

Impressum

Datum: 14. März 2008

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Photovoltaik

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

www.bfe.admin.ch

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Abstract	2
1. Ausgangslage	3
2. Ziel der Arbeit	3
3. Methode	4
Bau der Anlage	4
Datenauswertung	6
Turnhalle Gässli	7
Nennleistung	7
Publikationen / Öffentlichkeitsarbeit	7
4. Ergebnisse	9
Bau der Anlage	9
Messkampagne	10
Datenauswertung	14
5. Schlussfolgerungen	19
6. Referenzen	19
Anhang A: Elektropläne und Anlagenlayout	20
Anhang B: Übersicht Messaufbau	21
Anhang C: Medienmitteilung	22

Zusammenfassung

Auf dem Dach der Turnhalle „Gässli“ in der Gemeinde Wiesendangen wurde im Dezember 2006 eine Testanlage mit Biosol XXL-Modulen gebaut. Es handelt sich um ein System zur Dachintegration mit Triple-Junction Dünnschicht-Modulen. Die Installation verlief problemlos und schnell und die Module integrieren sich unauffällig in die Dachhaut.

Bis im Frühjahr 2008 wurden bei der Anlage Einstrahlung, Temperatur und Ertrag permanent gemessen. Verschiedene Defekte an der Messapparatur führten dazu, dass in der ersten Jahreshälfte 2007 viele Messdaten nur lückenhaft vorhanden sind. Trotzdem konnte gezeigt werden, dass die Anlage im Sommer eine hohe Performance Ratio (PR) von bis zu 0.84 aufweist. Dies ist deutlich höher als der Ertrag einer benachbarten kristallinen Anlage. Die hohe PR ist wahrscheinlich auf das gute Temperaturverhalten der Module zurückzuführen. Im Winter liegt die PR dagegen eher tiefer als bei der kristallinen Anlage. Dies deutet darauf hin, dass die Triple-Junction Technologie im Winter einen schlechteren Wirkungsgrad hat. Der Grund könnte eine saisonale Degradation aufgrund des Staebler-Wronski Effekts sein. Aber auch andere Parameter, wie Diffusstrahlung und Spektralbereich des Lichts könnten zu diesem Resultat führen. Um diese Vermutungen zu erhärten wären weitere Messungen notwendig.

Degradation konnte im untersuchten Zeitrahmen nicht festgestellt werden. Die Anlage funktionierte von Beginn weg problemlos mit einer jährlichen Performance Ratio von 0.78.

Abstract

In December 2006 a PV test system with Biosol XXL modules was installed on the roof of the gym „Gässli“ in Wiesendangen. Biosol XXL is a roof-integrated PV system with triple junction thin film modules. During installation no problems occurred and the modules could be aesthetically integrated into the roof.

Until January 2008 irradiation, temperature and energy yield of the PV system were measured permanently. Due to several malfunctions of the measurement equipment measurement data in the first half of 2007 are incomplete. Nevertheless it can be shown that the performance ratio of the PV system during summer time is very high and reaches a value of 0.84. This is significantly higher than the performance ratio of a nearby PV system with cristalline modules. Most probably the high performance ratio of the PV system is caused by a favorable temperature behaviour of the modules. In winter on the contrary the performance ratio of the thin film system is lower than that of the neighbouring cristalline system. This indicates a seasonal degradation due to the Staebler-Wronski effect. But also other effects like diffuse irradiation or the spectral range of the light might cause this result. To prove these assumptions further investigations would be necessary.

During the measurement period no degradation could be observed and the PV system functioned without any problems since the beginning. The yearly average performance ratio was 0.78.

1. Ausgangslage

Im Jahr 2005 haben die Firma Biohaus in Deutschland und die Firma E. Schweizer AG in Hedingen das neue System Biosol XXL auf den Markt gebracht. Es handelt sich dabei um ein neuartiges PV-Indachsystem, das aus dem erfolgreichen Solrif-Rahmen (P&D Entwicklung DIS 29909/69804) und grossflächigen Solarmodulen besteht, die auf Triple-Junction Zellen von Unisolar basieren. Das einbaufertige Modul hat eine Deckfläche von 1.9 m². Es wird deshalb erwartet, dass damit Dächer schnell und effizient eingedeckt werden können. Das optisch gleichmässige Erscheinungsbild der Photovoltaik-Fläche eignet sich hervorragend für die Gebäudeintegration. Aufgrund erster Erfahrungen mit Unisolar Dünnschichtzellen dieses Typs (Freestyle Lutry: DIS 45795/85855 und CPT Solar: DIS 100493/150604) werden vergleichsweise hohe Erträge erwartet.

Die Turnhalle Wiesendangen eignet sich hervorragend für den öffentlichkeitswirksamen Einsatz von Photovoltaik, da das Dach gut einsehbar mitten im Dorf steht und die Solarstromthematik in den Unterricht mit einbezogen werden kann.

2. Ziel der Arbeit

Auf dem Dach der Turnhalle „Gässli“ in der Gemeinde Wiesendangen soll eine Testanlage mit Biosol XXL-Modulen gebaut werden. Damit soll aufgezeigt werden, dass mit diesem System Dächer effizient und schnell eingedeckt werden können. Während einem Jahr soll die Performance der Anlage ausgemessen und mit einer kristallinen PV-Anlage auf dem nahegelegenen Werkhof verglichen werden. Damit soll abgeklärt werden, ob die von Unisolar versprochene hohe Performance tatsächlich erreicht wird. Mit Infotafeln, einem Medienevent und dem Einbezug von SchülerInnen in den Bau der Anlage soll die Öffentlichkeit auf das Projekt aufmerksam gemacht und für das Thema Photovoltaik sensibilisiert werden. Zusammengefasst ergeben sich somit folgende Hauptziele:

1. Demonstration von grossflächigen PV-Dachelementen
2. Test amorpher Dünnschichtmodule
3. Integration von SchülerInnen
4. Ertragsvergleich mit kristalliner Solaranlage

3. Methode

Das Projekt wurde in enger Zusammenarbeit verschiedener Parteien durchgeführt:

- Die *Zivilgemeinde Wiesendangen* kauft den Solarstrom während 15 Jahren zu einem garantierten Preis
- Die *Schulgemeinde Wiesendangen* stellt das Dach zur Verfügung
- Die Firma *BE Netz AG* installierte die Anlage gemeinsam mit Schülern der Oberstufe Wiesendangen
- Die Firma *Kottmann Energie AG* finanziert die Anlage als Contractor
- *Greenpeace* organisierte die Einbindung der Jugendlichen im Rahmen eines Jugendsolarprojekts
- *Enecolo AG* plant die Anlage und ist für die Messkampagne und Auswertung zuständig
- Die Firmen *Ernst Schweizer Metallbau AG* und *Biohaus* liefern die Biosol XXL Module

BAU DER ANLAGE

Die PV-Anlage wurde von der Firma BE Netz gemeinsam mit Schülern der Oberstufe Wiesendangen installiert. Für die Planung der Anlage war Enecolo AG zuständig.

Die Pilotanlage besteht aus 42 Biosol XXL-Dünnschichtmodulen mit je 130 Wp Leistung. Die Module wurden auf das bestehende Eternitdach aufgesetzt. Letzteres wird somit zum Unterdach, wodurch für die Dachdichtheit keine zusätzlichen Risiken bestehen. Dies ist im vorliegenden Fall wichtig, weil die Dachneigung nur rund 10° beträgt. Der Solrif-Rahmen gewährleistet erst ab einer Dachneigung von 15° eine dichte Dachhaut. Die Module bedecken eine Fläche von ca. 85 m² mit einer totalen Nennleistung von 5.46 kWp.

Es wurden zwei Wechselrichter des Typs Solarmax 3000C mit 2 Strings à 10 Modulen und 2 Strings à 11 Modulen angeschlossen. Ein Anschlussplan und verschiedene Anlagenlayouts befinden sich in Anhang A.



Figur 1: Lattenrost auf das bestehende Dach



Figur 2: Fertig verlegte Generatorfläche

MESSKAMPAGNE

Nach dem Bau wurde eine umfangreiche Messeinrichtung bei der Anlage eingerichtet, um die Performance messen zu können. Gemessen wird in viertelstündlicher Auflösung die Produktion der zwei Wechselrichter, die Lufttemperatur, die Modultemperatur und die Einstrahlung. Fotos der Messapparaturen siehe Fig. 3 bis 7. Alle Daten werden von einem Datenlogger „WEBlog PRO“ (siehe Fig. 7) erfasst, gespeichert und täglich per Email an Enecolo übermittelt. In Tabelle 1 sind alle Messgeräte beschrieben. Ein detaillierter Plan der Messeinrichtungen befindet sich in Anhang B, ein Fließschema in Figur 3.

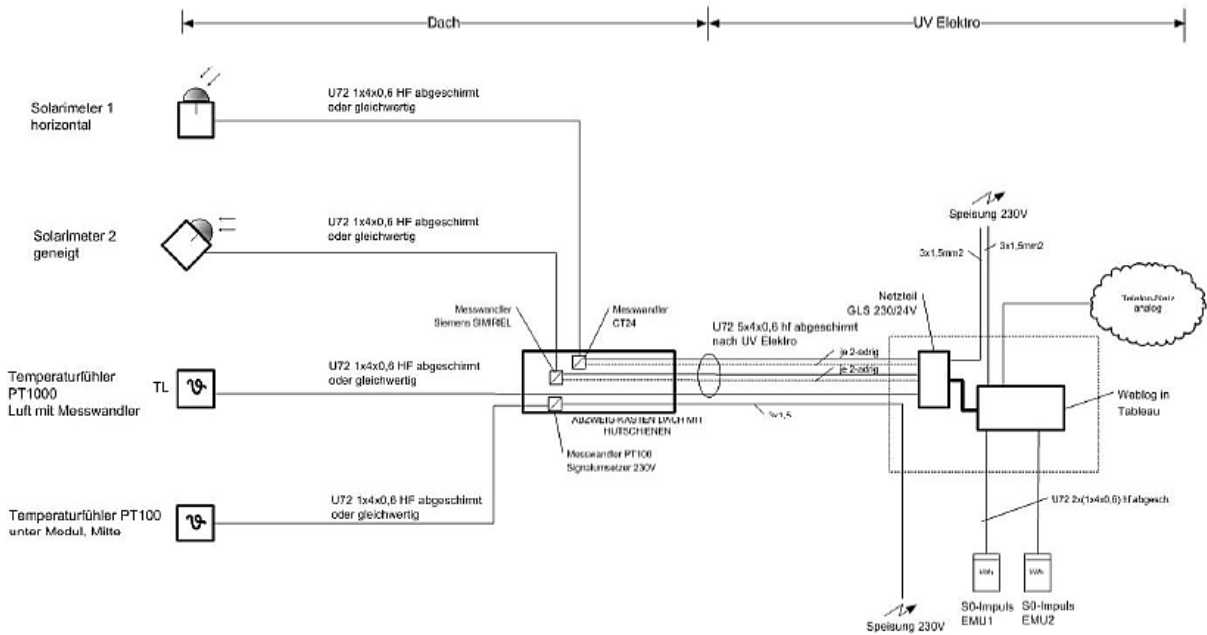


Fig. 3: Fließschema der Messeinrichtung

Messung	Messapparatur / Sensoren	Standort	Genauigkeit
Stromproduktion Wechselrichter 1	Energiezähler EMU 12.x1m/x2m	Schaltschrank Keller	Kl. 2 gemäss IEC 1036
Stromproduktion Wechselrichter 2	Energiezähler EMH EIZ-EEWD7393	Schaltschrank Keller	Genauigkeitsklasse 1
Lufttemperatur	Temperaturfühler PT 1000 mit integriertem Wandler (AGS54ext TRV von Thermokon Sensortechnik GmbH)	Aussen an der Nordwand des Gebäudes	± 3%
Modultemperatur	Selbstklebesensor PT 100 mit Brodersen Temperatur-Konverter 230V PXT-10/11	Aufgeklebt unter den Modulen in der Mitte des Modulfelds	± 3%
Solarstrahlung horizontal	Pyranometer CM11 Kipp & Zonen mit Messwandler CT24 von Kipp & Zonen	Horizontal an der Oberkante des Dachs	± 3%
Solarstrahlung in Modulebene	Pyranometer CM11 Kipp & Zonen mit Schnittstellenwandler SIEMENS 3RS17	In Modulebene geneigt, an der Oberkante des Dachs	± 3%

Tabelle 1: Zusammenstellung der verwendeten Messgeräte



Figur 4: Pyranometer horizontal und in Modulebene



Figur 5: Messwandler auf dem Dach



Figur 6: Energiezähler



Figur 7: Datenlogger WEB'log PRO

DATENAUSWERTUNG

Monatlich wird die Performance Ratio (PR) der Anlage nach dem IEC-Standard 61724 berechnet, um den Vergleich mit anderen Anlagen zu ermöglichen.

$$PR = \frac{\text{monatlicher Ertrag}}{\text{Nennleistung}} \cdot \frac{1000 \text{ W/m}^2}{\text{Globalstrahlung in geneigte Ebene}} \quad (1)$$

Die Performance Ratio wird mit der bereits bestehenden Anlage „Werkhof Wiesendangen“ verglichen. Diese PV Anlage mit kristallinen Solarmodulen ist nur ca. 150 Meter von der Anlage „Turnhalle Wiesendangen“ entfernt (siehe Figur 8). Beim Werkhof wird die stündliche Produktion der Wechselrichter mit dem System SPYCE gemessen. Einstrahlung und Temperatur werden dagegen nicht erfasst. In Tabelle 2 sind die technischen Daten der beiden Anlagen aufgelistet. Da sie eine ähnliche Ausrichtung und Neigung sowie Einbausituation haben, sind allfällige Unterschiede im spezifischen Ertrag zu einem grossen Teil auf Unterschiede im Modulwirkungsgrad zurückzuführen. Weil für beide Anlagen Stundenwerte der Energieproduktion vorhanden sind, werden für einige ausgewählte Tage auch detaillierte Vergleiche der Tagesverläufe vorgenommen. Zusätzlich wird der Ertrag beider Anlagen in Abhängigkeit der Einstrahlung und Temperatur gesetzt und verglichen. Dabei wird angenommen, dass die Einstrahlung auf die geneigte Ebene und die Lufttemperatur bei den beiden Anlagen praktisch identisch sind.



