

Solaranlage mieten oder kaufen?

Ein Vergleich der Wirtschaftlichkeit

15. Februar 2022

Kurzstudie im Auftrag der Enpal GmbH, Koppenstr. 8, 10243 Berlin

Autor: Prof. Dr. Andreas Löschel

Professor für Umwelt-/Ressourcenökonomik und Nachhaltigkeit an der Ruhr-Universität Bochum

ENERGIEGELADEN Prof. Dr. Andreas Löschel

Luisenstraße 31, D-68723 Schwetzingen

E-Mail: andreas@loeschel.eu

Internet: www.loeschel.eu

Zusammenfassung

Der Schlüssel zur Erreichung der deutschen Klimaziele ist der massive Ausbau der erneuerbaren Energien. 80 Prozent des Bruttostromverbrauchs sollen diese bis 2030 bereitstellen. Um die installierte Photovoltaik-Leistung um 20 Gigawatt jährlich zu erhöhen, sollten alle geeigneten Dachflächen genutzt werden. Wer auf seinem Dach Solarstrom erzeugen möchte, hat neben dem klassischen Kauf inzwischen die Möglichkeit, eine Solaranlage zu mieten. In dieser Kurzstudie soll anhand von Beispielrechnungen die Wirtschaftlichkeit einer Solaranlage zur Miete und zum Kauf untersucht werden. Dazu werden die Ausgaben und Einnahmen für beide Optionen „Kauf“ und „Miete“ einander gegenübergestellt und mit einem „Weiter so“-Szenario ohne Photovoltaik-Anlage verglichen. Dazu werden Annahmen über die Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten der PV-Anlage, die Strompreisentwicklung oder die Inflations- und Zinshöhe aus einschlägigen Studien abgeleitet (insb. VZ NRW, 2017, HTW, 2019, Fraunhofer, 2021). Neben einem Referenzszenario werden unterschiedliche Annahmen in Sensitivitätsanalysen untersucht. Grundsätzlich gilt: Unterm Strich sind die finanziellen Unterschiede zwischen den Optionen gering und hängen vor allem von den Annahmen und der Ausgestaltung der Angebote ab. Bereits bei relativ kleinen Änderungen der Annahmen verschiebt sich die Reihenfolge der Alternativen in der Wirtschaftlichkeitsrechnung. Entsprechend vorsichtig sind die Ergebnisse zu interpretieren.

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung kann allerdings etliche Unsicherheiten hinsichtlich des Entscheidungsfindungsprozesses der Haushalte nicht abbilden. Die verhaltensökonomische Forschung hat gezeigt, dass Menschen nicht ausschließlich finanzielle Einnahmen und Ausgaben gegeneinander abwägen. Der Vorteil der Nutzung einer PV-Anlage ist höher als in den Berechnungen erfasst, wenn Haushalte einen gesellschaftlichen Beitrag leisten wollen (soziale Präferenzen), etwas zum Umwelt- und Klimaschutz beitragen wollen (Umweltpräferenzen) oder ein inhärentes Unabhängigkeitsbedürfnis haben (Autonomiewunsch). Demgegenüber ist der Nachteil des Kaufs einer Anlage höher als in den Berechnungen erfasst, wenn Haushalte risikoscheu sind (Risikoaversion), wenn sie bei Risiken Verluste besonders stark wahrnehmen (Verlustaversion) oder bei Entscheidungen besonders kurzfristige Kosten beachten (Gegenwartsfokus). Aus verhaltensökonomischer Sicht sind beim Mietmodell mögliche persönliche Präferenzen zur Beibehaltung des Status quo ohne Solaranlage und mögliche Risiken in langfristigen Verträgen mit teils komplexer Ausgestaltung zu beachten. Auch entspricht der Eigentumsübergang der Anlage mit Verzögerung von 20 Jahren weniger dem Bedürfnis nach Autonomie. Da die finanziellen Unterschiede zwischen „Weiter so“, „Kauf“ und „Miete“ gering ausfallen, könnten diese verhaltensökonomischen Faktoren den Ausschlag geben, ob eine PV-Anlage überhaupt angeschafft wird und ob diese gekauft oder gemietet wird.

Einleitung

Deutschland steht vor großen Herausforderungen in der Klimapolitik. Nach dem Klimaschutzgesetz sollen die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 65 Prozent gegenüber 1990 gesenkt werden und spätestens im Jahr 2045 soll Deutschland treibhausgasneutral sein. Um dies zu erreichen, muss sich das Tempo der Emissionsminderungen gegenüber den letzten Jahren mehr als verdoppeln. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) beschreibt in seiner „Eröffnungsbilanz Klimaschutz“ vom Januar 2022, wie dies gelingen soll (BMWK, 2022). Bis 2030 soll der Großteil der nationalen Klimaschutzziele vom Stromsektor erbracht werden. Dieser hat nicht nur den größten Anteil an den Emissionen. Ihm fällt auch durch die notwendige Elektrifizierung anderer Sektoren und dem Bedarf an grünem Wasserstoff eine besondere Rolle auf dem Weg zur Klimaneutralität zu. Der Schlüssel zur Erreichung der Klimaziele ist der massive Ausbau der erneuerbaren Energien. 80 Prozent des Bruttostromverbrauchs soll bis 2030 aus erneuerbaren Energien kommen. Daraus leiten sich ambitionierte Ausbauziele im Umfang von 100 GW für Windenergie an Land, 30 GW für Wind auf See und 200 GW für Photovoltaik ab. Die installierte Photovoltaik-Leistung soll sich also in weniger als 10 Jahren mehr als verdreifachen. Um den dafür nötigen Zubau von mehr als 15 GW jährlich zu erreichen, sollen alle geeigneten Dachflächen genutzt werden. Neben der hohen Akzeptanz spielen bei diesen Zielsetzungen wirtschaftliche Erwägungen eine große Rolle: Strom aus erneuerbaren Energien ist mittlerweile oftmals die kostengünstigste Art der Stromerzeugung. Nach Informationen des Fraunhofer ISE (2021) produzieren große Solaranlagen Strom zu Kosten von 3-5,5 ct/kWh, kleine Dachanlagen zu Kosten im Bereich von 6-11,5 ct/kWh. Im Gegensatz dazu betrug - bedingt durch die hohen Brennstoffkosten für Steinkohle und Erdgas sowie die hohen CO₂-Preise im europäischen Emissionshandel - der durchschnittliche Strompreis an der Strombörse im Dezember 2021 mehr als 22 ct/kWh, nach etwa 5,3 ct/kWh zu Beginn des letzten Jahres 2021.

Perspektivisch dürften die Stromgestehungskosten für Solaranlagen sogar noch weiter sinken. Wer auf seinem Dach Solarstrom erzeugen möchte, hat neben dem klassischen Kauf inzwischen die Möglichkeit, eine Solaranlage zu mieten. In dieser Kurzstudie soll anhand von Beispielrechnungen die Wirtschaftlichkeit einer Solaranlage zur Miete und zum Kauf untersucht werden. Grundsätzlich gilt: Unterm Strich sind die finanziellen Unterschiede bei diesen Varianten gering und hängen vor allem von den Annahmen und der Ausgestaltung der Angebote ab. Selbst relativ kleine Änderungen der Annahmen verschiebt die Reihenfolge der Alternativen in der Wirtschaftlichkeitsrechnung. Wie die Verbraucherzentrale in ihrer Studie zur sinnvollen Dimensionierung von Photovoltaikanlagen für Prosumer treffend schreibt, ist zudem die finanzielle Vorteilhaftigkeit in jedem Fall nicht das einzige Kriterium für die Entscheidung eines Betreibers (VZ NRW, 2019). Selbst wenn in Bezug auf die

ausgelösten Kosten durch Mieten oder Kaufen beiden Optionen relativ gleichwertig sind, unterscheiden sich die Angebote etwa in den Informations- und Transaktionskosten und werden die Entscheidungen von der sozio-ökonomischen Situation (etwa Alter, Einkommen und Familienstand) und der eigenen Persönlichkeit beeinflusst (etwa dem Wunsch nach Autonomie in der Stromerzeugung, der Zeitpräferenz oder der Aversion gegen Risiken). Klimafreundliche Investitionen können etwa wegen Liquiditätsproblemen, Informationsasymmetrien oder kurzfristige Planung, Unachtsamkeit und Nichtinteresse unterbleiben, obwohl sie sich für den einzelnen Nutzer wirtschaftlich auszahlen würden (siehe z.B. Löschel et al., 2015, im Kontext der Schließung der Energieeffizienz-Lücke). So könnten Hausbesitzer, die gerne eine Solaranlage installieren möchten, große Investitionen für den Kauf einer Solaranlage – eventuell verbunden mit der Aufnahme eines Kredits – scheuen und stattdessen ein Komplettpaket mit fixen Mietpreisen bevorzugen. Oder sie scheuen mögliche Risiken in langfristigen Verträgen mit teils komplexer Ausgestaltung und verzichten auf eine PV-Anlage. Diese wichtigen Aspekte können nur kurz beleuchtet werden, sie spielen aber bei der Entscheidung für eine PV-Anlage und zwischen Miete und Kauf eine entscheidende Rolle. Verhaltensökonomische Erwägungen könnten zum Beispiel erklären, warum oft keine PV-Anlage installiert wird, obwohl sich dies üblicherweise „lohnt“. Oder warum ein Großteil der neu installierten Solaranlagen auf Gebäuden mit einem Batteriespeicher installiert werden, obwohl sich dies üblicherweise noch nicht „lohnt“ (HTW, 2019). Da die finanziellen Unterschiede zwischen „Kauf“ und „Miete“ gering ausfallen, dürften diese verhaltensökonomischen Faktoren den Ausschlag geben, ob eine PV-Anlage angeschafft wird und ob diese gekauft oder gemietet wird.

Für den Vergleich der Wirtschaftlichkeit einer Solaranlage zur Miete und zum Kauf werden die Ausgaben und Einnahmen für beide Optionen einander gegenübergestellt, also die Anfangsausgaben und die laufenden Ausgaben dem bewerteten Eigenstromverbrauch und der Einspeisevergütung. Neben dem Vergleich zwischen einer Photovoltaik-Anlage zum Kauf oder zur Miete stellt sich die Frage nach der generellen Wirtschaftlichkeit einer Photovoltaik-Anlage im Vergleich zu einem „Weiter so“-Szenario ohne die Investition in eine Photovoltaik-Anlage.

Vergleich der Alternativen

Dieser Kurzstudie und den Ergebnissen zur Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Alternativen liegen eine Reihe unterschiedlicher Annahmen zugrunde. Es werden Annahmen über die Strompreisentwicklung, die Inflations- und Zinserwartung sowie die Betriebs- und Wartungskosten der PV-Anlage diskutiert und Zahlungsströme durch einen kalkulatorischen Zins miteinander aufgerechnet. Diese Wirtschaftlichkeitsrechnung kann aber etliche Unsicherheiten hinsichtlich des Entscheidungsfindungsprozesses der Haushalte nicht abbilden. Beim Vergleich der Alternativen „Weiter so“, „Miete“ oder „Kauf“ könnten sich so in etlichen Fällen andere Vorteilhaftigkeiten bei der individuellen Kosten-Nutzen-Abwägung ergeben. Die verhaltensökonomische Forschung hat gezeigt, dass Menschen nicht wie ein „Homo oeconomicus“ im engeren Sinne ausschließlich finanzielle Einnahmen und Ausgaben gegeneinander abwägen. Stattdessen spielen möglicherweise auch Faktoren, wie etwa:

- der Wille einen Betrag zum Klimaschutz zu leisten,
- der Wunsch nach Autonomie,
- die Aversion gegen Unsicherheit und finanzielle Verluste
- oder die unterschiedlich starke Wahrnehmung verschiedener Zahlungsströme

eine Rolle in der Entscheidung in eine PV-Anlage zu investieren, und ob diese gekauft oder gemietet werden soll. Diese Faktoren und ihre Beeinflussung der individuellen Kosten-Nutzen-Abwägung sollen kurz erläutert werden. Tabelle 1 fasst die Abwägungen zusammen und stellt farblich dar, wie die Faktoren die PV-Anlagen-Entscheidung beeinflussen.

Die Gegenüberstellung von Einnahmen und Ausgaben nimmt an, dass der Haushalt beide Finanzflüsse gleich gewichtet und Risiken rational abwägt. Die Forschung hat diese Annahmen im allgemeinen Fall bereits widerlegt, sodass möglicherweise auch für den speziellen Fall der PV-Anlagen-Investitionen ein anderes Entscheidungskalkül relevant ist. So zeigt der repräsentative deutsche Haushalt eine Aversion gegen Risiken (Werthschulte und Löschel, 2021). Risiken und Unsicherheit bestehen prinzipiell in jeder Entscheidung, auch im „Weiter so“-Szenario, sind aber am stärksten beim Kauf einer PV-Anlage ausgeprägt. Neben dem Risiko der Strompreisentwicklung, sind hier Kapitalmarktrisiken, politische Risiken bezüglich der Einspeisevergütung und vor allem Risiken für notwendige Reparatur- und Wartungsarbeiten zu beachten. Diese Risiken kann das Mietmodell zum Teil abmildern. Allerdings bestehen hier langfristige Verträge mit teils komplexer Ausgestaltung und entsprechend spielt die Ausgestaltung im Einzelnen eine herausragende Rolle. Bei geeigneter Vertragsgestaltung dürfte das Mietmodell risiko-aversen Personen entgegenkommen.

