

SmartFarm2: Dimensionsempfehlung Photovoltaikanlage und Batteriespeicher

In unserem Projekt SmartFarm2 wurde ein Softwaretool entwickelt, das bei der Planung von Investitionen in erneuerbare Energien unterstützen soll. Es berechnet die optimalen Größen für Photovoltaikanlagen mit und ohne Batteriespeicher, die bezogen auf den Ort und den individuellen Verbrauch den größten Kapitalwert bringen würden. Die für Ihre Daten entstandenen Ergebnisse werden im Folgenden vorgestellt. Sollten Sie schon eine Photovoltaikanlage besitzen, so wird diese hier nicht betrachtet. Sie können die Ergebnisse dazu nutzen, sie mit Ihrer aktuellen Anlage zu vergleichen. Wir geben Ihnen zuerst einen Überblick über die verwendeten Daten jeweils als monatliche Summe. In einer höheren Auflösung zeigen wir Ihre Verbrauchskurve für eine durchschnittliche Woche. Im Anschluss werden zwei verschiedene Szenarien (nur Photovoltaikanlage, Photovoltaikanlage und Batterspeicher) und die Ergebnisse für Ihren Hof dargestellt. Dazu gibt es eine Übersicht über den gemessenen Verbrauch, die berechnete Erzeugung und den daraus resultierenden Eigenverbrauch. Darüber hinaus haben wir beispielhaft Tage aus jeder Jahreszeit grafisch aufbereitet. Eine detaillierte Erläuterung der Berechnungen folgt zusammen mit der wirtschaftlichen Betrachtung. Die Analyse des zweiten Szenarios (Photovoltaik mit Batteriespeicher) folgt im Anschluss auf dieselbe Art und Weise.

1 Verwendete Daten

Für die vorliegende Analyse wurden Ihre Stromverbrauchsdaten aus dem Zeitraum vom 01.11.2022 bis zum 01.11.2023 verwendet, was einer Gesamtdauer von 365 Tagen entspricht. Für unseren Algorithmus wird ein volles Jahr an Daten in stündlicher Auflösung vorausgesetzt, um saisonale Effekte abzudecken. Ihr jährlicher Verbrauch beträgt in unser Analyse 10.388,90 kWh. Im Bild 1 können Sie Ihren monatlichen Stromverbrauch sehen. Innerhalb der betrachteten Zeitspanne fehlen 0,66 % der Daten. Gründe hierfür können z.B. Probleme in der Hardware oder der Internetverbindung sein. Je mehr Daten fehlen, desto ungenauer wird die Analyse und es entstehen Abweichungen zu Ihrem tatsächlichen Verbrauch.

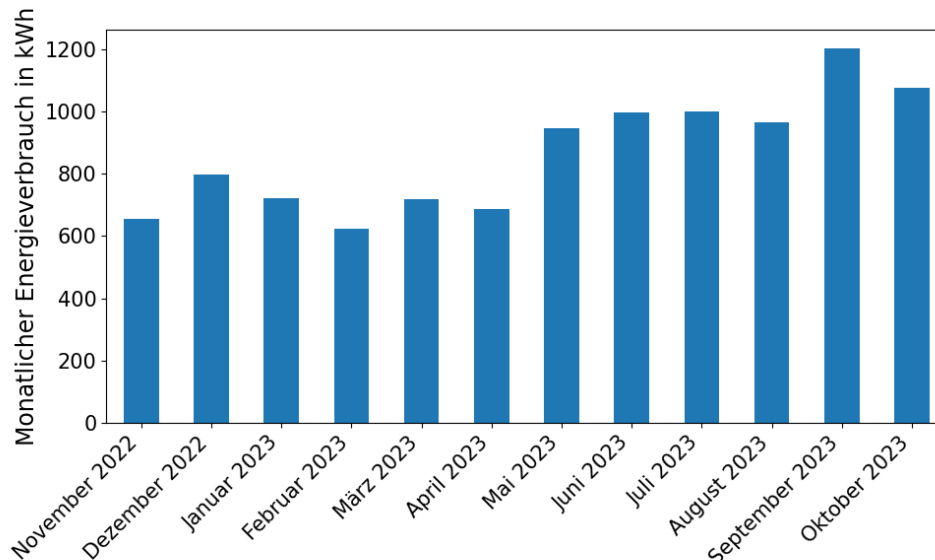


Abbildung 1: In der Simulation verwendeter monatlicher Energieverbrauch.

