

Klimaneutrales ABH – Welchen Beitrag kann Photovoltaik leisten?

Sara Dicks und Fridolin Schwander

10. Februar 2021

sara.dicks@posteo.de, fridolin.schwander@gmx.de

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Projektseminars: „Werde Solar-Coach - ein transdisziplinäres Projektseminar“ am Zentrum für Angewandte Kulturwissenschaft am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) gemeinsam mit der Karlsruher Energie- und Klimaschutzagentur (KEK), Vertreter*innen der Studierendenwohnheime Augustin-Bea-Haus (ABH) sowie Reinhold-Schneider-Haus (RSH), dem Projekt Klimaschutz gemeinsam wagen und dem Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse sowie der Karlsruher Schule der Nachhaltigkeit.

Die Veranstaltung ist Teil von Energietransformation im Dialog, ein Projekt der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren



Dozenten: Marius Albiez, Volker Stelzer, Richard Beecroft

„Klimaneutrales ABH – Welchen Beitrag kann Photovoltaik leisten?“ by Sara Dicks and Fridolin Schwander is licensed under [CC BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Einleitung..... | 1 |
| 2 | Warum Photovoltaik?..... | 3 |
| 3 | Technischer Überblick über Photovoltaikanlagen..... | 7 |
| 4 | Rahmendaten | 10 |
| 5 | Technische Varianten | 12 |
| 5.1 | Technische Variante 1 | 12 |
| 5.2 | Technische Variante 2 | 17 |
| 5.3 | Technische Variante 3 | 20 |
| 6 | Empfehlung/ Fazit..... | 21 |
| 7 | Literatur | 23 |

1 Einleitung

Der gemeinsame Wille die Energiewende aktiv mitzugestalten und einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung zu leisten sind der Ursprung und die Motivation der folgenden Arbeit. Der voranschreitende, menschengemachte Klimawandel und die direkten Folgen sind in den letzten Jahren immer ersichtlicher und spürbarer geworden. Die zerstörerischen Waldbrände in Australien und den USA, große Dürren und Überschwemmungen in Entwicklungsländern südlicher Breiten, das Abschmelzen der Gletscher oder trockene Wälder in der eigenen Umgebung beispielsweise sind Ereignisse, die sich in der Berichterstattung von Fernsehsendern und Zeitungen häufen. Sie haben sich in unser Gedächtnis eingebrannt und bedrohen die Lebensqualität zukünftiger Generationen und Lebewesen.

Die bekannte Klimaaktivistin Greta Thunberg und die entstandene Klimabewegung „FridaysforFuture“ fordern, deshalb seit geraumer Zeit beharrlich die Einhaltung des Pariser Klimaabkommens und des „1,5°C Zieles“. Damit künftige Generationen in der Lage sind ihre Bedürfnisse genauso wie wir heute, befriedigen zu können, haben die EU und Deutschland ambitionierte Klimaschutzziele formuliert. Die Treibhausgasemissionen sollen bis 2050 im Vergleich zu 1990 um 80-95% gesenkt werden. [2] Außerdem soll der Anteil an Erneuerbarer Energien am Energieverbrauch bis 2050 60% betragen. Das Bezugsjahr ist ebenfalls 1990. [2] Knapp mehr als 1/3 des Endenergieverbrauchs in Deutschland ist gebäudebezogen und zeigt wie wichtig die Themen Energieeffizienz und Erneuerbare Energien im Hinblick auf CO₂ Einsparungen sind. [1] Gut gedämmte und wärmebrückenfreie Gebäudehüllen sowie die Eigenproduktion von Strom und Wärme durch Photovoltaik (PV) und Solarthermie sind wichtige Elemente des Klimaschutzes und sind daher unverzichtbar. Ein Blick auf das Karlsruher Solarkataster und in die Umwelterklärung der Stadtwerke Karlsruhe zeigen aber, dass das Potential von Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) bisher noch nicht voll erkannt wurde. Im Jahr 2017 betrug der Deckungsgrad von PV-Strom am Gesamtverbrauch magere 1,7%. Bei einer perfekten Ausnutzung aller geeigneten Dachflächen könnte allerdings ein Deckungsgrad von 54% erzielt werden. [3]

Damit die große Herausforderung Energiewende funktionieren kann, benötigt es einen guten Informationsstand zum Potential von erneuerbaren Energien und der Teilhabe und dem Engagement möglichst aller Betroffenen. Natürlich bedarf es auch an Vordenkern und Vorreitern, die den Mut haben vorweg zu gehen und neue Wege zu wählen, um dann als Vorbild fungieren zu können. Ein genau solches Vorbild bzw. Vorreiter könnte das Studentenwohnheim „Augustin-Bea-Haus“ (ABH) hinsichtlich Klimaneutralität in Karlsruhe und deutschlandweit für andere Studentenwohnheime werden.

Der übergeordnete Zweck dieses Berichts ist es ein Teil der Energiewende zu werden, indem wir am konkreten Projekt „Klimaneutrales ABH – Welchen Beitrag können Solaranlagen leisten?“ die technische Umsetzbarkeit einer PV-Anlage auf dem Dach des Studentenwohnheims „Augustin-Bea-Haus“ (ABH) untersuchen. Ziel ist es dabei der Erzdiözese Freiburg und dem Träger des ABH die Katholische Gesamtkirchengemeinde Karlsruhe eine umfangreiche Informationsgrundlage zur Umsetzung einer PV-Anlage zu bieten und eine Entscheidung hinsichtlich der Umsetzung einer PV-Anlage zu vereinfachen. Dieser Bericht hat keinen gutachterlichen Charakter, sondern fußt auf Beratungsgesprächen mit der Karlsruher Energie- und Klimaagentur (KEK) und zwei unabhängigen Solarinstallateuren sowie einer ausführlichen Literaturrecherche.

Dieser Bericht gliedert sich wie folgt: Im ersten Teil zeigen wir die Vorteile von Photovoltaikanlagen auf und beantworten die Frage: Wieso sollten überhaupt Photovoltaikanlagen auf Dächern installiert werden? Im zweiten Teil informieren wir über den aktuellen Stand der Technik von Solaranlagen und gehen der Frage nach: Welche Technologien sind zurzeit verfügbar und werden auf Flachdächern verwendet? Im dritten Teil richten wir dann den Blick auf das Augustin-Bea-Haus und schauen uns alle relevanten Rahmendaten an. Im vierten Teil, dem Hauptteil werden drei technische Ausführungen von PV-Anlagen betrachtet und hinsichtlich wirtschaftlicher und ökologischer Faktoren untersucht. Mit einem Fazit und einer Empfehlung schließen wir unseren Bericht ab.

2 Warum Photovoltaik?

Um diese Frage beantworten zu können, müssen wir zuerst ein wenig ausholen und ein Blick auf den aktuellen Primärenergieverbrauch von Deutschland werfen. Im folgenden Bild 1 ist der Primärenergieverbrauch von Deutschland aus dem Jahr 2018 zu sehen. [1] Aus dem Schaubild geht hervor, dass nur etwa 14 % auf die Erneuerbaren Energien entfallen, dahingegen kommen die fossilen Energieträger wie Kohle, Erdgas und Mineralöl auf einen Anteil von knapp 80%. Im zweiten Bild ist die Entwicklung des

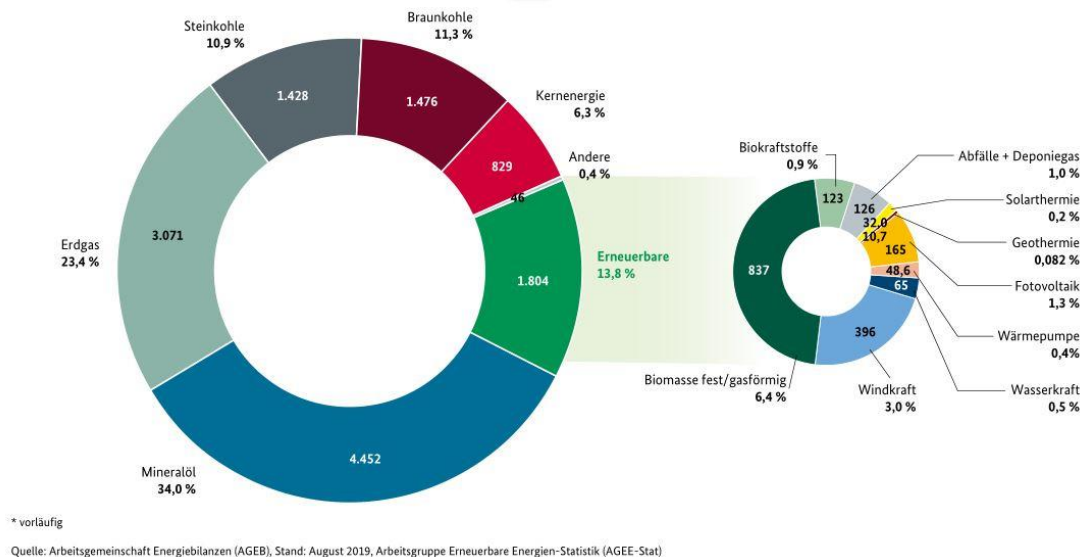


Bild 1: Primärenergieverbrauch in Deutschland 2018 [1]