Hinzu kommt die Aversion gegenüber Verlusten. Menschen gewichten Einnahmen und Ausgaben nicht gleich, sondern gewichten Ausgaben stärker in ihrem Entscheidungskalkül. Auch dies spricht sehr deutlich gegen das Kaufmodell. Die Verlustaversion erklärt aber auch eine Verzerrung hin zum Status quo. Individuen bleiben gerne im Business-As-Usual-Szenario um mögliche Verluste zu vermeiden. So erklärt die Verlustaversion auch das Ausbleiben notwendiger Energieeffizienzinvestitionen, auch wenn dadurch höhere Einnahmen möglich wären (Hertel, 2019).

Weiterhin gibt es eine unterschiedliche Wahrnehmung der verschiedenen Zahlungsströme. So werden möglicherweise aufgrund eines Gegenwartsfokus sofortige Investitionskosten stärker wahrgenommen als die zukünftigen Einnahmen und Ausgaben. Ein solcher Gegenwartsfokus spielt beispielsweise im Stromverbrauch und bei Energieeffizienzinvestitionen eine große Rolle. Menschen mit Gegenwartsfokus würden somit eher nicht in PV-Anlagen investieren, tun dies aber eher in dem Mietmodell mit geringeren sofortigen Kosten als im Kaufmodell. Nach eigenen Ergebnissen besitzen 15 Prozent der deutschen Bevölkerung einen solchen Gegenwartsfokus (Werthschulte und Löschel, 2021).¹

Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass Menschen pro-soziale Präferenzen haben. Dabei beziehen sie nicht nur Nutzen auch aus dem Wohlbefinden anderer, sondern auch aus dem Akt zu diesem Wohlbefinden beizutragen. Dies wird als unreiner Altruismus bezeichnet, und erklärt beispielsweise die Existenz von freiwilligen CO₂-Ausgleichen (Kesternich, Löschel und Römer, 2014). Ein solcher unreiner Altruismus spricht auch für die Investition in eine PV-Anlage, sowohl per Miet- als auch per Kaufmodell. Man leistet selbst einen Beitrag zum Klimaschutz und zur Energiewende, was sich positiv auf die gesamte Gesellschaft auswirkt.

Ein weiterer Faktor, der neben der Ausgaben-Einnahmen-Rechnung, für die Investition in eine PV-Anlage spricht, ist der Wunsch nach Autonomie. Studien zeigen, dass Menschen ein inhärentes Bedürfnis nach Unabhängigkeit haben und auch bereit sind, für diese Unabhängigkeit mehr zu zahlen. Auch bei der Entscheidung den Stromanbieter zu wechseln, gibt es Belege für den Einfluss des Wunsches nach Autonomie (Feldhaus et al., 2022). Ein solcher Wunsch nach Autonomie steht klar im Zusammenhang mit dem Wunsch nach selbsterzeugtem Strom und könnte somit die PV-Anlagen-Investition erklären. Autonomie-Präferenzen sprechen eher für das Kauf- als das Mietmodell. Die PV-Anlage wäre sofort im eigenen Besitz. Diese Logik gilt besonders dann, wenn ausreichend Eigenkapital vorhanden ist und auf eine Fremdkapitalfinanzierung verzichtet werden kann. Beim Mietmodell geht die

¹ Die aktuelle Literatur belegt eine Konzentrationsverzerrung der Individuen. Eine einmalige, konzentrierte Zahlung wird größer wahrgenommen als derselbe Betrag in viele kleinere Zahlungen aufgeteilt (Dertwinkel-Kalt, 2019). Eine solche Konzentrationsverzerrung würde eine Bevorzugung des Mietmodells der PV-Anlage über das Kaufmodell erklären.

Anlage später in den persönlichen Besitz über und trägt dementsprechend erst dann voll zum Autonomiegefühl bei.

Diese verhaltensökonomischen Faktoren und ihr Einfluss auf die Entscheidung eine Solaranlage zu mieten oder zu kaufen bedürfen weiterer Untersuchungen. Die oben genannten Zusammenhänge leiten sich aus bestehender Forschung ab, sind aber bisher nicht konkret empirisch belegbar. Um besser zu verstehen, warum Menschen eine Solaranlage mieten oder kaufen, und wie bestehende Barrieren zu beiden Modellen weiter abgebaut werden können, ist die empirische Überprüfung der Hypothesen notwendig. Andernfalls werden mögliche Kundengruppen nicht, oder sogar auf die falsche Art, angesprochen, und mögliche Potenziale des Kauf- und Mietmodells einer Solaranlage bleiben ungenutzt. Eine erste Einordnung ist aber durchaus möglich dazu, wie die verschiedenen nicht berücksichtigten Entscheidungsfaktoren die Vorteilhaftigkeit beeinflussen. In Tabelle 1 steht „grün“ für eine höhere Vorteilhaftigkeit der Variante gegenüber der durchgeführten Wirtschaftlichkeitsrechnung, „gelb“ für eine Unveränderte oder unklare Auswirkung und „rot“ für eine Verschlechterung der Kosten-Nutzen-Abwägung für die jeweilige Entscheidungsvariante. Es wird deutlich, dass die Vorteilhaftigkeit des „Weiter so“-Szenarios durch die Fokussierung auf rein finanzielle Entscheidungsfaktoren überschätzt wird, während die positiven Aspekte der Entscheidung für eine Solaranlage unterschätzt werden. Insbesondere das Mietmodell hat bei einer entsprechenden Ausgestaltung des Mietvertrags viele nicht erfasste nicht-monetäre Vorzüge. Für viele Entscheider dürfte sich die Vorteilhaftigkeiten insofern anders darstellen als die Berechnungen das ausweisen.

Tabelle 1: Verhaltensökonomischer Vergleich der Alternativen jenseits der Zahlungsströme

Entscheidungsalternativen	Weiter so	Kauf einer Solaranlage	Miete einer Solaranlage
	keine Investition in Solaranlage Unsicherheit über Energiepreise	hohe Anfangsinvestitionen Reparaturrisiko	regelmäßige Mietzahlungen Übergang nach 20 Jahren (wenn gewünscht)
Risikoaversion			
Verlustaversion			
Gegenwartsfokus			
Sozialpräferenz			
Umweltpräferenz			
Autonomiewunsch			

Ausgangslage

Für das Fallbeispiel betrachten wir einen Musterhaushalt, der die Investition in eine PV-Anlage mit einem Batteriespeicher erwägt. Die Zahlen zu diesen Berechnung kommen insbesondere aus der Studie der HTW Berlin für die Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen aus dem Jahr 2019 (HTW, 2019), der Studie der Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen zu Pachtmodellen für Photovoltaik aus dem Jahr 2017 (VZ NRW, 2017) und der Studie des Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme zu den Stromgestehungskosten von erneuerbaren Energien aus dem Jahr 2021 (Fraunhofer ISE, 2021).

In unserem Beispiel hat die PV-Anlage eine installierte Leistung von 8,1 Kilowatt (kWp), der durchschnittlichen Anlagengröße im Enpal-Portfolio.² Dazu kommt ein Batteriespeicher mit einer Kapazität von 10 kWh, um den Solarstrom vom eigenen Dach auch abends und nachts nutzen zu können. Eine Familie mit zwei Erwachsenen und zwei Kindern verbraucht durchschnittlich zwischen

² Die durchschnittliche Größe von PV-Dachanlagen, mit Errichtungsort gemäß Definition Bundesnetzagentur: „Bauliche Anlagen (Hausdach, Gebäude und Fassade)“, kleiner gleich 30 kWp betrug im Jahr 2020 9,2 kWp, 2021: 9,9 kWp. Quelle: Auskunft des BSW Solar nach Bundesnetzagentur, https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEG_Registerdaten/start.html

4.800 und 5.500 kWh Strom pro Jahr. Hier wird der „typische Stromverbrauch“ im „Familie Mustermann“-Szenario von HTW (2019) von 4.500 kWh unterstellt. Die erzeugte Strommenge und die Eigenverbrauchsquote sind zentrale Faktoren der Wirtschaftlichkeitsrechnung. Hier soll HTW (2019) und VZ NRW (2017) folgend von einem jährlichen Anlagenertrag von 960 kWh Produktion pro kWp Leistung ausgegangen werden. Dieser Wert für eine PV-Anlage entspricht mit gegebenem Nutzungsprofil (werktags viel zu Hause bzw. regelmäßiger mittäglicher Stromverbrauch) und einem PV-Generator, der um 35° nach Süden ausgerichtet ist, etwa dem Standort Stadt Bochum. Stromernten können mit dem Photovoltaic Geographical Information System der gemeinsamen Forschungsstelle der EU-Kommission ermittelt werden (unter https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#PVP).

Die Solaranlage liefert in unserem Beispiel 7.776 kWh jährlichen Stromertrag. Dieser Solarstrom ist besonders dann vorteilhaft, wenn er den Fremdbezug von Strom ersetzt. Der dann eingesparte Strompreis ist mit mehr als 34 Cent/kWh für den November 2021³ deutlich größer als eine mögliche Einspeisung in das Netz mit einer gesetzlich garantierten festen Einspeisevergütung von etwa 7 Cent/kWh gemäß EEG 2021 bei Inbetriebnahme im November 2021⁴. Der Vorteil der Eigenversorgung gegenüber der Netzeinspeisung bei Gleichzeitigkeit von Strombedarf und Erzeugung beträgt für den November 2021 etwa 27 Cent/kWh. In den Rechnungen ergeben sich nur etwa 25 Cent/kWh, da vom durchschnittlichen Strompreis von 32,16 Cent/kWh für das Jahr 2021 nach der Strompreisanalyse des BDEW ausgegangen wird.⁵ Die Eigenverbrauchsquote kann mit dem Unabhängigkeitsrechner der HTW Berlin berechnet werden (siehe <https://pvspeicher.htw-berlin.de/unabhaengigkeitsrechner/#>). Für unser Beispiel (Jahresstromverbrauch 4.500 kWh, Photovoltaikleistung 8.1 kWp und nutzbare Speicherkapazität 10 kWh) ergibt sich ein Eigenverbrauchsanteil von 45,5 %, d.h. fast die Hälfte des Solarstroms kann vom Haushalt direkt verbraucht (19,0 %) oder zur Ladung des Batteriespeichers genutzt werden (26,5 %). Der Rest, also 54,5 %, werden in das Netz eingespeist. Der Anteil des Eigenverbrauchs sinkt mit steigender PV-Leistung. Es ergibt sich im Beispiel ein Autarkiegrad von 76,1 %. Das bedeutet, dass mehr als Dreiviertel des Stromverbrauchs durch das Photovoltaik-Speichersystem abgedeckt wird, entweder durch gleichzeitigen Direktverbrauch (35,1 %) oder durch Batterieentladung (41,0 %). Lediglich 23,9 % des Stromverbrauchs werden als Reststrombedarf aus dem Netz bezogen. Die Ausgangslage ist in Tabelle 2 und im Anhang dargestellt.

³ Siehe <https://www.verivox.de/strom/verbraucherpreisindex>

⁴ Siehe <https://www.solarwirtschaft.de/datawall/uploads/2021/02/EEG-Verguetungsuebersicht-Basis.pdf>, abgerufen am 24.1.2022.

⁵ Siehe <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse/>, abgerufen am 30.1.2022. Dieser Strompreis enthält den Grundpreis für Strom, der in jedem Fall gezahlt werden muss. Allerdings bestimmt die Höhe des Stromverbrauchs das Verhältnis von Arbeitspreis und Grundpreis und eine Trennung ist deshalb schwer möglich (siehe Wertschulte und Löscher, 2021). Es wird deshalb mit dem durchschnittlichen Bruttostrompreis für Haushaltskunden gerechnet. Die Sensitivitätsanalysen adressieren Unsicherheiten bezüglich des Strompreises.

Tabelle 2: Ausgangslage im Fallbeispiel

Leistung der Solaranlage in kWp	8,1
Leistung des Speichers in kWh	10
Stromertrag der Anlage in kWh ^a	7.776
Stromverbrauch in kWh ^b	4.500
Eigenverbrauchsquote in % ^c	45,5
Autarkiegrad in % ^c	76,1
jährliche Netzeinspeisung in kWh	4.238
jährlicher Reststromverbrauch in kWh	1.076
Strompreis in Cent ^d	32,16
Einspeisevergütung in Cent/kWh ^e	7,03

^a Mit jährlichem Anlagenenertrag von 960 kWh Produktion pro kWp Leistung nach HTW (2019) und VZ NRW (2017).

^b „Typischer Stromverbrauch“ im „Familie Mustermann“-Szenario von HTW (2019).

