

Schlussbericht 21.10.2014

Funktions-Check Sonnenkollektoranlagen

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm XY
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

IWB, Margarethenstrasse 40, CH-4002 Basel
Ernst Schweizer AG, Metallbau, Bahnhofplatz 11, CH-8908 Hedingen
Steca Elektronik GmbH, Mammostrasse 1, 87700 Memmingen, Deutschland

Auftragnehmer:

Egon AG
General Wille-Str. 59
CH-8706 Feldmeilen
www.egonline.ch

Autoren:

Sandra Stettler, Egon AG, sandra.stettler@egonline.ch
Bruno Schläpfer, Ernst Schweizer AG, Metallbau
Olivier Villiger, Ernst Schweizer AG, Metallbau
Franz Koch, IWB
Roger Ruch, IWB
Thomas Schlegel, Meteotest
Werner Gut, Steca Elektronik GmbH

BFE-Bereichsleiter:	Andreas Eckmanns
BFE-Programmleiter:	Jean-Christophe Hadorn
BFE-Vertragsnummer:	SI/500830-01

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

Zusammenfassung

In diesem Pilotprojekt wurden 10 Solarthermie-Anlagen mit dem neu entwickelten Funktions-Check untersucht. Der Funktions-Check ist ein Web-Tool, das ein Monitoring der Solaranlage mit detaillierten Auswertungen anbietet. Der Funktions-Check unterstützt das Servicepersonal und professionelle Anlagenbetreiber bei der Inbetriebnahme und dem Betrieb von Solaranlagen. Dafür muss bei der Anlage nur ein Solarregler mit SD-Karte installiert sein. Die auf der SD-Karte gespeicherten Werte werden manuell ausgelesen und in den Funktions-Check importiert. Alle Messdaten, Wetterdaten vom Standort der Anlage, der Anlagenenertrag und über 90 berechnete Kennzahlen und Analysen der Messwerte können anschliessend auf dem Webportal des Funktions-Checks angeschaut werden. Die Auswertung der 10 Testanlagen hat ergeben, dass der Funktions-Check Fehler im Anlagenverhalten zuverlässig erkennt. Bei fünf Anlagen wurde ein Fehlverhalten detektiert. Die Ertragseinbusse liegt bei bis zu 40%. Bei 7 Anlagen stellte der Check ausserdem fest, dass die Messung nicht korrekt funktionierte. In Zukunft sollen die Messwerte automatisch an den Funktions-Check übermittelt werden und so ein permanentes Monitoring erlauben. Der Funktions-Check wird jetzt kommerziell angeboten und überwacht bereits knapp 60 Anlagen.

Résumé

Dans ce projet, 10 systèmes solaires thermiques ont été analysés avec le nouveau « test de fonctionnalité » objet d'analyse de ce projet P+D. Ce « test » comporte des mesures et un portail web qui permet la surveillance du fonctionnement des installations solaires en analysant en détail un ensemble de données mesurées. Le « test de fonctionnalité » est une aide pour les fournisseurs et les exploitants d'une installation solaire thermique. Il facilite la mise en service et la bonne marche d'une installation domestique. Pour mettre en oeuvre le « test de fonctionnalité », il suffit que l'installation soit équipée d'un régulateur solaire avec une carte SD qui puisse mémoriser toutes les données nécessaires. Ces données sont ensuite téléchargées vers le site web du portail, pour le moment manuellement pour simplifier et réduire les coûts. Dans le portail web sont présentées les grandeurs mesurées, des indicateurs de rendement énergétique, ainsi que des données d'irradiation solaire. Au total plus de 90 nombres caractéristiques sont gérés. L'évaluation de 10 installations existantes a révélé que le « test de fonctionnalité » peut détecter tout problème de fonctionnement a posteriori à tout le moins. 5 systèmes ont souffert de dysfonctionnements qui ont réduit le rendement annuel de 40% sans intervention. De plus, le « test de fonctionnalité » a détecté que la mesure ne fonctionnait pas correctement dans 7 systèmes. A l'avenir, une solution hardware devra transmettre les données automatiquement dans le portail à des coûts supportables pour permettre une réparation dès détection d'un problème. Le « test de fonctionnalité » est maintenant disponible commercialement. Il supervise déjà près de 60 systèmes solaires thermiques.

