

Strombedarf und Stromerzeugung in einer Doppelhaushälfte



Jana Mehnert

Inhaltsverzeichnis

1	Unverzichtbarer Strom.....	- 3 -
2	Strombedarf unseres Haushalts.....	- 3 -
2.1	Kontinuierliche Verbraucher.....	- 7 -
2.2	Nicht kontinuierliche Verbraucher.....	- 8 -
3	Stromverteilung und Stromkosten.....	- 9 -
3.1	Monatliche Verteilung.....	- 9 -
3.2	Jährliche Verteilung.....	- 10 -
3.3	Verbrauchstendenz.....	- 10 -
3.4	Kostentendenz.....	- 11 -
4	Stromerzeugung durch Photovoltaik.....	- 11 -
4.1	Voraussetzungen.....	- 12 -
4.2	Vorhandene Bedingungen.....	- 13 -
4.3	Auslegung und Ertragsprognose.....	- 13 -
4.4	Kosten der Anlage und Wirtschaftlichkeit.....	- 15 -
4.4.1	Volleinspeisung.....	- 15 -
4.4.2	Direktverbrauch ohne Speichernutzung.....	- 17 -
4.4.3	Direktverbrauch mit Speichernutzung.....	- 18 -
4.4.4	Kosten-Nutzen-Analyse.....	- 19 -
5	Umweltbilanz einer Photovoltaikanlage mit Speicher.....	- 21 -
6	Fazit.....	- 21 -
7	Lösung für die Zukunft.....	- 22 -
8	Quellenverzeichnis.....	- 23 -
8.1	Textnachweise.....	- 23 -
8.2	Abbildungen und Tabellen.....	- 23 -

1 Unverzichtbarer Strom

Auch wenn der Anteil erneuerbarer Energien seit den 90er Jahren auf fast das Zwölfwache gestiegen ist und wesentlich zum Rückgang der fossilen Stromerzeugung beigetragen hat, wurde im Jahr 2021 noch gut die Hälfte des Stroms aus fossilen Brennstoffen, inklusive Kernenergie, erzeugt¹.

Strom ist im Leben keineswegs mehr wegzudenken, da er für fast alle unsere Aktivitäten unentbehrlich ist. Auch für die zunehmende Digitalisierung ist er unverzichtbar. Ohne Elektrizität sind heutzutage viele Haushalte nicht mehr in der Lage, ihre Häuser beziehungsweise Wohnungen zu heizen. Selbst wenn nicht direkt mit Strom geheizt wird, sondern mit Erdgas, Öl oder Pellets, wird für die Heizungssteuerung und die Umwälzpumpe Strom benötigt. Sogar alltägliche Tätigkeiten, wie das Kochen, im Internet zu surfen, mit Freunden zu chatten oder abends ein Buch zu lesen, wären ohne Strom nicht möglich.

Somit bietet sich die Möglichkeit an, Strom mit einer Photovoltaikanlage auf dem eigenen Dach zu erzeugen. So entlastet man nicht nur sein Portemonnaie, sondern leistet auch einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz. Denn je mehr Haushalte ihren Strom dezentral erzeugen und verbrauchen, desto weniger Strom müssen Großkraftwerke produzieren. Außerdem hilft es, die Rohstoffabhängigkeit im Energiesektor von anderen Ländern zu reduzieren.

Meine Seminararbeit ist in zwei Abschnitte aufgeteilt. Im ersten Teil bestimme ich den Strombedarf meiner Familie. Dies ermöglicht, Energieeinsparpotenziale zu identifizieren, und bietet die Basis zur Auslegung einer Photovoltaikanlage, auf welche ich im zweiten Abschnitt der Arbeit näher eingehe.

2 Strombedarf unseres Haushalts

Zuerst möchte ich kurz unsere Wohnverhältnisse beschreiben. Wir, zwei Erwachsene und zwei Jugendliche, wohnen auf einer Fläche von ungefähr 160 m², die sich auf drei Stockwerke aufteilt. Erbaut wurde unsere Doppelhaushälfte im Jahr 2009.

¹ vgl. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/erneuerbare-konventionelle-stromerzeugung#bruttostromerzeugung-nach-energetragern-> (abgerufen am 23.04.2022)

Ich habe den Verbrauch verschiedener elektrischer Geräte mit einem digitalen Strommessgerät jeweils über eine gewisse Zeit gemessen. Im Folgenden erkläre ich kurz meine Berechnungen am Beispiel des Gefrierschranks (siehe auch Abbildung 1). Nach dem Einstecken des Verbrauchers in das Messgerät, habe ich die Startzeit notiert. Am Ende der Messung habe ich wieder die Uhrzeit und den Verbrauch aufgeschrieben. Damit konnte ich den Verbrauch pro Stunde beziehungsweise pro Nutzungseinheit berechnen und in die Tabelle 1, Spalte 3 und 4 übernehmen.

$$\frac{\text{Verbrauch [kWh]}}{\text{Einsteckdauer [h]}} = \frac{0,44 \text{ kWh}}{15,12 \text{ h}} = 0,0291 \frac{\text{kWh}}{\text{h}}$$

Dann habe ich überlegt, wie oft bzw. wie lange das Gerät im Durchschnitt bei uns genutzt wird und dies in die Spalten 5 und 6 eingetragen. Für den Gefrierschrank berechnet sich der Jahresverbrauch wie folgt:

$$\text{Jahresverbrauch} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right] = \text{Verbrauch} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{h}} \right] * \frac{\text{Nutzungsstunden}}{\text{Tag}} * \text{Nutzungstage}$$

$$\text{Jahresverbrauch} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right] = 0,0291 \frac{\text{kWh}}{\text{h}} * 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} * 365 \frac{\text{d}}{\text{a}} = 255 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

Den jeweiligen Jahresverbrauch habe ich dann in Spalte 7 der Tabelle 1 übernommen. In der letzten Spalte ist dargestellt, ob es sich um einen Messwert oder einen errechneten Wert handelt, da es bei einigen Verbrauchern, aufgrund des Einbaus, nicht möglich war, eine Messung durchzuführen. Trotz teils mehrfacher Messungen sind einzelne Messungenauigkeiten nicht ausgeschlossen, die das Gesamtergebnis aber nicht erheblich beeinträchtigen.