^c Unabhängigkeitsrechner der HTW Berlin, <https://pvspeicher.htw-berlin.de/unabhaengigkeitsrechner/#>

^d Durchschnittlicher Strompreis für das Jahr 2021 nach Strompreisanalyse des BDEW unter <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse/>, abgerufen am 30.1.2022.

^e Nettowert bei Inbetriebnahme 11/2021, <https://www.solarwirtschaft.de/datawall/uploads/2021/02/EEG-Verguetungsuebersicht-Basis.pdf>.

Ausgaben

Um die Kosten der Installation einer PV-Anlage zu ermitteln, sind neben den Investitionskosten auch Betriebs- und Reparaturkosten zu berücksichtigen. Die Investitionskosten für eine Photovoltaik-Anlage sind in den letzten Jahren stark gesunken. Fraunhofer (2021) geht von spezifischen Anlagekosten bei einer aktuellen PV-Kleinanlage auf dem Dach (kleiner 30 kWp) im Jahr 2021 zwischen 1.000 und 1.600 €/kWp ohne Mehrwertsteuer aus. Die mittleren Investitionskosten einschließlich Mehrwertsteuer betragen nach einer Auswertung der Angebotspreise im Zeitraum 1/2017 und 9/2018 in Nordrhein-Westfalen etwa 1.591 Euro/kWp laut HTW (2019), also ca. 12.887 Euro für die Anlage mit 8.1 kWp. Dies deckt sich mit den Angaben, die die Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen auf ihrer Homepage

macht (2020). Dort wird ein Preis von 13.203 Euro brutto angenommen.⁶ Die aktuellen Preise (Januar 2022) liegen mitunter deutlich höher, weil insbesondere Lieferengpässe durch die Corona-Krise die Preise treiben. Beim Anbieter E.ON beispielsweise kostet bereits eine kleinere Anlage mit nur 7 kWp Leistung mindestens 14.800 Euro inkl. Montage.⁷ Im Referenzszenario werden die mittleren Anschaffungskosten aus Fraunhofer (2021) genutzt.

Laut dem Bundesverband für Energiespeicher Systeme werden nahezu 70% aller PV Anlagen mit einem Heimspeicher verbaut (BVES, 2021). Dabei wächst die Speichergöße stetig auf zuletzt 8,5 kWh im Jahr 2020. Die Anschaffungskosten für einen Stromspeicher sinken pro Kilowattstunde für größer dimensionierte Systeme. Ein Stromspeicher mit einer Leistung von 10 kWh kostet etwa 13.000 Euro brutto, so die Angaben der HTW Berlin (2019).⁸ Etwas günstigere Zahlen finden sich bei der Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen. Diese geht mit Stand August 2021 von Preisen einschließlich Umsatzsteuer und Installation zwischen 800 und 1.300 Euro pro Kilowattstunde aus.⁹ Laut Fraunhofer (2021) betragen die spezifischen Anlagenkosten für einen Batteriespeicher für PV-Kleinanlagen (kleiner 30 kWp, PV-Leistung zu Batteriekapazität 1:1) zwischen 500 und 1200 Euro pro kWh Nutzkapazität inklusive Installationskosten ohne Mehrwertsteuer. Es gibt in der Realität sehr unterschiedliche Verhältnisse zwischen PV-Anlage und Batteriespeicher. Die Annahme eines Speichers von 10 kWh passt zu dem typischen 1:1 Verhältnis für PV-Kleinanlagen. Im Referenzszenario werden die mittleren Anschaffungskosten für Batteriespeicher des Segmentes aus Fraunhofer (2021) genutzt.

Die Anschaffungskosten bilden indes nur einen Teil der Gesamtkosten für eine Photovoltaik-Anlage über die Laufzeit ab. Es kommen noch Betriebskosten für Wartung, Reparatur, Service und Versicherung hinzu. Zu diesen Kosten finden sich sehr unterschiedliche Angaben in den verschiedenen Studien. Fraunhofer (2021) geht von fixen Betriebsausgaben von 26 Euro/kWp netto aus. HTW (2019, S. 10) veranschlagt jährliche Betriebskosten inklusive der Reparaturkosten für die PV-Anlage von etwa 210 Euro, die sich aus fixen Betriebskosten von 148 Euro zuzüglich Zählerkosten von etwa 21 Euro (da ein Erzeugungszähler bereits ab 8 kW gefordert wird) und leistungsabhängigen Kosten von 5 Euro pro kW zusammensetzen. Welche Kosten genau davon abgedeckt werden, wird allerdings nicht ganz klar. Dabei wird von der HTW auf Rüter et al. (2018) und Reifschneider et al. (2017) verwiesen. Auf Basis einer umfassenden Datenerhebung veranschlagen Reifschneider et al. (2017, S. 36) die Betriebskosten

⁶ Siehe Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen, Stand: 07.07.2020, <https://www.verbraucherzentrale.de/aktuelle-meldungen/energie/was-kostet-eine-photovoltaikanlage-49155>, abgerufen am 24.1.2022.

⁷ Siehe Kosten für schlüsselfertige Solaranlage laut E.ON (inkl. MwSt. und Montage) unter <https://www.eon.de/de/pk/solar/photovoltaik-kosten.html>, abgerufen am 24.1.2022.

⁸ Siehe HTW (2019), S. 27.

⁹ Siehe <https://www.verbraucherzentrale.nrw/wissen/energie/lohnensich-batteriespeicher-fuer-photovoltaikanlagen-24589>, Stand: 03.08.2021, abgerufen am 24.1.2022.

für eine Anlage mit 10,7 kW Leistung auf ca. 400 Euro pro Jahr, worin Zählermiete (10 Euro), Versicherung (60 Euro) sowie technische Betriebsführung in Form von Wartung, Inspektion, Fernüberwachung (180 Euro) und wirtschaftliche Betriebsführung in Form der Steuerberatung (150 Euro) inkludiert sind. Der Austausch defekter Bestandteile wie z.B. des Wechselrichters wird nicht näher thematisiert. Dieser Betrag liegt deutlich höher als die Betriebskosten für dieselbe Anlagengröße in HTW (2019). Allerdings bezieht sich die Auswertung der Befragung von Anlagenbetreibern zu ihren Betriebskosten auf Anlagengrößen pauschal bis zu 30 kW, ohne dass kleinere Anlagen differenziert betrachtet werden. Es wird deutlich, dass die Betriebskosten generell sehr unterschiedlich ausfallen und dadurch auch die Wirtschaftlichkeitsrechnung gedreht werden kann. Es wird davon ausgegangen, dass Wechselrichterkosten in den Betriebskosten nach HTW (2019) und Fraunhofer (2021) enthalten sind.

Das komplexe Bild bezüglich der anzunehmenden Betriebskosten wird durch weitere Beobachtungen verstärkt. Online-Expertenportale wie [energie-experten.org](https://www.energie-experten.org) beziffern die Kosten für die Wartung der Solaranlage in Form von Instandhaltungskosten, Reinigungskosten, Betriebskosten und Kosten für Versicherungen einer typischen Solaranlage für ein Einfamilienhaus auf 150 bis 250 Euro pro Jahr.¹⁰ Die Wartungskosten werden dabei auf pauschal etwa 110 Euro pro Jahr geschätzt. Die Versicherung (Betreiber-Haftpflicht und Allgefahren-Versicherung) wird in Vergleichsportalen mit ca. 100 Euro im Jahr angegeben.¹¹ Im Allgemeinen sind Photovoltaik-Anlagen zwar wartungsarm, aber bei Sturmschäden, Blitz und Überspannung, Schneedruck oder Brand kann dennoch ein Schadensfall eintreten. Wer das Risiko eingehen will, kann zwar auf eine Versicherung verzichten, hat dann aber auch keinen Schutz im Schadensfall. Das Monitoring und Energiemanagement der Anlage wird in Online-Expertenportalen mit ca. 50-70 Euro pro Jahr veranschlagt (Mittelwert: 60 Euro).¹² Mit Monitoring und einer Smart-Home-App ist jederzeit ersichtlich, was die Anlage produziert, was sie ins Netz einspeist und wie viel man verbraucht. Fehler und Störungen werden sofort erkannt und können zeitnah behoben werden. Hierauf kann verzichtet werden, dann besteht aber auch keine Überwachung der Solaranlage. Auch der Ersatz des alten Stromzählers durch einen Smart Meter (2-Wege-Zähler), der einmalig rund 250,00 Euro kostet, wird nicht weiter berücksichtigt.¹³ Die Unsicherheiten bezüglich der Betriebskosten sind also groß. In den Rechnungen werden jährliche Betriebskosten aus den Studien HTW (2019) und Fraunhofer (2021) übernommen, also 210 Euro („HTW“) und 251 Euro („Fraunhofer“).

¹⁰ Siehe <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/photovoltaik/betrieb/wartung#c23080>

¹¹ <https://www.photovoltaikversicherung-vergleichen.de/photovoltaikversicherungen-vergleichen-vergleichsrechner.html>

¹² <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/photovoltaik/betrieb/wartung#c23080>

¹³ Die neuen intelligente Messsysteme mit zertifiziertem Smart Meter Gateway haben auch deutlich höhere Messentgelte. Die Preisobergrenze liegt hier bei 100 € im Jahr.

Anders als Photovoltaik-Anlagen, die über 20 bis 30 Jahre und mehr gute Erträge erwirtschaften können, und deren realistische effektive Nutzungsdauer entsprechend hier mit 25 bzw. 30 Jahre angesetzt wird, hat ein Stromspeicher eine kürzere Nutzungsdauer von etwa 10 bis 15 Jahren. Viele Hersteller garantieren eine Lebensdauer für den Solarspeicher von 10 Jahren. Der Bundesverband Energiespeicher hält eine längere Nutzung für unproblematisch und rechnet mit 15 Jahren Nutzungsdauer bei Kleinspeichern für Wohnhäuser.¹⁴ Verbraucherorganisationen wie die Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen sowie Finanztip sprechen von 10 bis 15 Jahren Lebensdauer für den Heimspeicher.¹⁵ In HTW (2019) wird angenommen, „dass der Speicher nach einem Zeitraum von 13 Jahren getauscht werden muss und eine Ersatzinvestition in Höhe von 50% der Ausgangskosten fällig ist.“¹⁶ Fraunhofer (2021) nimmt für den Batteriespeicher für die PV-Dach Kleinanlage (kleiner 30 kWp, 1:1) eine Lebensdauer von 15 Jahren und Batterieersatzkosten von 40-50% der Anfangsinvestition an. Für den Batteriespeicher werden wie in Fraunhofer (2021) Batterieersatzkosten von 45 % der Anfangsinvestition nach 15 Jahren und keine Betriebskosten angenommen. Ein weiterer Kostenbestandteil ist der Austausch eines defekten Wechselrichters. Dieser wandelt den Gleichstrom der Photovoltaik-Anlage in Wechselstrom um, der für das Netz gebraucht wird. Er muss in der Regel nach etwa 10 bis 15 Jahren ersetzt werden. Ein Wechselrichter für eine Photovoltaik-Anlage mit 8,1 kWp Leistung kostet derzeit ca. 1.000 Euro. Hinzu kommen ca. 1.000 Euro für die Montage.¹⁷ Es wird von einer Lebensdauer von 15 Jahren ausgegangen. Diese zusätzlichen Wechselrichterkosten werden in der Sensitivitätsanalyse „Wechselrichter“ betrachtet.

Steuerliche Besonderheiten sollen im Folgenden nicht besonders betrachtet werden. Alle Berechnungen werden dem Beispiel von HTW (2019) folgend mit Bruttobeträgen einschließlich Umsatzsteuer erstellt. Dies wird auch bei der Verbraucherzentrale (2017) so gehandhabt, da in dieser Betrachtung von einer Besteuerung nach der Kleinunternehmerregel ausgegangen wird. Mit der Kleinunternehmerregelung ist z.B. beim Kauf der PV-Anlage der Bruttobetrag zu zahlen. Wer mit der PV-Anlage der Regelbesteuerung unterliegt, kann dagegen die PV-Anlage umsatzsteuerlich als

¹⁴ Siehe https://www.bves.de/wp-content/uploads/2016/03/FactSheet_echemisch_Li_Ionen.pdf, zuletzt abgerufen am 24.1.2022.

¹⁵ Siehe <https://www.verbraucherzentrale.nrw/wissen/energie/lohn-sich-batteriespeicher-fuer-photovoltaikanlagen-24589#:~:text=Photovoltaikanlage%20in%20Kilowatt-,Wie%20viele%20Jahre%20h%C3%A4lt%20ein%20Batteriespeicher%3F,von%2010%20bis%2015%20Jahren> und <https://www.finanztip.de/photovoltaik/stromspeicher/>, zuletzt abgerufen am 24.1.2022.

¹⁶ Siehe HTW (2019), S. 27.

¹⁷ Siehe <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/photovoltaik/photovoltaikanlage/kosten>, zuletzt abgerufen am 2.2.2022.

