



Zwischenbericht vom 15. Dezember 2020

ALPINE

Untersuchung zum Alterungsverhalten von PV-Modulen einer hochalpinen PV-Anlage



Quelle: ©reech gmbh, 2020



Datum: 15.12.2020

Ort: Bern

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Ko-Finanzierung:

-

Subventionsempfänger/innen:

reech gmbh
Weststrasse 7, 7205 Zizers
www.reech.ch

Autor/in:

Tamás Szacsvay, reech gmbh, tamas.szacsvay@reech.ch

BFE-Projektbegleitung:

Stefan Oberholzer, stefan.oberholzer@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/502087-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Im September 2020 wurde mit der 410 kWp PV-Anlage an der Albigna Staumauer auf 2165 m.ü.M. die erste hochalpine Grossanlage in der Schweiz in Betrieb genommen. Standortbedingt ist sie extremen meteorologischen Beanspruchungen ausgesetzt. Mittels Analyse der Ertragsdaten, periodischer Messung der Modulleistung, Wärmebildaufnahmen und Überprüfung des generellen Anlagenzustandes sollen Erkenntnisse zur Langzeitzuverlässigkeit von Anlagen an vergleichbaren Standorten gewonnen werden.

Résumé

En septembre 2020, l'installation photovoltaïque PV de 410 kWp sur le barrage d'Albigna a été mise en service à 2165 mètres sur mer. Elle représente la première grande installation haute-alpine en Suisse. En raison de sa localisation, elle est soumise à des contraintes météorologiques extrêmes. L'analyse des données de rendement, la mesure périodique de la puissance des modules, l'imagerie thermique et la vérification de l'état général des installations permettront d'acquérir des connaissances sur la fiabilité à long terme des installations situées à des endroits comparables.

Summary

With the 410 kWp PV-installation on the Albigna hydropower dam the first large scale system in high alpine regions in Switzerland was put into operation in September 2020. Due to its location it is subjected to extreme meteorological impact. With analysis of the performance data, periodic measuring of module power, thermal images and general assessment of plant condition, information on long term reliability of PV-plants at similar locations is gained.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Résumé.....	3
Summary	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	5
1 Einleitung	6
1.1 Ausgangslage und Hintergrund	6
1.2 Motivation des Projektes	6
1.3 Projektziele	6
2 Anlagenbeschrieb	6
3 Vorgehen und Methode.....	10
4 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	11
5 Bewertung der bisherigen Ergebnisse.....	21
6 Weiteres Vorgehen	21
7 Nationale und internationale Zusammenarbeit	21
8 Kommunikation	21
9 Publikationen	21
10 Literaturverzeichnis	21
11 Anhang	21



Abkürzungsverzeichnis



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Am 17. September 2020 wurde mit der 410 kWp PV-Anlage an der Albigna Staumauer auf 2165 m.ü.M. die erste hochalpine Grossanlage in der Schweiz in Betrieb genommen. Standortbedingt ist sie extremen meteorologischen Beanspruchungen ausgesetzt. Somit bietet sie eine gute Gelegenheit zu analysieren, wie sich kommerzielle Anlagen im alpinen Raum bewähren.

1.2 Motivation des Projektes

Um im Rahmen der Energiestrategie 2050 eine hohe Versorgungssicherheit aufrecht zu erhalten, ist insbesondere die Bereitstellung von Winterstrom von zentraler Bedeutung. Photovoltaikanlagen können dazu einen wertvollen Beitrag leisten, sofern sie konzeptionell für die Erzeugung von Winterstrom ausgelegt sind, und ihr Potential nicht von Nebel oder Schneebedeckung gemindert wird.

Entsprechend konzipierte Anlagen im alpinen und hochalpinen Raum sind für die Winterstromerzeugung prädestiniert aufgrund der höheren Einstrahlung (direkt und indirekt, z.B. Reflexion am Schnee) und der kälteren Umgebungstemperaturen. Solche Anlagen sind jedoch auch wesentlich intensiveren meteorologischen Belastungen ausgesetzt als Anlagen im Mittelland, und Erfahrungen mit der aktuellen Technologie – im kommerziellen Massstab eingesetzt – sind bisher nicht vorhanden.

1.3 Projektziele

Mittels Analyse des Langzeitverhaltens anhand von Ertragsdaten, periodischer Messung der Modulleistung, Wärmebildaufnahmen und Überprüfung des generellen Anlagenzustandes sollen Erkenntnisse zur Langzeitzuverlässigkeit von kommerziellen Anlagen an vergleichbaren Standorten gewonnen werden.

2 Anlagenbeschreibung

Die PV-Anlage erstreckt sich über 650m der seeseitigen, etwas über 700m langen Mauerkrone des in den Sechzigerjahren des 20. Jahrhunderts erstellten Albigna Staudamms, vgl. Abbildung 1. Die Mauer besteht aus mehreren Segmenten mit unterschiedlichem Azimut, der von Südwest über Süd bis Südost reicht, und damit den Azimut der PV-Anlage vorgibt. Die Module sind mit einem Anstellwinkel von 78° montiert, und es sind jeweils zwei übereinander im Hochformat angeordnet. Die Eckdaten der PV-Anlage sind nachfolgend zusammengefasst:

Module:	1280x Excellent Glass/Glass 320Wp (CS Wismar, Sonnenstromfabrik)
Anlagenleistung:	410 kWp
Wechselrichter:	5x Kaco Blueplant 92TL
Generatoranschlusskästen:	5x Kaco Argus 10Mon
Max. Systemspannung:	ca. 1350 VDC im Leerlauf bei -25°C
Verschaltung:	Feld 1: 10x20 Module in Serie; Feld 2.5: 9x30 Module in Serie
Erwarteter spez. Ertrag:	ca. 1180 kWh/kWp/Jahr
Inbetriebnahme:	17. September 2020

