

Wirtschaftlicher Vergleich Volleinspeisung zu Eigenstromnutzung mit und ohne Stromspeicher

Ziel ist es herauszufinden, unter welchen Bedingungen sich

- Volleinspeisung
- Eigenstromnutzung mit Netzeinspeisung
- Eigenstromnutzung mit Netzeinspeisung und Stromspeicher
besser rechnet.

Als Vergleichsgröße wurde:

- die **Amortisationszeit** gewählt, also die Zeitdauer in der die Investitionskosten wieder zurückfließen.
- der **resultierende Strompreis**, der sich ergibt, wenn Investitionskosten, der Bezugspreis und Verkaufspreis von Strom über die voraussichtliche Laufzeit der Komponenten eingerechnet werden.

Um die Berechnung einfach zu halten und nicht noch weitere Annahmen treffen zu müssen, wurden:

- **keine Kreditzinsen** berücksichtigt
- **keine Wartungs- Versicherungs- und Betriebskosten** berücksichtigt
- **keine Kosten für Notstrom-/Ersatzstrom** Ausbau berücksichtigt

Das Ergebnis der Berechnung erhebt keinen Anspruch auf generelle Gültigkeit.

Die Größe und Ausrichtung der PV-Anlage, das individuelle Nutzungsverhalten beim Stromverbrauch, die Größe des Stromspeichers, Lebensdauer der Module und des Stromspeichers

haben Einfluss auf die Berechnung. Ebenso die aktuellen Strompreise und die aktuelle EEG-Vergütung.

Die Berechnung ist in dem Sinne zu verstehen, dass mit den getroffenen Annahmen die präsentierten Ergebnisse resultieren. Die Annahmen wurden sorgfältig (konservativ) gewählt, sind im folgenden beschrieben und in der **Tabelle 1** zusammen gefasst.

Aktuelle EEG-Vergütung:

Zur Berechnung wurde die aktuelle **EEG-Vergütung** berücksichtigt:

1) Volleinspeiser: Der erzeugte Strom wird vollständig ins öffentliche Netz eingespeist.

Vergütung für Anlagengröße bis 10 kWp => **13 Ct/kWh**

Vergütung für Anlagengröße von 10 bis 40 kWp => **10,9 Ct/kWh**

2) Eigenstrom-Nutzung mit Netzeinspeisung: Ein Teil des erzeugten Stroms wird selbst genutzt, der Rest wird ins öffentliche Netz eingespeist.

Vergütung für Anlagengröße bis 10 kWp => **8.2 Ct/kWh**

Vergütung für Anlagengröße von 10 bis 40 kWp => **7,1 Ct/kWh**

Direktstrom = Strom der gleichzeitig erzeugt und genutzt wird.

Speicherstrom = Strom der bei PV-Stromüberschuss im Stromspeicher gespeichert und später genutzt wird.

Beschreibung der Eingangsgrößen:

PV-Anlagekosten:

2000 € + 1200 € pro kWp

Fixkosten von 2000 € für Wechselrichter, Netzanschluss, Energy Manager

1200 €/kWp für PV-Module, Dachgestell, Montage

Kosten des Stromspeichers:

2500 € + 750 € pro kWh Speicherkapazität

Fixkosten von 2500 € für Aufpreis Hybrid-WR, Rack, Verkabelung, Montage

Förderung Stadt FN: 250 € pro kWh, maximal 9 kWh werden gefördert

Zusatzkosten für Notstrom/Ersatzstrom wurden nicht berücksichtigt.

Stromkosten:

Für den Bezug von Strom wurde ein **Strompreis von 40 Cent/kWh** angesetzt.

Eigenstromnutzer müssen für selbstgenutzten Strom keinen Strom beziehen bzw. bezahlen. Für selbstgenutzten Strom entfällt die Einspeisevergütung.

Spezifischer Strom-Ertrag der PV-Anlage :

Es wurde ein **Ertrag von 1.000 kWh/kWp** angesetzt.

Neue PV-Anlagen mit optimaler Ausrichtung erreichen Erträge von 1.200 kWh/kWp und darüber.

