

Machbarkeitsstudie
Sonnenenergiepotential
Hochbauamt Kanton Zug
Bewertung



Kanton Zug

Impressum

Auftraggeber: Hochbauamt des Kantons Zug
Aabachstrasse 5
CH-6301 Zug
Kunden-Nr.: 020299

Kontakt: Philipp Weiss
Leiter Unterhalt
philipp.weiss@zg.ch
+41 728 54 33

Auftrag: Solar Beratung – Machbarkeitsstudie Sonnenenergiepotential
Auftrags-Nr.: 02029901

Unsere Referenz: ZENNA AG
Alte Spinnerei
CH-8877 Murg
+41 44 586 11 22
mail@zenna.ch
www.zenna.ch

Verfasser: Raphael Schuler
Roland Schlegel

Version: Version 1.2 22.09.2020

Dokument: 20190503 Machbarkeitsstudie Sonnenenergiepotential – Bewertung
V1.2.docx

Anmerkungen: In dieser Studie wird der Begriff „Energieverbrauch“ verwendet. Da Energie nicht verbraucht, sondern nur in andere Energieformen umgewandelt werden kann, müsste korrekterweise der Begriff Energiebedarf verwendet werden. Der Begriff „Energieverbrauch“ dient jedoch der besseren Verständlichkeit der Studie.

Bei allen Bezeichnungen, die auf Personen bezogen sind, betrifft die gewählte Formulierung beide Geschlechter, auch wenn aus Gründen der leichteren Lesbarkeit die männliche Form gewählt wurde.

Die Rechte am Bildmaterial in dieser Studie liegen, wo nicht anders bezeichnet, bei ZENNA AG.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Prozess - Machbarkeitsstudie	5
3	Bewertungskriterien	7
3.1	Grafik: Standort	7
3.2	Dach	7
3.2.1	Gesamte / Nutzbare Fläche	7
3.2.2	Dachalter	7
3.2.3	Dachlast	8
3.2.4	Ausrichtung	8
3.2.5	Verschattung intern	9
3.2.6	Absturzsicherung	10
3.3	Umfeld am Standort	10
3.3.1	Verschattung Extern	10
3.3.2	Einzusparende Stromkosten	11
3.3.3	Einspeisung	11
3.3.4	Strompreis-Zusammensetzung	12
3.4	Lastgang am Standort	12
3.4.1	Strombedarf am Standort	12
3.5	Photovoltaik-Anlage	13
3.5.1	Anzahl Module	13
3.5.2	DC-Peak-Leistung (Photovoltaik-Modul)	13
3.5.3	Eigenverbrauchsquote	13
3.6	Energiefluss mit Photovoltaik-Anlage	14
3.7	Wirtschaftlichkeit	14
3.7.1	Investition - Anlagekosten	14
3.7.2	Investition - Planungskosten	15
3.7.3	Vergütung Bund / GREIV / KLEIV	16
3.7.4	Betriebskosten	17
3.7.5	Kosten Stromeinkauf	17
3.7.6	Vergütung Einspeisung Energie	17
3.7.7	Durchschn. Stromkosten-Einsparung pro Jahr	18
3.7.8	Gestehungskosten pro kWh	18
3.7.9	Amortisationszeit Dyn. (SIA 480)	18
3.8	Grafik: Cashflow kumuliert	18
3.9	Grafik: Netzbezug mit Photovoltaik-Anlage	18
3.10	Gesamt Beurteilung	19
3.10.1	Einsparung CO ₂ in kg/a	19
3.10.2	Gesamtbewertung (Anzahl Sterne)	19
4	Ergebnisse	20
4.1	Objekt-Nr. 1	21
5	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	25

1 Einleitung

Bei den Objekten der vorliegenden Machbarkeitsstudie Sonnenenergiepotential handelt es sich um Gebäude im Portfolio des Hochbauamtes des Kantons Zug.

Die vorliegende „Machbarkeitsstudie Sonnenenergiepotential“ überprüft die Machbarkeit von Photovoltaik-Anlagen an den vorgegebenen Standorten des Hochbauamtes Zug. Der Prozess, für die Erstellung der vorliegenden Machbarkeitsstudie, ist im Abschnitt 2 beschrieben. Ergebnisse sind im Abschnitt 4 kompakt auf vier Seiten zusammengefasst, wobei die wichtigsten Faktoren anhand einer Skala von 1-5 bewertet wurden. Diese Skala mit den gewählten Bewertungskriterien ist im Abschnitt 3 beschrieben.

2 Prozess - Machbarkeitsstudie

Wie im Flussdiagramm (Abbildung 2) dargestellt, dient die benannte Immobilie als Grundlage dieser Machbarkeitsstudie. Der, resp. die Standorte werden auf ihre generelle technische und wirtschaftliche Eignung im Hinblick auf die Installation von Photovoltaik-Anlagen beurteilt. Dabei werden die geographische Lage und die Umgebung der Gebäude, die Anbindung an das öffentliche Stromnetz und die Eignung der Dächer, was das Alter, aber auch was die Bauart anbelangt, bewertet. Daraufhin werden Photovoltaik-Projekte an den betreffenden Standorten antizipiert und deren wirtschaftliche Kennzahlen berechnet, sowie die Amortisationszeit (gemäss SIA 480) bewertet.