Abstract

In this project, 10 solar thermal systems were analysed with the newly developed “functional check”. This web-based tool monitors solar thermal systems and offers detailed analyses of the operating data. The “functional check” supports service staff and professional system operators during the setting-up and the yearly operation of a solar thermal system. The only prerequisite to start with the monitoring service is a solar controller with an SD card that stores the operating data. These data are uploaded manually into the web-tool of the “functional check”. All operating data and the measured yield are visualized in the “functional check”, together with irradiation and temperature data from nearby meteorological stations and with more than 90 calculated characteristic numbers and error analyses. The evaluation of the 10 systems showed that the “check” works reliably. In 5 systems it detected system failures with energy losses of up to 40% per year. In addition, it realized that in 7 systems the measurement did not work properly. In future, the measurement values will be transferred daily and automated to the “functional check” to allow a permanent monitoring. The “functional check” is now offered for sale to solar companies. Till this date almost 60 solar systems are monitored.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé.....	3
Abstract.....	3
Inhaltsverzeichnis	4
Ausgangslage	6
Projektteam	6
Arbeitsaufteilung.....	6
Ziel der Arbeit.....	6
Umfang des Projekts	7
Vorgehen / Methode	7
1. Erstellung des Konzepts und der Use-Cases.....	7
2. Auswahl und Ausrüstung von 10 Testanlagen	8
3. Entwicklung Alpha-Version des Funktions-Checks	9
4. Debugging und Optimierung des Funktions-Checks	9
5. Schlussergebnisse der Testanlagen	9
Publikationen und Bekanntmachung des Funktions-Checks	9
Ergebnisse / Erkenntnisse zum Funktions-Check	10
Eingesetzte Hardware	10
Kenndaten im Funktions-Check erfassen	11
Manueller Datenimport von SD Karte.....	13
Plausibilitäts- und Vollständigkeits-Check	13
Berechnung Referenzertrag	14
Algorithmen zur Funktions-Prüfung	17
Resultate Testanlagen	26
Resultate der Anlage „Frob“	26
Resultate der Anlage „Hard“	26
Resultate der Anlage „Hirz“	27
Resultate der Anlage „Hole“	27
Resultate der Anlage „Käfe“	28
Resultate der Anlage „ObMü“	28
Resultate der Anlage „PeRo“	29
Resultate der Anlage „Pump“	29
Resultate der Anlage „Rose“	30
Resultate der Anlage „Solo“	30
Diskussion / Würdigung der Ergebnisse / Erkenntnisse	31
Eingesetzte Hardware	31
Kenndaten im Funktions-Check erfassen	31
Manueller Datenimport von SD Karte.....	32
Plausibilitäts- und Vollständigkeits-Check	32
Berechnung Referenzertrag	32
Algorithmen zur Funktions-Prüfung	33
Resultate Testanlagen	33
Schlussfolgerungen, Ausblick, nächste Schritte	35
Ausblick	36
Referenzen	37
Anhang.....	38
1. Print Screens Funktions-Check	38
2. Anlage „Frob“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen	49
3. Anlage „Hard“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen	51
4. Anlage „Hirz“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen	54
5. Anlage „Hole“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen	56
6. Anlage „Käfe“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen	61

7. Anlage „ObMü“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen	65
8. Anlage „PeRo“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen	70
9. Anlage „Pump“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen	76
10. Anlage „Rose“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen	79

Ausgangslage

Mehrere Feldstudien [1] in der Schweiz haben gezeigt, dass ein grosser Teil der Sonnenkollektoranlagen nicht korrekt funktioniert und somit nicht den erwarteten Ertrag bringt. Während sich bei Photovoltaik-Anlagen die Fernüberwachung und Ertragskontrolle etabliert hat, sind diese bei Sonnenkollektoranlagen aber immer noch eine Seltenheit. Dies liegt einerseits daran, dass Sonnenkollektoranlagen komplexer sind und die Funktions-Analyse somit aufwendiger ist. Andererseits liegt es daran, dass die meisten Sonnenkollektoranlagen Kleinstanlagen sind, bei denen eine sehr hohe Preissensibilität herrscht.

Im Ausland bestehen Forschungsprojekte, welche komplexe Algorithmen zur Funktionskontrolle von Sonnenkollektoranlagen entwickeln. So z.B. das Projekt „Langzeitüberwachung und Fehlerdetektion“ unter der Leitung von Prof. Klaus Vajen an der Universität Kassel [2]. Zur Zeit bemühen sich verschiedene Reglerhersteller darum, den Ertrag der Sonnenkollektoranlage gegenüber dem Endkunden zu visualisieren, z.B. mit spezieller Software oder mit Webportalen. Diese Software ist hauptsächlich als Marketing-Instrument gegenüber dem Endkunden zu verstehen.

Mit dem Funktions-Check soll ein Analyse-Tool für Anbieter und Installateure von Sonnenkollektorsystemen entwickelt und getestet werden. Er soll es ermöglichen, Sonnenkollektoranlagen schneller und kostengünstiger in Betrieb zu nehmen und deren Funktion zu überprüfen. Damit soll der Funktions-Check neue Service-Möglichkeiten für System-Anbieter und Installateure eröffnen. Dank der Fern-Diagnose über das Webportal kann der Service für Sonnenkollektoranlagen nun häufiger und gleichzeitig kostengünstiger angeboten werden. Dies eröffnet neue Service-Möglichkeiten auch für Sonnenkollektoranlagen mittlerer und kleinerer Grösse.

Projektteam

Das Projektteam besteht aus folgenden 5 Firmen mit langjähriger Erfahrung als Solaranlagen-Eigentümer und Betreiber, Servicepersonal, Verkäufer von Solarsystemen, Webprogrammierer und Hersteller von Solarkollektoren und Solarreglern:

- Egon AG
- Ernst Schweizer AG, Metallbau
- Industrielle Werke Basel
- Meteotest
- Steca Elektronik GmbH

Arbeitsaufteilung

Das Webportal für den Funktions-Check wird von Egon AG, mit Unterstützung durch Meteotest entwickelt. Die für das Webportal benötigten Funktionen, insbesondere die Anforderungen an die Funktions-Analysen werden von Mitarbeitern von Ernst Schweizer AG definiert. Diese testen den Funktions-Check anschliessend auch. Die Industriellen Werke Basel stellen 10 Testanlagen zur Verfügung. Steca Elektronik GmbH liefert für die 10 Testanlagen geeignete Solarregler, Durchflusssensoren und Temperaturfühler.

Ziel der Arbeit

Mit dem Pilotprojekt soll demonstriert werden, dass der Funktions-Check für den Anwender (Industrielle Werke Basel) sowie für die Industrie (Reglerhersteller Steca Elektronik GmbH und Systemlieferant Ernst Schweizer AG, Metallbau) funktioniert. Nach Abschluss des Projekts soll der Funktions-Check marktreif sein und Solaranlagenbetreibern in der Schweiz angeboten werden.