Größe des Stromspeichers:

Die Größe des Stromspeicher wurde an den Strombedarf während einer Winternacht ausgerichtet, wenn die PV-Anlage keinen Strom liefert.

- Sommertag (05:00 - 19:00) => 14 Stunden PV-Strom + 10h Speicherstrom
- Wintertag (08:00 - 16:00) => 8 Stunden PV-Strom + 16h Speicherstrom

Es wurde die Annahme getroffen, dass **größere Verbraucher (Waschmaschine, Spülmaschine) bevorzugt am Tag eingeschaltet werden und den Stromspeicher nur im geringen Umfang verwenden.**

Als **Lade-/Entladetiefe des Stromspeichers** wurden **80%** angenommen

Die Größe des Stromspeichers hängt vom Haushaltsstrom ab.

Jahresverbrauch Haushalt	Verbrauch längste Winternacht	gewählte Speicher-Größe
2000 kWh	$2000 / 365 * 16/24$	4 kWh
4000 kWh		8 kWh
6000 kWh		12 kWh

Ein größerer Stromspeicher erhöht den Autarkiegrad, verlängert aber die Amortisationszeit.

Annahmen zum Eigenstrom:

1. Direktstrom:

Die Nutzung des Direktstroms ist abhängig von der Größe der PV-Anlage, des Hausstrombedarfs und des Strombedarfs von Heizstab und E-Autos.

35-41% des Hausstrombedarfs werden über Direktstrom abgedeckt und begrenzt auf 25% der Stromerzeugung der PV-Anlage.

Hinzu kommen 65-71% des Strombedarfs von Heizstab und E-Auto, die bevorzugt eingeschaltet werden, wenn ausreichend PV-Strom vorhanden ist.

2. Speicherstrom:

Bei Verwendung eines Stromspeichers wurde teilweise ein sehr hoher Autarkiegrad von bis zu 80% des Gesamtverbrauchs (Haushaltsstrom, E-Auto, Heizstab etc.) berechnet.

Eine Autarkie von 80% lässt sich jedoch nur erreichen, wenn die PV-Anlage und der Stromspeicher groß genug sind.

Es wurde die Annahme getroffen, dass der maximal gespeicherte Strom im Stromspeicher pro Jahr = 365 Tage * Speicherkapazität * Ladetiefe * Speicher-Auslastung beträgt.

Die Auslastung des Stromspeichers übers Jahr wurde zu 75% angesetzt. Für die Verluste des Stromspeichers wurden 4% angesetzt.

Es wurde die Annahme getroffen, dass zum Laden eines E-Autos in nur geringem Umfang Speicherstrom verwendet wird, da dazu ein wesentlich größerer Stromspeicher nötig wäre, was die Investitionskosten erhöht und die Amortisationszeit verlängert.

3. Amortisationszeit

Amortisationszeit = Investitionskosten / jährliche Einnahmen

Tabelle 1: Zusammenstellung der Eingangswerte

	Volleinspeiser	Eigenstrom ohne Speicher	Eigenstrom mit Speicher
Kosten PV-Anlage	Basispreis = 2.000 € + 1.200 € / kWp		
Laufzeit PV-Anlage	20 Jahre		
Kosten Stromspeicher			Basispreis = 2.500 € + 750 € / kWh
Größe des Stromspeichers			orientiert sich an dem Stromverbrauch in einer Winternacht
Laufzeit Stromspeicher			10 - 15 Jahre
Förderung Stadt FN für Stromspeicher			250 € / kWh max. 9 kWh
Spezifischer Ertrag der Stromerzeugung	1.000 kWh / kWp		
Nutzung Direktstrom		- 35-41% vom Strombedarf Haushalt, jedoch max. 25 % von Stromerzeugung - zusätzlich 65-71% E-Auto Bedarf	
Einschalten Waschmaschine, Geschirrspüler, ...		bevorzugt bei Tage wenn die PV-Anlage nennenswert Strom liefert	
Nutzung von Speicherstrom pro Jahr			365 Tage * Kapazität * Ladetiefe * Auslastung
Ladetiefe Stromspeicher			80% (10% - 90%)
Auslastung des Stromspeichers übers Jahr			75%
Laden E-Auto		wenn ausreichend Strom vorhanden ist. Stromspeicher wird nur im geringem Umfang zum Laden des E-Autos genutzt	
Verlust Stromspeicher			4%
Strompreis Bezug	40 Cent / kWh		
Vergütung	aktuelle EEG Vergütung		

