



## **BeING inside 2020**

### **Entwicklung eines Konzeptes zur Erzeugung, Speicherung und Nutzung regenerativer Energien in Schulen**

Projektdokumentation

-

eingereicht von

Gruppe 8

## **BEING INSIDE 2020 - Interdisziplinäre Projektwoche der TU Dresden**

Die 1998 an der TU Darmstadt entstandene Idee einer interdisziplinären Projektwoche wurde im Jahr 2017 von der TU Dresden adaptiert. Das Projekt mit dem Titel „BeING Inside“ findet in diesem Jahr in Kooperation mit der DREWAG – Stadtwerke Dresden GmbH – und ENSO – Energie Sachsen Ost AG statt.

Aufgabe ist hierbei die Entwicklung eines Konzeptes zur Erzeugung, Speicherung und Nutzung regenerativer Energien in Schulen, wobei der Fokus auf der wirtschaftlichen Nutzung von verfügbaren Dachflächen im Raum Dresden liegt. Der erzeugte Solarstrom soll dabei in das Erzeugungs- bzw. Versorgungskonzept der Unternehmensgruppe integriert werden. Aufgrund der räumlichen Rahmenbedingungen steht die Photovoltaiktechnologie zur Energiegewinnung inklusive zugehöriger Speichertechnologie eindeutig im Zentrum. Selbstverständlich gilt es in dieser Woche besondere Herausforderungen anzunehmen und sowohl kreativ als auch wirtschaftlichkeitsorientiert zu lösen. Dazu gehören vor allem die verschiedenen Anforderungen eines Schulbetriebs hinsichtlich des Nachfrageverhaltens (z.B. Schuljahreszyklus) und das Auffangen von Energieüberangebot- und Verwendung bei möglichen Lastspitzen. Die Aufgabe soll für den Gebäudeschultyp Dresden erarbeitet werden und auf weitere Schulen und Schultypen kommunaler Trägerschaft skalierbar sein. Anhaltspunkte für die Berechnungen ist die Laborschule Dresden.

Auf den folgenden Seiten präsentieren wir, als Gruppe Nr. 8, unsere ausführlichen Ergebnisse dieser Woche sowie **Skizzen zur Gesamtkonzeption und allen Teilsystemen**.

### **Wirtschaftliches Gesamtkonzept**

Um eine ökonomische, nachhaltige und zukunftsorientierte Partnerschaft zwischen der DREWAG als Energieversorger und Schulen in kommunaler Trägerschaft als Energieverbraucher zu gewährleisten haben wir folgendes Konzept entwickelt:

Die Erstinvestition, bestehend aus Anschaffungs-, Montage- und Entwicklungskosten (etc.), wird hierbei von der DREWAG getragen. Die Partnerschule übernimmt die Rolle des Anlageneigentümers und -betreibers. Über einen Zeitraum von 20 Jahren werden die Erstinvestitionskosten, in Form von Ratenzahlungen der Schule an die DREWAG, auf die Schule umgelegt.

Dabei beläuft sich die Höhe der Raten auf die Stromkosteneinsparungen, die sich aus der Nutzung der PV-Anlage über die gegebene Periode von 20 Jahren, ergeben.

Nach der vollständigen Schuldentilgung wird die Solar-Anlage weiterhin kostenlos von der Partnerschule genutzt. Die DREWAG kann hier bei Bedarf Ansprechpartner bleiben.