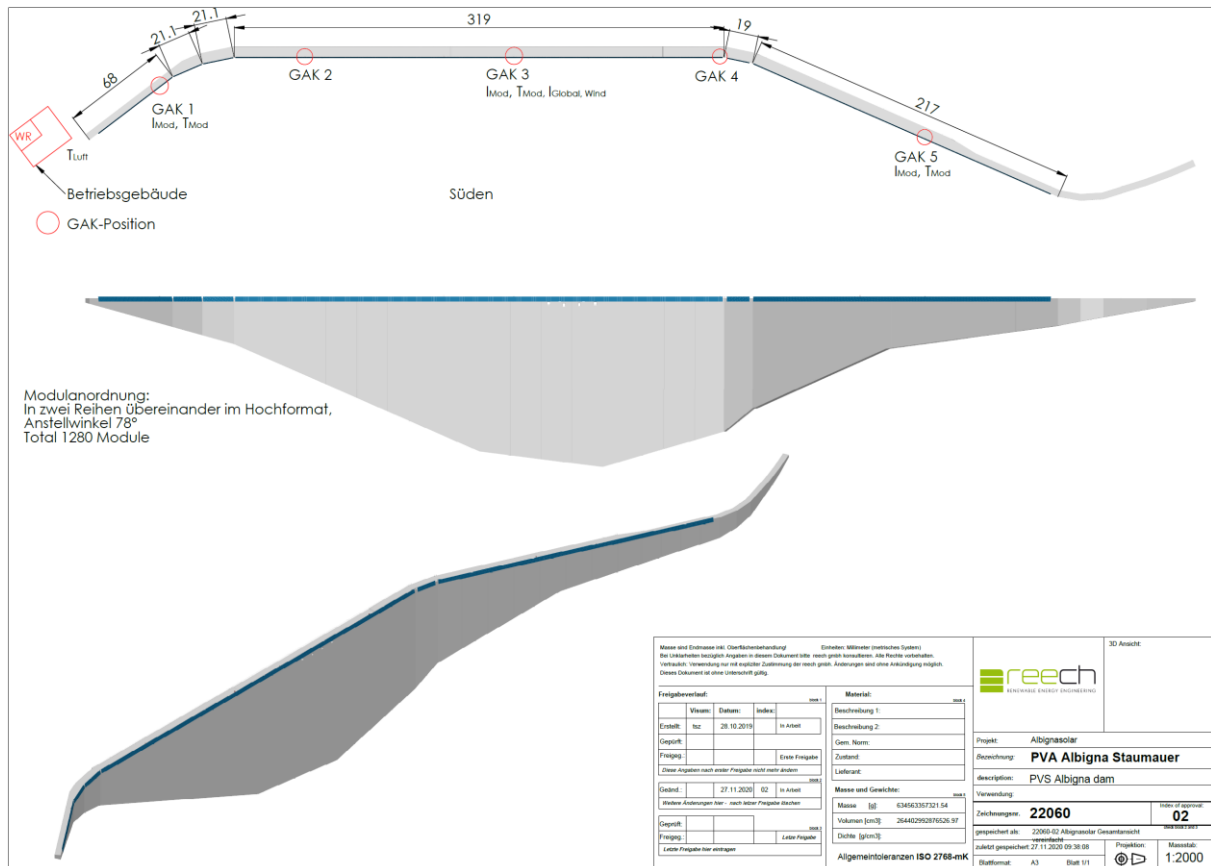


Abbildung 1 Übersicht PV-Anlage

Die Anlage ist mit einem Messsystem ausgestattet, dessen Prinzipschema in Abbildung 2 dargestellt ist. Die Sensoren sind nachfolgend angeführt, und ihre Position ist in Abbildung 1 eingezeichnet. Mit dem Messsystem können folgende Messgrößen erfasst und im Leitsystem abgespeichert werden:

Einstrahlung

- Drei Si-Einstrahlungsfühler, parallel zur Modulebene ausgerichtet; bei GAK 1, 3, 5 (Silizium-Solarstrahlungssensor von Mencke & Tegtmeier GmbH)
- Ein Pyranometer bei GAK 3 (SMP3 von Kipp & Zonen B.V.)

Wind

- Windmesser auf Mauerkrone bei GAK 3 (Ultraschall)
- Windmesser in Mauer (Messung Auftrieb) bei GAK 3 (Ultraschall)

Temperatur

- Drei Kontaktthermometer an Modulrückseite bei GAK 1, 3, 5
- Umgebungstemperaturfühler bei Betriebsgebäude

Leistungs- und Ertragsmessung

- Messung der Strangströme (in GAK; Strangstromüberwachung; keine Präzisionsmessung)
- Erfassung der Betriebsspannung am Wechselrichter
- Erfassung von Leistung und Ertrag der einzelnen Wechselrichter



Die Speicherung der Messdaten erfolgt im 15 Minuten Rhythmus.

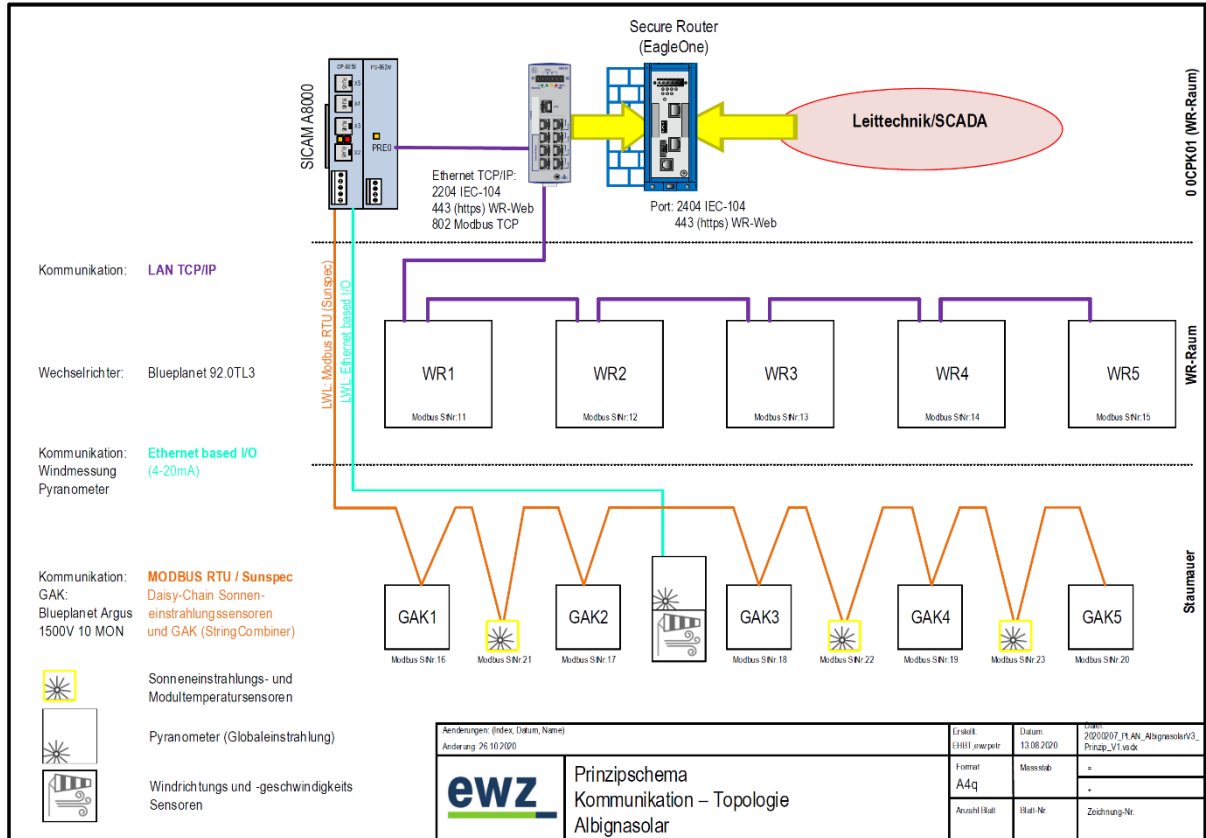


Abbildung 2 Prinzipschema Messung und Kommunikation



Abbildung 3 Wetterstation bei GAK 3 mit Windmesser, Pyranometer und Si-Einstrahlungssensor (an Südseite GAK erkennbar)



Abbildung 4 Einstrahlungssensor an GAK 1 (links); Modultemperaturfühler an Modulrückseite oberes Modul Nähe GAK 1 (rechts)

3 Vorgehen und Methode

Zur Erfassung des Anlagenzustandes werden sowohl ausgewählte Module als auch die Anlage als Ganzes periodisch analysiert. Die jährliche Analyse zweier Module erfolgt im Testcenter der reech gmbh, und umfasst visuelle Kontrolle, Nassisolationsprüfung, Leistungsmessung sowie Elektrolumineszenzaufnahmen. Diese Analyse stützt sich auf eine präzise, zertifizierte Referenzmessung dreier Module, von denen eines als Referenz im Dunkeln gelagert wird, während die anderen beiden im Feld installiert sind.