- Bei Volleinspeisung sind nur wenige Annahmen nötig => Die berechneten Werte sind sicherer.
- Bei Eigenstromnutzung und besonders bei Verwendung eines Stromspeichers sind viele Annahmen nötig => Die berechneten Werte sind weniger sicher.

1. Berechnete Amortisationszeiten - Tabelle

Die **Tabelle 2** enthält berechnete Amortisationszeiten (in Jahren) für unterschiedlichen Bedarf an Strom und unterschiedliche Anlagengrößen.

Beim Stromverbrauch wird zwischen Haushaltsstrom (der Bedarf besteht über 24 Stunden) und größeren Verbrauchern (E-Auto/Heizstab) unterschieden, die bevorzugt bei Stromüberschuss am Tag zugeschaltet werden.

Die Berechnung ist für Volleinspeiser und Eigenstromnutzer durchgeführt. Die kürzesten Amortisationszeiten in einem Feld sind farbig unterlegt.

Ergebnis:

Volleinspeiser:

Die Volleinspeisung ist günstig bei großen PV-Anlagen und bei geringem Stromverbrauch

Eigenstrom ohne Stromspeicher:

Ist günstig bei kleinen bis großen PV-Anlagen und bei hohem Stromverbrauch

Eigenstrom mit Stromspeicher:

Ist günstig bei großen PV-Anlagen und bei sehr hohem Stromverbrauch (besonders nachts)

Zusätzlicher Nutzen:

- hohe Autarkie gegen Ausfälle des öffentlichen Stromnetzes
- ausbaufähig für Notstrom oder Ersatzstrom
- Absicherung gegen zukünftige hohe Strompreise
- Vorteile, wenn die Lebensdauer des Stromspeicher größer als die Amortisationszeit ist

Die **Amortisationszeit ist kein alleiniges Kriterium.**

Die Berechnung kommt jedoch ohne Annahme zur Laufzeit der PV-Anlage und des Stromspeichers aus.

Der **resultierende Strompreis** berücksichtigt zusätzlich den größeren Nutzen von Eigenstrom nach Ablauf der Amortisationszeit.

2. Berechnete Amortisationszeiten - Grafik

Auch für diese Berechnung wurde mit zunehmender Größe der PV-Anlage der Bedarf an Strom und die Kapazität des Stromspeichers (linear) erhöht:

Größe der PV-Anlage	$n = 1, 2, \dots, 30$	(kWp)
Verbrauch Haus	$= 2.000 + 200 * n$	(kWh)
Verbrauch E-Auto/Heizstab	$= 500 + 100 * n$	(kWh)
Größe Stromspeicher	$= \text{Verbrauch Haus (kWh)} * 0,002$	

Siehe Abbildung 1

Ergebnis:

Volleinspeiser:

Mit den Vorgaben erreicht die Volleinspeisung eine minimale (günstigste) Amortisationszeit von **10 Jahren** und zwar bei einer PV-Anlagengröße von 10 kWp.

Eigenstrom ohne Stromspeicher:

Mit den Vorgaben erreicht die Eigenstromnutzung eine minimale Amortisationszeit von **8 Jahren** und zwar bei einer Anlagengröße von 3-6 kWp.

Eigenstrom mit Stromspeicher:

Mit den Vorgaben erreicht die **Eigenstromnutzung mit Stromspeicher** eine Amortisationszeit von **9 Jahren** und zwar bei einer Anlagengröße ab 10 kWp.

Die **Amortisationszeit ist kein alleiniges Kriterium.**

Die Berechnung kommt jedoch ohne Annahme zur Laufzeit der PV-Anlage und des Stromspeichers aus.

