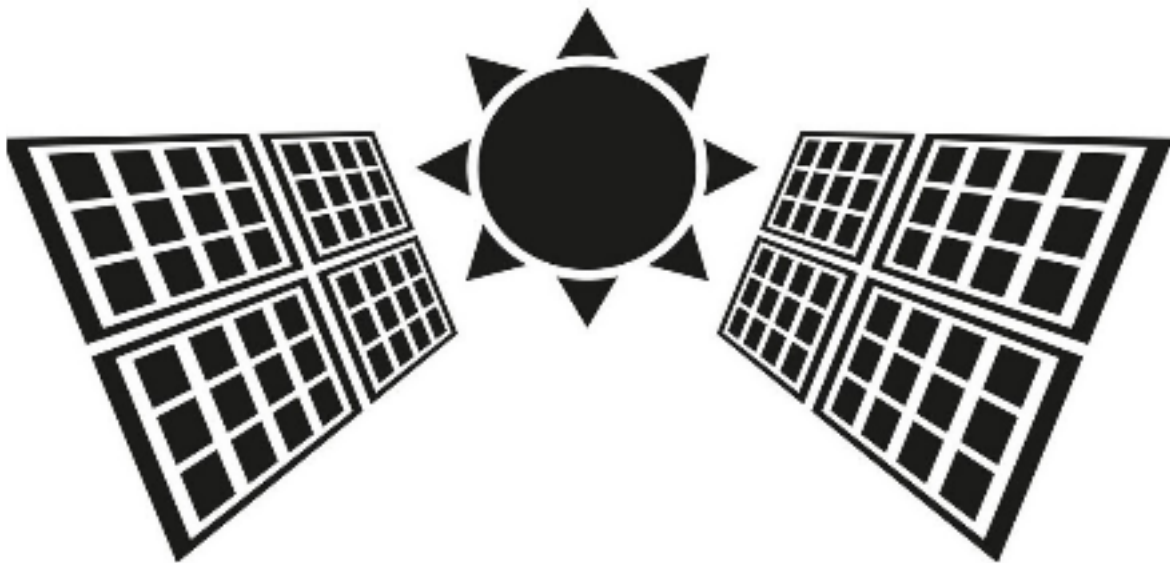


# Portfolio

## Konzept einer Photovoltaikanlage mit Wasserstoffspeicher

### Aufgabenstellung

Entwicklung eines Konzeptes zur Erzeugung, Speicherung und Nutzung regenerativer Energien in Schulen (insbes. Photovoltaikanlagen auf Schuldächern)



