

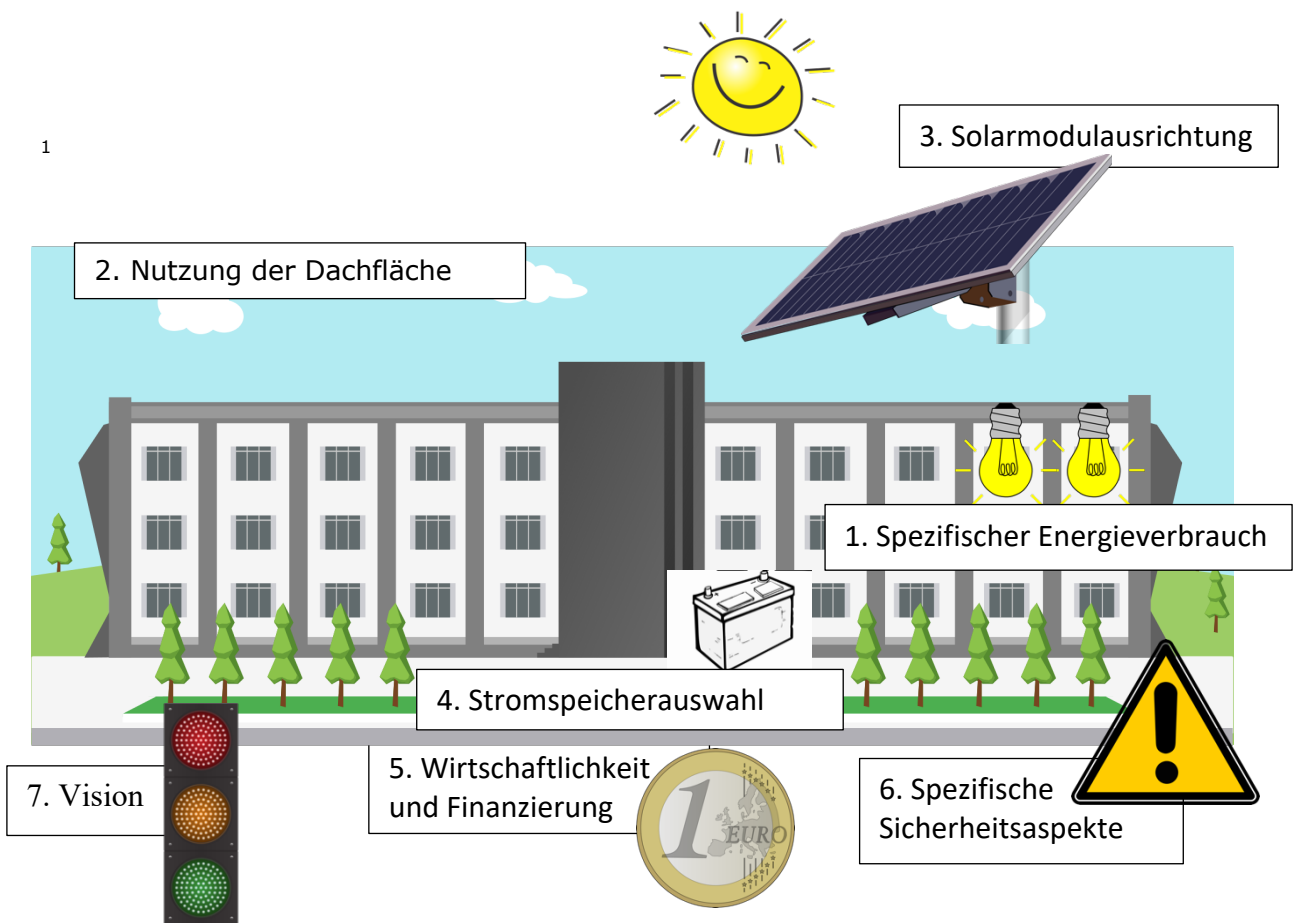
Konzept zur Erzeugung und Nutzung regenerativer Energien an sächsischen Schulen

BEING INSIDE

**In Kooperation mit der DREWAG - Stadtwerke Dresden GmbH
und ENSO Energie Sachsen Ost AG**

Abgabe: 15.10.2020

Henny Barkow
Max Hubmann
Hannes Blümel
Martin Vuyk Loperena
Charlotte Dittrich
Ronja Harf
Magdalena Scheinemann
Sebastian Semmler
Jannes Richter



Inhaltsverzeichnis

0	<i>Vorwort</i>	2
1	<i>Spezifischer Energieverbrauch</i>	3
2	<i>Nutzung der Dachflächen</i>	4
3	<i>Solarmodulausrichtung</i>	5
4	<i>Stromspeicherauswahl</i>	7
5	<i>Wirtschaftlichkeit und Finanzierung</i>	7
6	<i>Spezifische Sicherheitsaspekte</i>	9
7	<i>Vision</i>	9

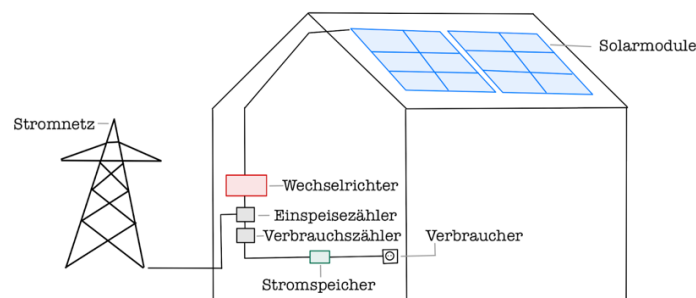
¹ <https://pixabay.com/de/vectors>

0 Vorwort

Ein Photovoltaiksystem² besteht zunächst aus Solarzellen, wobei mehrere Solarzellen zu einem Solarmodul zusammengeschaltet werden. Die PV-Module wandeln Sonnenlicht in elektrischen Strom um, woraus mit Hilfe eines Wechselrichter Wechselstrom erzeugt wird.

