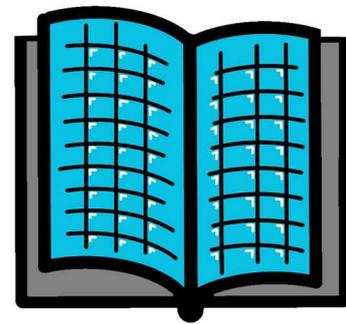


# BEING INSIDE



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

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

Gruppe 1: Sebastian, Leopold, Martin, Andreas, Hanne, Emily, Lisa, Nico

### Inhaltsverzeichnis

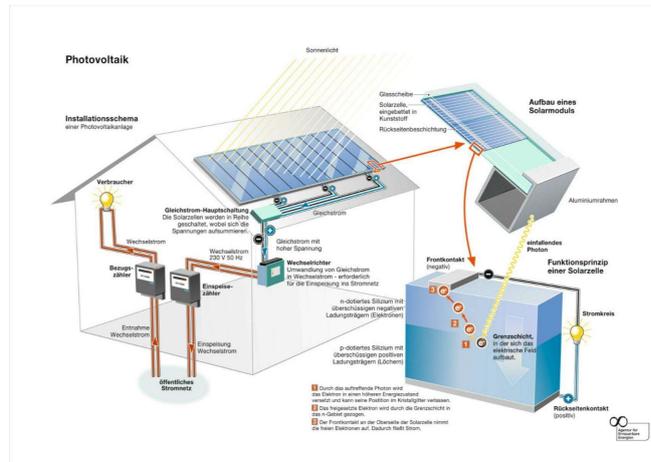
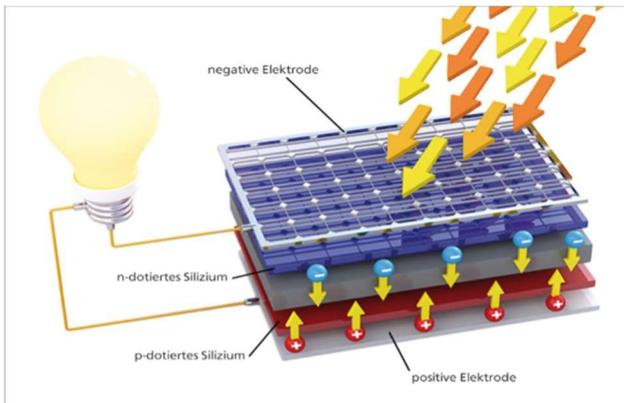
1. Aufbau der Photovoltaiksystem mit Stromspeicher
2. Analyse der Dachfläche
3. Anlagendimensionierung von unterschiedlichen Montagevarianten
  - 3.1 Vor - und Nachteile
4. Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen Montagevarianten
5. Lastgang der Photovoltaikanlagen
6. Lastgang des Schultyps
7. Auswahl des Wechselrichter
8. Autarkiequote und Eigenverbrauchsquote
  - 8.1 Einfluss des Stromspeicher
9. geeigneter Speichertyp
10. Wirtschaftskonzept
11. Förderung des Stromspeichers
12. Sicherheitsaspekte und Maßnahmen
13. Umweltaspekte
14. Umweltbilanz der Produktion und Entwicklung
15. Umweltbilanz des laufenden Betriebs
16. Recycling von PV-Anlagen
17. Ergänzungen
18. Ergebnis
19. Quellen

# 1. Aufbau der Photovoltaiksystem mit Stromspeicher

- wandelt Lichtenergie in Strom um
- besteht aus einem oder mehreren "Modulen"