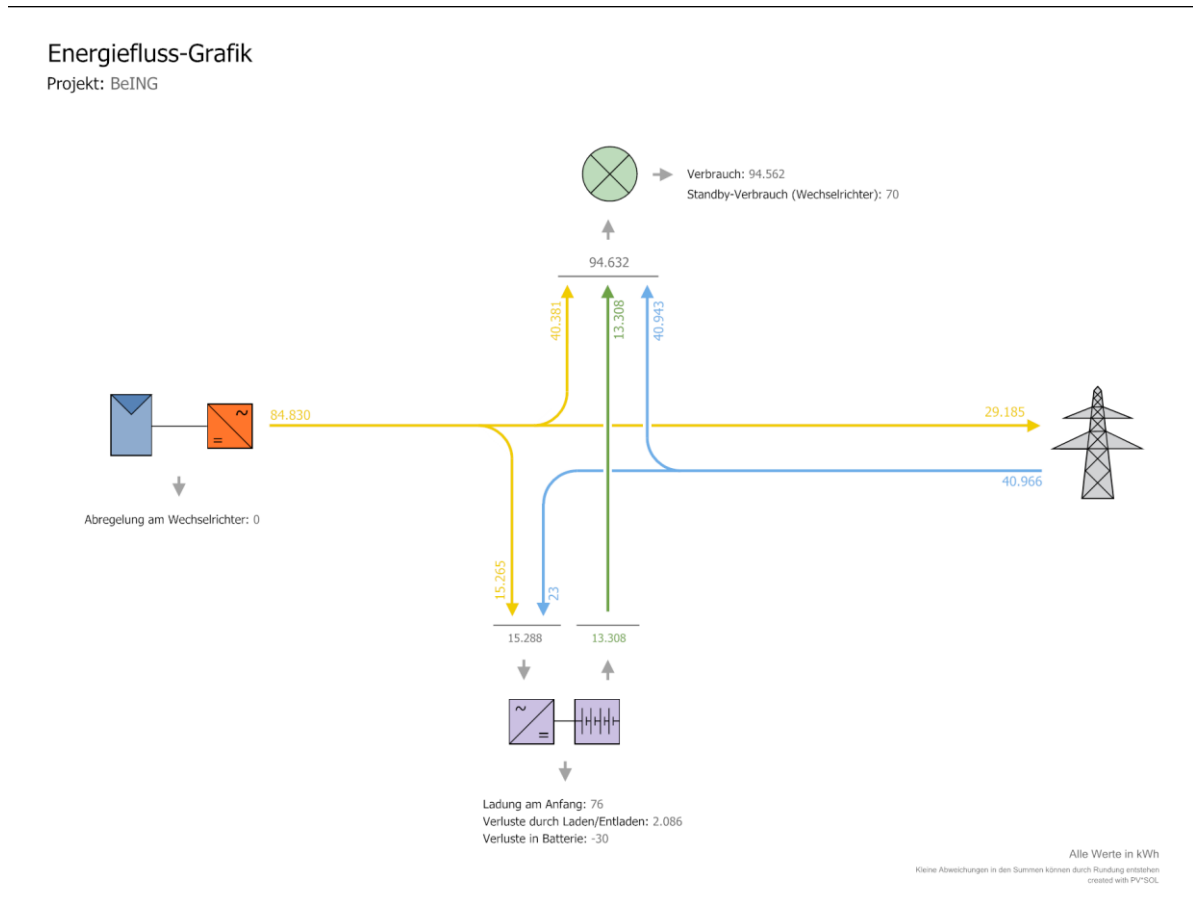
Bei diesem Konzept ergibt sich für die DREWAG eine Rendite von bis zu sieben Prozent. Dabei besteht Spielraum für Verhandlung mit den Partnerschulen, um das Angebot auch für diese möglichst attraktiv zu gestalten.

### **Technisches Konzept**

#### **1. wesentliche Bestandteile eines PV Systems mit Stromspeicher**

Ein Photovoltaiksystem besteht generell aus mehreren Zellen (die i.d.R. aus dem Halbleiter Silizium bestehen), welche gemeinsam Module bilden. Die Module in Summe bilden den Solargenerator. Zur Befestigung der Module ist ein sog. Montagegestell von Nöten, welches idealerweise Schienen zur

Verkabelung (Solarkabel) beinhaltet. Entscheidend für die Funktionsfähigkeit einer solchen Anlage ist der Wechselrichter, welcher Gleichstrom in nutzbaren Wechselstrom umwandelt. Er ist an die in Reihe geschalteten Module angeschlossen. Des Weiteren wird zur Vergütung des Stroms ein Einspeisezähler und zur Ermittlung des Stromverbrauchs ein Eigenverbrauchszähler benötigt. Wenn, wie hier vorgesehen, ein Stromspeicher vorhanden ist muss dieser separat angeschlossen werden. Es eignen sich Lithium- oder Bleibatterien.



