

Integrative Fallstudie

Analyse ausgewählter Standorte von „Solarschulen“

Fachhochschule Kufstein Tirol

Bachelorstudiengang Europäische Energiewirtschaft

Team 4. Semester EEW.vzB.14

Hagenauer Alexander

Heigenhauser Simon

Heller Reto

Hofer Sebastian

Messner Anna

Betreuer FH Kufstein Tirol

Prof. (FH) Dipl.-Ing. Dr. Georg Konrad

Betreuer Solarenergieförderverein Bayern e. V

Herr Prof. Dr. Gerd Becker und Herr Fabian Flade

Kufstein, Mai 2016

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
Formelverzeichnis	V
1. Einleitung	7
2. Performance Ratio.....	8
3. Analyse der einzelnen Schulstandorte.....	8
3.1. Gymnasium Dorfen	8
3.1.1. Standortbeschreibung	8
3.1.2. Beschreibung der PV-Anlage.....	9
3.1.3. Fazit.....	14
3.2. Landschulheim Marquartstein	15
3.2.1. Standortbeschreibung	15
3.2.2. Beschreibung der PV-Anlage.....	17
3.2.3. Fazit.....	23
3.3. Mittelschule Markt Indersdorf.....	24
3.3.1. Standortbeschreibung	24
3.3.2. Beschreibung der PV-Anlage.....	25
3.3.3. Fazit.....	29
3.4. Sebastian Finsterwalder-Gymnasium Rosenheim	30
3.4.1. Standortbeschreibung	30
3.4.2. Beschreibung der PV-Anlage.....	31
3.4.3. Fazit.....	33
3.5. Welfen-Gymnasium Schongau	35
3.5.1. Standortbeschreibung	35
3.5.2. Beschreibung der PV-Anlage.....	35

3.5.3. Fazit.....	39
4. Analyse aller Standorte	40
5. Schlussfolgerung	43
6. Quellenverzeichnis	44
7. Anhang	46

Ein Herzliches Dankeschön!

Zunächst möchten wir uns bei allen bedanken, die unsere Arbeit in den letzten Wochen unterstützt und uns geholfen haben.

Unser spezieller Dank gilt den Betreuern Herr Prof. Dr. Gerd Becker und Herr Fabian Flade vom Solarenergieförderverein Bayern e. V. (SeV), die diese Integrative Fallstudie finanziert und uns unterstützt haben. Wir möchten uns hierbei bedanken, dass wir die Möglichkeit bekommen haben, uns mit der Analyse der Photovoltaik (PV)-Anlagen des Projekts „Sonne in der Schule“ des SeV, zu befassen. Die Bestrebungen des SeV, den Klimawandel abzumildern und die Zukunft mit erneuerbare Energien zu ebnet, sind hierbei besonders hervorzuheben.

Ganz besonders gilt unser Dank auch Herrn Prof. (FH) Dr. Georg Konrad, der diese Integrative Fallstudie betreut hat und uns mit Motivation, Wissen und den nötigen Denkanstößen zur Seite stand. Vielen Dank für ihre Mühen und die aufgebrachte Geduld.

Wir hoffen Ihnen mit den gelieferten Informationen zu helfen, die richtigen nächsten Schritte in Ihrem Vorgehen zu erleichtern.

Team Solar Schulen – FH Kufstein Tirol

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Klimadiagramm der Stadt Dorfen	9
Abb. 2: PV-Anlage Gymnasium Dorfen	10
Abb. 3: Schulgebäude Gymnasium Dorfen.....	10
Abb. 4: Monaterträge und PR des Gymnasiums Dorfen	11
Abb. 5: Jahresstromverbrauch des Gymnasiums Dorfen	12
Abb. 6: Delamination am Gymnasium Dorfen	13
Abb. 7: Solarscheibe des Gymnasiums Dorfen.....	13
Abb. 8: Turnhalle des Landschulheim Marquartstein in der Luftansicht	15
Abb. 9: Schulgelände des LSH Marquartstein	16
Abb. 10: Klimadiagramm der Gemeinde Marquartstein.....	17
Abb. 11: Modul M55 am Landschulheim Marquartstein.....	17
Abb. 12: Anordnung der Module auf der Turnhalle des Landschulheim Marquartstein	18
Abb. 13: Solarscheibe mit eingetragenen Parametern des Landschulheim Marquartstein	18
Abb. 14: Verbindungsleitung zwischen den PV-Modulreihen am Landschulheim Marquartstein	19
Abb. 15: Leitungen zum unteren PV-Modul am Landschulheim Marquartstein.....	19
Abb. 16: Potentielle Erweiterungsfläche auf der Neuen Turnhalle am Landschulheim Marquartstein	21
Abb. 17: Monatliche Stromerzeugung von 2012-2015 am Landschulheim Marquartstein	21
Abb. 18: Monatliche Stromerzeugung über die Jahre 2012-2015 verteilt am Landschulheim Marquartstein	22
Abb. 19: Betriebsstunden in den Jahren 2012-2015 am Landschulheim Marquartstein.....	22
Abb. 20: Klimadiagramm der Gemeinde Markt Indersdorf.....	25
Abb. 21: PV-Anlage der Mittelschule Markt Indersdorf	26
Abb. 22: Luftbild der Mittelschule Markt Indersdorf	26
Abb. 23: Westliche (links) und östliche (rechts) Ansicht der Mittelschule Markt Indersdorf.	27
Abb. 24: Solarscheibe der Mittelschule Markt Indersdorf	27
Abb. 25: PV-Anzeigetafel der Mittelschule Markt Indersdorf	28
Abb. 26: Klimadiagramm der Stadt Rosenheim	30
Abb. 27: PV-Anlage am Sebastian Finsterwalder Gymnasium Rosenheim	31
Abb. 28: Solarscheibe des Sebastian Finsterwalder Gymnasium Rosenheim	31
Abb. 29: Unterkonstruktion PV-Anlage Sebastian Finsterwalder Gymnasium Rosenheim...	32

Abb. 30: Jahresstromerträge Sebastian Finsterwalder Gymnasium Rosenheim.....	33
Abb. 31: Potential für neue PV-Anlage Sebastian Finsterwalder Gymnasium Rosenheim.....	34
Abb. 32: Klimadiagramm der Stadt Schongau.....	35
Abb. 33: Luftansicht des Welfen-Gymnasium Schongau	36
Abb. 34: PV-Anlage des Welfen- Gymnasium Schongau (Quelle: Eigene Abbildung).....	37
Abb. 35: Stromerträge 2015 Welfen Gymnasium Schongau	38
Abb. 36: Monatliche Stromerträge 2013- 2015 Welfen Gymnasium Schongau	38
Abb. 37: Jahreserträge der PV-Anlage am Welfen-Gymnasium Schongau von 1996- 2015 ..	39

Tabellenverzeichnis

Tab.1: Berechnung der PR der PV-Anlage am Gymnasium Dorfen	12
Tab. 2: Berechnung der PR der PV-Anlage am Landschulheim Marquartstein	20
Tab. 3: Berechnung der PR der PV-Anlage der Mittelschule Markt Indersdorf.....	29
Tab. 4: Berechnung der PR der PV-Anlage für das Sebastian Finsterwalder Gymnasium Rosenheim.....	33
Tab. 5: Berechnung der PR der PV-Anlage für das Welfen-Gymnasium Schongau.....	37
Tab. 6: Zusammenfassung der PR an den verschiedenen Schulstandorten 2013-2015	41
Tab. 7: Geschätztes Erweiterungspotenzial der verschiedenen Schulstandorte.....	42

Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung der Performance Ratio.....	8
---	---

1. EINLEITUNG

Der Solarenergieförderverein Bayern e. V., kurz SeV, hat Studenten der FH Kufstein Tirol die Möglichkeit gegeben, eine Integrative Fallstudie für den SeV auszuarbeiten. Der Studiengang „Europäische Energiewirtschaft“ hat mit dem Studiengangsleiter Prof. (FH) Dr. Georg Konrad diesen Auftrag gerne angenommen.

Im Zuge des Projekts „Sonne in der Schule“, das der SeV 1994 initiierte, wurden bis 1997 1 kWp Photovoltaik (PV)-Anlagen auf Schulen in Deutschland montiert.

Der Verein wurde gegründet, damit der Erlös der 1 MW PV-Anlage München Riem auf dem Dach der Messe München, an der der SeV mit 85,8 % beteiligt ist, in die weitere Förderung von Erneuerbaren Energien einfließen kann. Das Hauptziel des SeV ist den Klima- und Umweltschutz zu unterstützen.

Am 17.03.2016 fand in der Fachhochschule Kufstein das Kick-Off-Meeting mit Herr Fabian Flade und Herrn Prof. Dr. Gerd Becker, den Studierenden der Fallstudie „Solar-Schulen“ und Herrn Prof. (FH) Dr. Georg Konrad statt.

Die Studenten wurden hierbei mit der Aufgabenstellung betraut gemacht und die ausgewählten Schulen im Detail vorgestellt.

Die Teilnehmerschulen sollten vor Ort besucht und die PV-Anlage analysiert werden. Besonderer Augenschein sollte auf mögliche Beschädigungen sowie altersbedingte Verschleißerscheinungen geworfen werden. Die Studenten sollen den Kontakt zu dem Ansprechpartner herstellen und einen Besichtigungstermin eigenständig vereinbaren. Außerdem sollte die PV-Anlage fotografiert und besondere Vorfälle dokumentiert werden. Das Hauptaugenmerk war die Analyse der PV-Anlage des SeV und es sollen etwaige Erweiterungsoptionen erhoben werden.

Das weitere Ziel war die Betrachtung des Eigenstromverbrauchs der jeweiligen Schule und mit welchen Erweiterungen der PV-Anlage eine Erhöhung der Stromautonomie am Standort erreicht werden kann. Dabei spielt nicht das wirtschaftliche, sondern das technische Potential die entscheidende Rolle.

Für die Besichtigung wurde ein Fragebogen erstellt (siehe Anhang), damit an jedem Standort dieselben Daten erhoben werden konnten.

2. PERFORMANCE RATIO

Die Performance Ratio (PR) gibt bei PV-Anlagen das Verhältnis zwischen dem Tatsächlichen Energieertrag pro Jahr [kWh] und dem Errechneten Energieertrag pro Jahr [kWh]. Sie beschreibt also die Qualität und den Status von Alterung, Betrieb und Technologie einer Anlage. Die PR ist eine wichtige Größe zur Bewertung von PV-Anlagen. Sie errechnet sich folgendermaßen:

$$PR = \frac{\text{Tatsächlicher Energieertrag pro Jahr [kWh]}}{\text{Errechneter Energieertrag pro Jahr [kWh]}} = \frac{W_{ist}}{W_{soll}}$$

Formel 1: Berechnung der Performance Ratio

(Quelle: SMA Solar Technology AG, 2016)

3. ANALYSE DER EINZELNEN SCHULSTANDORTE

Im Zuge der integrativen Fallstudie wurden dem Team vom SeV fünf Schulen im Freistaat Bayern vermittelt. Mithilfe des SeV kam die Kontaktaufnahme zu den Partnerschulen zustande. Folgende Schulen zeigten sich zu einer Kooperation bereit und werden nun im Einzelnen detailliert beschrieben: Gymnasium Dorfen, Landschulheim Marquartstein, Mittelschule Markt Indersdorf Sebastian Finsterwalder-Gymnasium Rosenheim und das Welfen-Gymnasium Schongau.

3.1. GYMNASIUM DORFEN

In den folgenden Unterkapiteln werden der Standort und die PV-Anlage des Gymnasiums Dorfen beschrieben und analysiert.

3.1.1. Standortbeschreibung

Die Stadt Dorfen befindet sich im Landkreis Erding und ist flächenmäßig die viertgrößte Stadt Oberbayerns. Das Gymnasium in Dorfen wurde im Schuljahr 1974/75 gegründet und es handelt sich hierbei um ein naturwissenschaftlich-technologisches und sprachliches Gymnasium mit ca. 1.200 Schülern. Die Schule bzw. das Areal besteht aus einem Hauptgebäude, dem Sportareal und einem Erweiterungsbau. Die vom SeV, finanzierte PV-Anlage befindet sich auf dem Flachdach des Gebäudes. Die Ausrichtung der PV-Anlage ist nach Süden und es sind keine Verschattungsmöglichkeiten gegeben. Das Klima in Dorfen ist gemäßigt und kalt. Es ist das ganze Jahr über mit hohen Niederschlägen zu rechnen und beträgt durchschnittlich

888 mm mit einer durchschnittlichen Temperatur von 8,1 °C. Die Differenz der Niederschläge zwischen dem niederschlagsärmsten Monat und dem niederschlagsreichsten Monat beträgt 69 mm. Die durchschnittlichen Temperaturen schwanken im Jahresverlauf um 19,8 °C (siehe Abb. 1). Die Globalstrahlung liegt in Dorfen bei 1.165 – 1.179 kWh/m² im Jahr (Quelle: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, 2016)

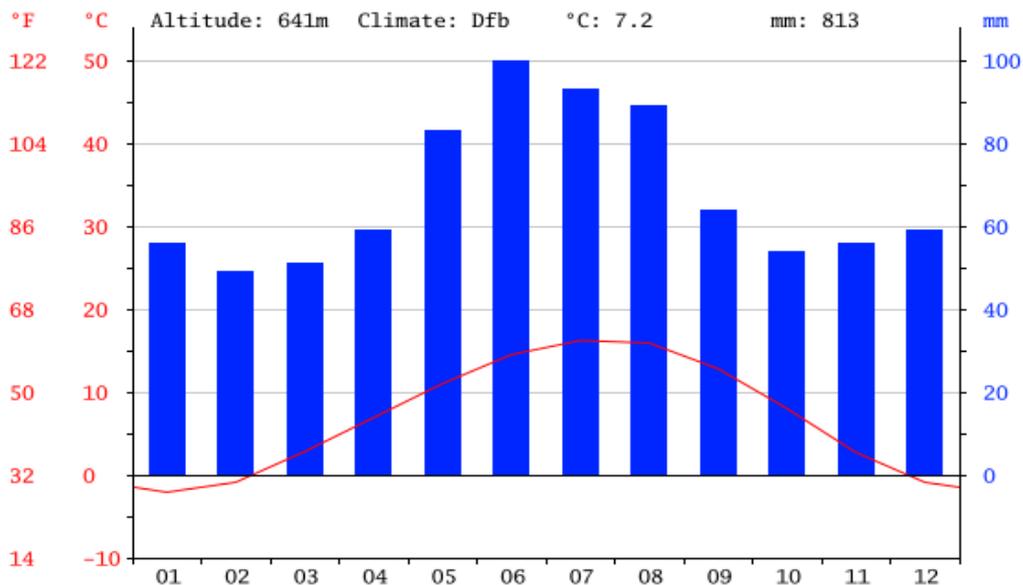


Abb. 1: Klimadiagramm der Stadt Dorfen
(Quelle: AmbiWeb GmbH, 2016a)

3.1.2. Beschreibung der PV-Anlage

Die PV-Anlage besitzt eine Nennleistung von 1,1 kWp mit einer Modulfläche von 8,53 m² und wurde 1997 errichtet. Diese setzt sich aus 20 Paneelen (1.293 x 329 mm) vom Modultyp Siemens und Shell Solar GmbH M55 zusammen. Es handelt sich um monokristalline Solarzellen und die relative Verringerung des Modulwirkungsgrades bei einer Strahlungsintensität von 200 W/m², bezogen auf 1.000 W/m² bei 25 °C Umgebungstemperatur und Spektrum AM 1,5 beträgt 7 %. Die PV-Anlage ist eine Aufdachmontage ohne Nachführung mit geringen Abstand (<10cm) zwischen den PV-Modulen und einer Neigung von 30-40 ° mit Süd-Ost Ausrichtung. Die PV-Module sind jeweils in fünfer Gruppen seriell und diese wiederum parallel verschaltet. Für die PV-Anlage kommt ein Wechselrichter vom Typ Siemens AG A&D SPN 1000 zum Einsatz. Auf dem Bild deutlich erkennbar die 1,1 kWp PV-Anlage, sowie weitere ungenutzte Freiflächen.