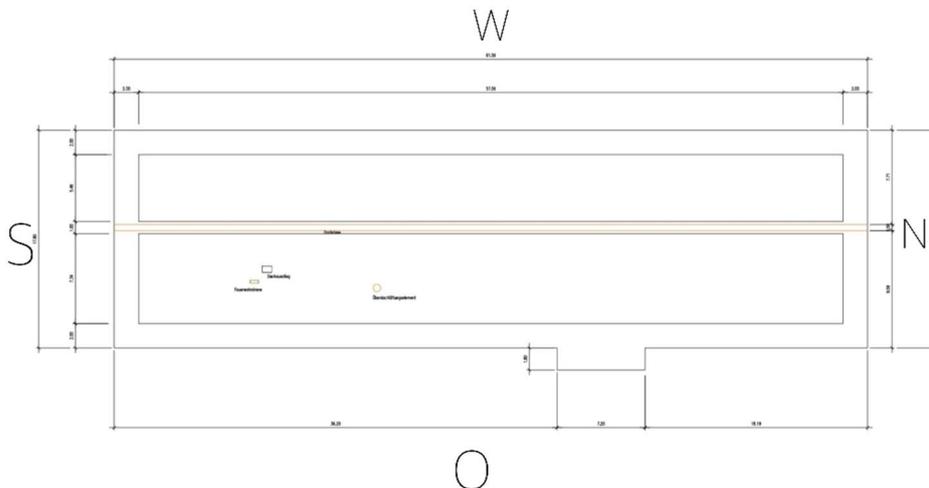
**Module** in mehrere Schichten unterteilbar

- Rückseite **Metallfolie** → "Rückseitenkontakt" = unterer Anschluss der Solarzelle
- darauf ca. 0,2mm dicke **Siliziumschicht**
  - unterschiedlich dotiert, Unterseite positiv geladen; Oberseite negativ
  - durch unterschiedliche Ladungen bildet sich **Grenzschicht**
- auf **Siliziumschicht** blau schimmernde **Titanoxidschicht**
  - verringert Reflexionsverluste & ermöglicht Nutzung von mehr Energie
- darüber **Teilkontakt aus Metall**
  - besteht nur aus dünnen Streifen um Sonnenlicht nicht am Einfallen zu hindern



# 2. Analyse der Dachfläche

- Gebäudeschultyp Dresden mit einem Architekturstil aus den 1950-1990 Jahren in der DDR
- Flachdach mit Fläche A und Fläche B, dazwischen eine Regenrinne von 1m
- Verkabelung durchs Haus
- Schattenfrei
- keine Verankerung möglich
- keine Bohrung von Löcher möglich wegen Dichtung
- 2m Abstand zum Rand wegen Wind
- Beschwerung der Solaranlage erforderlich
- Hindernisse: - Blitzableiter, Feuerwehirsirene, Dachluke, Lüftung, kleine Säule



### 3. Anlagendimensionierung von unterschiedlichen Montagevarianten

#### Montagevarianten: Süd, Ost/West, Flach

##### Flach

Hochformat

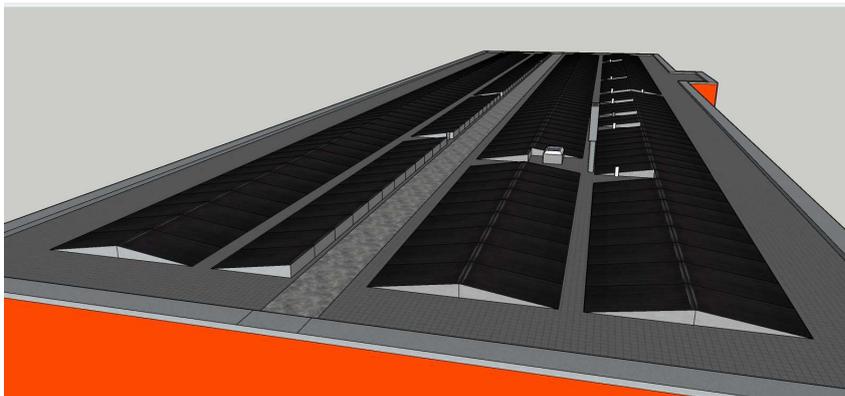
385 Panels mit Aussparung

##### Süd

- Aussparungen: pauschal für 14 Hindernisse 20 Panels abgezogen

30° und Hochformat 276 Panels ohne Aussparung 256 Panels mit Aussparung	30° und Querformat 217 Panels ohne Aussparung 197 Panels mit Aussparung
35° und Hochformat 288 Panels ohne Aussparung 268 Panels mit Aussparung	35° und Querformat 224 Panels ohne Aussparung 204 Panels mit Aussparung