## 2. Anlagedimensionierung bei unterschiedliche Montagevarianten

	Flach	Süd	Ost-West
Max Anzahl Module	380	140	300
Max Jahresstromerzeugung in kWh	89000	41000	75000
Spezifische Jahresstrom Erzeugung in kWh/kWp	720,64	901,09	769,23

### Ost/West Ausrichtung

Bei der Wahl der Ausrichtung der Anordnung der Solarpaneele wurden der Leistungsgang der schon vorhandenen PV-Anlage und der Leistungsgang des Hülße-Gymnasiums betrachtet. Dabei zeigte sich, dass die Schule in den Wintermonaten insbesondere am Morgen und Vormittag viel Strom benötigt. Die Solarmodule liefern allerdings am Morgen weniger, sondern eher mittags. Hinzu kam, dass die Schule in den Sommermonaten aufgrund der Sommerferien deutlich unter dem üblichen Monatsverbrauch liegt. In dieser Zeit liefert die Solaranlage allerdings den meisten Strom. Die zu wählenden

Montagevariante sollte daher die Anforderungen erfüllen, dass sie schon früh am Tag Strom liefert und über den Tagesverlauf gleichmäßig Strom liefert. Darüber hinaus sollte die Dachfläche möglichst effizient ausgenutzt werden. Als mögliche Varianten standen Flach, Süd- und Ost/West-Montage zur Auswahl. Die Ost/West-Ausrichtung bietet dabei die meisten Vorteile, da sie aufgrund der Neigung von 20° über Selbstreinigungseffekte verfügt, welche die Flachmontage nicht besitzt. Des Weiteren kann diese Variante die Morgen- und Abendsonne besser nutzen, was zur Deckung des morgendlichen Stromverbrauchs und damit zur Steigerung der Eigenverbrauchsquote führt. Diesen Vorteil bietet die Südausrichtung wiederum nicht. Diese liefert zur Mittagszeit zwar den meisten Strom mit der höchsten Effizienz, jedoch kann dieser Peak nicht genutzt werden, sondern muss ins Netz eingespeist werden. Die Ausnutzung der Dachfläche ist bei Südausrichtung geringer, da die Solarpaneele aufgrund des Schattenwurfs in einem Abstand von 1,67 m aufgestellt werden müssen. Die Ost/West-Montageweise bietet darüber hinaus den Vorteil, dass man noch mehr Paneele mit einem guten Wirkungsgrad und einem auf den Leistungsgang der Schule passenden Leistungsverlauf der PV-Anlage aufs Dach bringen kann.

### **3. Wechselrichter**

Die Auswahl der Wechselrichter wurde auf Grundlagen der Dimensionierung der Anlage getroffen. Mit den gegebenen Solarpaneelen ist es maximal möglich, 30 Paneele zu einem String zusammenzufassen, da die maximale Systemspannung 1000 V betragen darf und die unter Last maximal abgegebene Spannung eines Panels 33,13 V beträgt. Da es als wichtig erachtet wurde, dass die Anzahl der Wechselrichter möglichst gering zu halten, um einerseits den benötigten Bauraum und andererseits den Wartungsaufwand gering zu halten, sollte der Wechselrichter mehrere Strings zusammenfassen können. Weiterhin war die Verfügbarkeit eines Monitorings der Wechselrichter wichtig, um den SuS eine Einsicht in die Vorgänge der Photovoltaikanlage bieten zu können. Dies stellt in unserem Konzept einen wichtigen Punkt da, weil es unser Ziel ist, die SuS für die Potentiale der Erneuerbaren Energien zu begeistern und den SuS einen Einblick in den Verbrauch ihrer Schule bieten zu können. Des Weiteren floss in den Entscheidungsprozess der Sicherheitsaspekt des Wechselrichters ein. Ein integrierter Netz- und Anlagenschutz und die Möglichkeit, die Anlage im Brandfall freizuschalten, waren ein essentieller Bestandteil unseres Sicherheits- und Brandschutzkonzepts. Aus den oben genannten Gründen fiel unsere Wahl auf den Sunny Tripower 15000TL/30 von SMA. Dieses Gerät bietet neben der Möglichkeit eines einfach realisierbaren Monitorings auch vier unabhängige MPP – Tracker (Most Power Point), die für einen optimalen Wirkungsgrad sorgen.

### **4. Auswahl eines geeigneten Speichertyps**

Zur elektrochemischen Speicherung stehen verschiedene Batteriespeichertechnologien zur Verfügung. Von diesen haben wir Blei-Batterien und Batterien auf Lithium-Ionen-Basis verglichen.

Blei-Batterien lassen sich zwischen Blei-Säure- und Blei-Gel-Batterien unterscheiden je nachdem, ob das Elektrolyt flüssig- oder gelförmig ist.