Aus Ihren Daten haben wir eine durchschnittliche Woche für Ihren Stromverbrauch berechnet und in Bild 2 dargestellt.

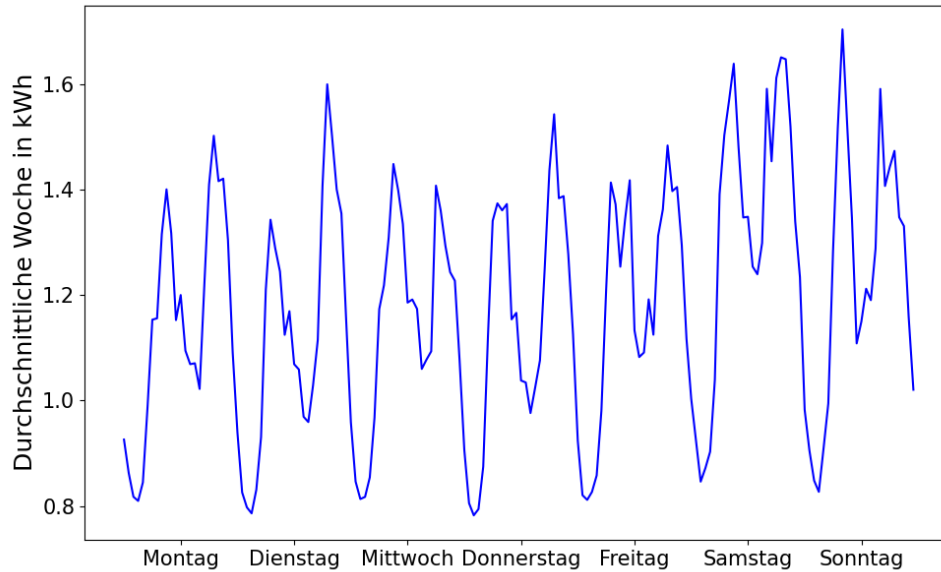


Abbildung 2: Durchschnittliche Woche auf Basis der verwendete Daten.

2 Photovoltaik

Mit unserem Softwaretool aus dem Projekt SmartFarm2 haben wir anhand Ihres individuellen Stromverbrauchs eine optimierte Photovoltaikanlage berechnet mit

- 19 kWp Modulleistung
- Ausrichtung von -4 Grad (Süden)
- Neigung von 33 Grad

Mit dieser Konfiguration haben Sie nach 20 Jahren folgende Werte

- Investitionskosten von 22.935,00 Euro (Stand November 2023),
- Ausgaben für Wartungskosten von 10.302,10 Euro
- Einnahmen von 48.701,40 Euro
- Gewinn von 15.464,40 Euro
- Autarkiegrad von 43,42 % (Deckung des eigenen Energiebedarfs durch selbst erzeugte Energie)

Diese Größe basiert auf einer umfangreichen, aber trotzdem vereinfachten Simulation. Die Ergebnisse sind daher nicht zwingend alternativlos. Die Einschätzung einer erfahrenen Fachkraft sollte auf jeden Fall zusätzlich in Betracht gezogen werden. Die Ergebnisse basieren auf den gemessenen Verbrauchsdaten, Wetterdaten für Ihren Landkreis und angenommenen ökonomischen Werten. Desweiteren sind wirtschaftliche Annahmen gemacht worden, unter anderem eine feste Inflationsrate

für die nächsten 20 Jahren. Dieser Wert oder auch der Strompreis kann davon stark abweichen. Genauere Informationen sehen Sie im Abschnitt Wirtschaftsberechnungen. Örtliche Gegebenheiten berücksichtigt unsere Berechnungen nicht. Dazu zählen Verschattungen durch Bäume, andere Gebäude oder Schornsteine und die individuelle Ausrichtung und Neigung des Daches. Daher sollte auch die Situation vor Ort durch einen Installateur begutachtet werden. Unsere Software ist vor allem dafür da eine erste grobe Einschätzung zu geben und verschiedene Varianten auszuprobieren.