Abbildung 1 Beschreibung Verbrauchsmessung

Strombedarf und Stromerzeugung in einer Doppelhaushälfte

Tabelle 1 Messwerte

*2	Gerät	Verbrauch		Annahme Betriebszeit		Jahresverbrauch	
		[kWh]	pro ...			[kWh]	
1	Hausinstallation	0,1300	Stunde	5,00	h pro Tag	237,3	RW
1	Hausnetzwerk	0,0385	Stunde		Dauerbetrieb	337,3	MW
1	Netzwerkdrucker Standby	0,0020	Stunde		Dauerbetrieb	17,5	MW
1	Garagentorantrieb	0,0238	Stunde		Dauerbetrieb	208,8	MW
2	Gefrierschrank	0,0291	Stunde		Dauerbetrieb	254,7	MW
2	Kühlschrank	0,0160	Stunde		Dauerbetrieb	140,2	RW
3	Backofen 200 °C Umluft	1,3314	Stunde	0,15	h pro Tag	72,9	MW
3	Induktionskochfeld	2,0000	Stunde	0,50	h pro Tag	365,0	RW
3	Dunstabzugshaube 3	0,2300	Stunde	0,20	h pro Tag	16,8	MW
3	Dunstabzugshaube 2	0,1700	Stunde	0,20	h pro Tag	12,4	MW
3	Dunstabzugshaube 1	0,1300	Stunde	0,20	h pro Tag	9,5	MW
4	Waschmaschine 30°C	0,4500	Waschgang	0,50	x pro Woche	11,7	MW
4	Waschmaschine 40°C	0,6100	Waschgang	1,00	x pro Woche	31,7	MW
4	Waschmaschine 60°C	0,9400	Waschgang	1,00	x pro Woche	48,9	MW
4	Waschmaschine 95°C	2,4400	Waschgang	0,50	x pro Woche	63,4	MW
4	Trockner	1,1800	Trockengang	1,50	x pro Woche	92,0	MW
4	Spülmaschine ECO	1,1400	Spülgang	2,00	x pro Woche	118,6	MW
4	Spülmaschine 70°C	1,5900	Spülgang	1,00	x pro Woche	82,7	MW
5	Netzwerkdrucker	0,0350	Stunde		2400 Blatt/Jahr	0,1	RW
5	Computer	0,0243	Stunde	3,50	h pro Tag	31,0	MW
5	Laptop 1	0,0152	Stunde	3,50	h pro Tag	19,4	MW
5	Laptop 2	0,0152	Stunde	3,50	h pro Tag	19,4	RW
5	Laptop 3	0,0152	Stunde	3,50	h pro Tag	19,4	RW
5	Laptop 4	0,0152	Stunde	14,00	h pro Woche	11,0	RW
5	Fernseher 50" Standby	0,0097	Stunde	3,00	h pro Tag	10,7	MW
5	Fernseher 42" Standby	0,0119	Stunde	3,00	h pro Tag	13,0	MW
5	Fernseher 50"	0,1026	Stunde	3,00	h pro Tag	112,3	MW
5	Fernseher 42"	0,0741	Stunde	2,00	h pro Tag	54,1	MW
5	Unterhaltungsgeräte	0,0500	Stunde	3,00	h pro Tag	54,8	RW
6	Haushaltsgeräte	0,0400	Stunde	3,00	h pro Tag	43,8	RW
6	Föhn	1,5000	Stunde	0,15	h pro Tag	109,5	MW
6	Staubsauger 1	0,7333	Stunde	1,00	h pro Woche	38,1	MW
6	Staubsauger 2 Akku	0,1000	Ladevorgang	2,00	x pro Woche	10,4	MW
6	Bügeleisen	0,7612	Stunde	1,00	h pro Woche	39,6	MW
6	Kleingeräte Werkstatt	0,1000	Stunde	1,00	h pro Tag	36,5	RW
6	Rasenmäher	1,5000	Stunde	0,25	h pro Woche	19,5	RW
7	Beleuchtung	0,6700	Stunde	1,50	h pro Tag	366,8	RW
Gesamtverbrauch auf Basis meiner Messungen bzw. Schätzungen:						3.130,8	

² Nutzungsgruppe

RW = Angabe basiert auf Schätzungen bzw. Geräteangaben

MW = Angabe basiert auf eigenen Messungen

Die in der Tabelle 1 aufgelisteten Geräte habe ich in der Spalte 1 in Nutzungsgruppen gegliedert, um in der folgenden Abbildung 2 den Anteil der jeweiligen Gruppe am Gesamtverbrauch aufzuzeigen.

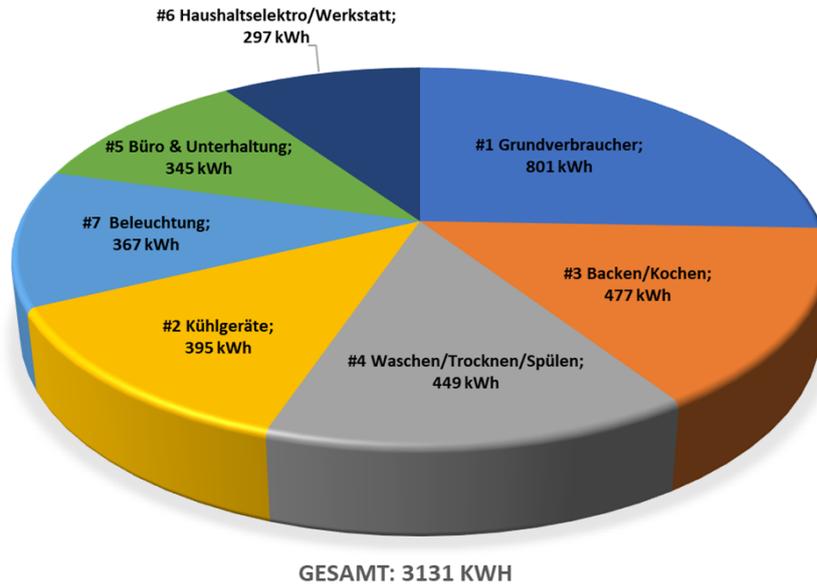


Abbildung 2 Anteil am Gesamtverbrauch

Durch eine in der Europäischen Union gültige Norm ist jedem Elektrogerät eine Energieeffizienzklasse von A bis G zugewiesen, wobei A das effizienteste Gerät kennzeichnet (siehe Abbildung 3). Bis März 2021 galten Energieeffizienzklassen von A+++ bis D. Diese Normen, auf die ich im nächsten Teil der Arbeit immer wieder zurückkommen werde, sollen Verbrauchern bei der Auswahl energiesparender Produkte helfen, sowie Anreize zur Herstellung solcher Geräte für Unternehmen schaffen³.

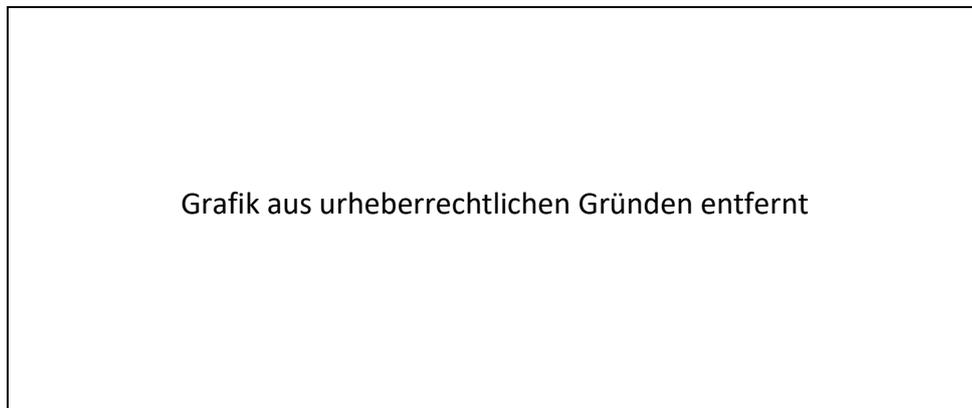


Abbildung 3 Energielabels

³ vgl. https://ec.europa.eu/info/news/focus-improved-eu-energy-label-paving-way-more-innovative-and-energy-efficient-products-2021-lut-16_de (abgerufen am 25.07.2022)

2.1 Kontinuierliche Verbraucher

Rund ein Viertel des gesamten Verbrauchs machen kontinuierliche Verbraucher aus (siehe Abbildung 2). Zählt man die Kühlgeräte noch dazu, kommt man auf eine Grundlast von fast 40 %. Das Hausnetzwerk hat einen Jahresverbrauch von ca. 340 kWh. Dieser teilt sich auf die NAS (150 kWh), den WLAN-Router (122 kWh), eine externe Netzwerkfestplatte (43 kWh) und einen Antennenverstärker (25 kWh) auf. Ein weiterer Grundverbraucher ist die Hausinstallation, welche die Heizungspumpe, die Solar- und Warmwassermwälzpumpen, aber auch die Heizungs- und Solarsteuerung beinhaltet.

Bemerkenswert ist der hohe Stromverbrauch des Garagentorantriebs von ungefähr 210 kWh pro Jahr, obwohl der Antrieb fast ausschließlich im Bereitschaftsbetrieb ist. Laut Herstellerangabe sollte der Standby-Verbrauch bei 11 Watt liegen. Entweder liegen hier falsche Daten vor oder das Gerät hat einen Defekt, der zu dieser Abweichung führt. Es würde sich in jedem Fall anbieten, dieses Gerät gegen ein Effizienteres auszutauschen. Moderne Antriebe verbrauchen nur rund 1 Watt im Standby-Betrieb, anstatt der bei uns gemessenen 23 Watt⁴.

