

**BEING INSIDE**  
**Entwicklung eines Konzeptes zur Erzeugung, Speicherung und Nutzung regenerativen  
Energien in Schulen**

12.10.2020 - 16.10.2020

Gruppe 10

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

Zielsetzung: Mindestens 50% Autarkiequote, Amortisierungsdauer <20 Jahre, möglichst hohe Gesamtleistung, möglichst lange Lebensdauer

Bemerkung: Die Berechnungen dieser Arbeit basieren teilweise auf Simulationsdaten des PV-Planungsprogramms *PV\*SOL 2020*.

### **1. Bestandteile eines Photovoltaiksystem mit Stromspeicher**

Im Wesentlichen besteht ein Photovoltaiksystem aus Solarmodulen, welche als Gleichstromquelle dienen und die umgewandelte Solarenergie über einen Wechselrichter zum Verbraucher leiten.

Üblicherweise wird die gelieferte Leistung direkt vom Verbraucher aufgenommen. Falls die PV-Anlage den Bedarf nicht decken kann, wird zusätzlich Strom aus dem Netz bezogen. Auf der anderen Seite speist die Solaranlage überschüssigen Strom in das örtliche Stromnetz ein. Außerdem besteht die Möglichkeit einen Energiespeicher einzubauen, um Stromspitzen im Lastgang aufzufangen, damit den Eigenverbrauch zu erhöhen und das System autarker zu gestalten. Der Speicher wird aufgeladen, sobald die Solaranlage mehr Energie liefert als benötigt wird.

Eine Reihenschaltung der Module addiert die erzeugten Spannungen, jedoch mit dem Nachteil, dass verschattete oder verdrehte Module die Stromstärke des Systems beschränken oder blockieren. Dies kann umgangen werden, indem die Module parallel geschaltet werden. Dadurch wird die gesamte Stromstärke erhöht, jedoch muss die Sammelleitung nun größer dimensioniert werden, da die Strombelastung steigt.

Eine Kombination aus beiden Varianten schaltet Module in mehreren Strings parallel, während innerhalb eines Strings die Module in Reihe geschaltet werden. Leistungsoptimierer werden meist bei verschatteten Flächen genutzt, um die Effizienz der Anlage zu optimieren, da sie gegebenenfalls schwächere Module identifizieren und abschalten, um Behinderungen durch Module zu vermeiden. Auf schattenfreien Flächen ist dies nicht unbedingt notwendig und Leistungsoptimierer werden primär zu Verbrauchern. Da die PV-Anlage nur Gleichstrom

liefert, muss dieser noch in Wechselstrom umgewandelt werden. Diese Aufgabe übernimmt ein Wechselrichter. Er muss die Peakleistung aller Module aufnehmen können. Sobald er das nicht leisten kann, führt das zu einem Ertragsverlust und schnellerem Verschleiß. Ein Solarwechselrichter enthält in der Regel einen MPP-Tracker (MPP = maximum power point), welcher die Belastung der Module automatisch am Betriebspunkt mit optimaler Leistung hält. Zudem muss der Wechselrichter nach aktuellen Vorgaben die Möglichkeit haben, die Anlage bei Störungen ( z.B. Brandfall ) vom Netz zu trennen.

Um den überschüssigen Strom ins Netz des Betreibers einzuspeisen, wird ein Stromzähler benötigt, welcher in beide Richtungen zählt. Dieser wird ebenfalls im Technikraum montiert, sowie der Stromspeicher und der Wechselrichter.

Bei der Montage auf Flachdächern ständern Flachdachsysteme die Module auf, um die Effizienz zu steigern und das Abfließen von Wasser und Dreck möglich zu machen. Damit das Gestell ohne Schrauben, aber trotzdem wind- und wetterfest montiert werden kann, werden Gewichte an gewünschten Stellen aufgelegt, um das Eigengewicht der Konstruktion zu erhöhen. Diese Art von Gerüst ist schnell aufgebaut und in Mitteleuropa ausreichend wetterfest. [11,12,13,14]

Wenn all die Bestandteile angeschafft und verarbeitet wurden, muss nach ausreichender Prüfung eine Konformitätserklärung abgegeben. Dann kann die Anlage vollständig in Betrieb genommen werden.