Der Anschluss an das öffentliche Stromnetz ist eine Voraussetzung für die Nutzung des erzeugten Stromes über den Eigenverbrauch hinaus. Weitere Bestandteile des Systems sind unter anderem ein Stromverbrauchszähler, welcher den Eigenverbrauch misst sowie ein Einspeisezähler, welcher den ins öffentliche Netz eingespeisten Strom misst.

Optional lässt sich zusätzlich ein Stromspeicher in Form einer Batterie installieren, in der nicht direkt verbrauchter Strom geladen wird, der anschließend dem Eigenverbrauch zur Verfügung steht.



Seit der Einführung der EEG rüsten sich vor allem private Einrichtungen mit PV-Anlagen aus und auch öffentliche Gebäude sind um die grüne Energienutzung gesetzlich verpflichtet bzw. angehalten NeMo 2.0 60M black³.

Öffentliche Schulen jeglicher Schulform streben mit Hilfe von erneuerbarer Energie eine möglichst autarke Energieversorgung an, wobei hierbei kein Gewinn erwirtschaftet werden darf, der pädagogische und ökologische Mehrwert ist von Übergeordneter Bedeutung. Die städtischen und regionalen Energieversorger streben neben ökologischen Motiven und Imagegründen primär eine hohe Rendite und ein geringes Risiko bei der Investition in Anlagen für die Erzeugung erneuerbarer Energien an - in diesem Fall an öffentlichen Schulgebäuden des Typus Dresdner Atrium.

Der Fokus dieses Konzeptes liegt dabei auf der Installation von neuen PV-Anlagen, da diese bei einem Großteil der sächsischen Schulen einfach und effizient umsetzbar sind. Die alternative Nutzung von Wasser- und Windkraft zur Energiegewinnung ist in den seltensten Fällen effizient realisierbar.

Das Konzept ist modular aufgebaut und dient somit als Guideline für Investoren und auftraggebende Schulen, welche PV-Anlagen an öffentlichen Schulgebäuden umsetzen wollen. Die einzelnen Arbeitsschritte bauen dabei chronologisch aufeinander auf. Im Folgenden werden diese Guidelines an Hand der Planung, Installation und Betreuung der PV-Anlage sowie Nutzung für pädagogische Aspekte an der Dresdener Laborschule dargestellt. Diese Guidelines bieten die Möglichkeit zeiteffizient ähnliche Projekte zu bewerten und Handlungsempfehlungen daraus abzuleiten.

1. Analyse der Energienutzung und des -verbrauchs
2. Berechnung und Einschätzung der effizientesten Nutzung der Dachfläche
3. Vergleich verschiedener und Empfehlung einer Solarmodulausrichtung
4. Vergleich verschiedener und Empfehlung einer Stromspeichervariante
5. Handlungsempfehlung basierend auf wirtschaftlichen Kennzahlen
6. Zu beachtende schulspezifische Sicherheitsaspekte
7. Vision