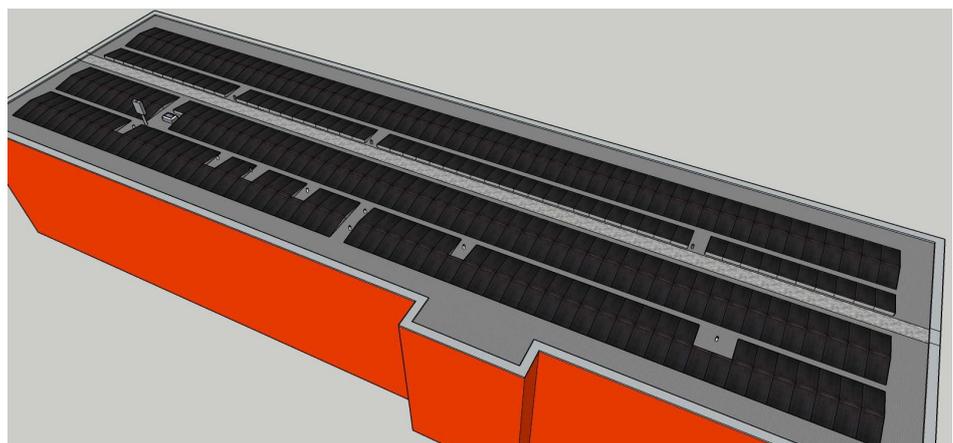
##### Ost/West



10° und Hochformat 399 Panels ohne Aussparung 384 Panels mit Aussparung	20° und Hochformat 399 Panels ohne Aussparung 384 Panels mit Aussparung
---	---

### 3.1 Vor - und Nachteile

	Flache Panel	Ost-West-Ausrichtung	Süd-Ausrichtung
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mehr Fläche verwendbar bzw. mehr Panels installierbar</li> <li>- fast nicht windanfällig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ab 10° keine Reinigung nötig</li> <li>- Belüftung wie Südausrichtung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- höchste Effizienz</li> <li>- selbst ungefähre Südausrichtung wie Südost kaum Leistungsminderung</li> <li>- Belüftung der Unterseite, dadurch Wirkungsgrad der Anlage höher</li> <li>- keine Reinigung nötig</li> </ul>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reinigung nötig</li> <li>- nicht optimal ausgerichtet, da Sonne ca. im 90° Winkel auf Panel treffen soll, fehlen der angestrebten 30° bis 35°</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- windanfälliger</li> <li>- Ertragsminderung von 10% bis 20% gegenüber Südausrichtung</li> <li>- durch Aufstände teurer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- windanfälliger</li> <li>- durch Aufstände teurer</li> </ul>



#### 4. Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen Montagevarianten

Flach 0°	Süd 30°	Süd 35°	Ost/West 10°
86,6%*325 W*385 Panels= 108,4 kWp	100%*325 W*256 Panels= 83,2 kWp	99,5%*325 W*268 Panels= 86,7 kWp	85,3%*325 W*384 Panels= 106,7 kWp

Flach ungeeignet:

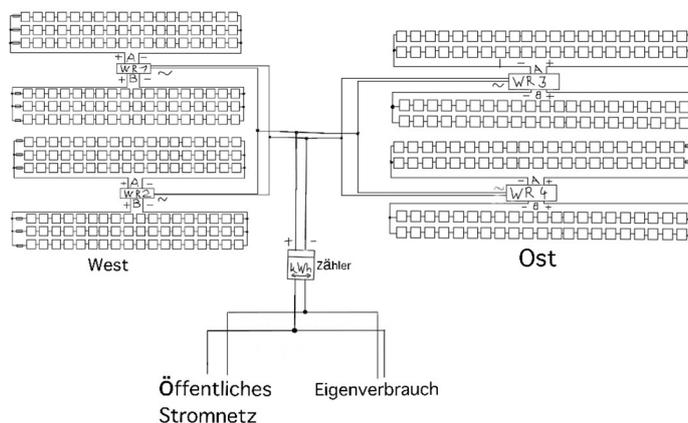
- keine Selbstreinigung → teuer
- Erhitzung
- Leistungsminderung

