

Vision einer nachhaltigen und autarken Schulgemeinschaft



eine gemeinschaftliche Arbeit von Studierenden der Elektrotechnik, Regenerative Energiesysteme, Wirtschaftswissenschaften und Wirtschaftsingenieurwesen

von

Luca Linhsen
Ruben Anders
Jannis Kaliske
Anne-Sophie Scheich
Niklas Hartwich
Lina Franziska Lautner
Jannik Thiedig
Sebastian Rau

Portfolio BeING inside – Gruppe 4

Erneuerbare Energiesysteme sind alles andere als ein neues Unterfangen und doch verläuft der Ausbau auf diesem Gebiet seit Jahren schleppend. Der Bau neuer Windkraftanlagen ist 2019 im Vergleich zum Vorjahr um etwa 60% zurückgegangen¹ und das obwohl sich die Effizienz der Anlagen stetig verbessert. Aufgrund von rechtlichen Problemen ist es immer schwieriger geworden, in etwaige Projekte zu investieren. Andere erneuerbare Energien gewinnen an Popularität, so auch die Photovoltaik Anlagen, die seit Jahren einen steilen Leistungsanstieg und eine Erhöhung des Wirkungsgrads durch neue Technologien zu verzeichnen haben. Im Gegensatz zu Windkraftanlagen, Wasser- und Biogaskraftwerken erfordern Solaranlagen keine großen Anlagen und Platz, da sie einfach auf bereits vorhandene Dachfläche montiert werden können.

Dieser wesentliche Vorteil ermöglicht es, Solaranlagen auf bereits existierenden Gebäuden zu bauen und erneuerbare Energien in die Stadt zu bringen. Bauten, wie zum Beispiel Schulen und Einrichtungen der öffentlichen Hand eignen sich gut, da sich die rechtlichen Schwierigkeiten durch verschiedene Anteilseigner bei privaten Häusern schwierig gestalten.

Die politische Agenda der aktuellen Europa Kommissionspräsidentin Ursula von der Leyen fordert Klimaneutralität bis zum Jahr 2050² und eine deutliche Förderung der erneuerbaren Energien. Aufgrund dessen und der Kosteneinsparungsmöglichkeiten, die folgend erläutert werden, ist die Konkretisierung auf öffentliche Schulen sehr empfehlenswert.

Exemplarisch wird an der Laborschule Dresden das erarbeitete Konzept des Eindeckens eines Flachdachs des Architekturtyps *“Dresden”* zur Solarstromerzeugung und dessen wirtschaftliche Nutzung vorgestellt. Dabei handelt es sich um ein simples, auf verschiedene Dächer anwendbares und skalierbares Konzept. Dabei haben wir folgende Punkte berücksichtigt:

1. Bestandteile Photovoltaiksystem mit Stromspeicher
2. Analyse Dachfläche
3. Vergleich Montagevarianten
4. Lastgänge
5. Autarkie- und Eigenverbrauchsquote
6. Speichertypen
7. Wirtschaftlichkeit
8. Das Konzept
9. Sicherheit
10. Umweltaspekte

¹ <https://www.zeit.de/wirtschaft/2020-01/windkraft-ausbau-rueckgang-politik-energiewende>

² https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_de

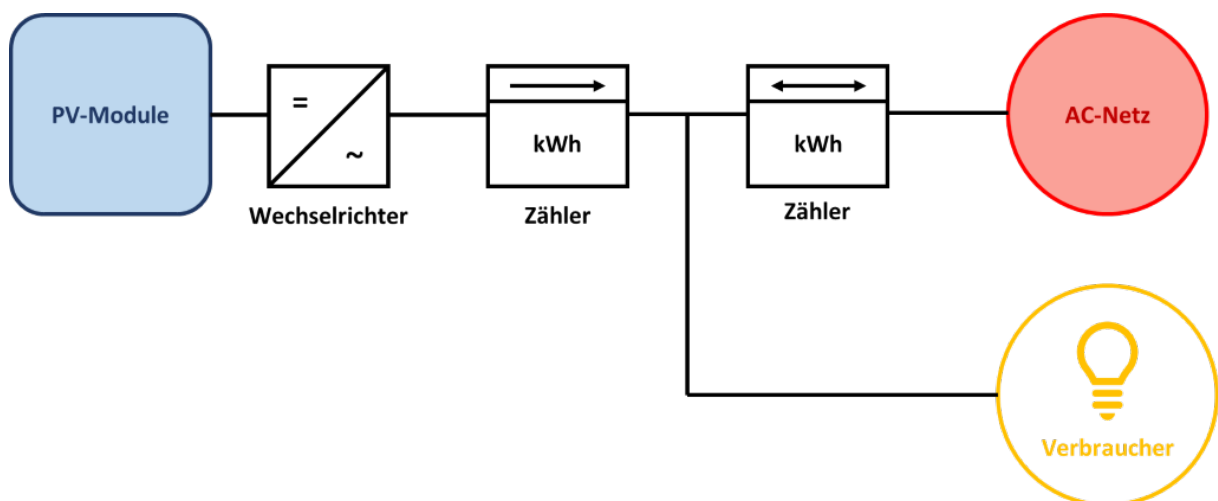
1. Bestandteile eines Photovoltaiksystems mit Stromspeicher