Figur 8: Lageplan der beiden PV-Anlagen Turnhalle **Figur 9:** Foto der PV-Anlage Werkhof und Werkhof in Wiesendangen

	Turnhalle Gässli	Werkhof Wiesendangen
Nennleistung	5.46 kWp	18.9 kWp
Ausrichtung	10° nach Westen	8° nach Westen
Neigung	12°	6°
Modultyp	Biohaus Biosol XXL 130 Wp	Sharp NT-175E1
Wechselrichter	2 x Sputnik Solarmax 3000 C	3 x Fronius IG 60 (EI)
Einbausituation	Auf Eternitdach aufgebaut	Auf Eternitdach aufgebaut

Tabelle 2: Technische Daten der Anlagen Turnhalle und Werkhof in Wiesendangen

PUBLIKATIONEN / ÖFFENTLICHKEITSARBEIT

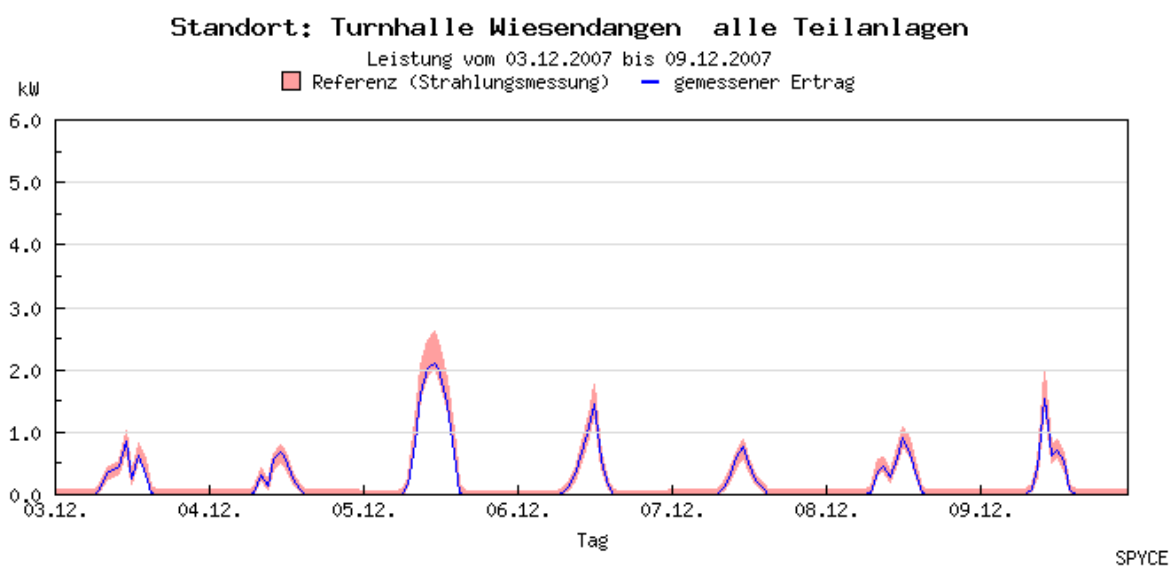
Drei Schüler der Oberstufe Wiesendangen halfen an einem Tag beim Bau der Anlage mit (siehe Figuren 10 und 11). Die Einbindung der Jugendlichen wurde von Greenpeace im Rahmen eines Jugendsolarprojekts organisiert. Enecolo AG hat gemeinsam mit Greenpeace und der Firma BE Netz AG eine Medienmitteilung sowie technische Informationen zur Anlage aufbereitet (Siehe Anhang C). Während der Bauphase waren Medienvertreter zu einer Besichtigung eingeladen. Der Ertrag der Anlage wird permanent im Internet auf dem Portal www.spyce.ch visualisiert (siehe Figuren 12 und 13).



Figur 10: Schüler bei der Arbeit

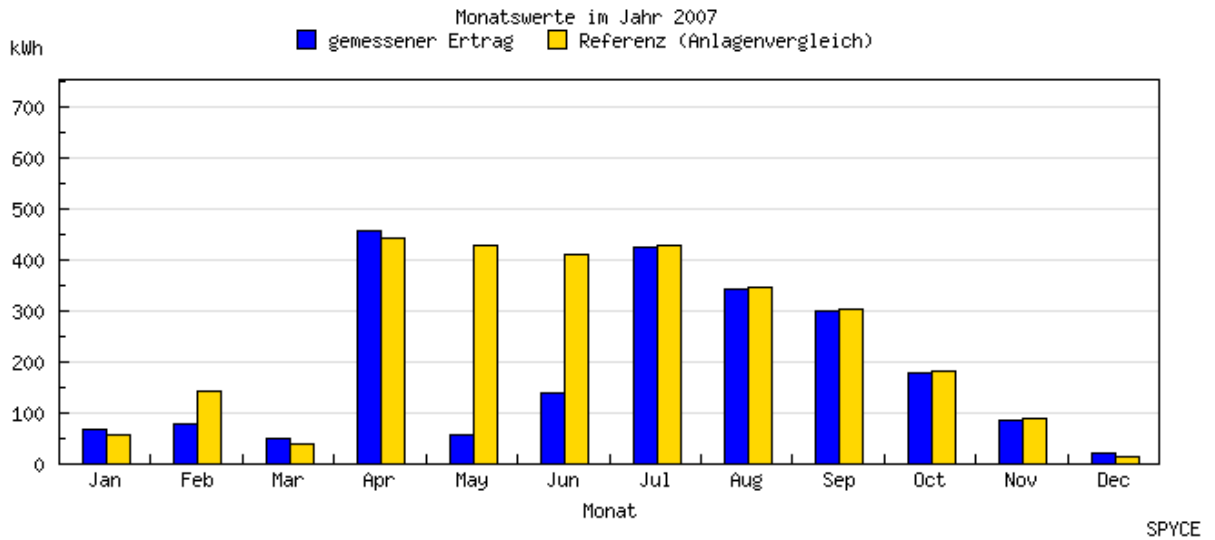


Figur 11: Vorbereiten der Unterkonstruktion



Figur 12: Visualisierung des Anlagenertrags in SPYCE (Quelle: www.spyce.ch)

Standort: Turnhalle Wiesendangen Teilanlage: WR1



Figur 13: Visualisierung des Anlagenertrags in SPYCE (Quelle: www.spyce.ch) Unterschiede zwischen gemessenem Ertrag und Referenzwert entstanden vor allem durch Messlücken (siehe Figur 15)

4. Ergebnisse

BAU DER ANLAGE

Aufgrund von Lieferproblemen bei den Solarmodulen verspätete sich der Baubeginn der Anlage um insgesamt 3 Wochen. Der Bau der Anlage begann am Montag 4.12.06 und wurde bis Donnerstag 7.12.06 fertiggestellt. Davon nahm die Verlegung der Biosol XXL-Module weniger als einen Tag in Anspruch. Somit konnte gezeigt werden, dass mit diesem System Dächer sehr schnell und effizient eingedeckt werden können. Technisch schwieriger waren die Verbindungsleitungen zwischen den Wechselrichtern im Erdgeschoss und den Solarmodulen auf dem Dach. Es mussten Kernbohrungen gemacht und verschiedene Niveau-Unterschiede überwunden werden (siehe Anhang A).

Die Firma BE Netz war verantwortlich für den reibungslosen Ablauf. Der Bau der Anlage mitsamt der zugehörigen Installationsarbeiten verlief ohne Probleme. Die Anlage konnte technisch wie auch gestalterisch gut an die bestehende Dachhaut angepasst werden und zeigt keine störende Wirkung (siehe Figur 14).



Figur 14: Foto der Anlage Turnhalle Wiesendangen mit Biosol XXL-Elementen (Quelle: Enecolo AG)

MESSKAMPAGNE

Der Datenlogger wurde am 5. Januar 2007 in Betrieb genommen. In den folgenden Wochen und Monaten gab es immer wieder Schwierigkeiten mit der Messung und dem Datenlogger, so dass erst seit Juni 2007 alle Messwerte ohne Unterbrechung vorhanden sind. Tabelle 3 enthält ein Störungs- und Arbeitsprotokoll für die Messungen. In Figur 14 ist aufgezeigt, für welchen Zeitraum welche Messdaten vorliegen.

Hauptsächlich für die Messprobleme verantwortlich war eine undichte Stelle im Dach der Turnhalle. Dadurch konnte bei Regenwetter Wasser bis in den Schaltschrank im Keller der Turnhalle durchdringen und auf den Datenlogger tropfen. Das führte immer wieder zu Störungen des Datenloggers und zweimal sogar zu einem Defekt, so dass der Datenlogger ausgetauscht werden musste.

Die undichte Stelle steht in keinem Zusammenhang mit der Photovoltaik-Anlage oder den Messungen, sondern ist auf einen baulichen Mangel im Flachdach über dem Keller zurückzuführen. Erst nach mehreren Monaten und dem zweimaligen Austausch des Datenloggers wurde die Problemursache erkannt und der Datenlogger an einen neuen Standort versetzt. Seitdem läuft der Datenlogger praktisch reibungslos.

Gemessen werden in einer zeitlichen Auflösung von 15 min. die Stromproduktion der beiden Wechselrichter, die Luft- und Modultemperatur sowie die Globalstrahlung auf die Modulebene.

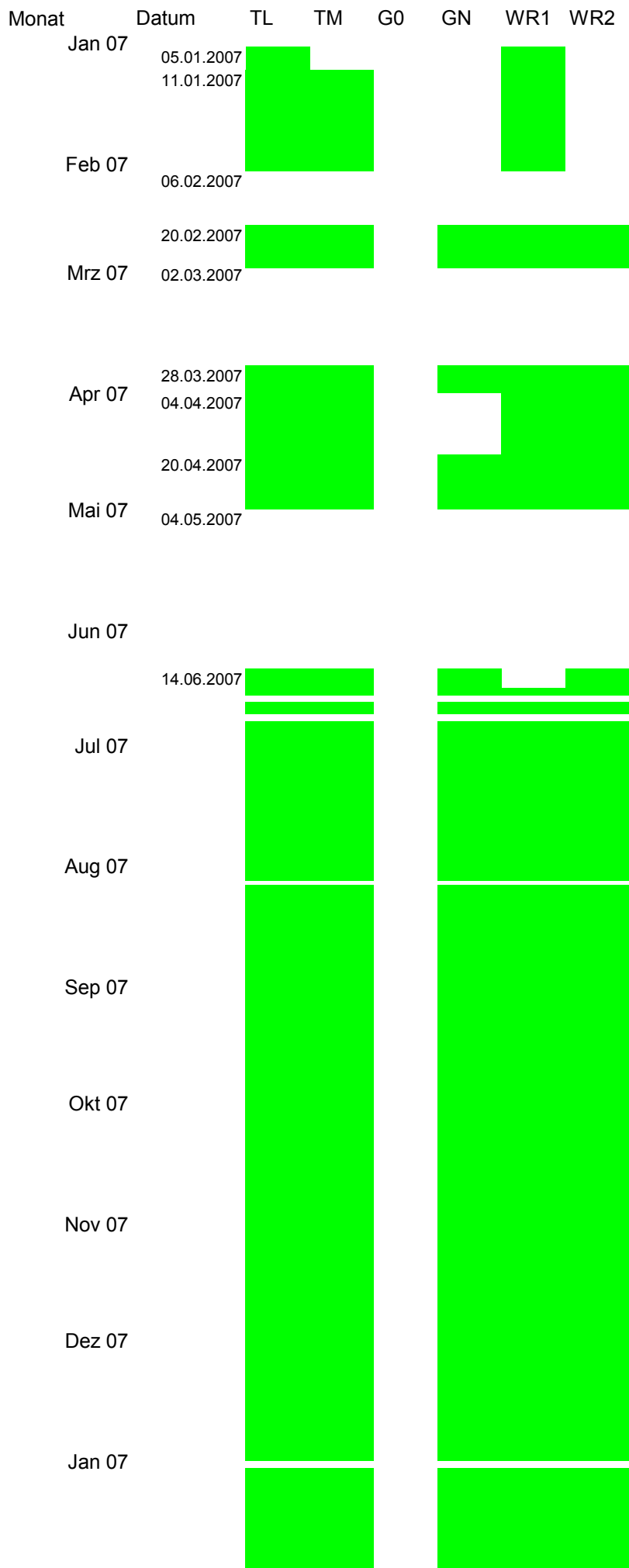
Von der Globalstrahlung horizontal konnten keine verlässlichen Messwerte erzeugt werden. Nach mehreren erfolglosen Kalibrierungsversuchen wurde schliesslich entdeckt, dass der Messumwandler beim Pyranometer einen Defekt aufweist. Da bereits mehrere Monate Messzeit vorüber waren wurde darauf verzichtet, den Messwandler auszutauschen. Die Messung der Globalstrahlung in die Modulebene funktionierte praktisch von Anfang an zuverlässig, somit sind trotzdem Strahlungsdaten für die Datenanalyse vorhanden.