In dem Bild 3 können Sie Ihren monatlichen Verbrauch und die potenzielle Erzeugung und dem daraus resultierenden Eigenverbrauch sehen. Als Eigenverbrauch bezeichnen wir diejenige Energie, die von der Photovoltaikanlage direkt Ihren Verbrauch deckt. Wie Sie auf dem Bild sehen können, findet im Sommer eine deutlich höhere Erzeugung statt und somit erhöht sich auch der Eigenverbrauch. Ein 100% Eigenverbrauch ist nicht möglich, weil der nächtliche Stromverbrauch nicht abgedeckt werden kann.

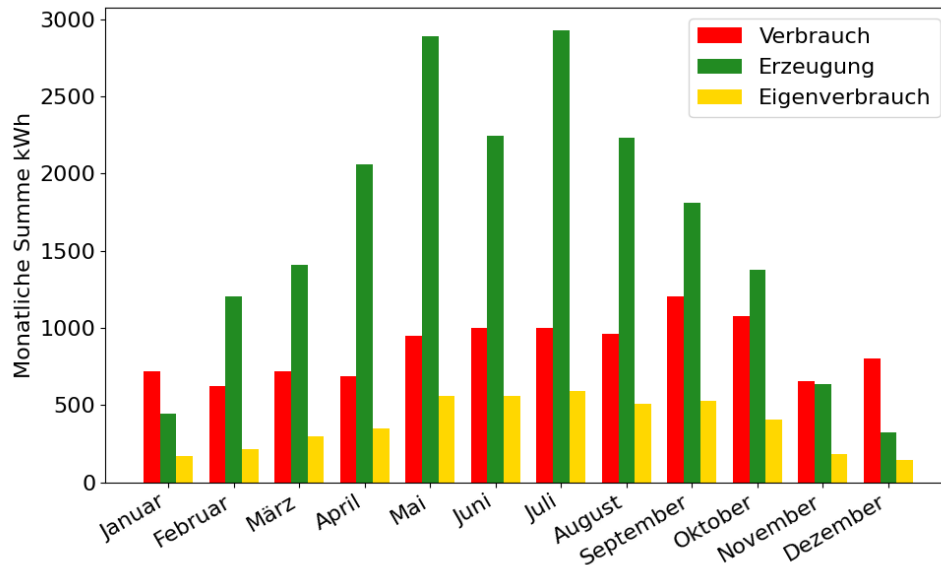


Abbildung 3: Monatlicher Verbrauch, potenzielle Erzeugung und daraus resultierender Eigenverbrauch als monatliche Summe.

Basierend auf der berechneten Photovoltaikanlagengröße könnte Ihre Stromerzeugung, Ihr Verbrauch und Ihr Eigenverbrauch im Tagesverlauf wie folgt aussehen. Hier wird noch mal die unterschiedliche Stromerzeugung während der Jahreszeiten deutlich.

2.1 Wirtschaftsberechnungen

In diesem Abschnitt können Sie nachlesen, wie wir die wirtschaftliche Betrachtung durchgeführt haben. Wir berechnen den Kapitalwert der Anlage für 20 Jahre. Dabei wird die Anfangsinvestition I_0 und der Cash Flow (laufende Kosten und Profite des einzelnen Jahres) für jedes weitere Jahr betrachtet:

$$NPV = -I_0 + \frac{\text{CashFlow}_{\text{Jahr1}}}{(1 + \text{Inflationsrate})^1} + \dots + \frac{\text{CashFlow}_{\text{Jahr20}}}{(1 + \text{Inflationsrate})^{20}}$$

Die Anlagenkosten I_0 wurden von unserem Partner Q3 im November 2023 bestimmt und stimmen daher nicht zwingend mit aktuellen Werten überein. Die Werte können je nach Anbieter, angebotenen Panelgrößen und verwendeter Technik abweichen. Außerdem betrachten wir in diesem Szenario nicht,