Eine typische Photovoltaik-Anlage (PV-Anlage) ist aufgebaut aus sogenannten **Solarmodulen**, die aus zusammengefassten **Solarzellen** bestehen. Diese Zellen sind in einer Kunststoffschicht eingebettet. Die PV-Module werden zu einem sogenannten Solargenerator zusammengeschlossen. Anschließend wird ein **Wechselrichter** benötigt, um den generierten Gleichstrom der Solarmodule in den benötigten Wechselstrom umzuwandeln.

Je nach Verwendungsart des Systems wird zusätzlich ein **Einspeise- und Eigenverbrauchszähler** benötigt.

Die Ausrichtung der Solarpanels ist im Idealfall nach Süden bei 30°-35° Neigung oder eine Ost-West-Ausrichtung zweier Platten als Verbund mit einem Neigungswinkel von je entgegengesetzt 10°. Dabei ist zu beachten, dass bei einem höheren Neigungswinkel eine höhere Verschattung auftritt, da die steil ausgerichteten Module Schatten werfen. Um sie effizient anzuordnen, muss ein gewisser Abstand zwischen den Modulreihen gesichert sein. Dies wird in Abschnitt drei genauer analysiert.

Zusätzlich kann ein **Stromspeicher** verbaut werden, der den überschüssigen Solarstrom speichert und für einen späteren Zeitpunkt nutzbar macht. Dabei wird der Strom mittels Laderegler in die Batterie geführt. Üblicherweise ist die Ladeelektronik bereits im Batteriesystem integriert. Bei Bedarf steht die gespeicherte Energie den Verbrauchern zur Verfügung. Überschüssige Energie, die nicht gespeichert werden kann, wird in das Netz eingespeist.



2. Analyse Dachfläche

Folgend wird nun exemplarisch an dem Dach der Laborschule Dresden der für Solarmodule nutzbare Platz analysiert und versucht, ein Skalierungsprogramm für ein allgemeines Flachdach zu entwerfen.

Allgemeine Vorgaben zur Platzierung von Solarmodulen:

- Verschattungsfrei wird angenommen
- Zur Dachkante: 2m Sicherheitsabstand
- Reihenabstände:
 - Südausrichtung: analysiert durch das Programm „Verschattungsberechnung Schletter“
 - Ost-Westausrichtung: 0,4m
- Abstände zur Entwässerungsrinne sinnvoll wählen

Die typische Dachform des Schul-Architektur-Typs „Dresden“ ähnelt sehr zwei zusammengesetzten Rechtecken mit Flachdach, was die Berechnung der möglichen Solarmodul-Reihen deutlich vereinfacht. Etwaige Aussparungen zwecks des Brandschutzes, Kabellegung etc. müssen vernachlässigt werden, da eine Zerlegung der Solarpanels nicht möglich ist und immer nur ganze Panels verbaut werden können. Diese Annahme vereinfacht die Skalierung auf andere Dächer enorm, da simple geometrische Formen sehr viel einfacher zu berechnen sind und die Reihen immer ähnlich aufgezogen werden können.

Nun müssen lediglich die Sicherheitsabstände zur Dachaußenkante und die Entwässerungsrinne beachtet werden. Die Rinne teilt die nutzbare Fläche in zwei, meist sehr ähnlich große, Teilflächen, die mit Solarmodulen belegt werden können. Die gesamte Breite der Regenrinne wird, wie aus der technischen Zeichnung des Daches der Laborschule Dresden erkennbar, mit einer Breite von 2,39m angesetzt, um wasserstaufreies Abfließen von Regenwasser zu garantieren.

So kommen wir in diesem Beispiel auf folgende nutzbare Dachfläche unter Berücksichtigung der Sicherheitsabstände zur Dachkante.

Gesamtlänge:

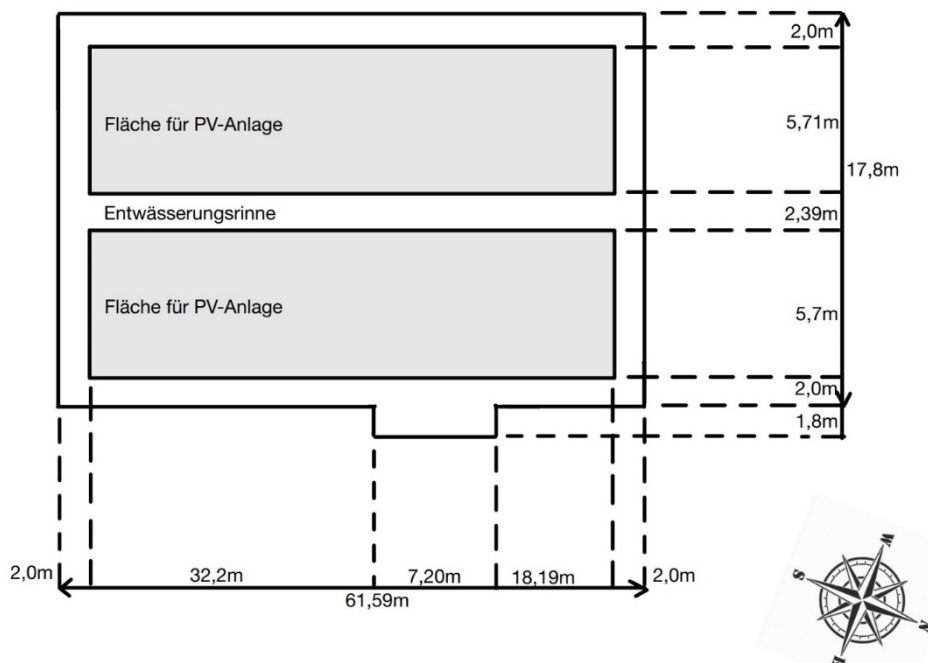
$$61,59m - (2 * 2m) = 57,59m$$

Gesamtbreite mit Aussparung, Sicherheitsabstand und Regenrinne:

$$19,60m - 1,80m - (2 * 2m) - 2,39m = 11,41m$$

Theoretisch nutzbare Fläche:

$$57,59m * 11,41m = 657,1m^2$$



Die Skalierungstabelle ermöglicht es überschlagsmäßig aus der Eingabe der Länge und der Breite des Flachdaches einen geschätzten Wert für die gewonnene Energie aus einer PV-Anlage zu generieren. Mit dem Verbrauch der Schule lässt sich zusätzlich noch angeben, wie viel Geld sich innerhalb von 20 Jahren durch den Bau einer PV-Anlage einsparen lässt.

3. Vergleich Montagevarianten

Grundsätzlich kann man eine Solaranlage in drei Montagevarianten aufteilen. Zum einen gibt es die Südausrichtung mit einem Aufstellwinkel von etwa 30 ° und zum anderen die Ost-Westausrichtung mit einer Neigung von 10 °, bei der die Module eine Art Dachform bilden.

Die mögliche dritte Variante ist die flache Montage. Hierbei ergibt sich das Problem einer stärkeren Erhitzung, da keine Hinterlüftung möglich ist. Da Solarmodule aus Halbleitern bestehen führt eine Erhitzung zur Leistungsminderung. Außerdem kann sich Schmutz und Schnee schneller auf den Modulen sammeln.

Neben der Ausrichtung kann man zwischen einer horizontalen oder vertikalen Anordnung unterscheiden. Wir haben mittels Simulationsprogramm PV*SOL die verschiedenen Montagevarianten getestet. Im folgenden Bild erkennt man beispielhaft die Ost-Westausrichtung in vertikaler Ausrichtung mit einem Sicherheitsabstand der Modulreihen von 0,4 m. So konnten insgesamt 266 Module auf dem Dach montiert werden. Dies ist außerdem die Größte zu erreichende Anzahl an Modulen.



Die folgenden Daten zeigen unsere Ergebnisse der Gegenüberstellung der verschiedenen Varianten (Tabelle 1):

Photovoltaik-Anlagenplanung		78000									
Gesamtverbrauch Schule [kWh]											
	V1 Süd quer 30	V2 Süd quer 30	V3 Süd quer 20	V4 Süd quer 20	V5 Ost-West	V5 Ost-West	V6 Ost-West	V7 Süd 20 ° hochkan	V5 Süd 20 ° hochkant		
	mit Batterie	ohne Batterie	mit Batterie	ohne Batterie	mit Batterie gro	mit Batterie klei	ohne Batterie	mit Batterie	ohne Batterie		
Anzahl Module	132	132	155	155	266	266	266	159	159		
PV-Generatorenergie [kWh/Jahr]	43379	43379	50502	50502	78057	78057	78057	51184	51184		
PV-Generatorleistung [kWp]	42,9	42,9	50,38	50,38	86,46	86,46	86,46	51,68	51,68		
spez. Jahresertrag	1011,165501	1011,165501	1002,421596	1002,421596	902,8105482	902,8105482	902,8105482	990,4024768	990,402477		
Kosten Wechselrichter [€/Stück]	1.189,24 €	1.189,24 €	4.662,90 €	4.662,90 €	1.789,00 €	1.789,00 €	1.789,00 €	2.455,90 €	2.455,90 €		
Anzahl Wechselrichter	6	6	1	1	7	7	7	3	3		
Kosten Wechselrichter Gesamt [€]	7.135,44 €	7.135,44 €	4.662,90 €	4.662,90 €	12.523,00 €	12.523,00 €	12.523,00 €	7.367,70 €	7.367,70 €		
Batteriekapazität [kWh/Stück]	30,1	0	33,8	0	41,8	27,6	0	33,8	0		
Anzahl Batterien	3	0	3	0	2	2	0	3	0		
Gesamtkapazität [kWh]	90,3	0	101,4	0	83,6	55,2	0	101,4	0		
Kosten Batterie [€]	73.991,82 €	- €	80.836,08 €	- €	69.622,08 €	49.105,92 €	- €	80.836,08 €	- €		
Netzeinspeisung [kWh/Jahr]	16044	16130	10282	21284	29463	42838	43452	10854	22087		
Netzbezug [kWh/Jahr]	50774	50910	39620	48804	32179	43206	43515	39567	48957		
Eigenverbrauch [kWh]	27329	27194	38402	29218	45942	34914	34606	38487	29097		
Eigenverbrauchsquote	63,00%	62,69%	76,04%	57,86%	58,86%	44,73%	44,33%	75,19%	56,85%		
Autarkiequote	35,04%	34,86%	49,23%	37,46%	58,90%	44,76%	44,37%	49,34%	37,30%		
Kosten PV-Anlage [€]	38610	38610	45342	45342	77814	77814	77814	46512	46512		

