

GRUPPE 5



BEING INSIDE

DREWAG 

ENSO

*ENTWICKLUNG EINES KONZEPTES ZUR
ERZEUGUNG, SPEICHERUNG UND
NUTZUNG REGENERATIVER ENERGIEN
IN SCHULEN*



Inhaltsverzeichnis

- 1. Wesentliche Bestandteile eines PV-Systems (mit Stromspeicher)**
- 2. Analyse der Dachfläche zur Nutzung**
- 3. Montagevarianten und Anlagendimensionierung**
- 4. Lastgänge**
- 5. Auswahl des Speichertyps**
- 6. Autarkie- und Eigenverbrauchsquote**
- 7. Investitions- und Finanzierungsrechnung**
- 8. Skizze/Modell für das wirtschaftlichste Konzept**
- 9. Skalierungsverfahren für weitere Schulen**
- 10. Sicherheitsaspekte**
- 11. Umweltaspekte des laufenden Betriebs, Entsorgung, Recycling**

Eine Ausarbeitung von:

Nicolle Levisohn, Rica Leitsch, Oliver Böhm, Alexander Persicke, Fabian Glüer, Thomas Bruderrek,
Stephan Schmid, Luisa Recknagel

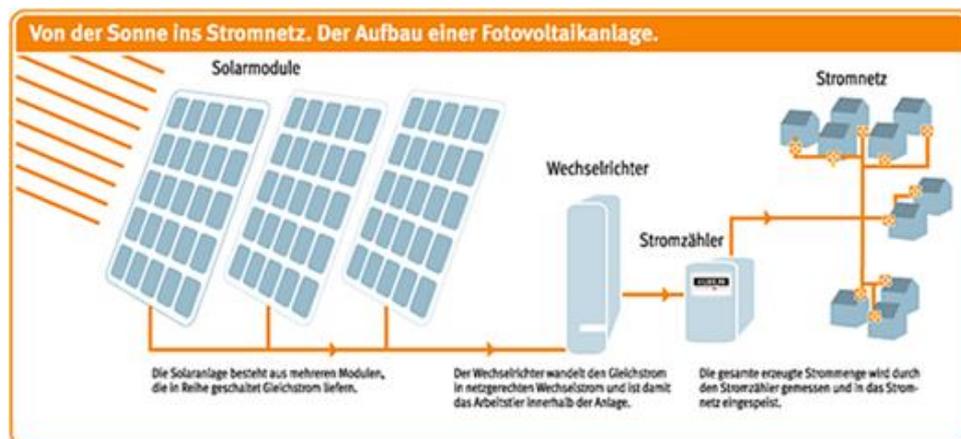
1. Wesentliche Bestandteile eines PV-Systems (mit Stromspeicher)

Ein Photovoltaiksystem dient der Stromerzeugung aus einfallender Sonnenstrahlung. Dazu sind im Wesentlichen folgende Komponenten notwendig:

- **Photovoltaikmodul** → Dient der Umwandlung von einstrahlender Sonnenenergie in elektrischen Strom.
- **Wechselrichter** → Der Wechselrichter wandelt Gleichstrom in Wechselstrom um, damit dieser ins Netz eingespeist oder selbst genutzt werden kann.
- **Zähler** → Der Zähler registriert, wieviel Strom ins Stromnetz eingespeist, bzw. selbst verbraucht wird. Mit einem Zweirichtungszähler können Eigenverbrauch und Einspeisung gleichzeitig mit nur einem Gerät erfasst werden.

Wird der produzierte Strom nicht sofort verbraucht, kann ein Stromspeicher genutzt werden, um diesen überschüssigen Strom für eine spätere Nutzung zu speichern. Dabei sind sowohl Batteriespeicher, als auch chemische Speicher nutzbar.

- **Stromspeicher** → Der Speicher in dem der überschüssige Strom aus den PV-Modulen gespeichert wird. Dazu gehören das eigentliche Speichermedium, sowie die unmittelbar benötigte Regelungselektronik.
- **Laderegler** → Ein Laderegler verhindert Tiefentladungen und Überladungen von Batteriespeichern und damit deren Beschädigung.