Das Projektteam verfolgt mit dem Funktions-Check folgende Ziele:

- Sicherstellen, dass die Solaranlagen optimal funktionieren
- Service und Problembehebung von Solaranlagen unterstützen
- Den erfolgreichen Betrieb von Solaranlagen kommunizieren und visualisieren

Umfang des Projekts

Der Funktions-Check wird als Webportal realisiert, welches alle wichtigen Funktionen von Solarthermie-Anlagen überprüft. Der Anlagenbetreiber benötigt lediglich einen Solarregler, welcher die Messdaten der Solaranlage intern speichern kann. Die meisten Reglerhersteller bieten Regler an, welche alle relevanten Systemdaten messen und z.B. in 1-Minuten Intervallen intern speichern können. Diese Messdaten, wie z.B. Kollektor- und Speichertemperaturen, Pumpenlaufzeiten etc. werden periodisch auf das Webportal des Funktions-Checks hochgeladen. Das Webportal visualisiert die erzeugte Energiemenge und alle anderen Messdaten. Für das Servicepersonal erstellt der Funktions-Check ausserdem detaillierte Analysen vom Solarkreislauf, den Speichertemperaturen, den Stagnationszuständen und der Pumpenlaufzeit sowie von Durchfluss und Energieertrag. Mit Daten der Solarstrahlung und der Aussentemperatur aus nahegelegenen Meteo-Stationen wird ausserdem ein Referenzertrag berechnet. Diese Informationen vereinfachen die Inbetriebnahme, Optimierung und Problembehebung der Anlagen.

Der Funktions-Check wird in diesem Projekt an 10 bestehenden Solaranlagen getestet. Diese werden mit einem geeigneten Solarregler nachgerüstet. Während mindestens 6 Monaten zeichnen diese Regler in 1-Minuten Intervallen alle Messwerte der Anlage auf. Diese Messwerte werden danach in den Funktions-Check übertragen und dort analysiert.

Vorgehen / Methode

Entwicklung, Test und Demonstration des Funktions-Checks erfolgte in fünf Schritten:

1. Erstellung des Konzepts und der Use-Cases für den Funktions-Check
2. Auswahl und Ausrüstung von 10 Testanlagen
3. Entwicklung einer Alpha-Version des Funktions-Checks
4. Debugging und Optimierung des Funktions-Checks anhand der Messdaten der Testanlagen
5. Schlusserwertung der Testanlagen

Diese fünf Schritte sind im Folgenden detaillierter beschrieben:

1. Erstellung des Konzepts und der Use-Cases

Der Umfang und die Funktionen des Funktions-Checks wurden vom Projekt-Team detailliert festgelegt. Je nach Nutzergruppe sind unterschiedliche Funktionen notwendig und sinnvoll. Aus diesem Grund besteht der Funktions-Check aus drei verschiedenen Nutzerebenen: Endkunden, Servicepersonal und Administratoren stehen jeweils unterschiedliche Funktionen zur Verfügung.

Endkunden-Ebene für versierte Anlagenbesitzer / Hauswarte

- Import der Messdaten
- Ausgewählte Ansichten der Messdaten und Analysen

Service-Ebene für technische Mitarbeiter und Installateure (= Servicepartner)

- Erfassen von neuen Anlagen und Ändern bestehender Anlagen
- Import der Messdaten
- Detailansichten der Messdaten und Analysen
- Erstellen von Jahresreports für die Kunden
- Vergabe von Logins für die Endkunden

Administrator-Ebene

- Ändern der grundlegenden Parameter und Funktionen des Portals
- Definition der erlaubten Solarkollektoren und Solarregler
- Vergabe von Lizenzen (Logins) und Berechtigungen für Installateure

Im Konzept wurde auch definiert, dass der Funktions-Check zuerst nur die Grundfunktionen des Solarkreises überprüft sowie nur für einfache Anlagen mit genau einem Speicher und einem Kollektor umgesetzt wird (s. Abb. 1-1 im Anhang). Weitere Anlagenschemas, z.B. Anlagen mit zwei Speichern, Zonenbeladung, externem Wärmetauscher oder Schwimmbad werden später hinzugefügt.

2. Auswahl und Ausrüstung von 10 Testanlagen

Die 10 Testanlagen wurden von Mitarbeitern bei IWB ausgewählt. Alle 10 Anlagen sind Teil eines Heizsystems, das von IWB im Contracting betrieben wird. Haupt-Auswahlkriterien für die 10 Testanlagen waren:

- einfache Zugänglichkeit der Anlage für Umbauten, Kontrollgänge etc.
- unterschiedliche Hersteller / Kollektortypen
- hohe Variabilität in der Anlagengrösse (Kollektorfläche)
- grosse Bandbreite im Alter der Anlagen

Alle 10 Testanlagen wurden vom Projektteam besichtigt und anschliessend durch einen lokalen Installateur (LWS Wärmeservice GmbH) mit der notwendigen Hardware nachgerüstet:

- Vorlauftemperaturfühler
- Rücklauftemperaturfühler
- Durchflusszähler
- Solarregler mit SD Karte

Die Hardwarekomponenten wurden von Steca Elektronik GmbH zur Verfügung gestellt. Ursprünglich war geplant, bei allen Testanlagen einen Solarregler von Steca einzubauen. Bei der Besichtigung stellte sich aber heraus, dass einige Anlagen bereits über einen Solarregler mit SD Karte von einem anderen Hersteller ausgerüstet waren. Es wurde deshalb beschlossen, in diesen Fällen den bestehenden Solarregler zu nutzen und den Funktions-Check so flexibel zu entwickeln, dass er die Messdaten aller vorhandenen Solarregler importieren kann, nicht nur Messdaten von Steca-Reglern. Die untenstehende Tabelle gibt einen Überblick über die 10 Testanlagen und die eingebauten Solarregler.