Wärmebildaufnahmen vor Ort liefern Erkenntnisse zum Zustand aller Module und der Anlage im Allgemeinen, und um allfällig schadhafte Module zu eruieren. Diese können gegebenenfalls gezielt näher analysiert werden.

Der Ertrag der Anlage wird erfasst und mittels Einstrahlungsdaten von drei in Modulebene ausgerichteten Si-Strahlungssensoren plausibilisiert (Ermittlung der Performanz). Ebenfalls gemessen wird die Temperatur von drei Modulen sowie die Umgebungstemperatur. Ferner wird die Anlage als Ganzes periodisch auf ihren Allgemeinzustand hin überprüft, um die Auswirkung der extremen meteorologischen Verhältnisse zu erfassen. Betroffen davon sind nebst den Modulen auch sämtliche Kunststoffteile (UV), Kabel und Kabelkanäle (grosse thermische Dilatation), die Montagestruktur (statische Einwirkung durch Wind, Schnee oder Vereisung), sowie Wechselrichter und Klemmenkästen (Temperaturschwankungen, erhöhte kosmische Strahlung, häufiger Betrieb bei maximaler Last).

Zur Referenzmessung der Globalstrahlung ist ein Pyranometer installiert. Die bereits bei der Pilotanlage eingesetzten Windmesser sind wieder montiert in die Datenerfassung eingebunden.



4 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

4.1 Modulmessungen- und Prüfungen

Die Leistung dreier Module wurde am Supsi gemessen, wobei zur Erhöhung der Messgenauigkeit auf $\pm 1.7\%$ auch eine Messung der spektralen Empfindlichkeit und Quanteneffizienz nach IEC 60904-8:2014 erfolgte (Abbildung 5 Diagramm mit spektraler Empfindlichkeit (links) und Quanteneffizienz (rechts) des Referenzmoduls 3835166). Die Modulmessungen wurden im Testcenter der reech gmbh wiederholt und ergänzt mit Elektrolumineszenz, Nassisolationsprüfung (bei 1500V) und visueller Inspektion.

Modul 3835166 dient als Referenz für zukünftige Messungen, und wird im Dunkeln gelagert.

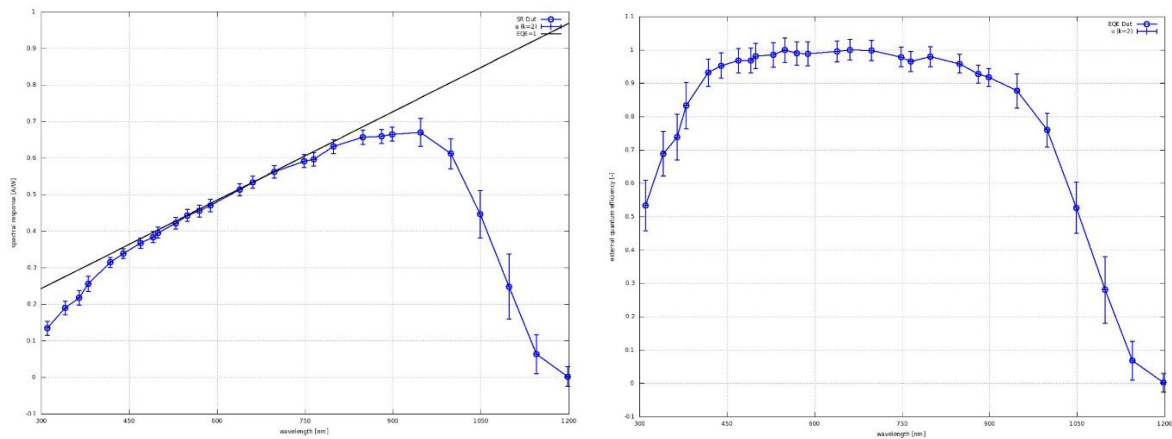


Abbildung 5 Diagramm mit spektraler Empfindlichkeit (links) und Quanteneffizienz (rechts) des Referenzmoduls 3835166

Die anderen beiden Module wurden nach ihrer Prüfung in Strang 1.7 der PV-Anlage eingefügt, und sind seit 6. November 2020 in Betrieb.

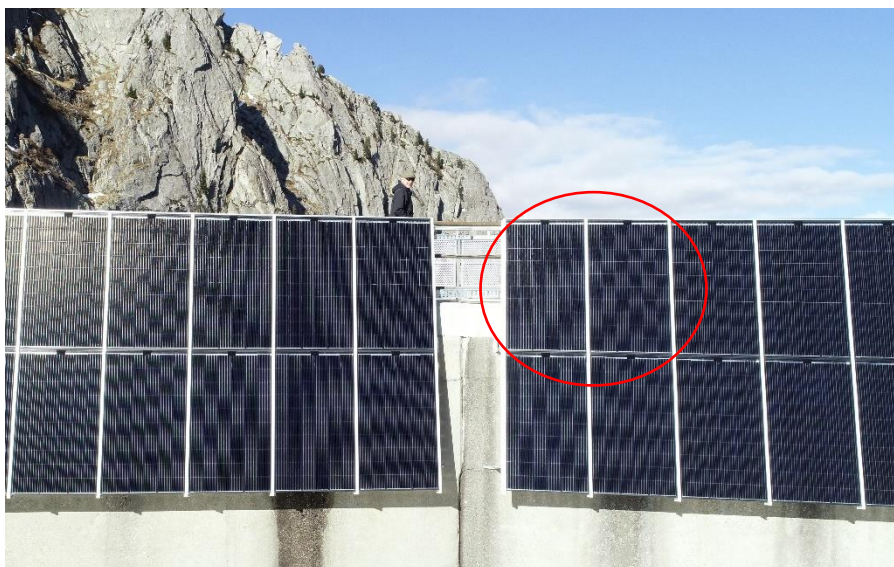


Abbildung 6 Prüfmodule in Strang 1.7



Die Ergebnisse der Modulprüfungen sind nachfolgend zusammengefasst:

SN	Leistungsangabe und Messungen [Wp]				Nassisolationswiderstand [MΩ]	Elektrolumineszenz	Visuelle Inspektion
	Etikette (±3%)	Hersteller	Supsi 20201028	Reech 20201105	20201105	20201105	20201105
3835166 (Referenz)	320	327.58	309.69	309.69	2480	Ok; Helligkeitsunterschiede	Nicht auffällig
3835167	320	327.64	309.45	308.86	2090	Ok; leichte Helligkeitsunterschiede	Nicht auffällig
3835168	320	326.02	307.60	308.30	2500	Ok; leichte Helligkeitsunterschiede	Nicht auffällig

