

Dokumentation Umformsimulation / energetische Standorttransformation:

„Demo energetische Standorttransformation“



Name: Julian Kröger (M.Sc.)

Datum: 29.07.2026

Zusammenfassung

Diese individuelle Lastganganalyse erklärt interessenunabhängig in wie weit eine Investition in die regenerative Standorttransformation sinnvoll sein kann. Der Nutzen ist aktuell und zukunftssträchtig von den weiterhin ansteigenden fossilen Energieträgern unabhängig zu werden. Die Gefahr einer Fehlinvestition wird mittels Jahressimulation in 15 Minuten Schritten und anschließender Kapitalflussrechnung gegen die vermiedenen Energiebezüge gerechnet.

Diese Demonstration nimmt sich als Beispiel ein Mehrfamilien Mietobjekt, das mit den Referenzlastprofilen aus der VDI 4655 (Juli 2021) gespeist wird. Das Kapitel 2 zeigt in 4 Unterkapiteln die iterative Herangehensweise von KroegerState alle denkbaren Konfigurationen der Anlagendimensionierung durch zu spielen.

Kapitel 2.1.1 zeigt ein elektrisches Heiz- und Warmwasserkonzept. Insbesondere die Möglichkeit eines Langzeitspeichers aus Wasserstoff demonstriert Kapitel 2.2.1. Und in einem Fazit wird eine belastbare Handlungsempfehlung gegeben.

Darüber hinaus werden mit dieser Demonstration Wohnungsbaugesellschaften, Kommunen, oder Industriestandorte als Interessengruppen für die Simulation einer energetischen Standorttransformation angesprochen.

KroegerState bietet hiermit interessenunabhängig die Planungssicherheit für eine Investition, und dem Erreichen des maximalen Autarkiegrades.



Julian Kröger (M.Sc.)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iv
1. Einleitung.....	1
1.1 Stand der Technik	1
1.2 Zielsetzung	1
1.3 PV-Ertragsprofile	2
1.4 Lastgang & PV-Ertragsprofil	4
2. Simulation.....	6
2.1 Gewinnmaximierung PV + Batterie + WP	7
2.1.1 Klimaanlageheizen mit PCM abgehängten Decken	9
2.2 Optimaler Eigennutzungsanteil	12
2.2.1 Erweiterung um Wasserstoff als Langzeitspeicher	14
3. Fazit.....	18
Anhang.....	I

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: spez. Jahres PV-Ertrag Standardaufstellung	2
Abb. 2: spez. Jahres PV-Ertrag flächenoptimiert	3
Abb. 3: spez. Jahres PV-Ertrag Fassaden-PV	3
Abb. 4: Jahresstrombedarf nach VDI 4655 (Juli 2021)	4
Abb. 5: Warmwasserbedarf nach VDI 4655 (Juli 2021)	5
Abb. 6: Heizwärmebedarf nach VDI 4655 (Juli 2021)	5
Abb. 7: spez. Jahres PV-Ertrag 296°NW, 40°	6
Abb. 8: Cash-Flow über Programmdurchlauf iteriert	8
Abb. 9: Cash-Flow PV + Batterie + WP	8
Abb. 10: Leistungsflüsse in Jahresanteilen PV + Batterie + WP	9
Abb. 11: Leistungsflüsse in Wochenscheiben PV + Batterie + WP	9
Abb. 12: Heizwärme bei 25% Wohnfläche abgehängte PCM-Decken	10
Abb. 13: Leistungsflüsse in Jahresanteilen HS + KA	11
Abb. 14: Cash-Flow HS + KA	12
Abb. 15: Jahresstrombedarf nach VDI 4655 (Juli 2021) in 15 Min. Zeitabständen	12
Abb. 16: Optimierung der PV-Anlage auf Eigennutzung	13
Abb. 17: Cash-Flow 20 kWp	13
Abb. 18: Kapitalflussrechnung 20 kWp	14
Abb. 19: 891 kWh großer Batteriespeicher	14
Abb. 20: Kapitalflussrechnung mit Wasserstoffkomponenten	15
Abb. 21: Regenerative Leistungsflüsse: Direktverbrauch, Batterie Entladen, Rückverstromt aus Brennstoffzelle	16
Abb. 22: Jahresanteile der Energieflüsse	16
Abb. 23: Ladezustand des Wasserstoffspeichers	16
Abb. 24: Wirkungsgrad PEM-Elektrolyse über den Arbeitsbereich	17
Abb. 25: Wirkungsgrad PEM-Brennstoffzelle über den Arbeitsbereich	17

1. Einleitung

Simulation einer energetischen Standorttransformation mit Referenzlastprofilen nach VDI 4655 (Juli 2021) zur Illustration auf der Website: „kroegerstate.de“.

Zur Deckung des Lastganges werden mehrere Konfigurationen in 15 Min. Zeitschritten über das gesamte Jahr nach dem 1. HS. Energiebilanz gerechnet. Die spezifischen Investitionskosten werden in einer Amortisationsrechnung gegen den eingesparten Zukauf von Strom und Gas Cash-Flow optimiert.

1.1 Stand der Technik

Während im Privatsektor die Photovoltaik, Batteriespeicher und Wärmepumpen Kombination der Goldstandard ist, um mittel- bis langfristig Energiekosten zu sparen, kann Wasserstoff als Energiespeicher in Dimensionen dezentraler Energieversorgung oder großen Industriestandorten rentabel sein.

Zunächst müssen die Lastgänge ermittelt werden. Eine Option ist der Netzbetreiber, der dazu verpflichtet ist den Jahresstromverbrauch, insbesondere die Lastspitzen im 15 Min. Takt, für das Netzendgeld zu belegen. Alternativ schreibt die Industrie mit einem eigenen Energiemanagement den Gesamtlastgang z.B. durch Messen mittels Strommesszange in einer SPS mit. Darüber hinaus gibt die VDI-4655 (Juli 2021) repräsentative Lastprofile für Wohngebäude.

Standortbezogene Satellitendaten entsprechend Längen- und Breitengrad füttern im 1 Stunden Takt ein Wettermodell, das den Jahres PV-Ertrag exakt zu der Ausrichtung der PV-Module berechnet. Mit den Windgeschwindigkeiten wird außerdem der Ertrag einer Windkraftanlage abgebildet.

Die Anlagenkonfiguration sieht ergänzend zu der Photovoltaik, Batteriespeicher und Wärmepumpen Kombination einen Langzeitspeicher aus Wasserstoff vor, bestehend aus einem Elektrolyseur, Verdichter, Druckgasflaschenbündel und Brennstoffzelle bzw. Gasmotor.

1.2 Zielsetzung

Ziele einer energetischen Standorttransformation sind die optimale Dimensionierung aller Komponenten der Energieversorgung. Das ist in erster Linie die Amortisation aus dem gesparten Zukauf von Strom und Gas gegenüber der Abschreibungssumme und den laufenden Betriebskosten.

Eine weitere Optimierung ist der Eigennutzungsanteil. Die Deckung der Grundlast und die Last-Spitzen-Kappung sind zielführende Kostensenker. Das ermöglichen die optimale Dimensionierung des Batteriespeichers sowie die Ertragsoptimierte Ausrichtung der PV-Module auf die ertragsschwachen Wintermonate.

Und zukunftsweisend wird die vermiedene CO₂-Emission bezogen auf den aktuellen Strommix (2026) ausgegeben. Eine kWh aus dem Strommix Deutschlands im Jahr 2026 entspricht 0,33 kg CO₂.

1.3 PV-Ertragsprofile

PV-Standardertragswerte beziehen sich auf die Südausrichtung und einen 30° geneigten Aufstellwinkel. Flächenoptimiert wird die West- / Ostausrichtung mit einem Aufstellwinkel von 15° realisiert, damit sich die Module nicht gegenseitig verschatten. Und Fassaden-PV, vorzugsweise in direkter Südausrichtung, erhöht deutlich den Eigennutzungsanteil in den Wintermonaten. Das bedeutet aber weniger Ertrag im Sommer, wenn die Sonne hochsteht. Ein Vergleich der Aufstellwinkel zeigt den spezifischen Jahres PV Ertrag für die Mitte Deutschlands östlich von Kassel (Längengrad 51,3, Breitengrad 9,5).

Süd 30°	West / Ost 15°	Süd 90°
937 [kWh / kWp / a]	830 [kWh / kWp / a]	625 [kWh / kWp / a]

Die Standard Aufstellung der PV-Anlage in Südausrichtung mit 30° Aufstellwinkel spiegelt den optimalen Ertrag wider und wird häufig als Referenzertrag genutzt.