## **2. Analyse der Dachflächen zur Nutzung für solare Stromerzeugung**

Einer der ersten Schritte bei der Planung einer Photovoltaikanlage ist die Analyse der Dachflächen, um die Sinnhaftigkeit des Projekts zu prüfen und die Solarmodule möglichst gewinnbringend und platzeffizient anbringen zu können. Grundsätzlich eignen sich die meisten Hausdächer für die Montage einer PV-Anlage, wobei die Dachfläche mindestens 20 Quadratmeter groß und überwiegend unverschattet sein sollte.[15] Zudem muss die statische Tragfähigkeit der Dachkonstruktion geprüft werden. Weiterhin spielt bei Schrägdächern die geographische Orientierung der Dachflächen eine Rolle: Nach Süden ausgerichtete Dachseiten sind optimal, aber auch östlich und westlich orientierte Dächer lassen sich PV-technisch gut nutzen.

In diesem Projekt steht allerdings die Nutzung von Flachdächern im Vordergrund, konkret handelt es sich um ein Dach der Laborschule Dresden. Die statischen Voraussetzungen können bei diesem weit verbreiteten Gebäudetypen i.A. als erfüllt angenommen werden. Bei Flachdächern werden die Solarmodule i.d.R. mit Aufständern montiert. Im nächsten Schritt muss die nutzbare Dachfläche und einhergehend die optimale Anordnung der Solarmodule auf dem Dach ermittelt werden, wobei insbesondere auf Sperrflächen (z.B. durch Blitzschutzleitungen, Dachausstiege, Schornsteine, Dachrinnen etc. nicht nutzbare Flächen) geachtet werden muss. Die Grundlage dazu bilden Architekturzeichnungen (insb. Draufsicht) sowie Fotomaterial der Gebäude. Zur Lösung dieser Aufgabe stehen eine Reihe von Software-

Tools zur Verfügung. Erwähnenswert sind die Tools *Photo Plan* und die Methode der grafischen Belegung in *PV\*SOL 2020*. Ersteres ermöglicht eine fotorealistische Belegung der Dachflächen auf der Grundlage einer Fotodatei des Daches. In letzterem Tool kann die Dachfläche mit ihren konkreten Maßen virtuell angelegt, Belegungs- und Sperrflächen definiert und das Dach anschließend mit Solarmodulen belegt werden. Alternativ kann zur Planung auch ein CAD-Modell des Daches herangezogen werden. Diese Möglichkeit wurde zur Analyse der Dachfläche der Laborschule Dresden genutzt: Zunächst wurde ein CAD-Modell des Daches (einschließlich Dachrinne, Dachausstieg, Feuerwehrsirene, Überdachlüftungselement) sowie der aufgeständerten Solarmodule (vorgegeben: Heckert Solar NeMo 2.0 60 M 325 Wp) erstellt. Anschließend konnten die einzelnen Solarmodule auf der Dachfläche platziert werden und bei optimaler Aufstellung die maximale Anzahl der Module ermittelt werden. Dabei wurde auf die Einhaltung der vorgegebenen Reihenabstände und Abstände zur Dachaußenkante und Entwässerungsrinne geachtet.

### **3. Dimensionierung unterschiedlicher Montagevarianten und deren Vor- und Nachteile**

Am Beispiel von der Laborschule werden unterschiedliche Montagevarianten vorgestellt. Da es sich um ein Flachdach handelt, kommen für unsere PV-Anlage nur drei Montagevarianten in Frage.

Die einfachste Variante ist das Flach-Montieren, bei der die Module der Anlage flach auf Montageschienen gelegt werden. Diese Art von Befestigung kann man berücksichtigen, wenn bei den Kosten für die Aufständering gespart werden soll. [15]

Eine weitere bewährte Montagevariante ist die Süd-Ausrichtung. Die Module sind in der Südrichtung mit dem Aufstellwinkel von ca. 30 Grad aufgestellt. Dies ermöglicht den größten Ertrag pro Modul aber erfordert große Abstände von ungefähr einer Panellänge. Somit werden gegenseitige Verschattungen vermieden. Die Montagevariante der Süd-Ausrichtung kommen vor allem bei älteren PV-Anlagen. Die Preise für ein Modul waren früher viel höher, weshalb die maximale Effizienz pro Modul erforderlich war.