Der **resultierende Strompreis** berücksichtigt zusätzlich den größeren Nutzen von Eigenstrom nach Ablauf der Amortisationszeit.

3. Resultierender Strompreis

Auch für diese Berechnung wurde mit zunehmender Größe der PV-Anlage der Bedarf an Strom und die Kapazität des Stromspeichers (linear) erhöht:

Größe der PV-Anlage	$n = 1, 2, \dots, 30$ (kWp)
Verbrauch Haus	$= 2.000 + 200 * n$ (kWh)
Verbrauch E-Auto/Heizstab	$= 500 + 100 * n$ (kWh)
Größe Stromspeicher	$= \text{Verbrauch Haus (kWh)} * 0,002$

In die Berechnung geht zusätzlich die Laufzeit der PV-Anlage und die Laufzeit des Stromspeichers ein.

Die Berechnung wurde durchgeführt für eine Laufzeit

- der PV-Anlage von **20 Jahren**
- des Stromspeicher von **10 und 15 Jahren**

Ergebnis:

Für Laufzeit PV = 20a, Stromspeicher = 10a

Siehe Abbildung 2

Die Eigenstromnutzung ohne Stromspeicher hat den günstigsten resultierenden Strompreis. Bei größeren Anlagen/Verbräuchen nähern sich die beiden Kurven an.

Für Laufzeit PV = 20a, Stromspeicher = 15a

Siehe Abbildung 3

Ab einer Anlagengröße von 5 kWp und einem Gesamtverbrauch von 4.000 kWh/Jahr hat Eigenstromnutzung mit Stromspeicher den günstigsten resultierenden Strompreis.

Der Unterschied bei Eigenstrom mit und ohne Stromspeicher ist jedoch gering.

Berechnungsgrundlage für Amortisationszeit:

Volleinspeiser:

Amortisationszeit = $\text{Kosten-PV} / (\text{jährliche Stromerzeugung} * \text{EEG-Vergütung})$

Eigenstrom:

Amortisationszeit = $\text{Kosten-PV} / ((\text{jährliche Stromerzeugung} - \text{Direktstrom}) * \text{EEG-Vergütung} + \text{Direktstrom} * \text{Strompreis})$

Eigenstrom mit Stromspeicher:

Amortisationszeit = $(\text{Kosten-PV} + \text{Kosten-Speicher}) / ((\text{jährliche Stromerzeugung} - \text{Direktstrom} - \text{Speicherstrom}) * \text{EEG-Vergütung} + (\text{Direktstrom} + \text{Speicherstrom} - \text{Verlust Stromspeicher}) * \text{Strompreis})$

Berechnungsgrundlage für Resultierenden Strompreises:

Volleinspeiser:

Resultierender Strompreis =
 $(\text{Kosten-PV/Laufzeit-PV} + \text{Gesamtverbrauch} * \text{Strompreis} - \text{Stromerzeugung} * \text{EEG-Vergütung}) / \text{Gesamtverbrauch}$

Eigenstrom ohne Stromspeicher:

Resultierender Strompreis =
 $(\text{Kosten-PV/Laufzeit-PV} + (\text{Gesamtverbrauch} - \text{Direktstrom}) * \text{Strompreis} - (\text{Stromerzeugung} - \text{Direktstrom}) * \text{EEG-Vergütung}) / \text{Gesamtverbrauch}$

Eigenstrom mit Stromspeicher:

Resultierender Strompreis =
 $(\text{Kosten-PV/Laufzeit-PV} + \text{Kosten-Speicher/Laufzeit-Speicher} + (\text{Gesamtverbrauch} - \text{Direktstrom} - \text{Speicherstrom}) * \text{Strompreis} - (\text{Stromerzeugung} - \text{Direktstrom} - \text{Speicherstrom} - \text{Speicher-Verlust}) * \text{EEG-Vergütung}) / \text{Gesamtverbrauch}$