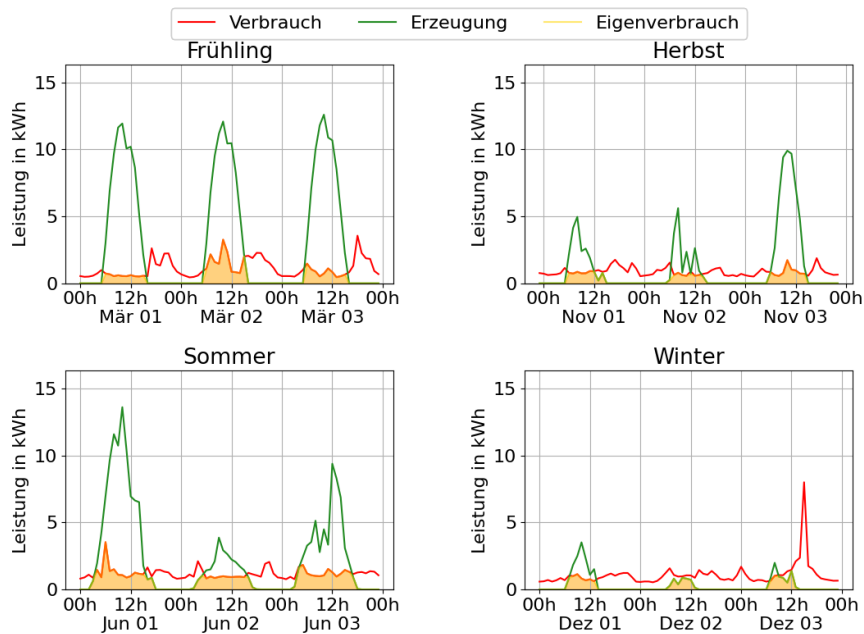


Abbildung 4: Beispieltage aus der Simulation für jede Jahreszeit.

dass eventuell ein Kredit für den Kauf aufgenommen werden muss und sich damit die Investitionskosten über die Kreditlaufzeit durch die zu zahlenden Zinsen erhöht. Für jedes Jahr werden in dieser Berechnung die gleichen Wartungskosten für die Photovoltaikanlage und keine Wartungskosten für den Batteriespeicher angenommen.

Die folgende Tabelle enthält die Werte für die Wirtschaftsparemeter in den Berechnungen.

Inflationsrate	2,7%
Einspeisepreis	0.0703 ct/kWh
Energiepreis	30 ct/kWh
Preiserhöhung des Energiepreises	4,5%

Diese Werte können natürlich in den nächsten 20 Jahren stark variieren, was zu Veränderungen in der Profitabilität führt. Zusammengefasst lässt sich der Cashflow für ein Jahr berechnen aus den jährlichen Wartungskosten, der verkauften überschüssigen Energie und der Einsparung durch den Eigenverbrauch.

$$\begin{aligned} \text{CashFlow}_{\text{Jahr}} = & \text{Einspeisevergütung} \times \text{Kilowattstunden Überschuss} \\ & + \text{Strompreis Bezug}_{\text{Jahr}} \times \text{Kilowattstunden Eigenverbrauch} \\ & - \text{Wartungskosten} \end{aligned}$$

Für die optimale Anlage von 19 kWp Modulleistung sieht die Kapitalrückflussdauer (Zeitpunkt an dem die investierten Kosten wieder ausgeglichen sind) wie in Bild 5 aus. Zum Zeitpunkt 0 wurde die Photovoltaikanlage gekauft und daher nur Ausgaben. In den Jahren danach bringt die Nutzung der Stromerzeugung Einnahmen. Die Kapitalrückflussdauer beschreibt den Zeitpunkt, wenn man seine Investitionskosten eingespart hat. Ab diesem Zeitpunkt sind die Einnahmen als Gewinn zu betrachten. Das unten stehende Bild zeigt diesen Ablauf grafisch. Die blauen Balken sind der Cash Flow für jedes Jahr (also im ersten Jahr durch die Investition negativ und in den folgenden Jahren durch die

Eigennutzung von Strom positiv). Die rote Line zeigt den Netto-Kapitalwert der Anlage. Wenn die rote Line die x-Achse schneidet, ist der Zeitpunkt, an dem der Netto-Kapitalwert 0 ist und die Anlage rentabel wird. In Tabelle 1 sind alle Simulationsergebnisse im Detail aufgeführt.