#### 5. Lastgang der Photovoltaikanlagen

Einsehbar mit Regulierung in der Simulation-<https://being-2020.web.app/>

- Sonnenstunden 1057h pro Jahr
- Leistung geringer:
  - -Winter weniger Sonne

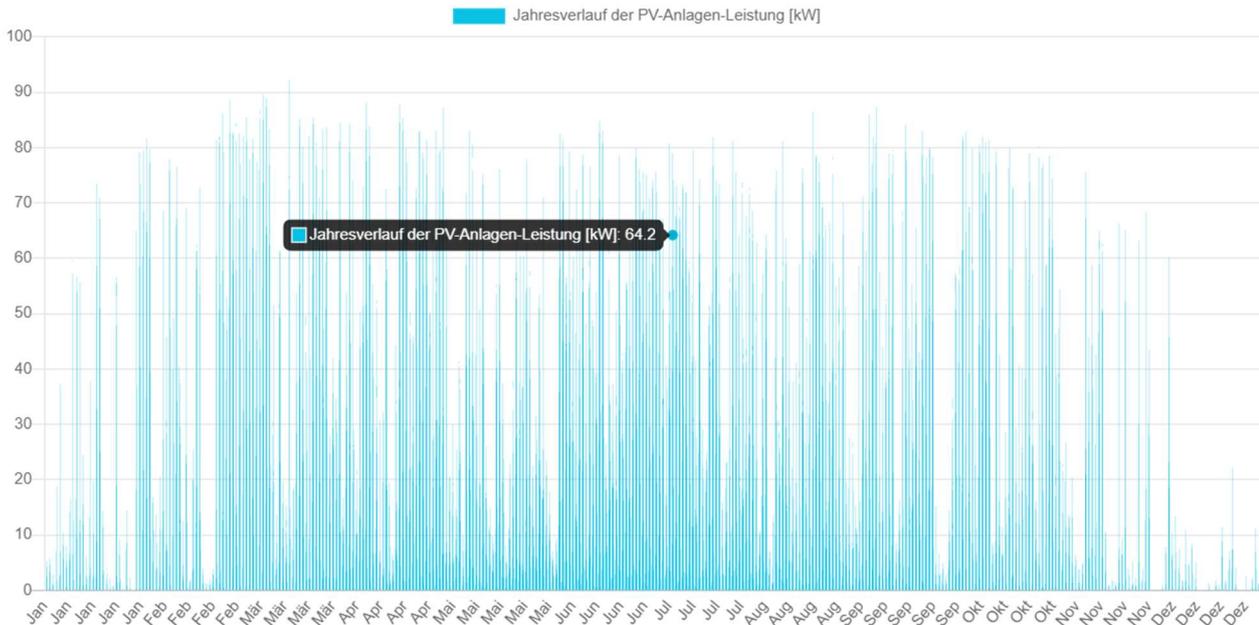
- -Regen
- -Nachts
- Speicher gering:  
Verbrauch↑, Leistung↓
- Speicher hoch:  
Verbrauch↓, Leistung↑