Unternehmen führen und z.B. die Umsatzsteuer aus den Anschaffungskosten der PV-Anlage erstattet bekommen. Allerdings ist letzteres mit etwas höherem administrativen Aufwand verbunden.¹⁸

Bei den Wirtschaftlichkeitsrechnungen werden nicht nur alle verursachten Ausgaben und Einnahmen unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer¹⁹ einander gegenübergestellt, also die Investitionen und die laufenden Einnahmen und Ausgaben, sondern es ist auch ein kalkulatorischer Zins zu berücksichtigen. Dadurch werden zeitlich unterschiedlich anfallende Einzahlungs- und Auszahlungsströme über den gesamten Betrachtungszeitraum erfasst. Die Vergleichbarkeit wird dadurch erreicht, dass alle Zahlungsströme auf den heutigen Zeitpunkt abgezinst werden und so Gegenwartswerte ermittelt werden.

Der kalkulatorische Zins kann unterschiedliche Gesichtspunkte erfassen. In HTW (2019, S. 14) wird der kalkulatorische Zinssatz mit 2 % beziffert. Es wird eine Inflationsrate von ebenfalls 2 % angenommen, so dass der kalkulatorische Zins lediglich einen Inflationsausgleich sichert. Von einer Fremdkapitalfinanzierung wird abgesehen und von 100 % Eigenkapitalfinanzierung ausgegangen. Die Verbraucherzentrale (2017, S. 13) rechnet bei einer vollen Eigenkapitalfinanzierung mit Opportunitätskosten durch Verzicht auf eine alternativ möglich Anlage von 1 %. Für einen Photovoltaik-Kredit für Hauseigentümer verlangen Banken nach Angaben von Finanztest einen Zinssatz von ca. 2,82% bis 3,94%.²⁰ Andererseits erbrachten Investitionen in den globalen Aktienmarkt laut Finanztest im Schnitt der letzten 30 Jahre einen Wertzuwachs von etwa 7% pro Jahr.²¹ Auch Opportunitätskosten spielen bei Investitionsentscheidungen eine Rolle. Bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung in Fraunhofer (2021, S. 13) werden Diskontierungssätze genutzt, die durch marktübliche Kapitalkosten ermittelt werden und anteilig Fremdkapitalzinsen und Eigenkapitalrenditen berücksichtigen. Marktübliche Zinssätze und Renditeerwartungen werden in nominalen Werten ermittelt und dann unter Berücksichtigung einer angenommenen Inflationsrate von 1,2 % pro Jahr in reale Werte umgerechnet. Aus der vom Investor angestrebten Eigenkapitalrendite und dem Finanzierungsverhältnis kann der durchschnittlich gewichtete Kapitalkostensatz (WACC; Weighted Average Cost of Capital) abgeleitet werden. Für PV Dach-Kleinanlagen und Batteriespeicher wird von einem Fremdkapitalanteil von 80 %, einem Fremdkapitalzins von 3 % (da z.B. Förderkredite zur Verfügung stehen) und einer

¹⁸ Weitere Informationen zu steuerlichen Aspekten finden sich z.B. hier <https://www.pv-magazine.de/2021/04/01/steuertipps-umsatzsteuerpflicht-oder-kleinunternehmer/>.

¹⁹ Der Restwert bzw. Liquidationserlös am Ende des Betrachtungszeitraums ist zu berücksichtigen. Da dies weit in der Zukunft liegt und daher im Vergleich zur Investition relativ unbedeutend ist, wird dieser Aspekt oft ausgeblendet. In den Berechnungen werden die Kosten über 25 Jahre und 30 Jahre betrachtet und ein möglicher Restwert vernachlässigt.

²⁰ Siehe Finanztest Nr. 3/2021, unter <https://www.test.de/Solaranlage-Gute-Renditen-sind-moeglich-und-so-gehts-5250676-0/?mc=spiegel.2021.solarstrom>, zuletzt abgerufen am 25.1.2022.

²¹ Siehe Finanztest <https://www.test.de/Indexfonds-Mit-ETF-Geld-anlegen-5268799-0/>, zuletzt abgerufen am 25.1.2022.

Eigenkapitalrendite von 5 % ausgegangen. Der nominale gewichtete Kapitalkostensatz beträgt dann 3,4 %, der reale WACC ist 2,2 %. Dies entspricht auch dem angemessenen realen sozialen Abzinsungssatz für die Berechnung des Gegenwartswerts der sicherheitsäquivalenten Zahlungsströme öffentlicher Projekte mit generationenübergreifenden Auswirkungen (Drupp et al., 2019).

Im Folgenden werden zwei zentrale Szenarien („Fraunhofer“ und „HTW“) gerechnet, die weitgehend den Annahmen in Fraunhofer (2021) bzw. HTW (2019) folgen. Dabei werden in „Fraunhofer“ für die Anschaffungskosten und die Ersatzinvestitionen ein Mittelwert aus „niedrig“ und „hoch“ in Fraunhofer (2021) gebildet. Der Szenario-Rahmen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Szenario-Rahmen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung

	Szenario "HTW"	Szenario "Fraunhofer"
Anschaffungskosten PV-Anlage (8,1 kWp) (Euro) ^a	12.887	12.531
Anschaffungskosten Batteriespeicher (10 kWh) (Euro) ^b	13.000	10.115
jährliche Betriebskosten (Euro) ^c	210	251
Lebensdauer Batteriespeicher (Jahre) ^d	13	15
Ersatzinvestition Speicher (% Anschaffungskosten) ^e	50	45
Zinssatz ^f	2,0%	3,4%

^a HTW (2019), Tabelle 2.1, S.9, Fraunhofer (2021), Tabelle 1, S.11, Mittelwert zwischen „niedrig“ 9.639 Euro und „hoch“ 15.422 Euro, hier mit Mehrwertsteuer.

^b HTW (2019), S. 27, Fraunhofer (2021), Tabelle 1, S.11, Mittelwert zwischen „niedrig“ 5.950 Euro und „hoch“ 14.280 Euro, hier mit Mehrwertsteuer.

^c HTW (2019), S. 10, Fraunhofer (2021), Tabelle 4, S. 15.

^d HTW (2019), S. 27, Fraunhofer (2021), Tabelle 2, S. 13.

^e HTW (2019), S. 27, Fraunhofer (2021), Tabelle 2, S. 13, Mittelwert zwischen „niedrig“ 40% und „hoch“ 50%.

^f HTW (2019), S. 14, Fraunhofer (2021), Tabelle 2, S. 13.

Einnahmen

Die generelle Wirtschaftlichkeit einer Photovoltaik-Anlage im Vergleich zu einem Szenario ohne Photovoltaik-Anlage bestimmt sich durch die zu erzielenden Einnahmen aus dem Eigenverbrauch und der Einspeisevergütung. Um das Einsparpotenzial mit einer Solaranlage abzuschätzen, sind die momentanen Marktbedingungen zu beachten, also im Kontext des Eigenverbrauchs die bisher gezahlten Stromkosten und die Annahmen zu künftigen Strompreisentwicklungen sowie die Höhe der Einspeisevergütung für nicht selbst verbrauchten Solarstrom. Durch den Eigenverbrauch des Solarstroms wird der Fremdbezug von Strom vermieden. Die Einsparung gegenüber einem „Weiter so“-Szenario ohne Photovoltaik-Anlage richtet sich entsprechend nach der Strompreisentwicklung in den nächsten 25 Jahren bis 2045 bzw. 30 Jahren bis 2050, der angenommenen Lebensdauer der PV-Anlage.²²

Seit 1998 ist der Haushaltsstrompreis um jährlich etwa 2,8% gestiegen, so die Statistik des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW). Im Durchschnitt des Jahres 2021 kostete eine Kilowattstunde etwa 32,16 Cent. Das ist mehr als doppelt so viel wie im Jahr 2000: Da kostete die Kilowattstunde gerade einmal 13,94 Cent.²³ Ende 2021 ist der Strompreis durch die hohen Preise für Kohle und Erdgas an den Weltmärkten noch einmal kräftig angestiegen, auf zuletzt 36,19 Cent im Januar 2022.²⁴ Kohle- und Gaskraftwerken müssen auch deutlich mehr für die Emissionsrechte für CO₂ im Europäischen Emissionshandelssystem zahlen. Die Emissionsrechte werden in der EU gehandelt und ihre gesamte Menge sinkt gemäß der europäischen Klimaziele mit der Zeit. Entsprechend sind die Preise stark angestiegen, von etwa 20 Euro/tCO₂ Mitte 2020 auf über 80 Euro/tCO₂ Anfang 2022. So wichtig diese Entwicklung für den Klimaschutz ist, treibt sie doch den Strompreis ebenfalls nach oben. Die Anstiege der Strompreise in den letzten Monaten folgten auf eine längere Phase nahezu gleichbleibender Strompreise für Haushalte.

Es ist also unsicher, wie sich die Strompreise in Zukunft entwickeln werden. Diese Unsicherheit resultiert nicht nur aus der Unsicherheit über die zukünftige Entwicklung des Börsenstrompreises in Abhängigkeit von Angebot und Nachfrage nach Strom, fossilen Energieträgerpreisen, CO₂-Preisen oder der Kostenentwicklung von Erzeugungstechnologien, sondern auch aus Unsicherheiten bei der Fortschreibung der staatlich regulierten Elemente des Strompreises wie Netzentgelt inklusive Messung und Messstellenbetrieb oder der staatlich induzierten Elemente im Strompreis etwa Stromsteuer,

²² Fraunhofer (2021), Tabelle 2, S. 13.

²³ Siehe die BDEW-Strompreisanalyse Januar 2022, https://www.bdew.de/media/documents/220124_BDEW-Strompreisanalyse_Januar_2022_24.01.2022_final.pdf, zuletzt abgerufen am 30.01.2022.

²⁴ Siehe die BDEW-Strompreisanalyse Januar 2022, https://www.bdew.de/media/documents/220124_BDEW-Strompreisanalyse_Januar_2022_24.01.2022_final.pdf, zuletzt abgerufen am 30.01.2022.

Konzessionsabgaben und weiteren staatlichen Umlagen (siehe Löschel et al., 2021). So dürften die Netzentgelte tendenziell steigen, da der (ökonomisch sinnvolle) Ausbau des Stromnetzes teuer ist. Die Erweiterung und Modernisierung der Stromnetze finanzieren auch die Verbraucher über ihre Stromrechnung. Eine wichtige regulatorische Änderung ist die weitere Umsetzung einer Energiepreisreform durch die Bundesregierung laut Koalitionsvertrag ab 2023, evtl. sogar bereits in diesem Jahr. Dann würde die Förderung der erneuerbaren Energien nicht mehr über den Strompreis umgelegt, sondern aus Haushaltsmitteln bezahlt. Damit würde eine umfassende Entlastung des Strompreises einhergehen.

Verschiedene Studien schätzen die Entwicklung der Strompreise in Szenario-Rechnungen ab. In der Studie „Klimapfade 2.0“ für den Industrieverband BDI aus dem Jahr 2021 geht die Unternehmensberatung BCG von einem leichten realen Anstieg der Strompreise für Privatkunden von 13% bis 2030 unter der aktuellen Umlagen- und Abgabensystematik von durchschnittlich 30 Cent pro kWh in 2019 auf 36 Cent pro kWh in 2030 aus – jedoch ohne Berücksichtigung der starken CO₂-Preisanstiege und der Anstiege der Kohle- und Gaspreise.²⁵ In einer Studie im Auftrag des Bundesverbandes Erneuerbare Energie vom November 2021 (BEE, 2021) sinken im Basisszenario die Endverbraucher-Strompreise für Haushalte unter 3000 kWh/Jahr leicht von 34,7 Cent/kWh im Jahr 2020 auf 31,2 Cent/kWh im Jahr 2030. Dabei spielt insbesondere die verringerte EEG-Umlage eine große Rolle. Die Börsenstrompreise fallen zunächst auf 29,38 €2019/MWh im Jahr 2030, um dann über 47,96 €2019/MWh im Jahr 2040 auf 72,20 €2019/MWh im Jahr 2050 zu steigen.²⁶ Die Netzentgelte steigen zwar insgesamt aufgrund höherer Ausbaukosten, wegen des steigenden Verbrauchs sinken aber die spezifischen Kosten je kWh. In einem Reform-Szenario u.a. mit zeitvariablen Netzentgelten, Wegfallen der EEG-Umlage und einem Absenken der Stromsteuer sinken die Strompreise für Endverbraucher sogar auf 25,0 Cent/kWh im Jahr 2030. Danach steigen die Endverbraucherpreise bis zum Jahr 2050 wieder an, verbleiben aber unterhalb der Kosten aus dem Referenzjahr 2020.²⁷ Die Verbraucherzentrale (2017) geht bei der Untersuchung von Pachtmodellen von konstanten Strompreisen aus, die 2017 und 2035 bei etwa 28 Cent/kWh liegen und zwischenzeitlich über 30 Cent/kWh steigen. In HTW (2019) wird von einer Strompreissteigerung von 1% pro Jahr ausgegangen. Da Stromkosteneinsparungen eine zentrale Stellgröße bei der Refinanzierung der PV-Anlage darstellen, wurden in HTW (2019) verschiedene Szenarien für den Arbeitspreis des bezogenen Netzstroms

²⁵ Siehe <https://web-assets.bcg.com/58/57/2042392542079ff8c9ee2cb74278/klimapfade-study-german.pdf>, S. 48, zuletzt abgerufen am 25.1.2022.