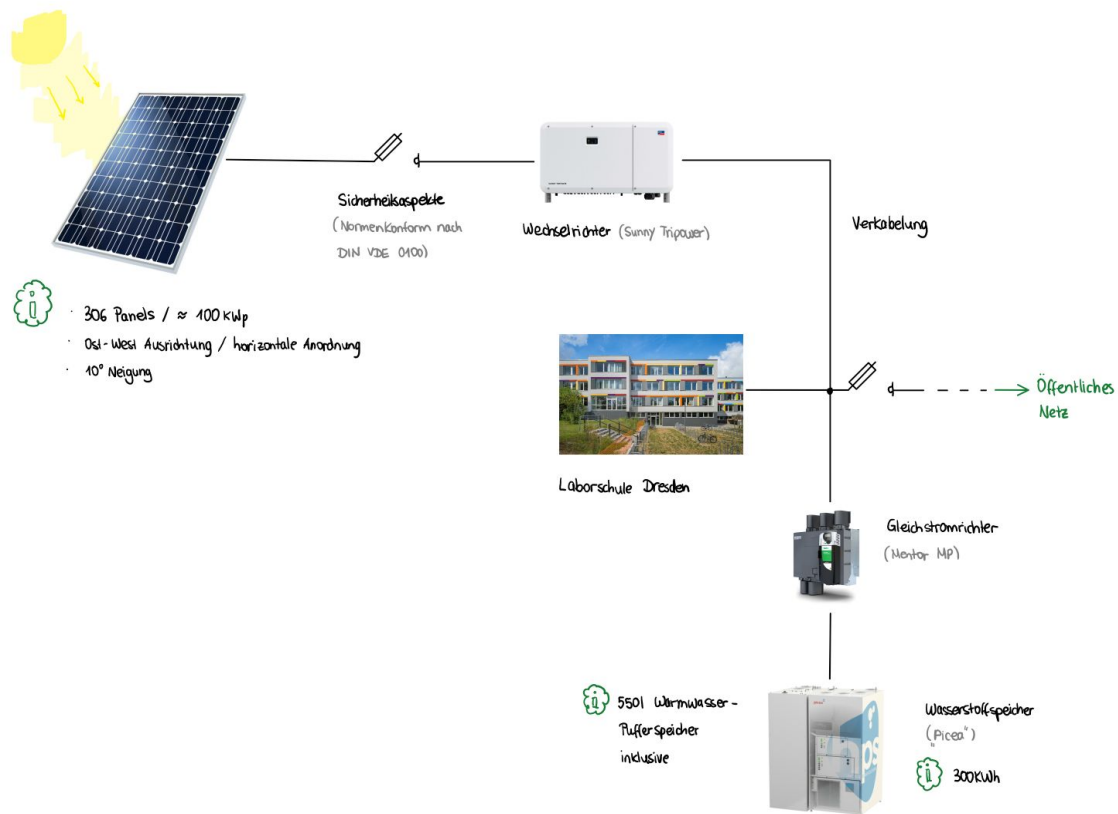
### Unser Team

Janik Hölzer  
Justus Krenkel  
Josephine Bär  
Gesine Schnarr  
Laura Schubert  
Étienne Schüler  
Fabian Hentschel  
Nicolas Bachmann

**Teilnahmezeitraum:** 12.10.2020-15.10.2020

**Teamcoach:** Nicole Fichtner

# Gesamtentwurf



## Einzelkomponenten

### Vorüberlegung zur Dachfläche

Allgemein zu Berücksichtigen:

- Sicherheitsaspekte: Absturzsicherheit der Anlage, Arbeitsschutz,....
- Verschattung durch Bauten auf dem Dach, benachbarte Bauten, Bäume
- Ausrichtung zur Sonne, dabei gilt:
  - Einstrahlung am höchsten bei südlicher Ausrichtung
- Aufstellwinkel der Solarpanels wichtig für Ertrag und Selbstreinigung, dabei gilt
  - je steiler desto besser ist die Reinigung
  - Einstrahlung sollte senkrecht auf Panel treffen

Architekturstil	Pro	Contra
Flachdach (viele Schulen in Dresden, daher dort der Fokus)	flexible Gestaltung der Anlage mittels Unterbauten	mehr Materialeinsatz durch Unterbauten
Schrägdach	Schräge durch Dach gegeben	Ertrag abh. von der Ausrichtung der Dachfläche zu Sonne und dem Aufstellwinkel

## Annahmen zum Gesamtkonzept:

- Grenzwert für die Leistungsobergrenze der Anlage: 100 kWp, damit Strom nicht an der Börse gehandelt wird
- Dachausrichtung: südlich Dachneigung: 0° Dach ist verschattungsfrei
- auf dem Dach Sicherungssystem mittels Seil möglich, daher Bebauung bis 1m Abstand zur Dachkante
- Werte der 1 kWp-Anlage ist vergleichbar mit unserem Standort und Ausrichtung der konzipierten Anlage
- keine Festmontage, um undichte Stelle zu vermeiden
- zusätzlich Dachlast von 18kN/m<sup>2</sup> wird mit unserer Anlage nicht überschritten