Zuletzt wird die Ost-West-Ausrichtung betrachtet. Das Prinzip davon ist, dass ein Modul in Westausrichtung einem Modul in Ostausrichtung gegenüberliegt und ihre Aufstellwinkel zwischen fünf und fünfzehn Grad betragen. Wegen dieses kleinen Aufstellwinkels ist der Ertrag pro Modul niedriger als bei einer idealen Süd-Ausrichtung. Andererseits ermöglicht diese Variante deutlich größere Platz-Effizienz, da die Module sich gegenseitig nicht verschatten. Dadurch können die Abstände der Module sogar zwischen 20 cm und 40 cm liegen. Dieser Abstand ermöglicht einen problemlosen Zugang zu allen Panels.

Die Ost-West-Ausrichtung weist eine längere Zeitdauer auf, über die die Anlage Strom liefert. Das bedeutet zwar, dass die Spitzenerträge über die Mittagsstunden nicht vorhanden sind, aber dafür fängt die Anlage am Morgen mit der Stromproduktion an und liefert Erträge bis in den späteren Nachmittag. Das ist besonders attraktiv für Gewerbetreibende, die den erzeugten Strom selbst verbrauchen. Unsere Beispielschule braucht Strom von morgens bis zum späten

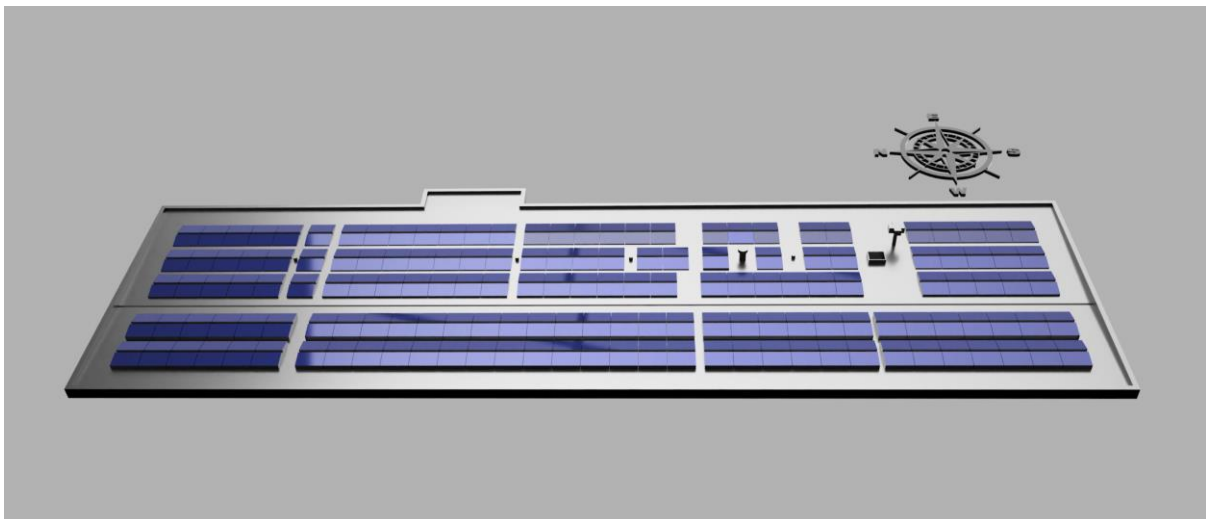
Nachmittag für die Beleuchtung, Heizung, Computer usw., somit ist diese Methode für sie ideal.  
[16]

#### 4. Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen Montagevarianten

Für das Beispielgebäude wurde im CAD die Süd- und Ost-West-Ausrichtung von der PV-Anlage konstruiert. Der Unterschied der beiden Methoden wurde anhand der Modulanzahl festgehalten. Mit dieser Anzahl wurde die Leistung ausgerechnet und in PV\*SOL die Erträge simuliert. Die resultierenden Daten sind in der folgenden Tabelle eingetragen.