² PV-Anlage = Photovoltaik-Anlagen

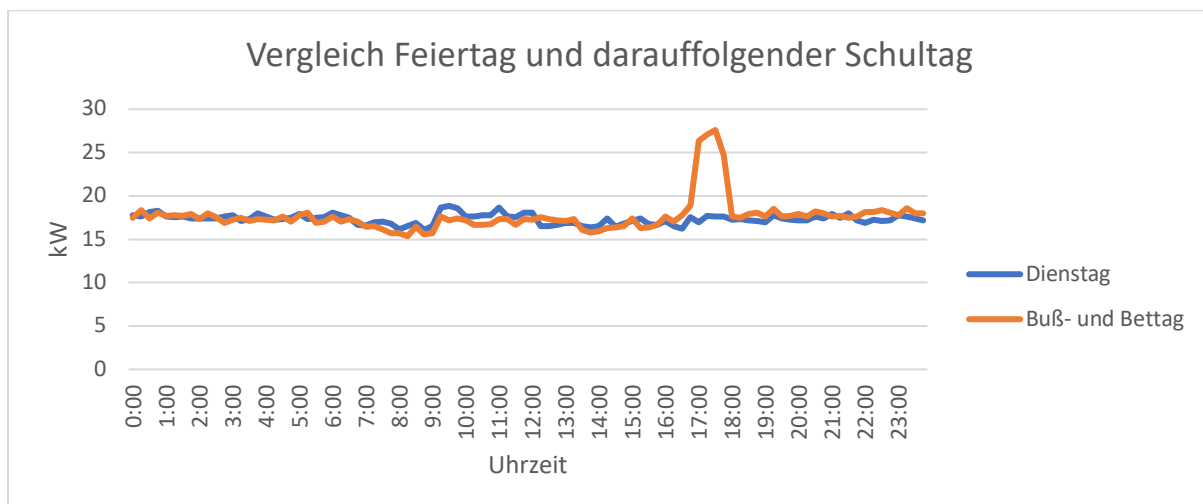
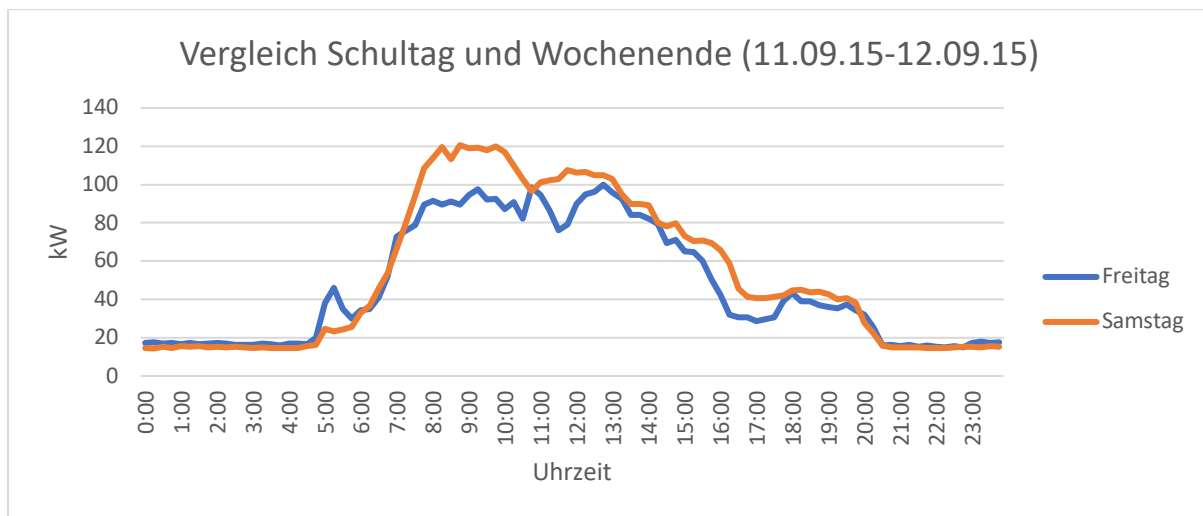
³ https://www.heckertsolar.com/wp-content/uploads/2019/07/DB_NeMo_2.0_60_M_320-330_2020_04.pdf

Wir möchten noch darauf hinweisen, dass dieses Konzept zwar einen hohen Nutzen und Reifegrad aufweist, jedoch eine objektspezifische Planung und Betrachtung der speziellen Umstände nicht ersetzt.