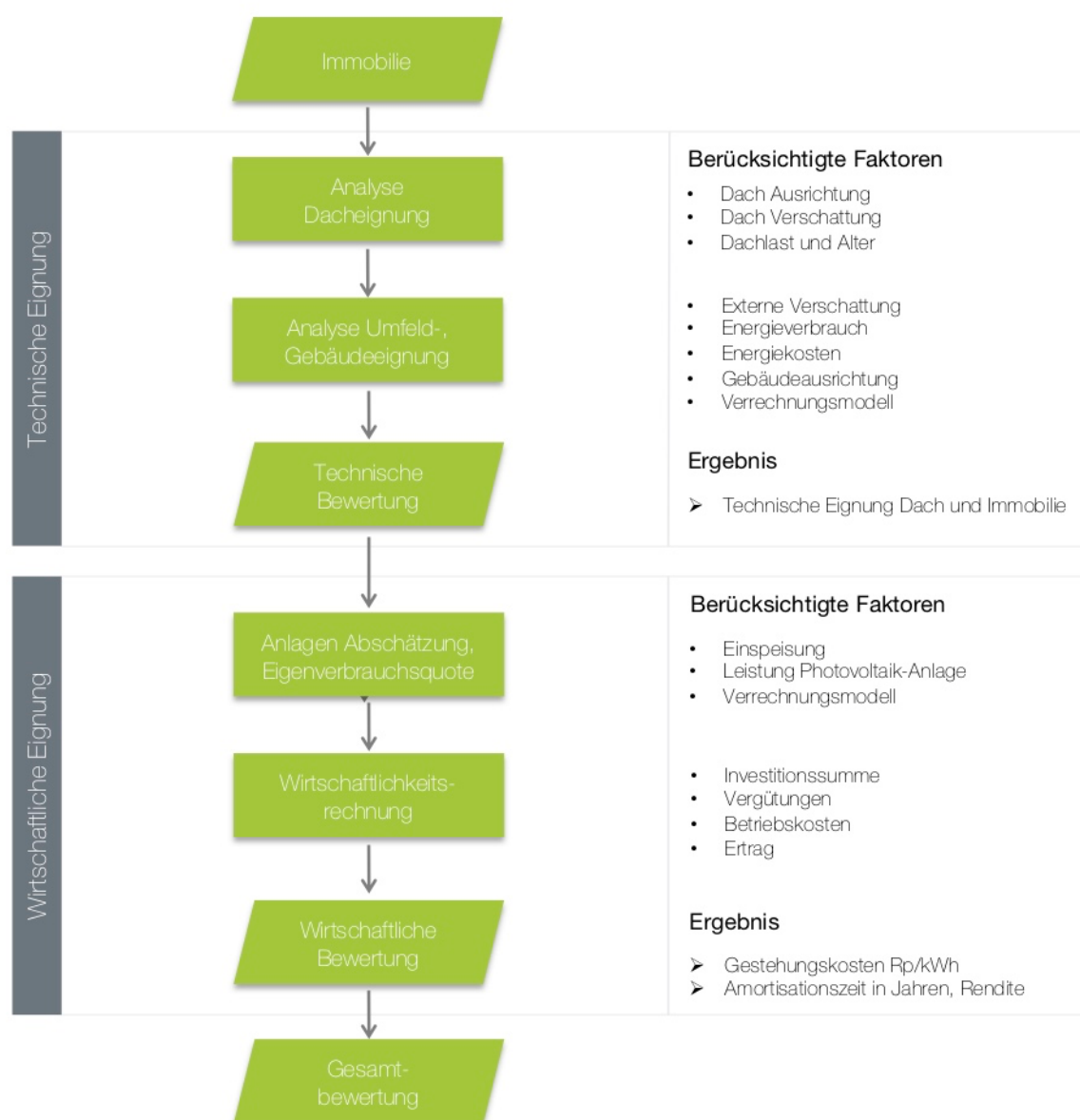


Abbildung 1: Prozess Machbarkeitsstudie

Die Gebäude- und Standort-spezifischen Bewertungen werden anhand eines vierseitigen Bewertungsbogens in zwei Schritten erstellt. In einer ersten Bilanz wird anhand der Dachfläche eine maximale Photovoltaik-Anlage ausgelegt und deren Wirtschaftlichkeit gerechnet. Sollte diese Anlage nicht den Wirtschaftlichkeitsansprüchen des Kunden genügen, wird eine Variante der Photovoltaik-Anlage gerechnet, die den wirtschaftlichen Ansprüchen genügt.

Zusätzlich werden im Hinblick auf die technische Eignung des Gebäudes und Standortes weitere Bewertungen erstellt. Die nutzbare Dachfläche ergibt sich dabei aus der gesamten Dachfläche des Gebäudes, von welcher die Fläche vorhandener Aufbauten wie Liftüberfahrten, Dachgauben oder Kamine, aber auch Bereiche, welche einer internen oder externen Verschattung ausgesetzt sind, abgezogen werden. Anhand der nutzbaren Fläche und des Strombedarfs im Gebäude werden die Grösse der Photovoltaik-Anlage und damit die zu erwartenden Investitionskosten abgeschätzt. Hierbei werden gegebenenfalls die Beiträge aus der Einmalvergütung des Bundes berücksichtigt.

Weiter sind die Tarife für den bezogenen, wie auch für den eingespeisten Strom am jeweiligen Standort für die Bewertung massgeblich. Auch hier werden die Erträge einer allfälligen Vergütung durch den Bund, Kanton oder Firmen intern berücksichtigt. Der Energie-Ertrag der Photovoltaik-Anlage wird aus der angenommenen Anlagengrösse und der standortbedingten Sonneneinstrahlung berechnet. Die Eigenverbrauchsquote wird anhand des tatsächlichen oder – wenn dieses nicht vorhanden ist, anhand eines Standard- Verbrauchsprofils mittels einer Software ermittelt.

Anschliessend werden anhand der ermittelten Daten verschiedene Wirtschafts-Kennzahlen errechnet, um die zu erwartende Amortisationszeit der Investition in die antizipierte Photovoltaik-Anlage zu bestimmen.

3 Bewertungskriterien

Sämtliche Punkte, die im Abschnitt 4, Ergebnisse erscheinen, werden nachfolgend in der gleichen Reihenfolge erläutert. Die aufgeführten Punkte werden, sofern sinnvoll, anhand einer Skala von 1 bis 5 Sterne bewertet. Nicht bewertete Positionen fliessen in ihrem Informationsgehalt in die Gesamt-Bewertung des Standortes mit ein.

3.1 Grafik: Standort

Diese Grafik beschreibt den Standort, an dem die Photovoltaik-Anlage gebaut werden soll. Ausserdem sind Azimutwinkel des Daches, sowie die wichtigsten Kennzahlen: Anlagenleistung, Investitionssumme und Rückzahldauer auf dieser Grafik dargestellt.

3.2 Dach

3.2.1 Gesamte / Nutzbare Fläche

Die Eignung eines Daches für eine Photovoltaik-Anlage kann aufgrund der Gesamtfläche, resp. der nutzbaren Fläche im Verhältnis zum Eigenverbrauch des Gebäudes bewertet werden. So kann bspw. ein Gebäude mit einem hohen Eigenverbrauch auch mit einer grossen nutzbaren Dachfläche ungeeignet sein, da die Eignung auch davon abhängt, wann der Stromverbrauch anfällt. In dieser Studie stützt sich die Bewertung der nutzbaren Fläche ausschliesslich auf die Grösse dieser Fläche. Je grösser die zur Verfügung stehende freie Fläche ist, desto einfacher und somit kostengünstiger wird die Installation der Photovoltaik-Anlage.

Bewertung:

- ★★★★★ Die nutzbare Fläche ist über 1'500 m² gross.
- ★★★★★ Die nutzbare Fläche ist 1'000 m² bis 1'500 m² gross.
- ★★★☆☆ Die nutzbare Fläche ist 801 m² bis 1'000 m² gross.
- ★★☆☆☆ Die nutzbare Fläche ist 601 m² bis 800 m² gross.
- ★☆☆☆☆ Die nutzbare Fläche ist weniger als 600 m² gross.

3.2.2 Dachalter

Bei einer Photovoltaik-Anlage geht man von einer Betriebsdauer von mindestens 25 Jahren aus. Während dieser Zeitspanne sollte das Dach nicht saniert werden müssen, da der Ab- und Wiederaufbau der Photovoltaik-Anlage einen zusätzlichen Aufwand bedeuten. Dieser Gesichtspunkt gilt vor allem für (additive) Auf-Dach-Anlagen. Beim Bau einer integrierten Anlage wird das Dach - falls Bedarf besteht - üblicherweise gleichzeitig mit dem Einbau der Photovoltaik-Module saniert. Bei einem Flachdach gehen wir von einer Lebensdauer von 25 Jahren aus, bei einem Schrägdach von 50 Jahren (HEV Lebensdauertabelle: Flachdach 30, Schrägdach 50 Jahre; SIA 480: Durchschnittliche Nutzungsdauer Bedachung: 35 Jahre).

Bewertung:



a) Es ist eine Sanierung oder ein Neubau geplant, innerhalb derer die Photovoltaik-Anlage installiert werden kann.

b) Das Dach ist neu (Baujahr >2006) oder frisch saniert. Über die nächsten 25, resp. 50 Jahre ist keine Renovation oder Sanierung geplant.