4. Lastgänge

Der **Lastgang der Laborschule Dresden** wird mithilfe des gegebenen Lastgangs des Hülße-Gymnasiums modelliert. Die Lastwerte (Originalmesswerte) des Hülße-Gymnasiums sind mit einem Faktor multipliziert, damit die in Summe im Jahr verbrauchte Energie mit der Energie übereinstimmt, welche durch die Laborschule laut Zählerständen tatsächlich verbraucht wurde. Der Faktor ergibt sich aus dem Quotienten des Jahresenergieverbrauchs der Laborschule durch die des Hülße-Gymnasiums:

$$\frac{78.237,5 \text{ kWh}}{285.176,38 \text{ kWh}} = 0,2743$$

Ähnlich wird **der Lastgang der neuen Photovoltaik-Anlage** errechnet. Als Datengrundlage dienen die Logging-Daten der alten Bestandsanlage. Passend zum Lastgang der Schule (Daten von 2015) verwenden wir Logging-Daten der PV-Anlage von 2015. Hierbei wird der Quotient der neuen und der alten Solar-Anlage im September (gegeben waren nur Daten für den September für die neue Anlage):

$$\frac{8.850 \text{ kWh}}{2.050 \text{ kWh}} \approx 4,17$$

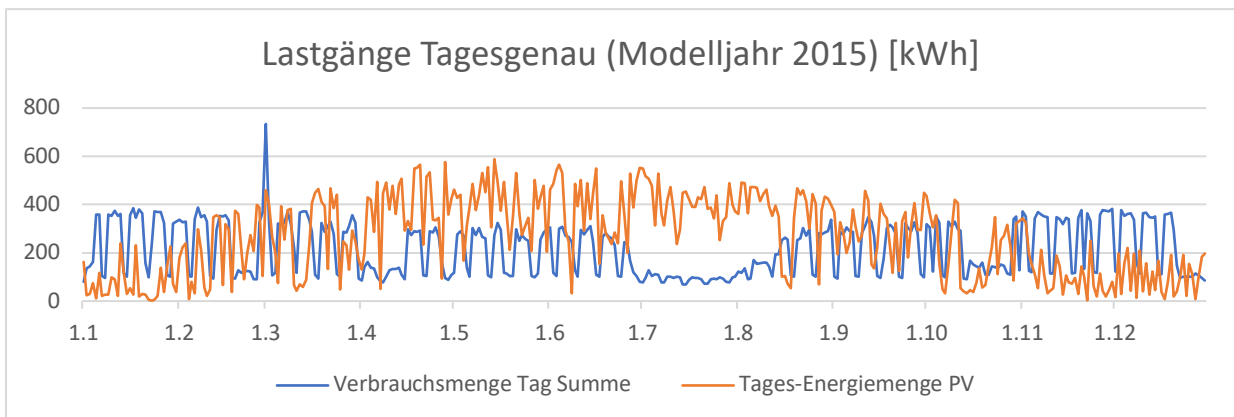