Tab. 1: Kenndaten der Testanlagen

Anlage	Baujahr	Aperturfläche	Kollektor	Solarregler
Frob	2011	23 m ²	Flachkollektor Viessmann Vitosol 200 F SV2/8H2	Steca Elektronik GmbH TR 0503 TTR
Hard	2012	37 m ²	Flachkollektor Viessmann Vitosol 200 F SV2A	Viessmann Vitosolic 200
Hirz	2012	12 m ²	Flachkollektor Viessmann Vitosol 200F SH2A	Steca Elektronik GmbH TR 0503 TTR,
Hole	2004	7 m ²	Flachkollektor Soltop Cobra SA2H	Steca Elektronik GmbH TR 0503 TTR
Käfe	2013	4 m ²	Flachkollektor Soltop Cobra Evo 2.3V	Soltop SR4
ObMü	2012	20 m ²	Vakuum-Röhrenkollektoren Consolar Tubo 12 CI	Steca Elektronik GmbH TR 0503 TTR
PeRo	2012	8 m ²	Vakuum-Röhrenkollektoren Consolar Tubo 12 CI	Steca Elektronik GmbH TR 0503 TTR
Pump	2013	32 m ²	Flachkollektor Soltop Cobra Evo 2.8H	Soltop SR4
Rose	2007	12 m ²	Flachkollektor Elco Solatron A2.3	Steca Elektronik GmbH TR 0603mc
Solo	2004	18 m ²	Flachkollektor Ernst Schweizer AG FK-H4	Steca Elektronik GmbH TR 0503 TTR

3. Entwicklung Alpha-Version des Funktions-Checks

Der Funktions-Check wurde gemäss dem Konzept umgesetzt und steht auf der Homepage <http://satherm.ch> zur Verfügung. Auf der Einstiegsseite finden sich die Login-Informationen zu zwei Demo-Anlagen. Nach dem Login ist es damit möglich, alle Funktionen des Funktions-Checks auf der Ebene Servicepartner zu testen. In Anhang 1 zeigen verschiedene PrintScreens in Abb. 1-2 bis 1-16 die wichtigsten Seiten des Funktions-Check Webportals.

4. Debugging und Optimierung des Funktions-Checks

Nach Entwicklung der Alpha-Version wurden zuerst bei 5 Testanlagen die Messdaten ausgelesen und in den Funktions-Check importiert. Dabei zeigte sich, dass einige der Testanlagen nicht optimal funktionieren. Aufgrund dieser Analyse wurden die Anlagenprobleme im Frühling 2014 bei einer Begehung vor Ort verifiziert und soweit möglich behoben. (Detaillierte Beschreibung siehe Kapitel „Ergebnisse“). Ursprünglich war geplant, bei den Anlagen gezielt Fehler zu simulieren. Darauf wurde verzichtet. Stattdessen wurden die bestehenden Anlagenprobleme behoben, und anschliessend die Analysere-sultate vor und nach Behebung des Anlagenproblems verglichen.

Da bereits die Alpha-Version des Funktions-Checks sehr gut funktionierte, importierte Ernst Schweizer AG zusätzlich zu den Testanlagen auch Messdaten von über 20 eigenen Solaranlagen. Teilweise mit Datensätzen von mehreren Jahren. Verschiedene Privatpersonen und weitere Solarfirmen stellten ebenfalls Datensätze zur Verfügung, um den Funktions-Check zu überprüfen und zu optimieren. Insgesamt wurden bis Ende September 2014 56 Solaranlagen in den Funktions-Check integriert. Der Funktions-Check analysierte bei diesen Anlagen total 40 Betriebsjahre mit Messdaten.

Als besonders wertvoll für das Debugging erwiesen sich verschiedene Anlagen von Ernst Schweizer AG, welche ein bekanntes Verhalten aufweisen. Die Mitarbeiter von Ernst Schweizer AG konnten deshalb sehr genaues Feedback geben, ob die Analysen des Funktions-Checks korrekt und zuverlässig arbeiten. In mehreren Feedback-Runden wurden so die Algorithmen des Funktions-Checks erweitert, ergänzt und optimiert.

5. Schlussauswertung der Testanlagen

Zum Abschluss des Projekts wurden die Messdaten aller 10 Testanlagen von IWB in den Funktions-Check eingelesen und analysiert.

Publikationen und Bekanntmachung des Funktions-Checks

Der Funktions-Check wurde der Branche an verschiedenen Veranstaltungen vorgestellt. So z.B.:

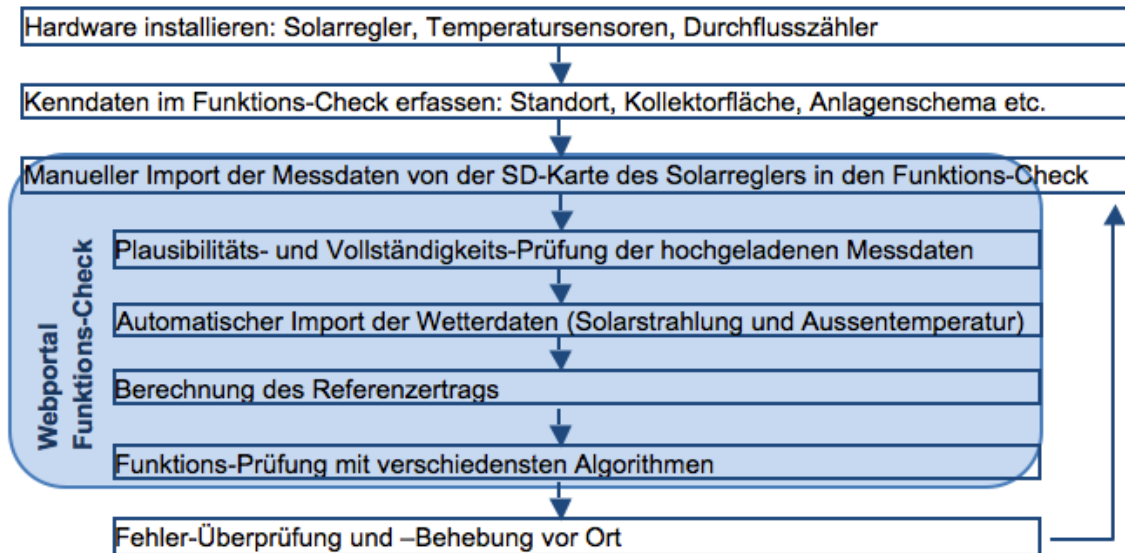
- Poster an der CISBAT 2013
- Poster an der SHC 2013 (International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry)
- Poster am 24. OTTI Symposium Thermische Solarenergie in Staffelstein.