Tabelle 2: Amortisationszeiten - Tabelle

Bedarf Haus : Bedarf E-Auto : Größe Stromspeicher :	2000 kWh 0 kWh 4 kWh	2000 kWh + 1000 kWh 4 kWh	4000 kWh + 1000 kWh 8 kWh	6000 kWh + 2000 kWh 12 kWh	8000 kWh + 3000 kWh 16 kWh
PV-Anlage 5 kWp	11.5 12.5 (36%) 13.8 *	11.5 9.4 (46%) 11.2 (75%)	11.5 7.9 (38%) 9.4 (73%)	11.5 6.5 (32%) 8.8 (63%)	11.5 5.6 (29%) 10.3 (46%)
10 kWp	10,4 13.3 (37%) 14.1 *	10.4 11.0 (47%) 12.1 (76%)	10.4 9.3 (43%) 10.1 (78%)	10.4 7.2 (44%) 8.5 (77%)	10.4 6.2 (41%) 7.9 (73%)
20 kWp	10.7 14.6 (39%) 15,0 *	10.7 13.0 (49%) 13.4 (78%)	10.7 11.5 (45%) 11.6 *	10.7 9.5 (46%) 10.0 (79%)	10.7 8.1 (47%) 8.9 (79%)
40 kWp	10.8 15.5 (43%) 15.8 *	10.8 14.4 (53%) 14.7 *	10.8 13.3 (49%) 13.4 *	10.8 11.7 (50%) 11.8 *	10.8 10.4 (51%) 10.8 *

Die niedrigsten Amortisationszeiten sind farbig hinterlegt:

Volleinspeiser (kein Autarkiegrad/Selbstversorgungsgrad)

Eigenstrom ohne Stromspeicher (Autarkiegrad = 29 bis 53% vom Gesamtverbrauch)

Eigenstrom mit Stromspeicher (* = Autarkiegrad = 80% vom Gesamtverbrauch)

Abbildung 1: Amortisationszeit - Grafik

Kosten der PV-Anlage			Kosten Stromspeicher			PV-Anlage			
spez. Kosten	1200	€/kWp	spezifisch	750	€/kWh	Verbrauch Haus (kWh/a)	1 kWp	5 kWp	25 kWp
Fixkosten	2000	€	Fixkosten	2500	€	Verbrauch Heizstab/E-Auto	2.200	3.000	7.000
spez. Erzeugung	1000	kWh/kWp	Förderung	250	€/kWh (max 9 kWh)	Gesamtverbrauch (kWh/a)	2.800	4.000	10.000
			<10 kWp	>10 kWp		Erzeugung (kWh/a)	1.000	5.000	25.000
EEG Vergütung Volleinspeisung			13,0	10,9	Cent/kWh	Direktstrom DS (kWh/a)	641	1.740	4.900
EEG Vergütung Eigenstrom			8,2	7,1	Cent/kWh	Autarkie Direktstrom (%)	23 %	44 %	49 %
Strompreis Bezug			40,0		Cent/kWh	Akku Kapazität (kWh)	4,4	6,0	14,0
Kapitalzinsen/Wartung/Versicherung			-			Akku Strom (kWh/a)	359	1.314	3.066
Akku Lade-/Entladeverlust			4 %			Autarkie DS & Akku (%)	36 %	76 %	80 %