²⁶ Siehe BEE-Studie Neues Strommarktdesign, http://klimaneutrales-stromsystem.de/pdf/Strommarktdesignstudie_BEE_final_Stand_14_12_2021.pdf, S. 66, zuletzt abgerufen am 25.1.2022.

²⁷ Siehe BEE-Studie Neues Strommarktdesign, http://klimaneutrales-stromsystem.de/pdf/Strommarktdesignstudie_BEE_final_Stand_14_12_2021.pdf, zuletzt abgerufen am 25.1.2022.

gerechnet (steigt um 3 %, steigt um 1 %, bleibt konstant, sinkt um 1 % sowie zwei EEG-Variationen). Dabei ist der Nettobarwert der Einsparungen umso höher, je stärker die Strompreise steigen. Er unterscheidet sich zwischen den Extremszenarien „Strompreis steigt um 3%“ und „Strompreis sinkt um 1 %“ um etwa 2500 Euro.

Wirtschaftlichkeitsrechnungen

Für die Wirtschaftlichkeitsrechnungen wird neben dem „Weiter so“-Szenario und dem „Kauf“-Szenario auch ein Szenario betrachtet, bei dem die Solaranlage gemietet wird. Im Beispiel werden im Szenario „Miete“ die Mietkosten des Anbieters Enpal angenommen: Die monatliche Miete für die PV-Anlage von 8,1 kWp Leistung mit einem Speicher mit 10 kWh Kapazität beträgt im November 2021 144,50 Euro netto (172 Euro brutto).²⁸ Für das Szenario „Miete“ wird zudem angenommen, dass keine Anschaffungskosten anfallen und mit der Entrichtung der Miete die Kosten für Installation und Service, Wartungen und evtl. nötige Reparaturen über die gesamte Vertragslaufzeit vollständig abgedeckt sind.²⁹ Wie bereits beschrieben bestehen mögliche Risiken in langfristigen Mietverträgen mit teils komplexer Ausgestaltung. Die konkrete Ausgestaltung des Mietvertrags einer Solaranlage im Einzelnen spielt daher eine herausragende Rolle und sollte sorgsam geprüft werden, um nicht mit versteckten Kosten konfrontiert zu werden. Die vorliegende Untersuchung bezieht sich ausschließlich auf die Analyse der Wirtschaftlichkeit gemäß der dargestellten Annahmen und umfasst explizit keine Prüfung dieser Ausgestaltungsdetails in Mietverträgen.

Neben den Annahmen aus Tabelle 2 und Tabelle 3 wird eine Strompreisannahme in Anlehnung an BDI (2021) genutzt: der reale Strompreis steigt jährlich um 1 % an, ausgehend vom durchschnittlichen Niveau des Jahres 2021 in Höhe von 32,16 Cent/kWh.³⁰ Mit dem jeweiligen Strompreis wird der jährliche Stromverbrauch im „Weiter so“-Szenario und der Reststromverbrauch (Autarkiegrad 76,1 %, Stromverbrauch 4.500 kWh) in den Szenarien „Kauf“ und „Miete“ bewertet. Der nicht selbst verbrauchte Stromertrag (54,5 % des Stromertrags) wird im Szenario „Kaufen“ ins Netz eingespeist und für 20 Jahre mit der Einspeisevergütung von 7,03 Cent/kWh netto (8,37 Cent/kWh brutto) vergütet. Nach dem EEG 2021 können PV-Anlagen nach dem Ende des Förderzeitraums von 20 Jahren ins Netz einspeisen und

²⁸ Für die ersten beiden Jahre wird bei Enpal zudem ein standardisierter Rabatt gewährt, der sich insgesamt auf 360 Euro beläuft. Dieser wird nicht berücksichtigt.

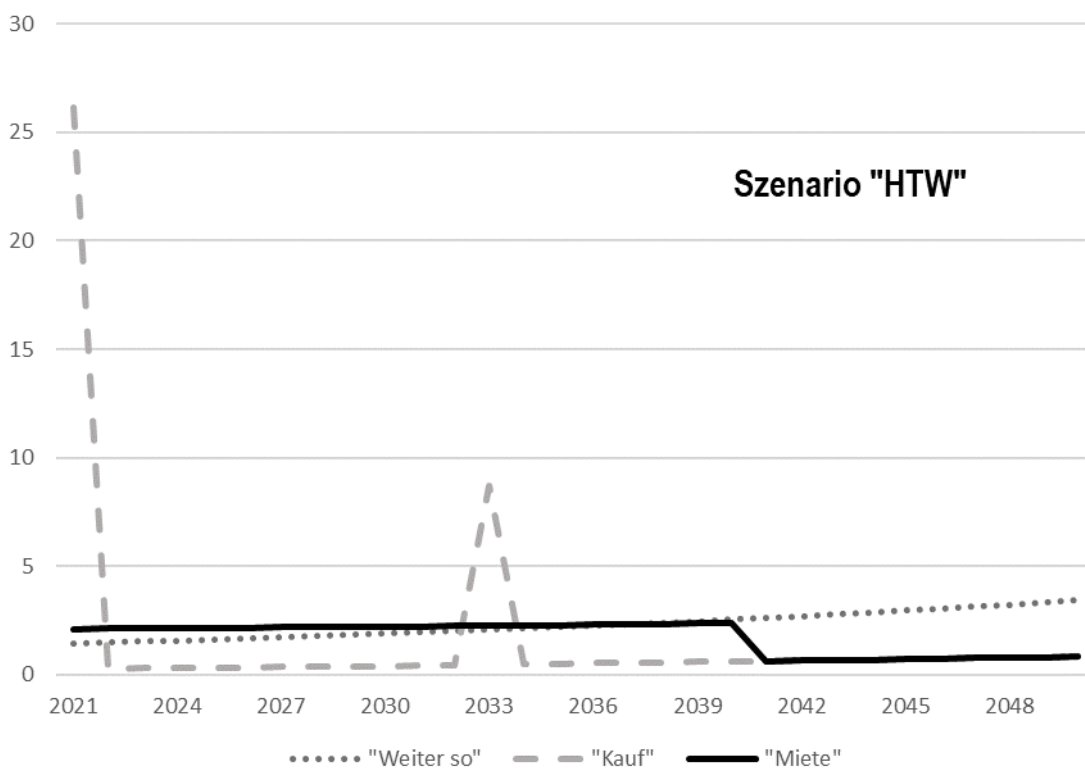
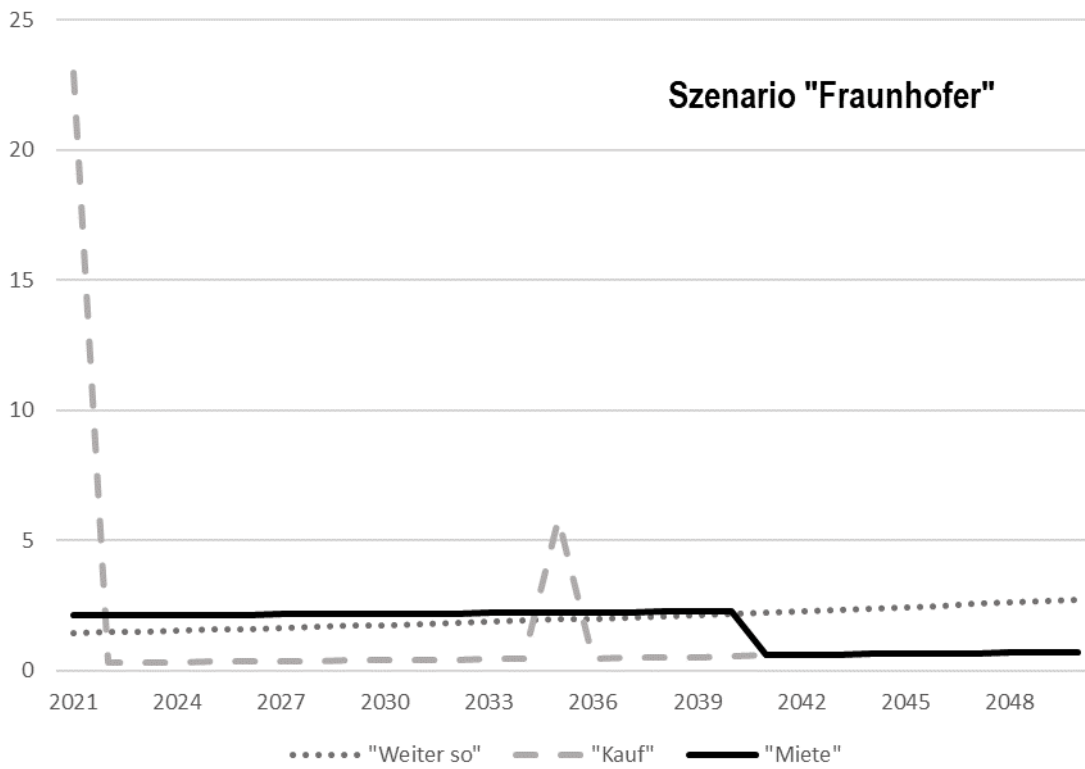
²⁹ Enpal nennt diese Konstellation das „Rundum-Sorglos-Paket“. Nach Ablauf der 20 Jahre kann die Anlage (zum symbolischen Preis von 1 Euro) bei Enpal übernommen werden (oder kostenfrei rückgebaut und fachgerecht recycelt werden).

³⁰ Siehe Strompreisanalyse des BDEW unter https://www.bdew.de/media/documents/20211115_BDEW-Strompreisanalyse_November-2021.pdf, zuletzt abgerufen am 25.1.2022.

bekommen danach eine Vergütung in Höhe des Jahresmarktwerts Solar, der sich in etwa am Börsenstrompreis orientiert. In den Szenarien „Kauf“ und „Miete“ wird daher ab dem Jahr 21 statt der Einspeisevergütung in Anlehnung an BEE (2021) ein erzielbarer Großhandelspreis von (real) 48 Euro₂₀₂₁/MWh angesetzt.

Die mit den verschiedenen Alternativen verbundenen Zahlungsströme (in Euro_{Jahr t}) für die Szenarien „HTW“ und „Fraunhofer“ für die einzelnen Jahre sind in Abbildung 1 dargestellt. Hier wird sehr deutlich sichtbar, dass die Ausgaben beim Szenario „Kauf“ stark konzentriert sind und größtenteils sofort anfallen, während bei den anderen Szenarien „Weiter so“ und „Miete“ die Belastungen sich über den betrachteten Zeitraum gleichmäßig verteilen.

Abbildung 1: Zahlungsströme in den verschiedenen Alternativen (Euro_t)



In Tabelle 4 werden die Zahlungsströme der Ausgaben und Einnahmen für die Szenarien „Fraunhofer“ und „HTW“ für die Alternativen „Weiter so“, „Kauf“ und „Miete“ in ihren Bestandteilen im Detail aufgeführt. Dann werden die jährlichen Nettokosten für jedes Szenario in Gegenwartswerte / Barwerte überführt und schließlich insgesamt über 30 Jahre verglichen. Unter den getroffenen Annahmen lohnt sich die Investition in eine PV-Anlage bei einer Lebensdauer von 30 Jahren gegenüber einem „Weiter so“ im Szenario „Fraunhofer“ und die abdiskontierten Nettobarwerte liegen mit einer Solaranlage deutlich darunter. Die Szenarien „Miete“ und „Kauf“ wiederum liegen eng beieinander, mit einem leichten Vorteil für den „Kauf“ der Solaranlage. Ab dem 21. Jahr unterscheidet sich die Betrachtung zwischen „Kauf“ und „Miete“ nicht mehr. Über die Lebensdauer wird bei der Entscheidung für eine PV-Anlage eine Verzinsung erzielt, die höher als der Zinssatz von 3,4 % im Szenario „Fraunhofer“ liegt.

Im Szenario „HTW“ werden die Annahmen aus der Studie HTW (2019) im Auftrag der Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen genutzt (siehe Tabelle 3 und Tabelle 5). Dies betrifft insbesondere die Anschaffungskosten PV (12.887 Euro), die Anschaffungskosten Speicher (13.000 Euro), Batterieersatz nach 13 Jahren mit einer Ersatzinvestition in Höhe von 50% der Ausgangskosten, jährliche Betriebskosten inkl. Reparatur von 210 Euro, kalkulatorischer Zinssatz von 2 % und Inflationsrate von 2 %. Auch in diesem Szenario zeigt sich die Vorteilhaftigkeit einer Investition in eine PV-Anlage entweder als „Kauf“ oder zur „Miete“. Diese Vorteilhaftigkeit ist sogar noch deutlicher ausgeprägt als im Szenario „Fraunhofer“. Die Verzinsung liegt über die Lebensdauer ebenfalls deutlich über dem Zinssatz von 2% im Szenario „HTW“. Das Mietmodell schneidet unter den gemachten Annahmen besser ab. Abbildung 2 zeigt die relative Vorteilhaftigkeit von „Kauf“ und „Miete“ gegenüber einem „Weiter so“ ohne PV-Anlage als prozentualer Vergleich der Nettobarwerte.

