

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

**Erstellung einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit Ausblick auf
verschiedene Lösungsansätze zur Eigenverbrauchsreduzierung der
Gemeinschaftsschule Moorrege
Stand 18.08.2023**

Projekt-Nr.: SHT 1919

Bauvorhaben: Gemeinschaftsschule Moorrege - Neubau

Gewerk: Elektro / Photovoltaik

**Bauherr: Schulverband Gemeinschaftsschule
Am Himmelsbarg
über: Amt Geest und Marsch Südholstein
Bauen und Liegenschaften
Amtsstraße 12
25436 Moorrege**

Projekt-Nr.: SHT 1919
Bauvorhaben: Gemeinschaftsschule Moorrege - Neubau
Gewerk: Elektro / Photovoltaik

Einleitung:

Die Aufgabenstellung seitens des Nutzers lautet, festzustellen, inwieweit der Betrieb einer Photovoltaikanlage, in Kombination mit einem Energiespeicher zur Nachtauskühlung des Gebäudes, im Zusammenhang mit der installierten Wärmepumpe, Verwendung finden kann.

Gemäß Absprache mit dem Büro Pahl & Jacobsen (Herrn Knüppel) ist der Energiebedarf für den Betrieb der Wärmepumpen im Kühlbetrieb pro Nacht mit ca. 80 kWh anzunehmen. Somit wird die Auslegung des Energiespeichers in der weiteren Betrachtung mit ca. 80 kWh angenommen.

Für die Größenordnung der Installation der Photovoltaikanlage gibt es diverse Kriterien, die hinzugezogen werden können. Die erste Schwelle wäre die Anlagengröße von 100 kWp, die zur Folge hätte, dass man für den Verkauf der einzuspeisenden Energie einen Makler hinzuziehen müsste. Außerdem wird eine Fernwirksteueranlage notwendig.

Ein weiteres Kriterium ist die Grenze von 135 kWp, bei der ein Anlagenzertifikat Typ B und eine Konformitätserklärung notwendig werden. Hierfür entstehen zusätzliche hohe Kosten und ein enormer Zeitaufwand, die nur eine deutliche Überbauung dieser Grenze rechtfertigen.

Des Weiteren sollte zugrunde gelegt werden, dass der wirtschaftliche Betrieb der Anlage sich bei den geringen Einspeisevergütungen nur darstellen lässt, wenn die selbstverbrauchte Energie im Objekt hoch angesetzt werden kann. Aufgrund der erstellten Energiebilanz ist davon auszugehen, dass der Energiebedarf sich wie folgt darstellen wird:

- Sommerzeit: ca. 6,4 kW
- Übergangszeit: ca. 69,3 kW
- Winterzeit: ca. 88,9 kW

Gemäß des AMEV (Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen (Berlin 2020)) liegen die Nutzungsstunden einer Gemeinschaftsschule im Jahr bei 800 – 2.400 Stunden. Demnach liegt der Mittelwert bei ca. 1.600 Nutzungsstunden, wovon in der Folge auch ausgegangen wird.

Im Zusammenhang mit den vorhandenen Dachflächen und entsprechender Ausrichtung, wird von einer Anlagenleistung von 94 kWp ausgegangen. Es ist vorgesehen, pro Anlagenteil entsprechende Wechselrichter auf dem Dach zu platzieren. Die Anbindung AC-seitig erfolgt über Schwanenhäule in der Dachhaut auf eine Sammelverteilung für die Wechselrichter.

Von dort erfolgt die Anbindung an den Mittelspannungstransformator. Der Transformator wird von jedem Gebäude über einer der Maximalbelegung entsprechenden Starkstromleitung zwischen 4x95/50 mm² und 4x120/70 mm² verbunden.