Ausrichtung	30° Süd-Ausrichtung	10° Ost-West-Ausrichtung
Fläche [m <sup>2</sup> ]	800	800
Modulanzahl [Stk]	160	306
Leistung [kWp]	52	99,5
Spez. Ertrag [kWh/kWp]	1032,83	901,19

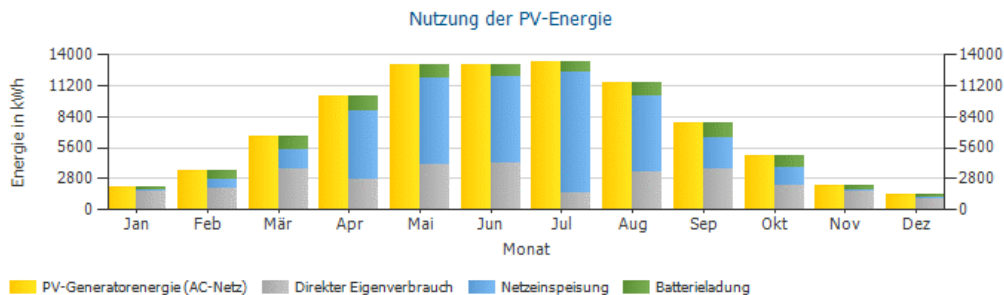
Dieses Ergebnis zeigt, dass bei der gleichen Dachfläche mit der Ost-West-Ausrichtung fast doppelt so viel Module aufgestellt werden können. Das führt bei einem geringeren spezifischen Ertrag zu höherer Leistung. Aus diesem Grund fiel die Entscheidung auf die Ost-West-Ausrichtung.



PV-Anlage mit Ost-West-Ausrichtung

Benutzt wird hier deshalb das „D-Dome 10° Flachdach-System“ der Firma „K2 Systems“. Die Aufständungen sind aerodynamisch optimiert, haben einen Neigungswinkel von 10° und sind wettertauglich. Mit einem Gewicht von 2,5 kg/m<sup>2</sup> wird die Dachfläche mit ca. 6,5 kg/m<sup>2</sup> belastet, was ohne Probleme von dem Schuldach getragen werden kann. Bei Bedarf können noch Gewichte (Ziegelsteine, Kieswannen) hinzugefügt werden, um die Anlage windresistenter zu machen.