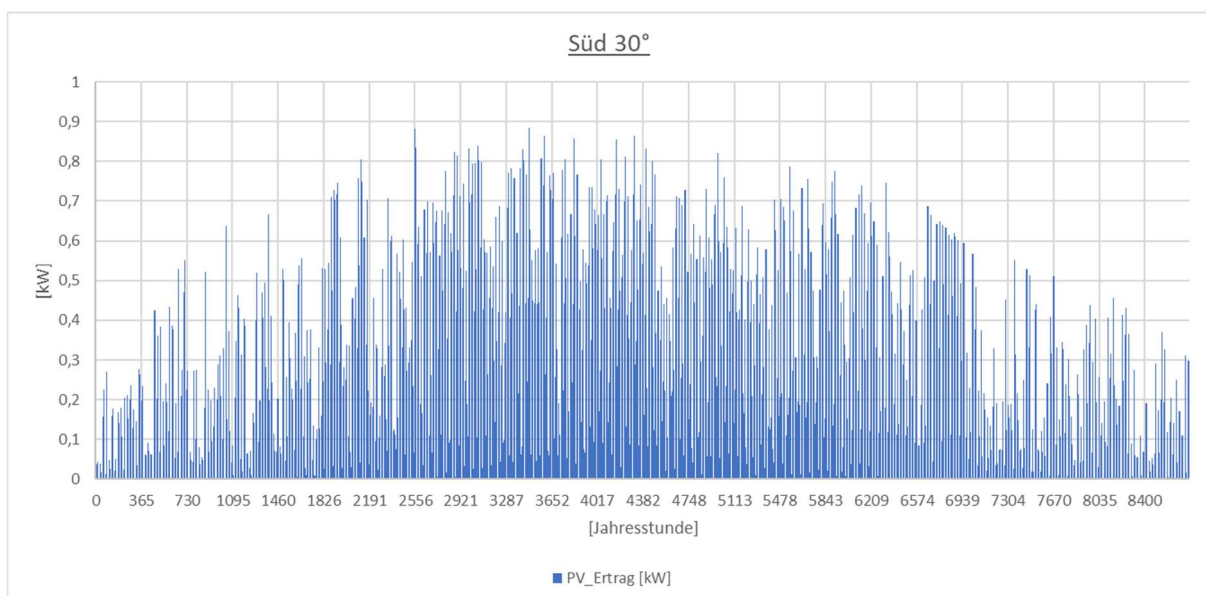


Abb. 1: spez. Jahres PV-Ertrag Standardaufstellung

Freiflächen PV-Anlagen müssen möglichst viele PV-Module auf der vorhandenen Fläche unterbringen ohne sich gegenseitig zu verschatten. Deshalb spricht man von einer flächenoptimierten Positionierung der PV-Module.

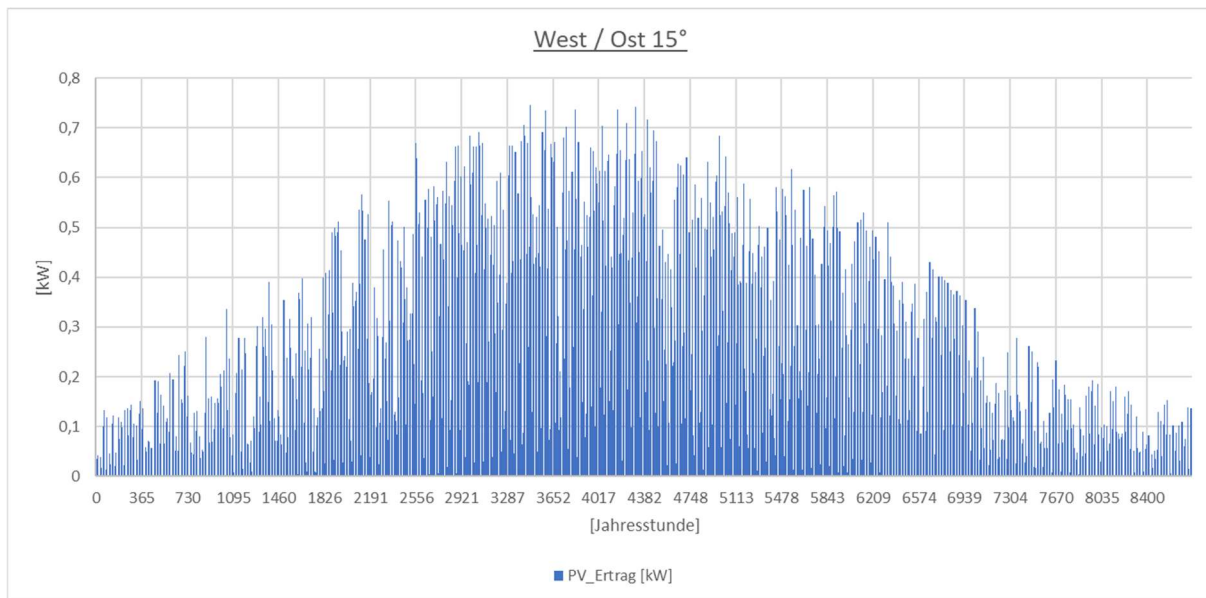


Abb. 2: spez. Jahres PV-Ertrag flächenoptimiert

Fassaden PV-Anlagen bieten eine praktische Positionierungsmöglichkeit ohne zu stören und decken den Eigenbedarf besonders in den Wintermonaten.

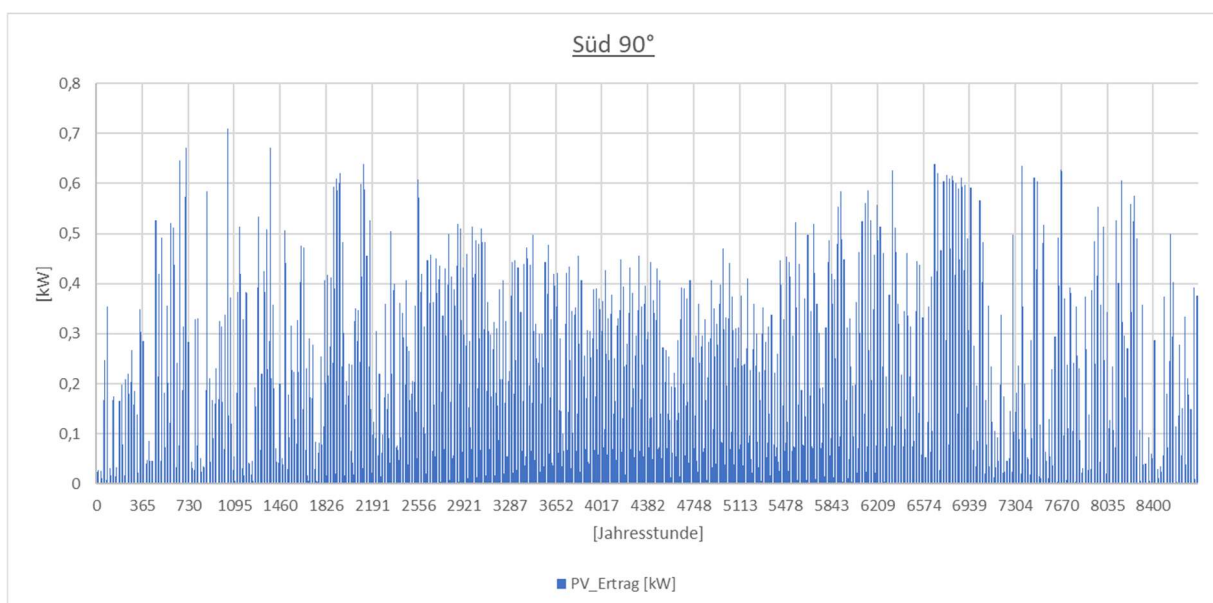


Abb. 3: spez. Jahres PV-Ertrag Fassaden-PV

Während der Standard Aufstellwinkel nicht immer möglich ist, ist es sehr sinnvoll nicht bloß auf den Jahres PV Ertrag zu achten, sondern die Positionierung nach einer ganzjährig guten Eigennutzung zu wählen. In der Praxis wird das immer ein Kompromiss vor allem aus dem vorhandenen Platz sein.

1.4 Lastgang & PV-Ertragsprofil

Neben Industrielastgängen, die sich durch eine stabile Grundlast mit ausgeprägten Leistungsspitzen auszeichnen, nutzt diese Demonstration die Referenzlastprofile aus der VDI 4655 (Juli 2021). Für das Szenario wird von einem bestands Mehrfamilienhaus ausgegangen. Dazu passen die Jahresnormverbräuche:

Strom	1350 kWh / Pers
Trinkwarmwasser (TWW)	1000 kWh / Wohnung

Und ein Heizwärmebedarf entnommen aus einer Nebenkostenabrechnung von:

Heizwärmebedarf	6820 kWh / Wohnung
-----------------	--------------------

Skaliert auf das Gesamtgebäude werden 60 Balkone verteilt auf 2 Gebäude gezählt. Die Belegung wird mit 1,6 Personen als Mittelwert angenommen. Das entspricht etwa der halben Belegung mit Singles, fast genauso vielen Paaren und wenigen Familien. Die Gesamtjahresverbräuche summieren sich dann zu:

Haushalts- strom-bedarf [kWh/a]	Trink-Warm- Wasser-bedarf [kWh/a]	Heiz-wärme- bedarf [kWh/a]
129600	96000	409200

Die Leistungsbedarfe sind zur Veranschaulichung im Stundentakt aufgetragen.