Das Dach, resp. die Dachkonstruktion ist weder neu noch frisch saniert. Jedoch ist in den nächsten 25 Jahren keine Sanierung geplant.



Das Dach ist älter als 25, resp. 50 Jahre.

3.2.3 Dachlast

Bei der Planung einer Photovoltaik-Anlage müssen Eigen-, Wind- und Schneelasten, sowie deren Kombinationen, die auf das Dach wirken, berücksichtigt werden. Für additive, also Auf-Dach-Konstruktionen gilt, dass ein Schrägdach mindestens eine zusätzliche Last von 20 kg/m² tragen muss. Bei diesem Richtwert sind die örtlich bedingten Wind- und Schneelasten noch nicht berücksichtigt. Die Bewertung stützt sich auf die Erfahrung, dass bei Schrägdächern die zusätzliche Last einer Photovoltaik-Anlage selten ein Problem darstellt. Ebenso verhält es sich bei integrierten Konstruktionen. Bei Photovoltaik-Anlagen auf Flachdächern können, je nach Montagesystem, zusätzliche Elemente zur Beschwerung der Ständer notwendig sein, weshalb die zulässige Dachlast bei Flachdächern in jedem Fall abgeklärt werden muss.

Bewertung:



Das Dach ist ein Schrägdach und kann eine additive oder integrierte Photovoltaik-Anlage unter Berücksichtigung der Eigen-, Wind- und Schneelasten problemlos tragen.



Wenn es sich bei dem Dach um ein Flachdach handelt, muss die maximal mögliche Dachlast in jedem Fall abgeklärt werden. Ein älteres Schrägdach kann eine additive oder integrierte Photovoltaik-Anlage bei moderaten Wind- und Schneelast-Verhältnissen tragen.



Das Dach (Flach- oder Schrägdach) kann eine additive oder integrierte Photovoltaik-Anlage unter Berücksichtigung der Eigenlast, sowie der örtlichen Wind- und Schneelasten nicht tragen.

3.2.4 Ausrichtung

Während flache Dächer, was die Ausrichtung und Neigung der Module anbelangt, gewisse Freiheiten lassen, geben schräge Dächer feste Parameter vor. Dabei kann die Installation von Photovoltaik-Modulen auf einem Schrägdach mit Ost-West-Ausrichtung ebenso sinnvoll sein, wie diejenige auf einem Schrägdach mit Süd-Ausrichtung. Ost-West-Belegung ist im Hinblick auf einen hohen Eigenverbrauch ideal. Von der Installation auf Schrägdächern mit Nord-Ausrichtung ist in unseren Breiten aufgrund des kleinen Ertrages abzuraten. Von einem Flachdach sprechen wir bis zu einem Neigungswinkel von 10°. Schrägdächer weisen im Idealfall einen Neigungswinkel zwischen 20° und 50° auf. Im Normalfall bewegt sich der Neigungswinkel zwischen 10° und 60°.

Bewertung:

★★★★★

Bei dem Dach, auf welchem die Photovoltaik-Anlage gebaut werden soll, handelt es sich um ein Flachdach, oder aber um ein Schrägdach, das bis zu einer Abweichung von 30° nach Süden ausgerichtet ist.

★★★★★

Das Schrägdach, auf welchem die Photovoltaik-Anlage gebaut werden soll, ist mit einer Abweichung von 30° bis 90° nach Süden, d.h. nach Osten und Westen ausgerichtet.

★★★☆☆

Das Schrägdach, auf welchem die Photovoltaik-Anlage gebaut werden soll, ist nach Osten und Westen ausgerichtet. Dabei kann jedoch nur eine Seite (Ost oder West) bebaut werden.

★★★☆☆

Das Schrägdach, auf welchem die Photovoltaik-Anlage gebaut werden soll, ist mit einer Abweichung von mehr als 90° nach Süden, d.h. nach Nordost oder Nordwest ausgerichtet.

★☆☆☆☆

Das Schrägdach, auf welchem die Photovoltaik-Anlage gebaut werden soll, ist mit einer Abweichung von weniger als 60° nach Nord ausgerichtet.

		Dachausrichtung																		
		Süd	Südost Südwest								Ost West	Nordost Nordwest								Nord
			0	10	20	30	40	50	60	70		80	90	100	110	120	130	140	150	
Dachneigung	0°	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%
	10°	93%	93%	93%	92%	92%	91%	90%	89%	88%	86%	85%	84%	83%	81%	81%	80%	79%	79%	79%
	20°	97%	97%	97%	96%	95%	93%	91%	89%	87%	85%	82%	80%	77%	75%	73%	71%	70%	70%	70%
	30°	100%	99%	99%	97%	96%	94%	91%	88%	85%	82%	79%	75%	72%	69%	66%	64%	62%	61%	61%
	40°	100%	99%	99%	97%	95%	93%	90%	86%	83%	79%	75%	71%	67%	63%	59%	56%	54%	52%	52%
	50°	98%	97%	96%	95%	93%	90%	87%	83%	79%	75%	70%	66%	61%	56%	52%	48%	45%	44%	43%
	60°	94%	93%	92%	91%	88%	85%	82%	78%	74%	70%	65%	60%	55%	50%	46%	41%	38%	36%	35%
	70°	88%	87%	86%	85%	82%	79%	76%	72%	68%	70%	58%	54%	49%	44%	39%	35%	32%	29%	28%
	80°	80%	79%	78%	77%	75%	72%	68%	65%	61%	56%	51%	47%	42%	37%	33%	29%	26%	24%	23%
	90°	69%	69%	69%	67%	65%	63%	60%	56%	53%	48%	44%	40%	35%	31%	27%	24%	21%	19%	18%

Abbildung 2: Prozentanteile des max. möglichen Ertrags (Quelle: www.photovoltalk-web.de)

3.2.5 Verschattung intern

Ausschlaggebend für die Höhe des Ertrages ist die nutzbare Dachfläche, auf welche Photovoltaik-Module installiert werden können. Dachaufbauten wie Gauben, Liftüberfahrten, Kamine, Dunstrohre und Antennen, aber auch Einbauten wie Balkone reduzieren die nutzbare Dachfläche einerseits durch ihre Anwesenheit, andererseits aber auch durch den Schattenwurf, den sie verursachen. Grundsätzlich soll ein Photovoltaik-Modul zu keiner Tageszeit verschattet werden, weil dadurch der Ertrag reduziert wird. Je nach Anordnung der Module und unter Berücksichtigung der Strang-Verschattung kann die Ertragsreduktion jedoch minimiert werden.

Bewertung:

- ★★★★★ Das Dach, auf welches die Photovoltaik-Anlage gebaut werden soll, hat keine Auf- oder Einbauten, welche die nutzbare Dachfläche reduzieren, resp. bietet eine genügend grosse Fläche für die optimale Auslegung der Anlage.
- ★★★★★ Es entstehen geringe Verschattungen, bspw. durch Dampfrohre oder kleine Kamine, welche durch angepasste Strang-Verschaltung handhabbar sind.
- ★★★☆☆ Das Dach, auf welches die Photovoltaik-Anlage gebaut werden soll, hat Auf- oder Einbauten, welche die nutzbare Dachfläche reduzieren und damit die Umsetzung einer wirtschaftlichen Photovoltaik-Anlage beeinträchtigen.
- ★☆☆☆☆ Der Umfang oder die Anzahl der Auf- und Einbauten des Daches beeinträchtigen die Umsetzung einer wirtschaftlichen Photovoltaik-Anlage stark.