Projekt-Nr.: SHT 1919
Bauvorhaben: Gemeinschaftsschule Moorrege - Neubau
Gewerk: Elektro / Photovoltaik

1. Erläuterung zur Herangehensweise und Einzelbetrachtung der potenziellen Generatorflächen

Grundlage für die Berechnung

Gemittelter Energieverbrauch (Strom) der Gemeinschaftsschule Moorrege	110880 kWh/a
Energieüberschuss der PV-Anlage zur Beladung des Speichers pro Jahr	200 bzw. 300 Tage
Energiespeicherkapazität	78 kWh
Generatorleistung der PV-Anlage	94 kWp
Nutzbare Energie, abzgl. Verluste durch Ladung und Entladung (Annahme)	85%
Strompreis (Annahme)	0,40 €/kWh
Bruttogesamtkostenschätzung Energiespeicher ca. 78 kWh	85.000 €
Bruttogesamtkostenschätzung PV-Anlage ohne Energiespeicher	243.000 €
Bruttogesamtkostenschätzung PV-Anlage ohne Energiespeicher, CO2-Neutralität	632.000 €
PV-Erzeugung pro Jahr (94 kWp)	84.500 kWh/a
PV-Erzeugung pro Jahr (340 kWp)	307.000 kWh/a
PV-Nutzung durch die Schule (Annahme)	48 %
PV-Nutzung durch die Schule bei CO2-Neutralität (Annahme)	18 %
Durchschnittliche Einspeisevergütung (Direktvermarktung)	0,08 €/kWh
Gesetzliche Einspeisevergütung bis 100 kWp (2023)	0,058 €/kWh

Tabelle 1: Grundlagen für den Standort Moorrege

Um die Photovoltaikanlagenleistungen von ca. 94 kWp und 340 kWp zu ermitteln, wurden technische Hilfsmittel hinzugezogen. Jedoch wurde bereits berücksichtigt, dass nicht die ganze Dachfläche, sondern nur ein Teil, abzüglich der Oberlichter und einem Sicherheitsabstand zur Traufe von 2,50 m, nutzbar ist. Daraus resultiert eine konservative Herangehensweise, die tendenziell Reserven bietet.

Als Referenz wurde ein Modul des Herstellers Trina Solar mit 430 Wp verwendet und entspricht dem aktuellen Standard. Für die Dächer wird eine dachparallele Installation vorgesehen, die mit Hilfe von Stehpfalzklemmen umgesetzt wird.

Dieses System ist als durchdringungsfrei anzusehen, um die Dachhaut vor Beschädigungen zu schützen.

Projekt-Nr.: SHT 1919
Bauvorhaben: Gemeinschaftsschule Moorrege - Neubau
Gewerk: Elektro / Photovoltaik

2. Betrachtung: Berechnung eines Energiespeichersystems anhand eines spezifischen Nutzungsprofils zur Grundlastabdeckung bei Nacht

Die Anschlussleistung des Energiespeichers ist so zu bemessen, dass die Grundlast der Schule abgedeckt werden kann und möglichst viel der momentanen Photovoltaikanlagenleistung in den Speicher fließen kann, was das Ziel einer möglichst geringen Einspeisung verfolgt. Jedoch muss hier klar zwischen einem Industriespeicher und einem Heimspeicher unterschieden werden.

Industriespeicher haben den Vorteil schnell viel Energie abzugeben, sind jedoch sehr teuer. Heimspeicher hingegen sind in der Leistung begrenzt und im Vergleich zum Industriespeicher deutlich günstiger. Kaskadierte Systeme wirken dem mittlerweile entgegen, sind jedoch nicht den technischen Standards eines Industriespeichers gleichzusetzen.

Bezeichnung	Leistung	Kapazität	Kostenschätzung
Tesvolt TS-I HV 80 E	80 kW	81 kWh	155.000 €
Solarwatt Battery Flex	24 kW	78 kWh	85.000 €

Tabelle 2: Vergleich Energiespeicher (Bruttogesamtkosten)

Die Speicherkapazität bemisst sich an der vorhandenen Grundlast des Verbrauchers und ist zunächst nur aus angenommenen Werten abzuleiten. Hier wird von einer Grundlast von ca. 80 kWh für die Wärmepumpe zur Nachtauskühlung ausgegangen, was zu einer Speicherkapazität von 80 kWh führt.

Bei aktuellen Li-Ion-Energiespeichern ist von einer nutzbaren Kapazität von circa 85 % auszugehen. Die Verluste ergeben sich aus Lade- und Entladevorgängen, sowie Leitungsverlusten. Die Anzahl der Ladezyklen wird zunächst mit 200 Tagen pro Jahr angenommen.