Mehreren Firmen und Institutionen aus der Solarbranche wurde der Funktions-Check ausserdem in einem persönlichen Meeting präsentiert. So z.B.:

- Alteno AG
- CPV/CAP Pensionskasse Coop
- Helvetic Energy
- Hoval
- Office cantonal de l'énergie (OCEN) Genève
- Soltop

Ergebnisse / Erkenntnisse zum Funktions-Check

Wird bei einer Solaranlage ein Monitoring mit dem Funktions-Check durchgeführt, läuft dies immer nach den folgenden Schritten ab:



Die Ergebnisse und Erkenntnisse zur Durchführung des Funktions-Checks in der Praxis werden in der Reihenfolge dieser Schritte diskutiert. D.h.:

- Wie hat sich die eingesetzte Hardware bewährt?
- Wie einfach bedienbar ist das Erfassen der Kenndaten im Webportal?
- Wie aufwendig und geeignet ist der manuelle Datenimport von der SD Karte?
- Wie gut funktioniert der Plausibilitäts- und Vollständigkeits-Check der Messdaten?
- Wie zuverlässig ist der berechnete Referenzertrag?
- Welche Algorithmen zur Funktions-Prüfung wurden schlussendlich implementiert und wie aussagekräftig sind diese?

Eingesetzte Hardware

In diesem Pilotprojekt wurde absichtlich auf die automatisierte Datenübertragung von der Anlage zum Webportal verzichtet, um die Installations- und Hardwarekosten möglichst tief zu halten. Ziel war es, mit der vorhandenen Hardware und den vorhandenen Messdaten auf dem Solarregler zu arbeiten. Bei der Firma Ernst Schweizer AG werden schon seit mehreren Jahren nur noch Solarregler mit SD Karte eingesetzt. Bei allen Anlagen werden von Beginn weg ein Durchflusszähler sowie Vor- und Rücklauf-Temperatursensoren installiert. Somit sind bei (praktisch) allen Solaranlagen in der Schweiz, die Ernst Schweizer AG geliefert hat, alle notwendigen Hardware-Komponenten bereits vorhanden. Im Verlauf dieses Pilotprojekts hat Ernst Schweizer AG Messdaten von 37 Solaranlagen ihrer Kunden mit dem Funktions-Check analysiert. Bei keiner Anlage war es notwendig, neue Hardware zu installieren. Anders präsentierte sich die Situation bei den 10 Testanlagen von IWB. Die von IWB im Contracting betreuten Anlagen stammen von unterschiedlichen Lieferanten und Installateuren. Da IWB bisher kein Monitoring-Konzept für ihre Solaranlage hatte, wurden bei der Installation keine Anforderungen bezüglich Monitoring-geeignetem Datenlogger, Durchflusszähler oder Vor- und Rücklauftemperatur-Sensoren gestellt. Bei allen 10 Testanlagen war zuerst eine Begehung notwendig, um herauszufinden, welche Solarregler installiert waren und welche Hardwarekomponenten noch benötigt werden. Die Situation präsentierte sich wie folgt:

- Bei drei Anlagen war bereits ein Solarregler mit SD-Karte vorhanden. Bei sieben Anlagen musste der Solarregler ersetzt werden. Bei diesen sieben Anlagen wurde neu ein Regler von Steca Elektronik GmbH eingebaut, auch wenn vorher ein Regler von einem anderen Hersteller installiert war.
- Bei keiner Anlage war ein Durchflusszähler vorhanden. Da für IWB der Anlagenenertrag eine

sehr wichtige Grösse ist, und der Anlagenenertrag nur mit einer korrekten Volumenangabe genau ermittelt werden kann, wurde bei allen Testanlagen ein Durchflusszähler eingebaut. Dies bedeutete einen relativ hohen Installationsaufwand, da dafür der Solarkreislauf geleert werden muss. Bei der ersten Überprüfung der Messdaten einige Monate nach der Installation stellte sich heraus, dass bei zwei der Testanlagen die gemessenen Durchflusswerte nicht korrekt waren. Es wurde permanent (auch nachts bei ausgeschalteter Anlage) ein Offset von 5 Liter/Minute gemessen. (Siehe Abb. 7-2 und Abb. 10-2). Der Grund dafür lag darin, dass die Durchflusszähler bei der Montage nicht geerdet worden waren, da dieser Hinweis in der Installationsanleitung fehlte. Bei den zwei Anlagen war deshalb nochmals ein Besuch des Installateurs notwendig, um dieses Problem zu beheben.

- Bei keiner Anlage war ein Vorlauftemperaturfühler, und nur bei einer Anlage ein Rücklauftemperaturfühler vorhanden. Um die Nachrüstung einfach zu gestalten, wurden die Vor- und Rücklauftemperatursensoren aussen an das Vor-, bzw. Rücklaufrohr montiert. Dabei stellte sich allerdings das Problem, dass die von Steca Elektronik GmbH standardmässig gelieferten Temperatursensoren Tauchfühler sind und nicht Oberflächenfühler. Bei der Installation wurde Aluminiumfolie um die Tauchfühler und das Rohr gewickelt, um trotzdem eine gute Wärmeübertragung zu gewährleisten. Trotzdem wurde bei der Überprüfung der Messdaten bei mehreren Anlagen festgestellt, dass die Wärmeübertragung ungenügend war. Bei diesen Anlagen musste die Positionierung der Vor- und Rücklauffühler vom Installateur korrigiert werden. Werden die Vor- und Rücklaufsensoren bereits beim Bau der Anlage installiert, können sie problemlos als Tauchfühler im Rohr installiert werden. Das Problem der Wärmeübertragung stellt sich damit nicht. Bei einer Testanlage vertauschte der Installateur den Vor- und den Rücklaufsensoren. Dies wurde bei der Auswertung der Messdaten erkannt. Es war nicht nötig, die Sensoren vor Ort zu tauschen. Es genügte im Webportal des Funktions-Checks die Zuordnung von Vor- und Rücklauf zu ändern.