Abb. 2: PV-Anlage Gymnasium Dorfen
(Quelle: Eigene Abbildung)

Bei etwaigen Schäden an PV-Modulen wurden diese durch neue ersetzt. Eine regelmäßige Reinigung der PV-Module ist nicht vorhanden, jedoch wurden spröde oder brüchige Leitungen ausgetauscht und erneuert. Das Landesratsamt Erding betreibt und verwaltet die PV-Anlage, sowie eine zweite PV-Anlage mit 20 kWp auf dem Erweiterungsbau des Schulgebäudes (siehe Abb. 3)



Abb. 3: Schulgebäude Gymnasium Dorfen

(Quelle: Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, 2016)

Die große PV-Anlage produziert im Jahr ca. 18.000 kWh welcher zur Eigenbedarfsdeckung dient und somit den externen Strombedarf reduziert. Alles darüber hinaus wird eingespeist. Bei diversen anderen Mängeln oder Fehlern an der Anlage bzw. dem Wechselrichter wird das örtliche Stadtwerk verständigt, die diese behebt. Die 1,1 kWp PV-Anlage dient ausschließlich der Eigenbedarfsdeckung des Gymnasiums und es wird kein Strom in das örtliche Netz eingespeist. Die nachfolgende Grafik zeigt die Monatserträge der 1,1 kWp PV-Anlage des Gymnasiums Dorfen, sowie die jeweilige Performance Ratio der Monate (siehe Abb. 4).

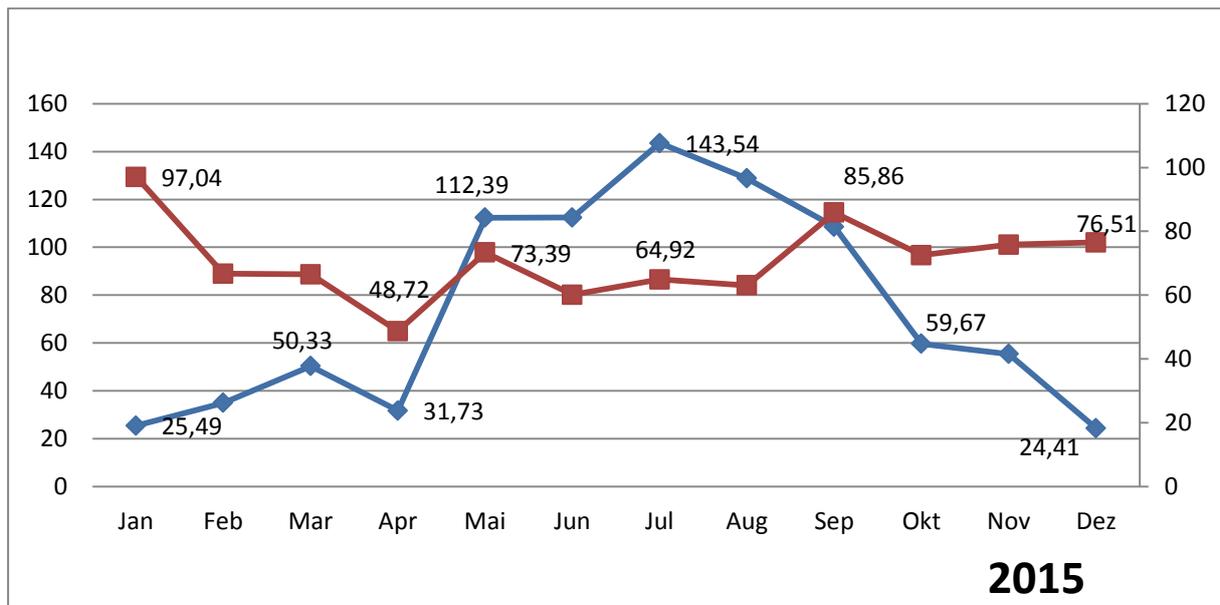


Abb. 4: Monatserträge und PR des Gymnasiums Dorfen
 (Quelle: Eigene Abbildung, Daten: Gymnasium Dorfen, 2016)

In Tabelle 1 ist die Berechnung der Performance Ratio für die 1,1 kWp PV-Anlage dargestellt. Die PR errechnet sich durch die Division von Soll- und Ist Stromertrag. Der Soll-Ertrag errechnet sich durch die Multiplikation von der PV-Modulfläche mit dem PV-Modulwirkungsgrad und der Aufstellungsstrahlung. Die Aufstellungsstrahlung ergibt sich aus der Globalstrahlung und dem Aufstellungs-faktor. Die PR beträgt 62,4 % (2014) und 68,9 % (2015) für 2013 sind keine Aufzeichnungen vorhanden.

Tab.1: Berechnung der PR der PV-Anlage am Gymnasium Dorfen

Performance Ratio	2015	0,689	68,9 %	
	2014	0,624	62,4 %	
Globalstrahlung	1.172 [kWh/m ²]		Aufstellungsstrahlung	1.172 [kWh/m ²]
Aufstellungsfaktor	100%			
			Modulaufnahmemarbeit	55 [Wp]
Gesamtfläche	8,51 [m ²]		Anzahl Module	20
Modulwirkungsgrad	12,93%		Modulfläche	0,425 [m ²]
			Länge Modul	1,293 [m]
			Breite Modul	0,329 [m]
Leistung STC	1.000 [kWh/m ²]			
Soll-Ertrag	1.289 [kWh]		Ist-Ertrag (2015)	888 [kWh]
			Ist-Ertrag (2014)	804 [kWh]

In Abb. 5 sind die Stromverbräuche des Gymnasium Dorfen der letzten fünf Jahre dargestellt. Der Rückgang des Stromverbrauchs in den Jahren 2014 und 2015 ist darauf zurückzuführen, dass bis 2014 mehrere Klassen in Containern untergebracht waren, welche mit Strom beheizt wurden. Mit Fertigstellung des neuen Erweiterungsbau konnten die Container wieder abgebaut werden. Auf diesem Erweiterungsbau wurde die 20 kWp PV-Anlage des Landesratsamt Erding errichtet.

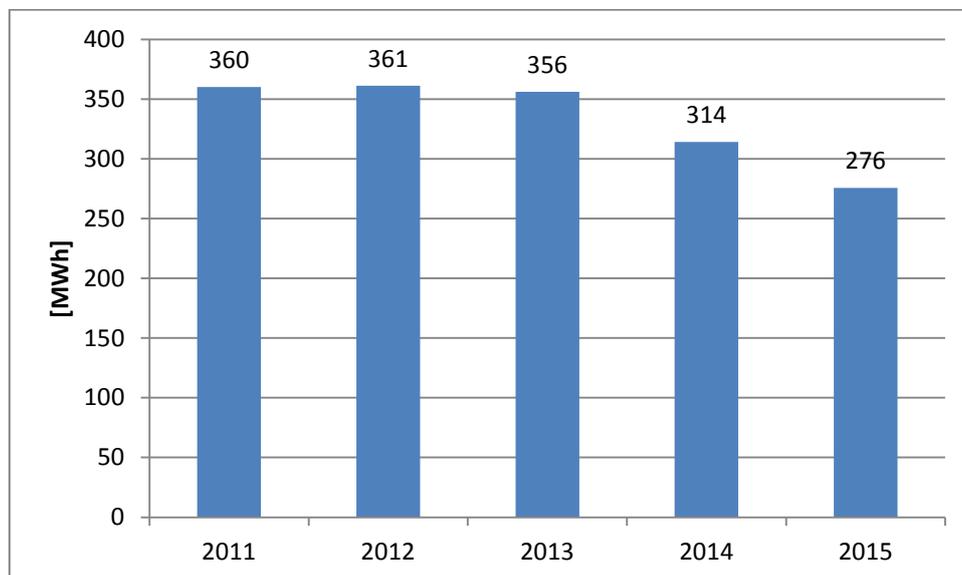


Abb. 5: Jahresstromverbrauch des Gymnasiums Dorfen
(Quelle: Eigene Abbildung, Daten: Gymnasium Dorfen, 2016)

Wie Abb. 6 zeigt, sind solche Delaminationen nicht nur ein ästhetisches Problem, sondern reduzieren die Modulleistung beträchtlich und sollten umgehend gewechselt werden. Abb. 6 zeigt die 1,1 kWp PV-Anlage auf dem Schulgebäude des Gymnasiums Dorfen, sowie eine bereits fortgeschrittene Delamination im mittleren Bereich (rot) und einer leichten Delamination im oberen Bereich (gelb).

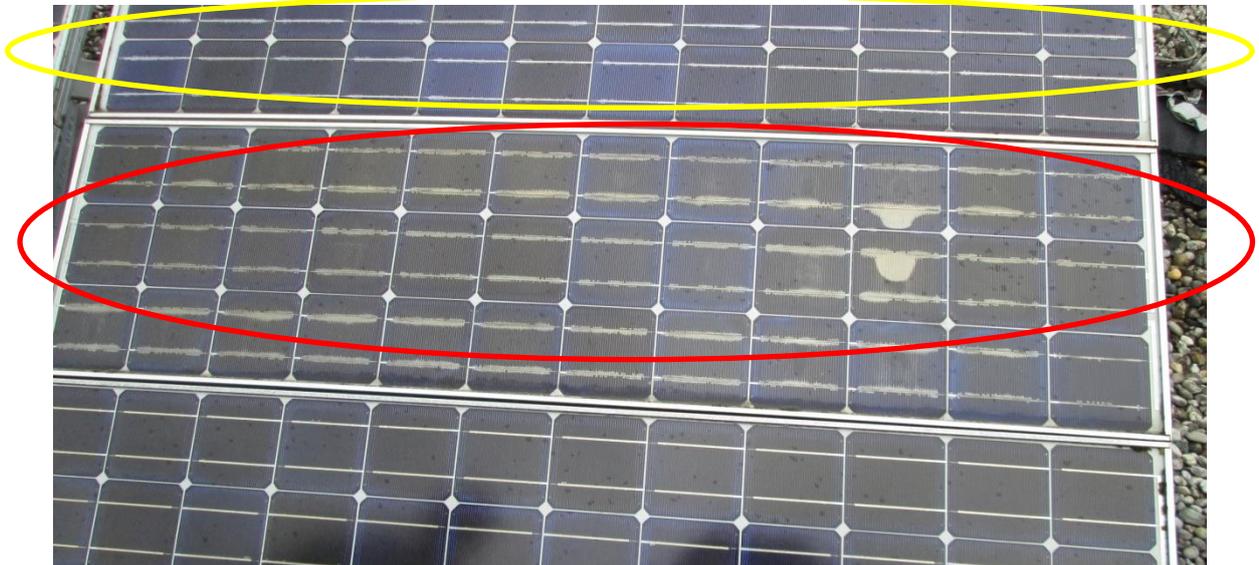


Abb. 6: Delamination am Gymnasium Dorfen

(Quelle: Eigene Abbildung)

In Abb. 7 sieht man den Aufstellungsfaktor für den Standort des Gymnasiums Dorfen und Erweiterungspotential würde noch für ca. 80 - 100 kWp bestehen, siehe hierzu Abb.3.

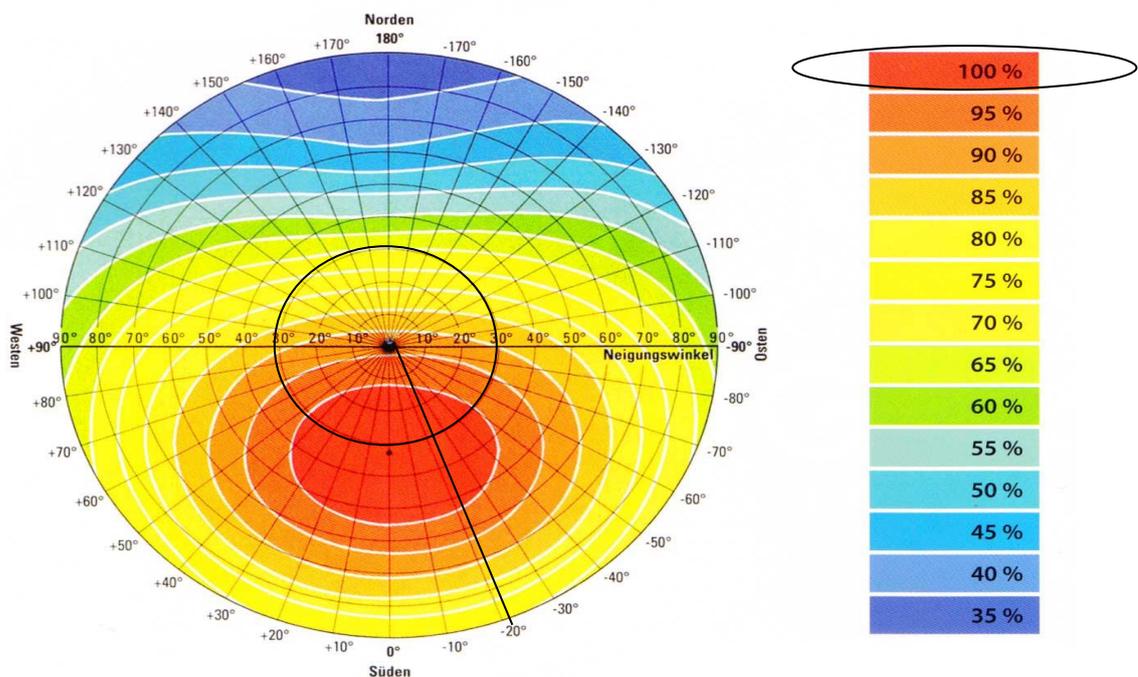


Abb. 7: Solarscheibe des Gymnasiums Dorfen

(Quelle: OTAenergy, 2016)

3.1.3. Fazit

Trotz nun fast 20 jährigem Betrieb funktioniert die PV-Anlage weiterhin. Die PR beträgt 68,6 % für 2015 bei einem Wirkungsgrad von 12,93 % und einem Strom- Deckungsgrad von 0,03 %. Der Deckungsgrad der zweiten PV-Anlage mit 20 kWp für den Schulbetrieb beträgt schon 6 %. Im Laufe der Zeit können an Solarmodulen auch andere Veränderungen auftreten, die zwar nicht sicherheitsrelevant sind, jedoch im Laufe der Zeit zunehmenden Leistungsverlust bewirken. Nach einigen Betriebsjahren kommt es oft zu einer Langzeitdegradation, die sich in Delaminationen vor allem in der Umgebung der Kontaktstreifen manifestierte. Die Potentielle Fläche konnte nicht eruiert werden, jedoch konnte mit der Luftaufnahme (Abb. 3) eine Einschätzung des Potentials getroffen werden. Das Dach selbst bietet noch genügend Platz für weitere PV-Anlagen.

3.2. LANDSCHULHEIM MARQUARTSTEIN

In den folgenden Unterkapiteln wird der Standort Landschulheim (LSH) Marquartstein und deren PV-Anlage im Detail beschrieben und analysiert.

3.2.1. Standortbeschreibung

Die PV-Anlage ist im Zuge des Projekts „Sonne in der Schule“ des SeV im September 1995 errichtet worden. Sie ist nach Süd-Süd-Ost (-10°) ausgerichtet und befindet sich auf dem Dach der schuleigenen Turnhalle (Abb. 8).