Quelle: hesser.de

2. Analyse der Dachfläche zur Nutzung

Vor dem Bau einer Photovoltaikanlage, muss die geplante Baufläche analysiert werden, um sicherzugehen, dass eine problemlose Installation möglich ist.

Zunächst ist der Dachtyp wichtig, da hiervon die Montageart abhängig ist. Auf einem Flachdach werden PV-Module anders installiert als auf einem Schrägdach. Außerdem spielt die Dachausrichtung eine wichtige Rolle.

Dann muss die zur Verfügung stehende Fläche betrachtet werden. Abstände von Dachkanten, Dachaufbauten, Fenstern und Rinnen, sowie entsprechende Abstände verringern die zur Verfügung stehende Fläche.

Beispiel Laborschule Dresden:

Beim Dach der Laborschule Dresden handelt es sich um ein Flachdach, mit den Kantenlängen 17,80 m und 61,59 m. Eine kleine Flächenausbuchtung im Osten des Daches wird aufgrund der geringen Größe (1,80 m x 7,20 m) nicht betrachtet. Die zur Verfügung stehende Gesamtfläche des Daches beträgt somit **1096,3 m²**, davon werden die Abstände zu den Dachkanten abgezogen (2m zu jeder Dachkante). Es verbleiben ca. **795 m²**. Von dieser Fläche werden die Dachaufbauten (Dachaufstieg, Feuerwehirsirene, Lüftungsauslass), sowie eine Abstandsfläche von mind. 0,5 m um die jeweiligen Hindernisse herum abgezogen und eine Fläche **von 780 m²** verbleibt. Abschließend müssen die Wasserablaufrinne, sowie ein geeigneter Abstand (ca. 1m zu jeder Seite). Im Ergebnis verbleiben uns ca. **664,5 m²** als Nutzfläche zur Verfügung.

3. Montagevarianten und Anlagendimensionierung

Die möglichen Montagevarianten hängen primär vom Dachtyp ab. Bei einem Schrägdach reicht die Dachneigung im Allgemeinen für eine effektive Nutzung der PV-Module aus, hier ist dann im Besonderen die Ausrichtung zur Sonne entscheidend.

Bei einem Flachdach ist regelmäßig eine Aufständigung der PV-Module sinnvoll, um die PV-Module effektiv nutzen zu können. Da eine hohe Aufständigung mit großem Schattenwurf einhergeht, sind damit auch größere Abstände zwischen den Modulen notwendig. Kleine Anstellwinkel bedeuten kleinere Abstände, aber auch eine reduzierte Umwandlungseffizienz der PV-Module. Da die Umwandlungseffizienz allerdings mit geringerem Anstellwinkel weniger stark sinkt, als man an Nutzfläche hinzugewinnt, kann bei größeren Flächen eine Nutzung des geringeren Anstellwinkels von Vorteil sein. Nachteilig sind bei einem geringen Anstellwinkel die Schneelast, da der Schnee nicht von alleine abrutscht, sowie der reduzierte Selbstreinigungseffekt durch Regen. Hierdurch wird die Effizienz der PV-Module nachteilig beeinträchtigt. Neigungswinkel und Ausrichtung der PV-Module sind entscheidend. Die Ertragseffizienz, die sich aus Neigung und Ausrichtung ergibt, kann aus folgender Grafik abgeleitet werden:

Prozentanteil vom maximal möglichen Ertrag in Abhängigkeit der Ausrichtung und der Dachneigung