## PV-Anlage

### Montagevarianten

Position der Panels zur Dachkante	lange Seite parallel	kurze Seite parallel	kurze Seite parallel
Ausrichtung	Ost-West	Süd	flach
Aufstellwinkel	10°	30°	0°
Anzahl der Panel in einer Spalte	aus Simulation		5
Anzahl der Panel in einer Reihe	aus Simulation		21
Summe der Panel für 6 Reihen	aus Simulation		210
abzuziehende Panel für Bauten	aus Simulation		3
Summe der Panel aufdem Dach		306	207
Nennleistung [Wp]		99450	67275
Auswertung	im Rahmen des EEG Grenzwert	im Rahmen des EEG Grenzwert	im Rahmen des EEG Grenzwert
Kostenkalkulation [€]		89505,00	60547,50
erwarteter Jahresstromerzeugung [kWh]		92569	74382
erwarteter spezifischer Jahrestromerzeugung [kWh] für 1 kWp-Anlage		930,81	1105,64
			87750
			78975,00
			81778
			931,94

- Montage der Panels hochkant nachteilig gegenüber breitkant, weil
  - mehr Material für Unterbau nötig, damit optimaler Anstellwinkel erreicht wird → Dachlast nimmt zu
  - Lastverteilung/-abführung in der Panelmitte ungünstig → "durchhängen"
- max. Anzahl der Panels: 307 → unter Leistungsobergrenze (100kWp), jedoch für Paarweise Anordnung entschieden aufgrund vorhandener Modullösungen

Ausrichtung zur Sonne, Anstellwinkel und genutzte Fläche als entscheidende Faktoren:

Ausrichtung	Pro	Contra
Süd mit 30° Anstellwinkel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leistungspeak am Mittag ausnutzen</li> <li>• Selbstreinigung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine kontinuierliche Nutzung über den Tag</li> <li>• höherer Platzbedarf aufgrund höherer Verschattung</li> </ul>
Ost-West-Ausrichtung mit 10° Anstellwinkel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kontinuierliche Nutzung über den Tag</li> <li>• Selbstreinigung</li> <li>• mehr Panels je Fläche, da geringere Verschattung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kein Peak</li> <li>• Leistungsmaximum nicht erreichbar</li> </ul>

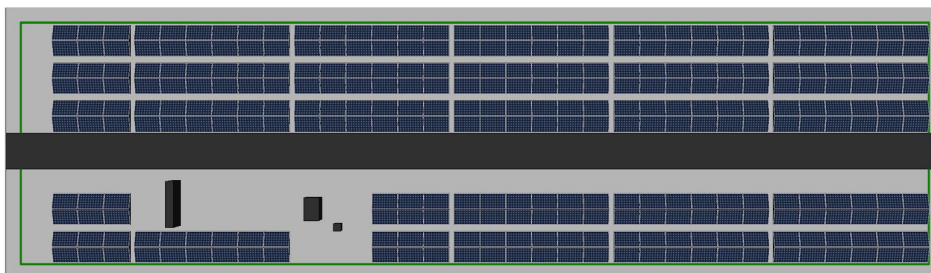
liegend	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Unterbauten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Selbstreinigung</li> </ul>
beweglich mit Sonnenstand	<ul style="list-style-type: none"> <li>maximaler Ertrag möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wartungsintensiv und hoher Materialeinsatz aufgrund des mechanischen Unterbaus</li> </ul>

Fazit:

- für Dresdner Schulen mit Flachdach individuelle Lösungen möglich
- Ost-West Ausrichtung der Panels für Laborschule empfohlen, da:
  - erwartete Jahresstromerzeugung am höchsten
- erwartete spezifische Jahresstromerzeugung mit Südausrichtung jedoch maximal, daher für Schule mit Schrägdach in Richtung Süden besser
- liegende Panels erbringen minimal geringere erwartete spezifische Jahresstromerzeugung im Vergleich zu Ost-West-Ausrichtung, Materialeinsparung bei den Unterbauten und somit geringere Anschaffungskosten

finale Anlagendimensionierung:

- Paneltyp: Heckert Solar NeMo 2.0 60 M 325 Wp
- 306 Panels mit paarweiser Anordnung, Ost-West-Ausrichtung, 10° Aufstellwinkel  
→ Nennleistung **99,45 kWp**