3.2.6 Absturzsicherung

Der Bau einer Photovoltaik-Anlage verändert den ursprünglichen Bestimmungszweck eines Daches hin zu einer technischen Anlage. Photovoltaik-Anlagen sind laut SUVA technische Installationen und bedürfen periodischer Kontrollen und Unterhalt. Dies erfordert zusätzliche Massnahmen gegen die Absturzgefahr auf Dachflächen.

- ★★★★★ Das Dach benötigt kein Sicherungssystem / Ein umlaufendes Seilsystem mit Rückhaltefunktion ist vorhanden
- ★★★☆☆ Ein Sicherungssystem mit Anschlagspunkten ist vorhanden
- ★☆☆☆☆ Es ist kein Sicherungssystem gegen Absturz vorhanden

3.3 Umfeld am Standort

3.3.1 Verschattung Extern

Voraussetzung für den wirtschaftlich rentablen Betrieb einer Photovoltaik-Anlage ist ein ausreichender Energieertrag der Module. Um einen maximalen Energieertrag zu erzielen, wird ein Photovoltaik-Modul in unseren Breitengraden idealerweise um 30° angewinkelt nach Süden ausgerichtet. Für optimierten Eigenverbrauch werden die Module meistens in einer Ost-West-Anordnung mit ca. 10° angewinkelt ausgerichtet. Darüber hinaus soll die Sonneneinstrahlung auf das Modul möglichst weder durch den Horizont, noch durch angrenzende Gebäude oder Bäume beeinträchtigt werden. Die Verschattung einzelner Module muss übers Jahr betrachtet werden, da sie vom Sonnenstand abhängig und deshalb - jahreszeitlich bedingt – unterschiedlich stark sein kann. Eine Ertragseinbusse von weniger als 1% pro Jahr ist ideal, eine Einbusse von weniger als 10% ist noch akzeptabel. Bei stärkerer Verschattung kann die Minderleistung der Module dazu führen, dass die Anlage nicht ausreichend Ertrag bringt und damit unwirtschaftlich ist.

Bewertung:

- ★★★★★ Es entsteht eine Ertragseinbusse kleiner als 10% durch externe Faktoren. Der Betrieb einer Photovoltaik-Anlage wird unter dieser Voraussetzung empfohlen.
- ★★★☆☆ Der Ertrag wird anhand einer aufgrund der Lage des Gebäudes und der externen Verschattung resultierende Einbusse bis max. 20% geschmälert. Der Betrieb einer Photovoltaik-Anlage ist abzuwägen.
- ★☆☆☆☆ Vom Betrieb einer Photovoltaik-Anlage wird abgeraten, da das Gebäude durch den Horizont, angrenzende Gebäude oder Bäume zu stark verschattet wird und damit eine zu grosse Ertragseinbusse (>20%) resultiert.

3.3.2 Einzuspärende Stromkosten

Im Stromtarif bei Bezug sind neben den eigentlichen Kosten für die physikalische Energie auch die Kosten für die Netznutzung, sowie die öffentlichen Abgaben, inklusive der KEV-Abgabe, inbegriffen. Die drei Komponenten des Strompreises, Energietarif, Netznutzungstarif und Abgaben, sind je nach Standort und Energieanbieter variabel, wobei die KEV-Abgabe in der ganzen Schweiz gleich hoch ist. In der vorliegenden Studie wird der Tarif inkl. MwSt. als kWh-gebundene Kosten im Hochtarif exklusive Leistungsanteil gemäss der Rechnung des Energieversorgers angegeben. Die KEV-Abgabe wird innerhalb dieser Analyse einheitlich mit 2.3 Rp/kWh (inkl. Gewässerschutz) berechnet. Falls der VNB einen Sommer- und einen Wintertarif verrechnet, werden die beiden Werte gemittelt in den Hochtarif einberechnet.

Bewertung:

- ★★★★★ Der einzuspärende Stromtarif liegt zwischen 20.1 Rp/kWh und 23 Rp/kWh.
- ★★★★☆ Der einzuspärende Stromtarif liegt zwischen 17.1 und 20 Rp/kWh.
- ★★★☆☆ Der einzuspärende Stromtarif liegt zwischen 14.1 und 17 Rp/kWh.
- ★★☆☆☆ Der einzuspärende Stromtarif liegt zwischen 11.1 und 14 Rp/kWh.
- ★☆☆☆☆ Der einzuspärende Stromtarif liegt unter 11 Rp/kWh.

3.3.3 Einspeisung

Im Gebäude kann nur derjenige Strom selbst genutzt werden, der zum Zeitpunkt des Verbrauchs produziert wird (Gleichzeitigkeit). Der Überschuss fliesst ins öffentliche Netz. Dazu müssen die Absicherung und die Dimensionierung der Zuleitung überprüft werden. Die Zuleitung an das öffentliche Stromnetz muss ausreichend dimensioniert sein und der Standort des Einspeisepunktes sollte nicht zu weit von der Photovoltaik-Anlage entfernt sein. Die Re-Dimensionierung der Zuleitung, d.h. das Verlegen von Kabeln, wie auch die Verstärkung der Absicherung ist mit hohen Kosten verbunden.

Bewertung:



Sämtliche Voraussetzungen in Bezug auf Absicherung und Dimensionierung der Zuleitung sind gegeben und erlauben die Einspeisung ins öffentliche Netz über eine kurze Distanz.



Die Dimension der Zuleitung zum Einspeisepunkt muss mit Kostenaufwand angepasst werden. Die Investition in die Zuleitung schmälert die Rentabilität der Anlage.



Der Anschluss einer Photovoltaik-Anlage ans öffentliche Netz ist nur mit unverhältnismässigem Aufwand möglich.

3.3.4 Strompreis-Zusammensetzung

In der Grafik wird die Zusammensetzung des Strompreises dargestellt, welcher durch die Eigenproduktion von Strom tatsächlich eingespart werden kann. Dies sind die Kosten im Hochtarif (bei Tag) für die physikalische Energie, wie auch für die Netzkosten, sowie die Abgaben. Ein allfälliger Leistungstarif und die Kosten im Niedertarif (bei Nacht) können mit der Photovoltaik-Anlage nicht eingespart werden. In der vorliegenden Analyse ist die Abgabe für die KEV einheitlich mit 0.023 CHF/kWh erfasst worden. Ebenfalls wird mit einer Strompreissteigerung von jährlich 2% gerechnet.

3.4 Lastgang am Standort

Anhand des Lastganges wird der Eigenverbrauch ermittelt. Es wird der relevante Lastgang für die empfohlene Lösung (Verrechnungsmodell) dargestellt. Das heisst der dargestellte Lastgang kann vom Allgemeinstrom bis zum gesamten Strombezug der Liegenschaft variieren.

3.4.1 Strombedarf am Standort

Für die Messpunkte am Standort wird vom Verteilnetzbetreiber ein Lastgang (Viertelstundenwerte des Strombedarfs während eines Jahres) eingeholt. Ist keine Lastgangmessung vorhanden, wird eine Annahme zum Profil auf der Grundlage des Jahresverbrauchs und anhand eines Standardprofils getroffen. Der monatliche Verbrauch mit den Leistungsspitzen wird mit einem Balken-Diagramm dargestellt.