Abb. 8: Turnhalle des Landschulheim Marquartstein in der Luftansicht
(Quelle: Google Maps, 2016)

Das staatliche Landschulheim (LSH) Marquartstein ist ein naturtechnologisches und sprachliches Gymnasium mit Internat. Die Gemeinde Marquartstein liegt in der Chiemgauer Voralpenregion, zehn Kilometer südlich vom Chiemsee und ist Teil des Landkreises Traunstein. Das heutige Schulgebäude war ursprünglich ein Schloss und wurde Mitte des Jahres 1958 zur Schule und zum Internat umgebaut. Das Schloss liegt am Fuße des Hochgern bei Marquartstein und ist aufgrund des Alters zum Teil denkmalgeschützt. Durch stetige Vergrößerung des Schulbereichs, dargestellt in Abb. 9, ergab sich trotzdem die Möglichkeit, dass das LSH Teilnehmer bei dem Projekt „Sonne in der Schule“ wurde. Das zusätzlich errichtete Internat am Hang über dem Schloss, und zwei Turnhallen am Fuße des Berges, ergeben genügend Potential zur photovoltaischen Nutzung (Abb. 9). Da das Internat aufgrund von Verschattung und Ausrichtung der Gebäude unwirtschaftlich für die PV-Stromproduktion wären, beschränkte man sich auf die Turnhallen. Die Schule hat zwei Turnhallen. Eine

kleine, ältere Turnhalle, welche zweigeteilt auch als Wohnfläche für Internatsschüler genutzt wurde, und eine später erbaute größere Turnhalle. Die neue große Turnhalle wurde durch die bessere Ausrichtung und stabilere Dachkonstruktion für das Projekt „Sonne in der Schule“ 1995 gewählt. Die kleine Turnhalle wird voraussichtlich jetzt in den kommenden Jahren wegen Baufälligkeit abgerissen. Die Genehmigung für den Neubau einer weiteren Turnhalle wird aktuell diskutiert. Das Dach der neu zu errichtenden Turnhalle, soll als Parkplatz dienen, der mit aufgeständerten PV-Anlagen genutzt werden könnte, falls die Genehmigung zum Bau erteilt werden sollte (Abb. 9).



Abb. 9: Schulgelände des LSH Marquartstein
(Quelle: Google Maps, 2016)

Die Globalstrahlung liegt bei diesem Standort bei ca. 1.070 kWh/m² (Quelle: Bayerisches Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, 2016). Durch die Lage am Fuße des Hochgerns kommt es in den Morgenstunden oft zur Verschattung. In südöstlicher bis südwestlicher Richtung befinden sich keine Schattenquellen mehr und lediglich um die Sommersonnenwende ist in westlicher Richtung die Hochplatte als Schattenquelle vorhanden. In Abb. 10 ist das Klimadiagramm für die Gemeinde Marquartstein dargestellt. In Marquartstein herrscht gemäßigtes, kaltes Klima. Die Niederschläge sind ganzjährig und regelmäßig verteilt, kumuliert fallen ca. 1.038 mm Niederschlag jährlich an. Im Februar fällt mit 52 mm am wenigsten Niederschlag während der Juli mit 138 mm durchschnittlich im Monat als der niederschlagsreichste Monat gilt. Damit liegt die Differenz der Niederschläge bei 86 mm. Im Juli ist es mit durchschnittlich 17,7 °C auch am wärmsten. Der Januar hingegen ist der

kälteste Monat mit durchschnittlich $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Damit beträgt die jährliche Temperaturschwankung $19,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Quelle: AmbiWeb GmbH, 2016).

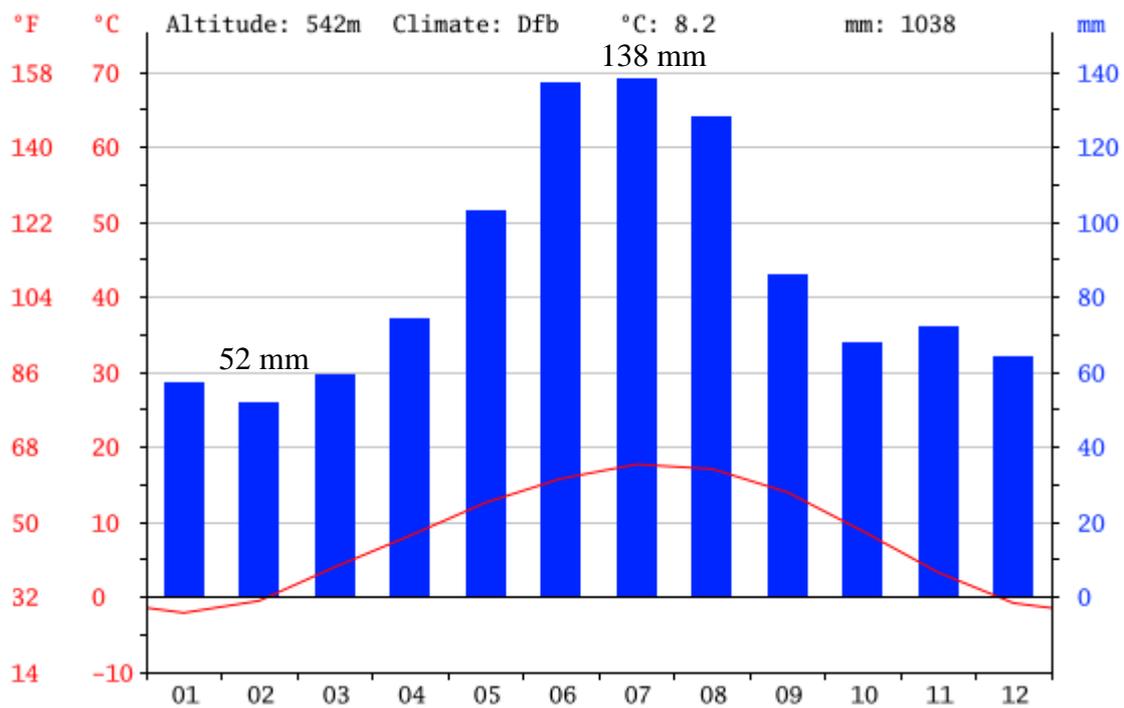


Abb. 10: Klimadiagramm der Gemeinde Marquartstein
(Quelle: AmbiWeb GmbH, 2016b)

3.2.2. Beschreibung der PV-Anlage

Die PV-Anlage hat eine installierte Leistung von $1,06\text{kWp}$. Sie besteht aus 20 mono-kristallinen M55 Modulen á 1.293 mm mal 329 mm der Firma Siemens AG (Abb. 11). Aufgrund der Globalstrahlung von 1.070 kWh/m^2 , der angegebenen Aufnahmeleistung eines Moduls von 53 Wp und der Fläche von $0,425\text{ m}^2$ ergibt sich ein Modulwirkungsgrad von $12,46\%$.



Abb. 11: Modul M55 am Landschulheim Marquartstein
(Quelle: Eigene Abbildung)

Die PV-Module sind in zwei Zehner Reihen montiert, sodass sich die Gesamtfläche von ca. 8,51 m² auf zwei gleich große Flächen mit jeweils 4,25 m² verteilt (Abb. 12).



Abb. 12: Anordnung der Module auf der Turnhalle des Landschulheim Marquartstein
(Quelle: Eigene Abbildung)

Es wurde der Wechselrichter SPN1000 von der Firma Siemens AG verwendet. Die Ausrichtung der PV-Anlage ist in süd-süd-östlicher Richtung (-10°) mit einem Aufstellwinkel von 30° gegenüber der Waagrechten aufgestellt. Gemäß Darstellung der Solarscheibe für den Standort LSH Marquartstein (Abb. 13) ergibt sich damit ein Aufstellfaktor von 100 %.

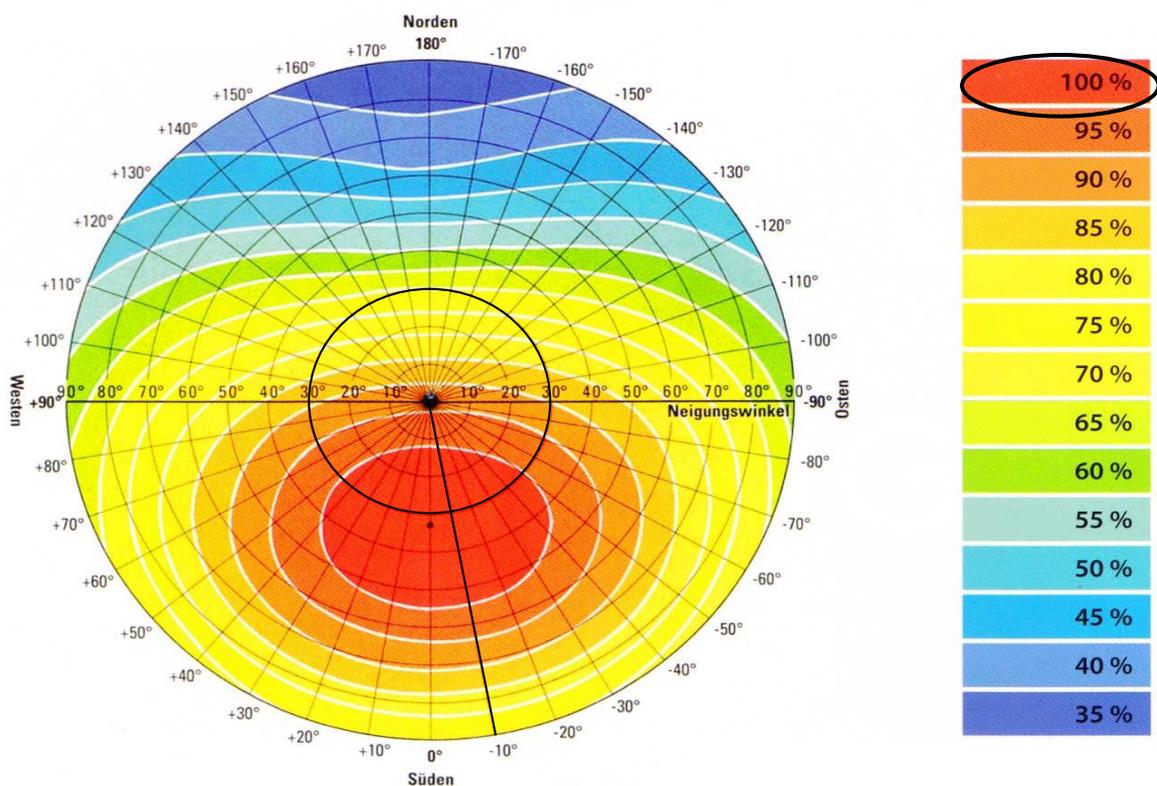


Abb. 13: Solarscheibe mit eingetragenen Parametern des Landschulheim Marquartstein
(Quelle: OTAenergy, 2016)

Mit den PV-Modulen wurde 1995 ein kaputter Wechselrichter geliefert, der nach Bemerken des Defekts anstandslos von der Firma Siemens AG ersetzt und montiert wurde. Außerdem gab es einmal einen größeren Datenverlust, welcher durch Schüler verursacht wurde, die mit der PV-Anlage arbeiteten. Die Daten konnten leider nur zum Teil wiederhergestellt werden. Bis auf diese zwei Zwischenfälle funktionierte die PV-Anlage bisher fehlerfrei. Die PV-Anlage wird im Netzparallelbetrieb betrieben und speist somit den gesamten Strom ins Netz ein. Wie in Abb. 14 und Abb. 15 erkennbar, wurden die Stromleitungen erneuert. Der Verantwortliche Herr Wolfgang Kentzia, der Ansprechpartner des SeV und somit der Zuständige für die PV-Anlage, ist gelernter Elektriker und tauschte in Eigeninitiative vor vier Jahren die Stromleitungen, weil die alten porös waren, vollständig aus. Zusätzlich will er die offenen Leitungen, die in Abb. 15 zu sehen sind, verkleiden, sodass die UV-Strahlung der Sonne nicht direkt die Isolation der Leitungen beschädigen kann.



Abb. 14: Verbindungsleitung zwischen den PV-Modulreihen am Landschulheim Marquartstein
(Quelle: Eigene Abbildung)

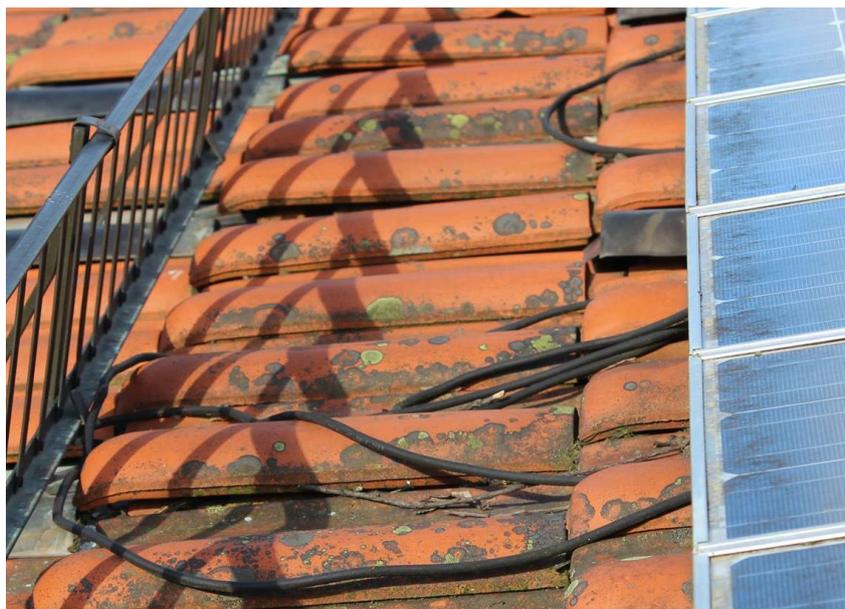


Abb. 15: Leitungen zum unteren PV-Modul am Landschulheim Marquartstein
(Quelle: Eigene Abbildung)

Zusätzlich reinigt er die PV-Anlage einmal jährlich, sodass der Zustand der PV-Module als sehr gut erhalten anzunehmen ist. Der Beweis für diese Annahme ist zum Beispiel die hervorragende PR die in Tab. 2 errechnet wurde.

Tab. 2: Berechnung der PR der PV-Anlage am Landschulheim Marquartstein

Performance Ratio	2015	82,08%			
	2014	89,67%			
	2013	101,48%			
Globalstrahlung	1.070	[kWh/m ²]	Aufstellungsstrahlung	1.070	[kWh/m ²]
Aufstellungsfaktor	100%				
			Modulaufnahmemarbeit	53	[Wp]
Gesamtfläche	8,51	[m ²]	Anzahl Module	20	
Modulwirkungsgrad	12,46%		Modulfläche	0,425	[m ²]
			Länge Modul	1,293	[m]
			Breite Modul	0,329	[m]
Leistung STC	1.000	[kWh/m ²]			
Soll-Ertrag	1.134	[kWh]	Ist-Ertrag (2015)	931	[kWh]
			Ist-Ertrag (2014)	1.017	[kWh]
			Ist-Ertrag (2013)	1.151	[kWh]

Besonders herauszuheben bei Tab. 2, ist die PR im Jahr 2013. In diesem Jahr konnte eine PR von über 1 erreicht werden, was bedeutet, dass das Wetter 2013 exorbitant gut für die PV-Produktion sein mußte.

Trotz sehr guter Erweiterungsmöglichkeiten, wurde bisher keine Erweiterung vorgenommen. Wie in Abb. 16 erkennbar, hat man an dem Standort ein großes Dachflächenpotential. Nach eigenen Schätzungen kann die PV-Anlage ohne Probleme auf 10 bis 15 kWp erhöht werden, wenn die baugleichen PV-Module verwendet werden. Aufgrund der starken PV-Modulentwicklungen in den letzten 20 Jahren ist eine noch größere PV-Anlage mit effizienteren PV-Modulen auch sehr gut denkbar und wäre sehr erfolgsversprechend. Im Jahr 2013 wurde zusätzlich eine Hackschnitzelheizung errichtet, die den thermischen Energieverbrauch der Schule komplett deckt.