Modulplatzierung auf dem Dach

## Sicherheitsaspekte

### Verkabelung

- Wechselrichter: Umwandlung DC ↔ AC, Firma: SMA Trafoloser Wechselrichter
- 24 parallele Strings vorgegeben durch Wechselrichter Sunny Tripower CORE2
- pro String 12-13 Panels in Reihe angeschlossen
- 250V pro String

# integrierte Sicherheitselemente

## Sicherheits-einrichtungen / Absicherung

- Schutz-einrichtungen innerhalb des Aufbaus:
  - Leitungsschutzschalter: Schutz vor Polströmungskurz, Kurzschlüssen und Überlast



ca. 60-70 €

- PV-Sicherung: Stromsicherung, Schutz des Moduls und Anschlussleitungen vor Kurzschlüssen und Überlast
- DC-Freschalter: Freschalter der Solaranlage; auch feuerstabil



ca. 55€ /stück  
↳ eins pro 2 Module

- Überspannungsschutz DC: Schutz d. Generators & Inverters vor Überspannungen



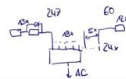
ca. 80 €

- FI-Schutzschalter: Altkompensitive Fehlerstromschutz-einrichtung

ca. 300 €

- Wechselrichter: Umwandlung DC ↔ AC; Firma SMA; Trifolwiser Wechselrichter (Suway Trifepower CBEZ(Gquiet Rail))

Skizze:



- Installation auf dem Dach → Lüftung
- 24 Strings
- 12 MPPT-Tracker



Technische Daten	Suway Trifepower CBEZ
Typ	Trifolwiser CBEZ
Leistung	15000 Wp
Spannung	1500 V
Strom	10 A
Effizienz	98%
Wärmeableitung	Passiv
Abmessungen	200x100x100 mm
Montage	Standard
Umweltbedingungen	-40°C bis +70°C
Material	Alu
Hersteller	Trifolwiser
Warranty	10 Jahre
Preis	ca. 3000 €

- Gleichstromrichter: "Master MP" ; Firma Control Techniques

ca. 3700 €



- Brandschutz: Flucht - und Rettungswege, Abstandsregeln zwischen Module und Montageschienen, Brandschott bei der Gebäudedurchführung, Hinweisschilder Feuerwehr
- Blitzschutz: Leitern-Blitzgerüst (bspw. aus zwei verstärkten Leitern und einer 5mbreiten Arbeitsplattform bestehend)

- Witterungsschutz: Beschweren des Gerüsts durch Gewichte (Sturm) oder Verankerung, Schutz vor Verschmutzung/ Regen durch Neigung, Schutz v. Feuchtigkeit durch Glas, Eindringen von Fremdkörpern, statische Absicherung
- Anlagenschutz: gemäß integrierter Schutzeinrichtung, sichere Zugänge zum und auf dem Dach (f. Wartung, Reparatur und Instandhaltung), permanente Anschlageinrichtung am Rand notwendig → Normenkonform EN 13374 (Seitenschutz)
- Unfallverhütung: Einrichtung / Aufbau nur von ausgebildeten Fachkräften, unverzögl. Beheben von Mängeln, Überwachen der ordnungsgemäßen Errichtung, Änderung & Instandhaltung der Anlage, alle Teile müssen sich in einwandfreiem Zustand sein, Schutz der aktiven Teile gegen direktes Berühren, "Unerreichbarkeit" der Anlage für Unbefugte, Absturzsicherung