3.5 Photovoltaik-Anlage

3.5.1 Anzahl Module

Zur Auslegung der Photovoltaik-Anlage werden PV-Module mit Standard-Massen (1650 x 991 mm) und einer Peak-Leistung von 275 Watt eingesetzt. Die polykristallinen 60-Zellen-Module weisen im Moment das beste Preis-Leistungs-Verhältnis auf.

3.5.2 DC-Peak-Leistung (Photovoltaik-Modul)

Die Peak-Leistung des Moduls wird anhand der Norm-Leistung unter standardisierten Testbedingungen (STC) angegeben. Bedingung ist eine Strahlungsintensität von 1'000 W/m² bei einer Zell-Temperatur von 25°C und einer Luftmasse (Weg des Lichts durch die Atmosphäre) von 1.5.

3.5.3 Eigenverbrauchsquote

Um eine Photovoltaik-Anlage auf Eigenverbrauch auszulegen, muss die Gewichtung von selbst verbrauchtem und ins Netz eingespeistem, respektive aus dem Netz bezogenem Strom berücksichtigt werden. Je nach Tarifen für den eingespeisten, wie auch für den aus dem Netz bezogenen Strom können verschiedene Lösungen, was die Auslegung der Photovoltaik-Anlage betrifft, rentabel sein. Zur Auslegung der Photovoltaik-Anlage im Hinblick auf Eigenverbrauch ist der tatsächliche Verbrauch des Gebäudes massgebend. Dieser sollte möglichst konstant sein und am Tag stattfinden, da die Photovoltaik-Anlage dann Strom liefert. Der Verbrauch im Tagesverlauf wird anhand des Lastgangs analysiert.

Auf einem Schrägdach können ca. 160 Wp Leistung pro m² installiert werden. Bei einem Flachdach reduziert sich die mögliche Leistung pro m² auf ca. 140 Wp (bei Ost/West-Ausrichtung), resp. 100 Wp (bei Süd-Aufständigung). Dies ergibt sich aufgrund der Aufständigung der Module und dem daraus resultierenden notwendigen Abstand zwischen den Modulen, um Verschattungen zu vermeiden. Die abgeschätzte, zu installierende Leistung resultiert aus der nutzbaren Dachfläche unter Berücksichtigung von Aussparungen zur Vermeidung von Verschattungen. Als spezifischer Energieertrag wird die erwartete AC-Wirkleistung (ab Wechselrichter) während eines Jahres bezeichnet. Die Eigenverbrauchsquote bezeichnet jenen Anteil der produzierten Energie, den der Produzent auch selber verbrauchen kann. Je höher dieser Anteil ist, desto rentabler ist die Investition in die eigene Stromproduktion.

Bewertung:

- ★★★★★ Die Eigenverbrauchsquote des Gebäudes liegt zwischen 70% und 100%.
- ★★★★★ Die Eigenverbrauchsquote des Gebäudes liegt zwischen 50% und 70%.
- ★★★☆☆ Die Eigenverbrauchsquote des Gebäudes liegt zwischen 30% und 50%.
- ★★☆☆☆ Die Eigenverbrauchsquote des Gebäudes liegt zwischen 20% und 30%.
- ★☆☆☆☆ Die Eigenverbrauchsquote des Gebäudes liegt zwischen 0% und 20%.

3.6 Energiefluss mit Photovoltaik-Anlage

Auf der rechten Seite der Grafik werden der Energie-Ertrag der Photovoltaik-Anlage, der Eigenverbrauch der produzierten Energie, wie auch der Bezug vom Netz und die Netzeinspeisung dargestellt.

Auf der linken Seite ist die Autarkiequote und die Eigenverbrauchsquote dargestellt. Die Autarkiequote bezeichnet den Anteil der elektrischen Energie, den die Photovoltaik-Anlage anteilmässig am gesamten elektrischen Energiebedarf des Standortes liefern kann.

Die Eigenverbrauchsquote beschreibt jenen Anteil der produzierten Energie, der direkt am Standort genutzt werden kann.

Die Investition in eine Photovoltaik-Anlage wird interessant, sobald sich ein Teil der erzeugten Energie selber nutzen lässt und somit Strom- und Netznutzungskosten, wie auch die Abgaben eingespart werden können. Ein wichtiger Parameter, um eine Anlage auf Eigenverbrauch zu optimieren, ist die selber genutzte Energie im Verhältnis zur installierten Leistung.

3.7 Wirtschaftlichkeit

3.7.1 Investition - Anlagekosten

Anlagekosten sind inkl. Netzanschluss und MwSt. Nicht berücksichtigt ist eine allenfalls notwendige Absturzsicherung.

Die in folgender Tabelle beschriebenen Kosten sind Richtwerte, die +/- 15% der tatsächlich anfallenden Kosten abweichen können.

Anlagengrösse	Schrägdach	Integrierte Anlage	Flachdach
bis 10 kWp	2'700 CHF/kWp	4'100 CHF/kWp	2'800 CHF/kWp
bis 30 kWp	1'700 CHF/kWp	3'300 CHF/kWp	1'800 CHF/kWp
bis 100 kWp	1'350 CHF/kWp	2'700 CHF/kWp	1'450 CHF/kWp
bis 250 kWp	1'200 CHF/kWp	-	1'300 CHF/kWp
bis 500 kWp	1'100 CHF/kWp	-	1'200 CHF/kWp
bis 1'000 kWp	1'050 CHF/kWp	-	1'150 CHF/kWp
ab 1'000 kWp	1'000 CHF/kWp	-	1'100 CHF/kWp

Tabelle 1: Investition Anlagekosten pro kWp (Quelle: ZENNA)

Die Berechnung erfolgt stufenweise. Folgend werden als Beispiel Anlagekosten einer 130 kWp Photovoltaik-Anlage auf einem Flachdach berechnet:

$$\begin{aligned}
 \text{Anlagekosten} &= (10 \text{ kWp} \times 2'700 \text{ CHF/kWp}) + (20 \text{ kWp} \times 1'700 \text{ CHF/kWp}) + \\
 &\quad (70 \text{ kWp} \times 1'350 \text{ CHF/kWp}) + (30 \text{ kWp} \times 1'200 \text{ CHF/kWp}) \\
 &= 191'500 \text{ CHF}
 \end{aligned}$$

3.7.2 Investition - Planungskosten

Planungskosten sind Richtwerte und können +/- 15% vom tatsächlich anfallenden Betrag abweichen. Die in den Planungskosten beschriebenen Leistungen erfüllen mindestens folgende Kriterien der SIA 112:

Phase 3: Projektierung

Phase 4: Ausschreibung

Phase 5: Realisierung

In dieser Machbarkeitsstudie sind Planungskosten bis 50 kWp als fixe Summe, inkl. MwSt. angegeben. Ab einer Anlagengrösse von 50 kWp werden Planungskosten mit einem Kilowattpeak-Preis berechnet.