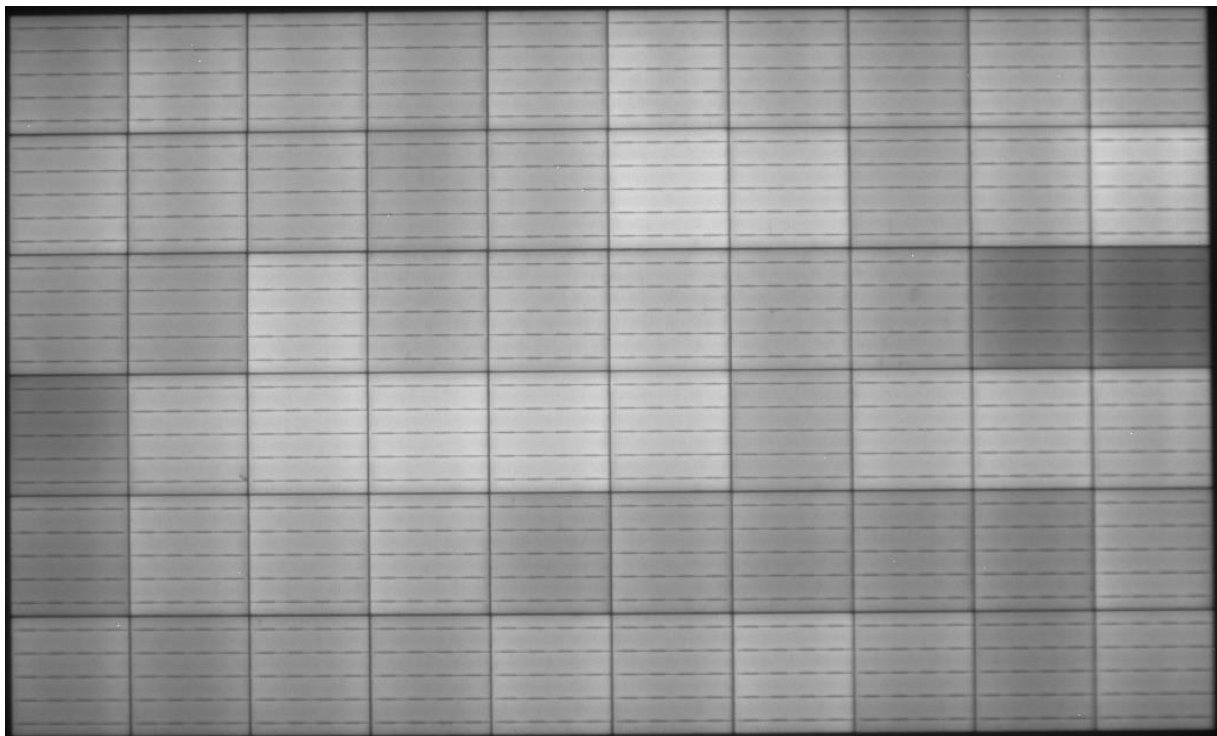


Abbildung 7 EL-Bild Modul 3835166 (Referenzmodul) mit den auffälligsten Helligkeitsunterschieden

4.2 Kontrolle der Anlage mittels Wärmebildaufnahmen

Die Kontrolle der Anlage mittels Thermografiedrohne erfolgte am 6. November 2020 gegen Mittag. Die Temperatur betrug ca. 8°C, die Einstrahlung lag im Bereich 950 bis 1050W/m². Die Bilder wurden mit einer DJI Matrice 210 Drohne und einer Wärmebildkamera Flir Zenmuse XT 640x512, 13mm Brennweite erstellt. Die Messung der Einstrahlung erfolgte mit einem Benning PV-Sun 2.



Es wurden keine signifikant auffälligen Stellen entdeckt. In diesem Jahresbericht ist daher nur exemplarisch ein Bild pro Feld eingefügt. Aufgenommen wurde jeder einzelne Strang in zwei Abschnitten, bei Verdacht auf Anomalien teils auch mit Nahaufnahmen. Einzig im Strang 5.9 waren leicht auffällige Temperaturinhomogenitäten zu beobachten, die aber nur wenige ° betragen. Bei der nächsten Kontrolle wird hierauf ein spezielles Augenmerk gelegt.