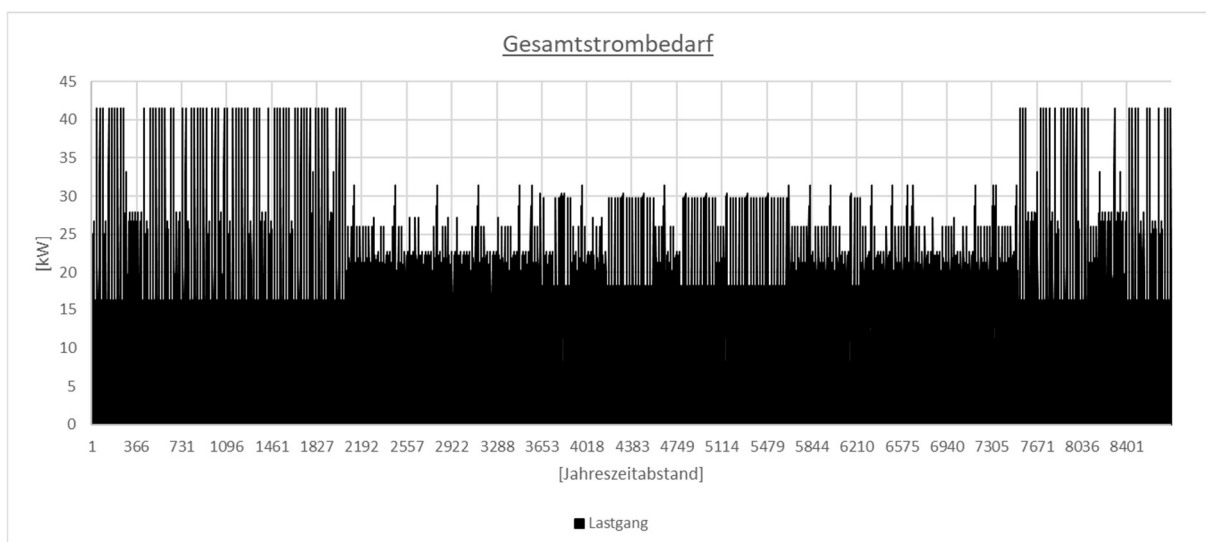


Abb. 4: Jahresstrombedarf nach VDI 4655 (Juli 2021)

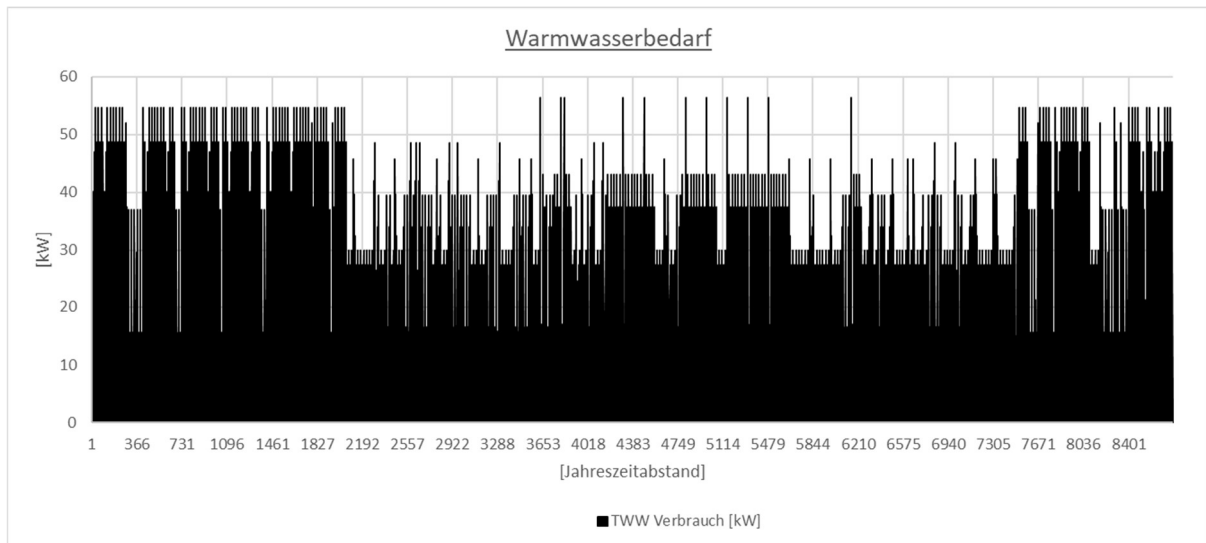


Abb. 5: Warmwasserbedarf nach VDI 4655 (Juli 2021)

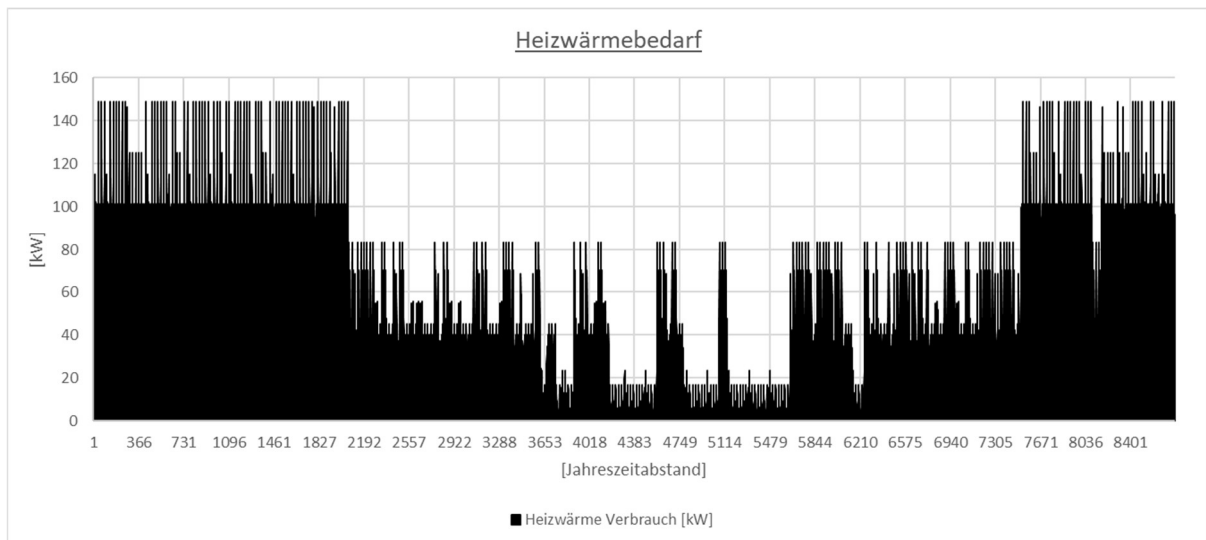


Abb. 6: Heizwärmebedarf nach VDI 4655 (Juli 2021)

Google Maps ermöglicht die belegbare Dachfläche für PV-Module zu messen. Ausgehend von einem typischen Dachneigungswinkel von 40° für Bestandsgebäude passen 20 typische 420 Watt peak (Wp) Module auf insgesamt 20 Dachhälften. In Summe bedeutet das eine maximale Dacheindeckung mit 400 kWp Photovoltaikleistung. Die Ausrichtung zeigt der Kompass mit 296° Nord-West an.

296° NW, 40°

795 [kWh / kWp / a]

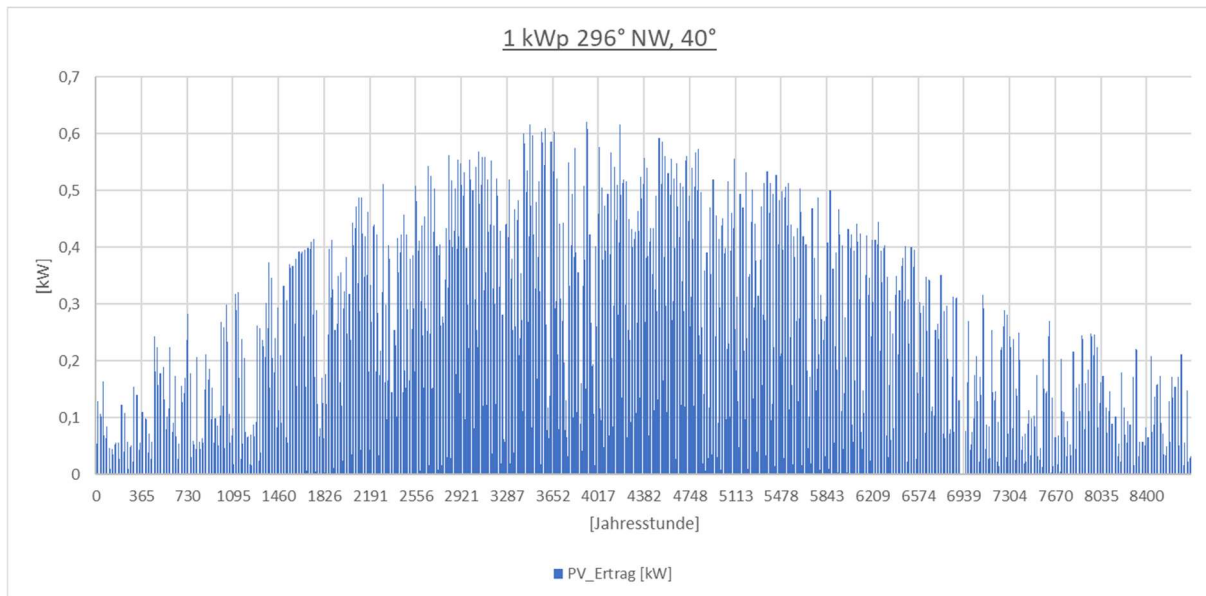


Abb. 7: spez. Jahres PV-Ertrag 296°NW, 40°

2. Simulation

In 4 Unterkapiteln werden verschiedene Heizkonzepte, und Möglichkeiten für die Maximierung des Eigennutzungsanteils insbesondere mit Wasserstoffkomponenten durchgespielt. Kennzahlen werden mit dem Autarkiegrad, Eigennutzungsanteil, eingesparter CO₂ Emission, und dem Cash-Flow am Ende der Abschreibungszeit gegeben.