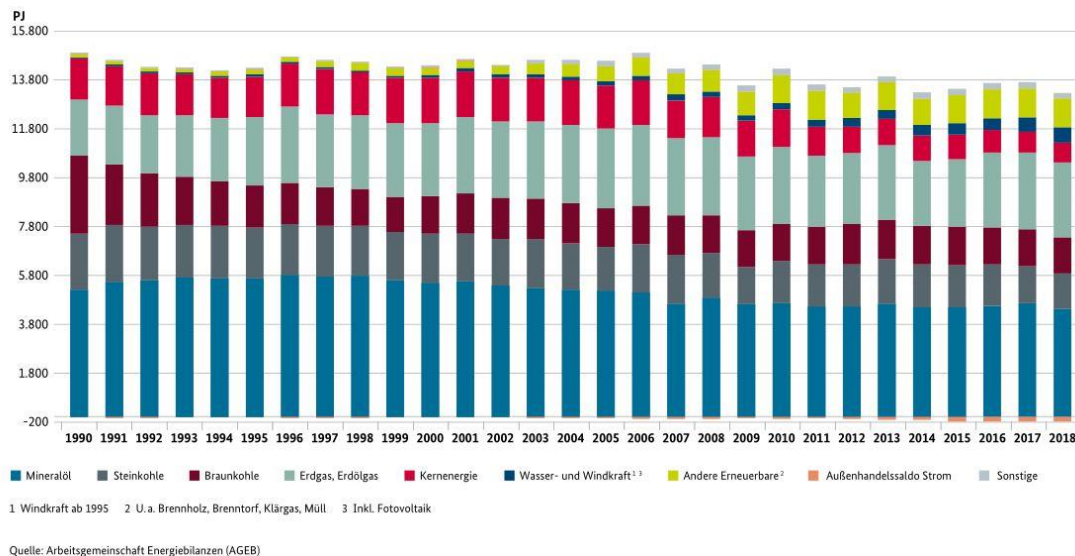


Bild 2: Primärenergieverbrauch in Deutschland ab 1990 [1]

Primärenergieverbrauchs seit 1990 bis 2018 zu sehen. Seit 2006 ist eine leichte Tendenz hin zu einer Abnahme des Primärenergieverbrauchs zu erkennen. Diese Abnahme ist allerdings sehr gering und der Primärenergieverbrauch als nahezu konstant zu betrachten. Weltweit wächst der Primärenergiebedarf sogar und der damit einhergehende Energieverbrauch. Mit dem wachsenden Energiebedarf weltweit bzw. dem annähernd konstanten Energiebedarf in Deutschland gehen allerdings zwei Hauptprobleme einher. [vgl. 4, S. 25]

Das erste Problem ist, dass die stark nachgefragten fossilen Quellen endlich sind und die starke vergangene und momentane Nutzung zu einer Verknappung eben dieser führen. Die Verknappung hat sich in den letzten Jahren schon durch steigende Preise bemerkbar gemacht und wird auch in Zukunft zu stark steigenden Preisen führen. [vgl. 4, S. 26]

Das zweite noch größere Problem stellt der Klimawandel dar. Durch das Fördern und verbrennen der fossilen Energieträger werden in kürzester Zeit gigantische Mengen CO₂ freigesetzt, sodass die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre stark ansteigt. Durch den Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre schreitet der Treibhausgaseffekt voran, die Ursache des anthropogenen Klimawandels. [vgl. 4, S. 27] Um den Klimawandel abzubremsen, hat sich Deutschland freiwillig verpflichtet seine Treibhausgasemissionen bis 2050 im Vergleich zu 1990 um 80-95% zu senken und die Erneuerbaren Energien auszubauen, bis sie einen Anteil von 60% am gesamten Energieverbrauch haben.

Eine zentrale Rolle kommt dabei der Solarenergie zu, insbesondere der Photovoltaik, als erneuerbare Energie verbraucht sich ihr Energieangebot nämlich nicht. Die Sonne geht jeden Tag auf und gilt als unerschöpflich. Die Photovoltaik wird in unserer nachhaltigen Energiezukunft eine zentrale Rolle spielen. Das PV-Modul ist eine bemerkenswerte Erfindung, da es die frei und überall auf der Welt zur Verfügung stehende Sonnenstrahlung in elektrische Energie umwandeln kann. [vgl. 5, S. 1] Die Sonnenstrahlung steht zwar überall kostenlos zur Verfügung allerdings ist das Strahlungsangebot örtlich verschieden. Das folgende Bild 3 zeigt die Globalstrahlungssummen in Deutschland. Anhand des Schaubilds wird ersichtlich in welchen Regionen Deutschlands die globale Sonneneinstrahlung hoch ist. Die globale Sonneneinstrahlung wird als mittlere Jahressumme in Kilowattstunden pro Quadratmeter (kWh/m²) angegeben und ist ein grundlegender Parameter für die Ertragsberechnung einer PV-Anlage. Aus der Karte des Deutschen Wetterdienstes wird ersichtlich,

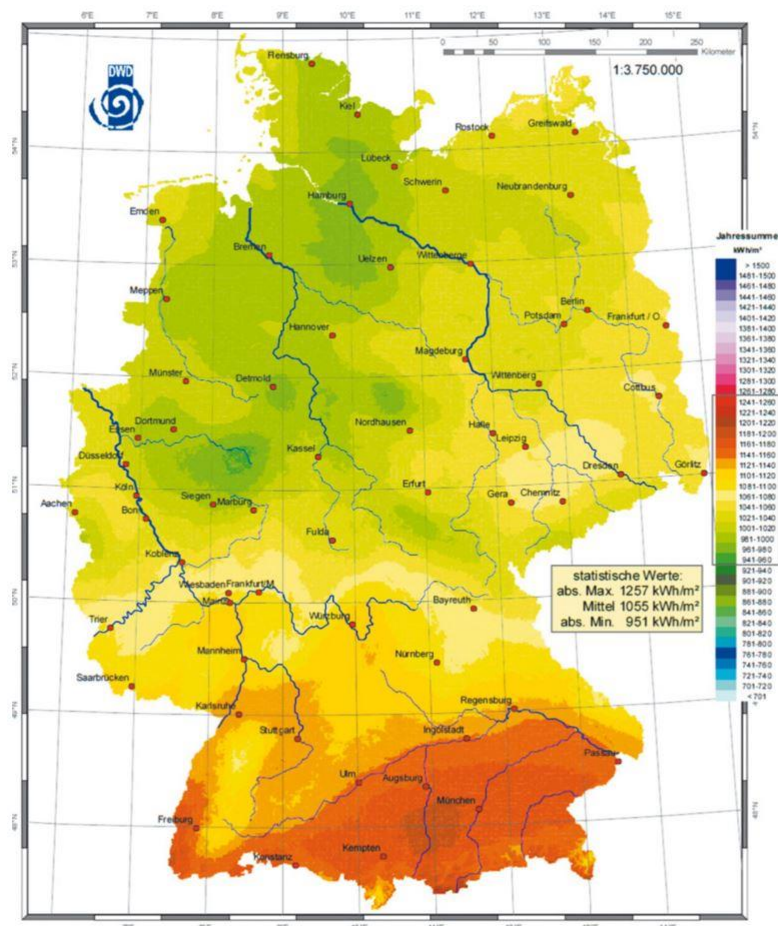


Bild 3: Globalstrahlungssumme in Deutschland [6]

dass ein und dieselbe PV-Anlage in Freiburg oder Konstanz höhere jährliche Erträge erzielen wird als zum Beispiel in Hamburg. [6]

Karlsruhe befindet sich in dem orange gekennzeichneten Bereich mit einer Jahressumme von 1121-1140 kWh/m² und liegt damit über dem deutschen Mittelwert von 1055 kWh/m². Karlsruhe ist daher in Deutschland ein super potentieller Standort für ein PV-Modul.

Um das Klimaschutzpotential von PV-Anlagen bewerten zu können, müssen die verursachten Emissionen über den gesamten Lebenszyklus betrachtet werden. Dies hat die Energieagentur von Nord-Rhein-Westfalen getan und in einer Präsentation aufbereitet. Sie kommt zu dem Ergebnis, dass pro erzeugter kWh Solarstrom ca. 50 Gramm CO₂ entstehen, bezogen auf den gesamten Lebenszyklus einer Dachanlage in Deutschland. Braunkohle benötigt im Vergleich 1075 Gramm CO₂ also ein Vielfaches mehr. Steinkohle folgt mit 830 Gramm CO₂. [7]

Zahlen des Umweltbundesamtes unterstreichen die Klimafreundlichkeit von Photovoltaik. Laut dem Bericht vermeidet jede erzeugte Kilowattstunde Photovoltaikstrom derzeit 627 Gramm CO₂. [8] Um ein Gefühl für die Größenordnung zu bekommen hat das Solar Cluster Baden Württemberg hierzu eine Grafik veröffentlicht. Darin zeigt der Branchenverband am Fall einer Einfamilienhausanlage auf, wie viele Buchen es benötigt, um dieselbe Menge



Bild 4: Vermeidung von CO₂ durch Photovoltaik [8]

CO₂ zu binden. In Bild 4 ist zu sehen, dass eine Anlage von 16 kWp auf einem Einfamilienhaus rund 10 t CO₂ vermeidet. Um eine Tonne CO₂ zu binden, braucht es 80 Buchen. Anschaulich bedeutet das, dass eine 16 kWp PV-Anlage einen großen Beitrag zum Klimaschutz leistet und einer Wirkung von rund 800 gepflanzten Bäumen entspricht. Natürlich ist dieses Beispiel nur als Anschauungszweck zu verstehen. Denn ein Baum ist rein theoretisch nicht mit einer PV-Anlage zu vergleichen, da er über seinen gesamten Lebenszyklus klimaneutral ist. Eine PV-Anlage hingegen ist das nicht. Die CO₂-Vermeidung durch eine PV-Anlage ist auf das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) zurück zu führen. Durch das EEG wird den Besitzern von PV-Anlagen die vollständige Abnahme ihres Stromes zu einem festen Vergütungssatz zugesichert. [vgl. 9, S. 83] Durch den Ausbau der EE, wie z.B. Photovoltaik, sinkt der CO₂-Emissionsfaktor des deutschen Strommixes. Das bedeutet, dass durch die vermehrte Einspeisung von solarem Strom, der CO₂-intensive Strom aus dem Stromnetz verdrängt wird und es zur Vermeidung von CO₂ kommt. Festzuhalten bleibt, dass der Betrieb einer PV-Anlage und die Nutzung des solaren Stroms klimafreundlich sind und einen erheblichen Beitrag zum Gelingen der Energiewende leisten.