Abb. 16: Potentielle Erweiterungsfläche auf der Neuen Turnhalle am Landschulheim Marquartstein
 (Quelle: Eigene Abbildung)

In Abb. 17 und Abb. 18 ist die monatlich erzeugte Leistung in den Jahren 2012 bis 2015 dargestellt. Im August 2012 wurde mit Abstand am meisten Strom erzeugt, während im selben Monat 2015 der niedrigste Wert erreicht wurde. Dies ist im Nachhinein nicht begründbar. Der Einbruch 2015 könnte an einem unbemerkten Zählerausfall liegen. Die große Spitze im Jahr 2012 könnte auch an einer Datenverschiebung liegen, da im Juli und September des gleichen Jahres unerwartet kleine Energiemengen eingespeist wurden. Leider sind das alles nur Vermutungen.

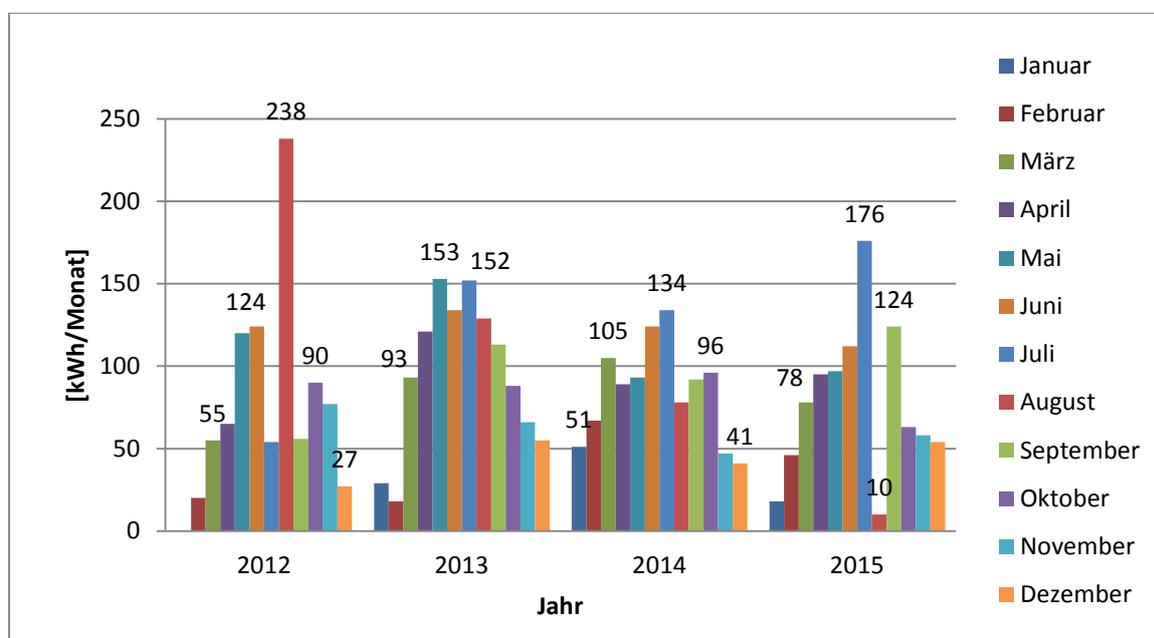


Abb. 17: Monatliche Stromerzeugung von 2012-2015 am Landschulheim Marquartstein
 (Quelle: Eigene Abbildung, Daten: LSH Marquartstein, 2016)

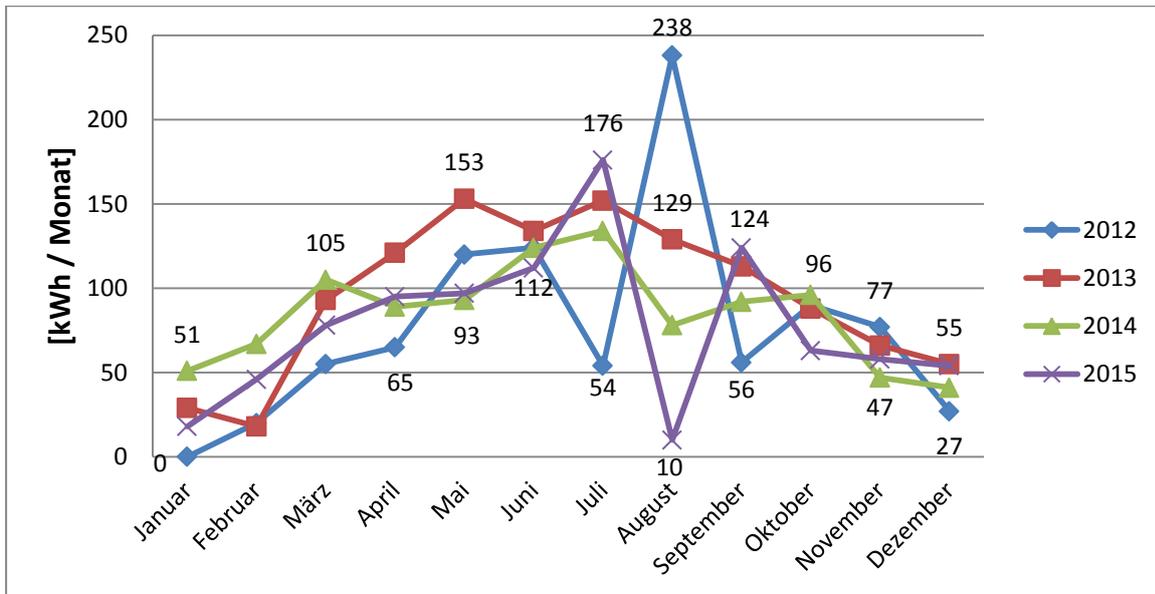


Abb. 18: Monatliche Stromerzeugung über die Jahre 2012-2015 verteilt am Landschulheim Marquartstein

(Quelle: Eigene Abbildung, Daten: LSH Marquartstein, 2016)

Auch die Betriebsstunden ergeben im Jahresverlauf eine sehr plausible Jahreskurve (Abb. 19). Da in den mitteleuropäischen Breitengraden die Dauer des Tages bis zum 21. Juni regelmäßig ansteigt und bis zum 21. Dezember die Tageslänge wieder abnimmt, ist es logisch, dass in den Sommermonaten Mai, Juni, Juli und August die Anzahl der Betriebsstunden am höchsten ist. Die Anzahl an Betriebsstunden gibt auch Aufschluß auf die Anomalie im Jahr 2012, im Juli lief die Anlage nur 303 h und im September nur 160 h. Das im Vergleich zu den anderen Jahren in denselben Monaten sehr wenig ist. Im August 2012 hingegen kam die Anlage auf 607 Betriebsstunden, deshalb ist auch die Stromerzeugung im September und Juli 2012 so niedrig bzw. im August 2012 so hoch (Abb. 19).

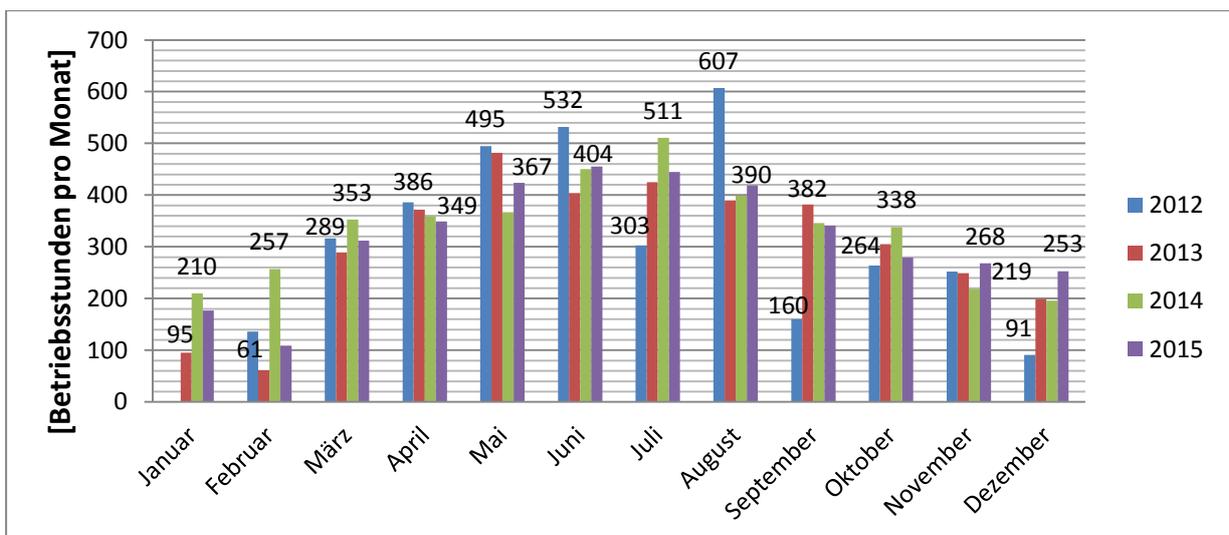


Abb. 19: Betriebsstunden in den Jahren 2012-2015 am Landschulheim Marquartstein

(Quelle: Eigene Abbildung, Daten: LSH Marquartstein, 2016)

3.2.3. Fazit

Der PV-Standort am LSH Marquartstein bietet ein großes Erweiterungspotential für eine PV-Anlage. Die Ausrichtung im 30° Winkel zur Ebene und die in -10° süd-süd-östliche Himmelsrichtung ausgerichtete PV-Anlage, hat zudem eine gute Einstrahlung für den Standort Bayern. Mit 1.070 kWh/m^2 ist der Standort zwar nicht unter den Höchstwerten Bayerns, dafür aber gehobener Durchschnitt. Außerdem ist der Betreuer Herr Wolfgang Kentzia, als Elektriker höchst geschult für die Aufsicht der PV-Anlage und auch sehr bemüht die PV-Anlage in tadellosen Zustand zu halten. Dies ist z.B. mit der Eigeninitiative bei der Erneuerung der Leitungen und der jährlichen Reinigung der Anlage zu sehen. Zusätzlich war er sehr kooperativ bei Bereitstellung von Daten und Unterlagen.

Auch die PV-Anlage an sich, hat sehr gute Kennzahlen. Die PR von $81,6 \%$ (2012) bis $101,5 \%$ (2013) nach 17 bzw. 18 Jahren ist. Außerdem sind die Erzeugungskurven und die Betriebsstundenkurven größtenteils regelmäßig und vorhersehbar (Abb.17 – 19). Die Erweiterungsmöglichkeiten sind ausreichend vorhanden (Abb. 16). Nach eigenen Schätzungen ist bei einer Dachfläche von 250 m^2 , ein Errichtungspotential um das 15 bis 20-fache der aktuellen PV-Anlage möglich. Zusätzlich ist bei einer Neuerrichtung der geplanten Turnhalle noch mehr Potential für eine PV-Anlage gegeben.

3.3. MITTELSCHULE MARKT INDERSDORF

In den folgenden Unterkapiteln wird der Standort Mittelschule Markt Indersdorf und deren PV-Anlage im Detail beschrieben und analysiert.

3.3.1. Standortbeschreibung

Der Standort Markt Indersdorf liegt nordwestlich, ungefähr 40 km von München entfernt. Die Stadt hat 9.000 Einwohner, wobei 422 Schüler in der Grund - und Mittelschule zur Schule gehen. Das Schulgebäude der Mittelschule Markt Indersdorf ist am Rande der Stadt angesiedelt und hat einen Jahresverbrauch an Strom von 529 MWh. Bis vor kurzem wurde die Schule noch mit Erdölheizung betrieben. Doch im Jahre 2013 wurde das Gebäude energetisch saniert und an ein Blockheizkraftwerk (BHKW) angeschlossen. Das BHKW wird mit Rohbiogas aus der „NaWaRo-Anlage“ in Ried gespeist und versorgt den gesamten Schulkomplex, inklusive Hallenbad und Kindergarten, mit Wärme. Der Wärmebedarf wird vom BHKW - je nachdem, wie streng der Winter ausfällt - fast vollständig gedeckt. Der produzierte Strom des BHKW wird physikalisch in den Transformator der Schule eingespeist, aus dem die Schule wiederum ihren Strombedarf bezieht. Rechtlich hat das BHKW aber keine Geschäftsbeziehung, denn sie verkaufen ihren Strom über die EEG-Vergütung an den örtlichen Energieversorger, Bayernwerk AG, und die Schule kauft ihren Strom vom Energieversorger EON. Die BHKW-Anlage speist im Jahresdurchschnitt stündlich Strom von 235 kWh ein.

Es wurde aber schon vor über 25 Jahren (Böller, 2016) an erneuerbare Energie gedacht und deshalb wurde eine kleine Solaranlage mit 8 PV-Modulen an der Außenwand der Schule errichtet. Diese PV-Anlage war als Vorzeigeprojekt gedacht und konnte genug Strom erzeugen um ein Gewächshaus mit Strom zu beliefern und Akkus der Bohrmaschinen des Werkraums aufzuladen. Das Gewächshaus gibt es heute nicht mehr und die PV- Module, die zwar noch auf der Fassade zu sehen sind, funktionieren nicht mehr. 1997 wurde dann das Projekt „Solar-Schulen“ vom Solarförderverein Bayern e.V. ins Leben gerufen. Die Photovoltaikanlage befindet sich immer noch im Betrieb und produziert erneuerbaren Strom, der anschließend ins Netz eingespeist wird.

Markt Indersdorf weist ein kaltes Klima, mit deutlichen Niederschlägen auf. Über das Jahr verteilt gibt es 857 mm Niederschlag, wobei Juni mit 144 mm der niederschlagreichste und Februar mit 47 mm der niederschlagärmste Monat ist (Abb. 20). Markt Indersdorf hat eine Jahresdurchschnittstemperatur von 8,1° C (Quelle: AmbiWeb GmbH, 2016d).

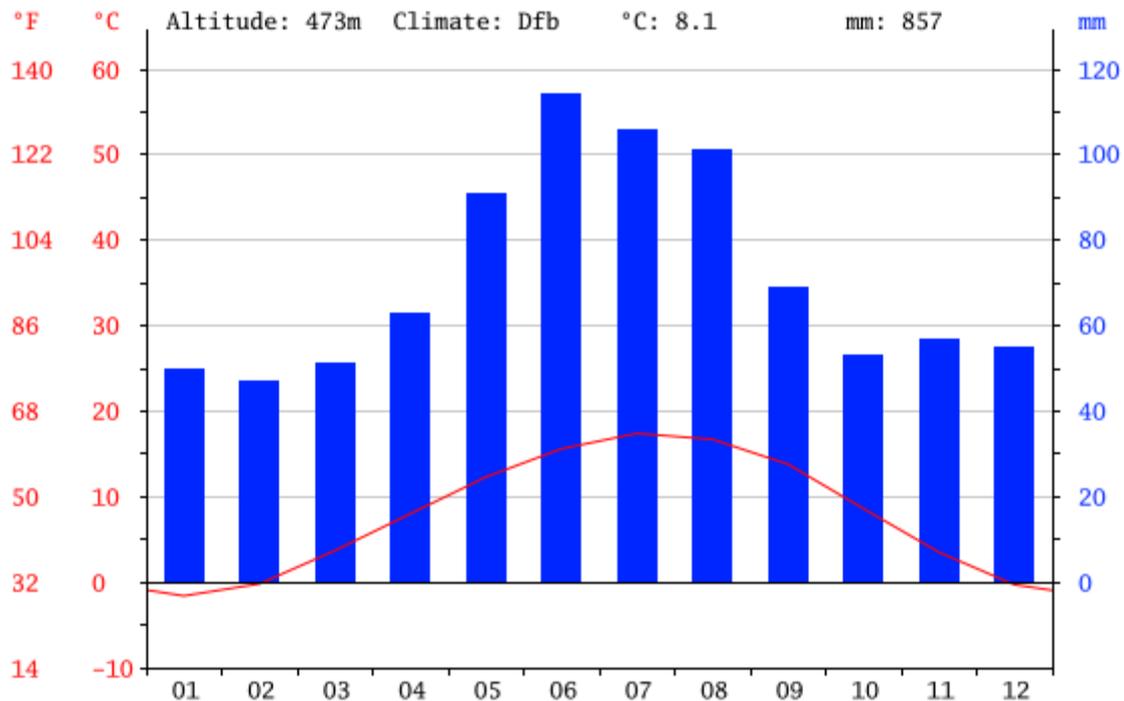


Abb. 20: Klimadiagramm der Gemeinde Markt Indersdorf
(Quelle: AmbiWeb GmbH, 2016c)

3.3.2. Beschreibung der PV-Anlage

Die PV-Anlage befindet sich im 1. Stock, auf einer Terrasse, welche durch ein Klassenzimmer betreten wird. Sie ist gut zugänglich, doch braucht es einen Schlüssel um auf das Gelände zu kommen. Beim Betreten des Bereichs ist als erstes die Leitung der PV-Anlage zu sehen, das von der Innenwand über eine Fläche zur PV-Anlage reicht. Auf dem steinigen Untergrund liegt die Leitung ungeschützt. Dadurch, dass niemand das Gelände unbeaufsichtigt betreten kann, sind die Leitungen auch nicht gefährdet. Nach sorgfältiger Betrachtung konnten auch keine Mängel entdeckt. Die Leitungen mussten nach Herrn Böller noch nie gewechselt werden und es ist auch noch nie ein Störfall oder Sachschaden aufgetreten. Es waren auch keine größeren Mängel auf der PV-Anlage ersichtlich.