Eine Kapitalflussrechnung wird mit den aufgelisteten Werten (Stand Juli 2026) gefüttert.

Abschreibungszeitraum	20 Jahre
Rückstellungssumme	12.600 €
Jährliche Stromertragsminderung	0,5 %
Jährliche Betriebskosten (vom Investment)	1 %
Teuerungsrate jährliche Betriebskosten	2,2 %
Strompreis	0,32 €
Allg. Teuerungsrate Strom	4 %
Einspeisevergütung	0,063 €
Jährliche Abnahme Einspeisevergütung	4,8 %
Steuersatz	30 %
Jährliche Wärmeertragssteigerung	2,5 %

Zu beachten ist die Einspeisevergütung gestaffelt nach installierten kWp der PV-Anlage:

> 10 kWp = 0,078 € > 40 kWp = 0,074 € > 100 kWp = 0,068 € < 100 kWp = 0,063 €

Die Anlageninvestitionen werden mit spezifischen Kosten eingesetzt, damit jede neu berechnete Anlagenkonfiguration von dem korrekt angenommenen Investment abgeschrieben wird.

Photovoltaik	400 € / kWp
Batteriespeicher (inkl. Wechselrichter)	1.100 € / kWh
Warmwasser Puffer Speicher	4.000 € / m ³
Heizwasser Puffer Speicher	1.500 € / m ³
Luft Wärmepumpe	2.000 € / kW
+ Reserve für Leitungen, Ventile, Pumpen	5 %

Die Amortisationszeit und der Cash-Flow am Ende der Abschreibungszeit werden schließlich maximiert.

2.1 Gewinnmaximierung PV + Batterie + WP

Die Gewinnmaximierung für die Photovoltaik, Batteriespeicher und Wärmepumpen Kombination ermittelt sich wie folgt.

Programm- durchlauf	PV [kWp]	Batterie [kWh]	Cash-Flow [€]	Autarkie- grad [%]	Eigennutzungs- anteil [%]	CO ₂ - Vermeidung [T_CO ₂ /a]
1	300	0	128.063,05	24,79	36,33	25836,76
2	300	150	331.069,97	39,76	58,67	42143,49
3	400	200	457.994,72	47,06	53,07	50141,38
4	400	240	466.433,99	49,13	55,50	52463,03
5	400	250	467.078,52	49,59	56,04	52975,04
6	400	260	466.678,25	50,00	56,52	53438,78

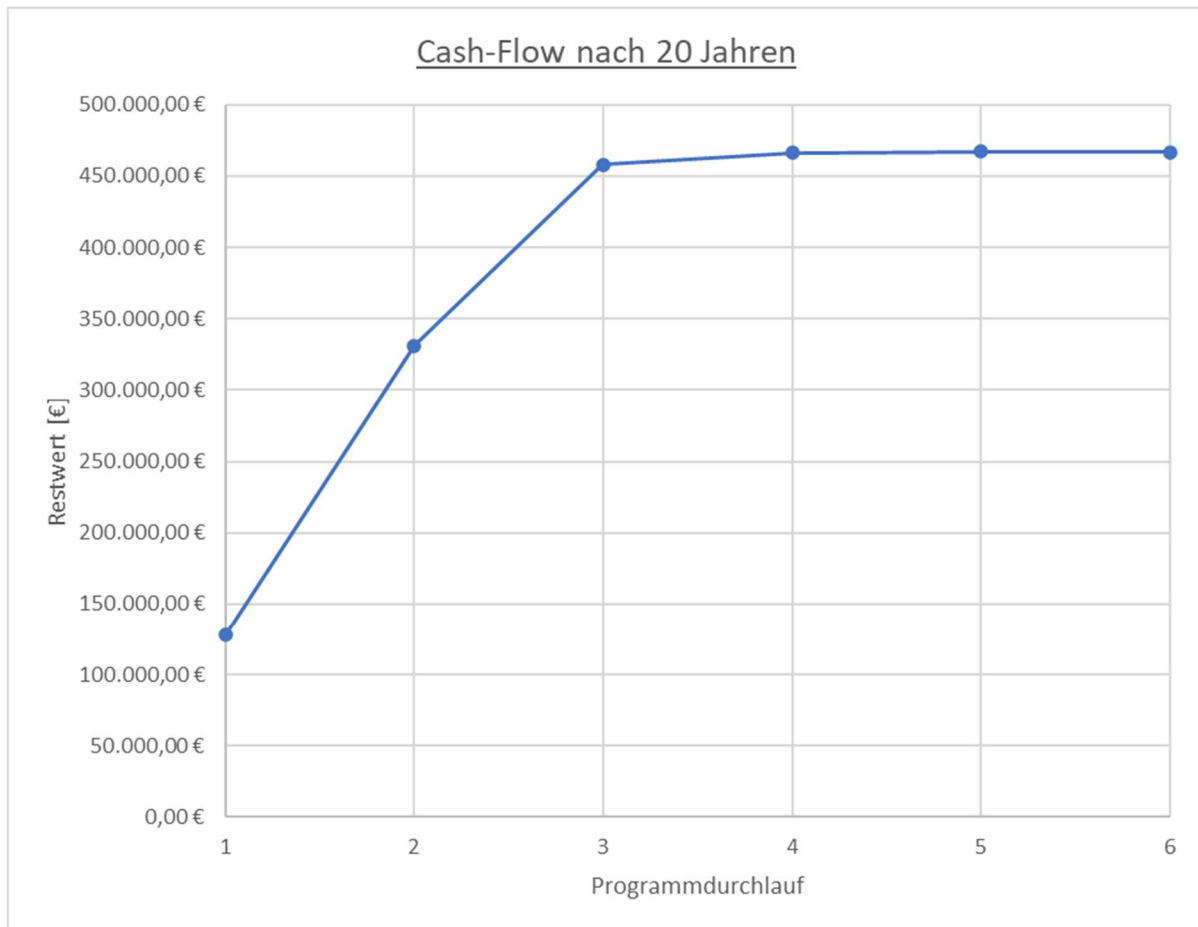


Abb. 8: Cash-Flow über Programmdurchlauf iteriert

Damit sind die maximale Bedeckung des Daches mit 400 kWp Photovoltaik in der Kombination mit einem 260 kWh großen Batteriespeicher die Zieldimensionierung. In dem Szenario ist außerdem eine 180 kW große Luft-Wasser-Wärmepumpe zum beladen von insgesamt 25 m³ Warmwasser Puffer Speicher sowie 35 m³ Heizwasser Puffer Speicher identifiziert worden. Die Amortisationszeit beträgt 15 Jahre, bei 994.875,00 € Investment.