Die zur Verfügung stehende elektrische Energie, durch den Energiespeicher, berechnet sich wie folgt:

$$200 \text{ Tage} \times 78 \text{ kWh} \times 0,85$$

$$= 13.260 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$



Projekt-Nr.: SHT 1919
Bauvorhaben: Gemeinschaftsschule Moorrege - Neubau
Gewerk: Elektro / Photovoltaik

Gemäß aktueller Stromabrechnungen aus den vergangenen Jahren kostet der Gemeinschaftsschule Moorrege die Kilowattstunde derzeit ca. 0,27 €/kWh.

Mit Blick in die Zukunft und den auf lange Sicht steigenden Energiepreisen ist laut Energieversorgungsunternehmen davon auszugehen, dass der Strompreis auf 0,40 €/kWh steigen wird. Dieser Strompreis dient somit als Grundlage für die weiteren Berechnungen.

$$13.260 \frac{kWh}{a} \times 0,40 \frac{€}{kWh}$$
$$= 5.304 \frac{€}{a}$$

Demnach kann der Energiespeicher 13.260 kWh pro Jahr speichern und diese Energie zur Eigenverbrauchsminderung der Schule beisteuern, was eine theoretische Ersparnis von 5.304 € pro Jahr ergeben würde.

Weiter lässt sich hieraus ableiten, wie lange es dauert, bis sich der Energiespeicher amortisiert hat. Hierfür werden die voraussichtlichen Anschaffungskosten von 85.000 € ins Verhältnis zu den jährlichen Einsparungen von 5.304 € pro Jahr gesetzt und ergeben folgende Amortisationszeit:

$$\frac{85.000 €}{5.304 \frac{€}{a}}$$
$$= 16,0 \text{ Jahre}$$

Projekt-Nr.: SHT 1919
Bauvorhaben: Gemeinschaftsschule Moorrege - Neubau
Gewerk: Elektro / Photovoltaik

3. Betrachtung: Berechnung der Amortisationszeit durch die Nutzung einer Photovoltaikanlage zur CO₂-Reduzierung

Es stellt sich die Frage zur Wirtschaftlichkeit einer Photovoltaikanlage, bei der man nicht die mögliche Dachfläche, sondern den jährlichen elektrischen Energieverbrauch als Bezugsgröße hinzuzieht.

Da der spezifische Energieertrag (Globalstrahlung) in kWh/kWp angegeben wird und dieser aufgrund der Dachneigung und des dynamischen Verlaufs der Sonne nie bei 100 % (bei unseren Breitengraden ca. 1050 kWh/kWp) ist, liegt die tatsächliche Einstrahlung bei ca. 900 kWh/kWp.

Das bedeutet, dass die Photovoltaikanlage für eine CO₂-Neutralität ca. 120 kWp groß sein müsste.

Hier kommt der Umstand hinzu, dass sich ab einer Anlagengröße 100 kWp ein Makler um die Direktvermarktung des Stroms kümmern muss, sodass geringe Überschreitungen dieser Größenordnung nicht empfehlenswert sind.

Aus diesem Grund wurde die Anlagenleistung so reduziert, dass ein Lernhaus maximal bebaut wird, was zu einer Anlagenleistung von ca. 94 kWp führt und kostensparend ist.

Bei einer Photovoltaikanlage von 94 kWp ist davon auszugehen, dass ca. 48 % der selbsterzeugten Energie direkt verbraucht werden. Ca. 52 % der durch die Photovoltaikanlage erzeugten Energie werden in das Versorgungsnetz eingespeist.

Die zu erwartende Eigenverbrauchsdeckung pro Jahr durch die Photovoltaikanlage kann wie folgt beschrieben werden:

$$\begin{aligned} & 85.000 \frac{kWh}{a} \times 0,48 \\ &= 40.800 \frac{kWh}{a} \\ & \frac{40.800 kWh}{110.880 kWh} \\ &= 37 \% \end{aligned}$$

Dies entspricht etwa 37 % und bezieht sich auf den angenommenen Energieverbrauch der Gemeinschaftsschule in Höhe von 110.880 kWh pro Jahr.