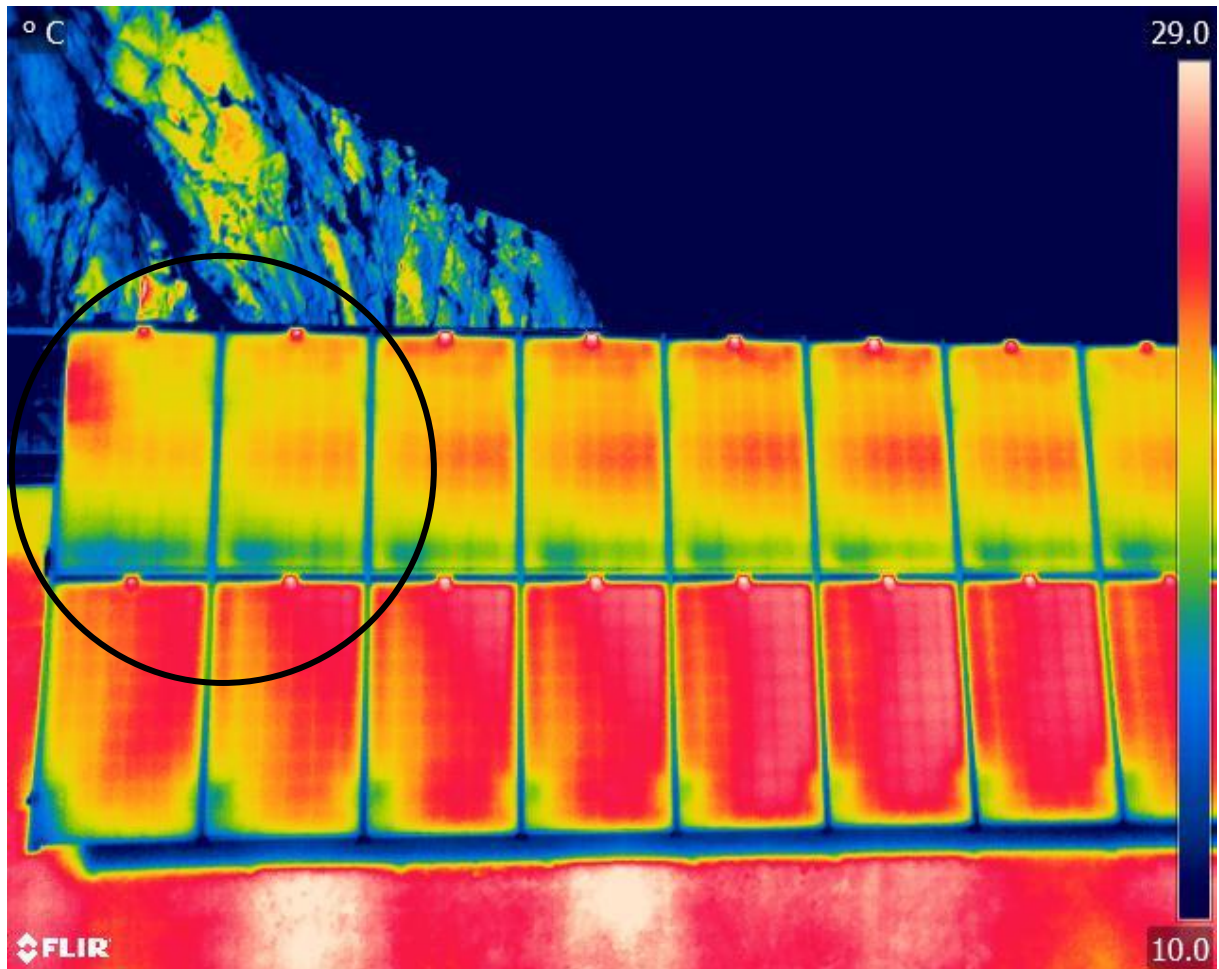


Abbildung 8 Strang 1.7, mit Prüfmodulen oben links

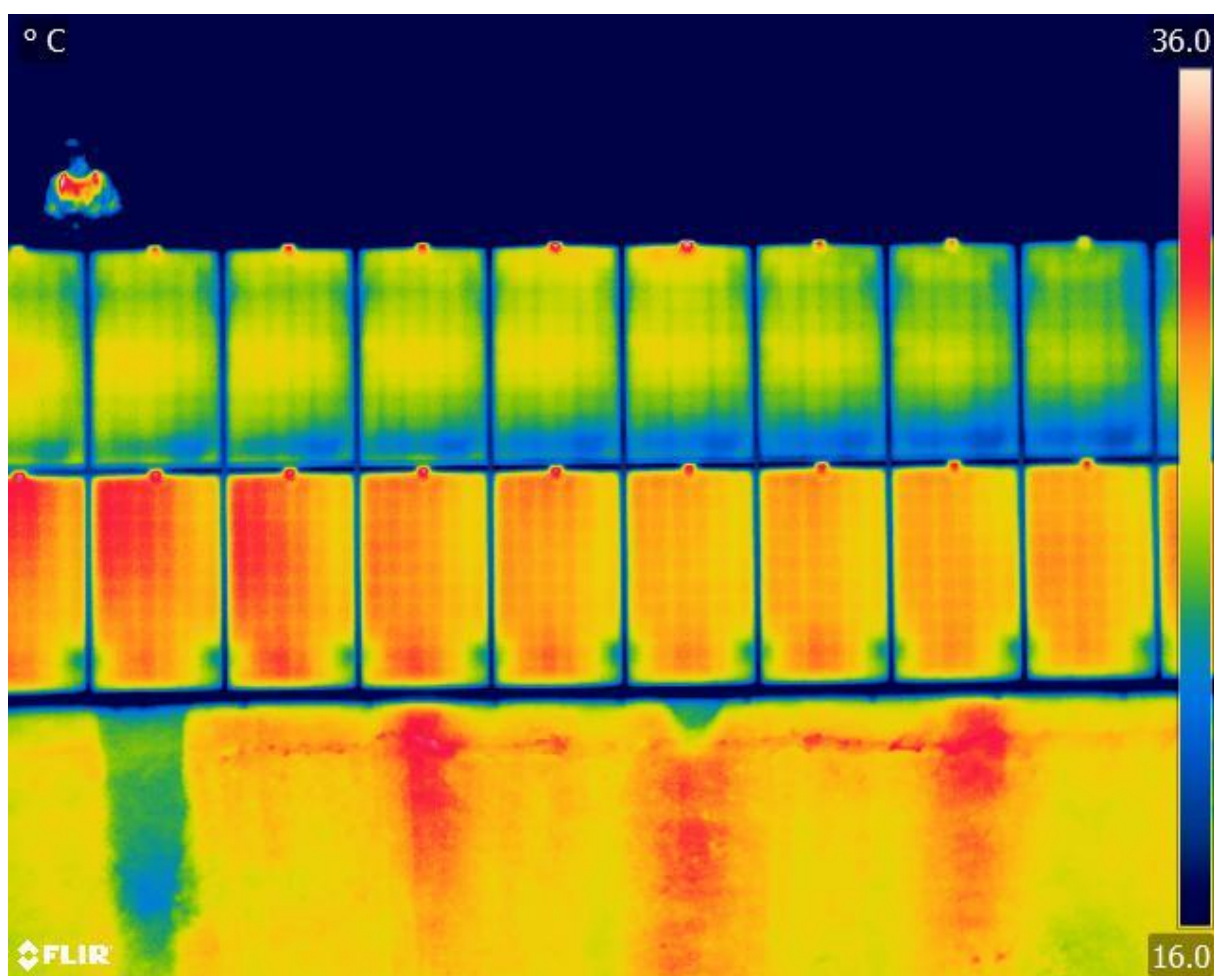


Abbildung 9 Strang 2.9

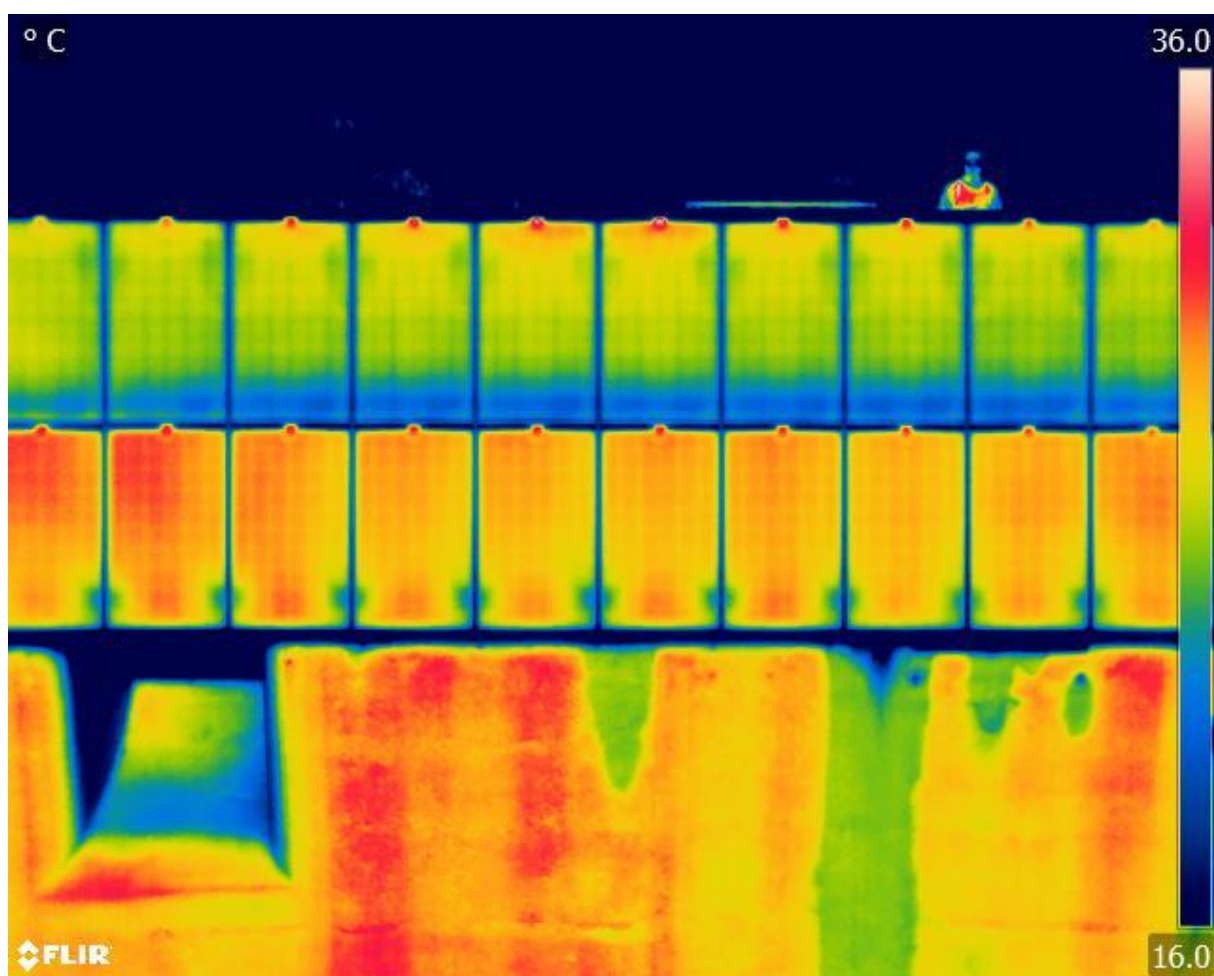


Abbildung 10 Strang 3.5

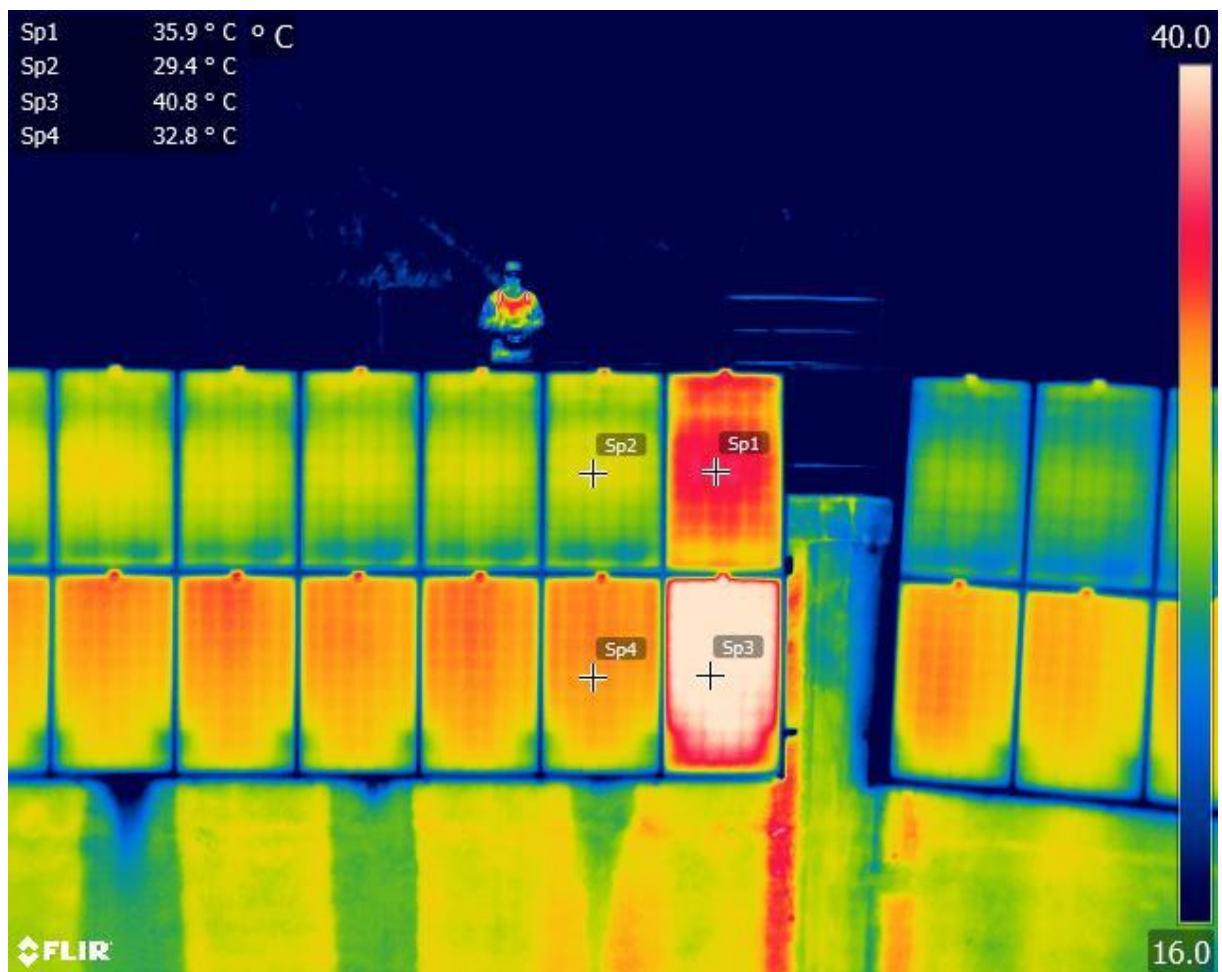