Abbildung 2: Vorteilhaftigkeit der Optionen „Miete“ und „Kauf“ gegenüber einem „Weiter so“

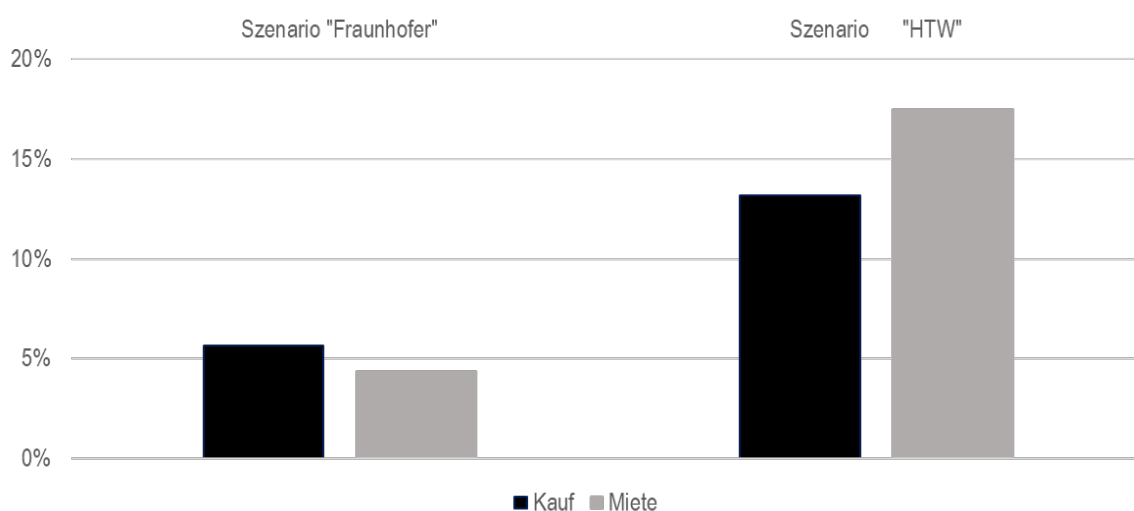


Tabelle 4: Zahlungsströme und Kapitalwerte in den verschiedenen Szenarien (in Euro_t and Euro₂₀₂₁)

Szenario „Fraunhofer“

"Weiter so"	Jahr	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	
jährliche Kosten / Strombezug	Euro _t	1.447	1.479	1.512	1.545	1.580	1.614	1.650	1.687	1.724	1.762	1.801	1.841	1.882	1.923	1.966	2.009	2.054	2.099	2.146	2.193	2.242	2.291	2.342	2.394	2.447	2.501	2.556	2.613	2.670	2.730	
jährliche Kosten (Barwert)	Euro ₂₀₂₁	1.447	1.431	1.414	1.398	1.382	1.366	1.350	1.335	1.319	1.304	1.289	1.274	1.260	1.245	1.231	1.217	1.203	1.189	1.175	1.162	1.149	1.135	1.122	1.109	1.097	1.084	1.072	1.059	1.047	1.035	
aggregierte Kosten (Barwert)	Euro₂₀₂₁																															36.902

"Kauf"	Jahr	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	
Anschaffung PV/Speicher/WV	Euro _t	22.646	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.379	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Betriebskosten	Euro _t	251	254	257	260	263	266	270	273	276	279	283	286	290	293	297	300	304	307	311	315	319	322	326	330	334	338	342	346	351	355	
Reststrombezug	Euro _t	346	354	361	369	378	386	394	403	412	421	430	440	450	460	470	480	491	502	513	524	536	548	560	572	585	598	611	624	638	652	
Einspeisevergütung	Euro _t	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Großhandelsrisiko	Euro _t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	258	261	264	268	271	274	277	281	284	287	
jährliche Kosten	Euro _t	22.945	310	320	332	343	354	366	378	390	403	415	428	441	455	5.848	482	497	511	526	541	596	609	622	635	648	662	676	690	705	720	
jährliche Kosten (Barwert)	Euro ₂₀₂₁	22.945	299	300	300	300	300	300	299	299	298	297	296	296	295	3.662	292	291	290	288	287	305	302	298	294	291	287	283	280	276	273	
aggregierte Kosten (Barwert)	Euro₂₀₂₁																															34.821

"Miete"	Jahr	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	
Mietkosten	Euro _t	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Betriebskosten	Euro _t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	319	322	326	330	334	338	342	346	351	355	
Reststrombezug	Euro _t	346	354	361	369	378	386	394	403	412	421	430	440	450	460	470	480	491	502	513	524	536	548	560	572	585	598	611	624	638	652	
Einspeisevergütung	Euro _t	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Großhandelsrisiko	Euro _t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	258	261	264	268	271	274	277	281	284	287	
jährliche Kosten	Euro _t	2.111	2.119	2.127	2.135	2.143	2.151	2.160	2.169	2.178	2.187	2.196	2.206	2.215	2.225	2.235	2.246	2.256	2.267	2.278	2.290	596	609	622	635	648	662	676	690	705	720	
jährliche Kosten (Barwert)	Euro ₂₀₂₁	2.111	2.049	1.989	1.931	1.875	1.820	1.767	1.716	1.667	1.618	1.572	1.527	1.483	1.441	1.400	1.360	1.322	1.284	1.248	1.213	305	302	298	294	291	287	283	280	276	273	
aggregierte Kosten (Barwert)	Euro₂₀₂₁																															35.283

Tabelle 4: Zahlungsströme und Kapitalwerte in den verschiedenen Szenarien (in Euro_t and Euro₂₀₂₁)

Szenario „HTW“

"Weiter so"	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050		
Jährliche Kosten / Strombezug	Euro _t	1.447	1.491	1.536	1.582	1.630	1.679	1.730	1.782	1.836	1.892	1.949	2.008	2.068	2.131	2.195	2.261	2.330	2.400	2.472	2.547	2.624	2.703	2.785	2.869	2.956	3.045	3.137	3.232	3.329	3.430	
Jährliche Kosten (Barwert)	Euro ₂₀₂₁	1.447	1.462	1.476	1.491	1.506	1.521	1.536	1.552	1.567	1.583	1.599	1.615	1.631	1.647	1.664	1.680	1.697	1.714	1.731	1.748	1.766	1.784	1.801	1.819	1.838	1.856	1.874	1.893	1.912	1.931	
aggregierte Kosten (Barwert)	Euro₂₀₂₁																															50.341

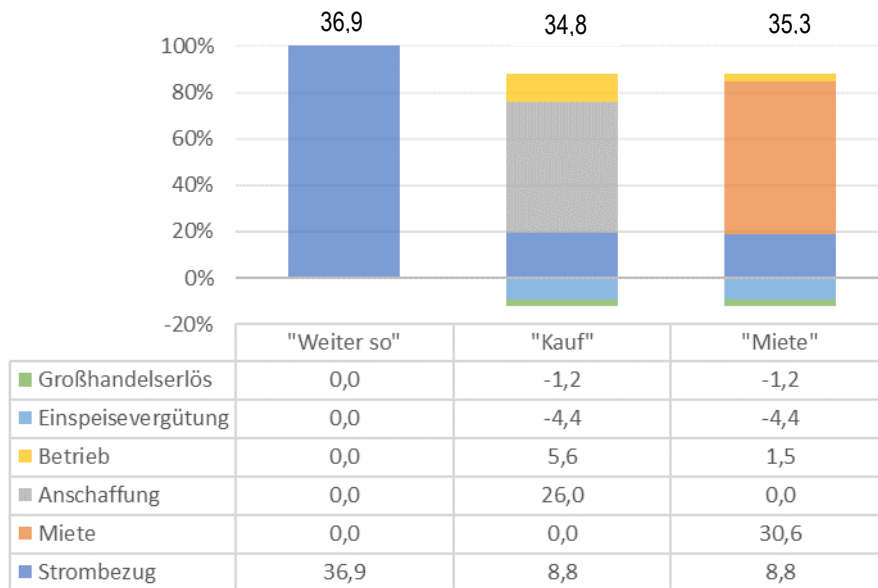
"Kauf"	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050		
Anschaffung PV/Speicher/WR	Euro _t	25.887	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.244	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Betriebskosten	Euro _t	210	214	218	223	227	232	236	241	246	251	256	261	266	272	277	283	288	294	300	306	312	318	325	331	338	345	351	358	366	373	
Reststrombezug	Euro _t	346	356	367	378	390	401	413	426	439	452	466	480	494	509	525	540	557	574	591	609	627	646	666	686	706	728	750	772	796	820	
Einspeisevergütung	Euro _t	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Großhandeleerlös	Euro _t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	302	308	314	321	327	334	340	347	354	361	
Jährliche Kosten	Euro _t	26.145	273	288	303	319	335	352	369	387	405	424	443	463	483	504	525	547	570	593	617	637	656	676	696	717	739	761	784	807	831	
Jährliche Kosten (Barwert)	Euro ₂₀₂₁	26.145	267	276	286	295	304	313	321	330	339	348	356	365	373	382	390	399	407	415	423	429	433	437	441	446	450	455	459	464	468	
aggregierte Kosten (Barwert)	Euro₂₀₂₁																															43.715

"Miete"	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050		
Mietkosten	Euro _t	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Betriebskosten	Euro _t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	312	318	325	331	338	345	351	358	366	373	
Reststrombezug	Euro _t	346	356	367	378	390	401	413	426	439	452	466	480	494	509	525	540	557	574	591	609	627	646	666	686	706	728	750	772	796	820	
Einspeisevergütung	Euro _t	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	298	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Großhandeleerlös	Euro _t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	302	308	314	321	327	334	340	347	354	361	
Jährliche Kosten	Euro _t	2.111	2.122	2.133	2.144	2.155	2.167	2.179	2.192	2.204	2.218	2.231	2.245	2.260	2.275	2.290	2.306	2.322	2.339	2.356	2.374	637	656	676	696	717	739	761	784	807	831	
Jährliche Kosten (Barwert)	Euro ₂₀₂₁	2.111	2.080	2.050	2.020	1.991	1.963	1.935	1.908	1.881	1.856	1.830	1.806	1.782	1.758	1.736	1.713	1.692	1.671	1.650	1.630	429	433	437	441	446	450	455	459	464	468	
aggregierte Kosten (Barwert)	Euro₂₀₂₁																															41.344

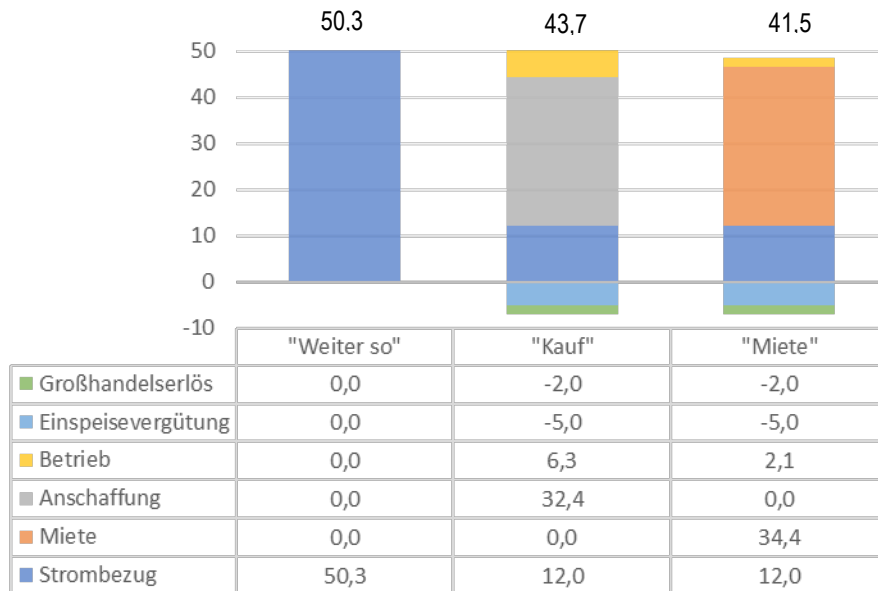
Die Abbildung 3 zeigt die Barwerte der Zahlungsströme der Ausgaben und Einnahmen für die beiden Szenarien „Fraunhofer“ und „HTW“ in allen Varianten „Weiter so“, „Kauf“ und „Miete“ in ihren Bestandteilen im Detail. Es wird deutlich, dass die Zahlungsströme sich nicht nur in ihrer zeitlichen Abfolge, sondern auch in ihrer Zusammensetzung massiv zwischen den verschiedenen Alternativen unterscheiden. Wie bereits dargestellt, umfasst der Vergleich der Barwerte im Kern nur die finanzielle Bewertung der Alternativen im engeren Sinne. Die Betrachtung der zeitlichen und sachlichen Unterschiede gibt aber einen guten Anhaltspunkt für eine breitere Betrachtung der Vorteilhaftigkeit der verschiedenen Optionen aus Sicht der Haushalte. Der Vorteil der Nutzung einer PV-Anlage ist höher als in den Berechnungen erfasst, wenn Haushalte einen gesellschaftlichen Beitrag leisten wollen (soziale Präferenzen), etwas zum Umwelt- und Klimaschutz beitragen wollen (Umweltpräferenzen) oder ein inhärentes Unabhängigkeitsbedürfnis haben (Autonomiewunsch). Demgegenüber ist der Nachteil des Kaufs einer Anlage höher als in den Berechnungen erfasst, wenn Haushalte risikoscheu sind (Risikoaversion), wenn sie bei Risiken Verluste besonders stark wahrnehmen (Verlustaversion) oder bei Entscheidungen besonders kurzfristige Kosten beachten (Gegenwartsfokus). Aus verhaltensökonomischer Sicht sprechen gegen das Mietmodell eine mögliche persönliche Präferenz zur Beibehaltung des Status quo ohne Solaranlage, mögliche Risiken in langfristigen Verträgen mit teils komplexer Ausgestaltung und dass der Eigentumsübergang der Anlage mit Verzögerung von 20 Jahren weniger dem Bedürfnis nach Autonomie entspricht.