Anlagengrösse	Planungskosten
bis 10 kWp	9'000 CHF
bis 30 kWp	15'000 CHF
bis 50 kWp	20'000 CHF
bis 100 kWp	200 CHF/kWp
bis 250 kWp	160 CHF/kWp
bis 500 kWp	120 CHF/kWp
bis 1'000 kWp	80 CHF/kWp
ab 1'000 kWp	60 CHF/kWp

Tabelle 2: Planungskosten (Quelle: ZENNA)

Die Berechnung erfolgt Stufenweise. Folgend werden als Beispiel Planungskosten einer 130 kWp Photovoltaik-Anlage berechnet:

$$\begin{aligned}
 \text{Planungskosten} &= (20'000 \text{ CHF}) + (50 \text{ kWp} \times 200 \text{ CHF/kWp}) + \\
 &\quad (30 \text{ kWp} \times 160 \text{ CHF/kWp}) \\
 &= 34'800 \text{ CHF}
 \end{aligned}$$

3.7.3 Vergütung Bund / GREIV / KLEIV

Die Einmalvergütung (EIV) wird zum Hauptfördersystem für Photovoltaik-Anlagen. Neu kann für alle Photovoltaik-Anlagen Grössen die EIV beantragt werden. Das Förderinstrument der Einmalvergütung ist bis 2030 vorgesehen. Die Höhe der EIV wird anhand von Vergütungssätzen festgelegt, entspricht aber höchstens 30 Prozent der Investitionskosten einer Referenzanlage zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme.¹ Bei Erweiterungs- und Erneuerungsprojekten wird dabei kein Grundbeitrag geleistet.

Einmalvergütung für kleine Anlagen: KLEIV

Betreiber von Anlagen mit einer Leistung von weniger als 100 kW erhalten ab 2018 ausschliesslich die „Einmalvergütung für kleine Anlagen“ (KLEIV). Die KLEIV kann erst nach erfolgter Inbetriebnahme beantragt werden, die Auszahlung der KLEIV erfolgt in der Reihenfolge des Eingangsdatums der vollständigen Inbetriebnahme-Meldung. Auch bei der Einmalvergütung ist neu mit Wartezeiten bis zur Auszahlung zu rechnen. Diese beträgt für kleine Photovoltaik-Anlagen, die ab 2018 zur Inbetriebnahme gemeldet werden mindestens 2.5 Jahre.

Einmalvergütung für grosse Anlagen: GREIV

Betreiber von Anlagen mit einer Leistung von mehr als 100 kW können ab 2018 grundsätzlich zwischen der KEV und der „Einmalvergütung für grosse Anlagen“ (GREIV) wählen. In die KEV können aber aufgrund der beschränkten finanziellen Mittel nur noch Anlagen mit Anmeldedatum bis 30. Juni 2012 aufgenommen werden. Analog zur KEV wird die Warteliste der GREIV nach Anmeldedatum abgearbeitet. Im Gegensatz zur KLEIV ist es nicht erforderlich, die Anlage vor dem Erhalt einer Förderzusage zu realisieren.

Bei der Auszahlung der Einmalvergütungen muss mit einer Wartefrist von mindestens 1.5 Jahren bei kleinen Anlagen (<100kWp) und von mindestens 2 Jahren bei grossen Anlagen (>100kWp) gerechnet werden. KLEIV/GREIV hinzufügen

¹ EnV, Art. 38

Anlagen-kategorie	Leistungsklasse	Ab 01. April 2017	Ab 01. April 2018	Ab 01. April 2019
Angebaut	Grundbeitrag CHF	1'400 CHF	1'400 CHF	1'400 CHF
	< 30 kW	450 CHF/kW	400 CHF/kW	340 CHF/kW
	< 100 kW	350 CHF/kW	300 CHF/kW	300 CHF/kW
	> 100kW	350 CHF/kW	300 CHF/kW	300 CHF/kW
Integriert	Grundbeitrag CHF	1'600 CHF	1'600 CHF	1'550 CHF
	<30 kW	520 CHF/kW	460 CHF/kW	380 CHF/kW
	<100 kW	400 CHF/kW	340 CHF/kW	330 CHF/kW

Tabelle 3: EIV-Vergütungssätze (Quelle: Swissolar; Energiestrategie 2050: Was sind die Folgen für die Photovoltaik, Stand 01.04.2019)

3.7.4 Betriebskosten

Folgende Posten können als Betriebskosten einer Photovoltaik-Anlage berechnet werden:

- Unterhalt, Reparatur und Ersatz von Komponenten und Installationen
- Gebühren für Zähler, Netzanschluss und HKN-Erfassung
- Service und Kontrollgänge
- Betriebsüberwachung
- Versicherungen: nur Haftpflicht und Elementarschaden
- Administration, Verwaltung

Die Betriebskosten bei Anlagen mit Leistungen zwischen 100 und 1000 kWp liegen zwischen 3.0 und 1.0 Rp/kWh.

Verrechnungsmodell abhängige Betriebskosten

Verrechnungsmodell EVG

- Effektive Kosten für Zähler und Abrechnung gemäss Tarife VNB

ZEV

- Die Abrechnung des ZEV's bieten verschiedene Drittanbieter auf dem Markt an. Dabei variieren die Dienstleistungen und Preise stark. Für diese Machbarkeitsstudie verwenden wir Kosten von CHF 10 / Monat / Zähler

3.7.5 Kosten Stromeinkauf

Siehe Abschnitt 3.3.4, Strompreis-Zusammensetzung.

3.7.6 Vergütung Einspeisung Energie

Der Verteilnetzbetreiber vergütet die Rückspeisung von Solar-Strom mit durchschnittlich 5 Rp/kWh. Die Position Einnahmen Rückspeisung ins Netz zeigt die Vergütungen vom Verteilnetzbetreiber über ein Jahr.

3.7.7 Durchschn. Stromkosten-Einsparung pro Jahr

Durch jede produzierte kWh Solar-Strom die direkt verbraucht wird, können Stromkosten gespart werden (Eigenstromverbrauch). Die Position Einsparung Stromkosten entspricht den eingesparten Stromkosten über ein Jahr. Hierbei wird auch die Strompreisteuerung berücksichtigt. Nicht inbegriffen sind Förderungen.

3.7.8 Gestehungskosten pro kWh

Die Gestehungskosten von Solarstrom beinhalten Verzinsung, Abschreibung und Wartung der Photovoltaik-Module, der Dachbefestigung, des Wechselrichters und der Elektroinstallation für jede produzierte kWh über 25 Jahre.

3.7.9 Amortisationszeit Dyn. (SIA 480)

Die Amortisationszeit ist die Zeitspanne, die bei Verzinsung des eingesetzten Kapitals notwendig ist, um das Kapital zurückzuzahlen. Die Amortisationszeit gibt an, wie lange ein Objekt genutzt werden muss, damit die Investition in dasselbe wirtschaftlich wird. Ab dem Zeitpunkt, ab welchem die Investition dank der Verzinsung des eingesetzten Kapitals zurückgezahlt ist, wird die Photovoltaik-Anlage wirtschaftlich. Gemäss SIA480 ist ein Objekt dann wirtschaftlich, wenn die Amortisationszeit kleiner ist als die Nutzungsdauer. Vorliegend wird von einer Nutzungsdauer von 25 Jahren ausgegangen. Die Bewertung stützt sich auf der Amortisationszeit ab. Die Abschätzung zur Wirtschaftlichkeit, respektive zur Amortisationszeit der Anlage beruht auf verschiedenen Annahmen, welche vor einer Realisierung verifiziert werden müssen. In der Wirtschaftlichkeitsrechnung der vorliegenden Studie wird mit einer jährlichen Strompreissteigerung von 2% gerechnet.

Bewertung:



Die Amortisationszeit für die berechnete Photovoltaik-Anlage auf diesem Gebäude beträgt maximal 20 Jahre.