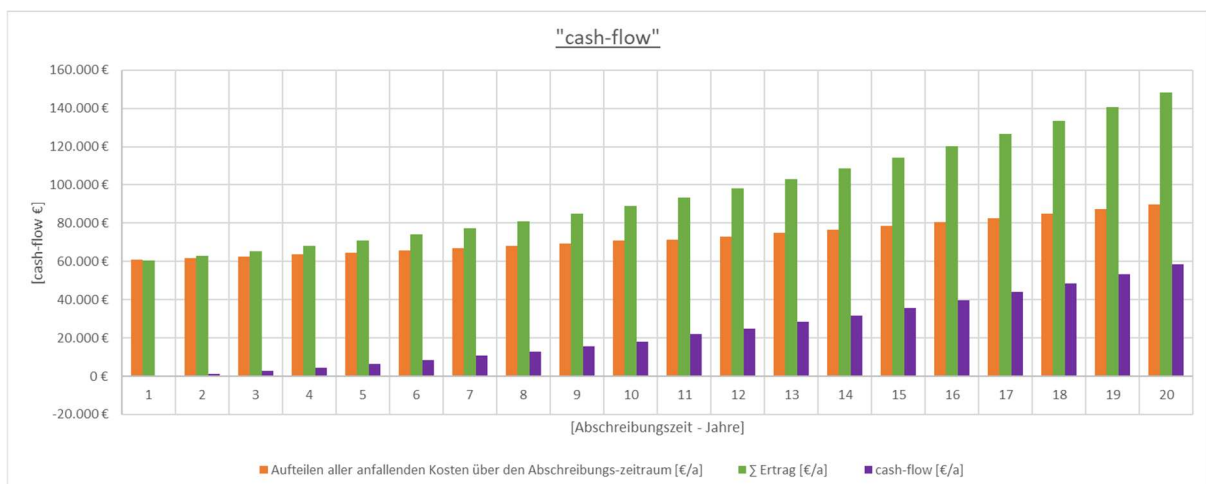


Abb. 9: Cash-Flow PV + Batterie + WP

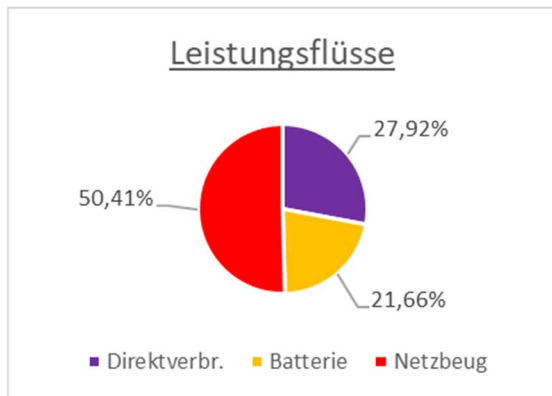


Abb. 10: Leistungsflüsse in Jahresanteilen PV + Batterie + WP

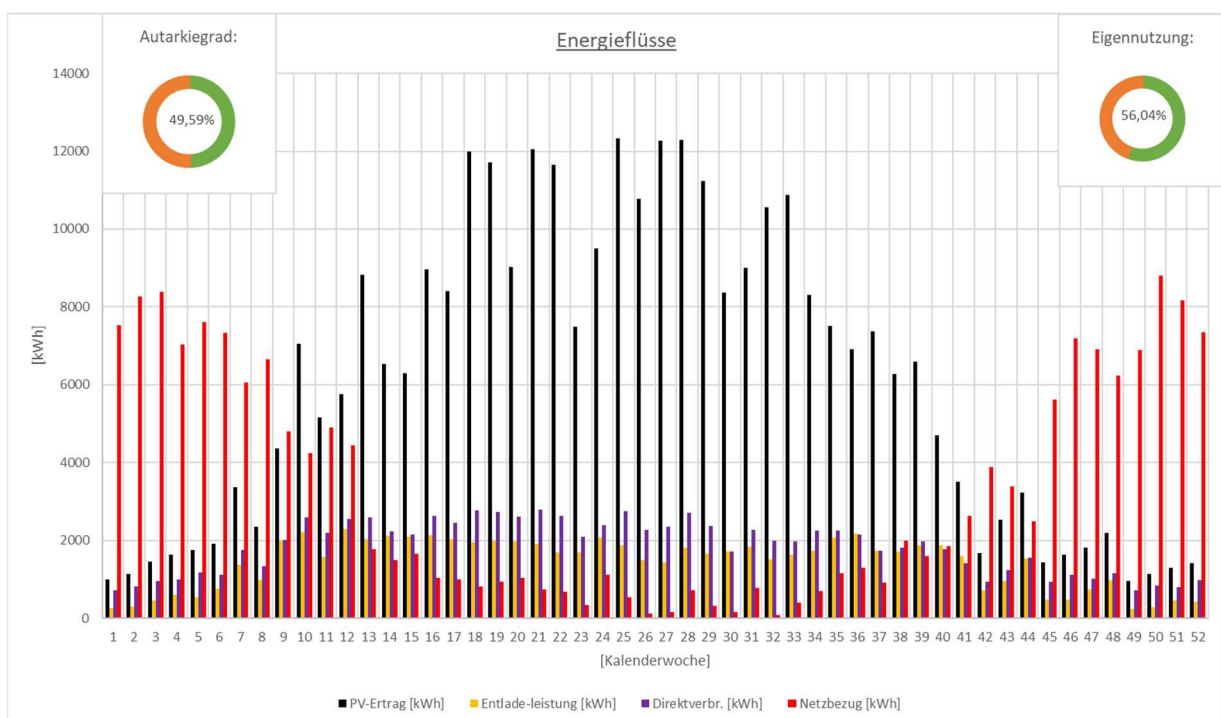


Abb. 11: Leistungsflüsse in Wochenscheiben PV + Batterie + WP

2.1.1 Klimaanlageheizen mit PCM abgehängten Decken

In Kontrast zu dem klassischen wassergeführten Heizsystem wird der Vergleich zum Heizen mit Klimaanlage (Luft-Luft-Wärmepumpe) zusammen mit PCM (phase change material) abgehängten Decken ausprobiert. Die Knauf Comfortboard 23 enthält mikroverkapselte Phase-Change-Materialien (PCM), die bei etwa 23 °C schmelzen. Durch die dabei freigesetzte bzw. aufgenommene Schmelzenthalpie besitzen die Platten eine sehr hohe effektive Wärmespeicherkapazität und stabilisieren die Raumtemperatur. Dieser Wärmespeicher hält die Raumtemperatur konstant um 23°C. Das Diagramm zeigt die Heizwärme direkt unter der Decke. Auf Grund einer geringen Grädigkeit wird die tatsächliche

Raumtemperatur im Winter eher bei 21°C liegen und im Sommer 25°C nicht übersteigen. Die Spitzen in der Jahresmitte resultieren aus dem fehlenden Heizwärmebedarf in der Jahresmitte durch auskühlen. Und ebenfalls über die Jahresmitte steigt die Temperatur leicht höher als in den Wintermonaten. Das bedeutet das PCM-Material nimmt Wärme in Hitzephasen gut auf, sodass die Raumtemperatur annähernd konstant bleibt.

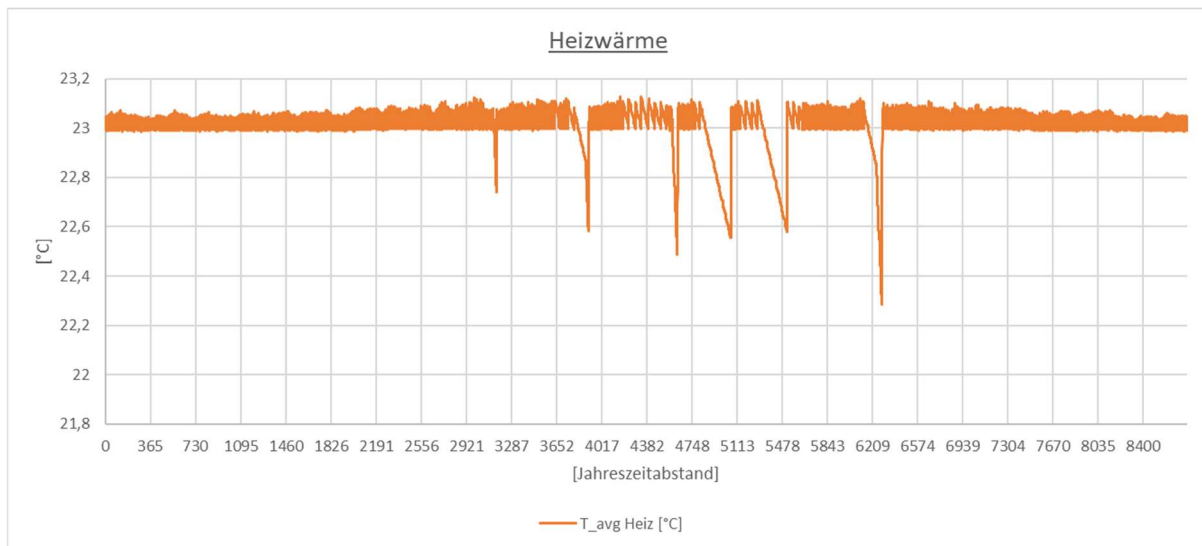


Abb. 12: Heizwärme bei 25% Wohnfläche abgehängte PCM-Decken

Darüber hinaus könnte ebenfalls das Warmwasser durch dezentrale Unterbauheizstäbe elektrifiziert werden. Der Kosten-Nutzen wird mit einer Luftwärmepumpe und Warmwasserpuffer Speicher verglichen.

Die spezifischen Kosten passen sich entsprechend an.

Klimaanlage Heizen	950 € / kW
Knauf Comfortboard 23 PCM-Gipsplatten	90 € /m ²
Unterbauheizstab	200 € / kW

Das klassische wassergeführte Heizsystem kommt mit einer Wärmepumpe (WP) aus, die abwechselnd den Warmwasser Pufferspeicher und den Heizwasser Pufferspeicher lädt. Das System heizen mit einer Klimaanlage (KA) behält die Wärmepumpe und den Warmwasser Pufferspeicher. Der Heizwasser Pufferspeicher entfällt, und ist durch die Klimaanlage zum Heizen und der PCM abgehängten Decke ersetzt. Wird das Warmwasser hingegen mittels den sehr günstigen Unterbauheizstäben (HS) erwärmt, so entfällt das Investment für die Wärmepumpe und die Warmwasserpufferspeicher.

System	Cash-Flow [€]	Autarkie- grad [%]	Eigennutzungs- anteil [%]	CO ₂ -Vermeidung [T_CO ₂ /a]	Investment [€]
WP	467.078,52	49,59	56,04	52.975,04	994.875,00
WP + KA	232.583,88	50,31	53,91	51.368,21	1.207.185,00
HS + KA	820.217,39	47,72	61,43	58.735,72	761.985,00

Mit der Klimaanlageheizung steigt der Autarkiegrad leicht an gegenüber der Luft-Wärmepumpe. Die Jahresarbeitszahl von der Klimaanlage beträgt 3,2 und 3,0 von der Luftwärmepumpe zum Heizen mit einer Vorlauftemperatur von 45°C.