Abbildung 3: Barwerte der Zahlungsströme für die verschiedenen Szenarien (in tEUR₂₀₂₁)

Szenario „Fraunhofer“



Szenario „HTW“



Sensitivitätsanalysen

Neben dem Vergleich der verschiedenen Optionen unter den beiden Referenzannahmen, sollten wegen der großen Unsicherheiten verschiedenste Sensitivitätsanalysen erstellt werden. In Abbildung 4 werden die Wirkungen von Änderungen beim Zinssatz, den Strompreisannahmen und den Betriebskosten bzw. Mietkosten illustriert. Alle diese Parameter sind über die nächsten 30 Jahren äußerst schwierig abzuschätzen, dürften im Rahmen der Energiewende und auf dem Weg zur Klimaneutralität doch massive wirtschaftliche, technische, politische und gesellschaftliche Veränderungen bevorstehen. Noch mehr sind die individuellen Zahlungsströme mit Unsicherheiten behaftet. Die Sensitivitätsanalysen zeigen, dass bereits geringe Veränderungen in den Annahmen die Vorteilhaftigkeit der verschiedenen Optionen stark beeinflussen und die Rangfolge in den Wahlentscheidungen aus finanzieller Sicht verändern können. Entsprechend vorsichtig sind die Ergebnisse zu interpretieren.

In den Sensitivitätsanalysen wird zunächst vom Referenzszenario „Fraunhofer“ nach Fraunhofer (2021) ausgegangen und einzelne Parameterkonstellationen variiert. In der Sensitivitätsanalyse „Verzinsung“ werden die Annahmen zum kalkulatorischen Zinssatz (2 %) und zur Inflationsrate (2 %) aus der Studie HTW (2019) genutzt. Das Szenario „Strompreis hoch“ geht von einem Anstieg der realen Strompreise in Höhe von 2 % pro Jahr aus, während das Szenario „Strompreis niedrig“ von gleichbleibenden Realstrompreisen ausgeht. Das Szenario „Wechselrichter“ setzt zusätzliche Kosten für den Ersatz des Wechselrichters an. Das Szenario „Betriebskosten“ nutzt die Betriebskostenabschätzungen von Reifschneider et al. (2017) und geht von Betriebskosten in Höhe von 400 Euro im Jahr aus. Das Szenario „Mietkosten“ geht von höheren Mietkosten in Höhe von 100 Euro im Jahr aus, die sich auch z.B. aus versteckten Betriebskosten in den Mietverträgen ergeben können. Zum Vergleich: Eine wiederkehrende Anlagenprüfung, die sich nicht im Betriebskostenansatz wiederfindet (bei drei Prüfungen je 200-400 Euro über 20 Jahre), führt zu höheren Kosten im Mietmodell von etwa 47 Euro pro Jahr.

Dann werden weitere Sensitivitätsanalyse durchgeführt, die vom Referenzszenario „HTW“ nach HTW (2019) ausgehen und wieder die einzelnen Parameterkonstellationen variieren. In der Sensitivitätsanalyse „Verzinsung“ werden entsprechend die Annahmen zum kalkulatorischen Zinssatz (3,4 %) und zur Inflationsrate (1,2 %) aus der Studie Fraunhofer (2021) genutzt.

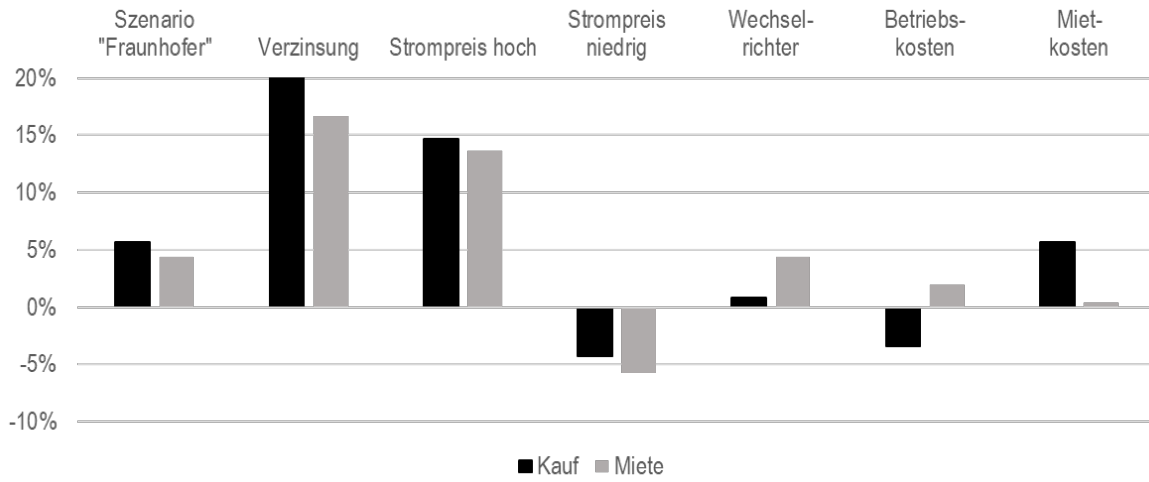
Unter den Referenzannahmen aus Fraunhofer (2021) sind die Optionen „Kauf“ und „Miete“ besser als ein „Weiter so“ ohne PV-Anlage. Der Kauf der Solaranlage schneidet im Vergleich besser ab als die „Miete“. Unter den Annahmen aus HTW (2019) ist es deutlich attraktiver eine PV-Anlage zu mieten oder zu kaufen. Die Option „Miete“ schneidet hier besser ab als der „Kauf“ der Anlage.

Die große Rolle der Annahmen über den kalkulatorischen Zinsfuß (und damit der Ertragserwartung) wird in den Sensitivitätsanalysen „Verzinsung“ deutlich. Eine niedrigere Verzinsung wie in HTW (2019) erhöht den Vorteil beim Vergleich der Nettobarwerte im Szenario „Fraunhofer“ deutlich. Demgegenüber reduziert eine höhere Verzinsung wie in Fraunhofer (2021) die Vorteilhaftigkeit der Entscheidung für eine PV-Anlage im Szenario „HTW“. Nur bei der „Miete“ bleibt der Vorteil für die PV-Anlage noch erhalten. Höhere Strompreise („Strompreis hoch“) erhöhen die Vorteilhaftigkeit, verändern aber die relative Entscheidung zwischen „Miete“ und „Kauf“ in den Szenarien nicht. Bei unveränderten Strompreisen („Strompreis niedrig“) sinkt die Vorteilhaftigkeit der PV-Anlage. Bei den Standardannahmen aus „Fraunhofer“ hat ein „Weiter so“ ohne PV-Anlage auf dem Dach einen niedrigeren Nettobarwert der Kosten. Niedrigere Strompreise im Szenario „HTW“ verändern die Vorteilhaftigkeit der Investition nicht, schwächen diese aber deutlich ab. Zusätzliche Kosten für den Wechselrichter mindern die Attraktivität der alternative „Kauf“, die Alternative „Miete“ ist unter beiden Szenarien bevorzugt. Dies gilt auch für den Fall höherer Betriebskosten. Im Gegensatz dazu führen höhere (versteckte) Mietkosten zu einer höheren Wirtschaftlichkeit beim Kaufmodell. Im Szenario „HTW“ sind „Miete“ und „Kauf“ dann praktisch gleich auf, im Szenario „Fraunhofer“ ergibt sich ein Vorteil für das „Kauf“-Modell.

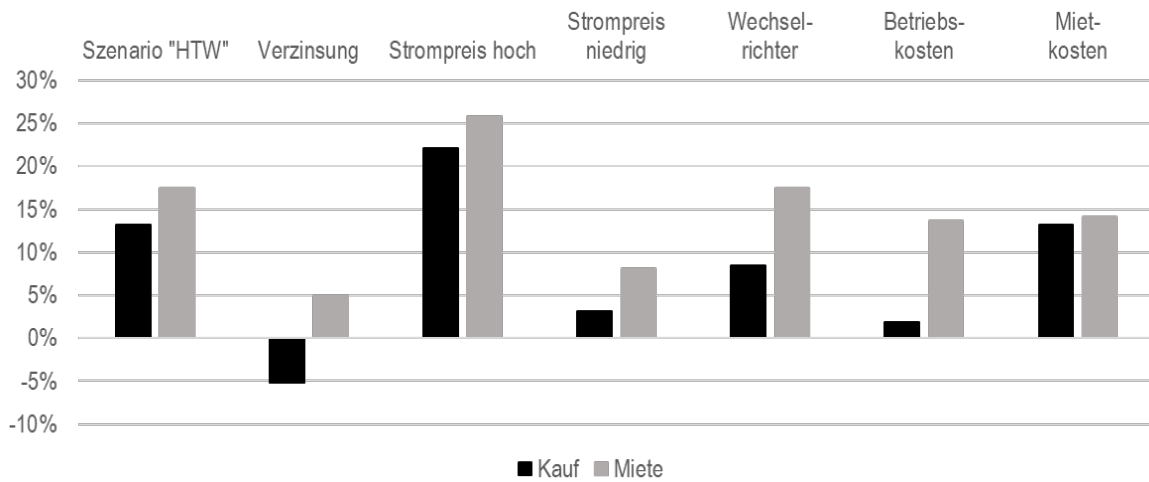
Die Sensitivitätsanalysen zeigen, dass die finanziellen Unterschiede zwischen den Optionen über 30 Jahre betrachtet geringer als gedacht sind und die Vorteilhaftigkeit sich rasch ändert. Die Reihenfolge der Alternativen in der Wirtschaftlichkeitsrechnung ist von etlichen sehr unsicheren Entwicklungen über die nächsten drei Dekaden und der persönliche Einschätzung zu den nicht-finanziellen Charakteristika der betrachteten Optionen abhängig. Entsprechend sind die Abschätzungen mit großer Vorsicht zu betrachten. Insbesondere die verhaltensökonomischen Treiber bei der Entscheidung über eine Solaranlagen sollten wissenschaftlich umfangreicher analysiert werden.