Diese Batterien erfordern eine regelmäßige Wartung und Nachfüllung des Elektrolyts. Außerdem ist wegen des entstehenden Wassers bei den Blei-Säure Batterien ein ausreichend belüfteter Aufstellraum erforderlich.

Im Gegensatz dazu haben Lithium-Batterietechnologien eine höhere kalendarische und Zyklenlebensdauer. Da der Temperaturbereich den Gefrierpunkt nicht unterschreiten darf sind bei Lithium-Ionen-Batterien die Aufstellorte zu beachten, ansonsten können Schäden entstehen.

In der nachfolgenden Tabelle zählen wir weitere Vor- und Nachteile der Batterien auf, welche für uns als Kriterien dienen.

Technologie	Vorteile	Nachteile
<b>Blei-Säure/Blei-Gel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostengünstig</li> <li>• Erprobte Technologie</li> <li>• Sicher</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe Energiedichte (30-50Wh/kg)</li> <li>• Die kalendarische Lebensdauer beträgt (5-10) Jahre</li> </ul>
<b>Lithium-Ionen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Energiedichte (110-250 Wh/Kg)</li> <li>• Die kalendarische Lebensdauer beträgt (10-20) Jahre</li> <li>• Hoher Energiewirkungsgrad (&gt; 90%)</li> <li>• Geringe Selbstentladung</li> <li>• Weiteres Entwicklungspotential</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relativ teuer</li> <li>• Sicherheitsprobleme</li> <li>• Ladeüberwachung notwendig</li> </ul>

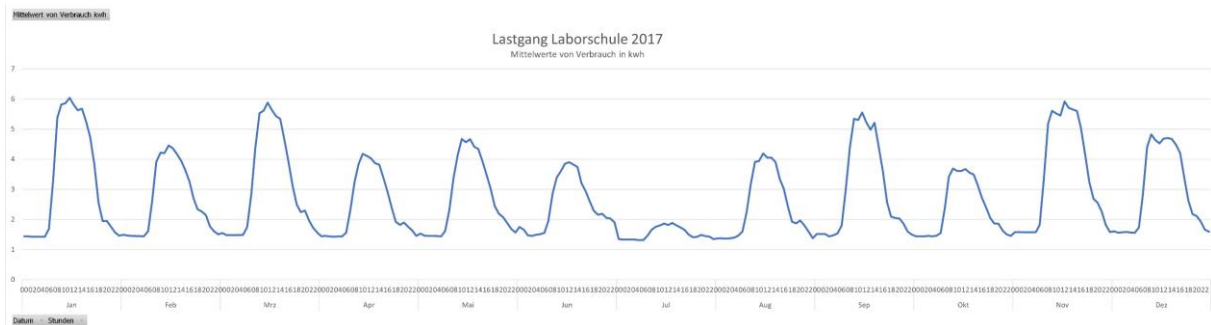
Anhand dieser Informationen und aufgrund der angegebenen Speichergröße (10- 100 kWh), haben wir uns für die Lithium-Ionen-Batterien entschieden.

Zur Batteriekopplung haben wir die Arten AC-Kopplung (Wechselstrom) und DC-Kopplung (Direktgleichstrom) verglichen und stellten fest, dass die AC-Kopplung die bessere Variante für unser Konzept ist, weil sie flexibler ist. Da das PV-System und der Batteriespeicher AC-seitig miteinander gekoppelt sein werden, können beide Komponenten weitgehend unabhängig voneinander errichtet und dimensioniert werden.