Nicht nur aus ökologischer Sicht sind PV-Anlagen positiv zu bewerten. In den meisten Fällen können PV-Anlagen wirtschaftlich und mit abwerfenden Renditen betrieben werden. Die Wirtschaftlichkeit hängt von verschiedenen Parametern ab. Grundsätzlich können via zwei Möglichkeiten eine Rendite erzielt werden. Zum einen durch Einspeisung des gewonnenen Stroms in das Netz oder durch den direkten Eigenverbrauch des Stroms. [vgl. 9, S. 23] Der Eigenverbrauch lohnt sich umso mehr, je größer die Differenz zwischen den Bezugskosten

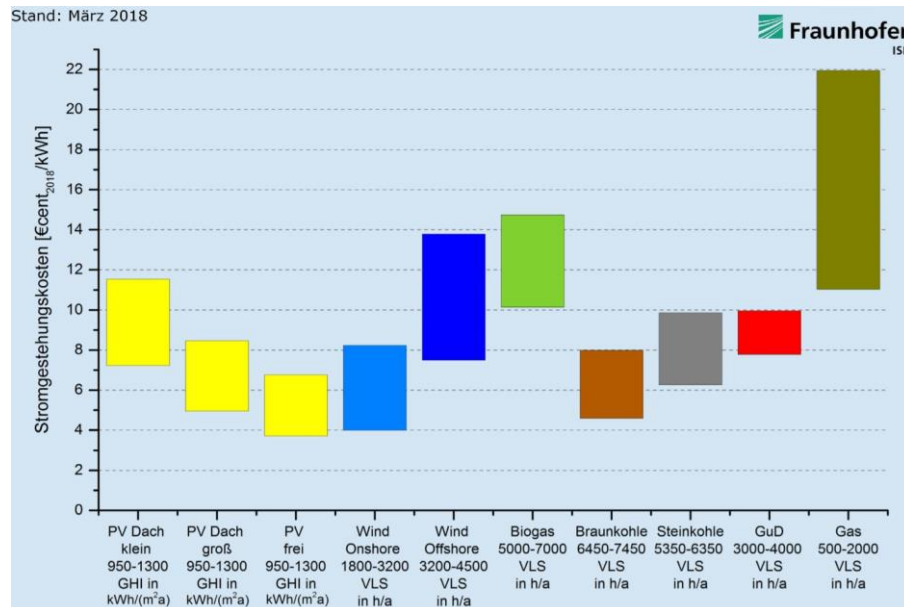


Bild 5: Stromgestehungskosten [10]

für Strom und den Stromgestehungskosten der PV-Anlage ist. [vgl. 9, S. 23] Das folgende Bild 5 zeigt die Stromgestehungskosten für PV-Anlagen im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien und konventionellen Kraftwerken. In Gelb sind die Stromgestehungskosten nach der Anlagengröße abgebildet. Eine kleine PV-Anlage besitzt in Deutschland Stromgestehungskosten zwischen 7,23 und 11,54 Ct/kWh ohne Mehrwertsteuer. Diese Spanne entsteht durch die unterschiedliche Globalstrahlung, die im Norden Deutschlands minimal bei 950 kWh/(m²a) und im Süden bei maximal 1300 kWh/(m²a) liegt. [10] Nehmen wir für Karlsruhe Stromgestehungskosten von 10,00 Ct/kWh an und schauen uns die Stromkosten, die in Karlsruhe bei etwa 30 Ct/kWh liegen an, können 20 Ct/kWh durch PV eingespart werden. In Zukunft wird diese Einsparung wahrscheinlich noch steigen, da die dominierenden Kosten von PV-Anlagen die Investitionskosten sind. Diese fallen seit 2006 dank technologischen Fortschritts, Skalen- und Lerneffekten im Mittel um ca. 13% pro Jahr. [vgl. 9, S. 8] Kann der Strom nicht durch Eigenverbrauch genutzt werden, wird er durch den Netzbetreiber zu einem festgeschriebenen Betrag, geregelt im EEG, vergütet. Der Vergütungssatz beträgt bei einer Inbetriebnahme einer Dachanlage (bis 40kWp) im Februar dieses Jahres 7,93 Ct/kWh. [11]

Festhalten lässt sich, dass PV-Anlagen sehr wirtschaftlich betrieben werden können. Ein großer Faktor für die Wirtschaftlichkeit spielt der Eigenverbrauch des produzierten PV-Stroms. Fällt er besonders hoch aus, steigt auch die Rendite.

Zusammenfassend lässt sich zu diesem Kapitel klar sagen, dass die Installation einer PV-Anlage mit dem heutigen Strommix, CO₂ vermeidet und somit das Klima schützt. Gleichzeitig lässt sich die Photovoltaik wirtschaftlich und gewinnbringend betreiben und schafft somit eine Win-Win-Situation.

3 Technischer Überblick über Photovoltaikanlagen

Eine Photovoltaikanlage besteht im Kern aus vielen Solarmodulen. Diese wiederum bestehen aus Solarzellen, die zusammengeschaltet werden. Die Solarzellen sind mit der wichtigste Bestandteil einer Photovoltaikanlage, da sie maßgeblich bestimmen, wie viel Strom erzeugt werden kann und wie hoch die Anschaffungskosten sind.

Eine Solarzelle ist eine Halbleiterdiode, in der die Strahlungsenergie in Gleichstrom verwandelt wird. Je nach Halbleitermaterial werden verschiedene Solarzellen unterschieden.

Monokristalline Solarzellen

Das Halbleitermaterial bei monokristallinen Solarzellen ist Silizium.

Die Fertigung ist relativ teuer und der Energieaufwand hoch. Dafür ist der Wirkungsgrad bei monokristallinen Solarzellen am höchsten. [vgl. 12]

Polykristalline Solarzellen

Polykristalline Solarzellen werden aus quadratischen Siliziumblöcken hergestellt. Beim Erstarren dieser Blöcke entstehen viele Kristalle innerhalb der Blocks. An den Grenzschichten der einzelnen Kristalle kommt es häufig zu Verunreinigungen und Energieverlusten, was zu einem niedrigeren Wirkungsgrad im Vergleich zu Monokristallinen Solarzellen führt. [vgl. 12]

Dünnschichtzellen

Bei Dünnschichtzellen wird ein Trägermaterial mit dem Halbleiter beschichtet. Daher ist deutlich weniger Rohstoff nötig und die Herstellung ist vergleichsweise einfach.

Die Auswahl an Halbleitermaterial ist sehr groß, insgesamt ist der Wirkungsgrad von Dünnschichtmodulen jedoch geringer als der von kristallinen Zellen. Ein großer Vorteil von ist allerdings, dass die Module variabler einsetzbar sind, da die Formen in der Theorie beliebig angepasst werden können. Außerdem sind die Module deutlich leichter und eignen sich somit perfekt für weniger Dächer mit einer geringeren Traglast. [vgl. 12]

CIGS Module

CIGS Module sind spezielle Dünnschichtmodule, bei denen der Werkstoff Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) verwendet wird, was den Wirkungsgrad aber auch die Produktionskosten gegenüber normalen Dünnschichtmodulen erhöht. [vgl. 13]

In der folgenden Tabelle [13] werden die verschiedenen Module hinsichtlich Wirkungsgrad, Gewicht und Kosten verglichen:

Tabelle 1: Wirkungsgrad, Gewicht und Kosten der verschiedenen Modultypen [13]

| | Monokristallin | Polykristallin | Dünnschicht | CGIS |
|--------------|----------------|----------------|-------------|------------|
| Wirkungsgrad | Bis zu 21% | Bis zu 16% | Bis zu 10% | Bis zu 17% |
| Gewicht | Hoch | Hoch | Niedrig | Niedrig |
| Kosten | Hoch | Mittel | Niedrig | Sehr hoch |

Welches Modul sich am besten eignet, hängt von den Gegebenheiten und Wünschen ab (siehe Tabelle 2). Polykristalline Solarzellen liefern das beste Preis-Leistungs-Verhältnis. Die Wirtschaftlichkeit wird durch den eigenen Verbrauch des erzeugten Stroms massiv verbessert. Bei verhältnismäßig wenig Platz und hohem Stromverbrauch kann es daher sein, dass die monokristallinen Solarzellen die wirtschaftlichste Alternative sind. Ist die Traglast

des Daches eher gering, muss abgewogen werden, ob sich Dünnschicht bzw. CIGS Module mehr rentieren würden als nur auf eine Teilfläche begrenzte monokristalline oder polykristalline Solarzellen.