Projekt-Nr.: SHT 1919
Bauvorhaben: Gemeinschaftsschule Moorrege - Neubau
Gewerk: Elektro / Photovoltaik

Nimmt man an, dass die Photovoltaikanlage kontinuierlich dafür sorgt, dass der Energiebezug der Schule um 40.800 kWh/a reduziert wird, hat das folgende Einsparungen pro Jahr zur Folge:

$$40.800 \frac{kWh}{a} \times 0,40 \frac{€}{kWh}$$
$$= 16.320 \frac{€}{a}$$

Zusätzlich zu den Ersparnissen in Höhe von 16.320 € pro Jahr steht auch hier der Überschuss an erzeugter elektrischer Energie als Netzeinspeisung bereit. Da die Anlage kleiner als 100 kWp ist, gilt hier die derzeitige Einspeisevergütung (Annahme 2023) in Höhe von 0,058 €/kWh:

$$\left(85.000 \frac{kWh}{a} - 40.800 \frac{kWh}{a} \right) \times 0,058 \frac{€}{kWh}$$
$$= 2.563,60 \frac{€}{a}$$

Demnach ergibt sich für die Photovoltaikanlage eine Amortisationszeit von:

$$\frac{243.000 €}{16.320 \frac{€}{a} + 2.563,60 \frac{€}{a}}$$
$$= 12,9 \text{ Jahre}$$



Projekt-Nr.: SHT 1919
Bauvorhaben: Gemeinschaftsschule Moorrege - Neubau
Gewerk: Elektro / Photovoltaik

Mit einem Energiespeicher steigen die Investitionskosten auf ca. 328.000 € und wirken sich wie folgt auf die Amortisationszeit des Gesamtsystems aus.

Einnahmen durch Überschusseinspeisung:

$$\left(85.000 \frac{kWh}{a} - 40.800 \frac{kWh}{a} - 13.260 \frac{kWh}{a}\right) \times 0,058 \frac{€}{kWh}$$
$$= 1.794,52 \frac{€}{a}$$

Amortisationszeit unter Berücksichtigung eines Energiespeichers:

$$\frac{328.000 €}{16.320 \frac{€}{a} + 1.794,52 \frac{€}{a} + 5.304 \frac{€}{a}}$$
$$= 14,0 \text{ Jahre}$$

Projekt-Nr.: SHT 1919
Bauvorhaben: Gemeinschaftsschule Moorrege - Neubau
Gewerk: Elektro / Photovoltaik

4. Betrachtung: Berechnung der Amortisationszeit durch die Nutzung einer Photovoltaikanlage auf allen möglichen Flächen

Unter der Vernachlässigung eines Energiespeichers kann die elektrische Energie der Erzeugungsanlagen nur zum gleichen Zeitpunkt verbraucht werden, wie sie benötigt wird. Das hat zur Folge, dass von der ermittelten Energiemenge durch die Photovoltaikanlage (307.000 kWh pro Jahr) nur ein Teil für den Verbrauch genutzt werden kann.

Bei einer Photovoltaikanlage von 340 kWp ist davon auszugehen, dass ca. 18 % der selbsterzeugten Energie direkt verbraucht werden können. Ca. 82 % der durch die Photovoltaikanlage erzeugten Energie werden in das Versorgungsnetz eingespeist.

Der hohe Anteil an Netzeinspeisung von ca. 82 % kommt zustande, da die Anlage viel der elektrischen Energie in der Ferienzeit und zusätzlich zu Zeiten hoher Sonneneinstrahlung produziert. Zudem ist die Anlagegröße deutlich über dem objektspezifischen Verbrauch dimensioniert.

Die zu erwartende Eigenverbrauchsdeckung pro Jahr durch die Photovoltaikanlage kann wie folgt beschrieben werden:

$$\begin{aligned} & 307.000 \frac{kWh}{a} \times 0,18 \\ &= 55.260 \frac{kWh}{a} \\ & \frac{55.260 kWh}{110.080 kWh} \\ &= 50 \% \end{aligned}$$

Entgegen der 18 %, die für die Nutzung der selbsterzeugten Energie aus der Photovoltaikanlage stehen, werden ca. 50 % des benötigten Stroms aus Eigenerzeugungsanlagen verbraucht.