Da die Messreihe zeitlich einige Lücken aufweist wurde die Messdauer um 3 Monate bis März 2008 verlängert.

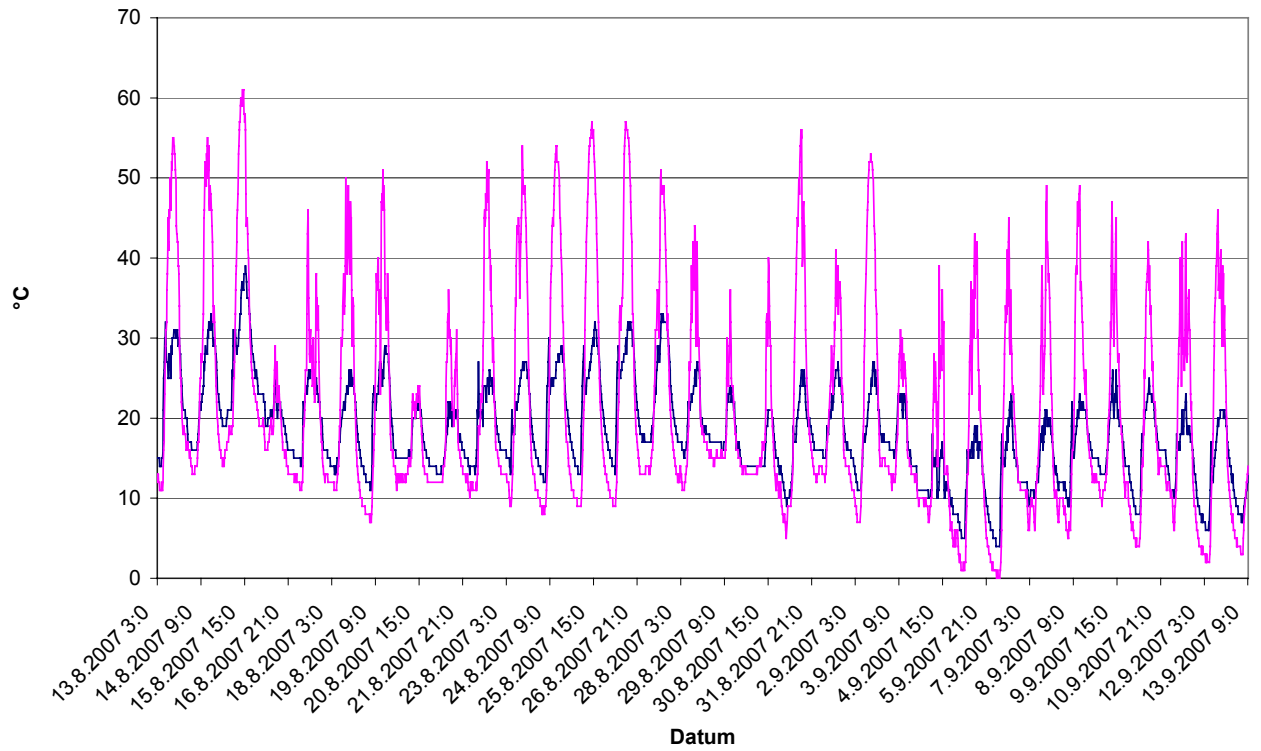
Datum	Beschreibung
7.12.06	Installation der Messgeräte durch die Firma BE Netz
5.1.07	Inbetriebnahme des Datenloggers. Lufttemperatur und Erträge von Wechselrichter 1 können gemessen werden. Vom Energiezähler des Wechselrichters 2 treffen keine Impulse ein. Die Messung der Einstrahlung auf die Modulebene liefert aus unbekanntem Gründen kein auswertbares Signal. Für die Messung der Modultemperatur und der Strahlung auf die Horizontale müsste der Datenlogger ein Stromsignal auslesen können. Trotz gegenteiliger Angaben auf dem Datenblatt des Datenloggers, ist es nicht möglich den analog-Eingang auf einen Eingangsbereich von 0 bis 20 mA einzustellen. Nach Rücksprache mit dem Lieferanten stellt sich heraus, dass der Datenlogger eingeschickt werden müsste, um diese Einstellungen vorzunehmen.
11.1.07	Für die Messung der Modultemperatur und der Globalstrahlung horizontal wird ein Widerstand von 470 Ohm auf die entsprechenden analog-Eingänge des Datenloggers geschaltet. So wird ein Signal von 0 bis 10V generiert, das vom Datenlogger interpretiert werden kann. Der Energiezähler des Wechselrichters 2 und die Strahlungsmessung auf die geneigte Ebene werden auf einen anderen Eingang des Datenloggers geschaltet, da vermutet wird, dass diese Eingänge des Datenloggers defekt sind. In den folgenden Tagen stellt sich heraus, dass zusätzlich zur Lufttemperatur nun auch die Modultemperatur gemessen werden kann. Die übrigen Sensoren schicken auch in den nächsten Tagen kein zuverlässiges Signal.
6.2.07	Der Datenlogger schickt keine Daten mehr. Mehrere Versuche, per analog-Telefonleitung auf den Datenlogger zuzugreifen schlagen fehl.
20.2.07	Der Datenlogger wird vor Ort neu gestartet. Zudem wird der Energiezähler zu Wechselrichter 2 ausgetauscht und der Messwandler für die Strahlungsmessung auf die geneigte Ebene noch einmal neu konfiguriert.

	Mit Ausnahme der Einstrahlungsmessung auf die Horizontale können nun alle Messwerte erfasst werden.
2.3.07	Der Datenlogger schickt wieder keine Daten und kann auch durch mehrmalige Neustarts vor Ort nicht wieder in Betrieb genommen werden. Es wird ein Ersatzgerät angefordert.
28.3.07	Das Ersatzgerät 1 des Datenloggers wird in Betrieb genommen. Mit Ausnahme der Einstrahlungsmessung auf die Horizontale können ab sofort wieder alle Messwerte erfasst werden.
4.4.07	Die Konfiguration des Datenloggers wird geändert. Ziel ist es, auch für die Strahlungsmessung in die Horizontale sinnvolle Messwerte zu erhalten. Verschiedene Konfigurationsänderungen führen aber nur dazu, dass auch die Einstrahlungsmessung auf die geneigte Ebene keine plausiblen Daten mehr ergibt. Die Einstrahlungsmessung auf die Horizontale ist weiterhin erfolglos.
20.4.07	Der Logger wird wieder auf die Konfiguration vom 28.3.07 eingestellt. Mit Ausnahme der Einstrahlungsmessung auf die Horizontale können ab sofort wieder alle Messwerte erfasst werden.
4.5.07	Auch das Ersatzgerät 1 des Datenloggers schickt keine Daten mehr und kann auch durch mehrere Restarts vor Ort nicht wieder in Betrieb genommen werden. Abklärungen am ersten Datenlogger durch den Lieferanten ergeben einen Wasserschaden. Nach mehreren Gesprächen mit dem Lieferanten und dem Abwart der Turnhalle wird entdeckt, dass bei Regenwetter durch eine undichte Stelle im Dach Wasser eindringen kann und dadurch wahrscheinlich der Datenlogger zerstört wurde. Bei einer weiteren Begehung wird ausserdem der Messwandler zur Einstrahlungsmessung auf die Horizontale entfernt und zur Untersuchung an den Lieferanten gesendet.
14.6.07	Das Ersatzgerät 2 des Datenloggers wird in Betrieb genommen. Mit Ausnahme der Einstrahlungsmessung auf die Horizontale können ab sofort wieder alle Messwerte erfasst werden.
21.6.07 22.6.07 26.6.07 27.6.07 8.8.07	Aus unbekanntem Gründen schickt der Datenlogger an diesen Tagen keine Daten. Da das Gerät an den Folgetagen ohne Neustart wieder voll funktionsfähig ist, werden aber keine Massnahmen ergriffen.
Ab 9.8.07	Auf den Einbau des reparierten Messwandlers für die Strahlungsmessung horizontal wird verzichtet. Die übrigen Messungen laufen seit dem 9.8.07 ohne Unterbrüche.
3./4.1.08	Aufgrund von E-Mail Problemen bei Enecolo verschwinden die Emails dieser beiden Tage vom Server

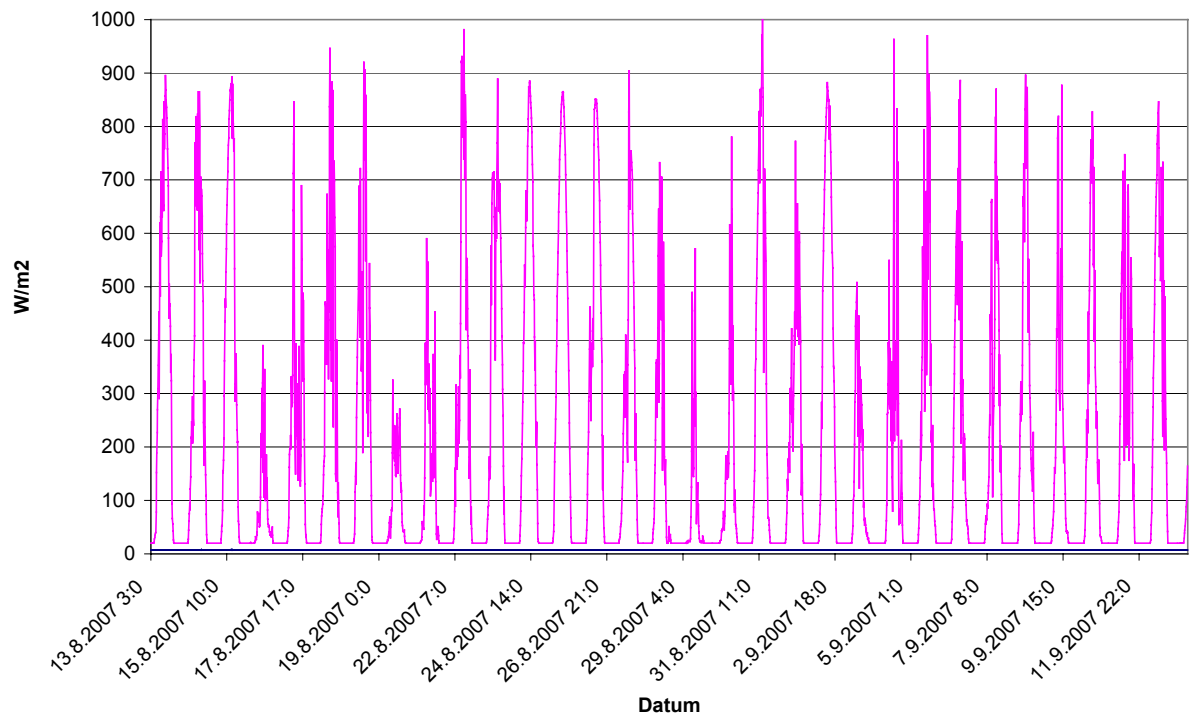
Tabelle 3: Störungs- und Arbeitsprotokoll der Messungen