| Dachneigung | | Ausrichtung (Abweichung in Grad von Süden) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------|--|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | | Süd | SüdOst SüdWest | | | | | | | | Ost West | NordOst NordWest | | | | | | | | Nord |
| | | | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | |
| 0° | 87% | 87% | 87% | 87% | 87% | 87% | 87% | 87% | 87% | 87% | 87% | 87% | 87% | 87% | 87% | 87% | 87% | 87% | 87% | 87% |
| 10° | 93% | 93% | 93% | 92% | 92% | 91% | 90% | 89% | 88% | 86% | 85% | 84% | 83% | 81% | 81% | 80% | 79% | 79% | 79% | 79% |
| 20° | 97% | 97% | 97% | 96% | 95% | 93% | 91% | 89% | 87% | 85% | 82% | 80% | 77% | 75% | 73% | 71% | 70% | 70% | 70% | 70% |
| 30° | 100% | 99% | 99% | 97% | 96% | 94% | 91% | 88% | 85% | 82% | 79% | 75% | 72% | 69% | 66% | 64% | 62% | 61% | 61% | 61% |
| 40° | 100% | 99% | 99% | 97% | 95% | 93% | 90% | 86% | 83% | 79% | 75% | 71% | 67% | 63% | 59% | 56% | 54% | 52% | 52% | 52% |
| 50° | 98% | 97% | 96% | 95% | 93% | 90% | 87% | 83% | 79% | 75% | 70% | 66% | 61% | 56% | 52% | 48% | 45% | 44% | 43% | 43% |
| 60° | 94% | 93% | 92% | 91% | 88% | 85% | 82% | 78% | 74% | 70% | 65% | 60% | 55% | 50% | 46% | 41% | 38% | 36% | 35% | 35% |
| 70° | 88% | 87% | 86% | 85% | 82% | 79% | 76% | 72% | 68% | 70% | 58% | 54% | 49% | 44% | 39% | 35% | 32% | 29% | 28% | 28% |
| 80° | 80% | 79% | 78% | 77% | 75% | 72% | 68% | 65% | 61% | 56% | 51% | 47% | 42% | 37% | 33% | 29% | 26% | 24% | 23% | 23% |
| 90° | 69% | 69% | 69% | 67% | 65% | 63% | 60% | 56% | 53% | 48% | 44% | 40% | 35% | 31% | 27% | 24% | 21% | 19% | 18% | 18% |

Quelle: <https://www.photovoltaik-web.de/photovoltaik/dacheignung/dachneigung>

Die Dimensionierung der Anlage hängt von der zur Verfügung stehenden Fläche, der Effizienz, sowie der geforderten Leistung ab.

Auf einem Schrägdach werden PV-Module normalerweise parallel zur Dachfläche montiert. Auf Flachdächern ist oft eine Aufständigung notwendig, die meist zwischen 10° und 30° liegt. Bei einer 30°-Aufständigung werden die PV-Module meist nach Süden ausgerichtet, da man durch die entstehende Verschattung hinter den Modulen relativ hohe Abstände benötigt und daher möglichst viel Leistung aus den Einzelmodulen herausholen möchte.

Bei einer Aufständigung von 10° entsteht eine geringere Verschattung, wodurch kleinere Abstände möglich sind und auf der Modulrückseite ggf. ein weiteres Modul mit Nordausrichtung montiert werden kann. Aus der Grafik kann man ersehen, dass ein solches Modul mit fast 80% Effizienz arbeitet und daher noch eine relativ hohe Leistung erbringt. Noch effizienter wird die 10°-Aufständigung, wenn man die Module in Ost-West-Ausrichtung montiert, da durchgängig mit einer hohen Effizienz gearbeitet werden kann.

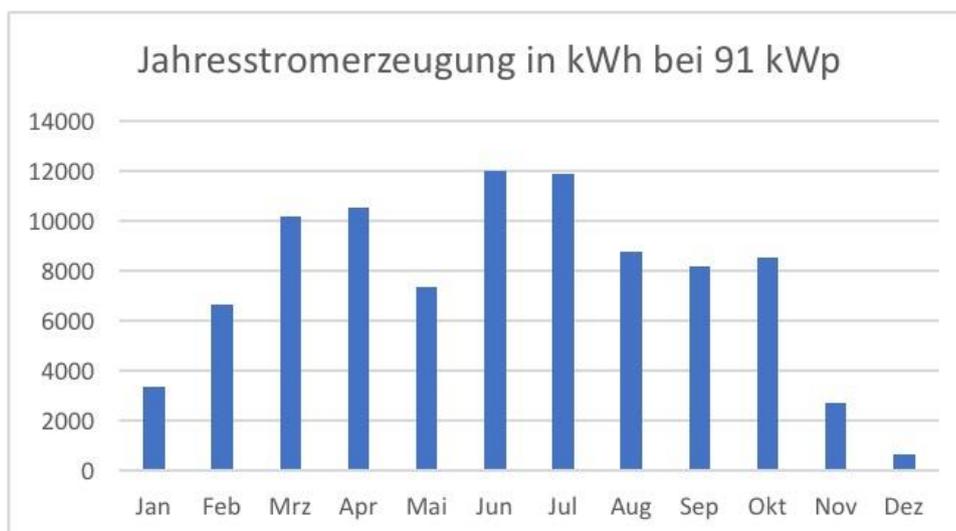
Vergleich der Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Montagevarianten am Beispiel der Laborschule Dresden