Amortisationszeiten im Vergleich

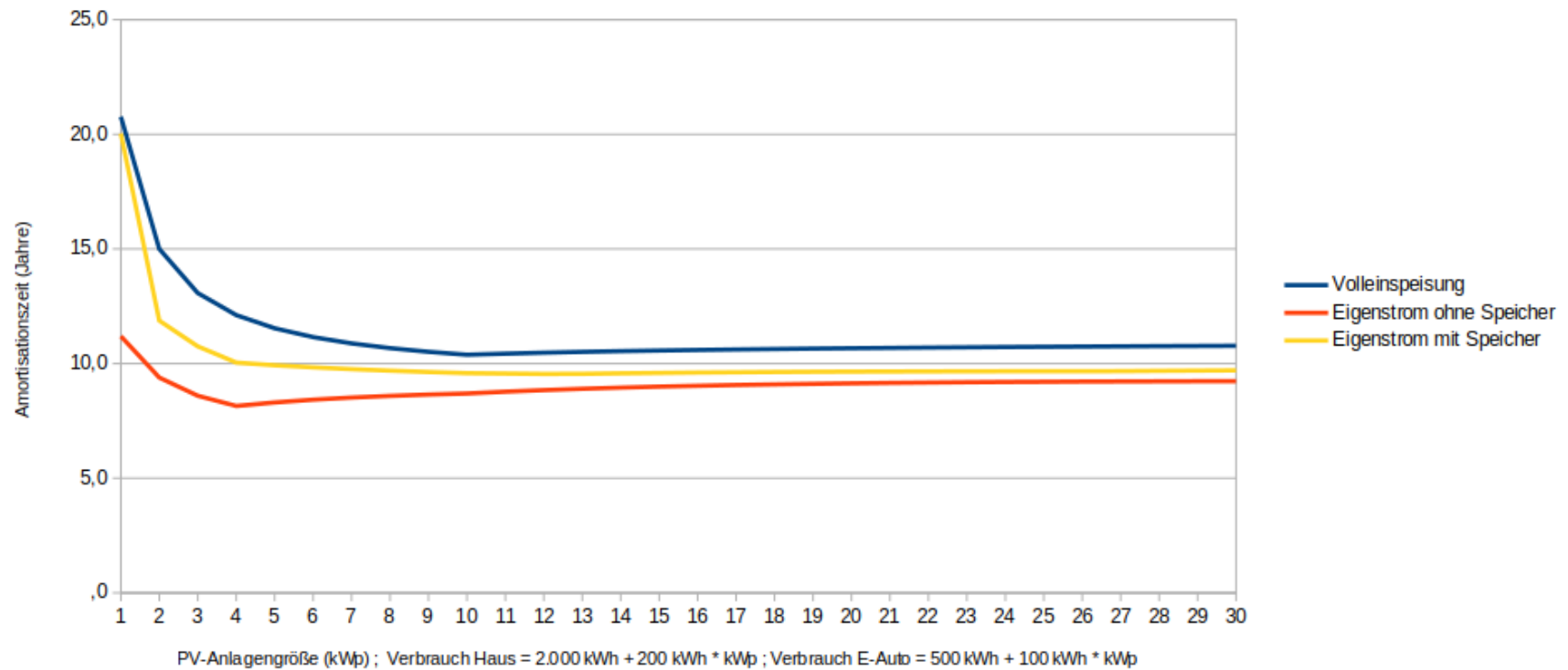


Abbildung 2: Resultierender Strompreis

Laufzeit PV-Anlage = 20 Jahre, Stromspeicher = 10 Jahre

Kosten der PV-Anlage			Kosten Stromspeicher			PV-Anlage				
spez. Kosten	1200	€/kWp	spezifisch	750	€/kWh	Verbrauch Haus (kWh/a)	2.200	1 kWp	5 kWp	25 kWp
Fixkosten	2000	€	Fixkosten	2500	€	Verbrauch Heizstab/E-Auto	600			
spez. Erzeugung	1000	kWh/kWp	Förderung	250	€/kWh (max 9 kWh)	Gesamtverbrauch (kWh/a)	2.800	4.000	10.000	
EEG Vergütung Volleinspeisung			<10 kWp	13,0	Cent/kWh	Erzeugung (kWh/a)	1.000	5.000	25.000	
EEG Vergütung Eigenstrom			>10 kWp	10,9	Cent/kWh	Direktstrom DS (kWh/a)	641	1.740	4.900	
Strompreis Bezug					Cent/kWh	Akku Kapazität (kWh)	4,4	6,0	14,0	
Kapitalzinsen/Wartung/Versicherung						Stromkosten (Cent/kWh)				
Laufzeit PV-Anlage (Jahre)						Volleinspeisung	0,40	0,33	0,26	
Laufzeit Stromspeicher (Jahre)						Eigenstrom ohne Speicher	0,36	0,26	0,21	
						Eigenstrom mit Speicher	0,48	0,29	0,22	