Bis auf den Garagentorantrieb sind die Dauerverbraucher auf dem Stand der Technik, so dass sich bei diesen durch Neuanschaffungen nur wenig Einsparpotential ergeben würde. Da die kontinuierlichen Verbraucher die ganze Zeit für eine funktionierende „Infrastruktur“ bereitstehen müssen, lässt sich auch kaum Strom durch geringere Nutzung einsparen.

Bei Gefrierschränken gibt es aktuell nur Geräte der Energieeffizienzklassen C bis F auf dem Markt. Hier verbraucht ein Gefrierschrank der Klasse C im Jahr ungefähr 134 kWh weniger als ein vergleichbares Gerät der Klasse F. Allerdings gibt es hier auch einen deutlichen Unterschied beim Anschaffungspreis. Dieser liegt bei dem energieeffizienteren Gerät mit 1.299 € ungefähr 75 % über dem des Klasse-F-Gerätes^{5 6}. Bei einem Strompreis von 0,33 €/kWh (aktueller Vertrag bis 02/2023) würde sich dieser Mehrpreis erst nach circa zwölf Jahren amortisieren. Der Beitrag zum Klimaschutz wäre allerdings sofort geleistet.

⁴ vgl. Garagentor-Antriebe für Ihr Tor | Hörmann (hoermann.de) (abgerufen am 30.04.2022)

⁵ vgl. https://home.liebherr.com/external/products/products-assets/065d7242-8600-4b85-81ea-53593e727d42/PF_Fnc%204675%20001%2020_de_DE.pdf (abgerufen am 09.09.2022)

⁶ vgl. <https://cdn.testsieger.de/media/v.h2/eekpdf/8f/8ff50cf4-8100-538a-a248-9a515c4e4f9e.pdf> (abgerufen am 09.09.2022)

2.2 Nicht kontinuierliche Verbraucher

Alle anderen Verbraucher, die wir besitzen, zählen zu den nicht kontinuierlichen Verbrauchern. Ein Beispiel wäre die Beleuchtung mit einem Anteil von 12 % am Gesamtverbrauch (siehe Abbildung 2). Wir benutzen ausschließlich LED-Lampen und sparen im Vergleich zu den anderen verfügbaren Leuchtmitteln bis zu 85 % Energie (z.B.: 2.680 W konventionelle Glühlampe \triangleq 670 W LED). Außerdem haben LED-Lampen eine hohe Lichtausbeute und eine längere Lebensdauer⁷.

Auch der Fernseher sollte nicht im durchgängigen Standby-Betrieb laufen. Hier verbraucht man um einiges weniger an Strom, wenn man die TV-Geräte ausschaltet, anstatt sie die ganze Zeit im Bereitschaftsmodus zu lassen. Da meine Familie dies schon macht und wir unsere Fernseher selten in diesem Modus haben, ist unser Verbrauch hier relativ gering. Beide Fernsehgeräte würden bei 24 h Standby-Betrieb pro Jahr 190 kWh verbrauchen. Nutzt man diese Funktion kaum, würde man hier nur ungefähr 24 kWh pro Jahr benötigen (siehe Tabelle 1) und so also über 160 kWh einsparen. Fernseher gibt es aktuell erst ab der Energieeffizienzklasse E am Markt. Vergleicht man hier ein 75-Zoll-Gerät der Klasse E mit einem gleichgroßen Fernseher der Klasse G, sieht man, dass der energietechnisch schlechtere Fernsehapparat 179 kWh pro 1.000 Stunden Fernsehen mehr verbraucht^{8 9}.

Der Verbrauchsunterschied ist auch bei Waschmaschinen sehr deutlich. Bei diesen braucht eine Maschine der Klasse A nur fast halb so viel Energie wie eine vergleichbare Maschine mit Energieeffizienzklasse F^{10 11}. Bei unserer eigenen Waschmaschine, welche der Energieeffizienzklasse B zugewiesen ist, habe ich auch den Einfluss der verschiedenen Temperaturstufen verglichen (siehe Abbildung 4). Hier konnte ich feststellen, dass man beim Waschen auf einer niedrigen Temperatur auch einiges an Strom sparen kann. Deshalb bietet es sich an, wenn möglich, eher bei einer geringeren Temperatur zu waschen.

⁷ vgl. https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_122_energieeffiziente_beleuchtung.pdf (abgerufen am 01.05.2022)

⁸ vgl. <https://images.samsung.com/is/content/samsung/p6/common/energylabel/common-energylabel-gq75qn90aatxzg-productfiche.pdf> (abgerufen am 09.09.2022)

⁹ vgl. <https://images.samsung.com/is/content/samsung/p6/common/energylabel/common-energylabel-gq75qn800atxzg-productfiche.pdf> (abgerufen am 09.09.2022)

¹⁰ vgl. https://whirlpool-cdn.thron.com/static/SS1O5K_PIS859991621740de_T2NIAIY.pdf?xseo=&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3D%22doc.pdf%22 (abgerufen am 09.09.2022)

¹¹ vgl. https://www.miele.de/pmedia/ZEU/11565550_EU_2019_2014-DED-05_EU_11565550_EU-2019-2014_DED_DE-de-DE.pdf (abgerufen am 09.09.2022)



Abbildung 4 Waschen auf verschiedenen Temperaturstufen

Generell gilt, dass man Energie sparen kann, indem man nicht benötigte Geräte zum Beispiel bei Urlaubsreisen oder Nichtbenutzung vom Netz nimmt. Dies ist allerdings manchmal mit Einbußen der Bequemlichkeit verbunden. Außerdem lohnt es sich auf jeden Fall beim Kauf eines neuen Elektrogerätes, trotz der meist höheren Anschaffungskosten, auf das Energielabel zu achten. Dafür leistet man augenblicklich einen guten Beitrag für den Klimaschutz, da jede nicht verbrauchte Kilowattstunde auch nicht produziert werden muss. Zusätzlich ist dies, auf lange Sicht gesehen, eine Entlastung des eigenen Geldbeutels.

3 Stromverteilung und Stromkosten

3.1 Monatliche Verteilung

Werden die verschiedenen Monate von Oktober letzten Jahres bis September dieses Jahres verglichen (siehe Abbildung 5), kann man erkennen, dass in den Urlaubsmonaten Juni und August unser Verbrauch um einiges geringer ist als der durchschnittliche Verbrauch. Dies liegt daran, dass während unseres Urlaubs nur die kontinuierlichen Verbraucher laufen. In den Wintermonaten liegt der Verbrauch hingegen etwas höher als im Durchschnitt, da hier das Licht durch die kürzeren Tage früher eingeschaltet wird und auch Geräte wie beispielsweise Fernseher, Herd und Backofen häufiger in Betrieb sind.

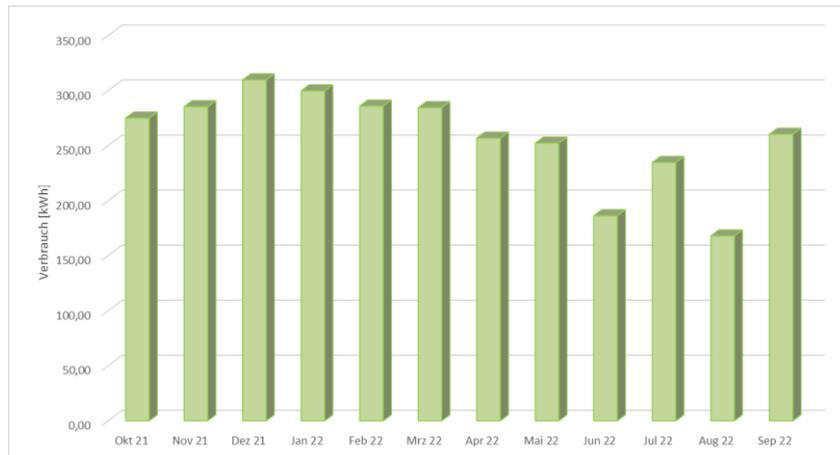


Abbildung 5 Verbrauch Monate [kWh]

3.2 Jährliche Verteilung

Folgend habe ich auf Basis unserer Stromrechnungen geschaut, wie sich der Stromverbrauch im Laufe der Jahre verändert hat (siehe Abbildung 6). Hier kann man feststellen, dass sich unser Strombedarf auf ein Mittel von ca. 2.800 kWh pro Jahr beläuft. Schaut man sich jedoch die letzten beiden Jahre an, kann von einem jährlichen Strombedarf von circa 3.200 kWh ausgegangen werden.