Abbildung 11 Strang 4.3. Deutlich erkennbar sind die beiden inaktiven Ergänzungsmodule am rechten Strangende, die 6-8° wrmer erscheinen.

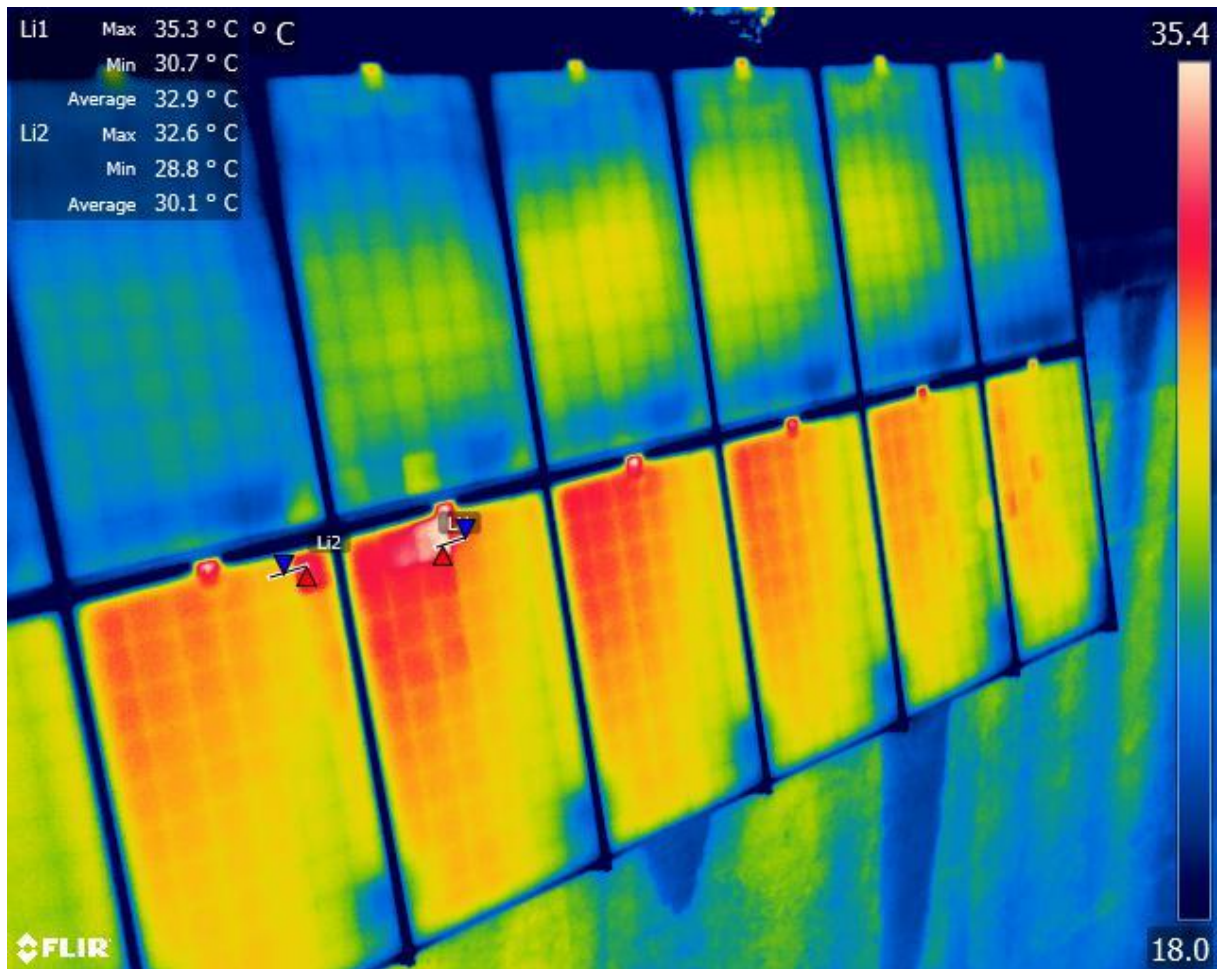


Abbildung 12 Strang 5.9 mit leichten Auffälligkeiten. Ostende der Anlage.