Stromkosten (Investition + Strombezug - Stromverkauf) / Stromverbrauch

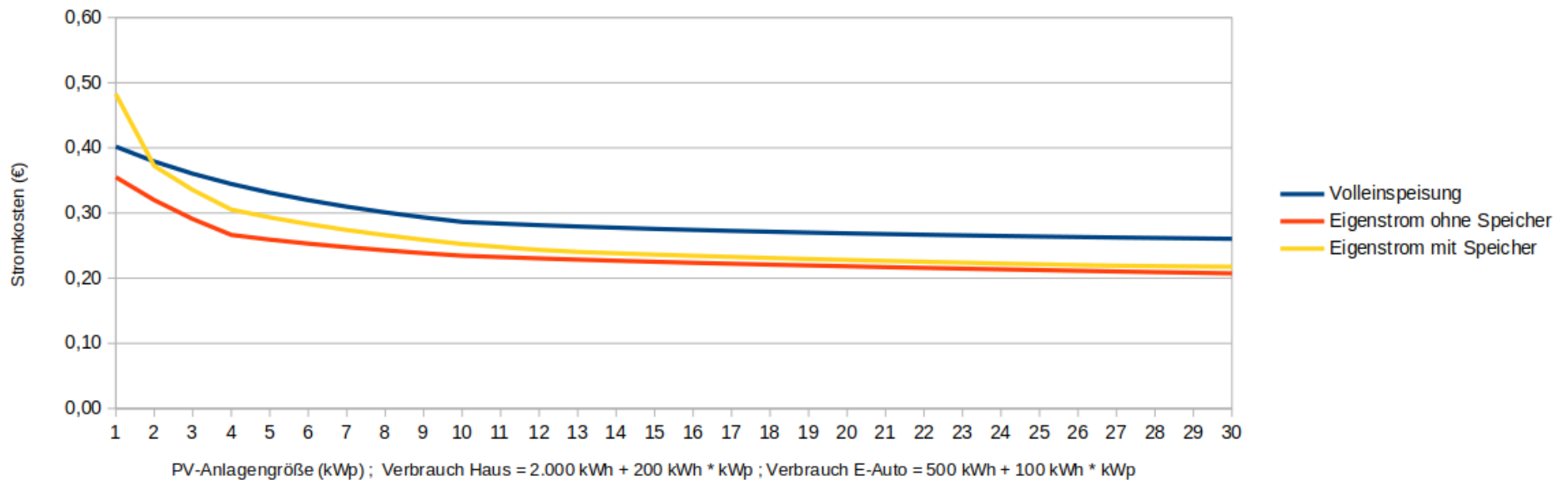


Abbildung 3: Resultierender Strompreis

Laufzeit PV-Anlage = 20 Jahre, Stromspeicher = 15 Jahre

Kosten der PV-Anlage			Kosten Stromspeicher			PV-Anlage		
spez. Kosten	1200	€/kWp	spezifisch	750	€/kWh	Verbrauch Haus (kWh/a)	1 kWp	2.200
Fixkosten	2000	€	Fixkosten	2500	€	Verbrauch Heizstab/E-Auto	5 kWp	3.000
spez. Erzeugung	1000	kWh/kWp	Förderung	250	€/kWh (max 9 kWh)	Gesamtverbrauch (kWh/a)	1 kWp	2.800
			<10 kWp	>10 kWp		Erzeugung (kWh/a)	5 kWp	4.000
EEG Vergütung Volleinspeisung			13,0	10,9	Cent/kWh	Direktstrom DS (kWh/a)	25 kWp	10.000
EEG Vergütung Eigenstrom			8,2	7,1	Cent/kWh	Akku Kapazität (kWh)		4,4
Strompreis Bezug			40,0		Cent/kWh	Stromkosten (Cent/kWh)		
Kapitalzinsen/Wartung/Versicherung			-			Volleinspeisung		0,40
Laufzeit PV-Anlage (Jahre)			20			Eigenstrom ohne Speicher		0,36
Laufzeit Stromspeicher (Jahre)			15			Eigenstrom mit Speicher		0,43

Stromkosten (Investition + Strombezug - Stromverkauf) / Stromverbrauch