1 Spezifischer Energieverbrauch

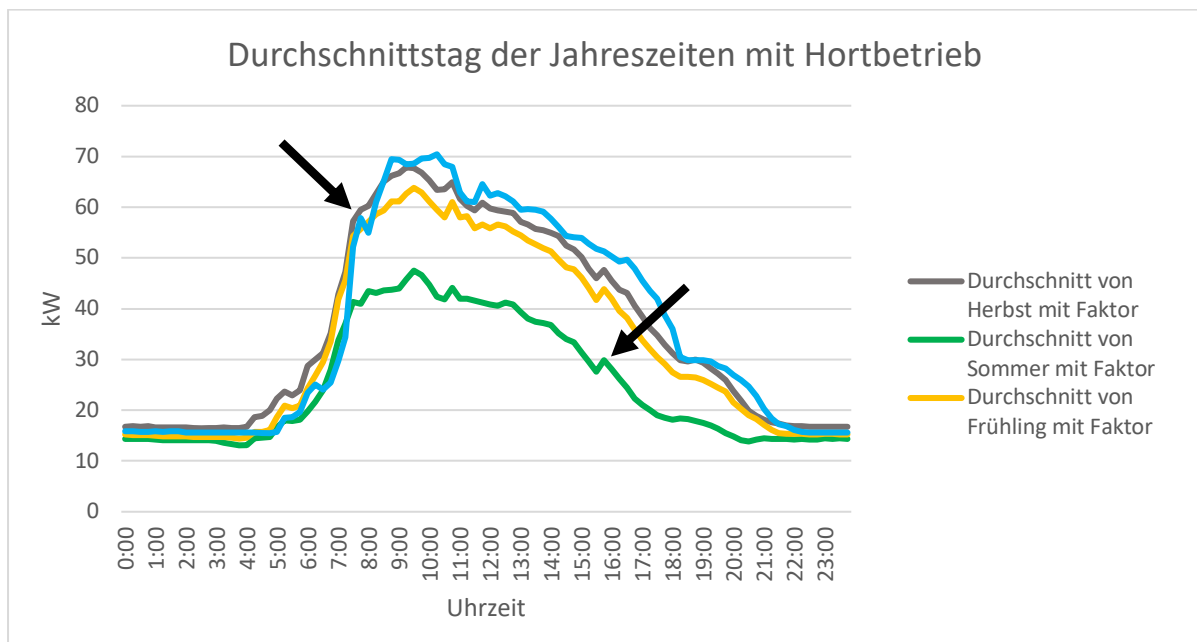
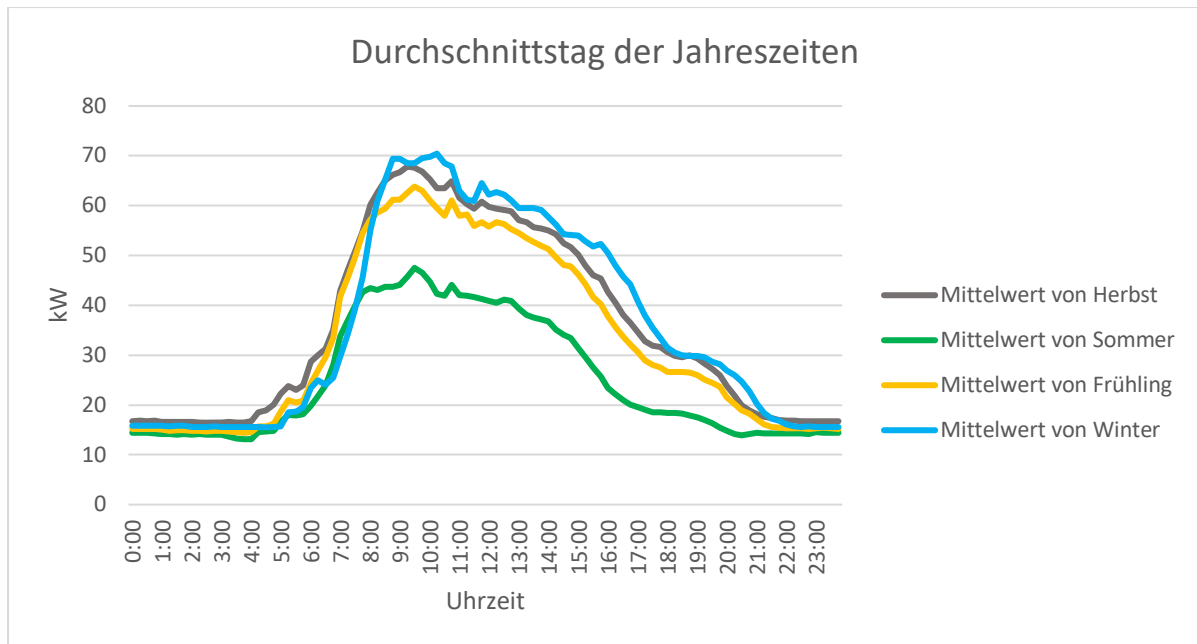
Die zur Verfügung gestellten Daten des Verbrauchslastgang stammen vom Hülße-Gymnasium Dresden. Das Hülße-Gymnasium hat 907 Schüler und ca. 100 Lehrer.⁴

Die Werte von Schultagen und Wochenenden weisen wider Erwarten keine großen Unterschiede auf. Darüber hinaus ist es nicht möglich mit Sicherheit zu wissen, welche außerschulischen Veranstaltungen in den Schulräumen an Nicht-Schultagen stattgefunden haben. Daher wird in dieser Arbeit nicht zwischen Schultagen und Nicht-Schultagen unterschieden.



Der Schulbetrieb des Hülße-Gymnasiums beginnt regulär um 8.00 Uhr und endet 15.45 Uhr. Die zu beachtenden Hortzeiten der Dresdener Laborschule sind zusätzlich von 07.30 Uhr bis 18.00 Uhr und führen damit zu 2,5 Stunden längeren Betriebszeiten. Dabei ist anzunehmen, dass sich mehr Schüler zu diesen Zeiten im Gebäude aufhalten, als beim Hülße-Gymnasium. Daher werden morgens die Werte durch einen Faktor von 0,95 angepasst. Dieser Faktor ergibt sich durch die geschätzte Auslastung des Hortes, welche zu einer 5%-igen Erhöhung der Personenzahl im Gebäude zu den Hortzeiten führt.

⁴ Julius-Ambrosius-Hülße-Gymnasium. (PDF; 6,2 MB) In: Fortschreibung Schulnetzplanung der Landeshauptstadt Dresden – Teil 2: Tabellen und Übersichten. Landeshauptstadt Dresden, 8. August 2017, S. 112, abgerufen am 16. September 2017.)



Da die Laborschule (Gesamtschule mit Hortbetrieb) Kapazität für ca. 400 Personen bietet, werden die Lastgangdaten des Hülße-Gymnasiums mit dem Faktor 0,4 multipliziert. Grundlage dafür ist die Annahme, dass die Anzahl der Schüler und Lehrpersonen proportional von der Größe und Anzahl der Räume eines Schulgebäudes abhängt.