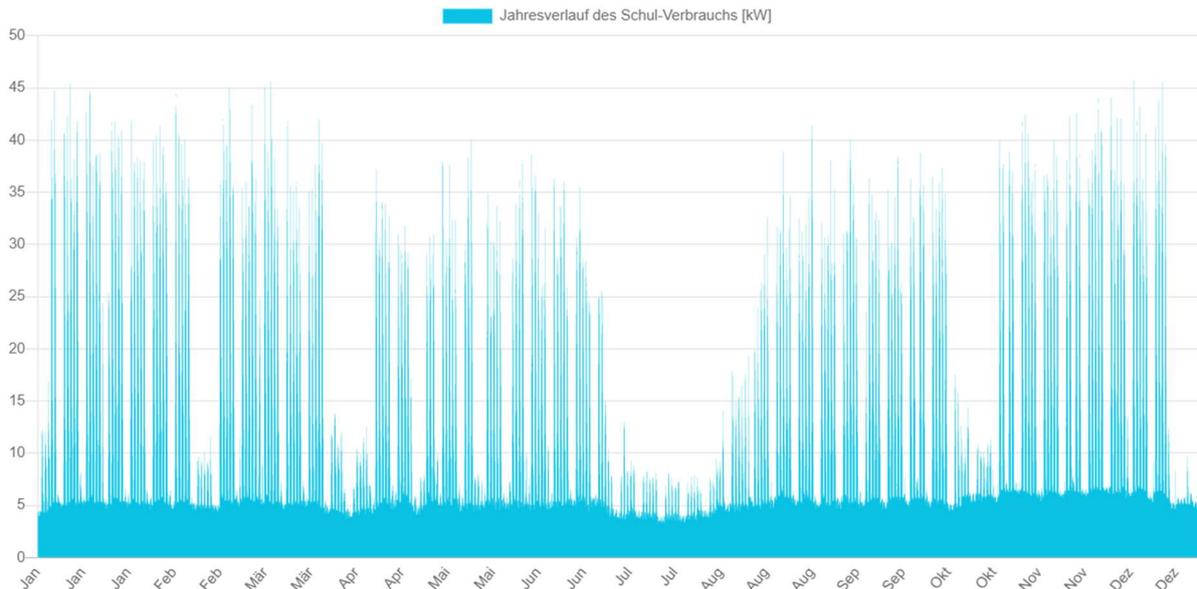
## 6. Lastgang des Schultyps

Einsehbar mit Regulierung in der Simulation-<https://being-2020.web.app/>

Analyse:



Schule	Haushalt
geringer Verbrauch: Ferien, Wochenende, Nachts, Sommer hoher Verbrauch: Tagsüber, Winter	geringer Verbrauch: Tagsüber in der Woche, Sommer hoher Verbrauch: Nachmittags, Abends, Wochenende, Winter
Speicher ungünstig: Produktion und Verbrauch gleichzeitig	Speicher günstig Produktion Tagsüber Verbrauch Nachmittags und Abends



## 7. Auswahl des Wechselrichters

- **Multi-String-Wechselrichter ( Sunny Tripower 20000TL):**
  - Minimierung der Leistungsverluste durch Strings
  - durch Zusammenfügen von Modulen mit ähnlichen Bedingungen Reduzierung von Kabelnutzung
  - Minimierung von Leistungsverlusten durch mehrere MPP-Tracker
  - hoher Wirkungsgrad von 98%
- **Berechnung des nötigen Spannungsbereiches:**
  - Leerlaufspannung des Moduls = 40,94 V Spannung bei Maximalleistung = 33,13 V
  - $40,94 \text{ V} * (-0,31\%) / (100\% * K) = -0,1269 \text{ V/K}$
  - Standard-Test-Bedingungen: 25 Grad Celsius
  - $U_{max}(\text{bei } -10 \text{ Grad Celsius}) = 40,94\text{V} + (-35\text{K} * -0,1269\text{V/K}) = 45,38\text{V}$
  - $U_{min}(\text{bei } 70 \text{ Grad Celsius}) = 33,13\text{V} + (45\text{K} * -0,1269\text{V/K}) = 27,41\text{V}$

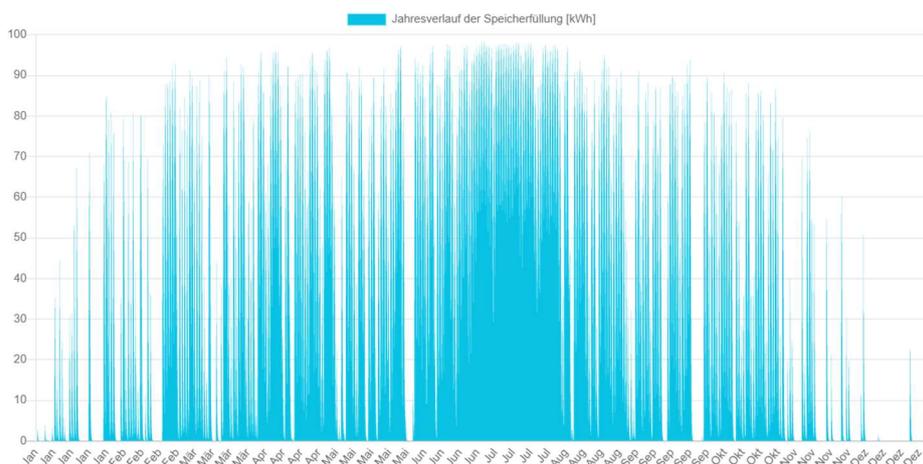
## 8. Autarkiequote und Eigenverbrauchsquote