Die Photovoltaikanlage befindet sich auf einem ca. 50 cm hohen Mauervorsprung an der Außenmauer in fast nahezu südlicher Ausrichtung. Die PV-Anlage besteht aus 20 aneinander gereihten PV-Modulen und ist mit einem Aufstellwinkel von 45° (geschätzt) an der Außenmauer montiert. Die PV-Module selber haben eine Größe von 1.293 mm mal 329 mm und bestehen aus monokristallinen Zellen vom TypM55 der Firma Siemens AG (Abb. 21)



Abb. 21: PV-Anlage der Mittelschule Markt Indersdorf

(Quelle: Eigene Abbildung)

Zwei Gebäudeerhöhungen von ca. 7-8 Metern umschließen die Mauer links und rechts der PV-Anlage und bei Sonnenaufgang und Sonnenuntergang verschatten sie einige PV-Module. Nach Süden gibt es keine Verschattungen (Abb. 22 und Abb. 23)

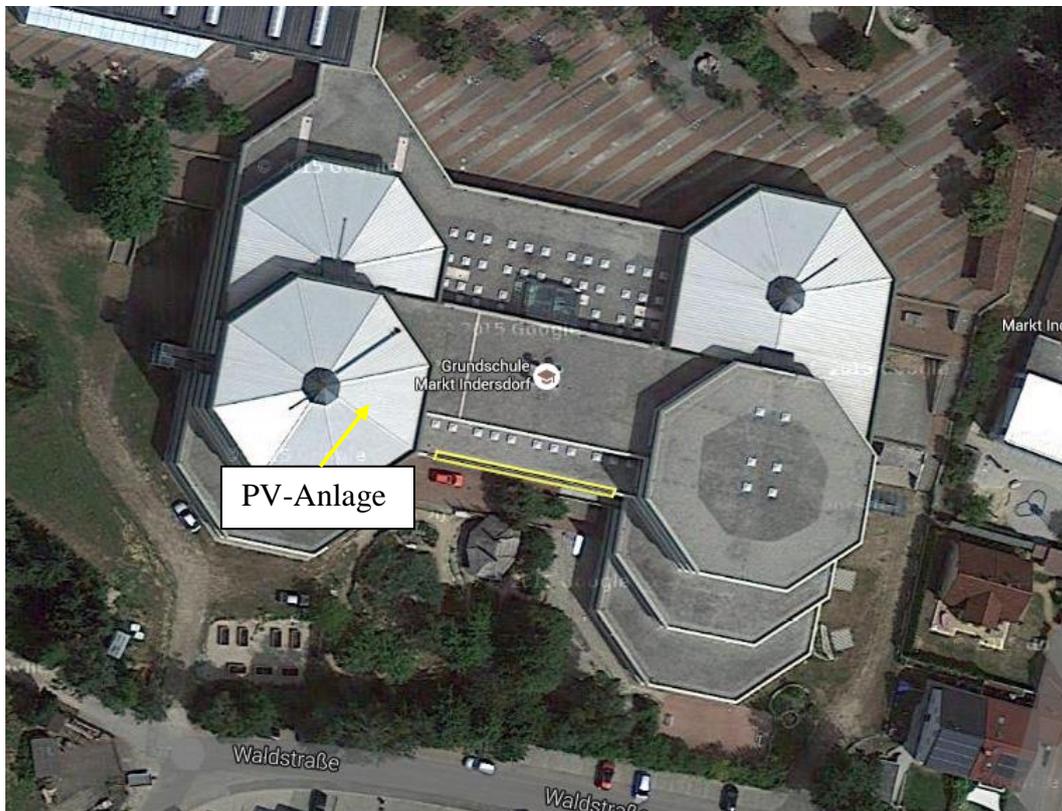


Abb. 22: Luftbild der Mittelschule Markt Indersdorf

(Quelle: Google Earth, 2016)



Abb. 23: Westliche (links) und östliche (rechts) Ansicht der Mittelschule Markt Indersdorf
 (Quelle: Eigene Abbildung)

In Markt Indersdorf liegt die Globalstrahlung bei 1.165 – 1.179 kWh/m² (Quelle: Bayerisches Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, 2016). Bei einem Aufstellwinkel von 45° und Ausrichtung beinahe nach Süden ergibt sich eine optimale Aufstelllage der PV-Anlage (Abb. 24).

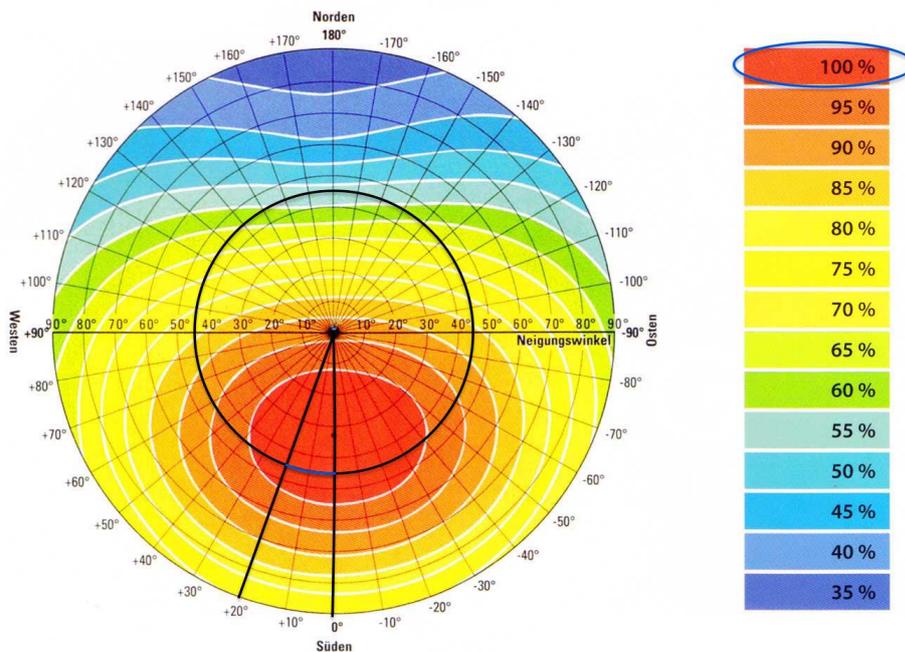


Abb. 24: Solarscheibe der Mittelschule Markt Indersdorf
 (Quelle: OTAenergy, 2016)

Die PV-Module sind mit dem Wechselrichter verbunden. Dieser Wechselrichter des Typs SPN1000 von Siemens, befindet sich in dem Schulgebäude, vor dem Sekretariat, wo auch für Jedermann eine gut sichtbare Anzeigetafel errichtet wurde (Abb. 25). Diese Anzeigetafel zeigt einen schematischen Aufbau der Solaranlage an, sowie auch die Leistung und den Gesamtertrag der erzeugten Arbeit in kWh vom Errichtungsjahr bis heute. Am Tag der Besichtigung waren 18.800,5 kWh abzulesen.

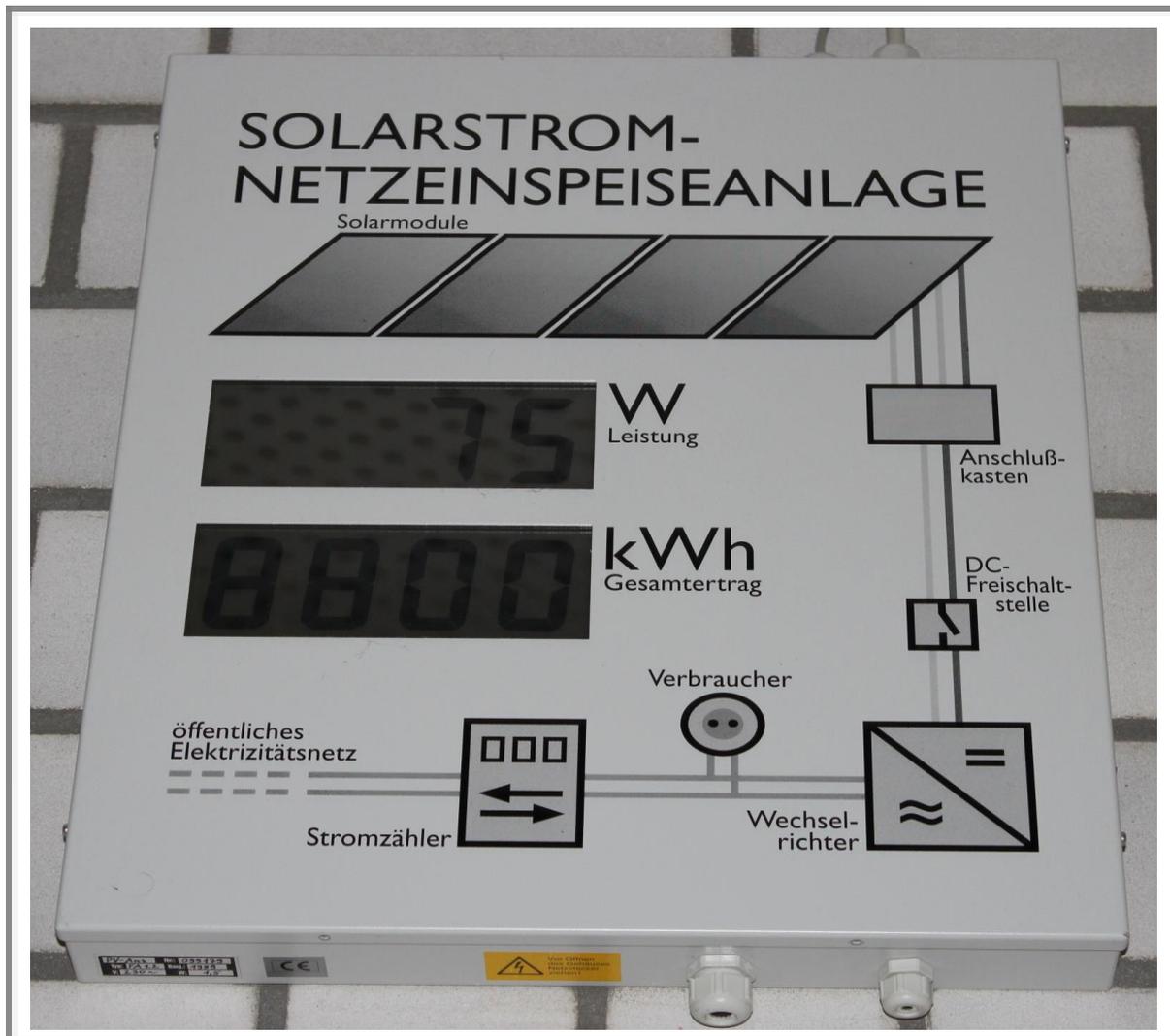


Abb. 25: PV-Anzeigetafel der Mittelschule Markt Indersdorf
 (Quelle: Eigene Abbildung)

In Tab. 3 ist die PR der PV-Anlage der Mittelschule Markt Indersdorfdargestellt. Im Jahre 2015 betrug die PR 51,8 %.

Tab. 3: Berechnung der PR der PV-Anlage der Mittelschule Markt Indersdorf

Performance Ratio	2015	51,76%			
	2014	41,62%			
	2006	84,46%			
Globalstrahlung	1.070	[kWh/m ²]	Aufstellungsstrahlung	1.070	[kWh/m ²]
Aufstellungsfaktor	100%				
			Modulaufnahmemarbeit	53	[Wp]
Gesamtfläche	8,51	[m ²]	Anzahl Module	20	
Modulwirkungsgrad	12,46%		Modulfläche	0,425	[m ²]
			Länge Modul	1,29	[m]
			Breite Modul	0,33	[m]
Leistung STC	1.000	[kWh/m ²]			
Soll-Ertrag	1.134	[kWh]	Ist-Ertrag (2015)	587	[kWh]
			Ist-Ertrag (2014)	472	[kWh]
			Ist-Ertrag (2006)	958	[kWh]

Zwischen 2006 und 2014 ist eine große Datenlücke. 2006 waren die Erträge noch bei 958 kWh im Jahr, während 2014 und 2015 die Erträge halb so hoch waren (472 kWh und 587 kWh). 2016 wurde vom 01.01. – 08.04. bisher 207 kWhaufgezeichnet, was schon fast die Hälfte der Jahreserträge 2014 und 2015 ist. Aufgrund dessen, ist davon auszugehen, dass die Daten falsch abgelesen wurden bzw. die Anlage falsch aufgezeichnet hat.

3.3.3. Fazit

Das Dach der Schule hätte großes Potential zur Erweiterung. Geschätzt ergibt sich eine Dachfläche von 1.332 m², die mit PV-Anlagen gedeckt werden könnte. Das ergibt eine hypothetische Leistung von 166 kWp.

Mangelhaft ist die Betreuung der PV-Anlage. Sie wird zwar einmal jährlich geputzt, doch gibt es wenig Interesse an dem Objekt. Herr Amorth, der seit drei Jahren Konrektor der Schule ist, meinte, dass er überhaupt keinen Bezug zu der PV-Anlage hat und er liest lediglich einmal am Jahresende den Jahresertrag ab. Die PV-Anlage ist nach Herrn Amorth viel zu klein und die Technik veraltet. Daten und Unterlagen über die PV-Anlage gibt es wenig bis überhaupt keine. Lediglich eine Aufzeichnung des Jahresertrags von 2006 hängt neben dem Wechselrichter, der die Monatserträge aufzeigt.

Eine Erweiterung ist jedoch aufgrund des geringen Eigeninteresses nicht zu empfehlen.

3.4. SEBASTIAN FINSTERWALDER-GYMNASIUM ROSENHEIM

In dem folgenden Unterkapitel wird der Standort des Sebastian Finsterwalder Gymnasium beschrieben und die PV-Anlage analysiert.

3.4.1. Standortbeschreibung

Das Sebastian Finsterwalder Gymnasium wurde 1865 als Zeichen- und Gewerbeschule gegründet. Seit 1922 ist es eine Oberrealschule die mit dem Abitur abschließt. Der Namensgeber war Sebastian Finsterwalder der die Schule absolvierte und danach die Professur der Geodäsie an der Technischen Hochschule München innehatte. Das Sebastian Finsterwalder Gymnasium wird derzeit von knapp über 700 Schülern besucht. Die Schule hat eine Gesamtfläche von 9.828 m² und einen jährlichen Stromverbrauch von 173,6 MWh. (Quelle: Promberger, 2016)

Die PV-Anlage wurde nicht in die Dachfläche integriert sondern auf einer speziellen Konstruktion befestigt. Das Sebastian Finsterwalder Gymnasium liegt in einem mit 1.150 W/m² solare Strahlung in einem für PV-Anlagen günstigen Gebiet. Da Rosenheim nicht direkt von Bergen umgeben ist, und die PV-Anlage am höchsten Punkt der Schule montiert ist, kann die PV-Anlage die vollen 1.600 Sonnenstunden pro Jahr nutzen, ohne Verschattungsverluste zu haben.