Das Konzept Klimaanlage Heizen kombiniert mit den PCM abgehängten Decken und dezentral installierten Unterbauheizstäben gewinnt den Kosten-Nutzen Vergleich. Der Autarkiegrad nimmt um knapp 2 % im Vergleich zu dem wassergeführten System ab und der Eigennutzungsanteil steigt um gut 5 %. Das Resultiert aus der Jahresarbeitszahl der Luft-Wasser-Wärmepumpe von 2,2 für die Vorlauftemperatur von 60°C zur Warmwassererwärmung. Der Direktverbrauch sinkt leicht, weil der Warmwasser Pufferspeicher fehlt, kann das Warmwasser nicht zwischen gespeichert werden und wird unmittelbar bei Bedarf erwärmt.

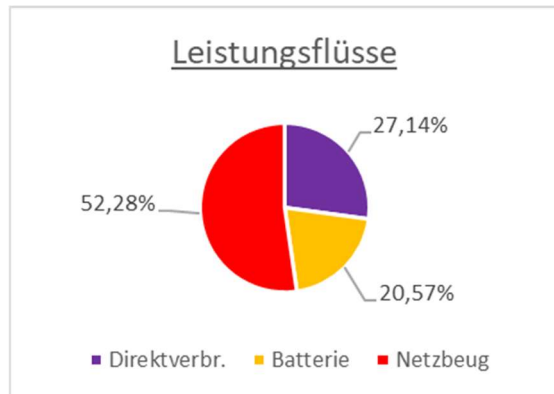


Abb. 13: Leistungsflüsse in Jahresanteilen HS + KA

Der Break-even-point wird mit einer Amortisationszeit von 11 Jahren 4 Jahre früher erreicht.

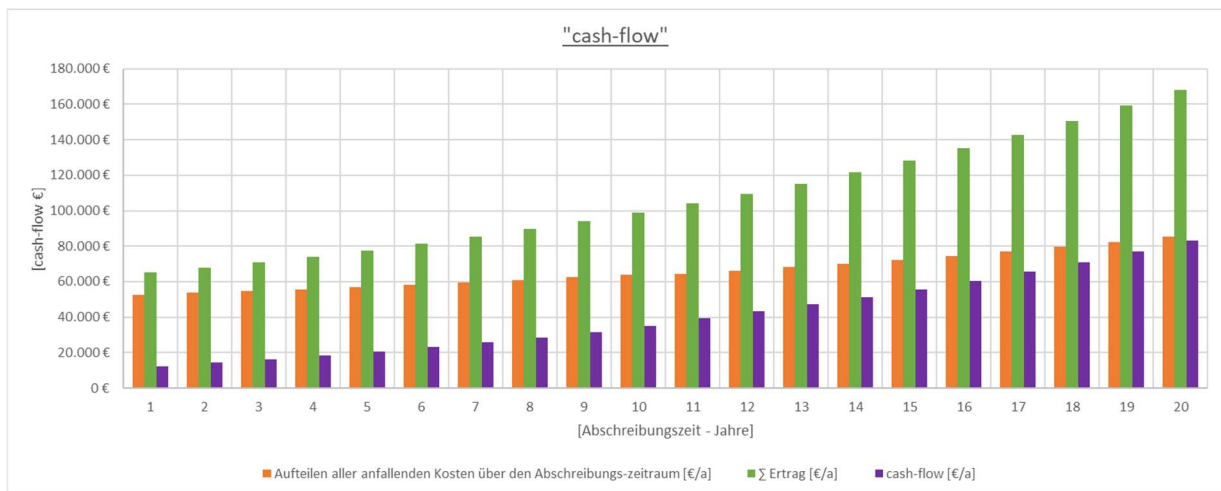


Abb. 14: Cash-Flow HS + KA

2.2 Optimaler Eigennutzungsanteil

Die Maximierung des Eigennutzungsanteils ist insbesondere durch das Auslaufen der Einspeisevergütung eine sinnvolle Maßnahme. Dieses lässt sich mit einem relativ kleinen Anteil an erneuerbarer Energie zur Deckung der Grundlast, oder in Kombination mit einem passend dimensionierten Batteriespeicher zur Lastspitzenkappung gut realisieren. Der Stromlastgang aus der VDI 4655 (vgl. Abb. 4) zeichnet sich durch eine konstante Grundlast aus, die in 15 Min. Zeitabständen nie unter 1,4 kW fällt. Und auf Grund der Normierung in Typ Tagen zeigen sich gleichverteilte Lastspitzen in den Wintermonaten. Es wird daher versucht die Grundlast möglichst abzudecken, ohne Strom einspeisen zu müssen. Die Lastspitzenkappung wäre auf Grund des im Winter geringeren PV-Ertrags nicht sinnvoll. Außerdem wird nur der Stromlastgang betrachtet.

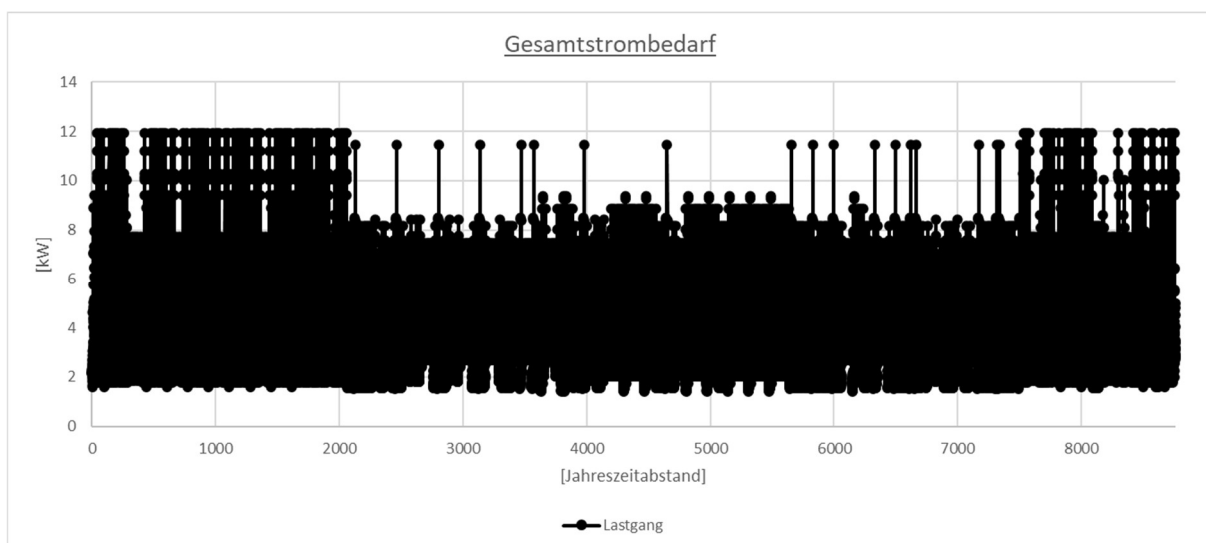


Abb. 15: Jahresstrombedarf nach VDI 4655 (Juli 2021) in 15 Min. Zeitabständen



Abb. 16: Optimierung der PV-Anlage auf Eigennutzung

Die Grundlast wird mit einer PV-Anlage von 20 kWp optimal gedeckt.

PV [kWp]	Cash-Flow [€]	Autarkie- grad [%]	Eigennutzungs- anteil [%]	CO ₂ -Vermeidung [T_CO ₂ /a]	Investment [€]
20	34.015,80	12,16	99,68	4986,42	8.400,00

Bereits nach 2 Jahren ist die Investition amortisiert und erwirtschaftet Gewinn.

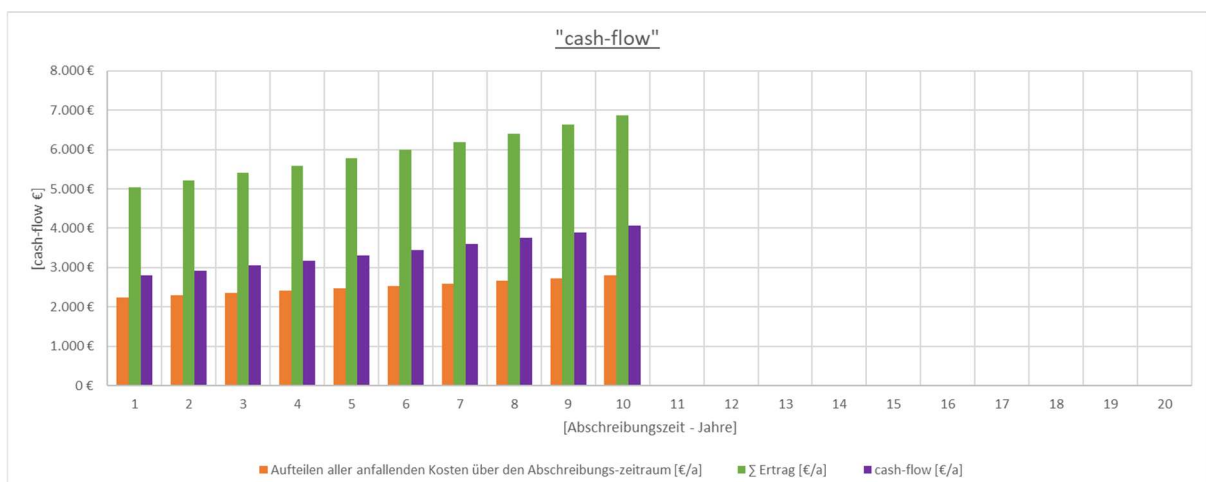


Abb. 17: Cash-Flow 20 kWp

Der Net Present Value wird mit einem Kapitalkostensatz von 10% deutlich positiv. Das ist eine überaus rentable Investition.