- Autarkie= Eigenverbrauchter Solarstrom/ Gesamtstromverbrauch
- Eigenverbrauch der Solaranlage= eigenverbrauchter Solarstrom/ eingespeister Strom
- Verschattungen beeinflussen nur einen MPP

Einehbar mit Regulierung in der Simulation-<https://being-2020.web.app/>

### 8.1 Einfluss des Stromspeicher

Einehbar mit Regulierung in der Simulation-<https://being-2020.web.app/>



## 9. geeigneter Speichertyp

	Blei-Säure-Batterie	Blei-Gel-Batterie	Lithium-Batterie
<b>Vorteile</b>	- günstig	- wartungsfrei - geeigneter für den Einsatz in Wohngebäuden	- wartungsfrei - hohe kalendarische und zyklische Lebensdauer
<b>Nachteile</b>	- muss gewartet werden, Elektrolyt muss nachgefüllt werden - muss gut belüftet werden, wegen möglicher Entstehung H <sub>2</sub>	- geringere Lebensdauer als Lithium-Batterie	- teuer - besondere Sicherheitsbestimmungen bei Lagerung
<b>Eigenschaften</b> Energiewirkungsgrad kalendarische Lebensdauer Zykluslebensdauer Kostensenkungspotential		75% - 85% 5 - 10 Jahre  1000 - 3000 gering	85%-95% 10 - 20 Jahre  3000 - 10000 hoch

Zykluslebensdauer und kalendarische Lebensdauer beeinflussen sich.

Gleichungen für Blei-Gel-Batterie und Lithium-Batterie für optimale Bedingungen:

Blei-Gel:  $y = -4,433 \cdot x + 100$

Lithium:  $y = -1,73 \cdot x + 100$

m... Verschleißfaktor aus kalendarischer und Zykluslebensdauer

n... Anfangswert von 100% Kapazität bei 0 Jahren

y... Kapazität in %

x... Lebensdauer in Jahren

Blei-Gel-Batterie: - Restkapazität von 80% nach 4,5 Jahren

- Restkapazität von 60% nach 9 Jahren

Lithium-Batterie: - Restkapazität von 80% nach 11,56 Jahren

- Restkapazität von 60% nach 23,1 Jahren

Lithium-Batterie ist die sinnvollere Entscheidung, weil die Blei-Gel-Batterie mindestens zweimal getauscht werden muss. Die Lithium-Batterie muss im Idealfall nicht einmal getauscht bzw. maximal einmal getauscht werden. Außerdem ist auf die Lithium-Batterien, die wir rausgesucht haben, 10 Jahre Garantie und das System lässt sich beliebig erweitern. Des Weiteren ist es umwelttechnisch in unseren Augen unverantwortlich, eine Blei-Gel-Batterie bei einer Anlagenlaufzeit von 20 Jahren zu verwenden, da es mehr Akku-Abfall bedeutet als bei einer Lithium-Batterie. Der Wartungsaufwand durch das Austauschen der Akkus fällt ebenfalls an.

## 10. Wirtschaftskonzept

### Investitionsrechnung

- Strombezugskosten der Schule = 22 Ct/kWh netto
- selbsterzeugte Stromkosten 2,7ct/kWh netto, 40% des gesamten
- Vergütung für ausgespeisten PV-Strom = 9 Ct/kWh netto
- spezifischen Kosten der PV-Anlage = 900 €/kWp netto
- **Betriebskosten:**

- Wechselrichter: 4\*2.500€
- für 50-200kWp Anlagen jährlich Wartungskosten von 11€/kWp
- Versicherungen:
  - Haftpflicht jährlich 50€
  - weitere Versicherungen könnten bei der Website angegeben werden

Kosten wenn die Anlage nicht gebaut wird → 439.844,33€

nach 20 Jahren und Speicher 100 kWh	Kosten	Gewinn	Amortisation
Süd 30°	380.220,56€	59.623,77€	ab 12 Jahre
Süd 30° mit Speicher	432.022,36€	7.821,98€	ab 19 Jahre
Süd 35°	363.361,71€	54.490,41€	ab 12 Jahre
Süd 35° mit Speicher	429.529,19€	10.315,14€	ab 19 Jahre
Flach 0°	366.282,22€	73.562,11€	ab 12 Jahre
Flach 0° mit Speicher	417.360,98€	22.483,35€	ab 18 Jahre
Ost/West 10°	367.764,65€	72.079,68€	ab 12 Jahre
Ost/West 10° mit Speicher	418.880,52€	20.963,81€	ab 18 Jahre