Im Jahr 2015 war es in den Sommermonaten mit durchschnittlich 20 °C sehr warm die Durchschnittstemperatur lag 2015 bei 9,8 °C dafür war der Jahresniederschlag mit 636 mm eher niedrig (Abb. 26).

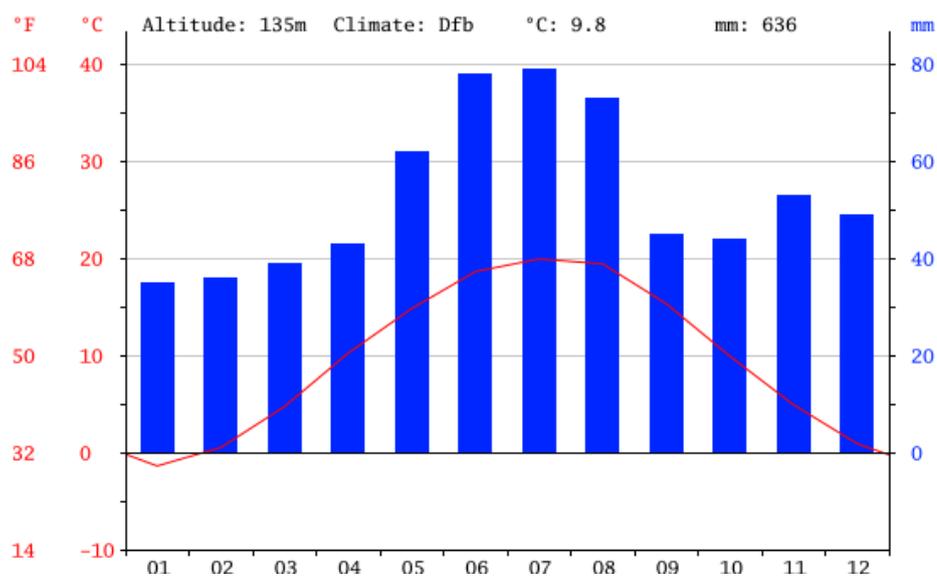


Abb. 26: Klimadiagramm der Stadt Rosenheim

(Quelle: AmbiWeb GmbH, 2016d)

3.4.2. Beschreibung der PV-Anlage

Der Betreuer der PV-Anlage ist Herr Norbert Promberger welcher erst 2011 in die Schule kam und von seinem Vorgänger keine Unterlagen zur Anlage überreicht bekommen hat. Die PV-Anlage besteht aus 20 monokristallinen PV-Modulen, mit je 53 W. Dies ergibt eine installierte Leistung von 1,060 kWp. Jedes PV-Modul ist 1.293 mm lang und 329 mm breit. Somit haben die PV-Module eine Gesamtfläche von 8,5 m².



Abb. 27: PV-Anlage am Sebastian Finsterwalder Gymnasium Rosenheim
(Quelle: Eigene Abbildung)

Daraus ergibt sich ein theoretischer Wirkungsgrad von 12,46 %. Die Volllaststunden der PV-Anlage betragen 2015 665 Stunden.

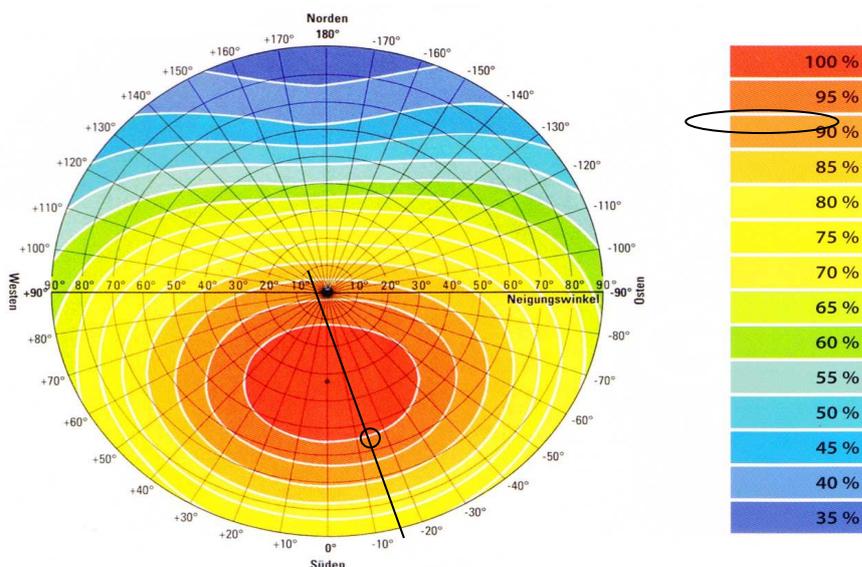


Abb. 28: Solarscheibe des Sebastian Finsterwalder Gymnasium Rosenheim
(Quelle: OTAenergy, 2016)

Die PV-Anlage ist auf einer ehemaligen Dachterrasse mit ca. 20 m² Grundfläche errichtet worden. Durch die besonderen örtlichen Gegebenheiten wurde die Anlage um Platz zu sparen auf einer speziellen Konstruktion aufgehängt. Die PV-Anlage ist süd-süd-östlich ausgerichtet und steht mit ca. 70 ° Neigung nicht optimal zur Sonne. Als Wechselrichter wird ein SPN 1000 von Siemens verwendet, der aber seit 2014 keine korrekten Aufzeichnungen über die erzeugte Strommenge liefert, jedoch funktioniert die Umwandlung von Gleichstrom in 50 Hz Drehstrom normal. Der erzeugte Strom wird komplett in das öffentliche Netz eingespeist. Quelle: Promberger (2016). Die PV-Anlage hat im Sebastian Finsterwalder Gymnasium keine hohe Priorität, weswegen sie auch nicht gereinigt wird. Mit der derzeit installierten PV-Anlage könnte der Jahresstromverbrauch der Schule zu 0,4 % mit Solarstrom gedeckt werden.



Abb. 29: Unterkonstruktion PV-Anlage Sebastian Finsterwalder Gymnasium Rosenheim
(Quelle: Eigene Abbildung)

In Abbildung 30 ist die Jahresstromproduktion der PV-Anlage von den Jahren 2013 - 2015 dargestellt. Diese betragen zwischen 634,4 kWh (2014) und 735 kWh (2013). Im Jahr 2014 war für längere Zeit der Wechselrichter defekt, weshalb der Ertrag auch deutlich niedriger ist. Dieser Fehler konnte aber durch Neustart des Wechselrichters behoben werden.

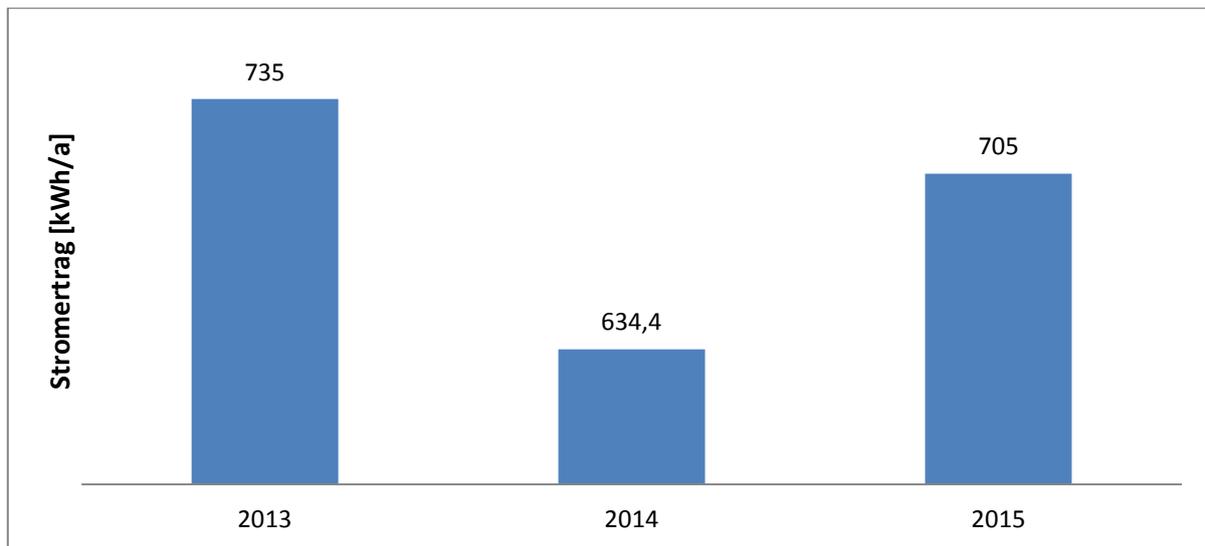


Abb. 30: Jahresstromerträge Sebastian Finsterwalder Gymnasium Rosenheim
(Quelle: Eigene Abbildung, Daten: Finsterwalder Gymnasium Rosenheim, 2016)

In Tab. 4 sind die wichtigsten PV-Anlagedaten dargestellt. Die PR betrug zwischen 58 % (2014) und 67 % (2013).

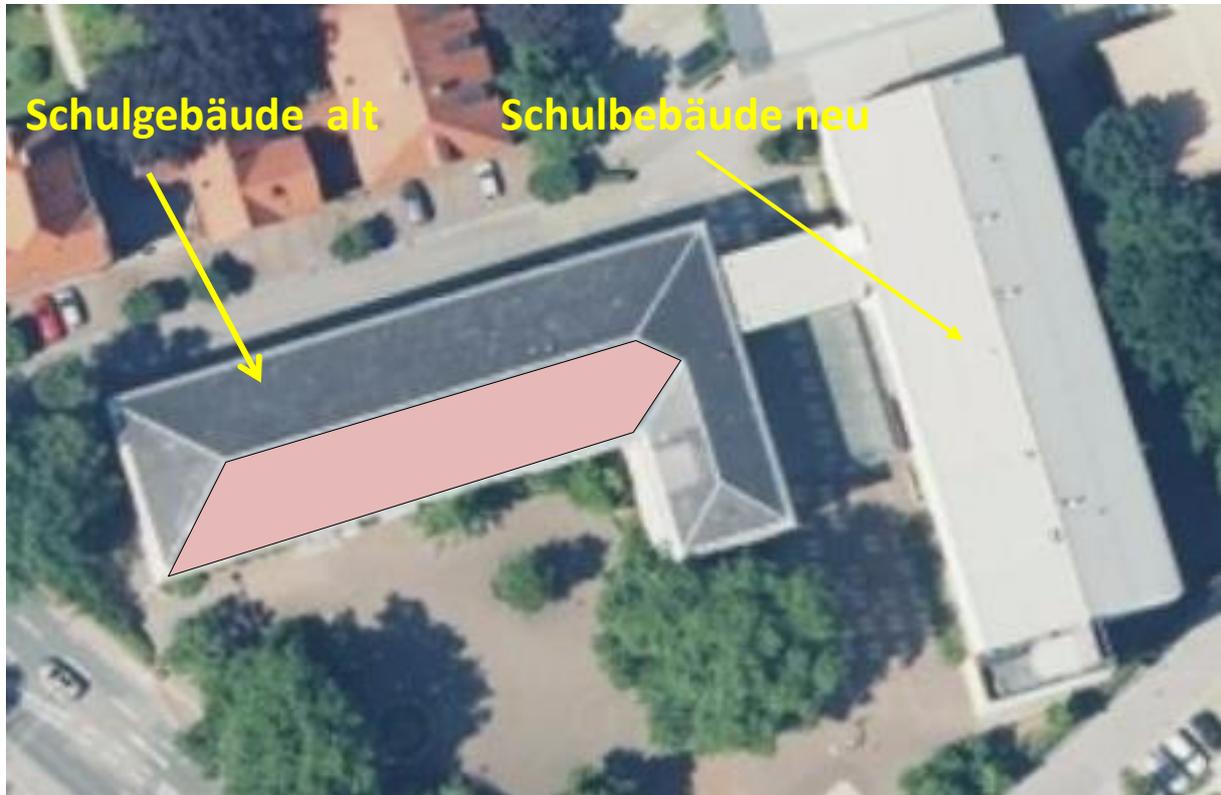
Tab. 4: Berechnung der PR der PV-Anlage für das Sebastian Finsterwalder Gymnasium Rosenheim

Performance Ratio 2015	64%			
Performance Ratio 2014	58%			
Performance Ratio 2013	67%			
Globalstrahlung	1.150 [kWh/m ²]	Aufstellungsstrahlung	1.035 [kWh/m ²]	
Aufstellungsfaktor	90%			
Fläche	8,508 [m ²]	Anzahl Module	20	
Modulwirkungsgrad	12,46%	Modul Fläche	0,425 [m ²]	
		Länge Modul	1,293 [m]	
		Breite Modul	0,329 [m]	
Soll-Ertag	1.097 [kWh]	Ist-Ertag (2015)	705 [kWh]	
		Ist-Ertag (2014)	634,4 [kWh]	
		Ist-Ertag (2013)	735 [kWh]	

3.4.3. Fazit

Die PV-Anlage des Sebastian Finsterwalder Gymnasium Rosenheim macht optisch keinen guten Eindruck. Sie ist verschmutzt und manche Leitungen tragen loses Gestänge der Aufhängung. Trotzdem funktioniert die PV-Anlage einwandfrei und hat bisher nur einen Ausfall des Wechselrichters zu verzeichnen welcher mit dem einmaligen ein- und ausschalten der Sicherungen behoben werden konnte. Das Dach der Schule ist süd-süd-östlich ausgerichtet, frei von Verschattung und relativ flach. Daher ist viel Potential für weitere PV-Anlagen

gegeben. Würde man die hellrot eingefärbte Dachfläche von zirka 120 m² (Abb. 31) mit den gleichen PV-Modulen ausgestattet, könnte man die Leistung auf bis zu 15 kWp steigern. Würde die Leistung auf 15 kWp erhöht, könnte man den Strombedarf der Schule zu 5,6 % abdecken.



**Abb. 31: Potential für neue PV-Anlage Sebastian Finsterwalder Gymnasium Rosenheim
(Quelle: Bayerisches Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, 2016)**

3.5. WELFEN-GYMNASIUM SCHONGAU

Im folgenden Unterkapitel wird der Standort Welfen-Gymnasium Schongau genauer beschrieben und die PV-Anlage im Detail analysiert.

3.5.1. Standortbeschreibung

Die Stadt Schongau befindet sich im bayerischen Landkreis Weilheim- Schongau in Oberbayern. Momentan wird das Gymnasium von ca. 950 Schülern besucht. In Abb. 32 ist das Klimadiagramm der Stadt Schongau zusehen. Es ist deutlich zu erkennen, dass es in Schongau ganzjährig zu hohen Niederschlägen kommt. Die Durchschnittstemperatur liegt bei 7.7 °C und trotzdem erreicht man in Schongau eine Globalstrahlung von 1.190 kWh/m² (Quelle: AmbiWeb Gmbh, 2016).