Die Amortisationszeit für die berechnete Photovoltaik-Anlage auf diesem Gebäude beträgt 21 bis 25 Jahre.



Die Amortisationszeit für die berechnete Photovoltaik-Anlage auf diesem Gebäude beträgt über 25 Jahre.

3.8 Grafik: Cashflow kumuliert

Die Grafik zeigt den Cashflow kumuliert (Kapitalwert SIA 480) über den Betrachtungszeitraum.

3.9 Grafik: Netzbezug mit Photovoltaik-Anlage

Das Diagramm zeigt den jährlichen Netzbezug vor und nach dem Bau der Photovoltaik-Anlage.

3.10 Gesamt Beurteilung

Die Gesamt-Beurteilung wird hier anhand eines Textes wiedergegeben. Im Text wird auch auf individuelle Begebenheiten und Besonderheiten des Standortes hingewiesen.

3.10.1 Einsparung CO₂ in kg/a

Bei der Berechnung der CO₂-Einsparung durch den Einsatz von Solarenergie ist massgeblich, welche bestehende Energieerzeugungsform dadurch ersetzt wird. Bei der Berechnung der Menge CO₂, welche durch den Betrieb einer Photovoltaik-Anlage eingespart, resp. nicht produziert wird, sind verschiedene Parameter zu berücksichtigen. In der vorliegenden Analyse wird der CO₂-Ausstoss ausgehend vom Energie-Ertrag berechnet und dann mit dem CO₂-Ausstoss verglichen, der entstehen würde, wenn man dieselbe Strommenge mit Heizöl erzeugte. Zur Berechnung wurden Modelle der Gemeinde Köniz², sowie einer Studie des Bundesamtes für Umwelt BAFU³ verwendet.

3.10.2 Gesamtbewertung (Anzahl Sterne)

Rechnerisch ergibt sich die Anzahl Sterne der Gesamtbewertung aus den Ergebnissen aller Bewertungen.

Die Anzahl Sterne der Gesamtbewertung wird auf Grundlage folgender Formel berechnet:

$$\text{PV-Eignung} = (\text{Eignung für PV-Anlagen} + \text{Wirtschaftlichkeit}) / 2$$

² Solarkataster Gemeinde Köniz, Erläuterungen (2014)

³ Treibhausgas-Emissionen der Schweizer Strommixe. ESU-Services im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU (2012)

4 Ergebnisse

4.1 Objekt-Nr. 1

Standort

6340 Landhausstrasse 11, Baar



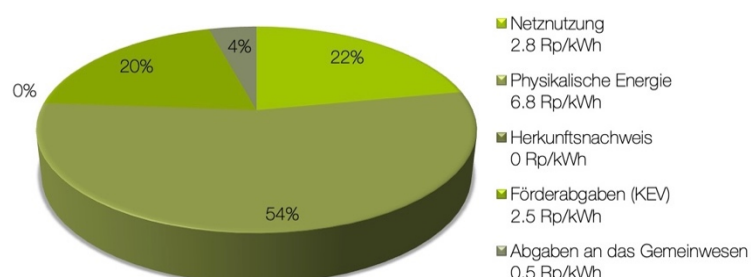
Quelle: www.map.geo.admin.ch

Dach		Bewertung
Gesamte / Nutzbare Fläche:	2'650 m ² / 2'220 m ²	★★★★★
Dachalter:	2017 / 2018	★★★★★
Dachlast:	Flachdach	★★★☆☆
Ausrichtung:	Azimutwinkel 20°	★★★★★
Verschattung Intern:	Es entstehen keine Verschattungen.	★★★★★
Absturzsicherung:	Seilsystem	★★★★★

Umfeld am Standort

Verschattung Extern:	minimal	★★★★★
Einzuspärende Stromkosten:	0.1261 CHF/kWh	★★★☆☆
Einspeisung:	Mind. 80 Ampère (80A) - Parkhaus	★★★☆☆

Strompreis-Zusammensetzung:



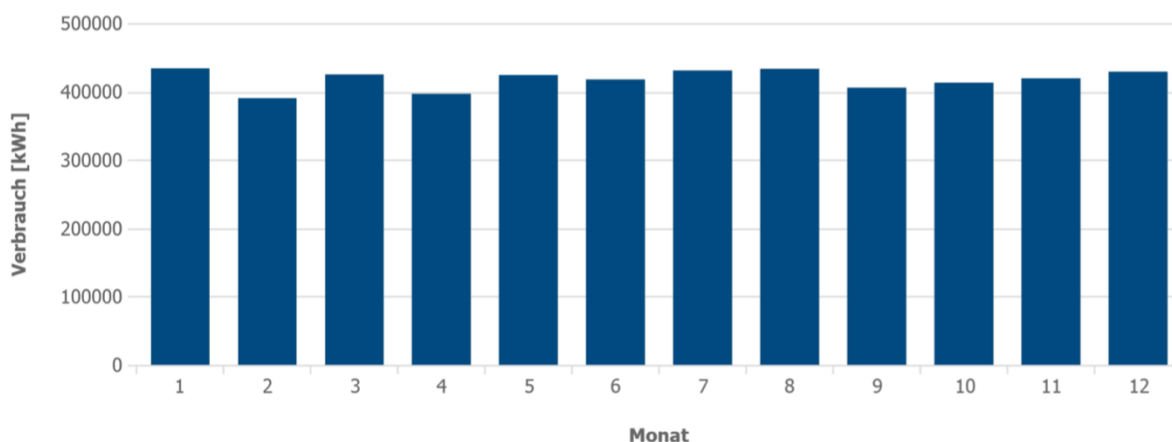
Quelle Daten: WWZ, Tarif high 500 week 2019, Industrie, HT, Förderabgabe 2019; Grafik: ZENNA

Lastgang am Standort:

1 Wirtschaftseinheit

Strombedarf am Standort: (Gesamter Strombedarf)

5'000'000 kWh

Verbrauch pro Monat


Quelle: Verbrauchszahlen 2018; Kantonsspital AG; Profil: Landhausstrasse 11; Grafik: ZENNA

Photovoltaik-Anlage	Maximal	Variante
Verrechnungsmodell:	EKZ Modell	-
Anzahl Module (275 Wp):	1130 Stk	-
DC-Peak-Leistung (Photovoltaik-Modul):	310.75 kWp	-
Eigenverbrauchsquote:	100%	-
★★★★★		

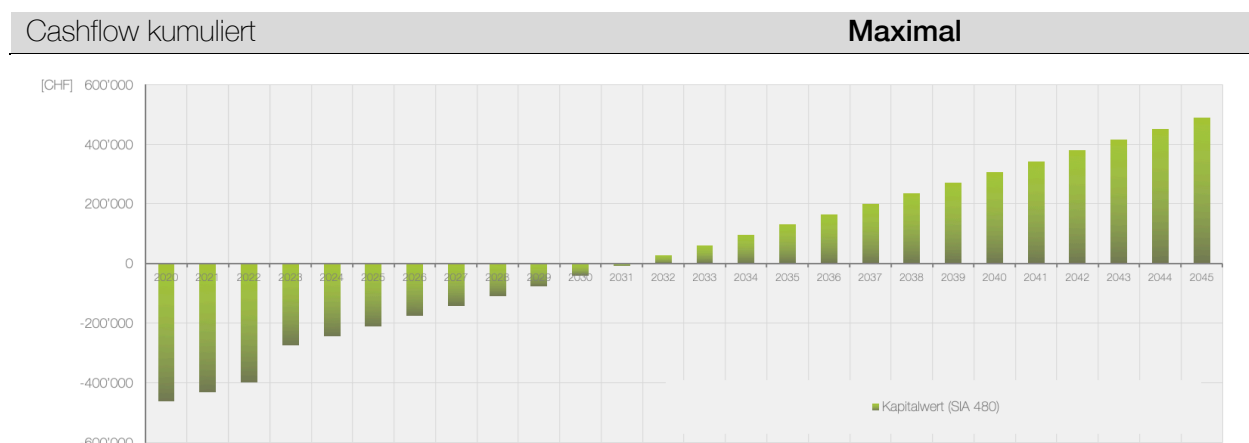
Energiefluss mit Photovoltaik-Anlage	Maximal
Autarkiequote 6,2 %	Verteilung der PV-Energie Energie-Ertrag 310 MWh Netzeinspeisung 0 kWh Eigenverbrauch 310 MWh Netzbezug 4.690 MWh
Eigenverbrauchsquote 100 %	