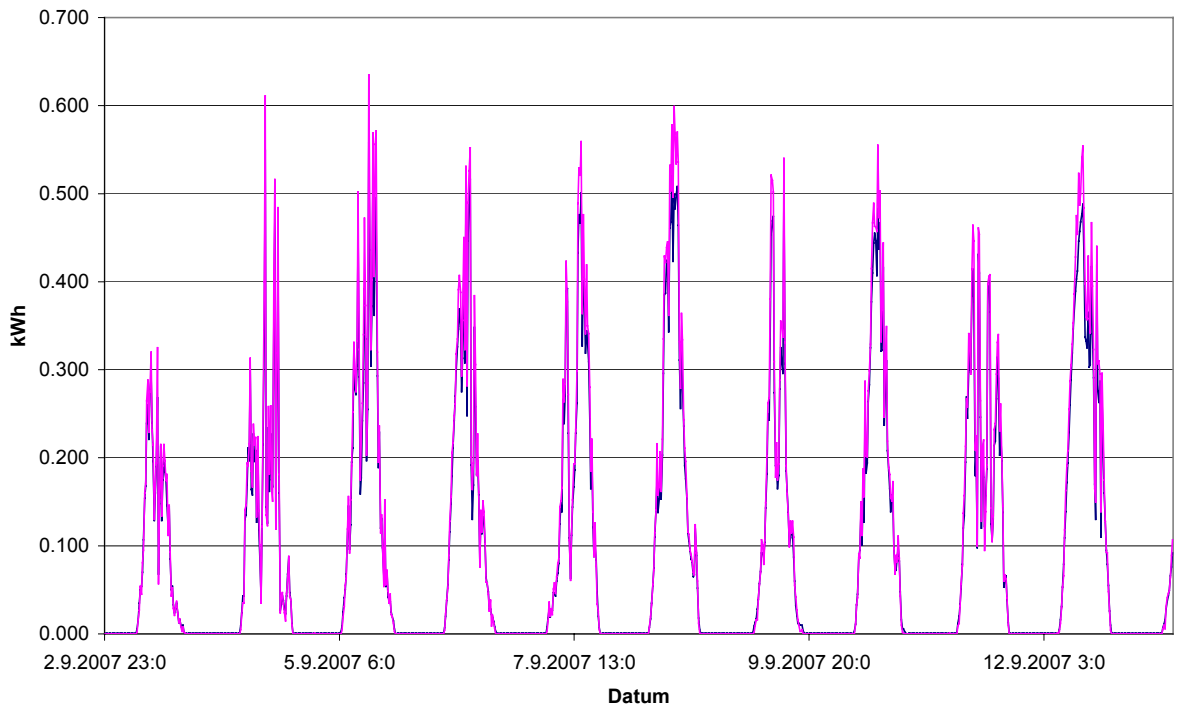
Figur 15: Angabe der Zeiträume mit Messdaten.
 TL: Lufttemperatur;
 TM: Modultemperatur;
 G0: Globalstrahlung auf die Horizontale;
 GN: Globalstrahlung auf die geneigte Ebene



Figur 16: Messdaten der Lufttemperatur (blau) und der Modultemperatur (pink)



Figur 17: Auszug aus den Messdaten der Globalstrahlung in die Modulebene



Figur 18: Auszug aus den viertelstündlichen Produktionswerten der beiden Wechselrichter. Pink: Wechselrichter 1 (2860 Wp); blau: Wechselrichter 2 (2600 Wp)

DATENAUSWERTUNG

Die während den Messungen gesammelten Daten wurden wie in Kapitel 3 beschrieben ausgewertet. Da einige Messlücken vorliegen, konnte die monatliche Performance Ratio nur mit einer beschränkten Datenmenge berechnet werden, dies gilt besonders für Februar, März, Mai und Juni 2007. In Figur 19 ist die monatliche Performance Ratio der beiden Wechselrichter der Anlage Turnhalle Wiesendangen sowie als Vergleich die Performance Ratio der Anlage Werkhof Wiesendangen aufgezeigt.

Zur Berechnung der Performance Ratio der Anlage Werkhof wurden die bei der Anlage Turnhalle gemessenen Einstrahlungswerte verwendet. In Monaten mit Messlücken wurde die Performance Ratio der Anlage Werkhof mit derselben Datenbasis berechnet, wie sie für die Turnhalle Wiesendangen benutzt worden war. Allerdings ist die Ausrichtung und Neigung der Anlage leicht anders als bei der Turnhalle. Deshalb wurde mit Meteonorm auf monatlicher Basis der prozentuale Strahlungsunterschied zwischen den beiden Anlagen berechnet und die Einstrahlung beim Werkhof Wiesendangen damit korrigiert. Da das Dach des Werkhofs flacher ist, ist die Einstrahlung gemäss Meteonorm besonders im Winter um bis zu 10% tiefer als bei der Turnhalle. Im Sommer beträgt der Unterschied dagegen nur wenige Prozent.

Beide Wechselrichter der Anlage Turnhalle Wiesendangen weisen im Sommer eine sehr hohe PR von über 0.8 auf. Die PR beider Teilanlagen ist praktisch identisch. Das zeigt, dass die Anlagen einwandfrei funktionieren.

Es zeigt sich, dass der Wechselrichter 2 mit einer Nennleistung von 2600 Wp eine leicht höhere Performance Ratio aufweist als der Wechselrichter 1 mit 2860 Wp (Figur 19). Der Grund für diese Abweichung ist unbekannt. Aufgrund der besseren Auslastung des Wechselrichters mit 2860 Wp wäre eher das Gegenteil zu erwarten gewesen. Trägt man die gemessenen Werte gegen die Einstrahlung und gegen die Temperatur auf (Fig. 20, 21 und 22) ist erkennbar, dass die Anlage mit 2860 Wp eine deutlich höhere Streuung der Werte aufweist als die Anlage mit 2600 Wp. Das könnte darauf hindeuten, dass das MPP-Tracking bei diesem Wechselrichter weniger gut funktioniert. Es ist bekannt, dass der Wirkungsgrad des Wechselrichters auch von der Eingangsspannung abhängt [3]. Da die beiden Teilanlagen verschiedene Generatorspannungen aufweisen, könnte dies die Ursache für die unterschiedliche PR sein. Anzeichen für ein Temperaturproblem oder Abregelung aufgrund von

Leistungsbeschränkung sind bei WR 1 (2860 Wp) keine vorhanden. Besonders ausgeprägt ist der Unterschied zwischen den beiden Teilanlagen in den Wintermonaten.

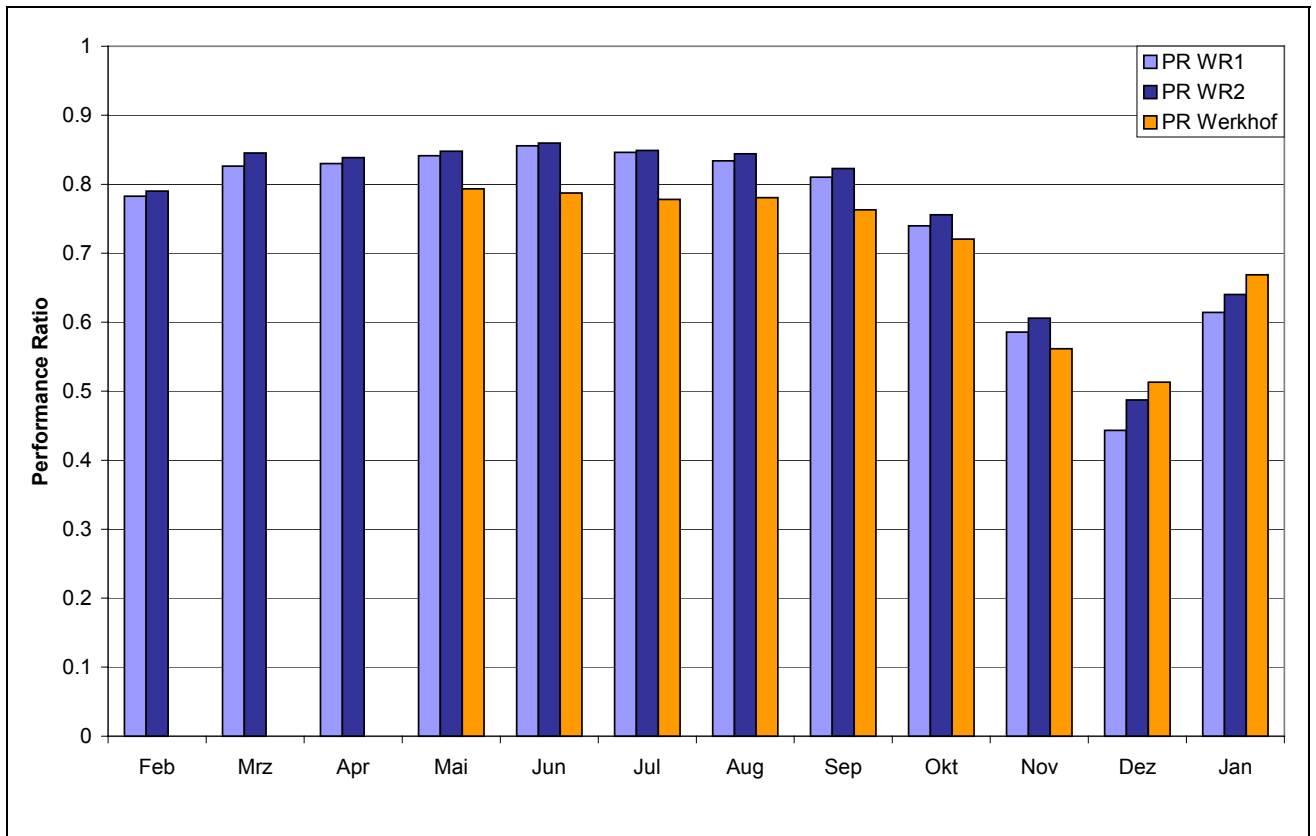
Der Mittelwert der PR über 12 Monate beträgt bei WR 1 (2860 Wp) 0.78 und bei WR 2 (2600 Wp) 0.79. Gemäss Meteonorm beträgt die Einstrahlung auf die geneigte Ebene im langjährigen Mittel 1192 kWh/kWp/Jahr. Mit den gemessenen PR-Werten ergibt dies eine Jahresproduktion von 930 kWh/kWp für WR 1 und 944 kWh/kWp für WR 2. Für die Gesamtanlage resultieren 937 kWh/kWp/Jahr.

Eine Temperaturabhängigkeit der Leistung kann nicht entdeckt werden (Fig. 22). Dagegen zeigt sich, dass die Performance Ratio im Sommer deutlich höher ist als in den Wintermonaten (Fig. 23). Mögliche Gründe für dieses Phänomen sind:

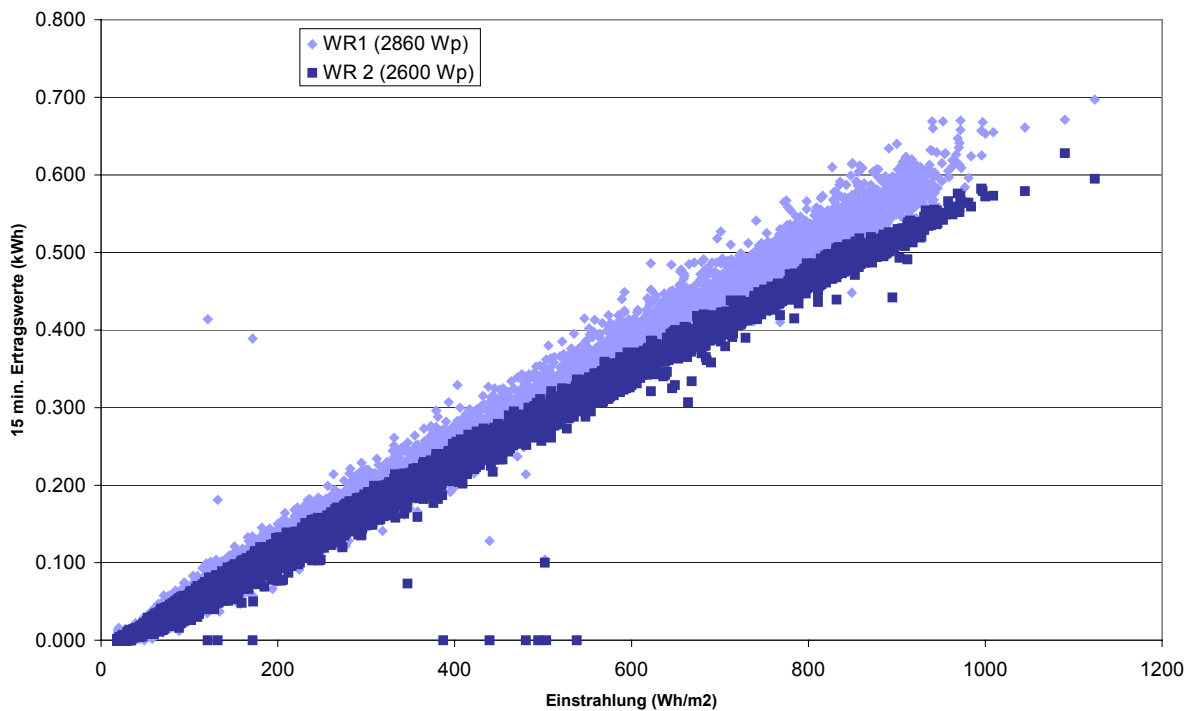
- Saisonale Degradation aufgrund des Staebler-Wronski Effekts bei amorphen Zellen [3]. Diese Degradation tritt nur bei tiefen Temperaturen auf und verschwindet im Frühling mit dem Ansteigen der Temperaturen wieder.
- Tiefere Einstrahlungswerte führen zu einer geringeren Auslastung des Wechselrichters und damit zu einem tieferen Wirkungsgrad. Bei sehr tiefer Einstrahlung wird nicht einmal die Einschaltsschwelle des Wechselrichters erreicht.
- Im Winter ist der Sonnenstand tiefer. Dies führt zu einer flacheren Sonneneinstrahlung und damit zu höherer Reflexion am Modulglas
- Schneebedeckung führt zu Ertragseinbussen