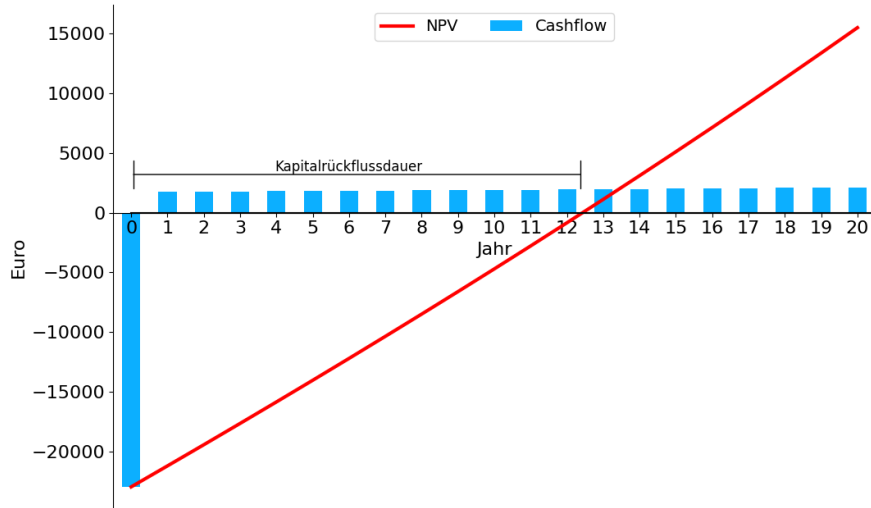


Abbildung 5: Der Kapitalrückfluss in Rot und der CashFlow pro Jahr in Blau. Der Balken zeigt die Kapitalrückflussdauer an.

Photovoltaikgröße	19	kWp
Ausrichtung	-4	Grad (Süden)
Neigung	33	Grad
Investition (Stand November 2023)	22.935,00	€
Jährliche Wartungskosten (Stand November 2023)	655,70	€
Nach 20 Jahre aufsummierte Wartungskosten	10.302,10	€
Nach 20 Jahre gesparte Energiekosten durch die Photovoltaikanlage	32.083,80	€
Einnahmen durch den Verkauf von überschüssigem Strom	16.617,60	€
Ausgaben durch den Einkauf von Strom	41.805,70	€
Verbrauch pro Jahr	10.388,90	kW
Erzeugung pro Jahr	19.555,90	kW
Einspeisung pro Jahr	15.044,90	kW
Eigenverbrauch pro Jahr	4.510,99	kW
Bezug	5.877,89	kW
Autarkie	43,42	%

Tabelle 1: Simulationsergebnisse für das Szenario Photovoltaik im Detail.

3 Photovoltaik und Batteriespeicher

Als zweites Szenario haben wir mit unserem Softwaretool anhand Ihres individuellen Stromverbrauchs eine empfohlen Größe für eine Photovoltaikanlage kombiniert mit einem Batteriespeicher errechnet:

- Photovoltaikanlage mit 20 kWp Modulleistung
- Ausrichtung von 0 Grad (Süden)
- Neigung von 30 Grad
- Batteriespeicher mit einer Kapazität von 15 kWh.

Mit dieser Konfiguration gäbe es

- Investitionskosten von 38.460,20 Euro (Stand November 2023) für die kombinierte Anlage aus Photovoltaik und Batterie
- Ausgaben für Wartungskosten von 10.440,60 Euro
- Einnahmen von 67.806,50 Euro
- Gewinn von 18.905,80 Euro
- Autarkiegrad von 77,90 % (Deckung des eigenen Energiebedarfs durch selbst erzeugte Energie)