Kaptialflussrechnung:	
cash flow = übrig gebliebener Verdienst	34.015,80 €
Ausschüttungsquote EK	354,33%
Wachstumsrate auf EK	13,49%
Interner Zinsfuß	45,03%
net present value	17.813,69 €
Amortisation nach	2 Jahre
Investitionskosten inkl. Rückstellung	9.600,00 €

Abb. 18: Kapitalflussrechnung 20 kWp

2.2.1 Erweiterung um Wasserstoff als Langzeitspeicher

Zur Maximierung des Eigennutzungsanteils ist die gegenteilige Strategie den überschüssigen regenerativen Strom zu speichern und maximal auszubauen. Wenn der Batteriespeicher vergrößert wird, zeigt sich eine ausgeprägte Nutzung im Sommer während er in den Wintermonaten quasi leer bleibt.

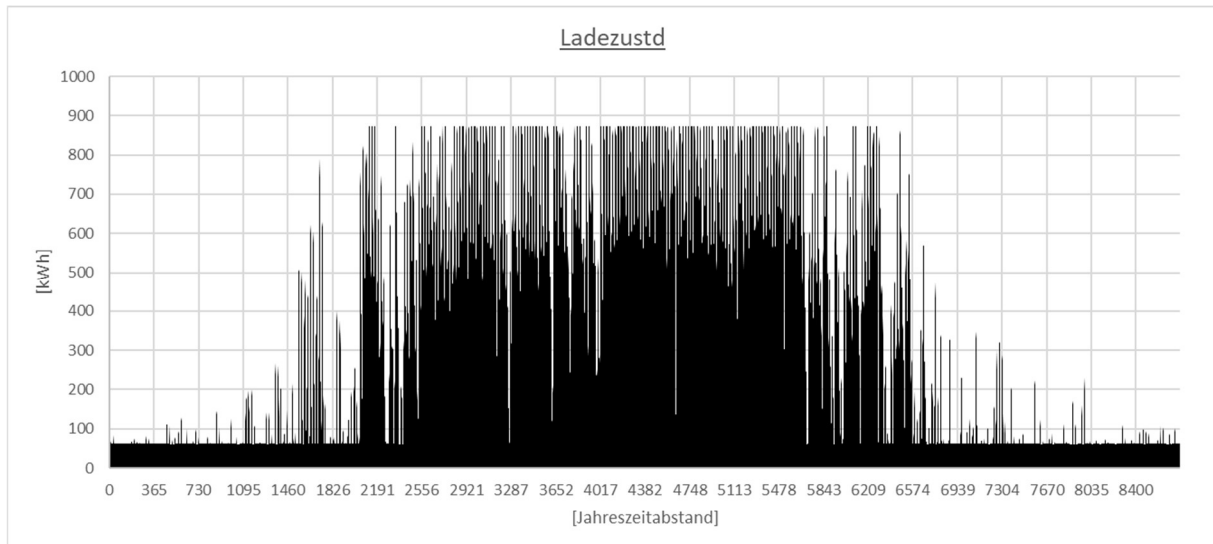


Abb. 19: 891 kWh großer Batteriespeicher

Deshalb wird an der Lösung aus 2.1.1 anknüpfend mit Wasserstoff als Langzeitspeicher angeknüpft. Die spezifischen Kosten erweitern sich mit:

Elektrolyseur	1.500 € / kW
Trocknungseinheit	250 € / kW
Druckgasflaschenbündel	500 € / kg
Stufenverdichter	70.000 € (7,6kW, 26Nm ³ /h)

PEM-Brennstoffzelle	2.500 € / kW
---------------------	--------------

Iterativ werden einige Konfigurationen gerechnet und verglichen:

PV [kWp]	Batterie [kWh]	H ₂ - Speicher [kg]	Ely [kW]	BSZ [kW]	Cash-Flow [€]	Autar- kie- grad [%]	Eigen- nutzungs- -anteil [%]	CO ₂ - Vermeid- ung [T_CO ₂ /a]
400	891	0	0	0	421.564,43	56,76	73,67	70.670,54
400	250	400	50	20	630.842,08	53,06	78,74	65.755,43
400	250	300	60	15	659.100,59	52,54	77,32	65.241,88
400	250	500	100	15	536.948,60	53,94	82,02	67.153,85
400	250	750	100	25	389.087,23	55,78	87,62	69.260,81
400	250	1000	220	25	115.085,97	57,12	91,72	71.110,62

Die Rechnungen zeigen, dass die Deckung des Gesamtenergiebedarfs aus eigener Kraft nicht möglich ist. Der Ausbau der Batteriegröße stellt sogar den besten Weg zur Steigerung des Autarkiegrades dar. Trotzdem wird hier zu Demonstrationszwecken die gelb markierte Lösung mit den Wasserstoff-Komponenten visualisiert. An Stelle des Kapitalkostensatz wird die Inflation mit konservativen 3,5% eingesetzt, damit ein realer Verlust vermieden ist. Und in allen bisherigen Rechnungen ist mit einem Steuersatz von 30% gerechnet worden. Die Umsatzsteuer entfällt jedoch auf den Eigenverbrauch selbst erzeugter Energien. Somit korrigiert sich der Cash-Flow.

Kaptialflussrechnung:			
cash flow = übrig gebliebener Verdienst			861.646,07 €
Ausschüttungsquote EK			74,14%
Wachstumsrate auf EK			-1,48%
Interner Zinsfuß			0,00%
net present value			209.023,14 €
Amortisation nach			14 Jahre
Investitionskosten inkl. Rückstellung			1.162.110,00 €

Abb. 20: Kapitalflussrechnung mit Wasserstoffkomponenten

Die Kapitalflussrechnung zeigt, dass das Projekt operativ profitabel ist. Über 20 Jahre entsteht ein positiver Cashflow von rund 860.000 €. Dennoch liegen die gesamten Rückflüsse unter der anfänglichen Investition von 1,16 Mio. €, weshalb die interne Verzinsung (IRR) bei 0 % bleibt und die Wachstumsrate des Eigenkapitals negativ ist. Der Kapitalwert (NPV) ist jedoch positiv, weil die Rückflüsse, den heutigen Wert der Investition übersteigen. Das Projekt macht also keinen Verlust, erzielt aber nur eine minimale interne Rendite.

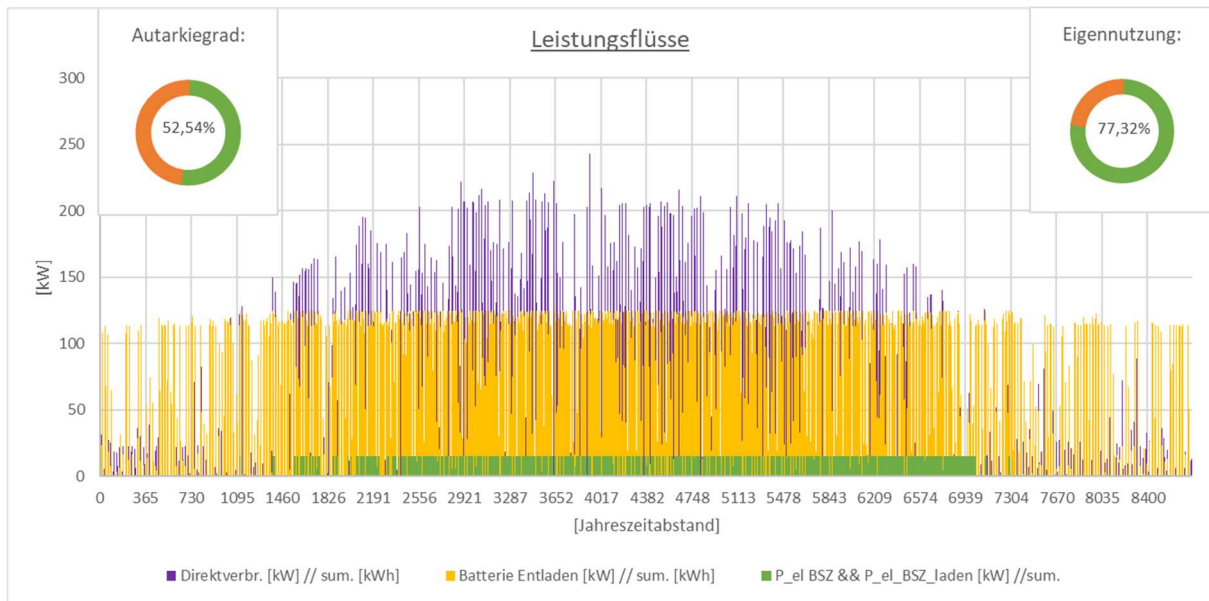


Abb. 21: Regenerative Leistungsflüsse: Direktverbrauch, Batterie Entladen, Rückverstromt aus Brennstoffzelle