Somit wird der Netzbezug um ca. die Hälfte gesenkt.

Projekt-Nr.: SHT 1919
Bauvorhaben: Gemeinschaftsschule Moorrege - Neubau
Gewerk: Elektro / Photovoltaik

Wie bereits erwähnt ist davon auszugehen, dass der Strompreis über lange Sicht bei ca. 0,40 €/kWh liegen wird. Unter Berücksichtigung dieses Strompreises und der Eigenverbrauchsdeckung durch die Eigenerzeugungsanlagen (nur Photovoltaik) ergibt sich eine jährliche Ersparnis von:

$$55.260 \frac{kWh}{a} \times 0,40 \frac{€}{kWh}$$
$$= 22.104 \frac{€}{a}$$

Zusätzlich zu den Ersparnissen in Höhe von 22.104 € pro Jahr steht der Überschuss an erzeugter elektrischer Energie zur Direktvermarktung bereit. Hier ist davon auszugehen, dass die Kilowattstunde im Mittel ca. 0,08 €/kWh einbringen wird.

$$\left(307.000 \frac{kWh}{a} - 55.260 \frac{kWh}{a} \right) \times 0,08 \frac{€}{kWh}$$
$$= 20.139,20 \frac{€}{a}$$

Demnach ergibt sich für die Photovoltaikanlage eine Amortisationszeit von:

$$\frac{632.000 €}{22.104 \frac{€}{a} + 20.139,20 \frac{€}{a}}$$
$$= 15,0 \text{ Jahre}$$

Projekt-Nr.: SHT 1919
Bauvorhaben: Gemeinschaftsschule Moorrege - Neubau
Gewerk: Elektro / Photovoltaik

Mit einem Energiespeicher steigen die Investitionskosten auf ca. 717.000 € und wirken sich wie folgt auf die Amortisationszeit des Gesamtsystems aus.

Batterienutzung durch die größere Photovoltaikanlage bei der Annahme von 300 Vollladezyklen pro Jahr:

$$300 \text{ Tage} \times 78 \text{ kWh} \times 0,85$$

$$= 19.890 \frac{\text{kWh}}{\text{a}}$$

$$19.890 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \times 0,40 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

$$= 7.956 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Einnahmen durch Direktvermarktung:

$$\left(307.000 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} - 55.260 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} - 19.890 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right) \times 0,08 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

$$= 18.548 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Amortisationszeit unter Berücksichtigung eines Energiespeichers:

$$\frac{717.000 \text{ €}}{20.139,20 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 18.548 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 7.956 \frac{\text{€}}{\text{a}}}$$

$$= 15,4 \text{ Jahre}$$



Projekt-Nr.: SHT 1919
Bauvorhaben: Gemeinschaftsschule Moorrege - Neubau
Gewerk: Elektro / Photovoltaik

Fazit Energiespeicher:

In Anbetracht der derzeitigen Konjunktur ist der wirtschaftliche Betrieb über einen Betrachtungszeitraum von mindestens 16,0 Jahren (Beispiel Heimspeicher, zzgl. Ausfallzeiten) anzuzweifeln. Mit dem Hintergrund, dass der Energiespeicher nicht nur zur reinen Nachtauskühlung genutzt wird, sondern mit dem Hintergrund maximaler Nutzung, also auch der Grundlastabdeckung.

Hierbei macht es keinen Unterschied, ob es sich um einen Industrie- oder Heimspeicher handelt., jedoch gab es in der Vergangenheit regelmäßig Fördertöpfe, die eine Anschaffung eines Energiespeichers wirtschaftlich realisierbar gemacht haben.

Industrielle Energiespeicher sind im Betrieb zwar um einiges zuverlässiger und leistungsfähiger, jedoch muss auch mit etwa der doppelten Investition kalkuliert werden, was einen wirtschaftlichen Betrieb in dieser Größenordnung nicht zulässt. Aus diesem Grund wurde auch nur der Heimspeicher in der Berechnung einbezogen.