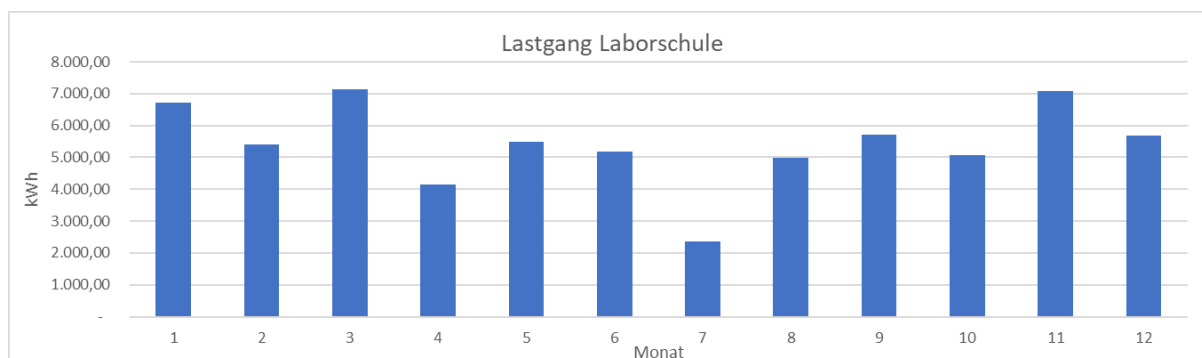
## 5. Lastgang der Photovoltaikanlage



## 6. Skalierung des Lastgang des Hülße-Gymnasiums auf die Laborschule

Zeilenbeschriftungen	Monatlicher Verbrauch [kWh]	Anteil Gesamtverbrauch	skalierter Verbrauch Laborschule [kWh]
Jan	29.456,53	10,313%	6.703,73
Feb	23.785,01	8,328%	5.413,01
Mrz	31.390,37	10,991%	7.143,84
Apr	18.243,88	6,388%	4.151,95
Mai	24.124,18	8,446%	5.490,19
Jun	22.760,06	7,969%	5.179,75
Jul	10.403,00	3,642%	2.367,52
Aug	21.961,56	7,689%	4.998,02
Sep	25.125,67	8,797%	5.718,11
Okt	22.244,88	7,788%	5.062,50
Nov	31.116,33	10,895%	7.081,47
Dez	25.001,72	8,754%	5.689,91
<b>Gesamtergebnis</b>	<b>285.613,20</b>		<b>65.000,00</b>

Um den Lastgang der Laborschule Dresden zu ermitteln, wurde der Lastgang des Hülße-Gymnasiums zu Grunde gelegt. Mithilfe einer Pivottabelle wurden die viertelstündlichen Verbrauchswerte monatlich zusammengefasst, der prozentuale Anteil am Gesamtverbrauch ermittelt und diese anschließend auf die Laborschule Dresden skaliert. Dabei wird von einem jährlichen Verbrauch von 65.000 kWh ausgegangen. Folgende Grafik veranschaulicht den Lastgang.



## 7. Autarkie- und Eigenverbrauchsquote, deren Beeinflussung durch die Speichergröße und Auswahl des Speichertyps

Oft bietet es sich an, eine PV-Anlage mit einem Speichersystem zu kombinieren. Dadurch wird überschüssige Solarenergie nicht direkt ins Netz eingespeist, sondern kann zwischengespeichert werden. Damit kann ein größerer Teil des erzeugten Solarstroms für den Eigenverbrauch genutzt werden und somit die Autarkie des Systems erhöht werden.

Um den Nutzen und die Effektivität einer Photovoltaikanlage beurteilen zu können, sind die Autarkie- und Eigenverbrauchsquote zu betrachten. Letztere gibt den prozentualen Anteil des eigenverbrauchten Solarstroms am gesamt produzierten Solarstrom an. Dahingegen beschreibt die Autarkiequote den Anteil des eigenverbrauchten Solarstroms am Gesamtstromverbrauch.

Üblicherweise werden lithiumionenbasierte Speichermittel genutzt. Mittels des Simulationsprogramms PV\*SOL wurden für die Ost-West-Montage von 306 Solarmodulen der Einsatz mehrerer Speichergrößen simuliert:

Speichergröße [kWh]	0	9,3	48	67	2 x 48
Autarkiequote [%]	48,8	52,8	63,4	66,4	66,7
Eigenverbrauchsquote [%]	35,5	38,6	47,9	48,8	51,2
Preis (Näherungswert) [€]	0	9.000	43.000	58.000	86.000
Haltbarkeit (Näherungswert) [a]	-	14	30	30	30
Amortisationsdauer [a]	-	11	15,3	17	22

Die obenstehende Tabelle zeigt, dass mit steigender Speichergröße sowohl die Autarkie- und Eigenverbrauchsquote, aber auch der Anschaffungspreis und damit die Amortisationsdauer steigen. Aufgrund der Zielsetzung des Projekts, fiel die Entscheidung auf eine mittlere Speichergröße von 48 kWh. Ein Upgrade auf höhere Speichergrößen triebe vor allem den Anschaffungspreis in die Höhe, der keinen gerechtfertigten Mehrwert bzgl. Autarkiequote bietet.

Aufgrund aller obenstehenden Kriterien, fiel die Wahl auf die Zusammenschaltung von neun SMA STP10.0 Wechselrichtern, sowie des SMA SI8.0 + TesVolt TS50 Speichersystems.