| Ausrichtung | Modulanzahl | kWp | Erwartete Jahreserzeugung | Spezifische Jahreserzeugung |
|---|-------------|------|---------------------------|-----------------------------|
| Flach | 301 | 83,5 | 83500 kWh | 1000 kWh/kWp |
| Süd/Nord bei 10 Grad Neigung (Hochkant) | 370 | 102 | 102000 kWh | 1000 kWh/kWp |
| Ost/West bei 10 Grad Neigung | 304 | 84 | 84000 kWh | 1000 kWh/kWp |

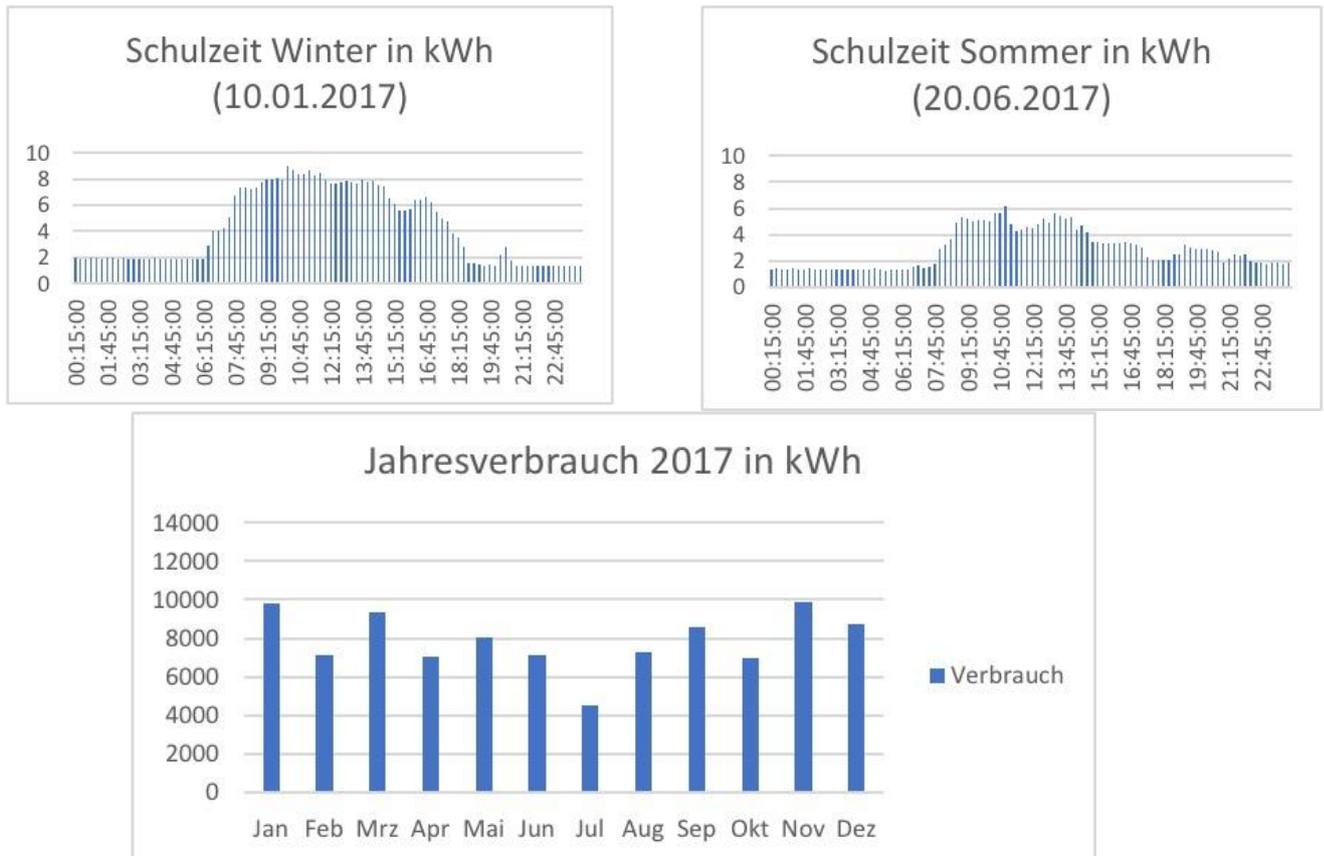
| | | | | |
|---|-----|----|-----------|--------------|
| Süd/Nord bei 10 Grad Neigung (Querkaat) | 304 | 84 | 84000 kWh | 1000 kWh/kWp |
| Süd/Nord bei 30 Grad Neigung (Hochkaat) | 276 | 71 | 71000 kWh | 1000 kWh/kWp |
| Süd/Nord bei 30 Grad Neigung (Querkaat) | 272 | 70 | 70000 kWh | 1000 kWh/kWp |