## 11. Förderung des Stromspeicher

- **Info:**
  - gefördert von der Sächsischen Aufbaubank - Förderbank
  - nicht genehmigungspflichtig bei EU-Kommission
  - antragsberechtigt durch juristische Person der DREWAG
  - Wechselrichter zum Stromnetz nicht förderungsfähig
- **Bedingungen:**
  - keine gebrauchten Komponenten
  - kein anderes gleichartiges Förderprogramm
  - Netzeinspeisung nicht über 50% der Nennleistung
  - Stromspeicher dauerhaft gekoppelt mit Stromnetz und PV-Anlage
  - mind. 2 kWh Nutzkapazität
- **Zuschüsse:**
  - Sockelbetrag: 1000€
  - pro kWh der Nutzkapazität: 200€ (auf eine Nachkommastelle gerundet)
  - Höchstbetrag: 40.000€

## 12. Sicherheitsaspekte und Maßnahmen

- Gefahr durch Blitzeinschläge und Überspannung:
  - Erdung von Modulen
  - Blitzableitung mit Hilfe von Kupferkabeln
  - Integration in bestehende Blitzschutz
- Brandgefahr und Löscharbeit:
  - Insgesamt geringe Brandgefahr
  - Häufigste Gründe: fehlerhafte Installation und fehlerhafte Produkte

- achten auf ordnungsgemäße Installation
- abschalten der Module mit Hilfe eines Feuerwehrschafters
- Warnhinweise und Baupläne der PV-Anlage auslegen
- Wechselrichter nicht in Nähe von brennbaren Material
- Aufbau auf dem Dach:
  - Auf sicheren Aufbau achten, evtl. vor herunterfallen sichern
- Hinweise für Kinder:
  - Belehrung zur Anlage
  - Evtl. Zugang zum Dach verhindern
  - Teile der Anlage wie Wechselrichter, PV-Anlage für Kinder unzugänglich machen

### **13. Umweltaspekte**

- Produktion von PV-Modulen:
  - Produktion von Modulen teilweise mit hohem Energieaufwand
  - aber PV-Modul produziert dieselbe Energie, die für den Herstellungsprozess benötigt wird nach 2-3 Jahren
  - Nutzung: Silizium, sehr oft vorkommendes Material
  - manche Module: Nutzung seltener Metalle wie Selen, Tellur, Indium
- Während des Betriebs:
  - produziert 12-20 mal soviel Energie wie für Herstellungsprozess benötigt wird
  - keine CO<sub>2</sub>-Emission, nur bei der Produktion
  - keine schädlichen Neben- und Endprodukte
- Nach der Betriebslaufzeit:
  - kostenlose Abgabe an Wertstoffhöfen für Privatpersonen
  - Abgabe über PV-Cycle (Recycling Organisation von PV-Herstellern)
  - lange Lebensdauer von 20-30 Jahren
  - fast vollständige Recycling (bis zu 80% der Ausgangsmaterialien), Wiederverwendbarkeit

### **14. Umweltbilanz der Produktion und Entwicklung**

- EEG: Zuschüsse und Förderungen sehr attraktiv - Beschleunigung der industriellen Entwicklung und Vergünstigung
- Rentabilität: nach 2,5 bis 2,8 Jahre - durchschn. Laufzeit 20 bis 25 Jahre → Faktor 8 bis 12
- Verwendung: giftige, umweltschädliche Stoffe, seltene Erden
  - unter schlechten Bedingungen abgebaut
- CO<sub>2</sub>-Emission bei der Produktion, trotzdem viel umweltfreundlicher als andere Stromerzeugung