Wie auch bei dem Fall mit nur einer Photovoltaikanlage basieren die Größen auf einer umfangreichen, aber trotzdem vereinfachten Simulation. Die Ergebnisse sind insofern mit Vorsicht zu genießen und sollten nur ergänzend zu Empfehlungen und Erfahrungen der praktisch arbeitenden Fachkräfte genutzt werden. Die Ergebnisse basieren auf den gemessenen Verbrauchsdaten, Wetterdaten für Ihren Landkreis und angenommene ökonomische Werte. Darunter fallen unter anderem ein fester Inflationswert (kann stark davon abweichen und variieren) oder auch der Strompreis, der stark davon abweichen kann. Genauere Informationen sehen Sie im Abschnitt Wirtschaftsberechnungen. Örtliche Gegebenheiten berücksichtigt unsere Berechnungen nicht. Dazu zählen Verschattungen durch Bäume, andere Gebäude oder Schornsteine und die individuelle Ausrichtung und Neigung des Daches. Daher sollten auch die Gegebenheiten von einem Installateur berücksichtigt werden. Unsere Software ist vor allem dafür da eine erste grobe Einschätzung zu geben und verschiedene Varianten auszuprobieren.

In dem Bild 6 können Sie Ihren monatlichen Verbrauch, die potenzielle Erzeugung und dem daraus resultierenden Eigenverbrauch bzw. den Eigenverbrauch durch die Batterie sehen. Wie Sie auf dem Bild sehen können, findet im Sommer eine deutlich höhere Erzeugung statt und somit erhöht sich auch der Eigenverbrauch bzw. auch die Energie, die in dem Batteriespeicher gespeichert werden kann.

Basierend auf der berechneten Photovoltaikanlagen- und Batteriespeichergröße könnte Ihre Stromerzeugung, Verbrauch, Eigenverbrauch und der Batterieladezustand im Tagesverlauf wie in Bild 7 aussehen. Auch hier wird noch mal die unterschiedliche Stromerzeugung während der Jahreszeiten deutlich.

3.1 Wirtschaftsberechnungen

Die wirtschaftlichen Berechnungen sind ähnlich zu dem Fall der Photovoltaikanlage. Wir berechnen den Kapitalwert der kombinierten Anlage für 20 Jahre. Dabei wird die Anfangsinvestition I_0 als Summe von der Investition der Photovoltaikanlage und des Batteriespeichers betrachtet. Der Cash Flow (laufende Kosten und Profite des einzelnen Jahres) für jedes Jahr berechnet sich aus:

$$NPV = -I_0 + \frac{\text{CashFlow}_{\text{Jahr1}}}{(1 + \text{Inflationsrate})^1} + \dots + \frac{\text{CashFlow}_{\text{Jahr20}}}{(1 + \text{Inflationsrate})^{20}}$$

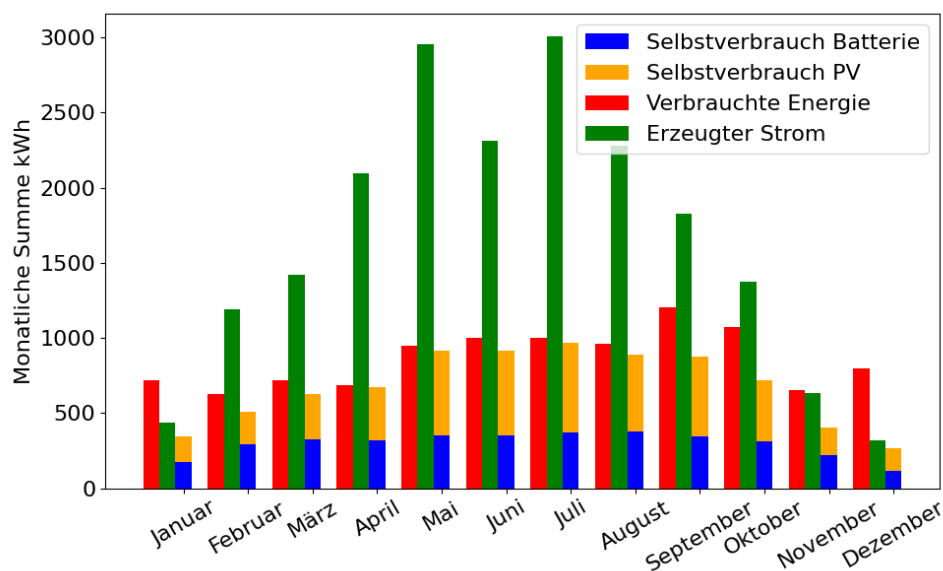


Abbildung 6: Monatliche Verbrauch, potenzielle Erzeugung und Eigenverbrauch (aufgeteilt zwischen direktem und durch die Batterie gegebenen) als monatliche Summe.