4. Lastgänge

Lastgang der PV-Anlage (15 min Mittelwerte):



Lastgang des Schultyps (15 min Mittelwerte):



An den hohen Energieverbrauchswerten am Nachmittag kann man erkennen, dass die Schule einen Hort hat.

5. Auswahl des Speichertyps

Die Wahl des Speichers ist komplex und immer für den Einzelfall zu betrachten. Obwohl die Überproduktion im Sommer einen größeren Speicher rechtfertigen würde, fällt im Winter nahezu keine Überproduktion an, so dass hier ein großer Speicher leerlaufen würde. Die Wahl ist daher zugunsten eines 50KW-Speichers getroffen worden. Dieser hat ausreichend Kapazität für positive Eigenverbrauchs- und Autarkiequoten (-> siehe 6.) und lässt sich aufgrund der geringen Maße hervorragend in einem freien Kellerraum der Schule unterbringen.

Aufgrund von verschiedenen Aspekte, wie z.Bsp: Rohstoffgewinnung, Entsorgung, vor allem aber auch der Lebensdauer des Stromspeichers, wurde Folgender für unser Konzept ausgewählt:

ZBM2 Zink-Bromid Flow Batterie

von der Firma Redflow – Vorreiter in der Produktion von Redox-Flow-Batterien (entworfen in Australien, globale Lieferung)

- Kapazität: 10kWh (Max) pro Tageszyklus
- 100% Entladetiefe
- Maße (LxHxB): 845x823x400 (in mm)
- Gewicht: 240 kg mit Elektrolyt
- Wirkungsgrad: ca. 80% DC-DC
- Garantie: 10 Jahre
- Preis: 652,50 €/kWh
 - Der Preis ist gesunken und sinkt weiter, da der Speicher markttauglicher wird

Vorteile Redox-Flow Batterie:

- ✓ Lebensdauer bis 20 + Jahre
- ✓ Wirkungsgrad: ca. 80%
- ✓ 100% Entladetiefe
- ✓ Besser gefördert vom Freistaat Sachsen (mind. 50% Eigenverbrauch)
- ✓ Nicht brennbar, fast 0% Emissionen bei der Herstellung
- ✓ Recyclebar

6. Autarkiequote- und Eigenverbrauchsquote

Eigenverbrauchsquote:

$$e = (\Sigma \text{Erzeugung} - \Sigma \text{Überschüsse} + \Sigma \text{Batteriespeicherung}) / \Sigma \text{Erzeugung}$$

Einheit: [kWh]

Autarkiequote:

$$a = (\Sigma \text{Erzeugung} - \Sigma \text{Überschüsse} + \Sigma \text{Batteriespeicherung}) / \Sigma \text{Erzeugung}$$

