Lasten und müsste bei Umstellung auf LED ebenfalls ausgetauscht werden
- Nach der Bestandsaufnahmen wurde das ermittelte Einsparpotential von 200 kWh für geringinvestive, 400 kWh für investive Maßnahmen in **Szenario D** berücksichtigt; alle anderen Annahmen entsprechen Szenario A
 - Für die Einsparung von 600 kWh werden von dem Tool 542 € Investitionskosten berechnet, grob überschlagen reichen diese Investitionsmittel, um die angestrebten Einsparungen umzusetzen (Beleuchtungsumstellung auf LED, Heizungspumpeneinstellung auf Stufe 1, neuer Gefrierschrank für den Keller)
 - Über 20 Jahre gerechnet würde die Installation eines 2,5 kWh Speichers und das Einsparen von 600 kWh einen nominalen wirtschaftlichen Vorteil von 788 € gegenüber dem Referenzszenario (aktueller Stromverbrauch + 1,2 kWp PV-Anlage) erzielen, die interne Verzinsungsrate läge bei 0,8% liegen

Hinweis: Alle mit dem Wirtschaftlichkeitstool durchgeführten Berechnungen finden sich im Anhang dieses Protokolls (siehe Szenario A – D)



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

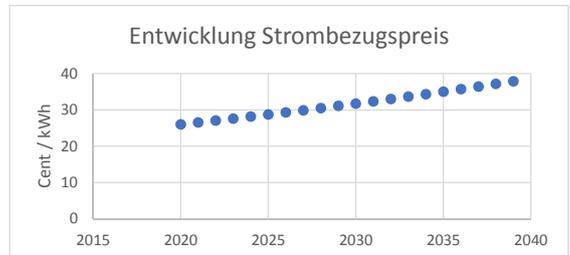
- Erwartete Strompreisentwicklung
Prognose des Öko-Instituts verwenden
- Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

	Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation mit einer PV-Bestandsanlage (1,2 kWp)								
Strombezugskosten (€)	(für 2287 kWh)	-	606 €	619 €	631 €	-	884 €	14.736 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 486 kWh)	-	15 €	15 €	15 €	-	15 €	291 €
Kosten:								- 14.445 €

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (1,2 kWp) und Batteriespeicher (2,5 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)								
Kosten PV (€)	(für 1,2 kWp)	-	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 2,5 kWh)	-	3.110 €	63 €	63 €	64 €	76 €	4.493 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 1913 kWh)	-	507 €	517 €	528 €	-	739 €	12.325 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 70 kWh)	-	2 €	2 €	2 €	-	2 €	42 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								-2.332 €

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (1,2 kWp) und Batteriespeicher (2,5 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (0 kWh))								
Kosten PV (€)	(für 1,2 kWp)	-	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 2,5 kWh)	-	3.110 €	63 €	63 €	64 €	76 €	4.493 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 1913 kWh)	-	507 €	517 €	528 €	-	739 €	12.325 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 70 kWh)	-	2 €	2 €	2 €	-	2 €	42 €
Summe:								- 16.776 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								-2.332 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (1,2 kWp) und Batteriespeicher (2,5 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)		
Internal Rate of Return für Investitionen:	- 11,0%	Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.
Ergebnis:		
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -2332 Euro.		
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -2418 Euro.		
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>		

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (1,2 kWp) und Batteriespeicher (2,5 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (0 kWh))		
Internal Rate of Return für Investitionen:	- 11,0%	Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.
Ergebnis:		
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -2332 Euro.		
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -2418 Euro.		
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>		



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

Prognose des Öko-Instituts verwenden

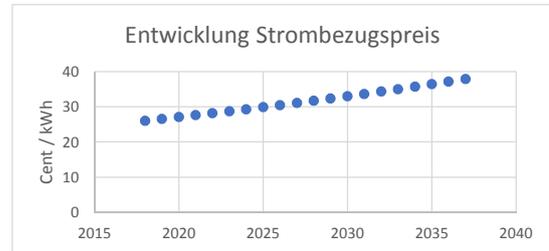
Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation ohne PV-Anlage							
Strombezugskosten (€)	(für 3000 kWh)	- 796 €	- 812 €	- 828 €	-	- 1.159 €	- 19.331 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	-	- €	- €
Kosten:							- 19.331 €