### **15. Umweltbilanz des laufenden Betriebs**

- Keine CO<sub>2</sub>-Emission (16% weniger CO<sub>2</sub>-Emission seit 2009 bei Energieerzeugung wegen Ausbau von PV-Anlagen)
- 7,4% der Stromerzeugung durch PV-Anlagen 2019
- Verwendung: Naturflächen, bei Dächern und Hauswänden kein Problem
- dezentrale Energiespeicher sind gut für die Energiewende
- 70% der Privathaushalte → Interesse an Speicher
- keine schädlichen Neben- und Endprodukte

### **16. Recycling von PV-Anlagen**

- Abgabe der Module kostenfrei bei PV-Cycle- Zerlegung, Wiederverwendung, Extrahierung der Bestandteile
- mind. 85% aller PV-Module müssen laut Gesetz recycelt werden

- Gestelle haben einen Schrottwert
- Wiederverwendbarkeit der Kabel
- kostenfreie Rückgabe an Verkäufer (Verpflichtung zur Entsorgung) der alten Lithium-Batterien
- keine Industrie zurzeit für recycling der Lithium-Batterie

## 17. Ergänzungen

A) organische Solarfolien von Heliatek

### Vorteile und Eigenschaften:

- sehr leicht, dünn und flexibel sowie leicht wieder zu entfernen
- keine Probleme mit der Kühlung
- aufbringbar auf gekrümmten Flächen
- günstige und leichte Produktion der organischen Zellen, da auf Kohlenstoffbasis gearbeitet wird und nicht auf anorganischer Basis (mit Silizium)
- sehr breites Lichtspektrum und gutes Schwachlichtverhalten
- organische Solarfolie sind transparent → Nutzung auf lichtdurchlässigen Oberflächen z.B. Glasfassaden (bis zu 50% Transparenz)
- **organische Solarzellen sehr umweltfreundlich**

**Nicht alle Punkte bedeuten, dass die organische Solarzelle dies besser kann, viele sind nur Eigenschaften, um zu zeigen, dass die organische Zelle dies ebenfalls kann.**

### Nachteile:

- organische Solarzelle hat geringeren Wirkungsgrad (7-12%)
- Produktionsbeginn Mitte 2020 ( Firma Heliatek) → keine große Etablierung auf dem Markt
- keine sehr weit entwickelte Technologie
- Patent von der Heliatek auf das Produkt

B) Kleine Windkraftanlagen

- Einfache Einbindung in das System
- Durchgängige Stromproduktion auch im Winter (falls vorhanden gleichmäßigere Ladung der Akkus)
- Passender Ort muss gefunden werden
- Weitere Sicherheitsvorkehrungen nötig

## 18. Ergebnis

A) Wahl der Montagevariante Ost/West ohne Speicher (wirtschaftlichstes Konzept)

- Gewinn nach 20 Jahren bei 72.079,68 €
- Autarkiequote von 73,2%
- Amortisation nach 12 Jahren

B) Wahl der Montagevariante Ost/West mit Speicher

- flexible Aufrüstung einer Lithium-Batterie möglich (BYD Battery-Box Premium HVS/HVM)
- Beispiel: Batterie mit 45 kWh Speichervermögen, da hier die Autarkiequote bereits auf 80,2% erhöht wird (vgl. Autarkiequote von 100 kWh entspricht 84,6%)
- Gewinn nach 20 Jahren bei 49.502,52 €
- Amortisation nach 15 Jahren

## 19. Quellen

<https://www.energie-kraft.de/wp-content/uploads/2019/04/pv-cycle-folder-producer-de-2013-web.pdf>

<https://senec.com/de/batterien-funktioniert-das-recycling>

[https://efahrer.chip.de/news/photovoltaik-und-umwelt-so-steht-es-um-die-umweltbilanz-der-solaranlagen\\_10246](https://efahrer.chip.de/news/photovoltaik-und-umwelt-so-steht-es-um-die-umweltbilanz-der-solaranlagen_10246)

[www.sab.sachsen.de](http://www.sab.sachsen.de)

[www.energieatlas.bayern.de](http://www.energieatlas.bayern.de)

[www.sma.de](http://www.sma.de)

[www.dgs.de](http://www.dgs.de)

[www.photovoltaik4all.de](http://www.photovoltaik4all.de)

[www.solarbranche.de](http://www.solarbranche.de)

<http://laborschule2.solardach-dresden.de>

<http://werkhaus.solardach-dresden.de>

Zugriff: 12. bis 15.10.2020