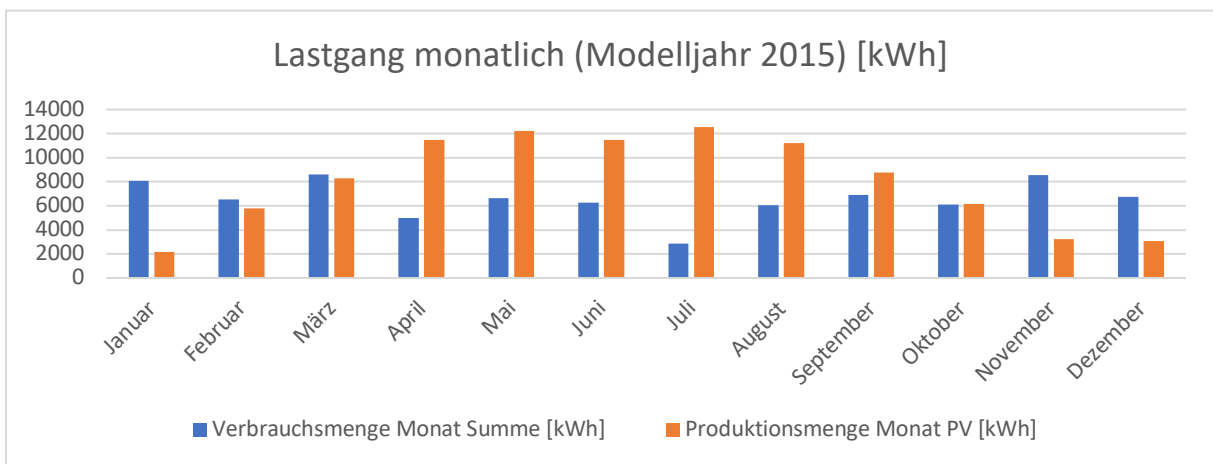
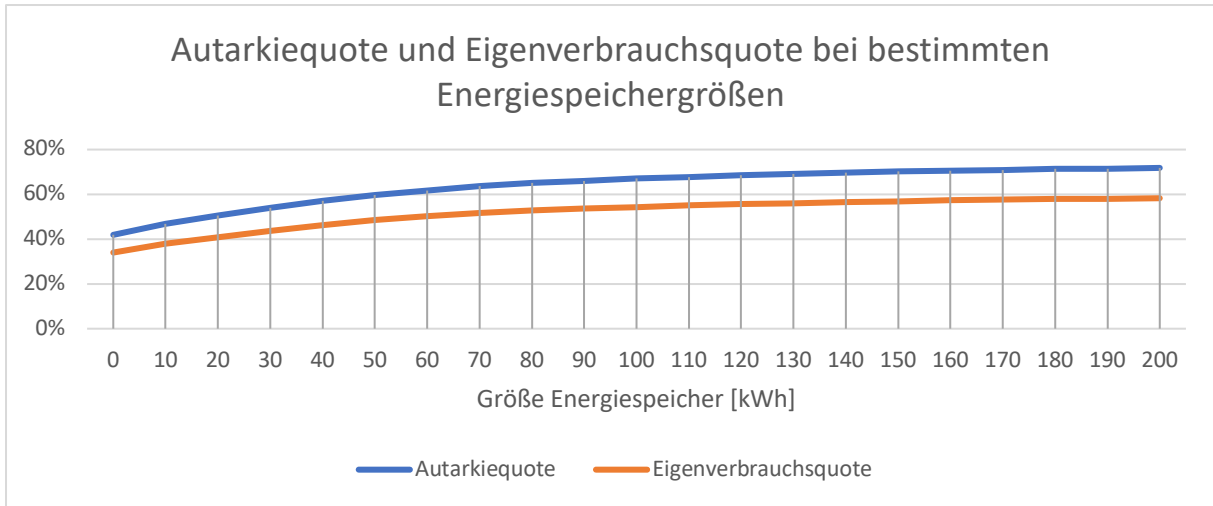
So wird ebenfalls der Kurvenverlauf genutzt und mit einem Faktor multipliziert, sodass die Jahresgesamtproduktion zur Performance unserer geplanten Anlage passt.

Darauf folgt eine Simulation der Energieflüsse. Basierend auf dem Ladezustand im vorherigen Zeitschritt und den Verbrauchs- und Produktionsmengen wird berechnet:

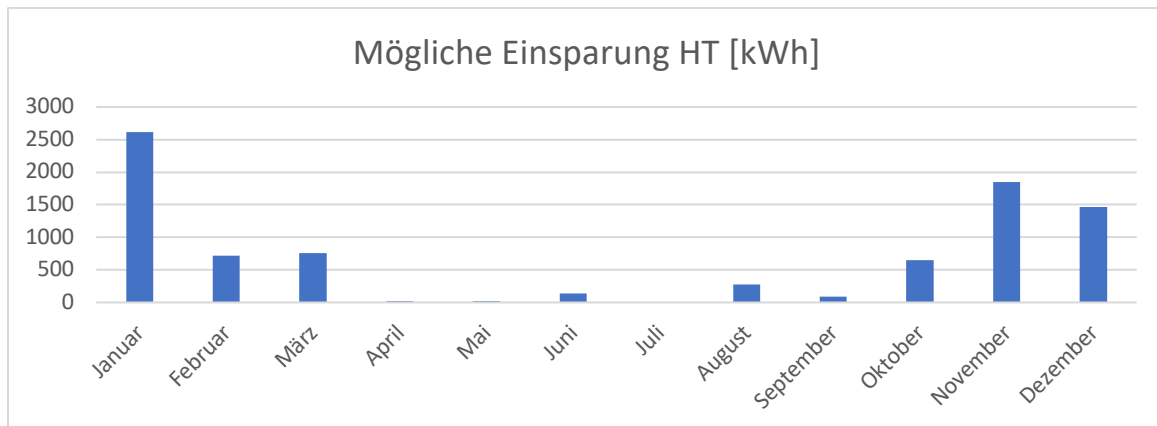
- Direkt aus der Produktion der PV-Anlage genutzte Energiemenge
- Energiemenge, die geladen/entladen wird und daraus Ladezustand des Speichers nach diesem Zeitschritt
- Entnahme oder Speisung des öffentlichen Stromnetzes in diesem Zeitabschnitt

Daraus können diverse Summenwerte direkt gebildet werden: Summe der jährlichen PV-Produktion, Prognose für jährlich aus dem Netz bezogene Energiemenge bzw. Prognose für Einspeisungsmenge. Zusätzlich kann basierend auf der Zeit und dem Wochentag die Einteilung in **Hochtarif (HT) und Niedertarif (NT)** erfolgen.