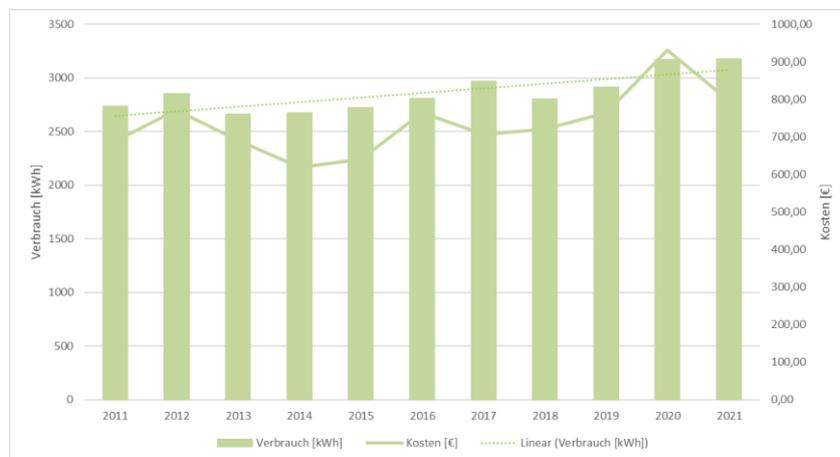


Abbildung 6 Stromverbrauch/Kosten der letzten Jahre [kWh]

3.3 Verbrauchstendenz

Vor dem Kauf einer Photovoltaikanlage sollte man sich auch Gedanken über den zukünftigen Strombedarf machen. Dieser wird sich voraussichtlich eher erhöhen, weil wir uns eventuell in ein paar Jahren ein E-Auto anschaffen werden. Auch werden wir früher oder später von unserer Gasheizung auf eine Wärmepumpenheizung umsteigen. Gründe dafür könnten sein, dass Gas ein endlicher Rohstoff ist, eine andauernde Gaslieferung durch die

aktuellen politischen und wirtschaftlichen Gegebenheiten nicht sichergestellt ist und die Gaspreise dadurch immer mehr steigen.

3.4 Kostentendenz

Genau wie der Verbrauch werden sich auch die Kosten in den folgenden Jahren erhöhen, da es eine immer größere Nachfrage nach Strom gibt. Diese kann allerdings aktuell nur schwer gedeckt werden. Ursachen hierfür sind der Wegfall der Stromerzeugung aus Atomkraft, die politische Entscheidung aus Umweltschutzgründen aus der Verstromung fossiler Energieträger wie Gas und Kohle auszusteigen, die aktuell schwierige politische Lage bezüglich der Gasversorgung und der langsame Fortschritt beim Ausbau erneuerbarer Energien. Für diesen Ausbau werden zusätzlich noch kostenintensive neue Stromleitungsstrassen benötigt.

4 Stromerzeugung durch Photovoltaik

Ob eine Photovoltaikanlage für unser Eigenheim sinnvoll ist, lässt sich mit der Berechnung der Gesamtstromkosten über die ungefähre Betriebszeit von 25 Jahren überschlagen. Hier kann man verschiedene Strompreiserhöhungen annehmen und anschließend schauen, bei welchen Kosten man bei einem angenommenen Stromverbrauch wäre. In der Tabelle 2 habe ich die Gesamtstromkosten in den nächsten 25 Jahren bei einem Strompreis von 0,38 €/kWh¹² (bei Neuvertrag bzw. Vertragsverlängerung) und einem Verbrauch von 3.200 kWh/Jahr bei verschiedenen Preiserhöhungen berechnet.

Tabelle 2 Gesamtstromkosten (25 Jahre)

$\text{Stromkosten} = \text{Betriebsdauer [Jahre]} * \text{Strompreis} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] * \text{Stromverbrauch [kWh]} * \text{Faktor}$		
Angenommener Strompreis:	0,38 €/kWh	Stromkosten (in 25 Jahren)
Preiserhöhung: 0%	Faktor: 1,00	30.400 €
Preiserhöhung: 1%	Faktor: 1,13	34.352 €
Preiserhöhung: 2%	Faktor: 1,28	38.912 €
Preiserhöhung: 3%	Faktor: 1,46	44.384 €
Preiserhöhung: 4%	Faktor: 1,67	50.768 €

¹² vgl. <https://www.allgaeukraft.de/allgaeustrom-basis.html> (abgerufen am 18.09.2022)

4.1 Voraussetzungen

Vor der Anschaffung einer PV-Anlage, müssen einige Randbedingungen, die den Stromertrag beeinflussen, beachtet werden. Heutzutage ist es durch den hohen Stand der Technik möglich, auf so gut wie jedem Dach eine Photovoltaikanlage zu betreiben. Von Natur aus lässt sich aber mit einer Süd-Ausrichtung die meiste Leistung erzeugen. Andererseits hat aber auch eine Ost-West-Ausrichtung ihre Vorteile, da es hier nicht, wie bei einer reinen Süd-Ausrichtung, zu einem Maximum um die Mittagszeit kommt, sondern die Stromerzeugung gut über den ganzen Tag verteilt ist¹³.

Auch der regionale Standort spielt eine große Rolle für den Energieertrag. So bietet es sich in südlichen Bundesländern wie in Bayern oder Baden-Württemberg mehr an als beispielsweise in Mecklenburg-Vorpommern, eine PV-Anlage zu montieren. Für unseren Wohnort ergibt sich ein regionaler Energieertrag von 950 kWh/(kWp*a) (siehe Abbildung 7¹⁴).

Kilowatt-Peak (kWp) beschreibt die Spitzenleistung der Anlage, die diese unter Standard-Test-Bedingungen erzielen kann. Die Einheit ist zusammengesetzt aus Kilowatt und „peak“ und bezeichnet auch die Nennleistung der gesamten PV-Anlage¹⁵.



Abbildung 7 Regionaler Energieertrag

¹³ Schröder, Wolfgang: Photovoltaik & Batteriespeicher. Stiftung Warentest, Berlin, 2021, S. 31/32.

¹⁴ Knuth, Peter: PV + Speicher – Schritt für Schritt zur eigenen Photovoltaikanlage. Nittendorf, 2022⁹, S. 8.

¹⁵ Knuth, Peter: PV + Speicher – Schritt für Schritt zur eigenen Photovoltaikanlage. Nittendorf, 2022⁹, S. 11.

4.2 Vorhandene Bedingungen

Im Folgenden stelle ich kurz die bei uns vorhandenen Bedingungen vor. Unser Haus hat eine Ausrichtung von 16° Süd-Ost sowie eine Satteldachneigung von 26°. Dies bietet optimale Möglichkeiten für einen bestmöglichen Ertrag. Außerdem wohnen wir ganz im Süden Bayerns und haben deshalb gute Sonneneinstrahlungswerte. Um herauszufinden, wie gut das eigene Haus für Photovoltaik geeignet ist, kann man den Solarkataster nutzen. Dieser zeigt anhand einer Karte mit verschiedenen Farben, welche Häuser von der Lage her gut beziehungsweise weniger gut geeignet sind (siehe Abbildung 8¹⁶).