### Analyse der Dachfläche

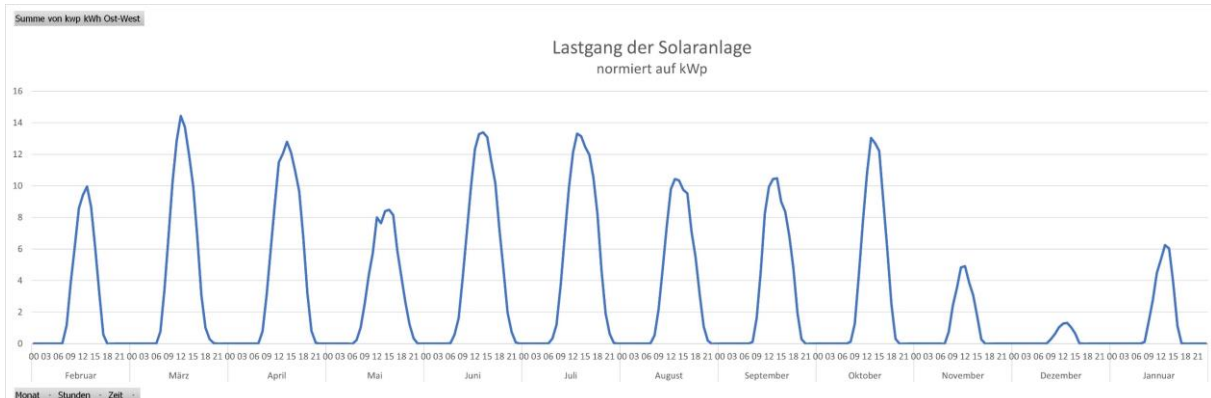
Bei der Dimensionierung sind wir von einer Schule mit einem Jahresverbrauch von 100.000 kWh und einer Dachfläche von min. 650 m<sup>2</sup> (60% der Dachfläche unter Berücksichtigung von Brand- und Blitzschutzvorgängen) ausgegangen. Dies entspricht unseren Annahmen nach einer Schule mit rund 900 Schülern oder mit Hortbetrieb. Im Fokus der Optimierung stand eine möglichst hohe Autarkie- und Eigenverbrauchsquote, da dies für die Schule aufgrund der Unabhängigkeit von Strompreisschwankungen einen Vorteil bietet. Auch die Rentabilitätsquote profitierte in unserem Konzept von dieser Verbesserung. Unsere Berechnungen ergaben, dass 200 Paneele und ein Akkumulator von 50kWh die optimale Kombination darstellen, welche im Jahr 50.000 kWh bzw. 65 kWp liefert. Dadurch kann eine Eigenverbrauchsquote von 74,4% und eine Autarkiequote von 43,6% erreicht werden. Über die 20 Jahre kann so eine Rendite von bis zu 6,7% erreicht werden. So kann Umweltverträglichkeit mit wirtschaftlicher Sicherheit verbunden werden.

## Lastgang der Solaranlage und Schule



Die Betrachtung des Lastgangs der Schule zeigt, dass es starke Unterschiede bei der Last im Tages- als auch Jahresverlauf gibt. Die Tagesspitzen liegen dabei in den Morgenstunden von 8 bis 14 Uhr (bis zu 24 kWh pro Stunde). Nachts gibt es einen Grundverbrauch von ca. 6 kWh pro Stunde. Im Jahresverlauf lassen sich Monate mit Ferien an ihrem verringerten Stromverbrauch erkennen.

Die Laborschule ist eine Grundschule mit Hortbetrieb. Dies führt zu einer längeren Zeitspanne, in der ein hoher Strombedarf besteht. Der Lastgang ist somit nicht nur für Grundschulen mit Hortbetrieb, sondern auch für Gymnasien verwendbar.



Der exemplarische Lastgang der PV Anlage für das Jahr 2017 weist in den Monaten Juni bis Oktober die größten Erträge auf. November bis Februar sind die Erträge sehr niedrig, da auf der Nordhalbkugel zu dieser Zeit die Intensität der Sonnenstrahlung sehr niedrig ist.

## Autarkiequote und Speicherdimensionierung

### Bei 300 Panel Ost-West

Batteriegröße	Rendite	Eigenverbrauchsquote	Autarkiequote
10	6,40%	50,40%	45,10%
20	6,17%	53,00%	47,10%
30	5,91%	55,30%	48,90%
40	5,64%	57,50%	50,60%
50	5,34%	59,70%	52,10%
60	5,06%	61,80%	53,50%
70	4,76%	63,50%	54,60%
80	4,45%	65,00%	55,50%
90	4,12%	66,10%	56,10%
100	3,80%	66,90%	56,60%

Tabelle 1

### Bei 50 kWh Speicherkapazität

Modulanzahl	Rendite	EQ	AQ	Produktion	kWp
300	5,34%	59,70%	52,10%	74145,60 kWh	97,5
250	6,20%	66,50%	48,50%	61788,00 kWh	81,25
200	7,22%	74,40%	43,60%	49430,40 kWh	65
150	8,62%	83,70%	37,10%	37072,80 kWh	48,75
100	10,33%	93,50%	27,60%	24715,20 kWh	32,5