Einheit: [kWh]

Mithilfe der ersten Formeln wurde zuerst den Momentanzustand des Speichers alle 15 Minuten errechnet. Damit konnten die Periodendefizite und -überschüsse errechnet werden (Formel 2 und 3).

| E3 | | | | | | | | | |
|--|-------------|-----------|-----------|-----------------|--------------------|---|---|-------------|---|
| =WENN(UND(H2<>H3);0;MIN(B3-C3;\$J\$1)) | | | | | | | | | |
| | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
| 1 | Werte 91kWp | Verbrauch | Differenz | Periodendefizit | Periodenüberschuss | | 0 | <= Speicher | 0 |
| 2 | 0 | 1,35 | -1,35 | -1,35 | 0 | | 0 | | 0 |
| 3 | 0 | 1,38 | -1,38 | -1,38 | 0 | | 0 | | |
| 4 | 0 | 1,35 | -1,35 | -1,35 | 0 | | 0 | | |
| 5 | 0 | 1,35 | -1,35 | -1,35 | 0 | | 0 | | |
| 6 | 0 | 1,32 | -1,32 | -1,32 | 0 | | 0 | | |

| F3 | | | | | | | | | |
|--|-------------|-----------|-----------|-----------------|--------------------|---|---|-------------|---|
| =WENN(UND(H2<>H3);0;MAX(B3-C3;\$J\$1)) | | | | | | | | | |
| | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
| 1 | Werte 91kWp | Verbrauch | Differenz | Periodendefizit | Periodenüberschuss | | 0 | <= Speicher | 0 |
| 2 | 0 | 1,35 | -1,35 | -1,35 | 0 | | 0 | | 0 |
| 3 | 0 | 1,38 | -1,38 | -1,38 | 0 | | 0 | | |
| 4 | 0 | 1,35 | -1,35 | -1,35 | 0 | | 0 | | |
| 5 | 0 | 1,35 | -1,35 | -1,35 | 0 | | 0 | | |
| 6 | 0 | 1,32 | -1,32 | -1,32 | 0 | | 0 | | |

| | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---|-----------------------|-----------|-----------------|--------------------|---|---|---|-------------|---|
| 1 | Werte 91kWp Verbrauch | Differenz | Periodendefizit | Periodenüberschuss | | | 0 | <= Speicher | 0 |
| 2 | 0 | 1,35 | -1,35 | -1,35 | 0 | | 0 | | 0 |
| 3 | 0 | 1,38 | -1,38 | -1,38 | 0 | | 0 | | |
| 4 | 0 | 1,35 | -1,35 | -1,35 | 0 | | 0 | | |
| 5 | 0 | 1,35 | -1,35 | -1,35 | 0 | | 0 | | |

Daraus erhalten wir:

| Photovoltaikleistung | Nutzbare Speicherkapazität | Eigenverbrauchsquote | Autarkiequote |
|----------------------|----------------------------|----------------------|---------------|
| 91 kWp | 50 kWh | 55,7 % | 52,8 % |
| 91 kWp | 10 kWh | 44,7 % | 44,0 % |
| 91 kWp | 100 kWh | 63,0 % | 58,6% |

Die 50 kWh- Variante für den Speicher bietet ein gutes Kosten- Nutzenverhältnis, sodass wir uns für diese Speichergröße entschieden haben.