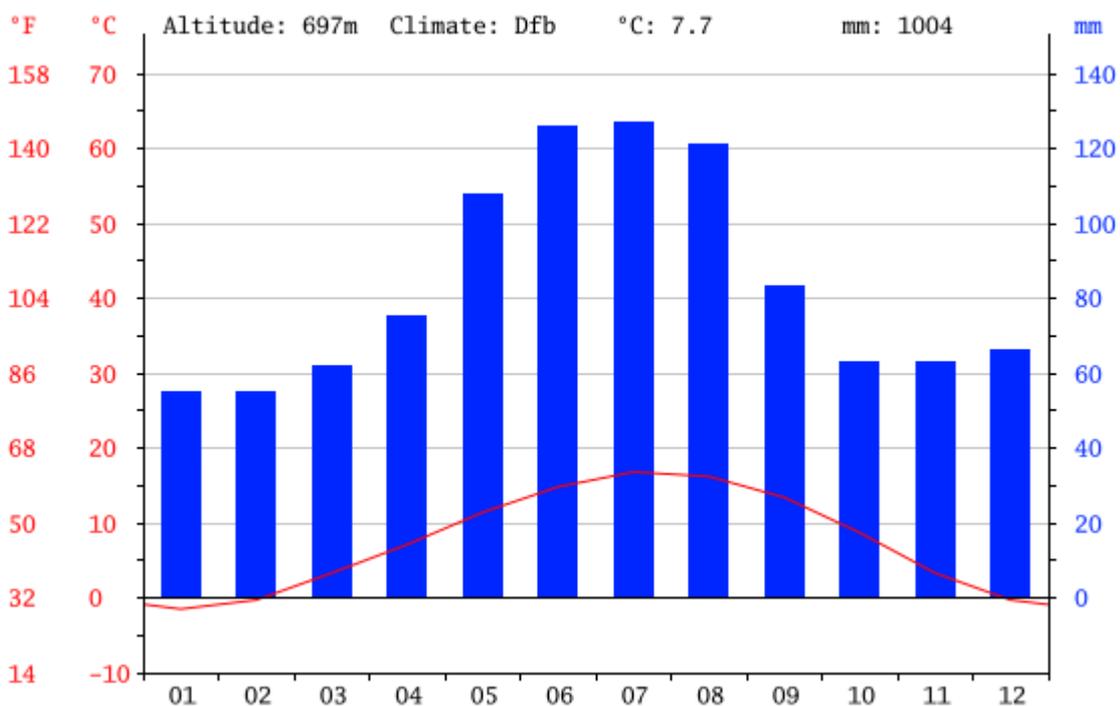


Abb. 32: Klimadiagramm der Stadt Schongau

(Quelle: AmbiWeb Gmbh, 2016)

3.5.2. Beschreibung der PV-Anlage

Im Herbst 1994 erhielt das Welfen-Gymnasium im Rahmen des Projektes „Sonne in der Schule“ des SeV eine geförderte PV-Anlage mit einer installierten Leistung von 1,044 kWp. Das Welfen- Gymnasium Schongau liegt am Fuße des Lechbergs und setzt sich aus einem

großen Hauptgebäude, drei weiteren Nebengebäuden und einer Turnhalle zusammen (Abb. 33). Die PV-Anlage besteht aus vier PV-Modulen mit einer Gesamtfläche von knapp 10 m² und befindet sich am Dach des Nebengebäudes C (Abb. 33 und Abb. 34).

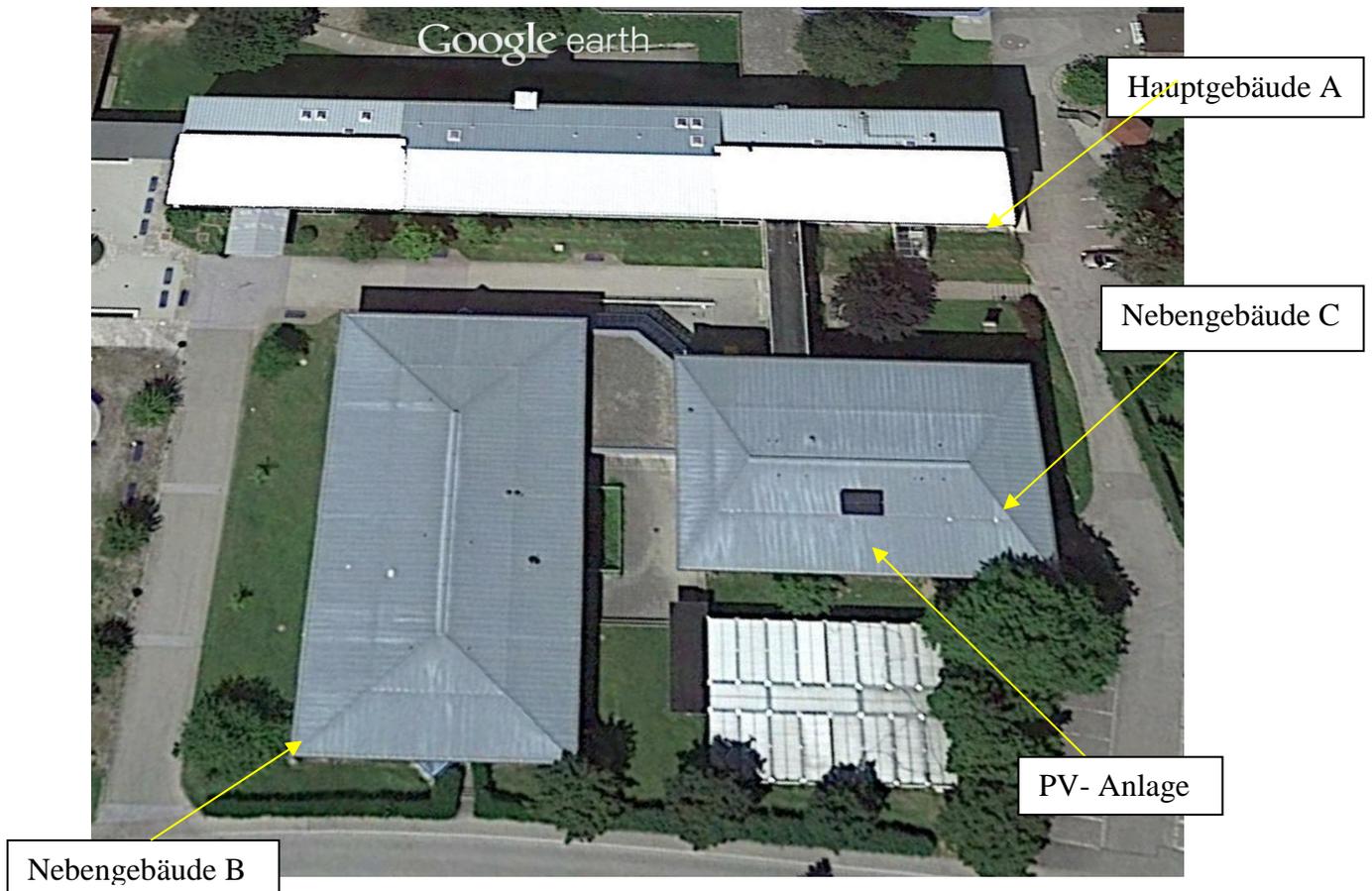


Abb. 33: Luftansicht des Welfen-Gymnasium Schongau
(Quelle: Google Earth, 2016)



**Abb. 34: PV-Anlage des Welfen- Gymnasium Schongau
(Quelle: Eigene Abbildung)**

Seit dem 20.09.1995 produziert die PV-Anlage umweltfreundlichen Solarstrom und weist einen Modulwirkungsgrad von 11,7 % auf. Der Wechselrichter SMA PV-WR 1800, der 1995 installiert wurde, musste im Jahr 2011 durch einen changetec PPI 1800 Wechselrichter ersetzt werden, da die Ertragsdaten nicht mehr einwandfrei geliefert werden konnten. Die PV-Anlage wurde in perfekter Südausrichtung mit einer Neigung von ca. 35° in der Mitte des leicht geneigten Daches errichtet. Seit September 1995 produzierte die PV-Anlage fast lückenlos Solarstrom. Lediglich im August 2005 stoppte die PV-Anlage aufgrund von Bauarbeiten und von Juni 2011 bis August 2012 lieferte die PV-Anlage zwar weiterhin Strom, doch aufgrund eines Defekts beim Wechselrichter gibt es größere Lücken in den aufgezeichneten Daten. Nach dem Austausch des Wechselrichters konnten jedoch die Daten wieder fehlerfrei erfasst werden und zudem kann online auf der Website des Gymnasiums, die aktuell produzierte Strommenge eingesehen werden. Im Jahr 2015 erreichte die PV-Anlage eine PR von 0,83. Die PV-Anlage wird vom Welfen- Gymnasium nicht gereinigt, trotzdem befindet sie sich in einem sehr guten Zustand und die produzierte Strommenge haben sich in den vergangenen 20 Jahren nicht signifikant verschlechtert. Im Jahr 2015 erzeugte die PV-Anlage einen Stromertrag von 990 kW/h. Auf dem folgenden Diagramm sieht man die unterschiedlichen Monatserträge des Jahres 2015. Auffallend ist, dass bereits im Monat März ein guter Ertrag, mit 88 kW/h erzielt werden konnte. Außerdem zeigt es, dass über das ganze Jahr Arbeit erzeugt wurde und es keine größere Unterbrechung wegen Schneebedeckung gab.

Tab. 5: Berechnung der PR der PV-Anlage für das Welfen-Gymnasium Schongau

Performance Ratio	2015	0,833	83,30%		
	2014	0,804	80,00%		
	2013	0,700	70,00%		
Globalstrahlung	1.090 [kWh/m ²]		Aufstellungsstrahlung	1.090 [kWh/m ²]	
Aufstellungsfaktor	100%				
			Modulaufnahmearbeit	261 [Wp]	
Gesamtfläche	9,32 [m ²]		Anzahl Module	4	
Modulwirkungsgrad	11,70%		Modulfläche	2,33 [m ²]	
			Länge Modul	2,33 [m]	
			Breite Modul	1 [m]	
Leistung STC	1.000 [kWh/m ²]				
Soll-Ertrag	1.189 [kWh]		Ist-Ertrag (2015)	990 [kWh]	
			Ist-Ertrag (2014)	956 [kWh]	
			Ist-Ertrag (2013)	832 [kWh]	

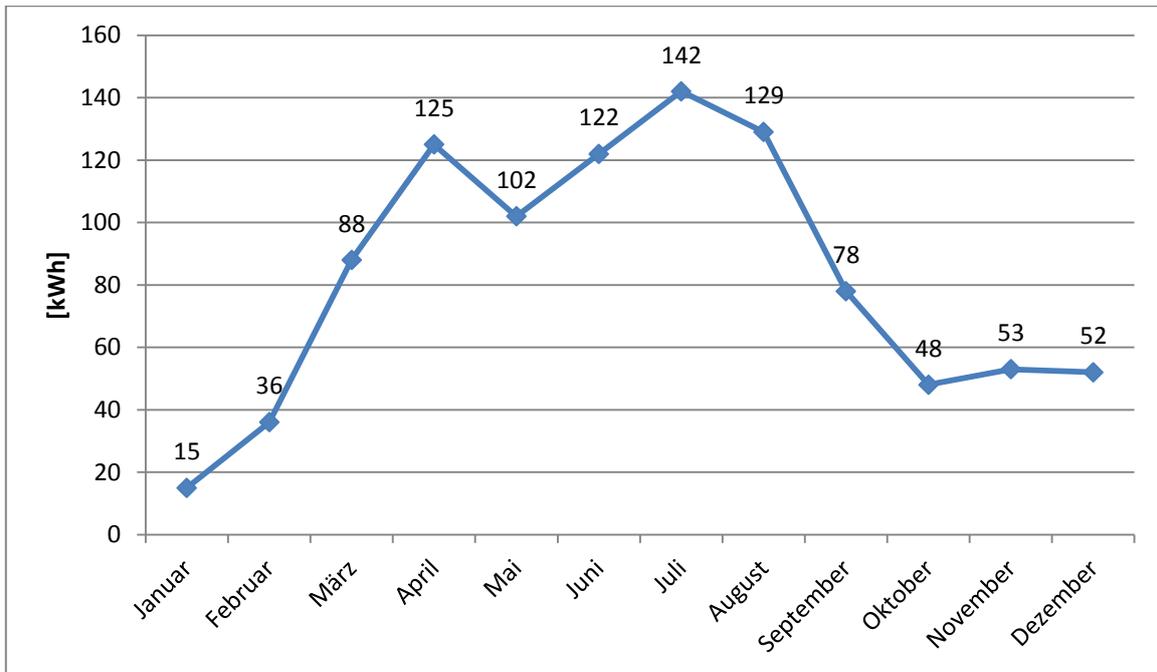


Abb. 35: Stromerträge 2015 Welfen Gymnasium Schongau
 (Quelle: Eigene Abbildung, Daten: Welfen-Gymnasium Schongau, 2016)

Im Diagramm sind die erzeugten Monatserträge der Jahre 2013- 2015 zusehen, wobei in den aufgezeichneten Monaten konstant über 10 kWh produziert wurde und das auch in den Wintermonaten (Abb. 34). Lediglich im Februar 2013 war der Ertrag geringer wegen Schneebedeckung auf der PV-Anlage.

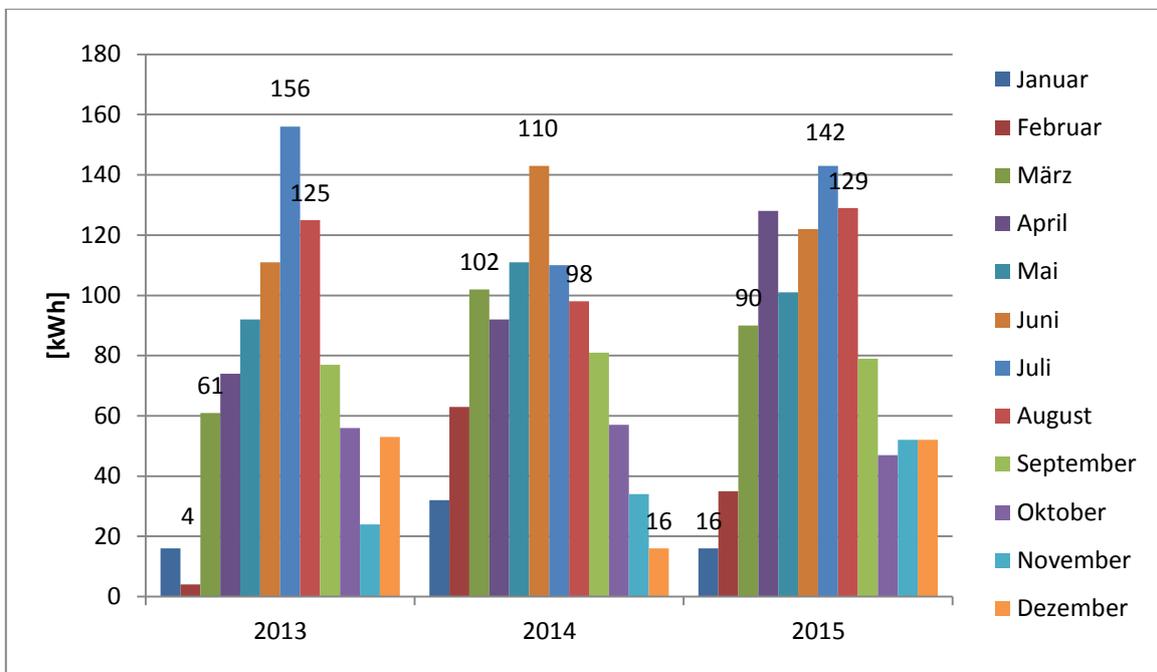


Abb. 36: Monatliche Stromerträge 2013- 2015 Welfen Gymnasium Schongau
 (Quelle: Eigene Abbildung, Daten: Welfen-Gymnasium Schongau, 2016)

In Abb. 37 ist sehr gut zu erkennen, dass die PV-Anlage seit der Installation konstante Jahresstrommengen produziert. Lediglich im August 2005 wegen Bauarbeiten am Dach des C-Gebäudes und zwischen Juni 2011 und August 2012 wegen eines Loggingausfall des Wechselrichters, kam es zu erheblichen Reduzierungen der Erträge.