Neben den hohen Anschaffungskosten müssen speziell beim Heimspeichersystem regelmäßige Betriebskosten berücksichtigt werden. Die Betriebskosten bestehen weniger aus Wartungskosten, viel mehr sind es Störungsfälle, die zu kurzzeitigen Ausfällen führen können und Zeit, die für die Ersatzteilbeschaffung einkalkuliert werden muss.

Im späteren Betrieb, also nach Ablauf der Leistungsgarantie, kommen zusätzliche Materialkosten hinzu, die sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit auswirken.

Für die weitere Betrachtung empfiehlt es sich einen Hersteller auszuwählen, der eine Leistungsgarantie von mindesten 20 Jahren gewährleistet.

Darüber hinaus ist es zu empfehlen einen Lastgang mit realen Daten auszuwerten und einen Energiespeicher passend zu den Gegebenheiten vor Ort zu dimensionieren und nicht anhand einer festen Größe, die in den Übergangsmonaten voraussichtlich deutlich geringer ausfallen wird.



Projekt-Nr.: SHT 1919
Bauvorhaben: Gemeinschaftsschule Moorrege - Neubau
Gewerk: Elektro / Photovoltaik

Fazit Photovoltaikanlage:

Die Kosten für eine Photovoltaikanlage mit einer Leistung von ca. 94 kWp belaufen sich voraussichtlich auf ca. 243.000 € brutto und beinhalten einen ersten Kostenansatz für die AC-Anbindung inkl. Leitungsverlegung für eine Erweiterung der Photovoltaikanlage.

Aufgrund der Anlagengröße von unter 100 kWp wird der formelle Aufwand geringer ausfallen, im Verhältnis wird das Projekt allerdings nicht günstiger, da kleinere Anlagen einen ähnlichen Planungs- und Umsetzungsaufwand erzeugen, wie größere Anlagen. Aus wirtschaftlicher Sicht sollten also große Teilanlagen bevorzugt werden.

Die Amortisationszeit beträgt ca. 12,9 Jahre (mit Speicher 14,0 Jahre).

In den Kosten für die maximale Anlagenauslegung von ca. 340 kWp in Höhe von 632.000 € brutto sind ebenfalls die AC-Anbindung inkl. Leitungsverlegung berücksichtigt worden.

Die Amortisationszeit beträgt ca. 15,0 Jahre (mit Speicher 15,4 Jahre).

Es ist zu klären, welches Ziel das Amt verfolgen möchte. Eine CO₂-Reduzierung würde sich hier anbieten und dafür sorgen, dass der Stromverbrauch um einen erheblichen Teil von bis zu 37 % durch die Photovoltaikanlage gesenkt wird. Die Amortisationszeit ist ähnlich zu der großen Anlage, was damit zu begründen ist, dass durch die Direktvermarktung zum aktuellen Zeitpunkt höhere Erlöse erzielt werden können und das Kostenverhältnis zwischen Groß- und Kleinanlage zugunsten der Großanlage ausfällt.

Jedoch sind Erlöse durch den Direktvermarkter ein dynamischer Teil dieser Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und können auch deutlich geringer ausfallen als angenommen.

Wenn die Photovoltaikanlage die Größenordnung von 135 kWp überschreiten, kommen zusätzliche Kosten für ein Anlagenzertifikat Typ B auf den Betreiber zu. Der Kostenaufwand, sowie der bürokratische Aufwand ist dabei erfahrungsgemäß sehr hoch.

Seit dem 01.01.2023 gibt es ein neues Gesetzespaket zur Befreiung der Umsatzsteuer für Photovoltaikanlagen und Energiespeichersysteme. Darin enthalten sind Gebäude, die dem Gemeinwohl dienen. Welche Relevanz dieses Gesetzespaket für dieses Bauvorhaben haben wird, muss noch geklärt werden, da die Installation und Inbetriebnahme zum derzeitigen Stand im Jahr 2023 abgeschlossen werden müssen.

Mit diesem Hintergrund wurden die o. g. Kosten ohne die Mehrwertsteuerbefreiung ausgegeben.

Aufgestellt am: 18.08.2023

SHT-Ingenieure,

Tim Mücke (B. Eng.)

Nicht enthalten:

- Honorarkosten
- Wartungsverträge / -kosten