4.3 Leistung- und Ertragskontrolle

Das Messsystem wurde ab Anfang Oktober sukzessive in Betrieb genommen mit Leistungs- und Einstrahlungsmessung ab 2. Oktober, Ertragsmessung ab Mitte Oktober, Umgebungstemperatur ab 1. November sowie Pyranometer und Windsensoren ab Mitte November. Die Datenbasis ist somit zu schmal, um bereits Aussagen zum Betriebsverhalten zu treffen.

Abbildung 13 zeigt einen Screenshot des «Cockpits» mit den aktuellen Messwerten. Die Leistung des Wechselrichters 1 ist deutlich tiefer, da nur 200 statt 270 Module wie bei den übrigen angeschlossen sind.



PVA Albigna - Messwerte

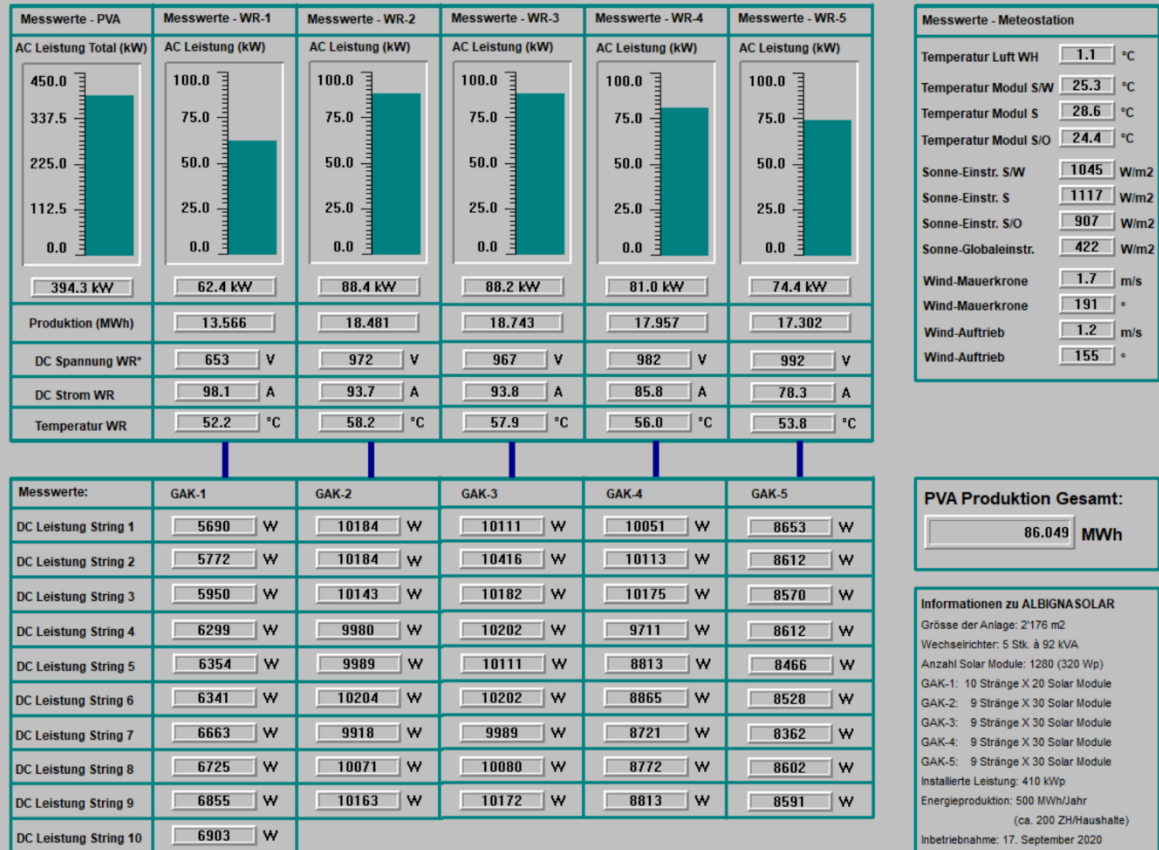


Abbildung 13 "Cockpit" mit Darstellung der Messwerte

In Abbildung 14 sind die Messwerte der Wechselrichterleistungen sowie die mit den drei Einstrahlungssensoren gemessenen Werte (in Weiss) am 9. November dargestellt. Deutlich erkennbar ist die unterschiedliche Ausrichtung der einzelnen Felder an den zeitlich versetzten Messkurven. Deutlich zum Vorschein tritt an den Enden der Kurven die wandernde Schattenfront, welche die einzelnen Abschnitte der Anlage zeitversetzt erreicht; im Osten und Weste ist der Horizont hoch.