Die Anlage Turnhalle Wiesendangen hat im Sommer trotz der korrigierten Strahlungswerte eine um ca. 7% tiefere Performance Ratio als die Anlage mit den Biosol XXL- Elementen. Im Winter dagegen ist die Performance Ratio der beiden Anlagen ähnlich, bzw. die kristalline Anlage hat eine eher höhere Performance Ratio. Ein Grund für diesen Unterschied könnte die unterschiedliche Temperaturabhängigkeit der beiden Modultypen sein. Die Biosol XXL-Elemente zeigen praktisch keine Temperaturabhängigkeit (Fig. 22). Bei kristallinen Modulen ist dagegen mit einer Abnahme des Wirkungsgrads von ca. 5% bei einem Temperaturanstieg von 10°C zu rechnen. Die PR der Anlage Werkhof ist deshalb im Sommer tiefer als bei den Biosol XXL-Elementen.

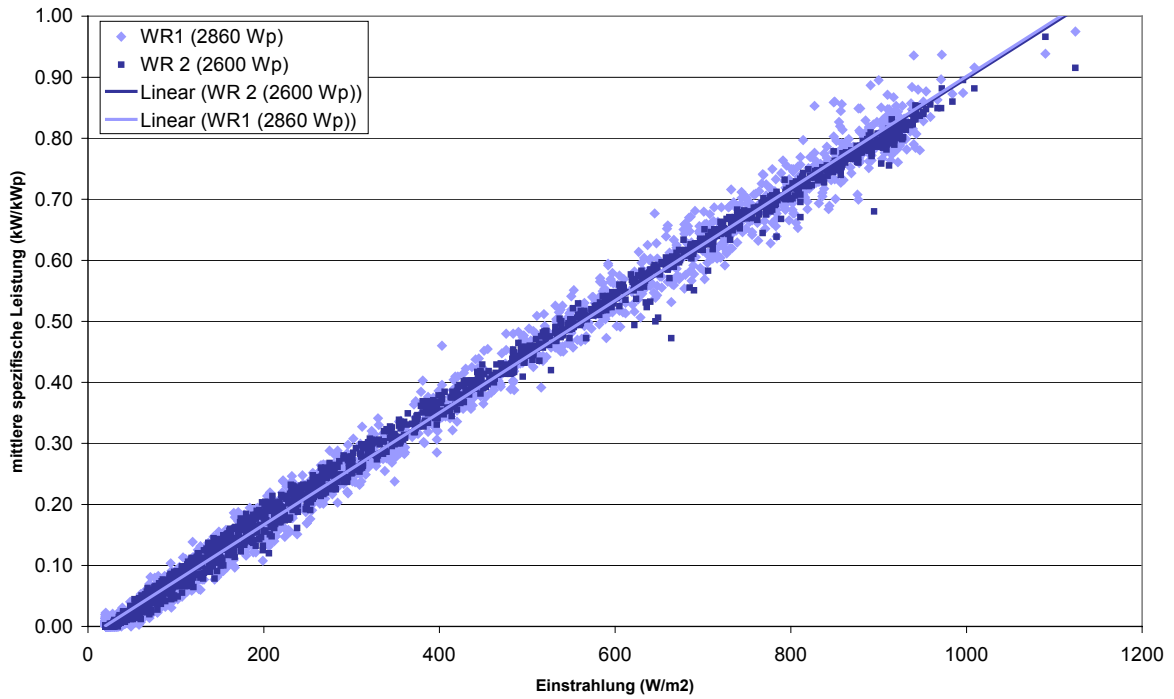
Im Winter liegt die PR der Anlage Turnhalle Wiesendangen tiefer als die PR der Anlage Werkhof. Es ist möglich, dass die Triple-Junction Technologie bei diffuser Einstrahlung und einem anderen Spektralbereich im Winter einen schlechteren Wirkungsgrad hat als die kristallinen Module. In den Wintermonaten können die beiden Anlagen allerdings nur beschränkt verglichen werden, da sie eine unterschiedliche Neigung aufweisen (6 bzw. 12°). Dieser Unterschied, der in den Wintermonaten rund 10% beträgt, wurde zwar mit Meteonorm-Daten korrigiert, die Genauigkeit dieser Korrektur ist aber nicht bekannt.



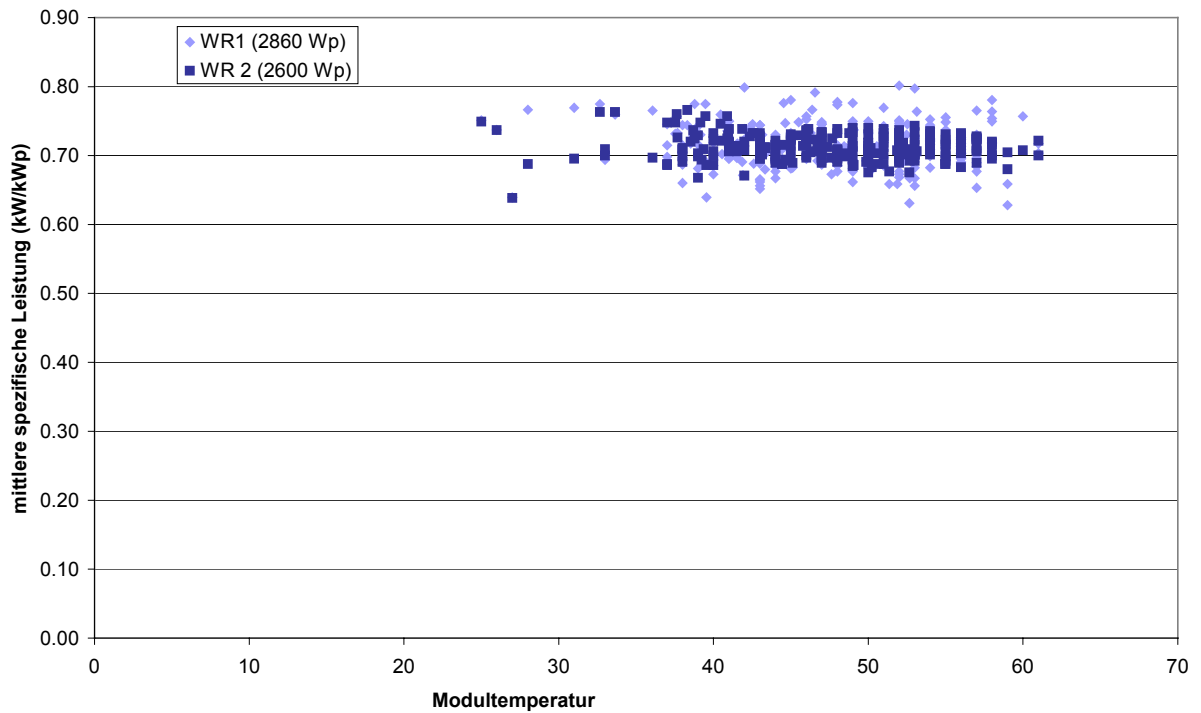
Figur 19: monatliche Performance Ratio der beiden Wechselrichter der Anlage Turnhalle Wiesendangen sowie als Vergleich der Anlage Werkhof in Wiesendangen. Zur Berechnung der PR beim Werkhof wurden die Einstrahlungswerte bei der Turnhalle verwendet, aber mit Meteororm-Daten auf die Neigung korrigiert.



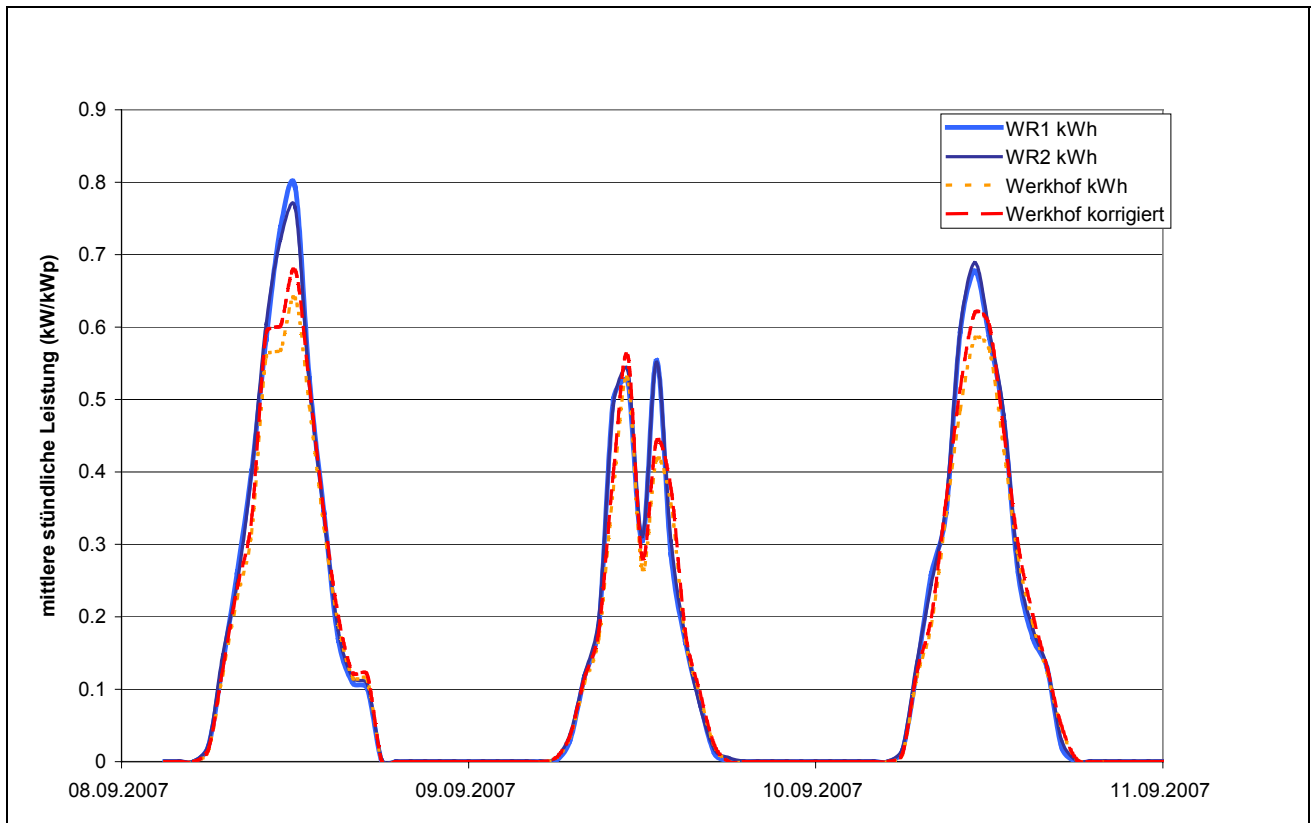
Figur 20: 15 min. Ertragswert der beiden Wechselrichter der Anlage Turnhalle Wiesendangen in Abhängigkeit zur Einstrahlung