Tabelle 2: Vor- und Nachteile der verschiedenen Modultypen [12]

| Zelltyp | Vorteile | Nachteile |
|------------------------------------|--|---|
| Polykristalline Solarmodule | <ul style="list-style-type: none"> + Preiswerte Fertigung + Lang erprobte Technik + Lange Lebensdauer + Sehr geringe Störanfälligkeit | <ul style="list-style-type: none"> - Gegenüber monokristalliner Technologie geringerer Wirkungsgrad (12-16%) - Entsprechend höherer Flächenbedarf - Einbußen bei diffusem Licht und hohen Temperaturen - Höheres Gewicht pro Quadratmeter |
| Monokristalline Solarmodule | <ul style="list-style-type: none"> + Hoher Wirkungsgrad (14-21%) + Geringerer Flächenbedarf + Unterschiedliche Farben möglich + Lang erprobte Technik + Sehr geringe Störanfälligkeit | <ul style="list-style-type: none"> - Teure Fertigung - Höheres Gewicht pro Quadratmeter - Einbußen bei diffusem Licht und hohen Temperaturen |
| Dünnschicht-Module | <ul style="list-style-type: none"> + Preiswerte Herstellung + Geringer Rohstoffbedarf + Temperaturbeständig + Flexibles Trägermaterial | <ul style="list-style-type: none"> - Geringer Wirkungsgrad (6-10%) - Teilweise in schwerer Glas/Glas Sandwichtechnologie - Hohe Anfangsdegradation |
| CIGS-Solarmodule | <ul style="list-style-type: none"> + Mittlerer Wirkungsgrad (12-17%) + Kaum Einbußen bei diffusem Licht und hohen Temperaturen + Niedriges Gewicht + Geringe Störanfälligkeit | <ul style="list-style-type: none"> - Teure Fertigung - Keine Langzeiterfahrung |

Ein entscheidender Einfluss auf den Wirkungsgrad einer Solarzelle hat die Betriebstemperatur. Ab einer Betriebstemperatur von 25°C reduziert sich die Leistung eines PV-Modul mit jedem weiteren Grad um etwa 0,5 Prozent. Dies kann im Sommer zu einer deutlichen Reduktion des Wirkungsgrades führen. [vgl. 14]

Eine sowohl ökologische als auch wirtschaftlich gute Lösung ist die Verbindung einer Photovoltaikanlage mit extensiver Dachbegrünung. Begrünte Dächer reduzieren die Umgebungstemperatur, wodurch die Leistungsfähigkeit einer Anlage im Sommer um bis zu 20% erhöht werden kann. [vgl. 14]

Bei Kiesschüttung werden Temperaturen zwischen 50° und 65° erreicht, während bei einer begrünten Dachfläche nur Temperaturen von 35° entstehen. Das Eigengewicht von extensiven Begrünungen liegt in der Regel bei ca. 80 - 120 kg/m² und entspricht etwa dem eines lose verlegten Kiesbelages. [vgl. 14]

Nun sind die Module bzw. Photovoltaikgeneratoren ausführlich beschrieben worden, allerdings besteht eine PV-Anlage noch aus weiteren Komponenten auf die wir ganz kurz eingehen. Für diese Arbeit von Relevanz sind dabei nur die Komponenten einer netzgekoppelten Anlage ohne eigene Speicherung des produzierten Stroms. Eine Speicherung wird nicht benötigt, da der Eigenverbrauch sehr hoch ist und eine Anlage ohne Speicherung rentabel betrieben werden kann. Der schematische Aufbau einer solchen Anlage ist im folgenden Bild 6 zu sehen. [vgl. 4, S. 200]

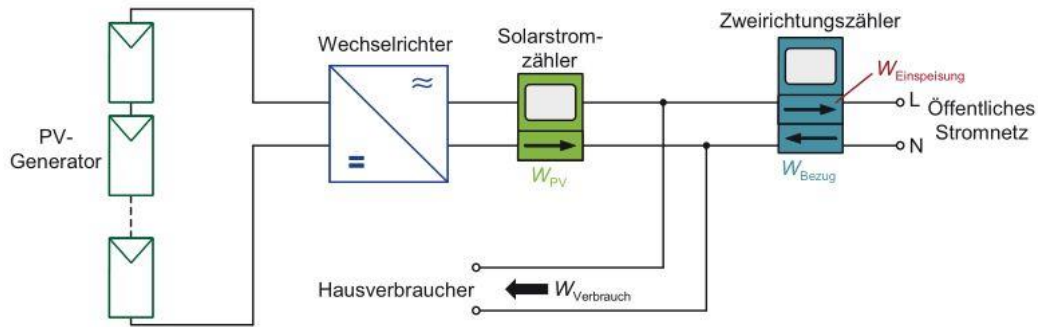


Bild 6: schematischer Aufbau der PV-Anlage [4]

Neben dem Photovoltaikgenerator bzw. –modul benötigt es einen Wechselrichter. Wechselrichter auch DC-AC-Wandler genannt, wandeln den aus der PV-Anlage produzierten Gleichstrom, in einen möglichst sinusförmigen Wechselstrom um. [vgl. 15, S. 120] Dies ist notwendig, da die meisten Elektronikgeräte Wechselstrom benötigen. Des Weiteren braucht es noch einen Zweirichtungszähler, der den eingespeisten und den aus dem Netz bezogenen Strom getrennt erfasst. Möchte man zudem wissen, wie viel Solarstrom erzeugt wird, muss zusätzlich ein separater Solarstromzähler zwischen PV-Anlage und dem Zweirichtungszähler installiert werden.

4 Rahmendaten

Das Augustin-Bea-Haus (ABH) ist eines der beiden katholischen Studierendenwohnheime in Karlsruhe, deren Träger die katholische Gesamtkirchengemeinde Karlsruhe ist. Das Gebäude wurde 1969 gebaut, ist ca. 21,5m hoch und bietet auf insgesamt 8 Stockwerken 148 Wohneinheiten für Studierende. Pro Etage gibt es eine Gemeinschaftsküche und Sanitärbereiche (ca. 3 Duschen pro Etage). [16]
Das Flachdach hat eine Fläche von 454 Quadratmetern, hinzukommen 24 Quadratmeter auf dem Dachausstieg. Von der gesamten Fläche sind ca. 230 Quadratmeter fast nie verschattet.

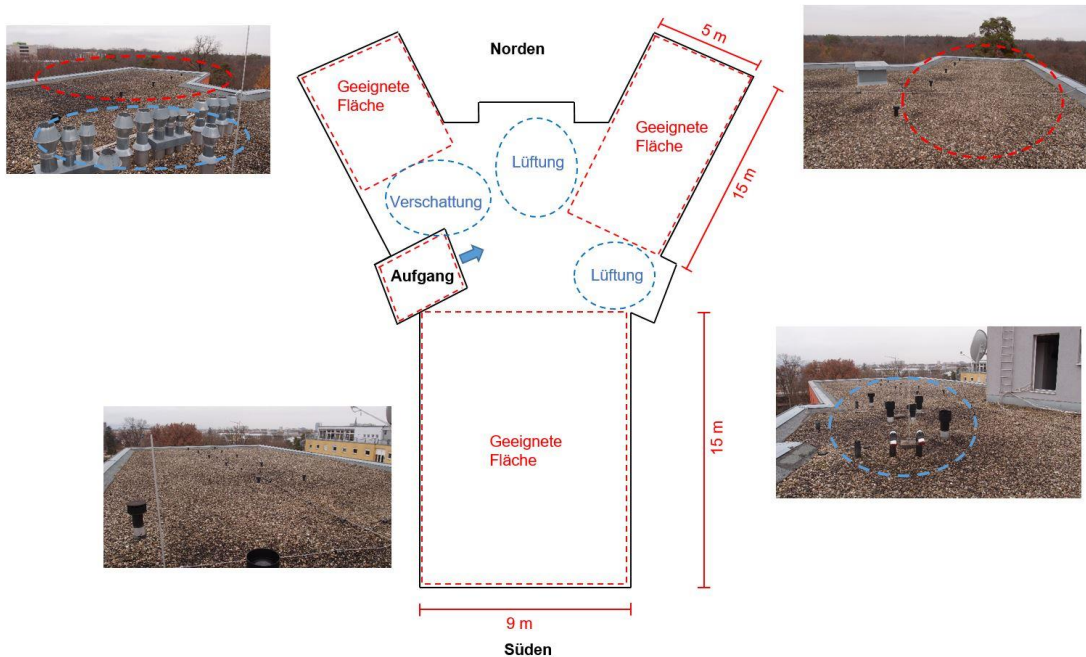


Bild 7: Geeignete Fläche ohne Verschattung

Das Gebäude wird mit Fernwärme (insbesondere mit Abwärme aus der Mineralö Raffinerie Oberrhein) versorgt. Die Fernwärmeübergabe mit Verteiler, Speicher und Regelung wurde 2018 erneuert. Der Stromverbrauch liegt bei 100.000 kWh/Jahr, wovon ca. 65.000 kWh/Jahr auf den Hochtarif (Tagstrom) entfallen.

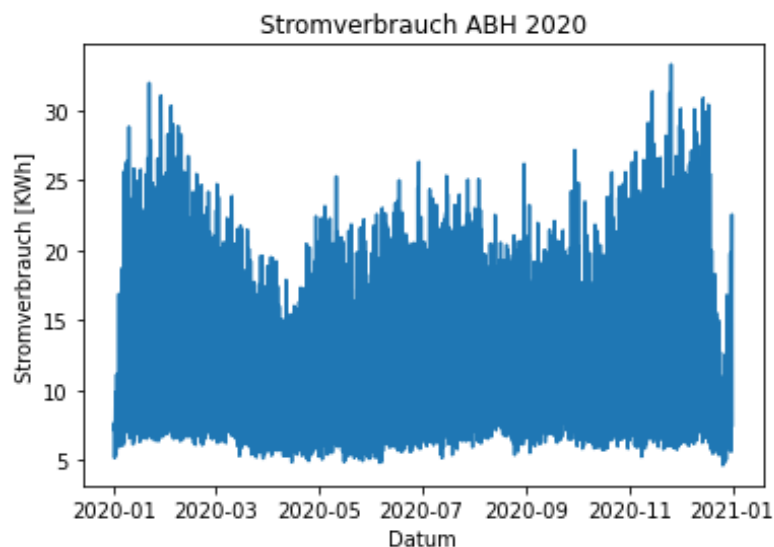


Bild 8: Stromverbrauch 2020

Auf Bild 8 ist der Stromverbrauch im Jahr 2020 zu sehen. Leider ist dieser vermutlich durch die Corona-Einflüsse nicht sehr repräsentativ, weshalb der Stromverbrauch von 2019 noch rückwirkend ermittelt und ausgewertet werden sollte. Der Maximale Verbrauch lag 2020 bei 33,28 kW/h und das Minimum bei 4,63 kW/h. Insgesamt schwankt der Verbrauch größtenteils zwischen 7 und 20-25 kWh.