Basierend darauf kann bestimmt werden, ob (bei Entnahme aus dem Netz) der Hochtarif oder Niedertarif zur Anwendung kommt. Daraus folgt die Berechnung der Autarkie- und Eigenverbrauchsquote, sowie Kostenprognosen für Ausgaben/Einnahmen durch Netzverbrauch bzw. Speisung. Durch Variation der Eingangsvariable „Speichergröße“ kann ein Plot der Autarkie- und Eigenverbrauchsquote für verschiedene Energiespeichergrößen erstellt werden:



Wenn außerdem der Strom zum Hochtarif bezogen wird, und es vor 12:00 Uhr ist, dann sehen wir diesen Verbrauch als potenziell optimierbar an. Dieser Strom hätte auch wenige Stunden vorher zum Niedertarif in den Speicher geladen werden können.



5. Autarkie- und Eigenverbrauchsquote

Der Vorteil einer Solaranlage mit Speicher ist eine gewisse Autarkie. Das bedeutet, dass man nicht zwangsweise auf Stromimport aus dem öffentlichen Netz angewiesen ist. Da die Solaranlage jedoch bei weitem nicht zur vollständigen Autarkie reicht, wird eine sogenannte Autarkiequote berechnet. Sie wird berechnet, indem man die verbrauchte der selbstproduzierten Energiemenge durch den gesamten Jahresstromverbrauch der Schule teilt.

Die Eigenverbrauchsquote gibt das prozentuale Verhältnis zwischen eigens produzierter und genutzter Energie und der Gesamtproduktion der PV-Anlage an.

Beide Werte wurden für die verschiedenen Varianten errechnet und sind der Tabelle 1 auf Seite 4 zu entnehmen.

Bei den Quoten ist gesondert noch auf den Einfluss eines Stromspeichers zu verweisen. Rein logisch ergibt sich bereits eine Tendenz: ein Photovoltaiksystem mit einer Einspeicherungsmöglichkeit bietet die Option, produzierten Strom einzuspeichern für den Fall, dass er nicht zu dem Zeitpunkt der Produktion genutzt werden kann. So zum Beispiel bei einer Überproduktion am Tag, wenn die Sonne am höchsten steht oder auf einen größeren Zeitraum skaliert, wenn im Sommer deutlich mehr produziert wird als verbraucht werden kann, da die Sonne deutlich intensiver ist. Eben dies lässt sich in der Tabelle erkennen, die die verschiedenen Ausrichtungsvarianten der Solarpanels mit und ohne Speicher darstellt. So ist die höchste Autarkiequote bei Variante V3 erreicht, einer Ost-Westausrichtung mit Batterie mit 58,9%. Die höchste Eigenverbrauchsquote wird bei einer Südausrichtung bei 20°, vertikal und mit einem Batteriespeicher erreicht: 76,04%.

6. Speichertypen

Um eine fundierte Entscheidung über die Wahl des Systems treffen zu können, müssen alle Varianten analysiert werden. So auch die Speichermöglichkeiten des Systems. Die Anforderungen an die Akkumulatoren sind vielfältig: aufgrund der Nutzung als temporären Energiespeicher, wird der Akku regelmäßig abwechselnd fast komplett entleert und anschließend wieder fast vollgeladen, also im Zyklusbetrieb genutzt. Dadurch ist das Verhalten bei Tiefenentladung ist ein wichtiges Entscheidungskriterium. Folgend findet sich ein Vergleich der realistischen Speicheroptionen:

Blei-Akkumulatoren (Säure, Gel)	Lithium-Ionen Akkumulator
Günstig	Relativ teuer
Geringe Energiedichte	Sehr große Energiedichte und Wirkungsgrad
Geringe Lebensdauer	Längere Lebensdauer
Keine Selbstentladung	Geringe Selbstentladung
Spätestens nach 10 Jahren auszuwechseln	Erst nach 20 Jahren aus
→ Ungeeignet	→ Geeignet
Anwendung: eher als Notstromversorgung, unterbrechungsfreie Stromversorgungen, Kleinstinstallationen in Wohnhäusern etc.	Anwendung: fast überall, da viele Vorteile, sehr leicht, keine Kurzschlussgefahr im Vergleich zu Blei-Akkus
Ortsfeste Panzerplatten-Akkus: Sonderbauform, Elektroden sind durch Schutzhüllen umgeben, erhöht Lebensdauer erheblich – realistische Variante. Ausgeschlossen, dafür unsere Variante keine passenden Batterien vorhanden waren	LiFePO₄ : modern, unter den Li-Ionen-Typen hohe Energiedichte, etwas günstiger, ungiftig