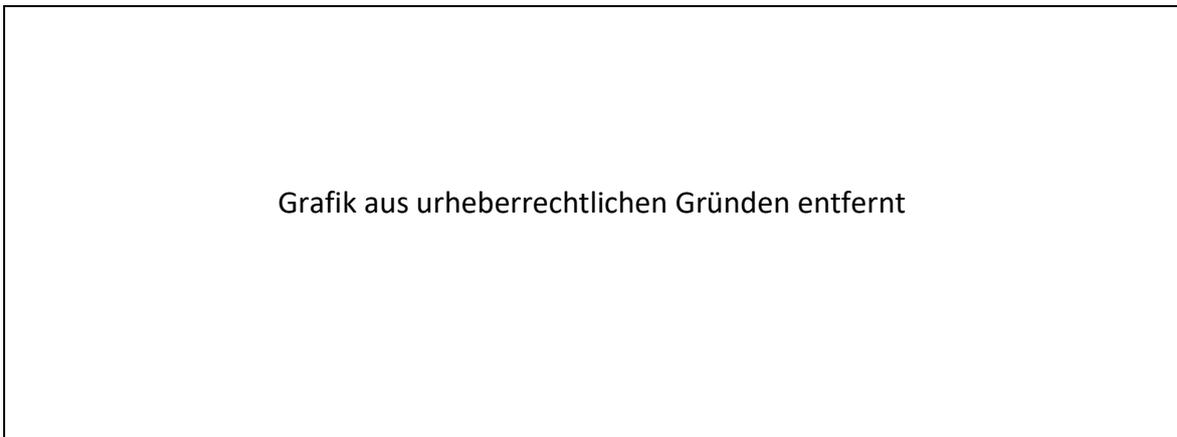


Abbildung 8 Solarpotenzial unseres Hauses

Auf unserem Haus haben wir ca. 28 m² freie Dachfläche. Zählt man die 18 m² Garagendachfläche noch dazu, beträgt die nutzbare Dachfläche ungefähr 46 m². Für die benötigten Stromleitungen sind bereits Leerrohre im Haus verlegt.

4.3 Auslegung und Ertragsprognose

Um seinen voraussichtlichen Stromertrag zu berechnen, wird zuerst der persönliche Effizienzwert bestimmt. Er lässt sich aus Abbildung 9¹⁷ ablesen. Hier können wir bis zu 100 % des möglichen Ertrags bekommen.

¹⁶ vgl. <https://www.allgaeu-klimaschutz.de/solarkataster.html> (abgerufen am 15.08.2022)

¹⁷ Knuth, Peter: PV + Speicher – Schritt für Schritt zur eigenen Photovoltaikanlage. Nittendorf, 2022⁹, S.9.

Grafik aus urheberrechtlichen Gründen entfernt

Abbildung 9 Persönlicher Effizienzwert

So kann man nun den persönlichen Energieertrag und folgend auch die für seinen Energiebedarf empfohlene Mindestgröße der PV-Anlage berechnen. Zum angenommenen Jahresstromverbrauch wird eine dreißigprozentige Verbrauchsreserve hinzugerechnet¹⁸.

$$\text{pers. Energieertrag} = \text{pers. Effizienzwert} * \text{regionaler Energieertrag} = 950 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp} * \text{a}}$$

$$\text{empf. Mindestgröße} = \frac{\text{Stromverbrauch} [\text{kWh/a}] * 130 \%}{\text{pers. Energieertrag} [\text{kWp} * \text{a}]} = \frac{3.200 \text{ kWh/a} * 130 \%}{950 \text{ kWh}/(\text{kWp} * \text{a})} = 4,38 \text{ kWp}$$

Für die Berechnung der maximalen Anlagengröße braucht man außer der freien Dachfläche noch den Flächenfaktor. Dieser hängt vom Dachtyp ab und gibt an, wie viel Dachfläche für 1 kWp Anlagenleistung benötigt wird. Bei unserem Satteldach beträgt er 7 m²/kWp¹⁹.

$$\text{Anlagengröße [kWp]} = \frac{\text{vorhandene Dachfläche [m}^2\text{]}}{\text{Flächenfaktor} \left[\frac{\text{m}^2}{\text{kWp}} \right]} = \frac{46 \text{ m}^2}{7 \frac{\text{m}^2}{\text{kWp}}} = 6,57 \text{ kWp}$$

Somit errechnet sich aus der Anlagengröße und dem persönlichen Energieertrag der Jahresstromertrag bei optimalen Bedingungen¹⁹.

$$\text{Jahresstromertrag} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right] = \text{Anlagengröße [kWp]} * \text{pers. Energieertrag} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{kWp} * \text{a}} \right]$$

$$\text{Jahresstromertrag} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right] = 6,57 \text{ kWp} * 950 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp} * \text{a}} = 6.242 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

¹⁸ Knuth, Peter: PV + Speicher – Schritt für Schritt zur eigenen Photovoltaikanlage. Nittendorf, 2022⁹, S.10.

¹⁹ Knuth, Peter: PV + Speicher – Schritt für Schritt zur eigenen Photovoltaikanlage. Nittendorf, 2022⁹, S.11.

4.4 Kosten der Anlage und Wirtschaftlichkeit

Will man sich eine Photovoltaikanlage anschaffen, sind auch die Kosten sehr interessant. Im Folgenden berechne ich zum einen die Kosten der PV-Anlage für unseren Bedarf, zum anderen die erforderliche Speichergröße und die dafür notwendigen Anschaffungskosten.

Anlagengröße: 5-10 kWp 1.400 € - 1.600 €/kWp

$$\text{Kosten PV Anlage} = \text{Kosten} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWp}} \right] * \text{Anlagengröße [kWp]}$$

$$\text{Kosten PV Anlage} = 1.500 \frac{\text{€}}{\text{kWp}} * 7 \text{ kWp}$$

$$\text{Kosten PV Anlage} = 10.500 \text{ €}$$

$$\text{Speichergröße} = \frac{\text{Jahresverbrauch} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right]}{365 \left[\frac{\text{Tage}}{\text{a}} \right]} * 60 \%$$

$$\text{Speichergröße} = \frac{3.200 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}}{365 \frac{\text{Tage}}{\text{a}}} * 60 \% = 5,3 \frac{\text{kWh}}{\text{Tag}}$$

Die Empfehlung ist, einen Speicher in der ungefähren Größe der PV-Anlage zu wählen. Deshalb habe ich für unsere Anwendung einen Speicher mit 7 kWh festgelegt.

Speichergröße: 5-10 kWh 1.000 €-1.200 €/kWh

$$\text{Kosten Speicher} = \text{Kosten} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] * \text{Speichergröße [kWh]} * 140 \%$$

$$\text{Kosten Speicher} = 1.100 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 7 \text{ kWh} * 140 \%$$

$$\text{Kosten Speicher} = 10.780 \text{ €}$$

Da der Speicher eine Lebensdauer von nur ungefähr 15 Jahren hat, habe ich 40 % hinzugerechnet, um wieder auf eine Nutzungsdauer von 25 Jahren zu kommen.

Es gibt drei verschiedene Möglichkeiten den durch Sonnenenergie erzeugten Strom zu nutzen, die ich in den folgenden Absätzen beschreiben werde.