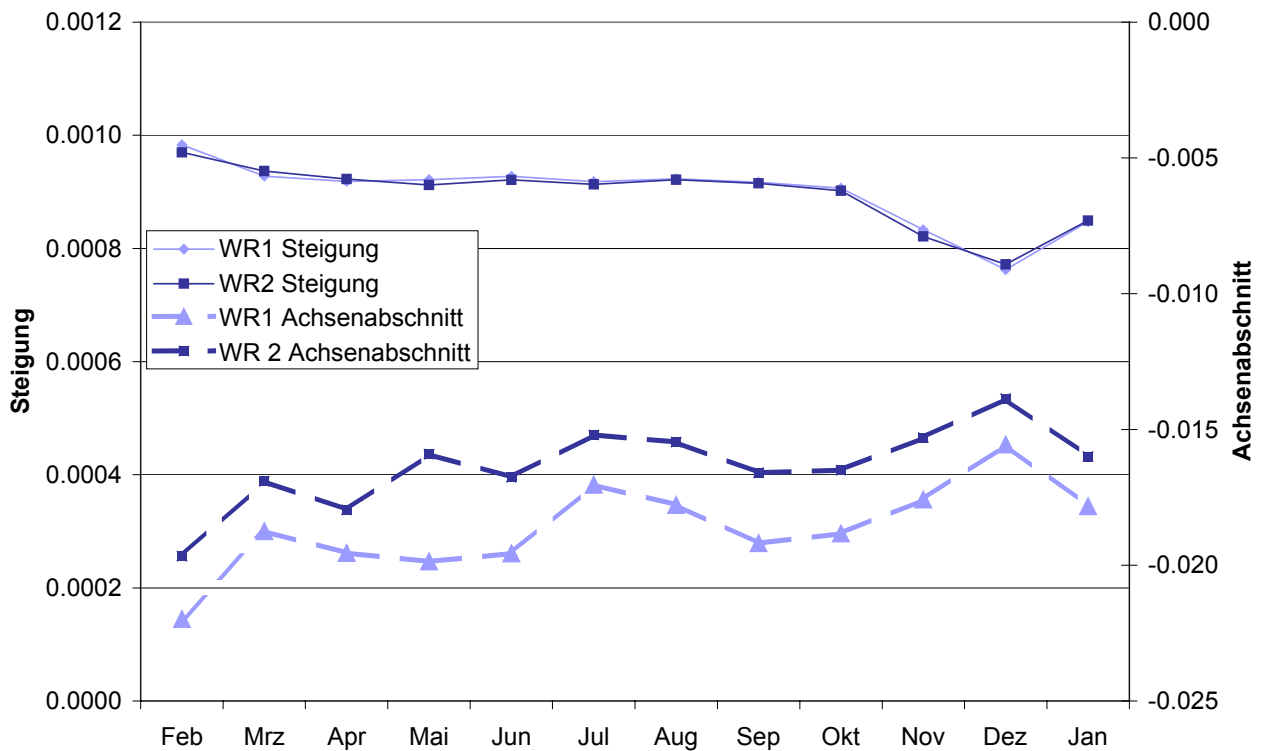
Figur 21: mittlere spezifische Leistung für den Monat Juli 2007 der beiden Wechselrichter der Anlage Turnhalle Wiesendangen in Abhängigkeit zur Einstrahlung



Figur 22: mittlere spezifische Leistung der beiden Wechselrichter der Anlage Turnhalle Wiesendangen in Abhängigkeit zur Lufttemperatur, bei einer Einstrahlung von 800 W/m² ($\pm 3\%$)



Figur 23: Tagesverläufe der beiden Wechselrichter der Anlage Turnhalle Wiesendangen sowie der Anlage Werkhof. Der Ertrag der Anlage Werkhof wurde nachträglich mit Meteonorm-Daten auf die Neigung von 12° korrigiert



Figur 24: Aus den monatlichen Trendkurven (siehe Figur 20) wurden die jeweilige Steigung und der Achsenabschnitt berechnet. Die Temperatur wurde nicht berücksichtigt.

5. Schlussfolgerungen

Der Bau der Solaranlage verlief problemlos. Die grossflächigen Elemente konnten sehr schnell verlegt werden. Durch den Einbezug von Schülern wurde gleichzeitig Öffentlichkeitsarbeit geleistet. Die Biosol XXL-Elemente integrieren sich optisch unauffällig in die Dachhaut. Seit Inbetriebnahme der Anlage sind weder bei den Modulen noch bei den Wechselrichtern Probleme aufgetreten und die Performance Ratio der Anlage ist sehr hoch. Die Vorteile der Triple-Junction Technologie liegen insbesondere im guten Temperaturverhalten. Die Module zeigen praktisch keine Temperaturabhängigkeit. Im Vergleich mit einer nahegelegenen kristallinen dachintegrierten Anlage zeigt sich, dass die Performance Ratio der Biosol XXL-Elemente im Sommer um bis zu 8% höher ist.

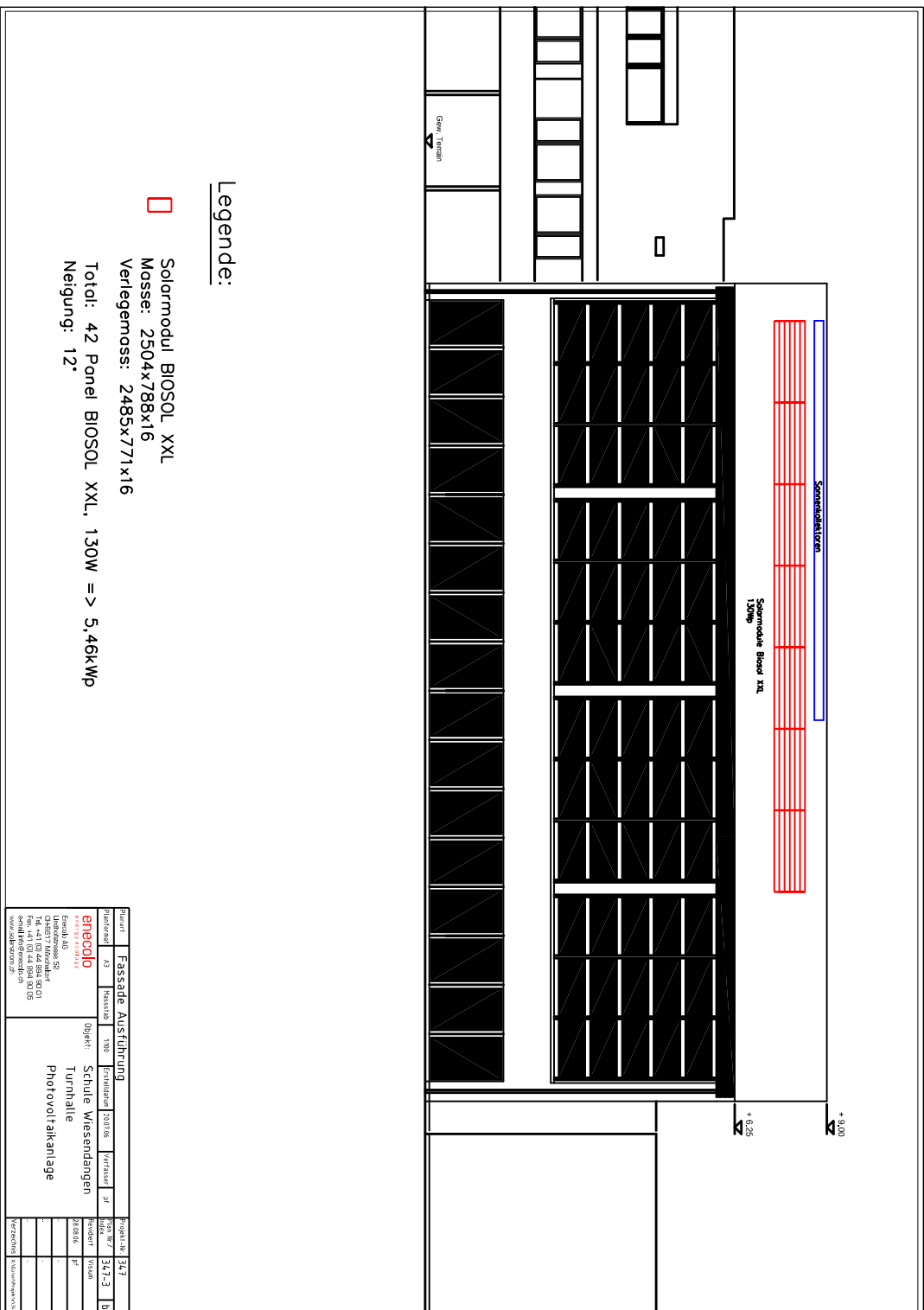
Während der Projektdauer von einem Jahr konnte keine messbare Degradation festgestellt werden. Der Rückgang der Performance Ratio gegen Ende Jahr ist wahrscheinlich saisonal bedingt (siehe Kapitel 4, Datenauswertung). Um dies abschliessend zu beurteilen wären aber Messungen über einen Zeitraum von mindestens zwei Jahren notwendig.

Besonders für dachintegrierte Anlagen ist das Biosol XXL-Element dank seinem guten Temperaturverhalten, der einfachen Installation und der architektonisch ansprechenden Gestaltung eine sehr attraktive Lösung. Die Performance Ratio der Anlage betrug im Jahresmittel 0.786, die spezifische Jahresproduktion wurde mit Meteonorm-Einstrahlungsdaten auf 937 kWh/kWp berechnet.

6. Referenzen

- [1] J. Remund: *Meteonorm*
- [2] D. Chianese: **Flat roof Integration CPT solar**; Annual Report 2004; BFE Project 100493
- [3] Schmidt Heribert: **Modellierung der Spannungsabhängigkeiten des Wechselrichter-Wirkungsgrades**, 23. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 2008

Anhang A: Elektropläne und Anlagenlayout



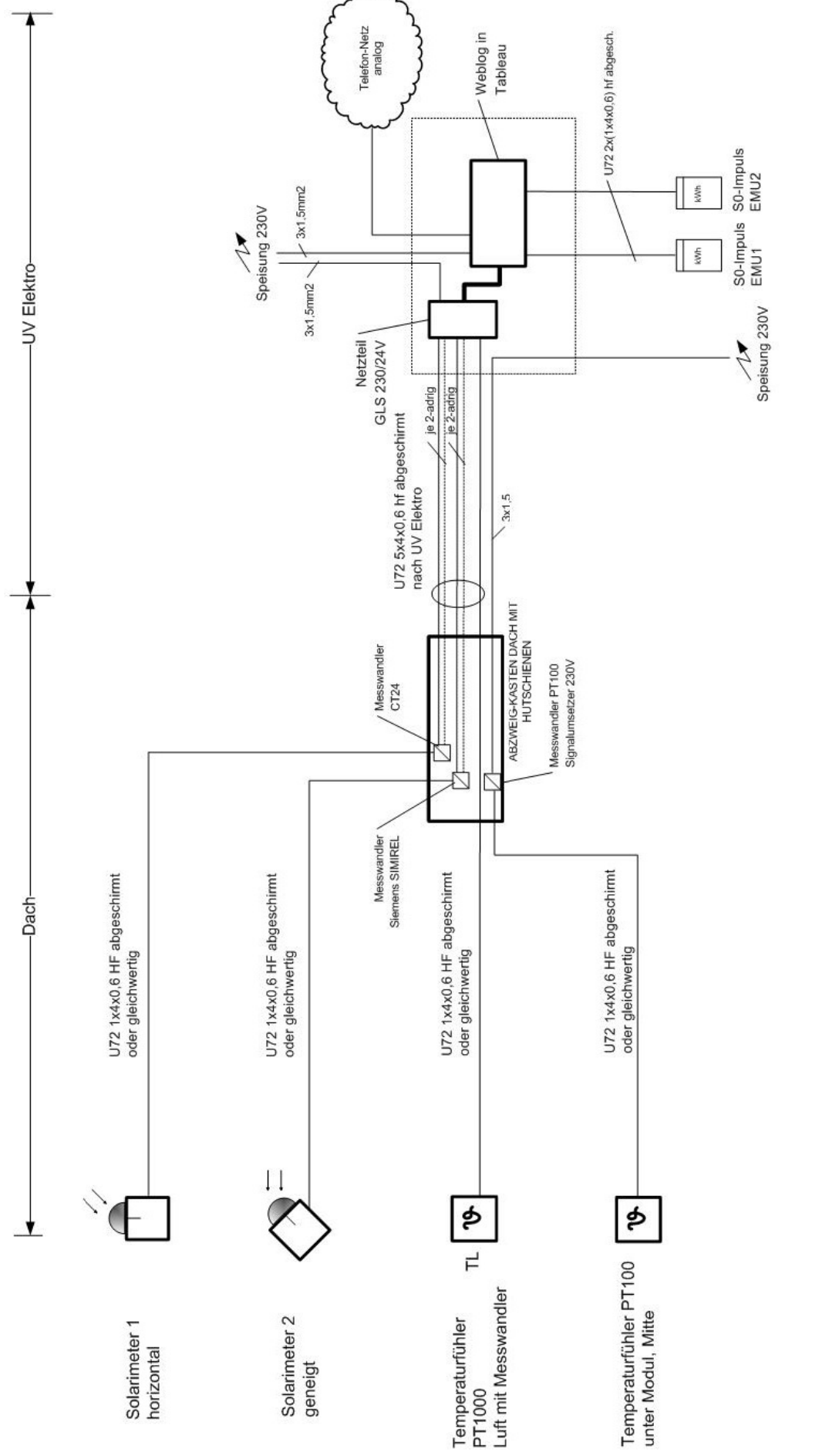
Legende:



Solarmodul BIOSOL XXL
 Masse: 2504x788x16
 Verlegemass: 2485x771x16
 Total: 42 Panel BIOSOL XXL, 130W => 5,46kWp
 Neigung: 12°

Projekt	Fassade Ausführung			Projekt-Nr.	317
Referenz	A3	Version	1300	Erstellungsdatum	2007/06
				Verfasser	JF
		Objekt	Schule Wiesendangen		
Eschle AG CH-8607 Mönchaltorf Tel. +41 (0) 44 883 50 01 email: info@enecolo.ch www.enecolo.ch			Turnhalle		
			Photovoltaikanlage		
			Prüfer	Vision	
			Zeichner	JF	
			Verzeichn.	Kundenreferenz	

Anhang B: Übersicht Messaufbau



Standort Messfühler siehe Dachansicht Ausführung

Mess-Prinzipschema 1-polig, P&D	
Schule Wiesendangen, Turnhalle	
Enecolo AG	DATUM 01.09.06
Lindhofstrasse 51	Plan-Nr. 347-7
CH-8617 Mönchaltorf	REVIDIERT 12.12.06
E-Mail: info@enecolo.ch	GEZ. PF
Tel. 044 994 90 00	
Fax. 044 994 90 05	

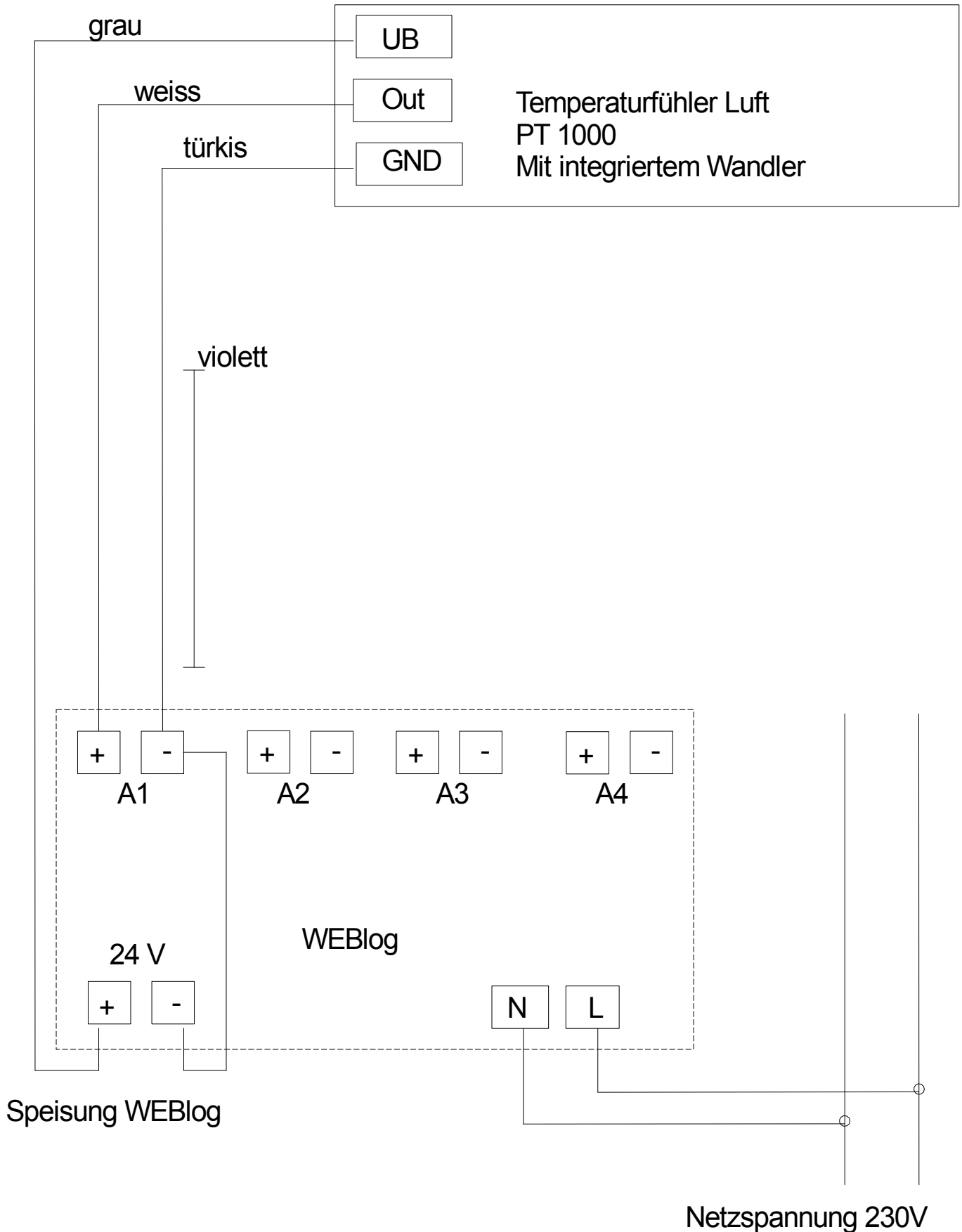
Temperaturfühler Luft

Temperaturbereich: -50°C bis $+50^{\circ}\text{C}$

Output: 0 - 10V

Steigung: 10°C/V

Offset: -50°C



Temperaturfühler Modul

Temperaturbereich: -50°C bis $+100^{\circ}\text{C}$

Output für WEBlog: 0 - 10V

Steigung: 15.957°C/V

Offset: -50°C

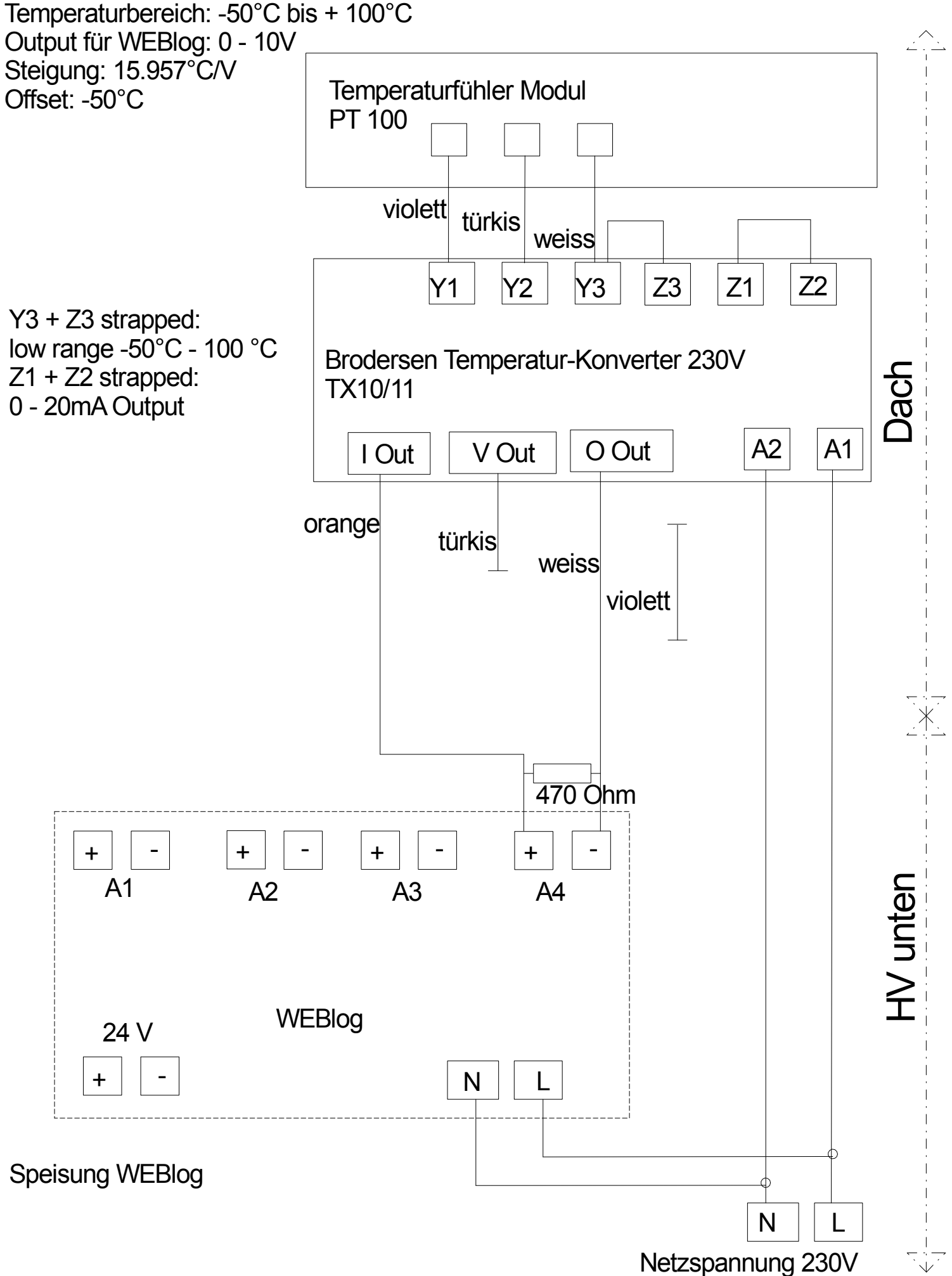
Y3 + Z3 strapped:

low range -50°C - 100°C

Z1 + Z2 strapped:

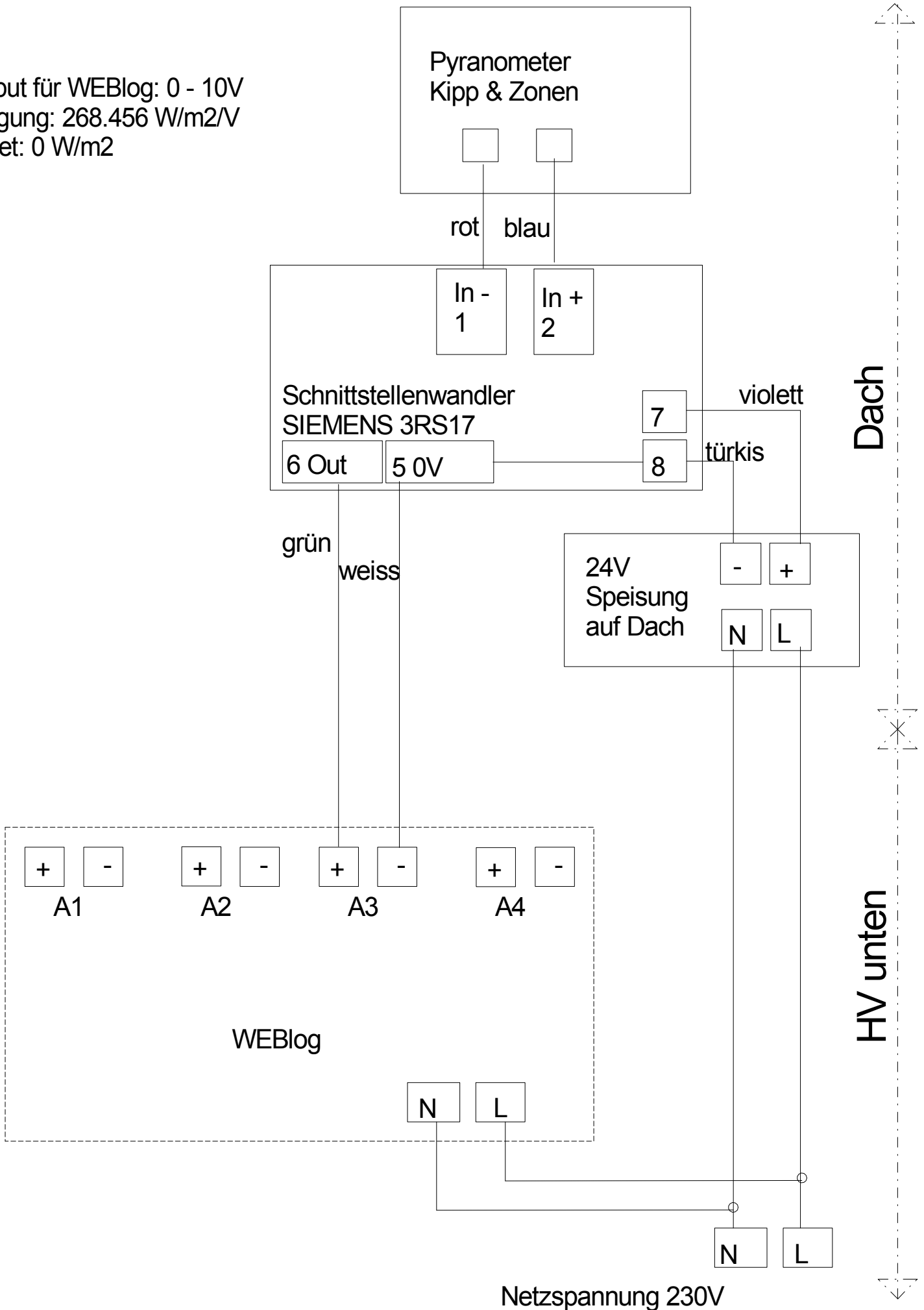
0 - 20mA Output

Speisung WEBlog

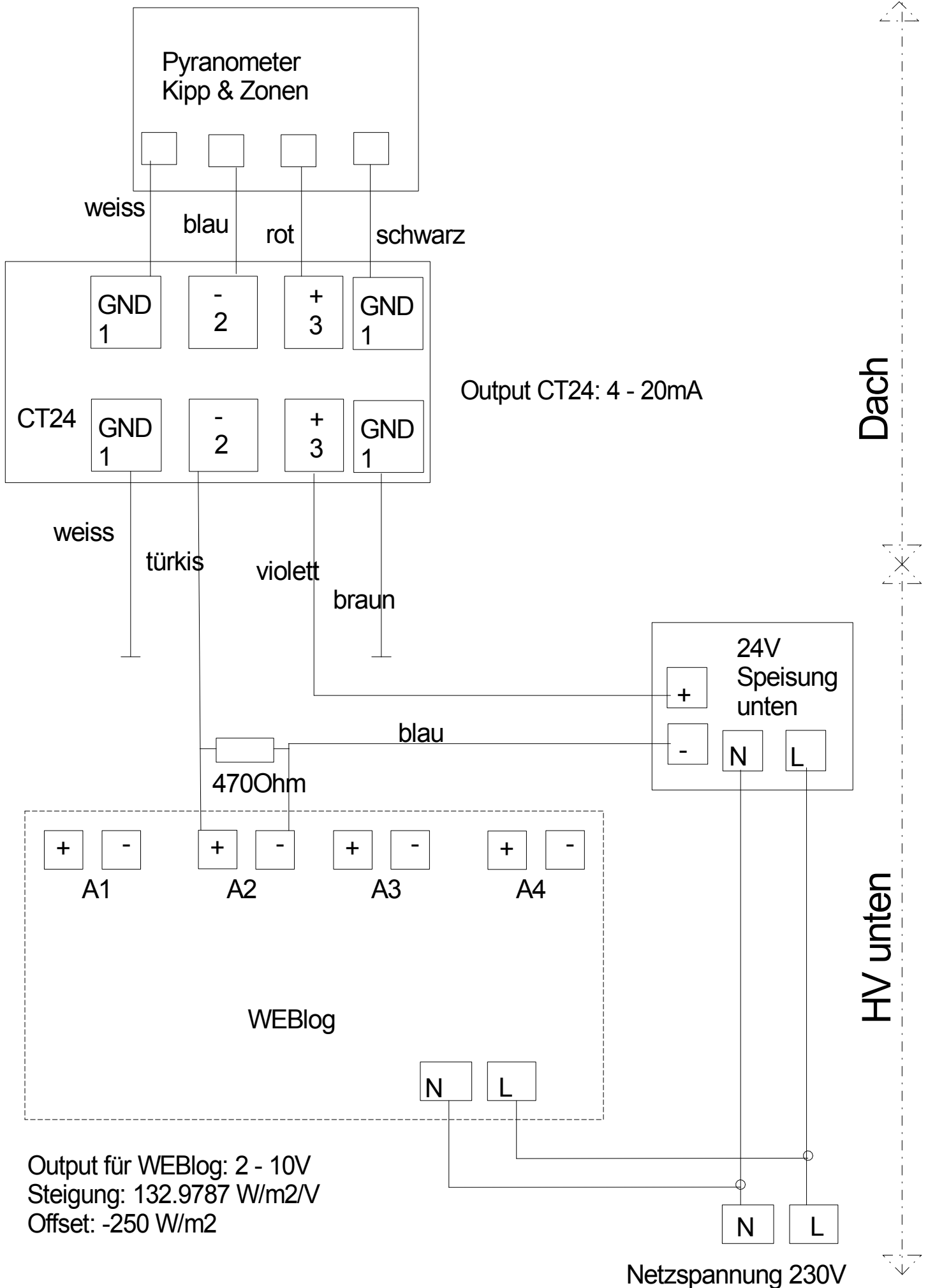


Pyranometer horizontal

Output für WEBlog: 0 - 10V
Steigung: 268.456 W/m²/V
Offset: 0 W/m²



Pyranometer geneigt



Anhang C: Medienmitteilung



GEMEINSAME MEDIENMITTEILUNG VON:

Gemeinde Wiesendangen, JugendSolarProjekt, Enecolo AG,
BE Netz AG, Bundesamt für Energie

30. November 2006

Innovatives Solarprojekt in Wiesendangen

Vom 4. bis am 7. Dezember entsteht auf der Turn- und Schwimmhalle Gässli in Wiesendangen eine für die Schweiz neuartige Solarstromanlage. Die Installation ist das Resultat einer engen Zusammenarbeit verschiedener Institutionen: Aus Wiesendangen sind die Schulgemeinde und das Elektrizitätswerk beteiligt. Drei Schüler der Oberstufe werden zudem aktiv am Bau der Anlage mitwirken.

Zum ersten Mal wird in der Schweiz das neuartige Fotovoltaik-Dachsystem Biosol XXL installiert. Das System besteht aus speziellen Dünnschichtmodulen, sogenannten amorphen Triple-Junction Solarzellen. In der Schweiz wurden bis jetzt hauptsächlich kristalline Module, installiert. Den Einsatz der neuartigen Technologie hat die Enecolo AG aus Mönchaldorf vorgeschlagen. Peter Toggweiler, der Planungsverantwortliche: «Bei den hier eingesetzten Dünnschichtzellen ist der Materialaufwand tiefer als bei herkömmlichen Solarmodulen. Die Triple-Junction-Technologie verspricht zudem optimierte Erträge – auch bei schwacher Sonneneinstrahlung.»

Optimaler Ort für Leistungsvergleich

Am Potential dieser neuartigen Technologie ist das Bundesamt für Energie (BFE) interessiert. Deshalb unterstützt das BFE ein Messprogramm zur Datenauswertung. Auf dem Werkhof steht bereits eine «herkömmliche» Solarstromanlage. Wiesendangen ist deshalb bestens geeignet für einen Leistungsvergleich.

Die Firma BE Netz aus Luzern installiert und betreibt die Anlage. Sie verkauft während den ersten 15 Jahren auch den daraus gewonnenen Strom. Abnehmer ist das Elektrizitätswerk Wiesendangen, das seit fünf Jahren Solarstrom anbietet. Die Solarstromanlage deckt mit etwa 5000 kWh pro Jahr den Strombedarf eines Haushalts. Nach 15 Jahren wird die Anlage in den Besitz der Schulgemeinde Wiesendangen übergehen. Die voraussichtliche Lebensdauer der Anlage beträgt 25 Jahre.

Jugendliche bauen an ihrer Zukunft

Drei Jugendliche der Oberstufe werden im Rahmen des JugendSolarProjekts Greenpeace (JSP) mithelfen, die Anlage zu installieren. Seit 1998 installieren und bauen Jugendliche im JSP unterschiedliche Solaranlagen auf öffentlichen und sozialen Einrichtungen. Sie wollen so der Solarenergie in der Schweiz zum Durchbruch verhelfen. Die Anlage in Wiesendangen ist die 120. Anlage, an welcher das JSP mitwirkt.

Wollen Sie den Jugendlichen bei der Montage der Solaranlage über die Schulter schauen? Wir würden uns über einen Besuch freuen am Mittwoch 6. Dezember 06 an der Seelackerstr. 12 in Wiesendangen. Bitte melden Sie sich vorgängig an.

Kontakt:

- BE Netz AG, Adrian Kottmann, 041 410 40 70, www.benetz.ch
- Enecolo AG, Peter Toggweiler, 044 994 90 00, www.enecolo.ch
- Schulbehörde, Marcel Suhner, 052 262 50 24
- Oberstufe Wiesendangen, Lehrer Thomas Good, 078 649 60 13

Solaranlage Turnhalle Gässli, Wiesendangen

Technische und organisatorische Daten zur Medieninformation

Entwurf

Die geplante Solaranlage auf dem Dach der Turnhalle/Schwimmbad Gässli soll Solarstrom für das EW der Zivilgemeinde Wiesendangen produzieren. Die Firma BENETZ baut und betreibt die Anlage und verkauft den Solarstrom der Zivilgemeinde. Die Schulgemeinde stellt das Dach und einen kleinen Finanzbeitrag zur Verfügung. Als Gegenleistung können die Daten und Erfahrungen für den Schulunterricht genutzt werden und die Anlage geht nach 15 Jahren ins Eigentum der Schule über. Es wird mit einer Gebrauchsdauer von mindestens 25 Jahren gerechnet.

Die Solarmodule bilden ein neuartiges PV-Dachsystem auf der Basis von SOLRIF (www.solrif.ch). Die Biohaus in Deutschland und die Firma E.Schweizer Metallbau in Hedingen haben es vor einigen Monaten unter dem Namen Biosol XXL auf den Markt gebracht. Es sind grossflächige Dachelemente mit amorphen, Triple-Junction Solarzellen. Das einbaufertige Modul hat rund 1.9 m² Deckfläche. Damit können Dächer sehr schnell und effizient eingedeckt werden. Ein Datenblatt ist dem Anhang beigelegt.

Im vorliegenden Fall wird das Dach als Testanlage auf das bestehendes Eternitdach aufgesetzt. Letzteres wird damit zum Unterdach. Damit bestehen für die Dachdichtheit keine Risiken. Dies ist im vorliegenden Fall wichtig, weil die Dachneigung nur rund 10 Grad beträgt.

Das Biosol XXL von Biohaus ist als grossflächiges Dachelement neuartig und wurde in der Schweiz bisher nicht angewendet. Daher unterstützt das Bundesamt für Energie ein einfaches Messprogramm zur Datenerhebung und –auswertung. Der Ertragsvergleich mit einer konventionellen PV-Anlage mit kristallinen Siliziumsolarzellen ist einfach möglich: In Wiesendangen steht eine ähnlich gebaute PV-Anlage auf dem Werkhof zur Verfügung.

Die Planung und Auswertung erfolgt durch die Firma Enecolo AG (www.solarstrom.ch).

Technische Daten Anlage Turnhalle Gässli		
		Einheit, Bemerkungen
Modulfläche	82	m ²
Benötigte Dachfläche	82	m ²
DC-Nennleistung bei voller Sonne:	5,4	kWp
Durchschnittlicher Jahresertrag	5000	kWh/a
Kosten, Anlage betriebsbereit	55'000.-	CHF
Richtwert Stromgestehungskosten	0,80	CHF/kWh bei 4 % Zins und 25 Jahren Betrieb

Teilnehmer /Projektpartner/Akteure

Bauherr	Contractor / Schulgemeinde
Standort	Turnhalle und Schwimmhalle Gässli Seelackerstr. 12 8542 Wiesendangen
Stromabnehmer	Zivilgemeinde Wiesendangen Trottenstrasse 1 8542 Wiesendangen Zuständig: Herr J. Rechsteiner
Schulbehörde	Liegenschaftenvorstand: Herr Marcel Suhner Marcel.Suhner@sulzer.com
Schule/Lehrerschaft	Herrn Thomas Good Oberstufenlehrer Email: good305@bluewin.ch Natel: 078 649 60 13 Tel Schule: 052 337 36 51
Ausführung	BENETZ Herr A. Kottmann Bernstrasse 57a 6003 Luzern Tel 041 410 40 70
Projektbegleitung, Ausbildung, Medien	Greenpeace Schweiz Amadeus Thiemann JugendSolarProjekt Heinrichstr. 147 8005 Zürich Tel: 044 / 447 41 34 mailto:jusolar@ch.greenpeace.org www.jugendsolarprojekt.ch
Projektierung, Planung:	Enecolo AG Lindhofstrasse 52 8617 Mönchaltorf Tel.: 044 994 90 00 Fax: 044 994 90 05 peter.toggweiler@enecolo.ch philipp.frommenwiler@enecolo.ch www.solarstrom.ch