2 Nutzung der Dachfläche

Die Schulen des Typus Dresdner Atrium zeichnen sich vor allem dadurch aus, dass die Form dem gleichen Gebäudeaufbau folgt. Es gibt zwei Langbauten auf der Vorder- und Rückseite, die mit einer verschiedenen Anzahl von Flügeln verbunden sind. Dadurch können auf beiden Seiten der Klassenräume Fenster eingebaut werden, durch die viel natürliches Tageslicht einfällt. Aus heutigen Gesichtspunkten ist diese Bauweise nicht energieeffizient, wobei es sich aus kostentechnischen Gründen nicht rentiert das Gebäude zu renovieren und auf modernere Standards aufzurüsten. Außerdem zeichnen sich alle Gebäudevarianten dieses Typus durch Flachdächer aus.

Daher soll geklärt werden, auf welche Weise sich die Installation und Betreibung einer PV-Anlage lohnt. Beispielhaft wird das Konzept auf die Laborschule Dresden angewendet, wobei es auf weitere Schultypen erweiterbar ist.

Für die Angabe der Dachnutzfläche der Dresdner Laborschule sind folgende Beschränkungen zu berücksichtigen:

- Abstände zur Dachaußenkante: mindestens 2,0 m
- Abstände zur Entwässerungsrinne: mindestens 1,2 m

Damit kommen nur die Längsbauten für eine sinnvolle Installation der PV-Anlagen in Betracht. Für die Laborschule berechnet sich dadurch eine Dachfläche von 985,44 m². Die nutzbare Dachfläche reduziert sich bei der folgenden Betrachtung, da ein Gehweg, die Entwässerungsrinne und die Anordnung der Solarmodule beachtet werden müssen.

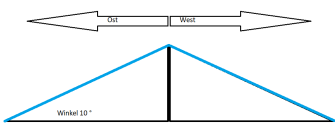
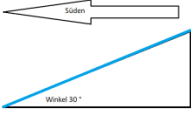

$$\text{Nutzbare Dachfläche: } 985,44 \text{ m}^2 - 403,54 \text{ m}^2 = 581,9 \text{ m}^2$$

Zur Skalierbarkeit auf andere Gebäude wurde folgende Formel ermittelt:

$$\text{Nutzbare Dachfläche} = \text{Dachfläche} - (2 \cdot \text{Dachumfang} - 4 \text{m} \cdot 4 \text{m})$$

3 Solarmodulausrichtung

Die Modellauswahl eines Solarmoduls wurde durch die Vorgabe der DREWAG vermieden. Im nächsten Schritt werden die Ausrichtungsvarianten miteinander verglichen und eine Handlungsempfehlung daraus abgeleitet⁵

Ost-West-Ausrichtung	Süd-Ausrichtung	Flach-Ausrichtung
Winkel 10° 	Winkel 30° 	Winkel 0° 
Vorteile		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ platzsparend 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 30 ° -> fast kein Reinigungsaufwand ▪ höherer Wirkungsgrad (15-20% mehr) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ einfach zu montieren ▪ keine Verschattung durch andere Module
Nachteile		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ niedrigerer Wirkungsgrad 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ineffiziente Platznutzung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ geringer Wirkungsgrad ▪ hoher Reinigungsbedarf ▪ keine Abflussmöglichkeit für Regenwasser
Anzahl platzierbarer Module		
340 Module (max. 307)	154 Module	399 Module (max. 307)
Theoretische Nennleistung (325 Watt)		
340*325 W = 110,5 kW 307*325 W = 99,77 kW	154*325 W = 50,05 kW	399*325W= 129,675kW 307*325 W = 99,77 kW
Einfluss der Ausrichtung auf die Effektivität		
85,5%	99,5%	87,1%

Die maximal mögliche Anzahl der Module wird aus der nutzbaren Dachfläche und der benötigten Fläche pro Modul berechnet. Die benötigte Fläche pro Modul berechnet sich aus

⁵ Mertens, Konrad, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, [2018], Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis - [4., aktualisierte Auflage] S.358

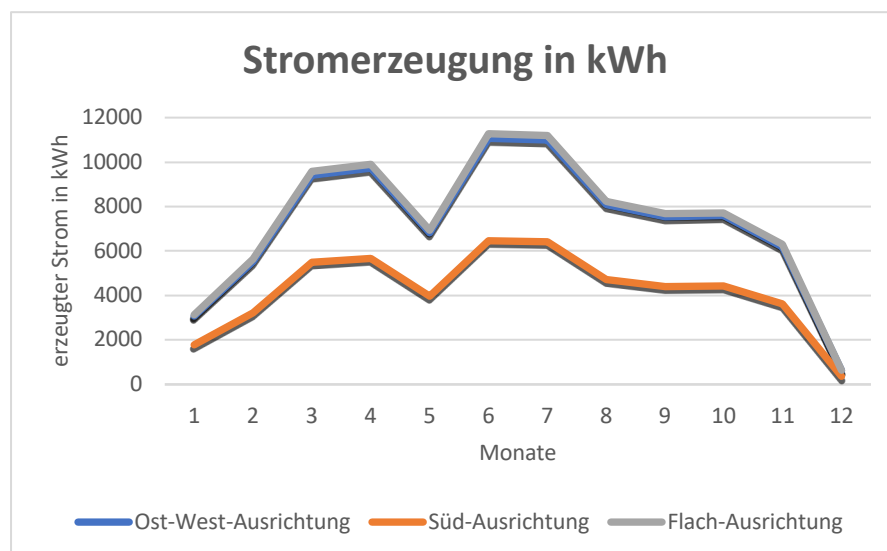
der vom Modul bedeckten Fläche sowie der vom Modul beschatteten Fläche. Die beschattete Fläche wird mit Hilfe des gegebenen Beschattungssimulator ermittelt.