4.4.1 Volleinspeisung

Bei der Volleinspeisung wird der gesamte erzeugte Strom in das öffentliche Netz eingespeist. Die folgende Berechnung zeigt den möglichen Ertrag.

$$\text{Ertrag} = \text{Vergütung} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] * \text{Netzeinspeisung} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right] * \text{Nutzung PV} [\text{a}]$$

$$\text{Ertrag} = 0,13 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 6.242 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} * 25 \text{ a}$$

$$\text{Ertrag} = 20.287 \frac{\text{€}}{25 \text{ a}}$$

Nach dem neuen Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) von Juli 2022 ist eine Volleinspeisung für Anlagen, die ab dem 30. Januar 2023 ans Netz gehen, wieder möglich. Hier bekommt man dann zwar eine Einspeisevergütung von 0,13 €/kWh^{20 21}, muss aber seinen gesamten Strom aus dem Stromnetz beziehen und hat somit Stromkosten von 30.400 € über die gesamte Laufzeit an seinen Stromanbieter zu zahlen.

$$\text{Stromkosten} = \text{Netzbezug} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right] * \text{Strompreis} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] * \text{Nutzung PV} [\text{a}]$$

$$\text{Stromkosten} = 3.200 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} * 0,38 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 25 \text{ a}$$

$$\text{Stromkosten} = 30.400 \frac{\text{€}}{25 \text{ a}}$$

Damit verbleiben bei dieser Variante Kosten von 20.613 € über die 25 Jahre Laufzeit.

$$\text{Verbleibende Kosten} = (\text{Stromkosten} + \text{Anlagenkosten})[\text{€}] - \text{Ertrag} [\text{€}]$$

$$\text{Verbleibende Kosten} = (30.400 \text{ €} + 10.500 \text{ €}) - 20.287 \text{ €}$$

$$\text{Verbleibende Kosten} = 20.613 \frac{\text{€}}{25 \text{ a}}$$

Die Amortisationszeit berechnet sich wie folgt:

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{Anlagenkosten} [\text{€}] * \text{Betriebsdauer} [\text{a}]}{\text{Ertrag} [\text{€}]}$$

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{10500 \text{ €} * 25 \text{ a}}{20287 \text{ €}} = 12,9 \text{ Jahre}$$

²⁰ Nach EU-Freigabe

²¹ vgl. <https://www.verbraucherzentrale-bayern.de/wissen/energie/erneuerbare-energien/eeg-2023-das-aendert-sich-fuer-photovoltaikanlagen-75401> (abgerufen am 18.09.2022)

4.4.2 Direktverbrauch ohne Speichernutzung

Während der solaren Stromerzeugung können hier 25 % des Eigenbedarfs gedeckt werden und somit der Netzbezug in dieser Zeit um diesen Betrag reduziert werden²².

$$\text{Eigenverbrauch} = \text{Jahresstrombedarf} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right] * 25 \% * \text{Nutzung PV [a]}$$

$$\text{Eigenverbrauch} = 3.200 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} * 25 \% * 25 \text{ a}$$

$$\text{Eigenverbrauch} = 20.000 \frac{\text{kWh}}{25 \text{ a}}$$

Der nicht selbst verbrauchte Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist, wobei man bei diesem Modell eine Einspeisevergütung nach dem EEG von 0,082 €/kWh²³ bekommt.

$$\text{Ertrag} = \text{Vergütung} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] * \text{Netzeinspeisung}^{24} \frac{\text{kWh}}{\text{a}} * \text{Nutzung PV [a]}$$

$$\text{Ertrag} = 0,082 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 5.442 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} * 25 \text{ a}$$

$$\text{Ertrag} = 11.156 \frac{\text{€}}{25 \text{ a}}$$

Entscheidet man sich für diese Alternative, hat man in den 25 Jahren Betriebszeit noch verbleibende Kosten von 22.144 €.

$$\text{Verbleibende Kosten} = (\text{Stromkosten} * 75 \% + \text{Anlagenkosten})[\text{€}] - \text{Ertrag} [\text{€}]$$

$$\text{Verbleibende Kosten} = (30.400 \text{ €} * 75 \% + 10.500 \text{ €}) - 11.156 \text{ €}$$

$$\text{Verbleibende Kosten} = 22.144 \frac{\text{€}}{25 \text{ a}}$$

Hier liegt die Amortisationszeit bei 14 Jahren.

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{Anlagenkosten} [\text{€}] * \text{Betriebsdauer [a]}}{(\text{Ertrag} [\text{€}] + \text{Eigenverbrauch} [\text{€}])}$$

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{10.500 \text{ €} * 25 \text{ a}}{(11.156 \text{ €} + (20.000 \text{ kWh} * 0,38 \text{ €/kWh}))} = 14 \text{ Jahre}$$

²² Schröder, Wolfgang: Photovoltaik & Batteriespeicher. Stiftung Warentest, Berlin, 2021, S. 117.

²³ <https://www.verbraucherzentrale-bayern.de/wissen/energie/erneuerbare-energien/eeg-2023-das-aendert-sich-fuer-photovoltaikanlagen-75401> (abgerufen am 15.09.2022)

²⁴ Differenz aus dem PV-Jahresstromertrag und dem selbstverbrauchten Solarstrom

4.4.3 Direktverbrauch mit Speichernutzung

Die dritte Alternative ist, sich zur Photovoltaikanlage einen Stromspeicher anzuschaffen. Hier kann die solare Stromnutzung über die Sonnenstunden hinaus ausgeweitet werden, so kann man ungefähr 60 % des Jahresstrombedarfs abdecken²⁵.

$$\text{Eigenverbrauch} = \text{Jahresstrombedarf} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right] * 60 \% * \text{Nutzung PV [a]}$$

$$\text{Eigenverbrauch} = 3.200 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} * 60 \% * 25 \text{ a}$$

$$\text{Eigenverbrauch} = 48.000 \frac{\text{kWh}}{25 \text{ a}}$$

Auch hier wird der überschüssige Strom zu der niedrigeren EEG-Einspeisevergütung verkauft.

$$\text{Ertrag} = \text{Vergütung} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] * \text{Netzeinspeisung} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right] * \text{Nutzung PV [a]}$$

$$\text{Ertrag} = 0,082 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 4.322 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} * 25 \text{ a}$$

$$\text{Ertrag} = 8.860 \frac{\text{€}}{25 \text{ a}}$$

Wenn man sich für den Direktverbrauch mit Speichernutzung entscheidet, verbleiben über die 25-jährige Laufzeit Kosten von 24.580 €.

$$\text{Verbleibende Kosten} = (\text{Stromkosten} * 40 \% + \text{Anlagenkosten})[\text{€}] - \text{Ertrag} [\text{€}]$$

$$\text{Verbleibende Kosten} = (30.400 \text{ €} * 40 \% + 21.280 \text{ €}) - 8.860 \text{ €}$$

$$\text{Verbleibende Kosten} = 24.580 \frac{\text{€}}{25 \text{ a}}$$

Die Amortisationszeit dieser Variante ist mit fast 20 Jahren am längsten. Der Grund hierfür ist die noch zu geringe Lebensdauer des Speichers.

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{Anlagenkosten} [\text{€}] * \text{Betriebsdauer} [\text{a}]}{(\text{Ertrag} [\text{€}] + \text{Eigenverbrauch} [\text{€}])}$$

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{21.280 \text{ €} * 25 \text{ a}}{(8.860 \text{ €} + (48.000 \text{ kWh} * 0,38 \text{ €/kWh}))} = 19,6 \text{ Jahre}$$

²⁵ Knuth, Peter: PV + Speicher – Schritt für Schritt zur eigenen Photovoltaikanlage. Nittendorf, 2022⁹, S.15.

4.4.4 Kosten-Nutzen-Analyse

Generell kann man sagen, dass die Stromkosten mit PV-Anlage immer niedriger sind als ohne. In der Abbildung 10 sind die verbleibenden Stromkosten sowie die Amortisationszeit bei einer Strompreisbasis von 0,38 €/kWh dargestellt. Bis zu einer Preissteigerung von einem Prozent sind hier die verbleibenden Kosten bei einer Volleinspeisung am geringsten. Ab einer jährlichen Preiserhöhung um zwei Prozent lohnt es sich, den Solarstrom mit oder ohne Speicher selbst zu nutzen. Bei einer Volleinspeisung ist die Amortisationszeit unabhängig von einer Preiserhöhung bzw. dem Basispreis und liegt konstant bei knapp 13 Jahren. Mit Speichernutzung verkürzt sich die Zeit der Amortisation mit steigenden Strompreisen und liegt bei vier Prozent Preissteigerung bei knapp 14 Jahren.