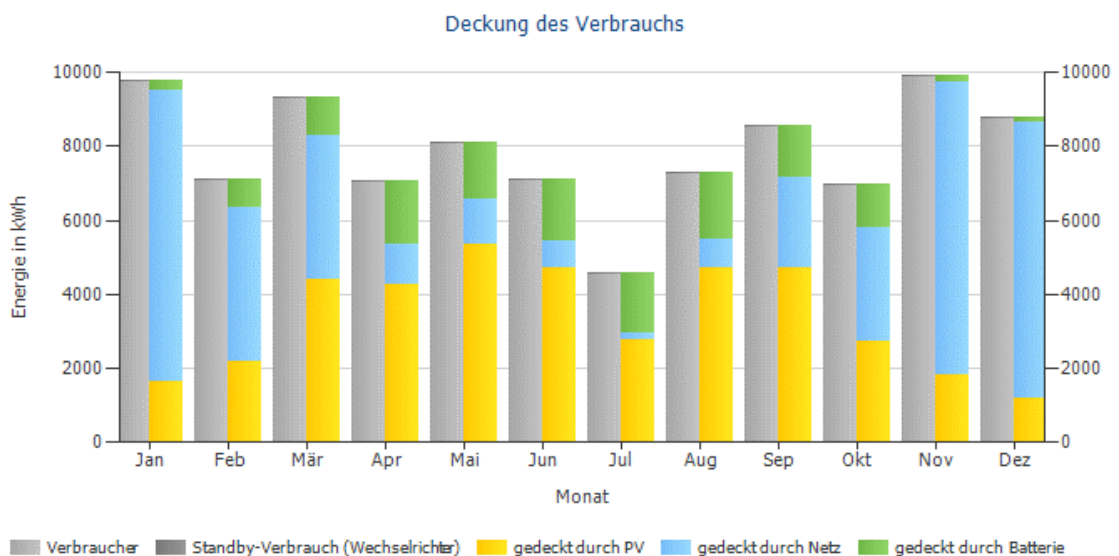
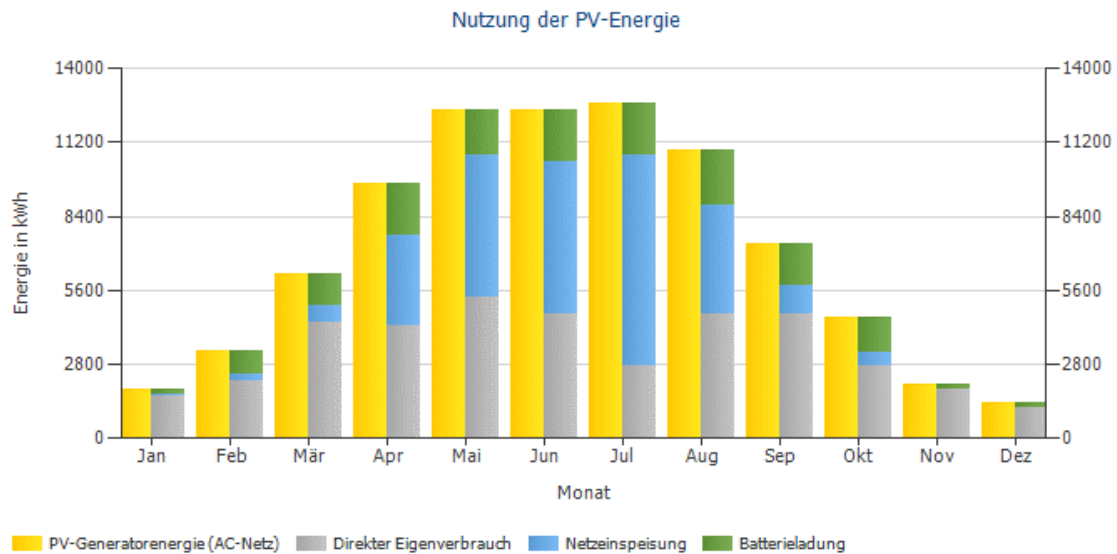
Tabelle 2

In Tabelle 1 wird der Einfluss der Batterie Größe auf die Autarkie- und Eigenverbrauchsquote bei fixer Panelzahl festgestellt. Dabei zeigt sich, dass die Autarkiequote mit steigender Batteriegröße zunimmt, dadurch aber die Rendite sinkt. Einen guten Kompromiss aus Autarkie und Rendite stellt dabei eine Batterie von 50 kWh dar.