Um nicht weitere Speicherformen unerwähnt zu lassen:

- NaS: ungeeignet, erfordert hohe Temperaturen, sehr teuer
- Redox-Flow-Batterie: ungeeignet, komplex, nur sehr große Anlagen, teuer
- Wasserstoff-Speicherung: nicht ausgereift, eher als Modellprojekt, keine anwendbaren Systeme
- Pumpkraftspeicher: elektrische Energie in mechanische bzw. potenzielle Energie umzuwandeln lohnt sich nicht, schlechte Speicherung, große Anlage

Um einen geeigneten Batterieraum für unsere Li-Ionen Akkumulatoren zu konzeptionieren müssen einige Bauvorschriften beachtet werden³.

So muss der Batterieraum leicht und sicher erreichbar sein, nach außen aufschlagende, feuerhemmende und rauchdichte Brandschutztüren besitzen, mindestens 2 Meter hoch sein und wirksam belüftet werden. Zudem ist es notwendig diesen Raum feuerbeständig von anderen Räumen abzutrennen, jedoch den Rettungsweg aus dem Raum kleiner als 35 Meter zu halten. Außerdem ist darauf zu achten, dass es keinen Zugang zu notwendigen Treppenträumen gibt und keine elektrischen Leitungen oder Anlagen, welche nicht zum Batteriesystem gehören, in diesem Batterieraum vorhanden sind. Des Weiteren sollten Lüftungsrohre feuerbeständig ummantelt werden, sobald sie durch andere Räume verlaufen und der Fußboden in diesem Raum muss in der Lage sein, elektrostatische Ladungen ausreichend abzuleiten.

Daraus ergeben sich Kosten um 5000€.

³ <https://www.revosax.sachsen.de/vorschrift/2374-VwVsaechsBO#anl4>
Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums des Innern über den Bau von Betriebsräumen für elektrische Anlagen (SächsEltBauR) Abschnitt IV und VI

7. Wirtschaftlichkeit

Eine wesentliche Entscheidungshilfe bei der Wahl des Konzepts ist die Rechnung der Wirtschaftlichkeit und die Investitions- und Finanzierungsrechnung, die wir folgend auf einen Bilanzzeitraum über 20 Jahre beziehen.

Die Anschaffungskosten der PV-Anlage sind den spezifischen Kosten von 900€/kWp gleichzusetzen, wie in den Daten gegeben. Dazu kommen die Anschaffungskosten für die Wechselrichter und gegebenenfalls die Kosten der Batterie.

Betriebskosten der PV-Anlage sowie die der Batterie belaufen sich auf rund 1% der Anschaffungskosten. Hinzu kommen die jährlichen Versicherungskosten der gesamten Anlage. In unserer Analyse beziehen wir uns auf die angegebenen Kosten von 22 Cent/kWh und die Einspeisungsvergütung von 9 Cent/kWh. Auf diesen Preis kommt die Umlage des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) von 2014. Sobald man eigenproduzierten Strom selbst verbraucht, zahlt man 40% der EEG-Umlage, was jedoch trotzdem deutlich günstiger ist als extern Strom zu beziehen.

Wir setzen den Kapitalzins auf 0%, da der risikofreie Zinssatz sich aus den deutschen Staatsanleihen ableitet und derzeit -0,386% beträgt. Dies impliziert, dass die Rendite negativ ist. Das Gesamtkapital würde sich verringern.

Parameter	Ost-West PV-Anlage ohne Batterie	Ost-West PV-Anlage mit kleiner Batterie	Ost-West PV-Anlage mit großer Batterie
Anschaffungskosten	90.337,00€	144.442,92€	164.959,08€
Betriebskosten/a	903,37€	1.394,43€	1.422,39€
Versicherung/a	138,22€	218,58€	222,96€
Fördersumme	/	12.040,00€	17.720,00€
Einsparung durch Nachttarif	/	211,97	208,51
Gesamtkapitalrendite	9,32%	4,52%	4,86%
Amortisationsdauer	9,5 Jahre	13,8 Jahre	13,5
Kumulierter Cashflow	133.217,12€	84.214,85€	102.720,88€
Stromgestehungskosten	0,07€/kWh	0,1€/kWh	0,11€/kWh
Gesamteinsparung	109.427,80€	70.585,18€	86.644,52
Gesamteinsparung jährlich	5471,39€	3529,26€	4332,23€

Eigenschaften der betrachteten Anlagenvarianten

Auf Basis dieses Vergleichs kommen wir zu dem Schluss, dass die Alternative Ost-Westausrichtung ohne Batteriespeicher ökonomisch die sinnvollste Investition darstellt. Darüber hinaus kann man aus der Tabelle entnehmen, dass auch eine Investition in ein System mit Energiespeicher wirtschaftlicher ist, als den Gesamtstrombedarf der Schule über das öffentliche Netz abzudecken.