## Normen und Regulierungen

- VDE 0100 „Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 Volt“
- VDE 0105-100 „Betrieb von elektrischen Anlagen“
- VDE 0298 „Verwendung von Kabeln und isolierten Leitungen für Starkstromanlagen“
- VDE 0100-712 „Photovoltaik-Versorgungssysteme“
- VDE V 0185 für notwendigen Blitz- und Überspannungsschutz
- vor Baustart: behördliche Genehmigung und untere Baubeaufsichtigungsbehörde → Anfrage Bauamt, insb. für Wasserstoffanlage
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI): Standards zur Photovoltaik im Regelwerk → VDI 6012: Hinweise zur Einbindung der Photovoltaik in die Gebäudetechnik
- VDEW-Richtlinien: Anschluss von Photovoltaikanlagen an das öffentliche Stromnetz
- Verband der Netzbetreiber (VDN): technische Sicherheit im öffentlichen Stromnetz, Auswirkungen des EEG Gesetzes
- Berufsgenossenschaft: Aufbau / Montage der Anlage
- VdS-Richtlinien: VdS Schadenverhütung im Auftrag des Gesamtverbandes der deutschen Versicherungswirtschaft (GDV)

## Speicherung

### Arten

#### Lithium Ionen Batterie:

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• bekanntes/länger erforschtes System</li> <li>• relativ geringes Gewicht</li> <li>• geringe Fläche</li> <li>• langlebig → bis 20 Jahre im Durchschnitt</li> <li>• hohe Energiedichte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• schwierige Entsorgung → Recyclingkosten (.interseroh)</li> <li>• Anfällig gegenüber Tiefenentladungen</li> <li>• starke Temperaturschwankung unterstützen schnelle Alterung</li> <li>• Ausbeutung in Afrika &amp;</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebenszeit verlängert sich durch Teilladungen</li> <li>• kühle Lagerung lässt die Zyklenfähigkeit bis auf das doppelte Ansteigen (von 800/2000 bis 4000 Zyklen)</li> <li>• 95% Effizienz</li> <li>• gute Skalierbarkeit</li> </ul>	Südamerika
---	------------

#### hps picea Wasserstoffspeicher inkl. Picea Home-System

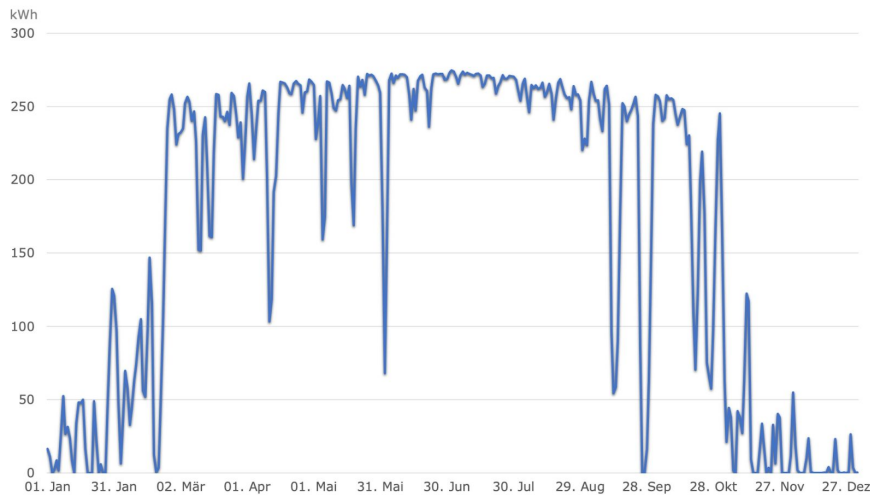
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr umweltverträglich</li> <li>• 90% Energieumsatz</li> <li>• Komplettlösung als hermetisch abgeriegeltes System (Elektrolyseur, Brennstoffzelle, Solar Wechselrichter, Software und App, Lüftungssystem und Warmwasserspeicher 550l)</li> <li>• kompakt 7 m*m</li> <li>• Langzeitlösung/ Temperaturunabhängig</li> <li>• Referenzen (GASAG Berlin)</li> <li>• Einbauförderung von 12.500€ durch die KfW Bank (internationale Förderbank)</li> <li>• Zusätzlich nutzbarer 550l Warmwasserspeicher (nicht in diesem Konzept betrachtet)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (Explosionsgefahr)</li> <li>• Blei-Gel-Akku als Schnellspeicher</li> <li>• Betriebskosten sind noch unbekannt</li> </ul>