## 8. Wesentliche Parameter und Einflussfaktoren der Investitions- und Finanzierungsrechnung

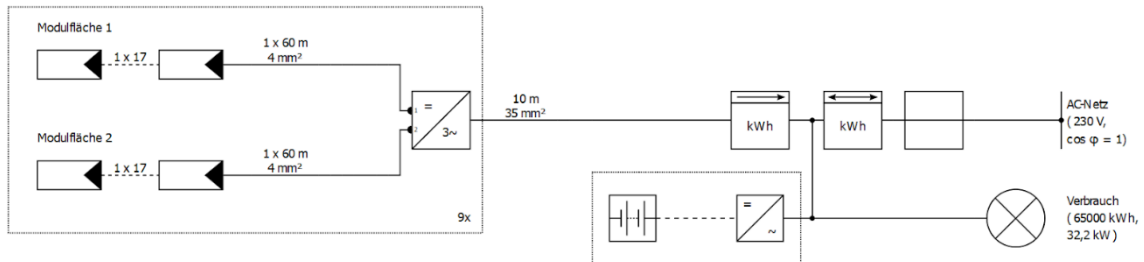
Wesentliche Parameter unseres Konzepts sind wie folgt angenommen. Die Investitionsentscheidung basiert auf Vergleichen mehrerer Fördermöglichkeiten und ist in folgender Auflistung enthalten. Die spez. Investitionskosten implizieren den Pauschalbetrag von 900€/kWp für die Module und Montage. Wechselrichter, sowie Speichersysteme wurden diesem zuaddiert.

Betrachtungszeitraum [Jahre]	20
<b>Wirtschaftliche Kenngrößen</b>	
Kumulierter Cashflow [€]	27.850,45
Amortisationsdauer [Jahre]	17,5
<b>Zahlungsübersicht</b>	
Spez. Investitionskosten [€/kWp]	1.471,24
Investitionskosten [€]	146.314,82
Jährliche Kosten (2% d. Investition) [€/Jahr]	2.926,30
<b>Fremdfinanzierung 100%</b>	
Bezeichnung	KfW Förderung
Fremdkapital [€]	146.314,82
Laufzeit [Jahre]	20,00
Zinssatz	1,03
<b>Vergütung und Ersparnisse</b>	
Gesamtvergütung im ersten Jahr [€/Jahr]	2.253,02
Ersparnisse im ersten Jahr [€/Jahr]	9.091,63
<b>EEG Umlage</b>	
Gültigkeit	13.10.2020-21.12.2040
Spez. Einspeisevergütung [€/kWh]	0,0734
Einspeisevergütung [€/Jahr]	3.406,91
<b>EEG Umlage auf Eigenverbrauch</b>	
Gültigkeit	13.10.2020-12.10.2040
Spez. Eigenverbrauchsabgabe [€/kWh]	0,027
Eigenverbrauchsabgabe [€/Jahr]	1.153,89
<b>Stromtarif</b>	
Arbeitspreis [€/kWh]	0,22
Grundpreis [€/Monat]	6,90
Preisänderungsfaktor Arbeitspreis [%/Jahr]	2

## 9. Grafische Darstellung des Wirtschaftlichstes Konzept

In der folgenden Grafik wird der Schaltplan für die konzipierte Anlage dargestellt. Die Messung erfolgt über zwei Richtungsstromzähler. Außerdem wurde sich dafür entschieden, dass

zwischen den Modulen und dem Verbraucher ein Speicher angeschlossen wird. Die 306 Module sind in 18 Strings unterteilt. Jeweils 2 Strings sind an einem MPP-Tracker angeschlossen. Die Anordnung der Modulflächen ist in der Grafik unter dem 4. Aufgabenpunkt zu sehen.



## 10. Nachvollziehbares Skalierungsverfahren für weitere Schultypen

Ein mögliches Skalierungsverfahren für weitere Schulen mit Flachdach könnte wie folgt aussehen: Zunächst wird eine Standortanalyse durchgeführt, umliegende Gebäude oder Bäume identifiziert, die das Dach beschatten würden um die Notwendigkeit von Leistungsoptimierern zu ermitteln. Zudem wird die Ausrichtung der Gebäude untersucht. Falls sie überwiegend in der Nord-Süd Richtung steht, kann weiter an der Umsetzung des vorgestellten Konzepts festgehalten werden. Falls das Gebäude aber in der Ost-West Richtung liegt, muss eine Untersuchung von der idealen Dachbelegung durchgeführt werden. Abschließend wird eine Simulation zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit über 20 Jahre durchgeführt

## 11. Sicherheitsaspekte und Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit

Photovoltaikanlagen und Anschlussleitungen müssen gegen Überlast, Kurzschluss und Rückströmung abgesichert werden. Rückströme können durch Kurz- oder Erdschluss und durch Abschattung von PV-Modulen entstehen und können Kabelschäden und Bränden verursachen. Bei einem Brandfall helfen Hinweisschilder, die auf die Existenz der PV-Anlage hinweisen und ein Übersichtsplan auf dem spannungsführende Teile markiert sind.