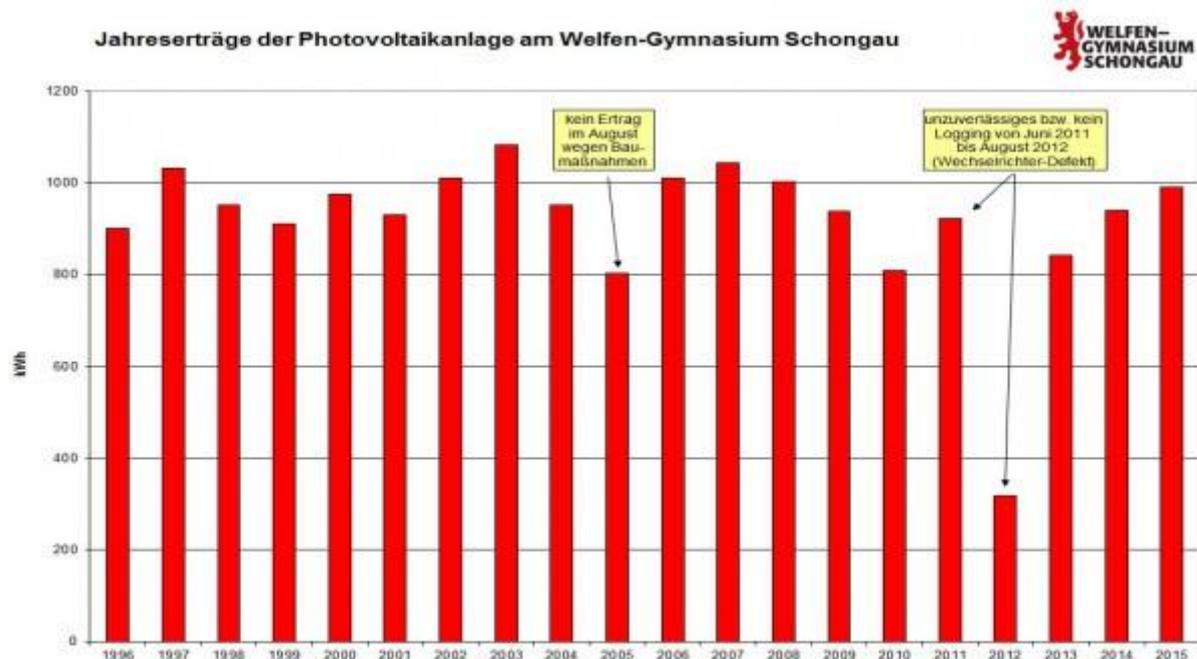


Abb. 37: Jahreserträge der PV-Anlage am Welfen-Gymnasium Schongau von 1996- 2015

(Quelle: Welfen-Gymnasium Schongau, 2016)

Ein weiterer positiver Aspekt des Anlagenstandorts ist, dass es keinerlei Verschattungsgefahr auf dem Dach des C-Gebäudes gibt. Lediglich ein Baum kommt auf die Höhe des Daches, der jedoch höchstens im Jänner zur einen kleinen Verschattung führen könnte.

3.5.3. Fazit

Das Welfen- Gymnasium Schongau bietet einen sehr guten Standort für PV-Anlagen. Das Dach des Nebengebäudes C bietet noch großes Erweiterungspotenzial für Solaranlagen, denn 70 m² des ca. 90 m² großen, in Süden ausgerichtetes, Daches wären noch frei für weitere PV-Module. Auch das Hauptgebäude A würde sich sehr dafür anbieten. Diese Dachfläche, mit einer Fläche von ca. 120 m², ebenfalls in Süden ausgerichtet, hat keinerlei Gefahr einer Verschattung. Auch wenn die Verschmutzung der PV-Module in am Welfen-Gymnasium Schongau nur einen minimalen Verlust verursacht, wäre eine Reinigung empfehlenswert und könnte den Ertrag noch steigern. Auf jeden Fall sind die Voraussetzungen für einen Ausbau von weiteren PV-Modulen sehr gut. Auf Abb. 33 kann man auch sehr gut erkennen, dass genügend freie Dachfläche noch vorhanden ist, um noch mehr Solarstrom zu produzieren.

4. ANALYSE ALLER STANDORTE

Die 1,1 kWp PV-Anlage des Gymnasiums Dorfen funktioniert eher mittelmäßig und sollte eine regelmäßige Reinigung der PV-Module vorgenommen werden, da dies im Moment nicht der Fall ist. Auch konnte bereits an mehreren PV-Paneelen eine fortschreitende Delamination (Abb.6) der Solarzellen festgestellt werden. Abgesehen dieser zwei Probleme eignet sich der Standort für weitere Anlagen.

Der Betrieb der PV-Anlage am LSH Marquartstein lief bis auf die Lieferung des defekten Wechselrichters am Anfang und den Datenverlust der durch Schüler verursacht wurde reibungsfrei.

Aus Mangel an verlässlichen Daten kann keine fundierte Aussage über den Betrieb der PV-Anlage an der Mittelschule Markt Indersdorf getroffen werden. Fest zu stellen ist, dass die Werte in den Jahren 2014 und 2015 zu niedrig sind und deshalb die Vermutung besteht, dass die Werte falsch abgelesen oder angezeigt werden.

Die PV-Anlage des Finsterwalder Gymnasium Rosenheim weist kleine Mängel auf. Es werden lose Eisenstangen der Unterkonstruktion von Kabel getragen und der Wechselrichter war 2014 defekt. Die Funktion des Wechselrichters konnte wieder hergestellt werden, allerdings zeichnet der Wechselrichter keine korrekten Daten mehr auf. Würde man die potentielle Fläche für PV-Anlagen auf dem alten Schulgebäude nutzen, könnte man den Strombedarf der Schule zu 5 % mit eigen erzeugtem PV-Strom decken.

Am Welfen-Gymnasium ist aufgrund von fehlender Reinigung bereits eine hartnäckige Verschmutzung auf den PV-Modulen zu erkennen, welche die Leistung vermindert. Auffallend dabei ist, dass sich die Verschmutzung lediglich auf den unteren Bereich der PV-Module reduziert. Diese Mängel sollten jedoch mit einer gründlichen Reinigung der PV-Anlage behoben werden können.

Im Folgenden, sind die PR der verschiedenen Schulstandorte in den Jahren 2013 bis 2015 zusammengefaßt (Tab. 6).

Das LSH Marquartstein hat im Vergleich der Schulstandorte die beste PR. Im Durchschnitt der letzten drei Jahre kommt der Standort auf eine PR von 91,1 %.

Die zweitbeste PR der verglichenen Schulstandorte mit 71,3 %, hat das Welfen-Gymnasium in Schongau.

Es folgt das Gymnasium Dorfen mit einem Durchschnitt der Jahre 2014 und 2015 von 65,6 % und das Finsterwalder-Gymnasium Rosenheim mit durchschnittlich 63 % (2013-2015).

Die Mittelschule Markt-Indersdorf, kommt im Durchschnitt der Jahre 2014 und 2015 auf eine PR von 41,6 % und 51,8 % und hat damit die schlechteste PR der analysierten Schulen.

Tab. 6: Zusammenfassung der PR an den verschiedenen Schulstandorten 2013-2015

Performance Ratio [%]	2013	2014	2015
Gymnasium Dorfen	k.a	62,4	68,9
Landschulheim Marquartstein	101,5	89,7	82,1
Mittelschule Markt Indersdorf	k.A.	41,6	51,8
Finsterwalder-Gymnasium Rosenheim	67	58	64
Welfen-Gymnasium Schongau	64	74	76

Im Folgenden, sind die geschätzten Erweiterungspotenziale der verschiedenen Schulstandorte zusammengefaßt (Tab. 7). Das größte geschätzte Erweiterungspotenzial bietet mit 166 kWp die Mittelschule Markt Indersdorf. Das zweitgrößte geschätzte Potential bietet das Gymnasium Dorfen mit 80-100 kWp, gefolgt vom LSH Marquartstein mit geschätzt 70 kWp und den Standorten Welfen-Gymnasium Schongau (15-20 kWp) und Finsterwalder-Gymnasium Rosenheim (15 kWp).

Tab. 7: Geschätztes Erweiterungspotenzial der verschiedenen Schulstandorte

Geschätztes Erweiterungspotenzial	Gebäude 1	Fläche [m²]	Gebäude 2	Fläche [m²]	Summe der Flächen [m²]	Geschätztes Potential [kWp]
Gymnasium Dorfen	Schulgebäude	k.a.	Erweiterungsbau	k.a.	k.a.	80-100
Landschulheim Marquartstein	Neue Turnhalle	250	Geplante Turnhalle	300	550	70
Mittelschule Markt Indersdorf	Schulgebäude	1.332	k.a.	k.a.	1.332	166
Finsterwalder-Gymnasium Rosenheim	Altes Schulgebäude	120	k.a.	k.a.	120	15
Welfen-Gymnasium Schongau	Hauptgebäude A	120	Nebengebäude C	70	190	15-20

5. SCHLUSSFOLGERUNG

Alles in allem wurde in der Fallstudie „Analyse Ausgewählter Standorte „Solarschulen““ sehr verschiedene Ergebnisse erreicht.

Am Gymnasium Dorfen, bietet die Ausrichtung nach Süden und die freien Flächen auf dem Dach des Schulgebäudes eine optimal geeignete Möglichkeit für weitere PV-Anlagen, wenn eine regelmäßige Wartung und Reinigung vorgenommen wird, könnte ein weitaus besserer Ertrag erreicht werden.

Beim LSH Marquartstein ist festzustellen, dass viel Erweiterungspotenzial gegeben ist und die Betreuung sehr fachmännisch und motiviert ist. Deshalb wäre eine Erweiterung der PV-Anlage, für das LSH Marquartstein und den SeV sehr vielversprechend und gewinnbringend.

Der Standort Mittelschule Markt Indersdorf bietet großes Potential zur Erweiterung. Dadurch, dass aber wenig Eigeninteresse besteht, ist eine Erweiterung nicht zu empfehlen.

Das Sebastian Finsterwalder Gymnasium in Rosenheim besitzt viel Potential für den Ausbau der PV-Anlage, doch hat das Interesse an der aktuellen PV-Anlage nachgelassen. Deshalb sind auch kleine Schäden wie herunterhängende Kabel und ein defekter Wechselrichter zu beanstanden. Obwohl die PV-Anlage nicht in einem einwandfreien Zustand ist liefert sie gute Erträge.

Das Welfen-Gymnasium Schongau bietet einen optimalen Standort weitere PV- Module. Da das Dach vom Hauptgebäude A und dem Nebengebäude C direkt nach Süden ausgerichtet sind und es keinerlei Verschattungsgefahr gibt, würde sich ein Ausbau auf jeden Fall anbieten. Die Schule müsste hingegen öfters die PV-Anlage reinigen, um noch bessere Erträge zu erzielen.

6. QUELLENVERZEICHNIS

AmbiWebGmbH (2016a): Klimadiagramm der Stadt Dorfen, URL: <http://de.climate-data.org/location/194246/> (abgerufen am: 19.04.2016)

AmbiWebGmbH (2016b): Klimadiagramm der Gemeinde Marquartstein, URL: <http://de.climate-data.org/location/118811/> (abgerufen am: 19.04.2016);

AmbiWebGmbH (2016c): Klimadiagramm des Markt Indersdorf, URL: <http://de.climate-data.org/location/14978/>(abgerufen am: 19.04.2016);

AmbiWebGmbH (2016d): Klimadiagramm der Stadt Rosenheim, URL: <http://de.climate-data.org/location/11349/> (abgerufen am 19.04.2016);

AmbiWebGmbH (2016e): Klimadiagramm der Stadt Schongau URL: <http://de.climate-data.org/location/896039/> (abgerufen am: 19.04.2016);

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (2016a): Solareinstrahlung am Standort Dorfen, URL: <http://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten/;jsessionid=A84C24B891320702B921AE12EDE8B187?wicket-crypt=afaISDGPUHc> (abgerufen am 19.04.2016)

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (2016b): Solareinstrahlung am Standort Marquartstein, URL: <http://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten/;jsessionid=F433680E4FB8606672894075E49F835E?wicket-crypt=pNTHGqHR3nY&marker=true&lon=4534750&lat=5291229&zoom=6&base=902&layers=81%20.7%29>(abgerufen am 19.04.2016)

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (2016c): Solareinstrahlung am Standort Markt Indersdorf, URL: <http://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten/?wicket-crypt=TBPDuzkTML8&marker=true&lon=4453727&lat=5358336&zoom=6&base=902&layers=81%20.7%29> (abgerufen am 19.04.2016)

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (2016d): Solareinstrahlung am Standort Rosenheim, URL: <http://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten/?wicket-crypt=JuHX52hsebo&marker=true&lon=4509788&lat=5301673&zoom=6&base=902&layers=81%20.7%29> (abgerufen am 19.04.2016)

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie (2016e): Solareinstrahlung am Standort Schongau, URL: <http://geoportal.bayern.de/energieatlas->

karten/?wicket-crypt=ofGTteI7XFk&marker=true&lon=4417467&lat=5297703&zoom=6&base=902&layers=81%280.7%29 (abgerufen am 19.04.2016)

Böller, (2016): Mitteilung beim Vor-Ort-Besuch am 08.04.2016

Google Earth (2016): Luftbild der Mittelschule Markt Indersdorf URL: <https://www.google.de/maps/place/Mittelschule+Markt+Indersdorf/@48.3603479,11.3691915,158m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x479e62542062043b:0x57a18a77cf45a52f> (abgerufen am 19.04.2016);

Google Maps (2016a): Turnhalle des Landschulheim Marquartstein in der Detailansicht; URL: <https://www.google.at/maps/place/Staatliches+Landschulheim+Marquartstein/@47.7521379,12.4657525,439m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x477669a274da7f89:0x8d130f1b547d24db>

Google Maps (2016b): Schulgelände des LSH Marquartstein; URL: <https://www.google.at/maps/place/Staatliches+Landschulheim+Marquartstein/@47.7521379,12.4657525,439m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x477669a274da7f89:0x8d130f1b547d24db>

Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (2016): Schulgebäude Gymnasium Dorfen, URL: <http://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?X=5349094.37&Y=4511061.62&zoom=14&lang=de&topic=ba&bgLayer=atkis&catalogNodes=122> (abgerufen am: 19.04.2016)

Kentzia, W. (2016): Mitteilung beim Vor-Ort-Besuch am 29.03.2016

OTAenergy (2016): Solarscheibe, URL: http://otaenergy.com/photovoltaik/wp-content/uploads/2014/06/einstrahlungsscheibeso_gr.jpg (abgerufen am: 19.04.2016)

Promberger, N. (2016): Mitteilung beim Vor-Ort-Besuch am 06.04.2016

SMA Solar Technology AG (2016): Technische Information. Performance Ratio. Qualitätsfaktor für die PV-Anlage. URL: http://everto.at/fileadmin/Everto/Fachinfos/Performance_Ratio_01.pdf

7. ANHANG

Fragenbogen zur Standortanalyse der PV-Anlagen

- 1. Wann wurde die Anlage errichtet:**
- 2. Installierte Leistung:**
- 3. Volllaststunden:**
- 4. Tatsächliche Strommenge pro 1/4h; Tag; Monat; Jahr**
- 5. Errichtungskosten:**
- 6. Anzahl der Module:**
- 7. Modultyp:**
- 8. Koordinaten:**
- 9. Regelungsarten: Ferngeregelt/70%**
- 10. Ausrichtung (N,O,S,W):**
- 11. Neigung:**
- 12. Betriebsweise: Einspeisung/Eigennutzung/Inselbetrieb**
- 13. Performace Ratio?:**
- 14. Vergütung/Förderung:**
- 15. Geplante Nutzungsdauer:**
- 16. Hersteller:**
- 17. Nachführung: Ja/Nein**
- 18. Wirkungsgrad:**
- 19. Wechselrichter:**
- 20. Unterbau:**
- 21. Verschattung:**