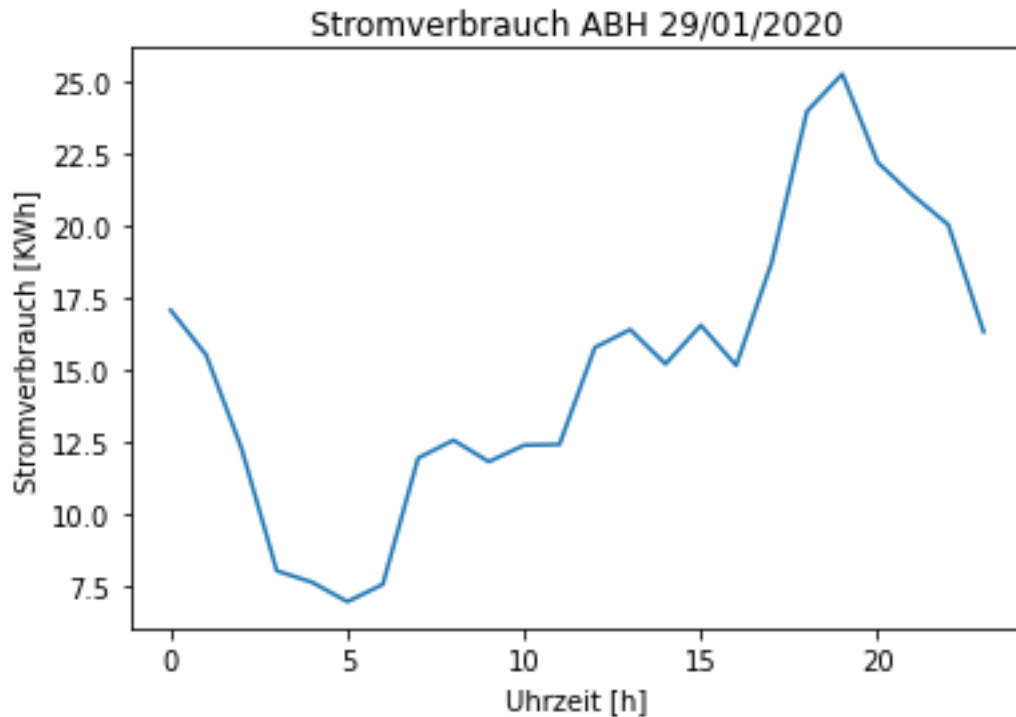


Bild 9: Tagesprofil des Stromverbrauchs am 29. Januar 2020

Auf Bild 9 ist das Tagesprofil des Stromverbrauchs vom 29. Januar 2020 (ohne Corona Einflüsse) dargestellt. Gegen fünf Uhr morgens erreicht der Verbrauch den niedrigsten Punkt, während er abends am höchsten ist. Der Verbrauch schwankt von Tag zu Tag sehr stark, der höchste Verbrauch liegt jedoch immer mittags bis abends.

5 Technische Varianten

5.1 Technische Variante 1

Die erste Technische Variante untersucht die Empfehlung aus dem 2018 erstellten Bericht [16] zum Energiegutachten für das Augustin-Bea-Haus (ABH) und zeigt eine mögliche technische Umsetzung auf dem Dach. Der gesamte PV-Teil des Energiegutachtens befindet sich im Anhang 1. Das genannte Energiegutachten empfiehlt eine Photovoltaikanlage nur auf dem südlichen Teil des Daches. Dieser Teil des Daches besitzt eine rechteckige Form ist komplett unverschattet und zeigt direkt in Richtung Süden. Die Fläche eignet sich daher perfekt für eine PV-Anlage. Die Situation ist im folgenden Bild 10 festgehalten.



Bild 10: südliche Dachfläche

Die bekieste Fläche auf dem Dach ist 15m lang und 9m breit. Das entspricht einer Fläche von 135 m². Die Dimensionierung der Anlage aus dem Energiegutachten orientiert sich an den gesetzlichen Randbedingungen des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Die Anlage wird daher auf unter 10 kWp beschränkt, sowie auf einen jährlichen Eigenverbrauch unter 10.000 kWh. Damit wird sichergestellt, dass auf den erzeugten Strom keine EEG-Umlage fällig wird. Die Anlage ist daher besonders wirtschaftlich und erzielt einen Kapitalrückfluss von 256% bezogen auf die Investitionskosten. [16]

Wie aus dem Kapitel Rahmendaten hervorgeht, besitzt das ABH täglich einen minimalen Stromverbrauch von etwa 5kWh morgens gegen 5 Uhr. Schon ab 8 Uhr übersteigt der Stromverbrauch die 10kW-Marke. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass der produzierte Strom aus der PV-Anlage zu 100% selbst verbraucht wird. Auch der „Mittagspeak“ einer nach Süden ausgerichteten Anlage wird vom Stromverbrauch des ABH gedeckt. Der vorgeschlagenen PV-Anlage, liegen die folgenden Parameter zugrunde.

| Grunddaten PV-Anlage | | |
|--|-----|-------------------|
| Modulneigung | | 30 ° |
| Modulausrichtung | | Süd |
| Nennleistung | | 9,9 kWp |
| Modulfläche | | 90 m ² |
| falls Stromspeicher: Nutzkapazität | | ----- kWh |
| Stromerzeugung | | |
| Spezifischer Stromertrag | | 1.000 kWh/kWp*a |
| Stromertrag (erzeugter PV-Strom) | | 9.900 kWh/a |
| - davon Stromeinspeisung (hier: 0%) | | 0 kWh/a |
| - davon Eigenverbrauch direkt vor Ort (100%) | | 9.900 kWh/a |
| Autarkiegrad (Eigenverbrauch / Jahres-Stromverbrauch) | | 6 % |
| Einsparungen (gegenüber Ist-Zustand) | | |
| Endenergie-Einsparung Strom (Eigenverbrauch) | 8 % | 9.900 kWh/a |
| Einsparung CO ₂ -Emissionen (inkl. Einspeisung) | 8 % | 5,6 t/a |
| Stromkosteneinsparung - statisch | 8 % | 2.260 €/a |

Bild 11: PV-Anlagen-Parameter aus Energiegutachten [15]

Eine grobe mögliche Anordnung der Module ist im Gutachten durch eine Standortskizze (Bild 12) auf Basis der Westansicht gegeben. In der Skizze sind 5 Modulreihen hintereinander angeordnet. Die Standard Modulabmessungen sind ca. 1m breit und zwischen 1,5m



Bild 12: Skizze ABH Westansicht [15]

und 2m lang. Das Gebäude ist 9m breit. Um die Module warten zu können, muss allerdings ein Zugang zu den Modulen gewährleistet werden, weshalb höchstens 8m der Breite ausgenutzt werden sollte. Rechnen wir mit 5 nebeneinander angeordneten Modulen, mit den Abmessungen 1x1,6 m², kommen wir auf eine Modulfläche von 40m². Im Gutachten wird allerdings mit einer Modulfläche von 90m² gerechnet. Da durch eine Modulneigung von 30° hohe Abstände zwischen den Modulen erforderlich sind, um eine gegenseitige Beschattung zu vermeiden, ist eine Modulfläche von 90m² daher kritisch zu betrachten und nicht realistisch.

In unserer vorgeschlagenen technischen Variante 1 orientieren wir uns an der im Energiegutachten vorgeschlagenen PV-Anlage, die sich an den Rahmenbedingungen des EEG richtet. Wir weichen allerdings bei den Parametern von denen aus dem Gutachten ab, um eine optimale Umsetzung sicherzustellen. Bei der Modulneigung nehmen wir einen Winkel von 15° an. Zum einen kann die Dachfläche besser ausgenutzt werden, also mehr Module auf dem Dach installiert werden, und zum anderen müssen die aufgeständerten Module weniger stark ballastiert werden. Durch die geringere Angriffsfläche für den Wind sind diese Module leichter als die Module mit einem Neigungswinkel von 30°.