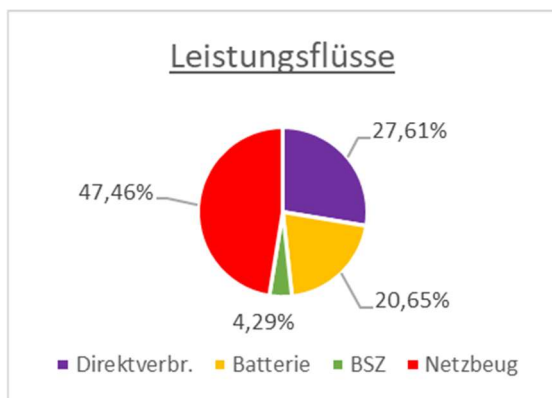


Abb. 22: Jahresanteile der Energieflüsse

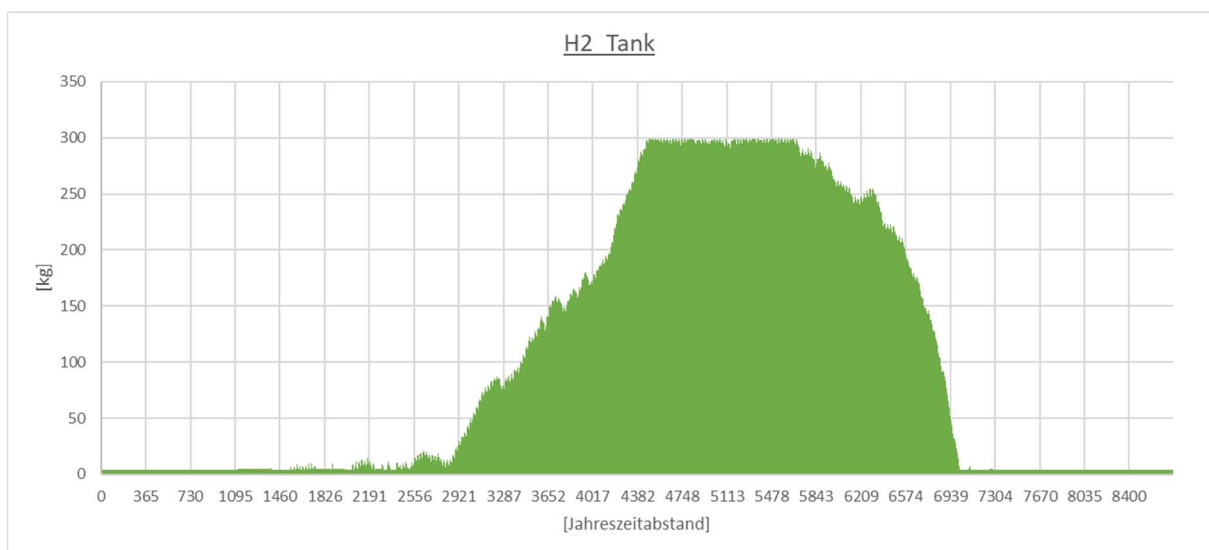


Abb. 23: Ladezustand des Wasserstoffspeichers

Der Füllstand des Wasserstoff-Speichers korreliert etwas zeitversetzt zu dem PV-Strom Überschuss in den Sommermonaten. Über das Jahr werden 1065,7 kg Wasserstoff hergestellt. Das entspricht einer elektrischen Leistung von 17.142 kWh. Bezogen auf den Gesamtenergiebedarf deckt das 4,29 %.

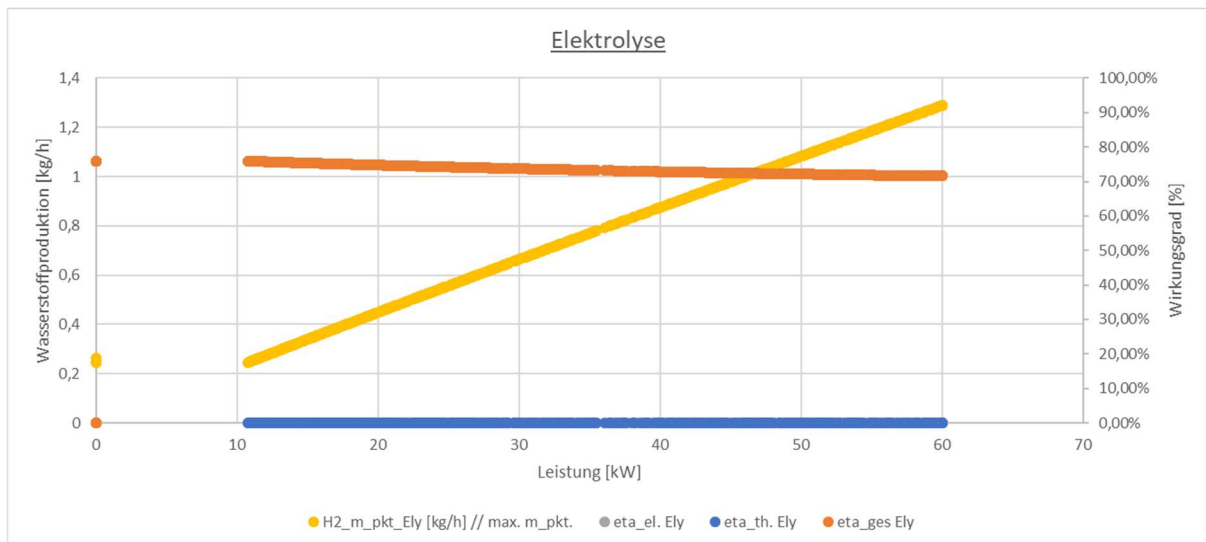


Abb. 24: Wirkungsgrad PEM-Elektrolyse über den Arbeitsbereich

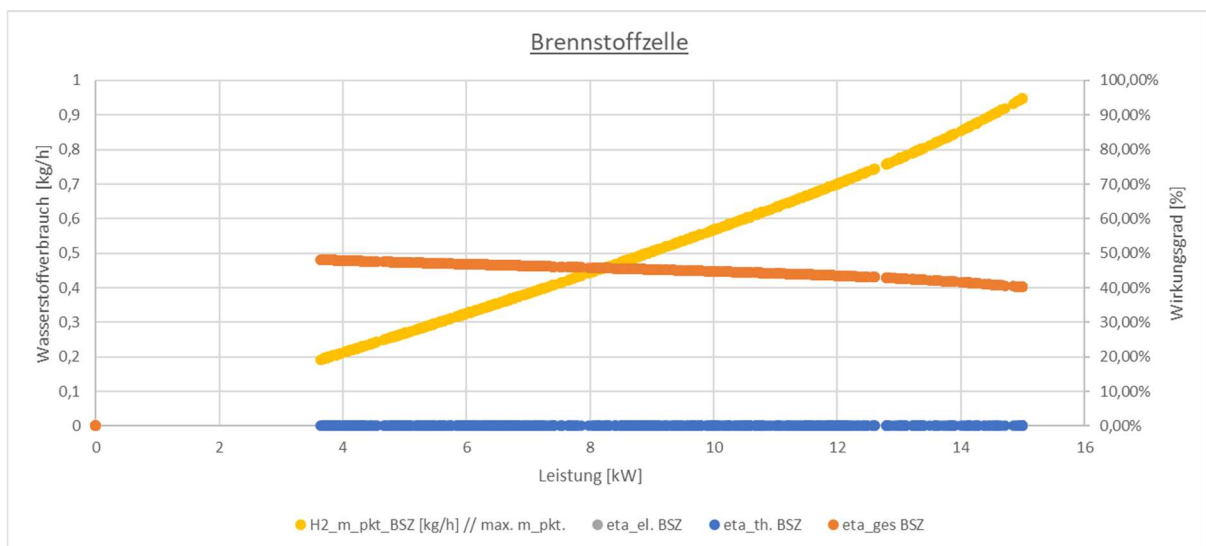


Abb. 25: Wirkungsgrad PEM-Brennstoffzelle über den Arbeitsbereich

Sowohl die Elektrolyse als auch die Brennstoffzelle sind in diesem Szenario luftgekühlt, weil die Wärme ergänzt zu dem Konzept aus Kap. 2.1.1 nicht in Pufferspeicher abgeführt werden kann. Daher bleibt die Abwärme ungenutzt und der elektrische Wirkungsgrad deckt sich mit dem Gesamtwirkungsgrad.

3. Fazit

Diese Ausarbeitung ist ohne Fördergelder betrachtet, weil lediglich Wärmepumpen und der Heizungstausch als Einzelkomponenten zwischen 25% und 40% gefördert werden. Jedoch entfällt die Umsatzsteuer auf den Eigenverbrauch selbst erzeugter Energien.

Im Kontrast zu einer Investition kann in dem Zusammenhang einer energetischen Standorttransformation mit dem Zweck eines maximalen Autarkiegrades für eine langfristige Planungssicherheit der Energiekosten argumentiert werden. Denn die Energiekosten sind ein Kostenfaktor, der sich unmittelbar auf die Wertschöpfungskette und den Wohlstand auswirkt.

KroegerState bietet hiermit interessenunabhängig die Planungssicherheit für eine Investition, und dem Erreichen des maximalen Autarkiegrades.

Dem demonstrierten Szenario ist das Ergebnis aus Kapitel 2.2 unmittelbar empfohlen, und im Falle einer Sanierung das Kapitel 2.1.1.

Anhang