Die oben genannten Schwierigkeiten beim Einbau der Hardware-Komponenten führen dazu, dass der Aufwand für die Installation bei den Testanlagen deutlich höher war als ursprünglich angenommen und auch deutlich mehr Zeit und häufigere vor Ort Besuche benötigte als geplant.

Kenndaten im Funktions-Check erfassen

Bevor eine Anlage im Funktions-Check analysiert werden kann, muss diese zuerst definiert werden, d.h. Anlagenstandort- und -Eigenschaften müssen einmalig hinterlegt werden. In der untenstehenden Tabelle 2 sind alle Parameter beschrieben, die bei der Anlagendefinition obligatorisch eingegeben werden müssen

Daraus wird ersichtlich, dass sehr viele detaillierte Angaben zur Anlage benötigt werden. Die Erfassung dieser Angaben kann somit nicht durch den Endkunden erfolgen, sondern muss vom Installateur oder Servicepartner durchgeführt werden. Für einige Angaben wie z.B. „Typ Solarkollektor“ wird ausserdem vorausgesetzt, dass dieser Solarkollektor im Funktions-Check bereits mit allen seinen Eigenschaften hinterlegt ist. Das war bei den Anlagen von Ernst Schweizer AG kein Problem, da Ernst Schweizer AG immer dieselben zwei Kollektortypen einsetzt. Diese zwei Kollektortypen wurden im Funktions-Check hinterlegt. Danach konnten die Mitarbeiter von Ernst Schweizer AG beim Erfassen einer Anlage einfach den jeweiligen Kollektor auswählen. Für die verschiedenen Anlagenparameter (z.B. Einschalt- und Ausschalt Differenz und maximale Speichertemperatur) verwendet Ernst Schweizer AG immer dieselben Einstellungen. Auch die weiteren Angaben wie z.B. Ausrichtung und Neigung des Kollektors, Nenn-Volumenstrom Kollektorkreis etc. sind typischerweise bekannt, da die Anlagen von Ernst Schweizer AG in Betrieb genommen wurden und damit ein Inbetriebnahmeprotokoll besteht. Schwieriger war die Anlagendefinition hingegen bei den 10 Testanlagen von IWB. Die Kollektoren dieser Anlagen sind von verschiedensten Herstellern und aufgrund des Alters der Anlagen teilweise schon seit mehreren Jahren nicht mehr im Handel erhältlich. Bevor die Anlagen im Funktions-Check definiert werden konnten, mussten zuerst von allen Kollektortypen Datenblätter organisiert werden. Auch die weiteren Angaben wie z.B. Nenn-Volumenstrom oder eingestellte Reglerparameter waren meistens nicht bekannt. Hier wurden im Funktions-Check zuerst für alle Anlagen Standardwerte hinterlegt. Nach der ersten Funktions-Analyse konnte dann anhand der berechneten Kenndaten (z.B. maximale gemessene Speichertemperatur) herausgefunden werden, ob die eingegebenen Werte

plausibel waren oder angepasst werden mussten. Bei allen Anlagen wurde anschliessend die Anlagendefinition anhand der gemessenen Werte korrigiert.

Tab. 2: Notwendige Parameter für die Anlagendefinition

Parameter	Erläuterung
Name der Anlage	Wird benötigt, um die verschiedenen Anlagen zu identifizieren
Adresse, PLZ und Ort	Wird benötigt, um die Wetterdaten (Aussentemperatur und Einstrahlung) am Anlagenstandort zu bestimmen
Höhe über Meer	Wird zusätzlich zum Standort benötigt, um die Aussentemperatur zu bestimmen
Ausrichtung Kollektorfeld	Wird benötigt, um die Einstrahlung auf die Kollektorebene zu berechnen
Neigung Kollektorfeld	Wird benötigt, um die Einstrahlung auf die Kollektorebene zu berechnen
Installationsdatum	Allgemeine Information
Typ Solarkollektor	z.B. FK-H4 Ernst Schweizer AG für jeden Kollektor sind die wichtigsten Kenngrössen wie z.B. Aperturfläche, Wirkungsgrad, a_1 , a_2 etc. hinterlegt. Diese werden genutzt, um den Referenzertrag zu berechnen
Anzahl Kollektoren	Aus der Anzahl Kollektoren und der Aperturfläche eines Kollektors wird die gesamte Aperturfläche der Anlage berechnet. Diese wird für die Berechnung des Referenzertrags genutzt.
Typ Solarregler	z.B. TR 0503 TTR Steca Elektronik GmbH Für jeden Solarregler sind im Funktions-Check die zugehörigen Anlagenschemas hinterlegt, sowie Informationen zum Format der Messdaten. Dies ist nötig, um die Messdaten korrekt einlesen zu können.
Anlagenschema	Viele Funktions-Analysen sind abhängig vom Anlagenschema. Bisher wurde die Funktions-Analyse nur für das einfachste Anlagenschema umgesetzt.
Nenn-Volumenstrom Kollektorkreis	Damit wird geprüft, ob der gemessene Volumenstrom plausibel ist.
Maximale Temperatur Kollektor	Wird für verschiedene Funktions-Analysen, z.B. zur Stagnation und Pumpenlaufzeit benötigt.
Wieder-Einschalttemperatur nach Stagnation	Wird hauptsächlich für die Berechnung des Referenzertrags benötigt.
Einschaltdifferenz Solarkreis	Wird hauptsächlich für die Berechnung des Referenzertrags benötigt.
Ausschaltdifferenz Solarkreis	Wird hauptsächlich für die Berechnung des Referenzertrags benötigt.
Maximale Temperatur Speicher unten	Wird für verschiedene Funktions-Analysen, z.B. zur Stagnation und Pumpenlaufzeit benötigt.
Sommerzeit-Umschaltung	Um die Wetterdaten und die Messdaten zeitlich aufeinander abzustimmen, muss bekannt sein, ob die Messdaten im Sommerzeit oder in Winterzeit gespeichert werden und ob eine Sommerzeit-Umschaltung stattfindet.
Stagnationsreduzierung	Ist eine Stagnationsreduzierung aktiv, müssen verschiedene Funktions-Analysen zur Stagnation und Pumpenlaufzeit angepasst werden.
Minimale Speichertemperatur für Nachrückkühlung	Falls die Funktions-Analyse bei der Anlage in der Nacht eine Zirkulation detektiert, wird diese Information benötigt, um zu entscheiden, ob es sich um ein Fehlverhalten handelt oder nicht.
Zuordnung der Sensoren	Es muss angegeben werden, welche Sensoren an welchem Reglereingang angeschlossen sind (z.B. Kollektortemperatur an Eingang T1) . Nur so ist später ein korrektes Einlesen und Interpretieren der Messdaten möglich.