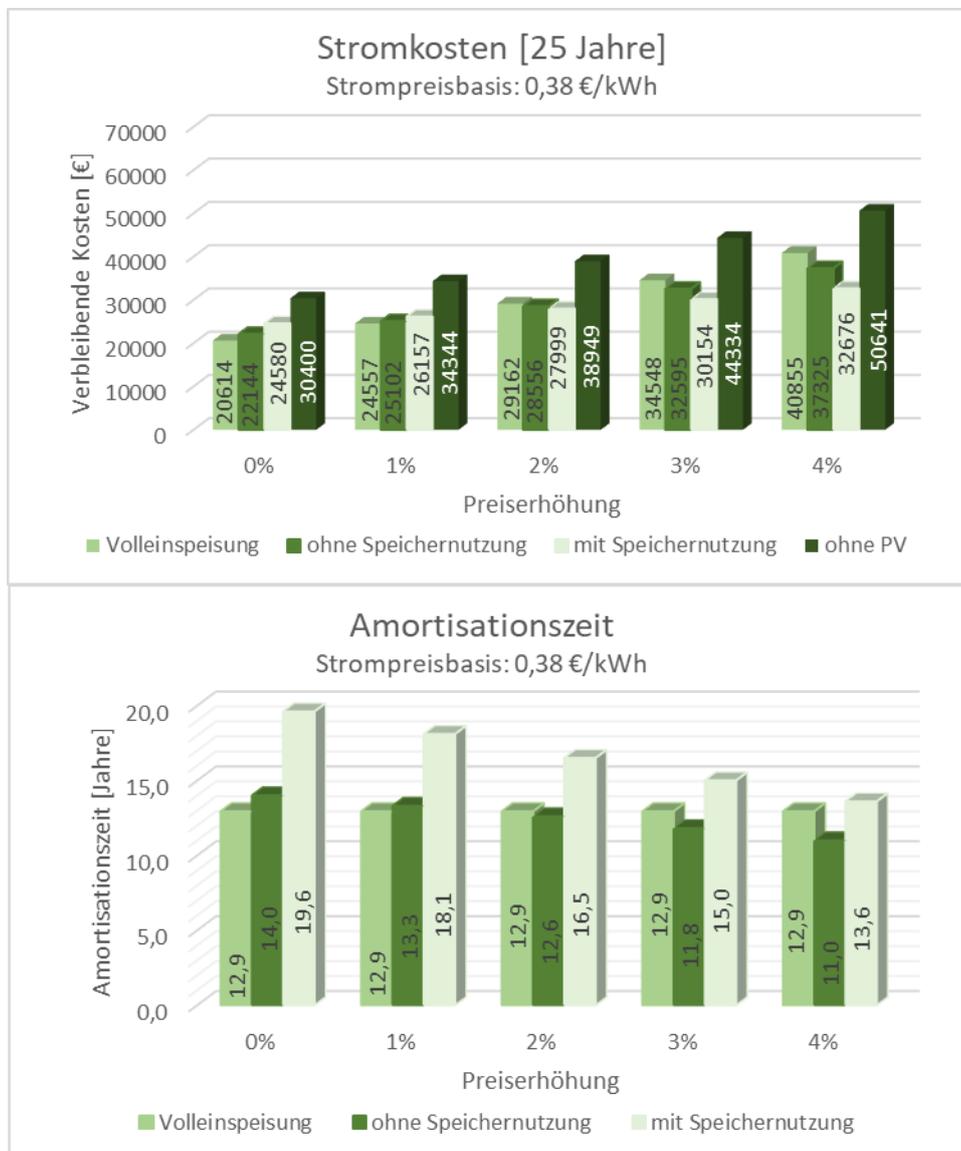


Abbildung 10 Stromkosten und Amortisationszeit über 25 Jahre (Basis: 0,38 €/kWh)

Der derzeit noch verfügbare Verbrauchspreis von 0,38 €/kWh wird allerdings nicht zu halten sein. Auf die Gründe für den absehbaren Anstieg der Strompreise bin ich im Absatz 3.4 kurz eingegangen. Deshalb habe ich wie in der Abbildung 11 zu sehen, die Berechnungen mit einer Strompreisbasis von 0,50 €/kWh wiederholt.

Bei dieser Strompreisbasis ist eine PV-Anlage mit Speicher bezüglich der verbleibenden Kosten eigentlich immer am effizientesten. Durch die höheren Anschaffungskosten amortisiert sich diese Anlage erst zwischen sechzehn und elf Jahren in Abhängigkeit von der Preissteigerung.

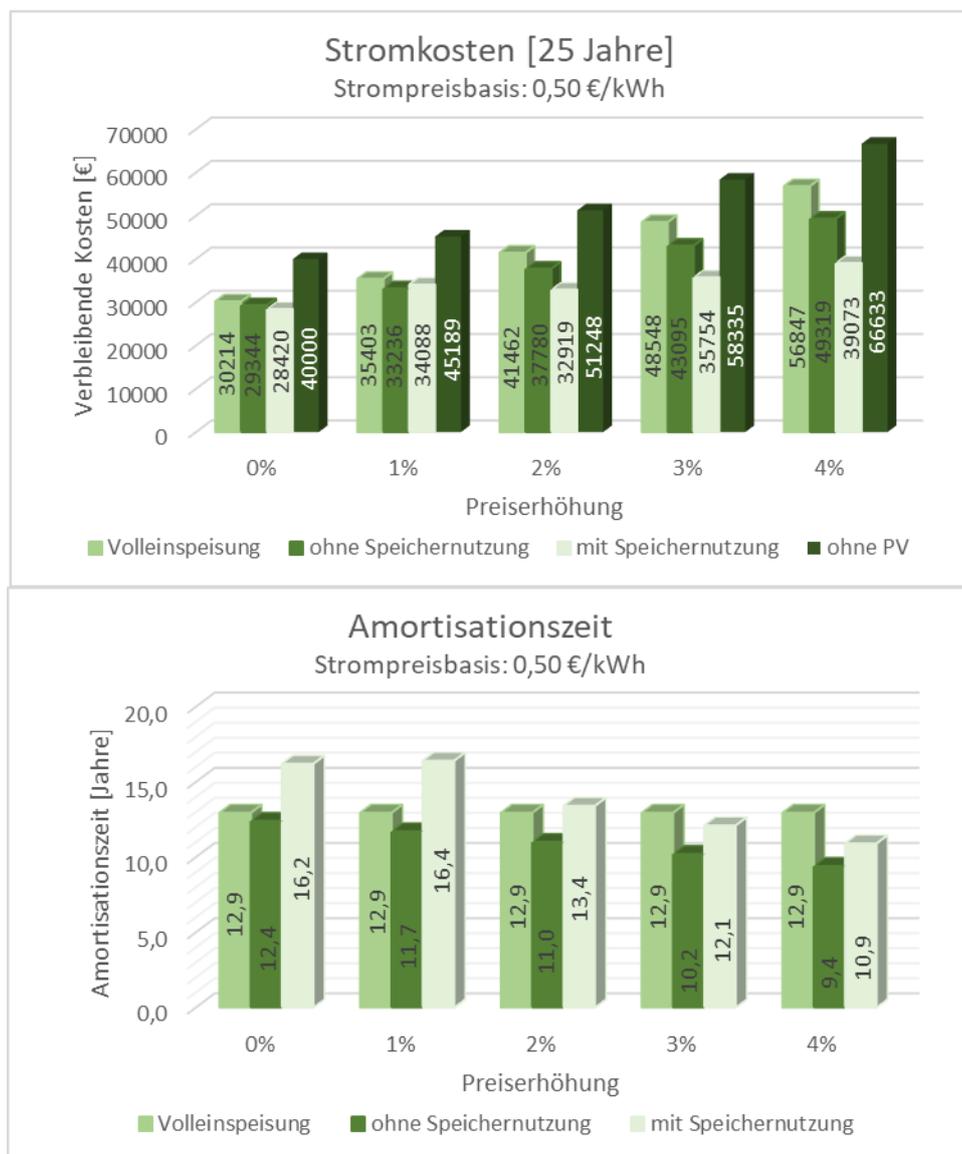


Abbildung 11 Stromkosten und Amortisationszeit über 25 Jahre (Basis: 0,50 €/kWh)

Meine Berechnungen und Annahmen habe ich ohne Berücksichtigung von Nebenkosten, Steuern, Gebühren, Versicherungskosten, Finanzierungskosten, staatlichen Förderungen, Betriebskosten bzw. Betriebskostensteigerungen, Wartungskosten, alterungsbedingten Ertragsverlusten und Stromverbrauchsänderungen gemacht.