Des Weiteren sollten Kabel und Steckverbindungen nicht freiliegend installiert und vor Feuchtigkeit geschützt werden. Durch die Einbindung in ein professionelles Blitzschutzkonzept mit entsprechendem Überspannungsschutz ist die Anlage vor Blitzeinschlägen geschützt.[6]

## 12. Umweltaspekte des laufenden Betriebs, sowie Entsorgung bzw. Recycling der Betriebsmittel

Trotz das Photovoltaikanlagen bei der Installation, Produktion und dem anschließenden Abbau reichlich Energie und Kapazitäten verbrauchen, wird diese verbrauchte Energie nach wenigen Jahren der Inbetriebnahme amortisiert. Des Weiteren ging aus einer Studie aus dem Jahr 2013 der „bifa Umweltinstitut GmbH“ hervor, dass PV-Anlagen lediglich 5-10% der Umweltbelastung fossiler Energieträger verursachen.



Da erneuerbare Energiemethoden sowohl klimaneutraler als auch auf lange Zeit gesehen kostengünstiger sind, lohnen sich jegliche Investitionen in die Produktion, Installation und Umsetzung von Photovoltaiksystemen. Im Gegensatz dazu ist die Herstellung von Photovoltaikmodulen weiterhin ein Problem. Neben schlechten Arbeitsbedingungen in den Abbaugebieten von Silizium und anderen notwendigen Rohstoffen, hat die Gewinnung der notwendigen Materialien einen extremen negativen Einfluss auf das umliegende Ökosystem. [1,2,4] Zur Entsorgung unseres in die Jahre geratenen Lithium-Ionen-Speichers haben wir uns dazu entschieden diesen einem Konzept zu spenden, wobei gebrauchte Lithium-Ionen-Batterien verwendet werden. Ein Beispiel dafür wäre die Johan Cruyff Arena in Amsterdam, welche für Ihren Energiespeicher second-hand Autobatterien verwendet.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt und nachdem aktuellen Stand der Technik ist die Recycling der Solarmodule gut möglich. Der Glasanteil kann mit relativ einfachen Methoden wiederverwertet werden, während der restliche Anteil (z.B. Solarwafer) komplizierter und aufwändiger Verfahren bedarf. Letztere sind jedoch noch nicht vollständig erforscht und bieten somit Optimierungspotential. [2]

### **13. Ausblick**

#### Idee: Anzeige PV-Daten Eingangshalle

Eine PV-Anlage auf dem Dach einer Schule ist ein gutes Zeichen für die gesellschaftlich notwendige Energiewende. Sie produziert umweltschonend Strom und ist ein Grund dafür, dass die Schüler intensiv mit den ökologischen, ökonomischen und technischen Aspekten erneuerbarer Energien befassen. Dafür wird ein Monitor in der Eingangshalle der Schule installiert. Auf diesem werden verschiedene Daten visualisiert, z.B. die pro Tag produzierte und verbrauchte Solarenergie sowie die insgesamt eingesparte CO<sub>2</sub>-Emission. Schüler und Lehrer können sich somit jeder Zeit über den Betriebszustand der Solaranlage informieren. Die Betriebs- und Umweltdaten können für den Unterricht genutzt werden, wodurch zusätzliche Möglichkeiten einer experimentellen und pädagogischen Nutzung der PV-Anlage entsteht. Somit wird jeder Schüler im Laufe seiner Schullaufbahn mit dem Thema erneuerbarer Energien konfrontiert.