In Tabelle 2 werden Rendite, Eigenverbrauchsquote und Autarkiequote bei einem Speicher von 50 kWh und veränderlicher Panelzahl dargestellt. Der beste Kompromiss aus Rentabilität und Autarkie stellte dabei eine Anlage mit 200 Modulen dar.

Bei der Einbindung des Speichers verbessert sich die Autarkie- und Eigenverbrauchsquote, da der durch die PV-Anlage zu viel produzierte Strom ansonsten für 9ct ins Netz eingespeist werden würde. Dieser Strom kann dann von der Schule nicht mehr genutzt werden und im Bedarfsfall muss die Schule aus dem Netz zum Tarif von 22ct beziehen. Durch die Steigerung der Eigenverbrauchsquote kann die Schule mehr sparen. Durch den Einbau einer Speichereinheit kann die Schule am Morgen, wenn der Verbrauch mit am höchsten ist und die Solaranlage weniger Leistung liefert, ihren zuvor produzierten Strom verwenden. Somit kann der zu erwartende Anstieg des Strombedarfs am Morgen abgeflacht werden und so das Netz entlastet werden.

## wesentliche wirtschaftliche Parameter



### Kostenpunkte:

- Entwicklungskosten. Anschaffung, Wechselrichter, Montage etc. → Erstinvestitionskosten
  - o  $65 \text{ kWp} \cdot 1238,46 \text{ EUR/KWp} = 82499 \text{ EUR}$
- Betriebskosten 200 EUR + 2% p.a

Die Schule erhält die Einspeisevergütung in Höhe von 0.09 EUR/kWh.

Sie spart bei Strom aus Eigenerzeugung  $(0.22 - 0.4 \cdot 0.657) \text{ EUR} = 0.1937 \text{ EUR}$  pro Jahr.

Insgesamt ergibt sich so eine Stromkostensparnis von bis zu 9277 EUR p.a für die Partnerschule.

Bei Ratenrückzahlung in dieser Höhe an die Schule sind so Renditen von bis zu 7,22% möglich.

Die Investitionskosten haben sich so nach knapp 10 Jahren refinanziert.



## Grafische Darstellung des Konzeptes



## Sicherheitsaspekte und mögliche Maßnahmen

Folgende Aspekte erhöhen die Sicherheit unseres Projektes signifikant. Besonders relevant ist dabei der Brandschutz. Beim Brandschutz ist aufgrund des Lithium-Ionen-Akkus, der höchstwahrscheinlich im Keller steht, ist darauf zu achten, dass der Raum über eine Entlüftung und eine Brandschutztür verfügt, um dafür zu sorgen, dass die beim Brand eines Lithium-Ionen-Akkus entstehenden giftige Dämpfe nicht in das Gebäude gelangen, sondern nach außen abgeleitet werden. Daher sollte der Raum möglichst abgedichtet sein und mit dem obligatorischen Feuermelder ausgestattet sein. Des Weiteren sollte zur ersten Brandbekämpfung eine Sprinkleranlage in diesem Raum vorhanden sein und an der Tür sollten Warnhinweise für die Feuerwehr angebracht werden. Die PV-Anlage wird mittels der Wechselrichter freigeschaltet werden und der Akku wird auf PV- und netzseitig getrennt, damit so der Akku vollständig getrennt wird und im Brandfall kein weiterer Strom durch die PV-Anlage eingespeist oder abgegeben werden.

Im Rahmen des Blitzschutzes ist es ausreichend die Rahmen der Solarmodule an die Blitzschutzleitungen anzuschließen. Alles weitere geschieht über die Sicherung und die Wechselrichter.

Weitere Maßnahmen, die beim Arbeiten mit Kindern beachtet werden sollten, sind u.A. das Abschließen des Speicherraumes und des Dachzuganges. Darüber hinaus ist es sinnvoll die Schüler zum Zeitraum der Installation über die Anlage, Funktionsweise und auch eventuelle Gefahren aufzuklären und zu sensibilisieren, sodass im Falle einer Gruppendynamik vernunftbegabte Kinder als Bremse wirken.