Manueller Datenimport von SD Karte

Die Messdaten aller Sensoren, Pumpen, Zähler etc. werden einmal pro Minute auf der SD-Karte im Solarregler gespeichert. Diese SD-Karte muss periodisch vor Ort abgeholt werden, um anschliessend manuell über einen PC die Messdaten in den Funktions-Check zu importieren.

Bei Ernst Schweizer AG werden bisher hauptsächlich Messdaten von Anlagen analysiert, bei denen der Anlagenbesitzer dies ausdrücklich wünscht. Dazu holt der Anlagenbesitzer selbst die SD-Karte aus dem Regler, lädt die Messdaten auf seinen PC und versendet sie per Email an Ernst Schweizer AG. Das Servicepersonal von Ernst Schweizer AG lädt die Daten dann in das Webportal mit dem Funktions-Check hoch. Nach Angaben von Ernst Schweizer AG funktioniert dieses Vorgehen sehr gut. Für die Zukunft ist angedacht, möglichst allen Kunden ein Monitoring anzubieten. Dazu müssten alle Kunden einmal pro Jahr ihre SD-Karte auslesen und die Daten an Ernst Schweizer AG senden. Ob und wie dies mit geringem Aufwand möglich wäre, ist noch unbekannt.

Bei den 10 Testanlagen von IWB hingegen zeigten sich bei der Datenauslesung einige Probleme. 8 der 10 Testanlagen befinden sich in Gebäuden (meist Mehrfamilienhäusern) ohne Zuständigen vor Ort. Für die Datenauslesung ist es deshalb nötig, dass ein Mitarbeiter von IWB zur Anlage hinreist, die SD-Karte mitnimmt, im Büro die Daten ausliest und anschliessend wieder zur Anlage reist, um die SD-Karte zurück zu bringen. Je nach Anlage muss vorher mit dem Hausbesitzer ein Termin vereinbart werden, oder ein Schlüssel für den Zugang organisiert werden. Das Auslesen der Daten von der SD-Karte ist somit mit erheblichem Zeitaufwand verbunden. Aus diesem Grund wurden auch erst gegen Ende des Pilotprojekts von allen Testanlagen die SD-Karten ausgelesen. In Zukunft könnte dies optimiert werden, indem die Messdaten mit einem Laptop vor Ort ausgelesen werden.

Weiter zeigte sich, dass nicht alle Solarregler dieselben SD-Karten nutzen und dass die SD-Karten nicht bei allen Reglern mit derselben Seite nach oben in den Regler geschoben werden. Bei zwei Anlagen wurde die SD-Karte zuerst bzw. nach einer Auslesung nicht mehr korrekt zurück in den Regler geschoben. Somit konnte der Regler keine Messdaten mehr auf der SD-Karte loggen. Festgestellt wurde dieses Problem erst bei der nächsten Auslesung, als auf der SD-Karte keine Messdaten vorhanden waren.

Plausibilitäts- und Vollständigkeits-Check

Nach dem Datenupload prüft der Funktions-Check automatisch, ob die hochgeladenen Datensätze komplett sind und ob die Messwerte in einem plausiblen Bereich liegen. Als „nicht plausibel“ werden z.B. Speichertemperaturen über 100°C oder unter 0°C eingestuft, oder Pumpenlaufzeiten von mehr als 100% oder weniger als 0%.

In einer ersten Version des Funktions-Checks wurde ein Tag als „unvollständig“ eingestuft, sobald ein einzelner Messwert fehlte, d.h. sobald für eine Minute keine Messwerte geloggt worden waren. Dies führte bei verschiedensten Anlagen dazu, dass praktisch jeder Tag als „unvollständig“ eingestuft wurde. Besonders um Mitternacht fehlten bei einem grossen Teil der Testanlagen oft einzelne Minutenwerte. Als „unvollständig“ werden nun Tage eingestuft, an denen mehr als 5% der Messwerte fehlen. Bei den Anlagen von Ernst Schweizer AG wurden danach praktisch nur noch an denjenigen Tagen unvollständige Datensätze entdeckt, an denen die SD-Karte ausgelesen wurde. Dies ist plausibel, da die SD-Karte aufgrund der Auslesung für kurze Zeit nicht im Regler vorhanden war.