#### Picea Home-System:

- Software zur Fernwartung und Überwachung der einzelnen Arbeitsprozesse
- Leichter Ersatz ausgefallener Teile (Stack System, modulare Bauweise des Systems)
- Brennstoffzelle wird bei Nichtgebrauch in StandBy bei 1W Leistung gesetzt (erhöht Lebenszeit)
- Es handelt sich um eine Hochtemperatur-Brennstoffzelle

#### Fazit:

- Wasserstoff als umweltfreundlichere Alternative
- Kosten beider Varianten auf lange Zeit vergleichbar
- Zur Langzeitspeicherung (vom Sommer in den Winter) geeignet
- Wasserstoff temperaturunabhängiger

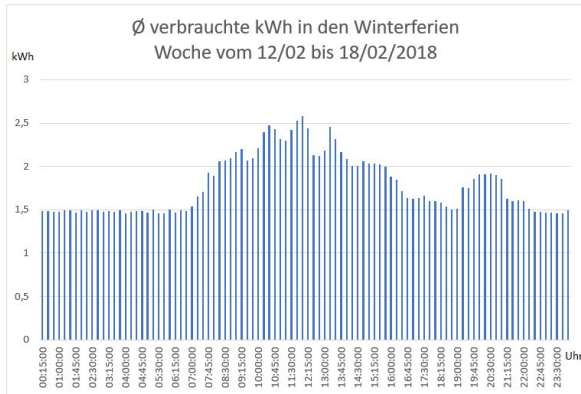


## Sicherheit

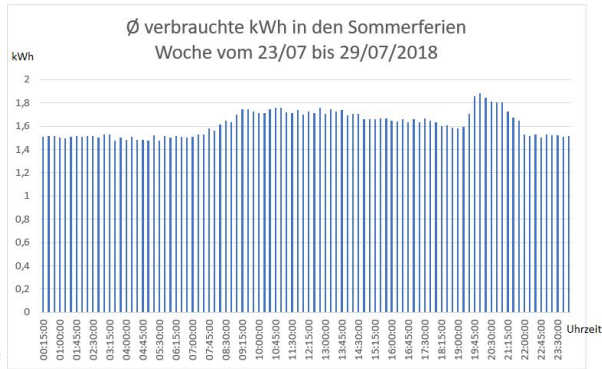
- INOVA Schutzzaun Sicherheitsstufe 1 (Engmaschiges Doppelstabgitter mit Überhang)
- TÜV Plakette alle 10 Jahre
- Gelände außerhalb des Gebäudes
- Kleiner Baucontainer (Rechner zur Überwachung, Picea System, Pulverlöscher, unterirdisches Edelstahlrohr für den Wasserstofftransport mit 6 mm dicker Außenwand)
- Flaschenlagerkäfig, mit abgesperrten Wasserstoffspeichern und extra schutzverkleideten Flaschen (Dreifach mit Gittern gesichert)
- Extra W029 Warnschilder
- 3 Gasmelder an der Außenwand des Containers
- Extra Kennzeichnung auf dem Geländeplan
- Kontrollierter Brand ohne eingreifen (deswegen der Sicherheitsabstand)