Für die Installation der Module haben wir uns ein marktetabliertes aufgeständertes System des Unternehmen „S:FLEX GmbH“ angeschaut. Die technische Zeichnung ist im Folgenden zu sehen. [17]

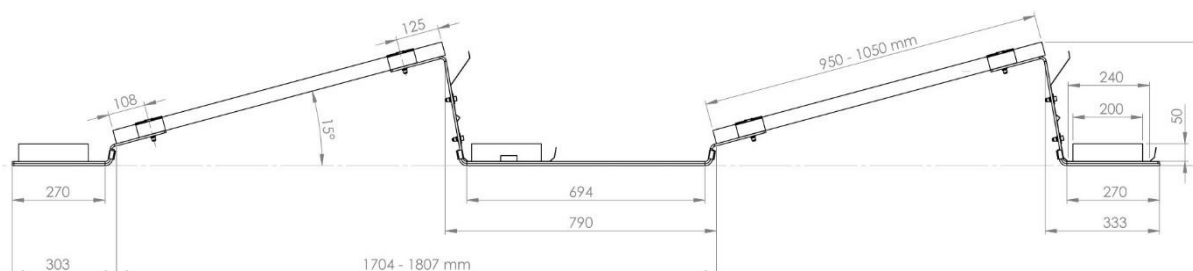


Bild 13: S:FLEX LEICHTmount 2.1 S [16]

Die Modulreihen haben einen Abstand von ca. 800 mm zueinander, sodass sie sich möglichst wenig gegenseitig verschatten, aber trotzdem möglichst viele Module auf der Dachfläche, Platz finden. Die Module sind „in sich tragend“. Das heißt, dass sie miteinander verbunden sind und bei angreifenden Wind, die Last gemeinsam, flächenmäßig abtragen. Bei unserer technischen Umsetzung haben wir uns für monokristalline Module mit den Abmessungen 1 m x 2 m entschieden, weil das die größten, auf dem Markt vorhandenen Standardmodule sind. Jedes Modul hat eine Nennleistung von 360 Wp. Somit ist sichergestellt, dass die vorhandene Fläche in jedem Fall ausreicht. Bei einer Anordnung von 4 Solarmodulen nebeneinander ergibt sich eine Breite von 8 m. Werden nun 7 Reihen hintereinander aufgeständert, ergibt sich ein Raster von 28 Modulen mit einer Modulfläche von 56 m². Die überbaute Fläche ist dann 8 m breit und etwa 13 m lang, sodass die einzelnen Module im Betrieb immer für Wartungsarbeiten zugänglich sind. Die gesamte Anlage besitzt eine Nennleistung von ca. 10 kWp. Diese Variante ist im Bild 14 visualisiert.

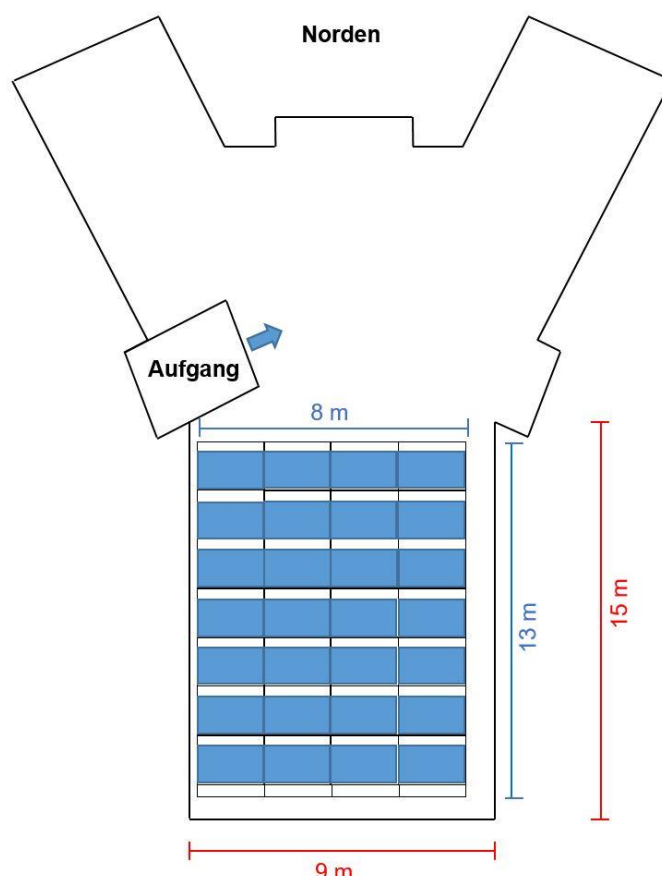


Bild 14: Technische Umsetzung der 10 kWp Anlage auf dem ABH

Überprüft man die technische Variante unter den angenommenen Parametern, mit dem Photovoltaik Ertragsrechner vom Karlsruher Solarkataster [18] im Internet, ergeben sich folgende Ergebnisse. Zuerst einmal wurden die Eingangsdaten wie folgt gewählt. Die Modulfläche beträgt 60 m². Der Modultyp hat einen Wirkungsgrad von 19% und wurde zu Kristallin gewählt. Alle weiteren Angaben können dem Bild 15 entnommen werden. [19]

Die Ergebnisse aus dem Ertragsrechner sind im Bild 16 dargestellt. Die Anlage ist äußerst wirtschaftlich und amortisiert sich schon nach 10 Jahren. Bei einem Betrieb von 20 Jahren stellt sich ein Kapitalrückfluss, bezogen auf die Investitionskosten, von 255% ein.

Die Anlage kann etwa 10-11% des Jahresstromverbrauchs decken, denn der jährliche PV-Stromertrag wird auf 10568 kWh beziffert. [19] Dass die Anlage auch einen Beitrag zum Gelingen der Energiewende leistet und CO₂ einspart, wurde schon im ersten Kapitel erwähnt, muss an dieser Stelle aber nochmal wiederholt werden. Durch die 10kWp Anlage können jährlich die gigantische Menge von 6,6 Tonnen CO₂ vermieden werden. In das CO₂-Speichervolumen von Buchen umgerechnet, entspräche das 530 Buchen.

Individueller Ertragsrechner Photovoltaik Eignung: sehr gut bis gut geeignet
[\[Seite drucken\]](#)

A A A

Anlagenleistung

Modulfläche (m²) ?

Modultyp ?

Wirkungsgrad ?

kW_p ?

Stromproduktion ?

Eigenverbrauch Eigenverbrauch optimieren? ?

Fahrleistung Elektroauto / Jahr ?

Stromverbrauch / Jahr ?

Verbrauchsprofil ?

Stromspeicher ?

Kosten Stromspeicher Netto (€) ?

Deckungsgrad ?

Ihr aktueller Stromtarif (Netto) in Cent/kWh ?

Strompreisanstieg pro Jahr ?

Einnahmen und Kosten

Inbetriebnahme ?

Vergütung (Cent/kWh) ?

| unter 10 kW _p | 10 kW _p bis 40 kW _p | 40 kW _p bis 100 kW _p |
|--------------------------|---|--|
| 7,81 c/kWh | 7,59 c/kWh | 5,95 c/kWh |

Anlagenpreis je kW_p (€/kW_p) ?

Gesamtkosten Netto (€) ?

Laufzeit (Jahre) ?

Laufende Kosten pro Jahr (% der Gesamtkosten) ?

Jan. Feb. März Apr. Mai Juni Juli Aug. Sep. Okt. Nov. Dez.

■ Produktion ■ Verbrauch ■ Deckung

Darlehen

Verfügbares Eigenkapital (€) ?

Darlehensbetrag (€) ?

KfW-Zuschuss (€) ?

Jährlicher Darlehenszins (%) ?


Darlehenslaufzeit (Jahre) ?

Berechnen

Netto-Anlagenpreis berechnet nach dem monatlich aktualisierten Preisindex von pvXchange

YOUR PV MARKETPLACE

Bild 15: Eingabeoberfläche Ertragsrechner des Solarkatasters Karlsruhe



SUN · AREA

Individueller Ertragsrechner Photovoltaik

Eignung: sehr gut bis gut geeignet

[\[Angaben bearbeiten\]](#)
[\[Seite drucken\]](#)

A A A

Produktion

Gewählte Leistung 9,8 kWp (60,0 m²)
 Stromproduktion 10.568 kWh / Jahr
 Stromeinspeisung 0 kWh / Jahr (0%) ?
 Vergütung 7,81 Cent / kWh
 Direktvermarktung 0 kWh (0%) ?

Investition / Finanzierung

Investitionsvolumen 15.190 €
 Laufende Kosten 304 € / Jahr
 Darlehensbetrag 12.152 €
 KfW Förderung 0 €
 Darlehen 2,20 % / 10 Jahre

Eigenverbrauch

Stromverbrauch 100.000 kWh / Jahr
 Eigenverbrauch 10.568 kWh / Jahr (100%) ?
 Stromspeicher 0,0 kWh (Entladetiefe 80%)
 EEG Umlage 15 € ?

Strompreisanstieg 2 %
 Stromkosteneinsparung 2.835 € im 1. Jahr ?
 Deckungsgrad 11 % ?

Individuelle Ertragsrechnung

| Jahr | Einspeise- vergütung | Eigen- verbrauch | Direktver- marktung | Rest- darlehen | Kredit- rate | Jahres- Saldo | Saldo Gesamt |
|---------------|-------------------------|---------------------|------------------------|-------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 1 | 0,- | 2.821,- | 0,- | 11.052,- | 1.367,- | -1.888,- | -1.888,- |
| 2 | 0,- | 2.877,- | 0,- | 9.928,- | 1.367,- | 1.206,- | -682,- |
| 3 | 0,- | 2.935,- | 0,- | 8.780,- | 1.367,- | 1.264,- | 582,- |
| 4 | 0,- | 2.994,- | 0,- | 7.606,- | 1.367,- | 1.323,- | 1.905,- |
| 5 | 0,- | 3.054,- | 0,- | 6.406,- | 1.367,- | 1.383,- | 3.288,- |
| 6 | 0,- | 3.116,- | 0,- | 5.180,- | 1.367,- | 1.445,- | 4.733,- |
| 7 | 0,- | 3.178,- | 0,- | 3.927,- | 1.367,- | 1.507,- | 6.240,- |
| 8 | 0,- | 3.242,- | 0,- | 2.646,- | 1.367,- | 1.571,- | 7.811,- |
| 9 | 0,- | 3.307,- | 0,- | 1.338,- | 1.367,- | 1.636,- | 9.447,- |
| 10 | 0,- | 3.374,- | 0,- | 0,- | 1.367,- | 1.703,- | 11.150,- |
| 11 | 0,- | 3.442,- | 0,- | 0,- | 0,- | 3.138,- | 14.288,- |
| 12 | 0,- | 3.511,- | 0,- | 0,- | 0,- | 3.207,- | 17.495,- |
| 13 | 0,- | 3.581,- | 0,- | 0,- | 0,- | 3.277,- | 20.772,- |
| 14 | 0,- | 3.653,- | 0,- | 0,- | 0,- | 3.349,- | 24.121,- |
| 15 | 0,- | 3.726,- | 0,- | 0,- | 0,- | 3.422,- | 27.543,- |
| 16 | 0,- | 3.801,- | 0,- | 0,- | 0,- | 3.497,- | 31.040,- |
| 17 | 0,- | 3.878,- | 0,- | 0,- | 0,- | 3.574,- | 34.614,- |
| 18 | 0,- | 3.955,- | 0,- | 0,- | 0,- | 3.651,- | 38.265,- |
| 19 | 0,- | 4.035,- | 0,- | 0,- | 0,- | 3.731,- | 41.996,- |
| 20 | 0,- | 4.116,- | 0,- | 0,- | 0,- | 3.812,- | 45.808,- |
| Gesamt | 0,- | 68.596,- | 0,- | 0,- | 13.670,- | 45.808,- | 45.808,- |