Szenario 1 (PV-Investition (5 kWp) und Batteriespeicher (5 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)							
Kosten PV (€)	(für 5,0 kWp)	- 6.650 €	- 134 €	- 136 €	- 137 €	-	- 9.608 €
Kosten Speicher (€)	(für 5,0 kWh)	- 6.340 €	- 128 €	- 129 €	- 131 €	-	- 9.160 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 669 kWh)	- 177 €	- 181 €	- 185 €	-	- 258 €	- 4.310 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 2539 kWh)	310 €	310 €	310 €	-	76 €	5.962 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							2.215 €

Szenario 2 (PV-Investition (5 kWp) und Batteriespeicher (5 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (0 kWh))							
Kosten PV (€)	(für 5,0 kWp)	- 6.650 €	- 134 €	- 136 €	- 137 €	-	- 9.608 €
Kosten Speicher (€)	(für 5,0 kWh)	- 6.340 €	- 128 €	- 129 €	- 131 €	-	- 9.160 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 669 kWh)	- 177 €	- 181 €	- 185 €	-	- 258 €	- 4.310 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 2539 kWh)	310 €	310 €	310 €	-	76 €	5.962 €
Summe:							- 17.116 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							2.215 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Investition (5 kWp) und Batteriespeicher (5 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)

Internal Rate of Return für Investitionen: **0,5%** Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 2215 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 677 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.

Szenario 2 (PV-Investition (5 kWp) und Batteriespeicher (5 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (0 kWh))

Internal Rate of Return für Investitionen: **0,5%** Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 2215 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 677 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

Erwartete Strompreisentwicklung

Prognose des Öko-Instituts verwenden

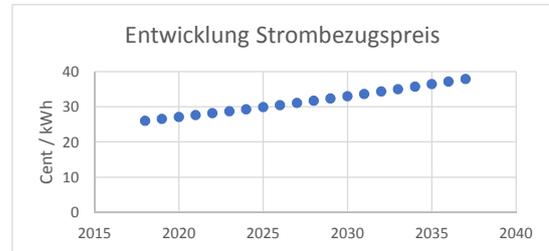
Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

Kenngroße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation ohne PV-Anlage							
Strombezugskosten (€)	(für 3000 kWh)	- 796 €	- 812 €	- 828 €	-	- 1.159 €	- 19.331 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	-	- €	- €
Kosten:							- 19.331 €

Szenario 1 (PV-Investition (5 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)							
Kosten PV (€)	(für 5,0 kWp)	- 6.650 €	- 134 €	- 136 €	- 137 €	-	- 9.608 €
Kosten Speicher (€)	(für 0,0 kWh)	- €	- €	- €	- €	-	- €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	-	- €
Strombezugskosten (€)	(für 1792 kWh)	- 475 €	- 485 €	- 495 €	-	- 693 €	- 11.550 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3787 kWh)	462 €	462 €	462 €	-	114 €	8.893 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							7.066 €

Szenario 2 (PV-Investition (5 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (0 kWh))							
Kosten PV (€)	(für 5,0 kWp)	- 6.650 €	- 134 €	- 136 €	- 137 €	-	- 9.608 €
Kosten Speicher (€)	(für 0,0 kWh)	- €	- €	- €	- €	-	- €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	-	- €
Strombezugskosten (€)	(für 1792 kWh)	- 475 €	- 485 €	- 495 €	-	- 693 €	- 11.550 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 3787 kWh)	462 €	462 €	462 €	-	114 €	8.893 €
Summe:							- 12.265 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):							7.066 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Investition (5 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)

Internal Rate of Return für Investitionen: **7,5%** Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 7066 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 5717 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.

Szenario 2 (PV-Investition (5 kWp) und Batteriespeicher (0 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (0 kWh))

Internal Rate of Return für Investitionen: **7,5%** Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).

Ergebnis:
 Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 7066 Euro.
 Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 5717 Euro.

Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.



BERATUNGSTOOL BATTERIESPEICHER

Wirtschaftlichkeitsberechnung



Ökonomische Rahmenbedingungen

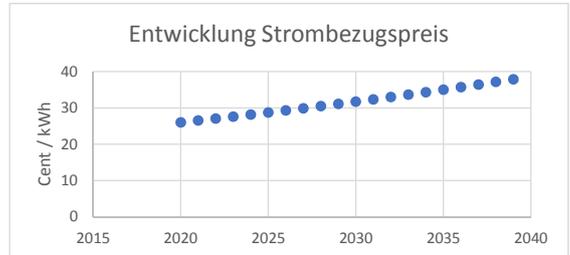
Erwartete Strompreisentwicklung
 Prognose des Öko-Instituts verwenden
 Aktuellen Bezugspreis und erwartete Preisentwicklung selber festlegen.

Jetziger Strombezugspreis (Cent/kWh)

Entwicklung Strompreis in % pro Jahr

Inflationsrate in % pro Jahr

Anfangsjahr für Berechnungen



Wirtschaftlichkeitsrechnung

	Kenngröße	Investitionen	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	...	Jahr 20	Summe
Referenzszenario beschreibt die jetzige Situation mit einer PV-Bestandsanlage (1,2 kWp)								
Strombezugskosten (€)	(für 2287 kWh)	-	606 €	619 €	631 €	-	884 €	14.736 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 486 kWh)	-	15 €	15 €	15 €	-	15 €	291 €
Kosten:								- 14.445 €

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (1,2 kWp) und Batteriespeicher (2,5 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)								
Kosten PV (€)	(für 1,2 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 2,5 kWh)	3.110 €	63 €	63 €	64 €	-	76 €	4.493 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 0 kWh)	- €	- €	- €	- €	-	- €	- €
Strombezugskosten (€)	(für 1913 kWh)	-	507 €	517 €	528 €	-	739 €	12.325 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 70 kWh)	-	2 €	2 €	2 €	-	2 €	42 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								-2.332 €

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (1,2 kWp) und Batteriespeicher (2,5 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (600 kWh))								
Kosten PV (€)	(für 1,2 kWp)	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Kosten Speicher (€)	(für 2,5 kWh)	3.110 €	63 €	63 €	64 €	-	76 €	4.493 €
Kosten für Einsparungen (€)	(für 600 kWh)	542 €	- €	- €	- €	-	- €	542 €
Strombezugskosten (€)	(für 1347 kWh)	-	357 €	364 €	372 €	-	521 €	8.682 €
Eigenverbrauchszuschuss (€)	(für 0 kWh)	-	- €	- €	- €	-	- €	- €
Einspeisevergütung (€)	(für 100 kWh)	-	3 €	3 €	3 €	-	3 €	60 €
Summe:								13.657 €
Wirtschaftlicher Vorteil / Nachteil gegenüber Referenzszenario (nominal):								788 €

Analyse der Ergebnisse

Szenario 1 (PV-Bestandsanlage (1,2 kWp) und Batteriespeicher (2,5 kWh) ohne Stromsparmaßnahmen)		
Internal Rate of Return für Investitionen:	- 11,0%	Die Investitionen sind nicht wirtschaftlich.
Ergebnis:		
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Verlust von -2332 Euro.		
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Verlust von -2418 Euro.		
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>		

Szenario 2 (PV-Bestandsanlage (1,2 kWp) und Batteriespeicher (2,5 kWh) mit Stromsparmaßnahmen (600 kWh))		
Internal Rate of Return für Investitionen:	0,8%	Reale Verzinsung des eingesetzten Kapitals (um Inflationsrate korrigiert).
Ergebnis:		
Unter nominaler Betrachtung ergibt sich ein Gewinn von 788 Euro.		
Inflationsbereinigt ergibt sich ein Gewinn von 322 Euro.		
<i>Anmerkung: Wirtschaftliche Betrachtung über einen Zeitraum von 20 Jahren, ohne Einberechnung der Restwerte. Weitere Details zur Berechnung hier.</i>		