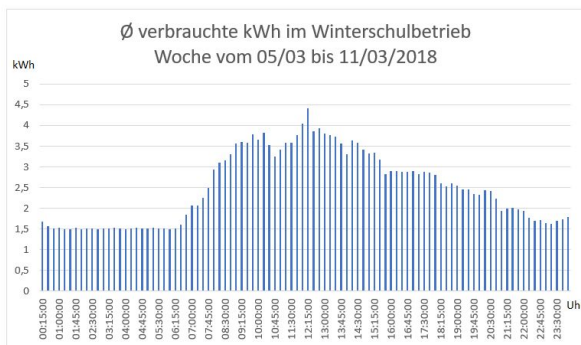
# Lastgänge



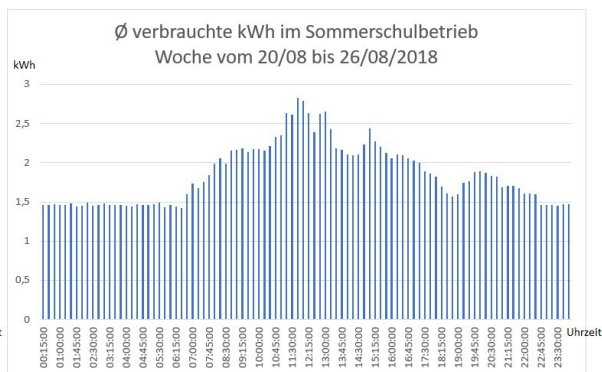
Gesamtverbrauch Woche: 1201,47  
 Durchschnittsverbrauch Wochentag: 185,346  
 Durchschnittsverbrauch Wochenende: 137,37



Gesamtverbrauch Woche: 1088,28  
 Durchschnittsverbrauch Wochentag: 159,3  
 Durchschnittsverbrauch Wochenende: 145,89

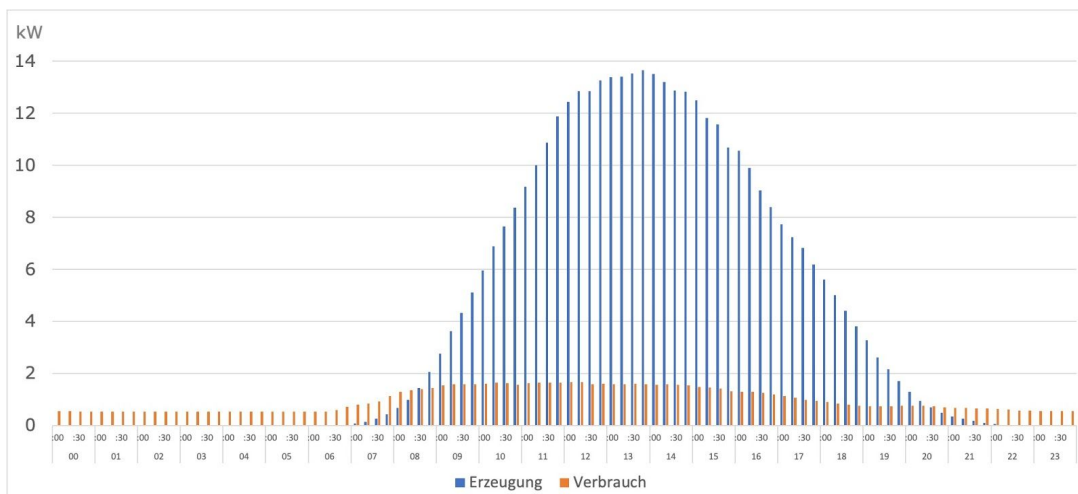


Gesamtverbrauch Woche: 1679,85  
 Durchschnittsverbrauch Wochentag: 272,664  
 Durchschnittsverbrauch Wochenende: 158,265



Gesamtverbrauch Woche: 1244,1  
 Durchschnittsverbrauch Wochentag: 193,23  
 Durchschnittsverbrauch Wochenende: 138,975

Erkennbar ist, dass der durchschnittliche Stromverbrauch in den Winterferien sehr dem im Sommerschulbetrieb ähnelt. Dies kann mit der umfangreichen Ferienbetreuung, die die Laborschule anbietet, erklärt werden. Auch in den Winterferien bietet der Hort Ganztagsbetreuung von 7:30 bis 16:30 an. Dies ist auch in den Peaks erkenntlich. Der Winterschulbetrieb hat den höchsten durchschnittlichen Stromverbrauch. Das liegt hauptsächlich an der Beleuchtung. Geheizt wird mit Fernwärme, weshalb sich dies nicht im Stromverbrauch niederschlägt.