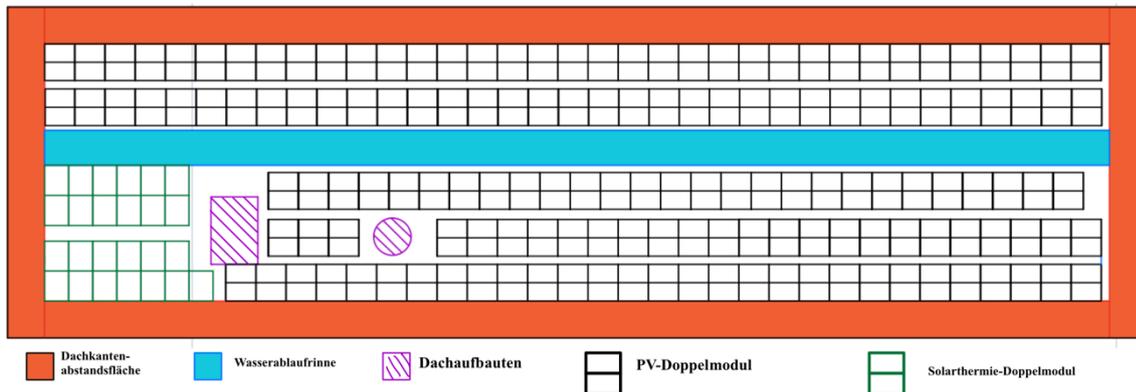
7. Investitions- und Finanzierungsrechnung

Das vorliegende Konzept hat sich als wirtschaftlich günstig herausgestellt, eine genaue Aufstellung der Einflussgrößen und ein Vergleich mit anderen Optionen ist wesentlicher Bestandteil der Präsentation, hier ist ein Ausschnitt dessen zu sehen:

| | | | |
|---|---|-----------------------------|------------|
| Erlöse | | | |
| | Installierte Leistung | in KWP | 108 |
| | tatsächliche Leistung | in KWP | 91 |
| | Installierte Leistung Solarthermie | in KWh | 25 |
| | erzielter Verpachtungserlös Strom | in € je installierter KWP | 82,00 € |
| | erzielter Verpachtungserlös Solarthermie | in € je installierter KWh | 60,00 € |
| Grundkosten | | | |
| | Pacht | in € pro qm | - € |
| Herstellkosten/ Anschaffungskosten | | | |
| | Montage | in € | 63,00 € |
| | Panele | in € | 132,00 € |
| | Montagesystem | in € | 10,88 € |
| | Wechselrichter | in € | 5.660,00 € |
| | Steuereinheit | in € | 109,10 € |
| | Installation Solarthermie | in € je installiertem qm | 250,00 € |
| | Warmwasserspeicher Solarthermie | in € | 2.079,00 € |
| | Installation E-Tankstelle | in € je Tankstelle | - € |
| | Batterie | in € | - € |
| | sonstige Kosten | in € | - € |
| laufende Kosten | | | |
| | Verwaltungsaufwand | in € je KWP | - € |
| | Inspektionen/Wartung/Versicherung Solarmark | in % der Anschaffungskosten | 0% |

Mittels unseres Konzepts indem 91kWp PV-Leistung, 25 kWp Solarthermie-Leistung, 50kWh Batterieleistung und eine Ladestation für Elektro-Autos inbegriffen sind, erhalten wir einen Net-present-value von 75229,94 € über den Bilanzierungszeitraum. Aufgrund von ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist dies für uns die optimale Lösung.

8. Skizze/Modell für wirtschaftlichste Konzept



9. Skalierungsverfahren für weitere Schulen

Mithilfe des eigens gestalteten Excel-Programms können verschiedene Optionen, wie zum Beispiel die Dachausrichtung oder der Dachtyp ausgewählt werden, während unveränderliche Faktoren bereits hinterlegt sind. Dadurch ist eine vergleichsweise einfache Übertragung des Konzepts auf weitere Schulen möglich.