Aus den gegebenen Daten einer PV-Anlage lassen sich die durchschnittlichen Sonnenstunden und der durchschnittliche Effektivitätswert in Abhängigkeit des Monats berechnen.

Monat	Sonnenstunden	Effektivität (Monats Durchschnittswert)
März	13,25h	0,268353792
Juni	16,25h	0,26615942
September	13h	0,226989114
Dezember	8h	0,02961518

Durch die errechneten sowie aus der Literatur gegebenen Daten lassen sich die Jahresgesamtstromerzeugung sowie die spezifische Jahresstromerzeugung ermitteln.

Jahresgesamtsumme:		
86616,03kWh (307 Module)	50566,09 kWh	88236,92 kWh (307 Module)
spezifische Jahresstromerzeugung:		
961,52 kWh pro kWp	506,82 pro kWp	1149,49 kWh pro kWp



Durch abschließendes Vergleichen der errechneten Daten mit den Verbrauchsdaten der Dresdner Laborschule und Abwägen der Vor- und Nachteile lässt sich eine eindeutige Empfehlung zur Verwendung der Solarmodule mit Ost-West-Ausrichtung aussprechen.

Als Kennwert wird dabei die Autarkiequote berechnet, welche das Verhältnis des durch die PV-Anlage erzeugten Stromes zum verbrauchten Strom darstellt. Beim Vergleich, der Verbrauchs- und der Erzeugungsdaten ist festzustellen, dass in vier von zwölf Monaten die Energie der PV-Anlage für eine autarke Nutzung ausreicht.

4 Stromspeicherauswahl

Für PV-Anlagen werden in der Regel Batterien als Speichermedium genutzt. Dabei werden in der aktuellen Praxis vier Typen unterschieden. Folgend eine Gegenüberstellung von Vor- und Nachteilen sowie relevante technische Merkmale:

Technologie	Vorteile	Nachteile	technische Merkmale
Blei-Säure/ Blei-Gel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kostengünstig ▪ erprobte Technologie 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ geringe Energiedichte ▪ keine Schnellladung ▪ Wartungsintensiv ▪ geringer Wirkungsgrad (ca. 86%) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0,31 € per kWh ▪ 60-75 Wh/l ▪ Lebenszyklen: 2.500-4.200 ▪ Lebensdauer: 5-10 Jahre
Lithium-Ionen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hohe Energiedichte ▪ hoher Energiewirkungsgrad ▪ geringe Selbstentladung ▪ hoher Wirkungsgrad (ca. 95%) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sicherheitsprobleme ▪ Ladeüberwachung notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0,33 € per kWh ▪ 110-250 Wh/kg ▪ Lebenszyklen: 4.000-15.000 ▪ Lebensdauer: 12-20 Jahre

Unter Beachtung der fehlenden Versorgungskette stehen neuen Technologien noch viele Hindernisse im Weg. Daher werden bewährte Typen wie die Blei- und Lithium- Batterien neuen Technologien bevorzugt.

Im direkten Vergleich dieser beiden Batterietypen wird schnell ersichtlich, dass die Lithium- Batterie wesentlich mehr Vorteile hinsichtlich der Nutzungsdauer und der Kosten bietet. Zusätzlich beträgt die Endkapazität bei dieser Variante teilweise über 80%, bei der Blei- Variante nur bis zu 60%. Daraus folgt die Entscheidung, Lithium- Batterien als Speichermedium zu verwenden.

Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass größere Batterien einen größeren Verlust ihrer Speicherkapazität im Laufe des Planungszeitraumes von 20 Jahren erleiden als kleinere. Es wird angenommen, dass die ausgewählte Batterie 20 Jahre hält und nicht zwischendurch ausgetauscht werden muss. Bei diesen Betrachtungen wird die maximale Entladung der Batterie, sowie der Wirkungsgrad beim Laden der Batterie vernachlässigt.

Um die optimale Kapazität des Stromspeichers zu bestimmen wird der Lastgang der Schule mit dem Lastgang der PV-Anlage verglichen. Dabei werden drei unterschiedliche Speichergrößen berechnet und nach der Wirtschaftlichkeit bewertet. Um die Jahreszeiten zu berücksichtigen wird jeweils mit Hilfe der Lastgänge ein durchschnittlicher Tagesverbrauch für jeden Monat bestimmt.

5 Wirtschaftlichkeit und Finanzierung

Die Auswahl eines Stromspeichers hat dabei einen direkten Einfluss auf die Erhöhung der Autarkiequote. Erwünscht ist das Optimum von Autarkiequote und Wirtschaftlichkeit. Zu betrachten ist hierbei, dass der Speicher einen großen Anteil der Investition darstellt. Eine Erhöhung der Autarkiequote ist politisch angestrebt und wird auch durch Subventionen gefördert.⁶ Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Entscheidung zum Einsatz eines Stromspeichers ggf. nicht wirtschaftlich ist, da aus einem direkten Verkauf des erzeugten Stroms höhere Gewinne erzielt werden können, als mit dem Eigenverbrauch der gespeicherten Energie.