Abbildung 4: Vorteilhaftigkeit der verschiedenen Optionen gegenüber dem „Weiter so“- Szenario in verschiedenen Sensitivitätsrechnungen

Szenario „Fraunhofer“



Szenario „HTW“



Datenquellen und Literatur

- BMWK (Bundeministerium für Wirtschaft und Klimaschutz), Eröffnungsbilanz Klimaschutz, vorgestellt am 11.1.2022, abgerufen am 19.1.2022 unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/220111_eroeffnungsbilanz_klimaschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=18
- Bundesverband Energiespeicher Systeme (BVES) (2021), BVES Branchenanalyse 2021 - Entwicklung und Perspektiven der Energiespeicherbranche in Deutschland, https://www.bves.de/wp-content/uploads/2021/03/2021_BVES_Branchenanalyse.pdf, 15.3.2021, abgerufen am 22.1.2022.
- Dertwinkel-Kalt, M., M. Köster, F. Peiseler (2019). Attention-driven demand for bonus contracts, *European Economic Review*, 115, 1-24.
- Drupp, M. A., M. C. Freeman, B. Groom und F. Nesje (2018), Discounting Disentangled. *American Economic Journal: Economic Policy*, 10 (4), 109-34.
- Feldhaus, C., J. Lingens, A. Löschel, G. Zunker (2022), Encouraging consumer activity through automatic switching of the electricity contract - A field experiment, *Energy Policy*, conditionally accepted.
- Fraunhofer ISE (H. Wirth, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme) (2021), Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, Fassung vom 16.12.2021, abgerufen am 19.1.2022 von www.pv-fakten.de.
- Fraunhofer ISE (C. Kost, S. Shammugam, V. Fluri, D. Peper, A. Memar, T. Schlegl, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme) (2021), Stromgestehungskosten Erneuerbarer Energien, Juni 2021, abgerufen am 19.1.2022 von https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2021_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf.
- Heutel, G. (2019), Prospect theory and energy efficiency. *Journal of Environmental Economics and Management*, 96, 236-254.
- HTW (J. Bergner und V. Quaschnig, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin) (2019), Sinnvolle Dimensionierung von Photovoltaikanlagen für Prosumer, Version 1.2, Kurzstudie im Auftrag der Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen.
- Kesternich, M., A. Löschel, D. Römer (2016), The long-term impact of matching and rebate subsidies when public goods are impure: Field experimental evidence from the carbon offsetting market, *Journal of Public Economics*, 137, 70-78.
- Löschel, A., G. Erdmann, F. Staiß, H.-J. Ziesing (2015), Expertenkommission zum Monitoring-Prozess „Energie der Zukunft“, Stellungnahme zum vierten Monitoring-Bericht der Bundesregierung für das Berichtsjahr 2014, abgerufen am 21.1.2022 unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/monitoringbericht-energie-der-zukunft-stellungnahme-2014.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Rüther, T., J. Reifschneider, A. Gelhorn, U. Blieske (2018), Betriebskosten von Photovoltaikanlagen nach Ablauf der Förderung durch das EEG zur Verifizierung einer empirischen Studie, PV-Symposium 2018, Bad Staffelstein, S. 492–493.

Reifschneider, J., A. Gelhorn, T. Rüther (2018), Rentabilitätsgrenze von Photovoltaikanlagen nach Ablauf der Förderung durch das EEG, Projektbericht im Modul Projektarbeit Studiengang Erneuerbare Energien, TH-Köln, Okt. 2017, http://www.100pro-erneuerbare.com/publikationen/2017-10-Alt-PV/Rentabilitaetsgrenze_von_PV-Anlagen_nach_Ablauf_der%20Foerderung-THK2017.pdf, zuletzt abgerufen am 24.1.2022.

VZ NRW (T. Wennmacher, R. Loch, U. Sieverding, Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen) (2017), Pachtmodelle für Photovoltaikanlagen. Wie wirtschaftlich sind Angebote von Stadtwerken und Regionalversorgern, Dezember 2017.

Werthschulte, M., A. Löschel (2021), On the role of present bias and biased price beliefs in household energy consumption. *Journal of Environmental Economics and Management*, 109, 102500.

Anhang

Tabelle 5: Übersicht der Annahmen in HTW (2019)

Kostenfaktor	Annahmen	Seite
Anschaffungskosten PV	1.641 € brutto pro kWp bei 8 kWp = 13.392€ brutto oder 11.253,78€ netto für 8,1 kWp	S. 9
Anschaffungskosten Batteriespeicher	„Ein Speicher mit 10 kWh ist spezifisch deutlich günstiger, schlägt jedoch mit etwa 13.000 € Bruttokosten zu Buche.“	S. 27
Batterieersatzkosten	„Es wird angenommen, dass der Speicher nach einem Zeitraum von 13 Jahren getauscht werden muss und eine Ersatzinvestition in Höhe von 50% der Ausgangskosten fällig ist. Der Speicher altert linear und hat keine Betriebskosten.“	S. 27
Betriebskosten	„Jährliche Betriebskosten inkl. Reparatur“: 148 € (+21€ ab 8 kW) + 5 € pro kW = 169€ + 5€*8,1 = 209,50€. Unklar ist hier, welche Kostenfaktoren exakt abgedeckt sind. Die referenzierte Quelle gibt die Daten nicht genau an.	S. 10
Ersatz des Wechselrichters	Der Ersatz des Wechselrichters wird nicht näher thematisiert. Es bleibt unklar, ob dieser bereits durch die Betriebskosten gedeckt ist.	
Kommentar Finanzierungskosten	„Jede wirtschaftliche Bewertung von Energiesystemen ist mit Unsicherheiten, Vereinfachungen und Annahmen verbunden. So wurde beispielsweise angenommen, dass PV-Anlagen stets mit 100 % Eigenkapital realisiert werden können. Höhere Investitionskosten sind jedoch unter Umständen mit einer Kreditaufnahme und zu leistenden Kapitaldiensten verbunden, sodass eine Bewertung auch vor diesem Hintergrund geboten scheint.“	S. 19
Eigenkapitalquote	100%	S. 14
Zinssatz	„Kalkulatorischer Zinssatz 2 % (Inflationsausgleich)“	S. 14
Smart Meter Wechsel	Es wird nicht näher ausgeführt, ob der erforderliche Austausch des Stromzählers bereits inkludiert ist.	

Quelle: HTW Berlin 2019

Tabelle 6: Übersicht der Annahmen in Fraunhofer (2021)

Kostenfaktor	Annahmen	Seite
Anschaffungskosten PV	1000-1600€ netto/kWp für Dachanlagen <30kWp, bei aktuellen Anlagen im Jahr 2021 („CAPEX“)	S. 11
Anschaffungskosten Batteriespeicher	500-1200€ netto/kWh für PV Kleinanlagen <30kWp, bei aktuellen Anlagen im Jahr 2021 („CAPEX“)	S. 11
Betriebskosten	26€ netto/kW fix (OPEX fix), 0€ variabel (OPEX/kWh) für PV Dach Kleinanlagen <30 kWp; jeweils 0€ für Batteriespeicher für PV Dach Kleinanlagen <30 kWp. Es wird nicht ausgeführt, wie diese Kosten berechnet sind oder was sie genau abdecken.	S. 13

Ersatz des Wechselrichters	Der Ersatz des Wechselrichters wird nicht näher thematisiert. Es bleibt unklar, ob dieser bereits durch die Betriebskosten gedeckt ist.	
Batterieersatzkosten	40-50% der Anfangsinvestition	S. 13
Lebensdauer	30 Jahre PV-Anlage, 15 Jahre Batteriespeicher	S. 13
Anteil Fremdkapital	80%	S. 13
Anteil Eigenkapital	20%	S. 13
Zinssatz Fremdkapital	3,00%	S. 13
Rendite Eigenkapital	5,00%	S. 13
WACC nominal	3,40%	S. 13
WACC real (mit Inflationsrate von 1,2%)	2,20%	S. 13
Kommentar Finanzierungskosten	„Stehen Förderkredite in ausreichender Höhe zur Verfügung – beispielsweise von der KfW-Bankengruppe – können je nach Technologie Fremdkapitalzinssätze von rund 1 bis 3% erzielt werden. Dies ist momentan für PV Kleinanlagen der Fall, für die der effektive Zins eines KfW-Förderkredits in der höchsten Bonitätsklasse derzeit bei nur 1,57% liegt – bei 20-jähriger Laufzeit und 20-jähriger Zinsbindung (KfW 2021). Im Allgemeinen werden die Zinssätze absichtlich etwas höher angesetzt, da die tatsächlichen Zinssätze aufgrund der Corona-Pandemie derzeit sehr niedrig sind und in Zukunft voraussichtlich steigen werden.“	S. 14
Smart Meter Wechsel	Es wird nicht näher ausgeführt, ob der erforderliche Austausch des Stromzählers bereits inkludiert ist.	

Quelle: Fraunhofer ISE 2021

Tabelle 7: Übersicht der Annahmen in Reifschneider et al. (2017)

Kostenfaktor	Annahmen	Seite
Simulationsrechnung		
Größe der Musteranlage	10,7 kWp	S. 32
Zählermiete	10,04 € jährlich	S. 35
Versicherung	60,00€ jährlich	S. 33
Betriebsführung technisch (Wartung, Inspektion, Fernüberwachung)	180,00 € jährlich	S. 34
Betriebsführung wirtschaftlich (jährliche Steuererklärung)	150,00 € jährlich	S. 35
Gesamtbetriebskosten	400,04 € jährlich	S. 36 und 38
Spezifische Betriebskosten je kWh für eine Anlage <30kWp	3,84 ct/kWh	S. 36 und 38
Empirische Messung		
Spezifische Betriebskosten je kWh für eine Anlage <30kWp im Mittelwert	4,7 ct/kWh. Keine näheren numerischen Angaben zur konkreten Verteilung auf die einzelnen Kostenfaktoren	S. 38

Quelle: Reifschneider et al. 2017

Tabelle 8: Übersicht der eigenen aktuellen Kostenrecherche

Kostenfaktor	Erläuterung
Anschaffungskosten PV	1.570 €/kWp netto in 2021 (eupd research 2021, S. 16). ³¹ NRW Verbraucherzentrale: 1630,00€/kWp brutto in 2019 bei 8kW-Anlage = 1369,75€/kWp netto. ³² Bei E.on (2021) kostet aktuell eine Anlage von 9 kWp bereits "ab 17.100€" (brutto), also 1900,00€/kWp brutto oder 1596,64€/kWp netto. ³³
Anschaffungskosten Batteriespeicher	699€/kWh netto in 2020. Unklar, ob Installationskosten bereits inkludiert sind (eupd research 2021). ³⁴ Die NRW Verbraucherzentrale gibt eine hohe Streuung an von 800 bis 1300€/kWh brutto inklusive Installation, mittlerer Wert: 1050€/kWh brutto oder 882,35€/kWh netto ³⁵
Versicherung	Laut Online-Vergleichsportalen zwischen 150€ und 250€ pro Jahr; ³⁶ niedriges Angebot von 134,00€ pro Jahr (netto) bei Online-Portal photovoltaikversicherung-vergleichen.de. Zu beachten ist: Es handelt sich um eine Versicherung für Elektronikkomponenten- (inkl. Produktionsausfallersatz) und Betreiberhaftpflichtversicherung.
Wartung	110€ pauschal pro Jahr für einen Wartungsvertrag ³⁷
Monitoring	60,00 € jährlich pauschal; Online-Portale ergeben eine Spanne von 60,00 € bis 70,00€ pauschal pro Jahr ³⁸
Wechselrichter Ersatz	Über 2.000 Euro Anschaffungskosten netto laut Onlineportalen für einen Wechselrichter mit 10 kW, ³⁹ jedoch ohne Installation. Für den kleineren und günstigeren Wechselrichter nach Online-Kaufpreis 1.394,43€ netto ⁴⁰ können 1.000€ pauschal für die Installation dazu addiert werden.
Austausch Smart Meter	Einbau des intelligenten Stromzählers ist häufig nicht im Kauf inkludiert.
Finanzierungskosten	große Bandbreite der Zinsen: KfW-Kredit über Hausbank: ca. 2% bei Risikoklassen B und C. ⁴¹ Finanztest 3/2021: Sonderkredite für Hauseigentümer 2,82% bis 3,96% bei 10 Jahren Laufzeit. ⁴² Hier können 3% als vereinfachter Wert angenommen werden. Anmerkung: Kredite meist nur so günstig über Grundbucheintragung - ansonsten meist in der Region 4-5% (weil normaler Verbraucherkredit).

Quelle: eigene Recherche, zu Nachweisen vgl. Quellenangaben in den Fußnoten.

³¹ https://www.eupd-research.com/wp-content/uploads/EUPD_PVStudie_2021_final-1.pdf

³² <https://www.verbraucherzentrale.de/aktuelle-meldungen/energie/was-kostet-eine-photovoltaikanlage-49155>

³³ <https://www.eon.de/de/pk/solar/photovoltaik-kosten.html>

³⁴ <https://www.pv-magazine.de/2021/06/01/eupd-research-speicherpreise-schrecken-photovoltaik-installateure-weiterhin-ab/>

³⁵ <https://www.verbraucherzentrale.nrw/wissen/energie/lohnen-sich-batteriespeicher-fuer-photovoltaikanlagen-24589>

³⁶ <https://www.photovoltaikversicherung-vergleichen.de/photovoltaikversicherungen-vergleichen-vergleichsrechner.html> und

<https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/photovoltaik/betrieb/wartung#c23080>

³⁷ <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/photovoltaik/betrieb/wartung#c23080>

³⁸ <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/photovoltaik/betrieb/wartung#c23080> und <https://www.solytic.com/de/pv-vergleiche/solar-log-web-enerest-vs-solytic/>

³⁹ <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/photovoltaik/photovoltaikanlage/kosten>

⁴⁰ <https://www.photovoltaik-shop.com/wechselrichter-huawei-sun2000-6ktl-m1.html>

⁴¹ [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilie/F%C3%B6rderprodukte/Eneuerbare-Energien-Standard-\(270\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilie/F%C3%B6rderprodukte/Eneuerbare-Energien-Standard-(270)/)

⁴² <https://www.test.de/Solaranlage-Gute-Renditen-sind-moeglich-und-so-gehts-5250676-0/>, siehe auch

<https://www.spiegel.de/wirtschaft/service/solaranlage-so-koennen-sie-damit-geld-sparen-a-0d2602a5-d6de-40df-a95c-ce84bc4c930c>