| Grundlagen | | weitere Faktoren | | |
|-------------------------------------|------------------------------|-------------------|--|----------|
| Dachtyp | geneigtes Dach | Wechselrichter | Typ: Sunny Tripower Core2 | Anzahl 1 |
| Ausrichtung Dach | N-S | Montagesystem | Typ: (tric f duo):2 | |
| Grobe Modulausrichtung | N-S | Steuereinheit | Typ: IBC Sol Control Residential | |
| Ausrichtung der (Haupt-)Module in ° | 50 | Speicher | Typ: Redflow ZBM2 | |
| Neigungswinkel der Module in ° | 30 | Modultyp | Typ: Heckert Nemo 325W | |
| Vertikale / Horizontale Ausrichtung | Vertikal | Laufzeit | 20 | |
| x-Länge | 17,8 | kalk Zins | 4% | |
| y-Länge | 61,6 | EEG-Umlage | 0,0659 | |
| Res. Fläche in qm | 1096 | Solarthermie | ja | |
| Res. Nettofläche in qm | brauchst du noch eine Lösung | Modultyp | Typ: Wolf CRK-12 | |
| Korrekturfaktor | 7,5% | Anzahl der Module | 25 | |
| Pauschflächen in qm | 15 | Wasserspeicher | Typ: Wolf SEM-1-1000l | |
| Res. Modulzahl Stk | 236 | Batteriesystem | nein | |
| | | Batterietyp | Typ: redflow ZBM2 ZINK-BROMID FLOW BATTERY | |
| | | Batteriekapazität | 30 | |
| | | E-Autoladestation | nein | |
| | | Typ | Typ: Heidelberg Home Eco | Anzahl 1 |

bitte wählen
 automatische ausgabe

10. Sicherheitsaspekte

Brandschutz:

- Redox-Flow-Batterie ist durch Energiespeicherung in Elektrolytflüssigkeiten sicherer als Alternativen, wie z.B. brennbare Lithium-Akkumulatoren
- Sicherungstrennschalter und Strangschutz

- Blitzschutz des Gebäudes mit Anlage verbunden

Personenschutz:

- Redox-Flow-Batterie verwendet sichere und umweltfreundliche Stoffe, im Gegensatz zu beispielsweise Lithium oder Blei
- Zugangsbeschränkungen für das Dach und die Technikräume
- Arbeiten an der Anlage nur für ausgebildetes Personal erlaubt
- Ausreichender Abstand zur Dachkante und Dachaufbauten

11. Umweltaspekte des laufenden Betriebs, Entsorgung, Recycling

- Redox Flow Batterie erzeugt nahezu 0% Emissionen bei Herstellung
- Redox Flow Batterie ist gut recyclebar (besonders im Gegensatz zur schlecht recyclebaren Lithium-Batterie)
- Alurahmen sehr gut recyclebar

Je nach Einstellung des individuellen Excel-Baukastensystems kann ein unterschiedlicher Umweltscore erreicht werden.

Quellen:

USB-Stick

| | | |
|----------------|-----------------|---|
| Kosten: | PV-Anlage: | https://cutt.ly/xgd7v7l |
| | Allg. Kosten: | https://cutt.ly/vgd5y1w |
| | Wartung: | https://cutt.ly/lgd78Re |
| | Wechselrichter: | https://cutt.ly/lgd7SKk |
| | Solarmodule: | https://cutt.ly/Sgd7Lqe |
| | Reinigung: | https://cutt.ly/Ugd7WJq |
| | Speicher: | https://cutt.ly/jgd5xPz |
| | Solarthermie: | https://cutt.ly/Sgd6SZm |

Beispiel Christian-Rauch-Schule: <https://cutt.ly/Egd4BqS>

Förderprogramme: <https://cutt.ly/Yqd7AbI>

Solarthermie:

file:///C:/Users/49152/AppData/Local/Temp/10.1_Erzeugerdaten_ST.pdf

<https://cutt.ly/Ugd6sa6>

<https://www.solarthermie.net/wirtschaftlichkeit/ertrag>

<https://www.solaranlage-ratgeber.de/solarthermie/solarthermie-planung/die-12-groessten-irrtuemer-ueber-solarthermie>

Analyse Ertrag: <https://cutt.ly/Yqd79IZ>

Speicher: <https://cutt.ly/hgd5Qqq>

<https://cutt.ly/ogd5pyv>

<https://www.primesolar.eu/shop/byd-b-box-lv-pro-10-0-48volt-lithium-batterie-mit-batteriemanagement-schrank/>

Elektrotankstelle:

Installation: <https://www.impulse.de/auto/stromtankstellen/2106427.html?conversion=ads>

Förderung <https://shareandcharge.com/was-kostet-eine-elektroladestation-wovon-haengt-das-ab/>

Stromspeicher Elektroauto und Preise Tankstellenstrom <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/elektroauto-ladesaeulen-strompreise/>

<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>