Maximal, Quelle Grafik: SMA Sunny Design

Energiefluss mit Photovoltaik-Anlage	Variante
Autarkiequote 19,2 %	Verteilung der PV-Energie Energie-Ertrag 109 MWh Netzeinspeisung 34.584 kWh Eigenverbrauch 74.559 kWh Netzbezug 313 MWh
Eigenverbrauchsquote 68,3 %	

Variante, Quelle Grafik: SMA Sunny Design

Wirtschaftlichkeit	Maximal	Variante
Investitionssumme: (1'592 CHF/kWp)	494'690 CHF	-
Vergütung Bund: GREIV / KLEIV	95'825 CHF	-
Betriebskosten	0.02 CHF/kWh	-
Kosten Stromeinkauf	0.13 CHF/kWh	-
Vergütung Einspeisung Energie	0.14 CHF/kWh	-
Durchschn. Stromkosten-Einsparung pro Jahr:	52'751 CHF	-
Gestehungskosten pro kWh:	0.10 CHF	-
Amortisationszeit Dyn (SIA 480):	12.2 Jahre	-
★★★★★		

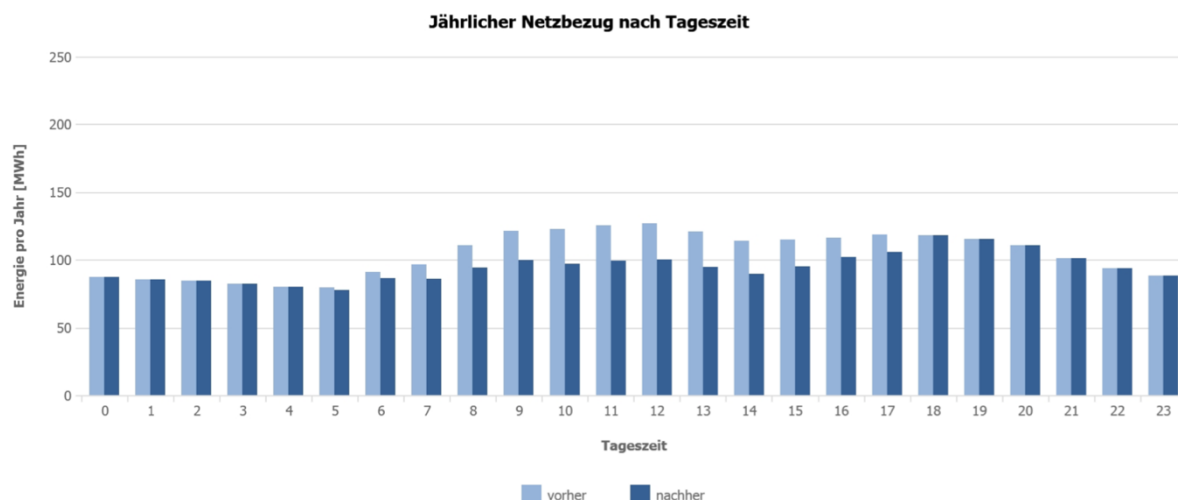


Maximal, Quelle: Investitionsrechnung ZENNA



Variante, Quelle: Investitionsrechnung ZENNA

Netzbezug mit Photovoltaik-Anlage



Maximal, Jährlicher Netzbezug vor und nach dem Bau einer Photovoltaik-Anlage, Quelle: SMA

Das Zuger Kantonsspital mit Parkhaus kann bei einem jährlichen Strombedarf von ca. 5'000'000 kWh und einer durchschnittlichen Solarstrom-Produktion von 301'352 kWh den Netzbezug am Tag um ca. 10% verringern. Die Stromkosten-Einsparung über 25 Jahre beträgt dadurch im Durchschnitt CHF 52'751 jährlich.

Gesamt Beurteilung:

Der Standort Kantonsspital Zug an der Landhausstrasse 11 in Baar umfasst mehrere Gebäude mit einer Gesamtfläche von ca. 6'914 m². Davon kann aufgrund der Erkenntnisse der vor Ort Begehung die Dachfläche des Parkhauses von ca. 2'220 m² zur Installation einer Photovoltaik-Anlage genutzt werden. Der Kanton Zug als Besitzer und das Kantonsspital Zug als Betreiber der Gebäude haben am Standort einen jährlichen Strombedarf von ca. 5'000'000 kWh. Aufgrund der Besitzsituation wurde als Verrechnungsmodell das EKZ Modell angewendet.

Für die Installation einer Photovoltaik-Anlage wurde das Dach des Parkhauses berücksichtigt. Auf der Dachfläche kann eine Photovoltaik-Anlage mit einer maximalen Leistung von **310.75 kWp** und 1'900 m² Fläche errichtet werden. Insgesamt produziert die Anlage jährlich ca. 301'352 kWh Strom, welche 67 Haushalte ein Jahr lang mit Strom versorgen könnten. Die Investitionssumme mit einem kWp-Preis von 1'592 CHF/kWp beträgt **CHF 494'690 inkl. MwSt.** Aufgrund des hohen Strombedarfs vor Ort beträgt die Eigenverbrauchsquote 100%, was sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit mit einer Amortisationszeit von **12.2 Jahren** auswirkt.

Eine Photovoltaik-Anlage am Standort Kantonsspital Zug an der Landhausstrasse 11 in Baar ist auf dem Dach des Parkhauses **wirtschaftlich realisierbar**.

Für die elektrische Erschliessung einer Photovoltaik-Anlage mit 310.75 kWp Leistung muss von der Hauptverteilung des Kantonsspitals eine grössere Kabelleitung erstellt werden, da die bestehende Leitung mit maximal 80A belastet werden kann.

Bewertung:	Maximal	Variante
Einsparung CO ₂ in kg/a:	12'476 kg	
6340 Baar, Landhausstrasse 11	★★★★★	

5 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Prozess Machbarkeitsstudie	5
Abbildung 2: Prozentanteile des max. möglichen Ertrags (Quelle: www.photovoltaiik-web.de)	9
Tabelle 1: Investition Anlagekosten pro kWp (Quelle: ZENNA)	14
Tabelle 2: Planungskosten (Quelle: ZENNA)	15
Tabelle 3: EIV-Vergütungssätze (Quelle: Swissolar; Energiestrategie 2050: Was sind die Folgen für die Photovoltaik, Stand 01.04.2019)	17