# Wirtschaftlichkeitsprüfung

## Autarkie- und Eigenverbrauchsquote

Ohne Speicher	Mit Speicher
<b>Autarkiequote</b> im Jahresmittel:	
40,84%	87,82%
<b>Eigenverbrauchsquote</b> im Jahresmittel	
18,01%	25,15%

## Investitionen

Anschaffung PV-Anlage (inkl. Montage; Verkabelung; Sicherheit; Wechselrichter)	ca. 90.000€
Jährliche Betriebs- und Wartungskosten betragen 1-2% der Anschaffungskosten	nach 20 Jahren zusätzlich 20.000€
Anschaffungskosten Speicher: H2-Speicher (inkl. Montage) Baucontainer Förderung kfW-Förderbank Zaun/Kontrollrechner/Gasflaschendepot/Sonstiges insgesamte Anschaffungskosten	60.000€ 3.300€ -12.500€ 13.500€ = 67.600€
Alle 5 bis 10 Jahre muss die Brennstoffzelle erneuert werden (in den ersten 10 Jahren gewährleistet)	20.000€

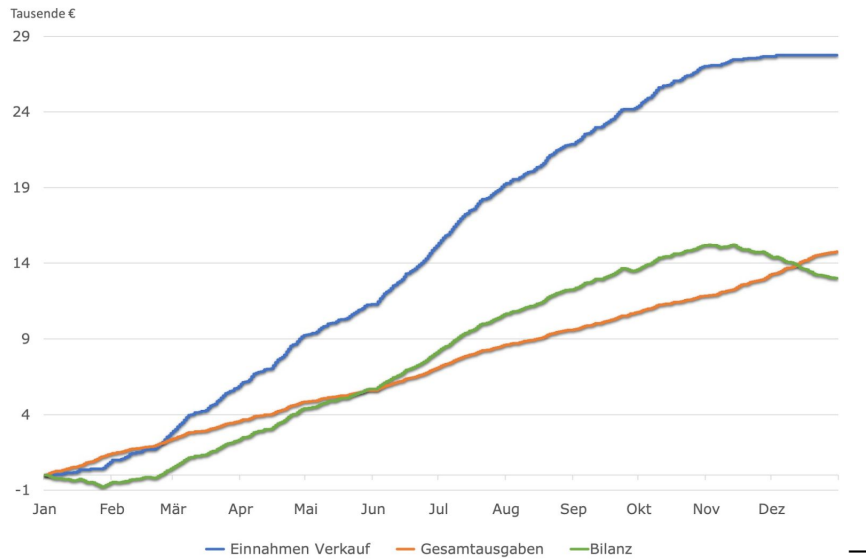
## Finanzierung

**Case 1:** keine Solaranlage; Strom wird immer zugekauft; Annahme 1.5% jährliche Strompreissteigerung

→ Jahresstromverbrauch\*Startstrompreis\*Preissteigerung\*Bilanzierungszeitraum

→ 95.000kWh \* 0,22€/kWh \* 1,015<sup>20</sup> \* 20 Jahre  
= 563.000 € Ausgaben

**Case 2:** Bau der Solaranlage; Stromdirektnutzung; Stromeinspeisung ins Netz; Stromspeicherung



### Bilanzierung der Solaranlage nach einem Jahr

= EEG Vergütung für Netzeinspeisung  
 - EEG Umlage für Eigennutzung  
 - Kosten Einkauf  
 = 27.800€  
 - 10.700€  
 - 4.100€  
 = 13.000€

Nach 20 Jahren wurden 260.000 € eingenommen.

## Bewertung nach 20 Jahren

**Case 1:** 563.000€ Ausgaben für Stromkauf

**Case 2:** Investition Speicher und PV Anlage + Einnahmen der Solaranlage

= - 87.600€                      - 110.000€    + 260.000€  
 = 62.400€ Einnahmen

**Amortisierungsdauer:**      (Gesamtinvestition / jährliche Rückflüsse )  
 = ( 197.600€                      / 13.000€ )  
 = 15,2 Jahre

Nach 15,2 Jahren hat sich das Investment in eine Solaranlage der Laborschule Dresden amortisiert. Durch den direkten Vergleich der Ausgaben von Case 1 und den Einnahmen von Case 2 ergibt sich ein Ersparnis von insgesamt 620.000€.