Die Anlagenkosten I_0 wurden von unserem Partner Q3 im November 2023 bestimmt und stimmen daher nicht zwingend mit aktuellen Werten überein. Die Werte können je nach Anbieter, angebotenen Panelgrößen und verwendeter Technik abweichen. Außerdem betrachten wir in diesem Szenario nicht, dass eventuell ein Kredit für den Kauf aufgenommen werden muss und sich damit die Investitionskosten über die Kreditlaufzeit durch die zu zahlenden Zinsen erhöht. Für jedes Jahr werden in dieser Berechnung die gleichen Wartungskosten für die Photovoltaikanlage und keine Wartungskosten für den Batteriespeicher angenommen.

Die folgende Tabelle enthält die Werte für die Wirtschaftsparemeter in den Berechnungen.

Inflationsrate	2,7%
Einspeisepreis	0.0703 ct/kWh
Energiepreis	30 ct/kWh
Preiserhöhung des Energiepreises	4,5%

Diese Werte können natürlich in den nächsten 20 Jahren stark variieren, was zu Veränderungen in der Profitabilität führt. Zusammengefasst lässt sich der Cashflow für ein Jahr berechnen aus den jährlichen Wartungskosten, der verkauften überschüssigen Energie und der Einsparung durch den Eigenverbrauch.

$$\begin{aligned} \text{CashFlow}_{\text{Jahr}} = & \text{Einspeisevergütung} \times \text{Kilowattstunden Überschuss} \\ & + \text{Strompreis Bezug}_{\text{Jahr}} \times \text{Kilowattstunden Eigenverbrauch} \\ & - \text{Wartungskosten} \end{aligned}$$

Für die optimale Anlage von 20 kWp mit einem Batteriespeicher von 15 kWh Kapazität sieht die Kapitalrückflussdauer (Zeitpunkt an dem die investierten Kosten wieder ausgeglichen sind) wie in Bild 8 aus. Zum Zeitpunkt 0 wurde die Photovoltaikanlage mit dem Batteriespeicher gekauft und beinhaltet nur Ausgaben. In den Jahren danach bringt die Nutzung der Stromerzeugung bzw. durch das Zwischenspeichern in der Batterie Einnahmen. Die Kapitalrückflussdauer beschreibt den

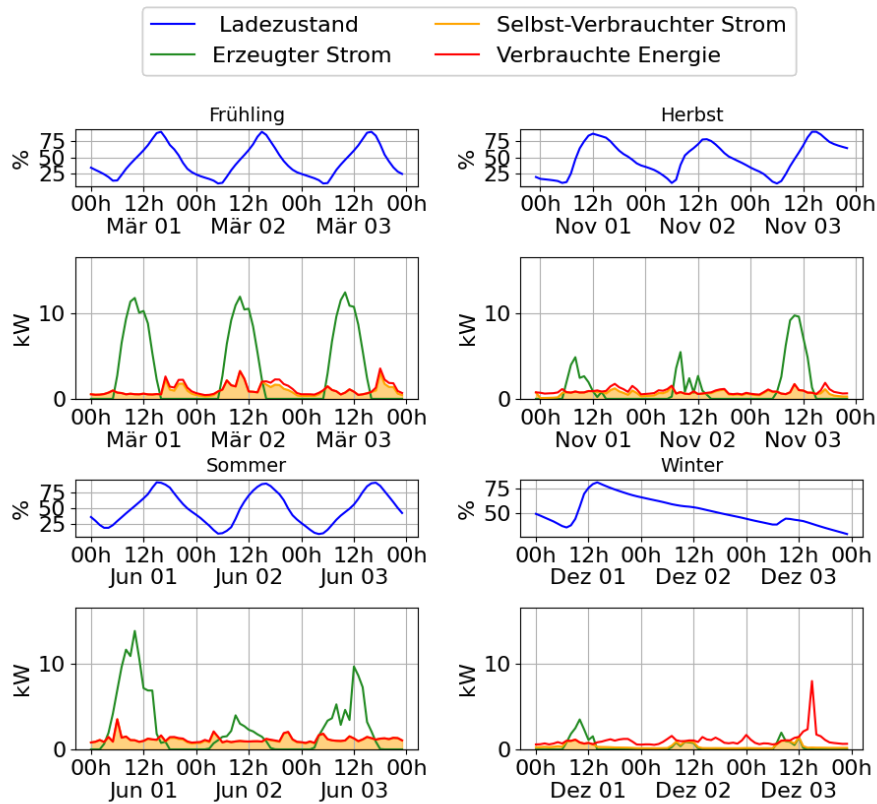


Abbildung 7: Beispieltage aus der Simulation für jede Jahreszeit.