Erträge nach 20 Jahren: Vergütung für eingespeisten Strom: **0 €**
 Stromkostensparnis durch eigenverbrauchten Strom: **68.596 €**
 Umsatz durch direktvermarkteten Strom: etwa **0 €**
 Abzüglich aller Kosten ergibt sich ein Saldo von: **45.808 € Gewinn.**

Für die Richtigkeit der Berechnung wird keine Garantie übernommen. Die Ergebnisse müssen im Einzelfall geprüft werden. Kosten und Gewinne, die aus einem negativen bzw. positiven Kontostand entstehen (z.B. durch Überzugszinsen oder Guthabenzinsen), sind in dieser Kalkulation nicht enthalten. Beachten Sie abweichende Einspeisevergütungen durch eine Drosselung der Einspeisung bei Spitzenwerten durch den Netzbetreiber (Einspeisemanagement).

Bild 16: Ergebnis des Ertragsrechners aus dem Solarkatasters Karlsruhe

5.2 Technische Variante 2

Als zweite Variante wurde eine möglichst große Photovoltaik Anlage untersucht. Dabei wurden sowohl die örtlichen Gegebenheiten (verfügbarer Platz etc.), als auch der wirtschaftliche Aspekt berücksichtigt.

Die Südfläche des Daches sollte auf jeden Fall – wie in der technischen Variante 1 – komplett genutzt werden. Hinzu kommt der Ostflügel, der fast durchgehend unbeschattet ist und sich somit auch hervorragend eignet. Vom Westflügel wird ein großer Teil beschattet, doch auch hier und auf dem Ausstieg sind mehrere Quadratmeter nutzbar (siehe Rahmendaten, Bild 17). So steht insgesamt eine Fläche von ca. 230m² zur Verfügung.



Bild 17: Nord-Ost-Flügel

Das Dach ist leicht zugänglich, daher wird eine Modulneigung von 10-15° empfohlen. So kann die verfügbare Fläche besser genutzt werden und die Module können von Hand abgewaschen werden, wenn sie nicht ausreichend durch Regen gereinigt werden sollten. Der Ertrag ist bei 10° nur minimal geringer als bei den üblichen 30°, was jedoch von der hinzugewonnenen Fläche kompensiert wird. Hinzu kommt, dass die Module so eine geringere Angriffsfläche für den Wind haben, was in dieser Höhe auch ein wesentlicher Faktor ist. Um den Ertrag über den Tag zu verteilen, sollten die Module Ost-West ausgerichtet werden. Dadurch wird die Eigennutzung gesteigert, was den Betrieb sehr wirtschaftlich macht. Da der Verbrauch den gesamten Tag über sehr hoch ist, wird sich bei der vergleichsweise geringen Dachfläche ein Speicher nicht lohnen. Der erzeugte Strom kann die meiste Zeit direkt selbst verbraucht werden. Wenn zur Mittagszeit mehr Strom erzeugt, als verbraucht wird, so wird der überschüssige Strom ins Stromnetz eingespeist und entsprechend vergütet.

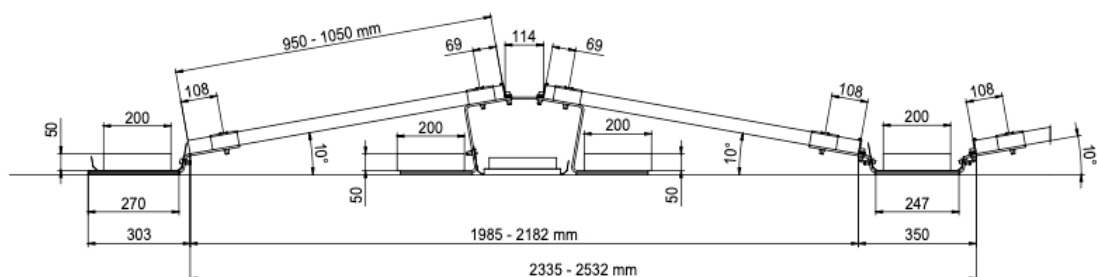


Bild 18: Technische Zeichnung S:FLEX LEICHTmount 2.1 E/W [16]

Auf Bild 18 ist zu sehen, wie eine Ost-West-Aufständerung des Unternehmens „S:FLEXGmbH“ aussehen würde. Das System erlaubt eine variable Modulordnung, was eine optimale Ausnutzung der Dachfläche ermöglicht. Die Modulabmessungen liegen bei ca. 1m x 1,5-2,0m (Breite x Länge).

Auf einer Dachfläche von 230m² könnten (je nach Wirkungsgrad) knapp 30-45 kWp installiert werden. Ab 30 kWp muss jedoch ein anderer Zähler verbaut werden. Diese sogenannten Wandlungszähler kosten deutlich mehr, als herkömmliche Zähler, wodurch es wirtschaftlich nur Sinn ergibt, wenn die 30 kWp deutlich überstiegen werden. Auch steuerrechtlich ergibt es keinen Sinn, eine Anlage wenig größer als 30 kWp zu installieren.

Da von den 230m² nicht alle Flächen den ganzen Tag unbeschattet sind, scheint es sinnvoll, eine Anlage mit knapp 30 kWp zu installieren. In diesem Fall könnte man die am besten geeigneten Flächen nutzen und entsprechend schauen, wieviel für den Wirkungsgrad investiert wird.

Mit einer 30 kWp Anlage könnten ca. 32.000 kWh/Jahr Strom produziert werden.

Berechnungen mit dem Karlsruher Solarkataster [18] ergeben, dass bei einem Stromverbrauch von 100.000 kWh/Jahr 28.919 kWh/Jahr selbst verbraucht werden könnten, was einem Anteil von 90% entspricht, sodass nur 10% des produzierten Stroms ins Netz eingespeist werden müssen. Somit könnten 29% des Stromverbrauchs durch die eigene Stromproduktion abgedeckt werden. Dieses Ergebnis ist allerdings kritisch zu betrachten, da der Rechner die Werte und Verbrauchskurven nur grob überschlägt.

Führt man die Rechnung erneut durch und gibt einen Stromverbrauch von 50.000 kWh an, so kommt man trotzdem noch auf einen Eigenverbrauch von 63%, was sehr wirtschaftlich ist. Bei hundertprozentiger Eigenfinanzierung würde sich die Anlage trotz der konservativen Werte bereits nach 9 Jahren amortisieren (siehe Bild 19). Die angenommenen Parameter gehen aus dem Bild 20 hervor.

Der genaue Eigenverbrauch und Deckungsgrad lässt sich wegen der starken Verallgemeinerung des Rechners nicht exakt bestimmen. Der Eigenverbrauch des erzeugten Stroms wird vermutlich bei 60-90% liegen und demnach 20-30% des eigenen Stromverbrauchs abdecken. Es wird jedoch deutlich, dass die Anlage sich in jedem Fall relativ schnell amortisiert und äußerst wirtschaftlich ist. Hinzu kommt der ökologische Aspekt. Durch eine Anlage dieser Größe würden gigantische Mengen, nämlich 19,9 Tonnen, an CO₂ eingespart und ein großer Beitrag für den Klimaschutz geleistet werden.



Bild 19: Ergebnis des Ertragsrechners [19]

Individueller Ertragsrechner Photovoltaik Eignung: sehr gut bis gut geeignet

[\[Seite drucken\]](#)

SUN-AREA

Anlagenleistung

Modulfäche (m²)

Modultyp

Wirkungsgrad

kW_p

Stromproduktion

Eigenverbrauch Eigenverbrauch optimieren?

Fahrleistung Elektroauto / Jahr

Stromverbrauch / Jahr

Verbrauchsprofil

Stromspeicher

Kosten Stromspeicher Netto (€)

Deckungsgrad

Ihr aktueller Stromtarif (Netto) in Cent/kWh

Strompreisanstieg pro Jahr

Einnahmen und Kosten

Inbetriebnahme

Vergütung (Cent/kWh)

| | | |
|--------------------------|---|--|
| unter 10 kW _p | 10 kW _p bis 40 kW _p | 40 kW _p bis 100 kW _p |
| 7,81 c/kWh | 7,59 c/kWh | 5,95 c/kWh |

Anlagenpreis je kW_p (€/kW_p)

Gesamtkosten Netto (€)

Laufzeit (Jahre)

Laufende Kosten pro Jahr (% der Gesamtkosten)

Darlehen

Verfügbares Eigenkapital (€)

Darlehensbetrag (€)

KfW-Zuschuss (€)

Jährlicher Darlehenszins (%)

Darlehenslaufzeit (Jahre)

Berechnen

Netto-Anlagenpreis berechnet nach dem monatlich aktualisierten Preisindex von pvXchange

pvXchange
YOUR PV MARKETPLACE

Bild 20: Eingabeoberfläche Ertragsrechner [19]

5.3 Technische Variante 3

In der dritten technischen Variante wurde die Kombination aus Solarthermie und PV untersucht.