#### Idee: Wasserstoffspeicher als umweltfreundliche Alternative

Die beste Alternative für einen Lithium-Ionen-Speicher wäre ein auf Wasserstoff basierender Energiespeicher. Diese bieten die Möglichkeit die überschüssige Energie auf chemischem Wege in großen Mengen zwischenspeichern zu können. Durch den Vorgang der Wasserelektrolyse wird Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Mit Hilfe einer Brennstoffzelle, welche in der Regel nach 10 Jahren ausgetauscht werden muss, kann anschließend eine stabile Rückverstromung garantiert werden. Diese Technik ist hinsichtlich wesentlicher Sicherheitsaspekte aktuell noch nicht marktbreit, jedoch sind die Vorteile solch eines Systems außerordentlich breit gefächert.

## Anhang

- [1] [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/4\\_tab\\_umw\\_eltkost-stromerzeug\\_2019-01-17.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/4_tab_umw_eltkost-stromerzeug_2019-01-17.pdf), abgerufen am 14.10.2020 10:30 Uhr
- [2] Kaltschmitt, M., Streicher W., & Wiese A. (2013). Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte (5. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag
- [3] [https://www.energieatlas.bayern.de/thema\\_sonne/photovoltaik/umweltaspekte.html](https://www.energieatlas.bayern.de/thema_sonne/photovoltaik/umweltaspekte.html), abgerufen am 13.10.2020 11:45 Uhr
- [4] <https://www.strom-magazin.de/ratgeber/photovoltaik-umwelt/>, abgerufen am 13.10.2020 9:15 Uhr
- [5] DIN 4426:2017-01 Einrichtungen zur Instandhaltung baulicher Anlagen – Sicherheitstechnische Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege – Planung und Ausführung
- [6] <https://de.blog.milkthesun.com/5-tipps-zur-sicherung-ihrer-solaranlage/>, abgerufen am 14.10.2020 11:45 Uhr
- [7] [https://www.siemens.be/in/documentation/upload/documents/120\\_ds\\_NormgerechteKomponentenfrPhotovoltaikAnlagen\\_DE\\_2945.pdf](https://www.siemens.be/in/documentation/upload/documents/120_ds_NormgerechteKomponentenfrPhotovoltaikAnlagen_DE_2945.pdf), abgerufen am 13.10.2020 9:45 Uhr
- [8] <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/865>, abgerufen am 12.10.2020 15:30 Uhr
- [9] <https://www.electrive.net/2018/07/02/amsterdam-arena-versorgt-sich-mit-3-mw-speicher/>, abgerufen am 14.10.2020 14:50 Uhr
- [10] <https://www.sonderabfall-wissen.de/wissen/recycling-und-entsorgung-von-e-auto-batterien/>, abgerufen am 13.10.2020 16:45 Uhr
- [11] <https://www.elektro.net/79921/sicherheitsrisiken-bei-solaranlagen/>, abgerufen am 14.10.2020 10:15 Uhr
- [12] <https://www.sma-sunny.com/was-macht-ein-sma-wechselrichter/>, abgerufen am 14.10.2020 10:30 Uhr
- [13] <https://www.wegatech.de/ratgeber/photovoltaik/planung-und-installation/montage/>, abgerufen am 14.10.2020 14:00 Uhr
- [14] <https://www.techmaster.de/2018/03/22/leistungsoptimierer-fuer-photovoltaikanlagen-was-sie-bringen-wann-sie-sinnvoll-sind/>, abgerufen am 12.10.2020 16:30 Uhr
- [15] <https://www.wegatech.de/ratgeber/photovoltaik/planung-und-installation/montage/>, abgerufen am 12.10.2020 15:00 Uhr
- [16] <https://www.photovoltaik.eu/planung-wartung/ost-west-anlagen-bringen-40-prozent-mehr-ertrag>, abgerufen am 14.10.2020 13:30 Uhr
- [17] <https://www.rechnerphotovoltaik.de/photovoltaik/voraussetzungen/dachflaeche>, abgerufen am 14.10.2020 13:35 Uhr
- [18] <https://www.tuvsud.com/de-de/dienstleistungen/produktpruefung-und-produktzertifizierung/risikobeurteilung> abgerufen am 14.10.2020 14:47 Uhr
- [19] <https://www.homepowersolutions.de/> abgerufen am 14.10.2020 15:02 Uhr