Zeitpunkt, wenn man seine Investitionskosten eingespart hat. Ab diesem Zeitpunkt sind die Einnahmen als Gewinn zu betrachten.

Das Bild 8 zeigt diesen Ablauf grafisch. Die blauen Balken sind der Cash Flow für jedes Jahr (also im ersten Jahr durch die Investition negativ und in den folgenden Jahren durch die Eigennutzung und Verkauf von Strom positiv). Die rote Linie zeigt den Netto-Kapitalwert der Anlage. Wenn die rote Linie die x-Achse schneidet, ist der Zeitpunkt, an dem der Netto-Kapitalwert 0 ist und die Anlage rentabel wird. In Tabelle 2 sind alle Simulationsergebnisse für das Szenario Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher im Detail aufgeführt.

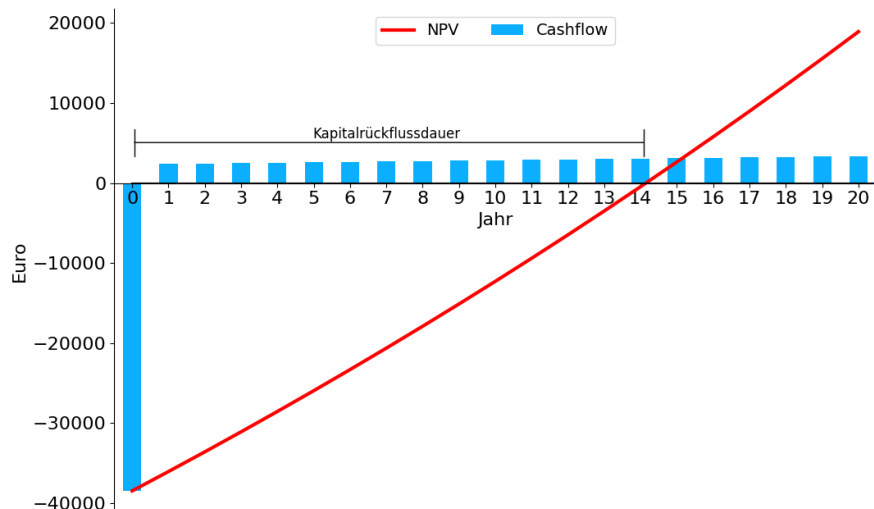


Abbildung 8: Der Kapitalrückfluss in Rot und der CashFlow pro Jahr in Blau. Der Balken zeigt die Kapitalrückflussdauer an.

Photovoltaikgröße	20	kWp
Ausrichtung	0	Grad (Süden)
Neigung	30	Grad
Batteriespeichergöße	15	kWh
Investition (Stand November 2023)	38.460,20	€
Investition Photovoltaik	23.286,10	€
Investition Batteriespeicher	15.174,00	€
Jährliche Wartungskosten (Stand November 2023)	664,51	€
Nach 20 Jahre aufsummierte Wartungskosten	10.440,60	€
Nach 20 Jahre gesparte Energiekosten durch die Photovoltaikanlage	57.556,80	€
Einnahmen durch den Verkauf von überschüssigem Strom	10.249,70	€
Ausgaben durch den Einkauf von Strom	16.332,70	€
Verbrauch pro Jahr	10.388,90	kW
Produzierter Strom pro Jahr	19.857,00	kW
Einspeisung pro Jahr	11.365,20	kW
Eigenverbrauch pro Jahr	8.092,50	kW
Bezug	2.296,39	kW
Autarkie	77,90	%

Tabelle 2: Simulationsergebnisse für das Szenario Photovoltaik und Batteriespeicher im Detail.