Man sollte hierbei noch anführen, dass es vielversprechende Fortschritte im Bereich der Batterietechnik gibt. Die Preise für Akkumulatoren sind im Laufe der Jahre stark gesunken: allein um 13% von 2018 auf 2019. Bis 2024 wird vielversprechend erwartet, dass die 100\$/kWh durchschnittlich unterboten werden können. Natürlich wird auch stets an einer Weiterentwicklung der Batterie an sich gearbeitet.

Dadurch könnte sich in Zukunft auch abzeichnen, dass Anlagen mit Batteriespeicher das wirtschaftlichste Konzept für Schulen sein werden.

8. Das Konzept

Wenn man sich alle Daten genau anschaut und sich der Wirtschaftlichkeitsrechnung als Entscheidungshilfe bedient, fällt die Wahl der Komponenten des PV-Systems nicht schwer. Als sehr empfehlenswert ergibt sich aktuell folgendes Konzept:

Aus der wirtschaftlichen und ökologischen Perspektive lässt sich schlussfolgern, dass sich eine Verwendung von Energiespeichern (Li-Ion Akkumulatoren) aktuell nicht rechnet.

Aus obenstehender Tabelle 2 (siehe Seite 8) erkennt man, dass die wirtschaftlichste Variante die Ost-Westausrichtung ohne Batterie mit 10° Neigung ist. In vier Reihen werden 266 Solarmodule und sieben Drehstromwechselrichter (STP10.0-3AV-40 von SMA Solar Technology AG) verbaut. Damit lässt sich eine Autarkiequote von 44,37% bei einem Eigenverbrauch von 44,33% erreichen.

Alles in Allem kommt eine Summe von 310.000€ in den 20 Jahren auf die Schule zu. Im Vergleich zu den 420.000€ bei dem klassischen Stromeinkauf lassen sich damit 110.000€ einsparen. Damit kommen wir auf ein Ersparnis von rund 5.500€ pro Jahr.

Eine spätere Erweiterung der PV-Anlage durch das Modul Stromspeicher ist trotz der aktuellen Ergebnisse möglicherweise in einigen Jahren relevant, sowie wirtschaftlich und ökologisch vertretbar, da sich eine schnelle Entwicklung der Akkumulatoren abzeichnet. Bei Einbau eines Speichersystems lässt sich das Prinzip mittels der kostensparenden Nachtstromnutzung optimieren. Dabei wird die Batterie nachts zum Nebentarif geladen, damit zum Hochtarif (Sechs Uhr bis Sonnenaufgang) weniger oder kein Strom verbraucht werden muss. Dadurch kann auf den durchschnittlich vier bis sechs Cent günstigeren Strom zurückgegriffen und Tagsüber verwendet werden. Durch die Optimierung der Ladezyklen lassen sich jährlich bis zu 300,- € einsparen und die Lastspitzen des Stroms der Energieversorgung (Drewag) zu den Nachttarifzeiten glätten. Dies hat nicht nur einen Vorteil für die Schule (HT und NT), sondern auch für die Energieversorger.

9. Sicherheit

Bei der Arbeit mit Photovoltaikanlagen muss garantiert werden, dass gewisse Sicherheitsrichtlinien eingehalten werden. Folgend werden die Vorgaben erläutert.

Für den Blitzschutz der Anlage müssen die Unterkonstruktion und Modulrahmen geerdet werden. Dies erfolgt mittels eines massiven Kupferkabels mit einem Querschnitt von 6 bis 16mm², welches direkt zur Potentialausgleichsschiene geführt werden muss. Zudem ist es nötig, die Anlage in das bestehende Blitzschutzsystem einzubinden, ohne dieses dabei zu verschlechtern. Dieses Vorgehen ist bei der Laborschule definitiv vonnöten, da wir keine Trafo-Wechselrichter benutzen und wir mit einer Spannung von über 120V arbeiten. Der Berührungsschutz muss auf dem Dach und im Gebäude dringend sichergestellt werden, da sonst Lebensgefahr besteht.

Für den Brandschutz einer PV-Anlage müssen einige Umstände beachtet werden. Bei einer solchen Anlage besteht eine erhöhte Brandgefahr durch verschiedene Qualitätsmängel, wie eine Unterdimensionierung der Kabel, eine fehlende Zugentlastung, schlechte Lötstellen oder auch durch verschmorte Kabel. Des Weiteren birgt ein Brand eine hohe Gefahr für Feuerwehrleute, da an den PV-Modulen eine hohe Spannung erzeugt wird, welche zu Lichtbögen führen kann. Eine Lösung dafür ist ein sogenannter Feuerwehrscharter, welcher leicht zugänglich platziert werden muss und im Notfall die PV-Anlage kurschließen kann, wodurch die Gefahr minimiert wird.