⁶ <https://pvspeicher.htw-berlin.de/unabhaengigkeitsrechner/>

Als Investitionsausgabe werden 900€ pro kWh angesetzt. Hinzugerechnet wird der Preis des zusätzlich benötigten Stromes abzüglich des Verkaufserlöses des ins öffentliche Energienetz eingespeisten Stromes im Sommer.

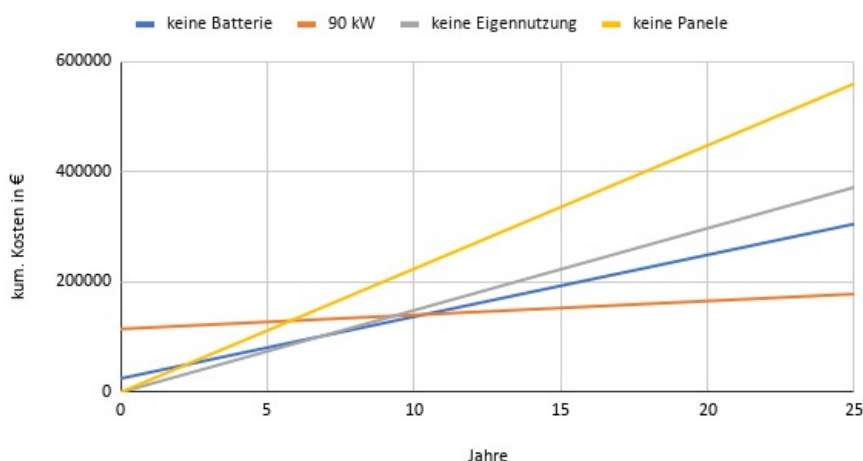
Um eine Entscheidung hinsichtlich der Speicherkapazität der Batterie zu fällen, werden verschiedene Fälle auf Kostenebene miteinander verglichen. Die zum Vergleich gewählten Batteriegrößen orientieren sich an den Werten der Überproduktion in den Monaten Mai (ca. 60 kWh) und September (ca. 90 kWh), um in möglichst vielen Monaten die Auslastung der Batterie zu maximieren. Die Batteriegröße 75 kWh wurde als Zwischengröße gewählt. Für alle Batteriegrößen werden Kosten in Höhe von 300€ je kWh für die Anschaffung der Batterie veranschlagt. Die Kosten für den Wechselrichter (100 kWp) werden mit 250€ pro kWp angenommen.

Die Stromkosten variieren für jeden der Fälle, da unterschiedlich viel gespeichert und später wiederverwendet werden kann. Der Strom, welcher entweder sofort verwendet oder später dem Speicher entzogen wird, kostet durch die aktuelle 40%-ige EEG-Umlage 0,027€ pro kWh. Die Nutzung des Stromes, der aus dem öffentlichen Netz bezogen wird, wird mit 0,22€ pro kWh veranschlagt. Gibt die Anlage jedoch Überschussstrom ans Netz ab, werden 0,09€ pro kWh eingenommen.

Kosten in Euro	keine Batterie	60 kW	75 kW	90 kW	keine Eigennutzung	keine Erneuerbare Energien
Stromkosten 20 Jahre	224.215	166.456	152.047	137.551	297.356	447.663
Investitionskosten Batterie	0	18.000	22.500	27.000	0	0
Wechselrichter	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	0
spezifische Kosten	90.000	90.000	90.000	90.000	90.000	0
Versicherung	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	0
Reinigung	6.158	6.158	6.158	6.158	6.158	0
Summe	357.374	317.615	307.706	297.709	430.514	447.663

Im Sinne der Wirtschaftlichkeit wird empfohlen, eine 90 kWh-Batterie für die Speicherung des Stromes anzuschaffen, da diese über den gegebenen Betrachtungszeitraum am kostengünstigsten ist. Durch die vergleichsweise große Strommenge, welche gespeichert und später verwendet werden kann, muss eine wesentlich geringere Menge an Strom aus dem Stromnetz bezogen werden. Zusätzlich kann in den Sommermonaten, in denen die Stromproduktion am größten ist, die Überschussproduktion ins Netz gespeist und somit ein höherer Erlös erzielt werden.

Kosten unterschiedlicher Systeme



Bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Systems müssen verschiedene Positionen berücksichtigt werden. Die gegebenen spezifischen Kosten in Höhe von 900€ je kWp decken u.a. den Erwerb und die Installation der Solarmodule auf dem Dach ab. Hinzu kommen Kosten für den Wechselrichter, die Batterie, die Versicherung der PV-Anlage und Reinigung der Solarmodule. Die Kosten für die Batterie und den Wechselrichter werden bei der Entscheidungsfindung der geeigneten Batteriekapazität betrachtet. Für die Versicherung werden 600€ pro Jahr veranschlagt, bei einer Betrachtungsdauer von 20 Jahren werden so 12.000€ für den gesamten Kalkulationszeitraum fällig. Alle drei Jahre muss eine Reinigung der Solarmodule durchgeführt werden, um den Wirkungsgrad zu erhalten, die mit 2,00€ pro m² berechnet wird.