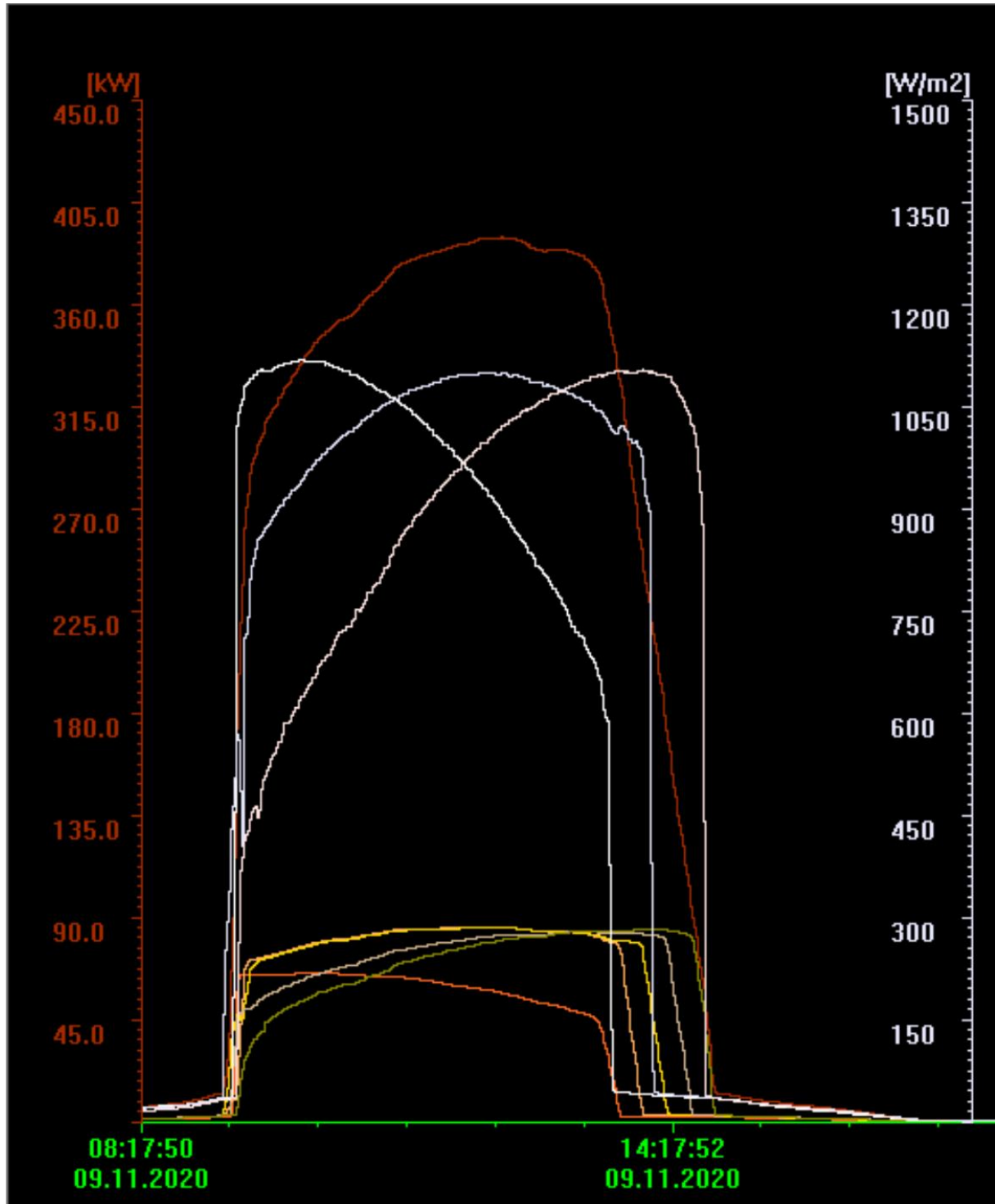


Abbildung 14 Messwerte am 9. November 2020; einzelne Wechselrichter farbige Kurven im unteren Diagrammbereich, Gesamtanlagenleistung obere rote Kurve, Einstrahlungen weisse Kurven



Die ab 2. Oktober erfassten Werte zu Ertrag, Einstrahlung, leistungsgewichteten Modultemperaturen und Performanz sind in Abbildung 15 dargestellt. Der Oktober war geprägt von schlechtem Wetter. Im November war es vorwiegend schön, weshalb ein höherer spezifischer Ertrag resultierte. Die durchschnittliche Umgebungstemperatur beim Betriebsgebäude am Westende der Mauer betrug 1.4°C; die Oktoberwerte hierzu liegen nicht vor.

Die dargestellte Performanz der Gesamtanlage wurde mit den Einstrahlungswerten aus Feld 3 (Mitte der Anlage) berechnet, basierend auf den erfassten Viertelstundenwerten von Einstrahlung und AC-Leistung. Die Performanz von Feld 3 allein war erwartungsgemäss höher und lag bei 92.1% resp. 90.3% für die Monate Oktober und November.

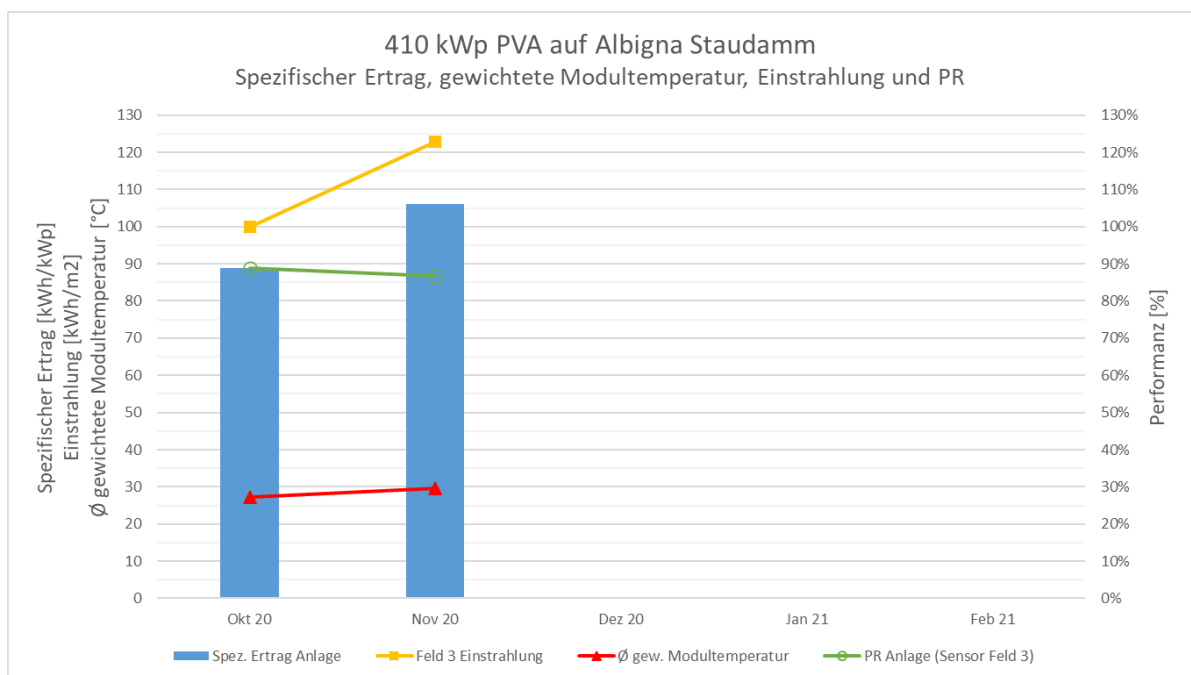


Abbildung 15 Darstellung Messwerte zu spez. Ertrag, Einstrahlung, gewichteten Modultemperaturen und Performanz



5 Bewertung der bisherigen Ergebnisse

Da das Messsystem der Anlage erst seit Mitte November vollständig in Betrieb ist, wären Aussagen zur Bewertung des Ertrags verfrüht. Die Leistungswerte erscheinen jedoch als plausibel, und die Anlage läuft störungsfrei.

Die Prüfung der Anlage mittels Wärmebildkamera ergab keine relevanten Auffälligkeiten. Ebenfalls unauffällig waren die Ergebnisse der Modulprüfung. Die gemessene Modulleistung liegt allerdings am unteren Ende des im Idealfall gemäss Typenschild erwarteten Wertes. Unter Berücksichtigung der Messtoleranz des Herstellers von 3% und der Messgenauigkeit von Supsi mit $\pm 1.7\%$ liegt die gemessene durchschnittliche Leistung von 308.9 Wp noch knapp über dem Minimalwert von 320Wp abzüglich beider Toleranzen (305.12 Wp). Der Hersteller selbst hat für diese drei Module eine durchschnittliche Leistung von 327.08 Wp gemessen. Die absolute Modulleistung ist im Rahmen dieses Messprojektes nicht relevant, da die Ermittlung des zeitlichen Verlaufs im Fokus steht, und somit die relative Leistung von Bedeutung ist.

6 Weiteres Vorgehen

Weiterführung der Datenerfassung (auf Monatsbasis), sowie Anlagenkontrolle und Modulprüfungen (jährlich).

7 Nationale und internationale Zusammenarbeit

8 Kommunikation

9 Publikationen

10 Literaturverzeichnis

11 Anhang