5 Umweltbilanz einer Photovoltaikanlage mit Speicher

Aber nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen sollte man sich für eine Photovoltaikanlage entscheiden, sondern auch aus Gründen des Klimaschutzes ist eine PV-Anlage ratsam. Diese selbst setzt zwar im Betrieb kein CO₂ frei, bei der Herstellung und dem Transport wird jedoch Kohlenstoffdioxid emittiert. Hier muss man für die reinen PV-Module mit Halterungen und Verkabelungen einmalig mit 56 g CO₂ pro kWh rechnen²⁶. Für die Herstellung des Stromspeichers werden zusätzlich noch ca. 175 kg CO₂ pro kWh in die Umwelt freigesetzt²⁷.

Tabelle 3 CO₂-Bilanz bei PV-Nutzung

	CO ₂ -Emissionen
PV-Module (6242 kWh)	Rund 0,35 t
PV-Speicher (7 kWh)	Rund 1,7 t
PV-Anlage gesamt	2,05 t (einmalig)
3200 kWh aus öffentlichem Netz (deutscher Energiemix) ²⁶	Rund 38 t (25 Jahre)
CO ₂ -Einsparungen mit PV-Anlage	Knapp 36 t (25 Jahre)

6 Fazit

Basierend auf meinen Ausführungen, Berechnungen und der positiven Umweltbilanz würde ich eine Photovoltaikanlage mit Speicher wählen. So gibt es für die Anschaffung einer Photovoltaikanlage nur Vorteile, da zum einen sofort ein guter Beitrag zum Klimaschutz geleistet wird, zum anderen wird man auch gleichzeitig etwas unabhängiger von Stromanbietern.

²⁶ vgl. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>; S.48/49 (abgerufen am 21.09.2022); 474 g CO₂ pro kWh

²⁷ vgl. <https://www.bundestag.de/resource/blob/710958/88d53d0482edb1731594729850ee49e7/WD-8-165-19-pdf-data.pdf>; S. 16/17 (abgerufen am 19.09.2022)

7 Lösung für die Zukunft

Photovoltaikanlagen sind für die Zukunft ein wesentlicher Bestandteil, um die Abhängigkeit von fossil erzeugtem Strom zu reduzieren. Da die Sonne unendlich viel Energie liefern kann, ist das Risiko, dass diese Energie irgendwann aufgebraucht ist, nicht gegeben.

Da PV-Anlagen aber nur bei Sonnenschein Strom erzeugen können, gibt es hier noch die große Herausforderung, den überschüssigen Solarstrom zu speichern, um ihn dann bei Bedarf unabhängig von Wetter, Tages- oder Jahreszeit nutzen zu können. Um diesem Problem entgegenzuwirken, ist der Auf- beziehungsweise Ausbau von Speichersystemen dringend notwendig. Im Allgäu bieten sich zum Beispiel Pumpspeicherkraftwerke an. Kleine Erzeuger speichern ihren Strom häufig in Lithium-Ionen-Akkumulatoren. Auch hier sollten Alternativen entwickelt werden, da das benötigte Lithium ein endlicher Rohstoff ist und die Lithium-Gewinnung die Umwelt schädigt.

Um den Ausbau von Photovoltaikanlagen auf privaten Dächern voranzutreiben, wäre eine höhere staatliche Förderung sowie auch das Aufzeigen der verschiedenen Vorteile der eigenen Stromerzeugung sinnvoll.

8 Quellenverzeichnis

8.1 Textnachweise

- Eigene Messungen und Berechnungen
- <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/erneuerbare-konventionelle-stromerzeugung#bruttostromerzeugung-nach-energetragern-> (abgerufen am 23.04.2022)
- https://ec.europa.eu/info/news/focus-improved-eu-energy-label-paving-way-more-innovative-and-energy-efficient-products-2021-lut-16_de (abgerufen am 25.07.2022)
- <https://www.hoermann.de/private-bauherren-und-modernisierer/antriebe/garagentor-antriebe/> (abgerufen am 30.04.2022)
- https://home.liebherr.com/external/products/products-assets/065d7242-8600-4b85-81ea-53593e727d42/PF_FNC%204675%20001%2020_de_DE.pdf (abgerufen am 09.09.2022)
- <https://cdn.testsieger.de/media/v.h2/eeekpdf/8f/8ff50cf4-8100-538a-a248-9a515c4e4f9e.pdf> (abgerufen am 09.09.2022)
- https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_122_energieeffiziente_beleuchtung.pdf (abgerufen am 01.05.2022)
- <https://images.samsung.com/is/content/samsung/p6/common/energylabel/common-energylabel-gq75qn90aatxgz-productfiche.pdf> (abgerufen am 09.09.2022)
- <https://images.samsung.com/is/content/samsung/p6/common/energylabel/common-energylabel-gq75qn800atxgz-productfiche.pdf> (abgerufen am 09.09.2022)
- https://whirlpool-cdn.thron.com/static/SS105K_PIS859991621740de_T2NIAY.pdf?xseo=&response-content-disposition=inline%3Bfilename%3D%22doc.pdf%22 (abgerufen am 09.09.2022)
- https://www.miele.de/pmedia/ZEU/11565550_EU_2019_2014-DED-05_EU_11565550_EU-2019-2014_DED_DE-de-DE.pdf (abgerufen am 09.09.2022)
- <https://www.allgaeukraft.de/allgaeustrom-basis.html> (abgerufen am 18.09.2022)
- <https://www.verbraucherzentrale-bayern.de/wissen/energie/erneuerbare-energien/eeg-2023-das-aendert-sich-fuer-photovoltaikanlagen-75401> (abgerufen am 18.09.2022)
- <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf> (abgerufen am 21.09.2022)
- <https://www.bundestag.de/resource/blob/710958/88d53d0482edb1731594729850ee49e7/WD-8-165-19-pdf-data.pdf> (abgerufen am 19.09.2022)
- Knuth, Peter: PV + Speicher – Schritt für Schritt zur eigenen Photovoltaikanlage. Nittendorf, 2022⁹.
- Schröder, Wolfgang: Photovoltaik & Batteriespeicher. Berlin, 2021.

8.2 Abbildungen und Tabellen

- Titelbild, Abbildung 1, Abbildung 2, Abbildung 4, Abbildung 5, Abbildung 6, Abbildung 10, Abbildung 11: selbst erstellt
- Abbildung 3: https://www.bmuv.de/fileadmin/_processed_/c/2/csm_waschmaschine_elektro_energie-label_kp_1200_052f66bcdb.png (abgerufen am 15.08.2022); bearbeitet
- Abbildung 7, Abbildung 9: Knuth, Peter: PV + Speicher – Schritt für Schritt zur eigenen Photovoltaikanlage. Nittendorf, 2022⁹
- Abbildung 8: <https://www.allgaeu-klimaschutz.de/solarkataster.html> (abgerufen am 15.08.2022)
- Tabelle 1, Tabelle 2, Tabelle 3: selbst erstellt
- Werte Tabelle 3: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf> (abgerufen am 21.09.2022); <https://www.bundestag.de/resource/blob/710958/88d53d0482edb1731594729850ee49e7/WD-8-165-19-pdf-data.pdf> (abgerufen am 19.09.2022)

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Quellenverzeichnis angegebenen Quellen verwendet habe.

Jana Kötner

Immenstadt, den 02.11.2022