Die DREWAG übernimmt die Trägerschaft der Anlage inkl. aller Komponenten, die Schule trägt bei diesem Projekt eine Leasingrate von max. 15.000€ im Jahr und gleicht somit den Preisvorteil, der durch die Verwendung des erzeugten Stroms entsteht, und die Investitionssumme der DREWAG aus. Dadurch entsteht bei der DREWAG ein finanzieller Gewinn sowie ein ökologischer und sozialer Imagegewinn für die Schule.

Um den Ausbau der nachhaltigen Energiezufuhr zu beschleunigen gibt es bereits mehrere Förderprogramme auch für öffentliche Körperschaften. Beispielhaft ist hierfür das Förderprogramm der KfW, welches eine Kredithöhe von bis zu 100% der Investitionskosten ermöglicht und stellt damit eine mögliche Form der Finanzierung Projekte dieser Art dar. Im Fall des konkreten Projektes an der Laborschule Dresden ist die Inanspruchnahme dieser Finanzierungsmöglichkeit jedoch im Hinblick auf die zurückzahlenden Beiträge nicht wirtschaftlich.

6 Spezifische Sicherheitsaspekte

Im Brandfall besteht bei der Einhaltung des vorgegebenen Mindestabstandes zwischen Brandherd und Löschkraft keine Gefährdung durch im Modul vorhandene Ströme. Daher sollte von der Installation von zusätzlichen, das Brandrisiko erhöhenden, Abschaltvorrichtungen in den Modulen abgesehen werden.

Das größte Risiko bei PV-Anlagen ist der „Faktor Mensch“. In zwei Dritteln der Brandfälle sind die Ursachen in Fehlern bei der Installation oder Planung zu finden. Daher wird empfohlen, regelmäßige Kontrollen durchzuführen und eine qualitativ hochwertige Installation vornehmen zu lassen.

Die Hauptursache für Brände von PV-Modulen ist meist die Entstehung von Lichtbögen, welche an unzureichend gewarteten Kontakten entstehen können. Eine Gegenmaßnahme ist die Verwendung von Detektoren, die den Lichtbogen erkennen und den Strom an der entsprechenden Stelle unterbrechen. Diese Technologien sind jedoch zum jetzigen Zeitpunkt nicht vollständig ausgereift und daher erst in Zukunft verwendbar.⁷

7 Vision

Während der Laufzeit der Solaranlage wirkt diese sich indirekt positiv auf die Umwelt aus, da weniger fossile Energien verbraucht werden. Nach ihrer Laufzeit muss jedoch die Entsorgung und das Recycling professionell durchgeführt werden, um schwere/größere negative Umweltauswirkungen zu vermeiden. Professionelle Recycling Firmen wenden spezielle Verfahren an, um Lithium- Batterien zu recyceln und bieten zusätzlich an nicht wiederverwertbare Bestandteile ordnungsgemäß entsorgt. Unter Beachtung einiger Faktoren kann die Entsorgung sogar kostenfrei stattfinden.

Bei dem Konzept der Solarmodule auf den Dächern der Schule kommt der pädagogische Aspekt ebenfalls zuspreehen. Während die Schule mit grüner Energie gespeist wird, sollten die Schüler gegenüber dem Thema „nachhaltige Energien“ sensibilisiert werden.

7 Leitfaden „Bewertung des Brandrisikos in PV-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung“ und „Sicherheit von PV-Anlagen Nullprozent Risiko als erklärtes Ziel“ von SMA Solar Technology AG

Möglicherweise unter der Rahmenbedingung einer Projektwoche in der Fachleute, die dieses Projekt betreut haben Vorträge zu den einzelnen Komponenten halten und auf einzelne Interessen/Fragen eingehen.

Zusätzlich setzen die Schüler sich selbstständig mit dem Thema auseinander und bearbeiten Aufgaben, um ihr Umfeld Stück für Stück umweltfreundlicher zu gestalten und sich der Effekte der grünen Nutzung bewusst zu werden. Damit werden sie von Anfangen an auf die nachhaltige und verantwortungsvolle Nutzung von Energie aufmerksam gemacht.

Während der Laufzeit der Solaranlage wirkt diese sich indirekt positiv auf die Umwelt aus, da weniger fossile Energien verbraucht werden. Nach ihrer Laufzeit muss jedoch die Entsorgung und das Recycling professionell durchgeführt werden, um schwere/größere negative Umweltauswirkungen zu vermeiden. Professionelle Recycling Firmen wenden spezielle Verfahren an, um Lithium- Batterien zu recyceln und bieten zusätzlich an, nicht wiederverwertbare Bestandteile ordnungsgemäß zu entsorgen. Unter Beachtung einiger Faktoren kann die Entsorgung sogar kostenfrei stattfinden.

Mit der Installation der Solarmodule können die Schüler effektiv an das Thema erneuerbare Energien herangeführt werden. Es besteht die Möglichkeit die aktuellen Zahlen über die Produktion, Speicherung und Verbrauch der Anlage in einem Ampelsystem darzustellen. Damit können die Schüler einen Bezug zu den abstrakten Begriffen Strom und Energie herstellen und den Mehrwert erneuerbaren Energien entdecken. Dieser pädagogische Aspekt kann in den Schulalltag integriert werden.