Das Dach eignet sich hervorragend für die Nutzung der solaren Energie, sodass es durchaus sinnvoll sein kann, diese Energie sowohl zur Stromproduktion, als auch zur Warmwasseraufbereitung zu nutzen.

Das Gebäude ist an das Fernwärmenetz der Stadt Karlsruhe angeschlossen und wird mit Fernwärme versorgt, die primärenergetisch sehr gut bewertet ist. Die Fernwärmeübergabe mit Verteiler, Speicher und Regelung wurde jedoch erst 2018 erneuert.

Die Speicher für das Warmwasser müssten für eine solare Vorhaltung wesentlich größer ausgelegt sein als es zurzeit (mit ca. 1300 Litern) der Fall ist. Bei 23 Duschen kann von ca. 2,5 bis 5 m³ Volumen ausgegangen werden.

Daher ist die eine Solarthermie Anlage im Moment nicht empfehlenswert. Dies geht aus dem Bericht mit der Karlsruher Energie- und Klimaschutzagentur (KEK) hervor, den wir diesem Dokument angehängt haben. (siehe Anhang 2) In Zukunft könnte es allerdings durchaus interessant sein, eine PV Anlage durch eine Solarthermie-Anlage zu ergänzen.

6 Empfehlung/ Fazit

Zu Beginn unseres Berichts haben wir herausgearbeitet, warum uns dieses Projekt „Klimaneutrales ABH“ sehr am Herzen liegt und wir uns gerne dafür engagieren. Wir möchten als Studierende die Energiewende aktiv mitgestalten und den Klimaschutz mit vorantreiben. Eine Möglichkeit das Klima zu schützen und die Energiewende voranzutreiben ist der Ausbau von erneuerbaren Energien insbesondere der Photovoltaik. Welche Vorteile die Photovoltaik bietet, haben wir im zweiten Kapitel ausführlich erläutert. Die Photovoltaik ist klimafreundlich und durch ihren Ausbau können viele Tonnen CO₂ jährlich vermieden werden. Darüber hinaus ist sie in den meisten Fällen auch sehr wirtschaftlich und rentabel. Die Rentabilität hängt dabei am Meisten vom möglichen Eigenverbrauch des erzeugten PV-Stroms ab. Das ABH ein Studentenwohnheim mit 146 Bewohnerinnen besitzt einen hohen Stromverbrauch, sodass eine PV-Anlage ohne Speicher betrieben werden kann und gleichzeitig der Strom zu einem Großteil selbst verbraucht wird. Die Ausgangssituation und Rahmenbedingungen für einen rentablen Betrieb einer Solaranlage sind deswegen ideal. Das ABH besitzt ein 454m² großes Flachdach von dem sich etwa 230m² für eine Solaranlage bestens eignen. Im Kapitel technische Varianten haben wir 3 Umsetzungsvarianten von Solaranlagen untersucht. Die 3te Variante, eine Kombination aus PV und Solarthermie wurde allerdings nur sporadisch betrachtet, da sich die Variante nach dem Beratungsgespräch mit der Karlsruher Energie- und Klimaschutzagentur als nicht praktikabel herausstellte.

Die erste Variante untersucht eine 10kWp Anlage, die nur auf dem südlichen Teil des Daches installiert wird. Der Hauptvorteil dieser Variante ist die hohe Rentabilität. Es ergibt sich ein Kapitalrückfluss gemessen an den Investitionskosten von 255% bei einer Laufzeit der Anlage von 20 Jahren. Grund hierfür ist, dass 100% des erzeugten Stroms selbst genutzt werden können und die EEG-Umlage nicht fällig wird. Außerdem ist die Installation bzw. Anordnung auf der rechteckigen Dachfläche einfach. Rechnet man mit einem jährlichen Ertrag der Anlage von 10.000 kWh ergibt sich mit dem Jahresstromverbrauch des ABH von 100.000 kWh ein Deckungsbetrag von 10%. Insgesamt können 6,6 Tonnen CO₂ vermieden werden und somit ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden. Nachteilig ist nur die geringe Ausnutzung der vorhandenen und gut geeigneten weiteren Dachflächen.

Die zweite Variante untersucht eine möglichst große PV-Anlage. Möglich scheint, ohne Probleme, eine 30kWp Anlage. Mit dieser Variante können 32.000 kWh/Jahr Strom produziert werden. Mit dem ABH-Stromverbrauch errechnet der Rechner des Karlsruher Solarkatasters einen Eigenverbrauch von 28.919 kWh/Jahr. Das entspricht einem Anteil von 90%. Allerdings ist fraglich ob der Eigenverbrauch wirklich so hoch ist.

Somit könnten 29% des Stromverbrauchs durch die eigene Stromproduktion abgedeckt werden. Dieses Ergebnis ist allerdings kritisch zu betrachten, da der Rechner die Werte und Verbrauchskurven nur grob überschlägt. Doch auch bei der Annahme von nur 60% Eigenverbrauch ist die Anlage immer noch sehr rentabel und amortisiert sich schon nach 9 Jahren. Der Deckungsgrad hängt vom Eigenverbrauch ab und beträgt bei einem Eigenverbrauch von 90% etwa 30%. Bei einem Eigenverbrauch von nur 60% läge der Deckungsgrad bei 20%. Vorteil dieser Variante ist der höhere Stromertrag bei gleichzeitig besserer Ausnutzung der Dachfläche. Diese Variante ist klimafreundlicher als die erste Variante, da noch mehr CO₂ vermieden werden kann. Außerdem ist sie auch in jedem Fall sehr rentabel. Wie hoch die Rentabilität ausfällt hängt vom tatsächlichen Eigenverbrauch ab, könnte die Rentabilität der Variante 1 aber sogar übersteigen.

Abschließend lässt sich daher sagen, dass beide Varianten sehr vorteilhaft sind und die Umsetzung in naher Zukunft erwogen werden sollte. Hierfür sollte als nächste Schritte das Dach statisch überprüft werden und weitere Angebote von Solarinstallateuren bezüglich der technischen Umsetzung eingeholt werden. Des Weiteren sollten sich Gedanken über die Finanzierung und rechtliche Rahmenbedingungen gemacht werden.

7 Literatur

- [1] https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/Energiedaten/energiedaten-gesamt-pdf-grafiken.pdf?__blob=publicationFile&v=40: Energiedaten: Gesamtausgabe. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2019.
- [2] <https://www.bmu.de/publikation/klimaschutz-in-zahlen-2020/>: Klimaschutz in Zahlen: Klimaschutzziele Deutschland und EU. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik, 2020.
- [3] https://www.stadtwerke-karlsruhe.de/swk-media/docs/service/infomaterial/publikationen/umwelterklaerungen/Umwelterklaerung_2018.pdf: Stadtwerke Karlsruhe, Umwelt-erklärung mit Klimareport und Energiebericht mit Klimareport und Energiebericht Aktualisierte Kennzahlen, 2018.
- [4] Mertens, K. (. 2020): Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis: Hanser 2020.
- [5] Wesselak, V., Voswinckel, S. (. 2012): Photovoltaik. Berlin, Heidelberg: Springer 2012.
- [6] https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/lstrahlungskarten_mi.html: Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland, Deutscher Wetterdienst.
- [7] https://www.energieagentur.nrw/mediathek/Praesentation/klimabilanz_photovoltaik_wie_gross_ist_der_co2-fussabdruck_von_solarstrom/: Klimabilanz Photovoltaik: Wie groß ist der CO₂-Fußabdruck von Solarstrom?, EnergieAgentur.NRW, 2018.
- [8] <https://solarcluster-bw.de/de/news-detail/neue-zahlen-photovoltaik-reduziert-kohlendioxid-oxidationsstoss-betraechtlich-249/>: Solar Cluster Baden-Württemberg, Neue Zahlen: Photovoltaik reduziert Kohlendioxid ausstoß beträchtlich, Presseinformation 17.02.2020.
- [9] Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, 2020: Dr. Harry Wirth, Fraunhofer ISE.
- [10] https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018_ISE_Studie_Stromgestehungskosten_Erneuerbare_Energien.pdf: Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien, 2018.
- [11] www.photovoltaik4all.de: Aktuelle EEG Vergütungssätze für Photovoltaikanlagen 2021.
- [12] www.solaranlage-ratgeber.de: Photovoltaik Solarmodule.
- [13] www.regenerative-energie24.de: Solarzellen – Die verschiedenen Arten.
- [14] www.oekologisch-bauen.info: Photovoltaikanlage mit Dachbegrünung kombinierbar.
- [15] Wagner, A. (. 2019): Photovoltaik Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer 2019.
- [16] KliBA GmbH: Bericht zum Energiegutachten. Energetisches Sanierungskonzept für das Gebäude Augustin-Bea-Haus Augustin-Bea-Haus.
- [17] S:FLEX GmbH: Datenblatt LEICHTmount 2.1 S/EW. Aerodynamisches Flachdachsystem für Süd- und Ost/West-Ausrichtung.
- [18] <https://www.gpm-webgis-10.de/geoapp/solarkataster/karlsruhe/>: Sonne trifft Dach, Solarkataster Karlsruhe.
- [19] https://www.gpm-webgis-10.de/geoapp/templates/solarrechner2/solaron-demand_rechner_multi.php?: Individueller Ertragsrechner Photovoltaik, Solarkataster Karlsruhe.