Bei den 10 Testanlagen von IWB ergab der Vollständigkeits-Check folgende Resultate:

- Bei einer Anlage sind 99% der Messdaten vollständig. Bei dieser Anlage wurde die SD-Karte nur am Ende des Projekts ausgelesen.
- Bei fünf Anlagen sind zwischen 84% und 95% der Daten vollständig. Bei allen diesen Anlagen wurde die SD-Karte mehrfach ausgelesen. Es entstanden teilweise mehrwöchige Datenlücken zwischen dem Abholen und dem wieder Zurückbringen der SD-Karte (siehe z.B. Abb. 5-1).
- Bei vier Anlagen sind deutlich weniger Daten vorhanden (77%, 61%, 46% und 15%). Dies liegt bei zwei Anlagen daran, dass die SD-Karte nicht wieder richtig eingeschoben wurde und somit nicht loggen konnte (siehe z.B. Abb. 6-1). Bei den anderen zwei Anlagen tritt das Pro-

blem auf, dass der Regler alle paar Tage oder sogar während einem grossen Teil der Zeit keine Messdaten loggt. Es handelt sich dabei um einen Viessmann- und einen Soltop-Regler. Die vorhandenen Messdaten deuten darauf hin, dass der Regler (und somit die Anlage) permanent in Betrieb ist und lediglich das Aufzeichnen der Messdaten fehlt. Der Grund für diese Störung konnte nicht eruiert werden.

Die Plausibilitätsprüfung ergab folgende Resultate:

- bei sieben Anlagen waren alle Messdaten plausibel
- bei der Anlage „Rose“ erreichte der Kollektor an einem Tag eine Temperatur von über 200°C. Dies wurde vom Funktions-Check als unplausibel bewertet.
- Bei der Anlage „Käfe“ detektierte der Funktions-Check an einigen Tagen im Jahr 2013 Vorlauftemperaturen von weniger als 0°C. Dies wurde als unplausibel bewertet. Tatsächlich war im Jahr 2013 noch kein Vorlaufsensor bei der Anlage vorhanden. Im Funktions-Check wurde deshalb die Kollektortemperatur sowohl als Kollektortemperatur wie auch als Vorlauftemperatur eingelesen. Im Winter traten dann einige Tage auf, an denen der Kollektor kälter als 0°C war.
- Bei der Anlage „Pump“ wurde an wenigen Tagen eine Temperatur von 250°C im Speicher 1 oben gemessen. Dies wurde vom Funktions-Check korrekterweise als unplausibel bewertet. Die Temperaturmessung für Speicher 1 oben war an diesen Tagen noch nicht angeschlossen.

Berechnung Referenzertrag

Der Funktions-Check erhält vom meteorologischen Messnetz Schweiz für jede Anlage Stundenmittelwerte der Solarstrahlung und der Aussentemperatur. Diese Messwerte werden aus nahegelegenen Meteostationen auf den Standort der Anlage extrapoliert. Die Solarstrahlung wird ausserdem auf die Neigung und Ausrichtung der Kollektorfläche umgerechnet.

Zusätzlich zum gemessenen Ertrag wird anhand der Meteodaten, der Kollektoreigenschaften sowie der Vorlauftemperatur ein Referenzertrag ermittelt. Der Referenzertrag wird in Minutenauflösung mit folgender Formel berechnet:

Referenzertrag = $R \times A \times G \times \eta \times \text{IAM}$

Wobei:

$\eta = \eta_0 - a_1 \times T_m^* - a_2 \times G \times T_m^* \times T_m^*$

$T_m^* = (T_{vl} - T_a) / G$

$R =$ Pumpenlaufzeit erwartet.

Die Pumpenlaufzeit wird in allen Minuten auf 1 gesetzt, wenn:

- Die Kollektortemperatur erreichte an diesem Tag nie die Maximaltemperatur oder sie ist nach Erreichen der Maximaltemperatur bereits wieder unter die Wiedereinschalttemperatur nach Stagnation zurückgesunken.

- Die Kollektortemperatur ist $> 20^\circ\text{C}$ und $>$ Temperatur im Speicher unten + Einschalt-differenz

- Die Temperatur in Speicher unten ist $<$ Maximaltemperatur des Speichers

$A =$ Aperturfläche total

$G =$ Einstrahlung auf Kollektorebene. Stundenwerte linear interpoliert auf Minutenwerte

$\eta =$ Wirkungsgrad

$\eta_0 =$ Konversionsfaktor (wird im Funktions-Check für jeden Kollektortyp hinterlegt)

$\text{IAM} =$ Korrekturfaktor Einfallswinkel

$a_1 =$ Verlustbeiwert a_1

$a_2 =$ Verlustbeiwert a_2

$T_{vl} =$ Vorlauftemperatur

$T_a =$ Aussentemperatur. Stundenmittelwerte linear interpoliert auf Minutenwerte

Negative Werte des Referenzertrags werden nicht berücksichtigt, d.h. auf Null gesetzt. Falls die Vorlauftemperatur nicht gemessen wird, wird stattdessen die Kollektortemperatur zur Berechnung eingesetzt.

Beim Vergleich des Referenzertrags mit dem gemessenen Ertrag ergaben sich je nach Messtag sehr unterschiedliche Resultate:

- an manchen Tagen stimmen Referenzertrag und gemessener Ertrag sehr gut überein (siehe Abb. 8-2)
- an manchen Tagen scheinen der gemessene Ertrag und der Referenzertrag zeitlich um eine bis zwei Stunden zueinander verschoben (siehe Abb. 8-3)
- an manchen Tagen stimmen der gemessene Ertrag und der Referenzertrag überhaupt nicht überein (siehe Abb. 8-4).

Bei allen Anlagen konnten alle drei Resultate beobachtet werden. Die zeitliche Verschiebung der Messdaten hängt damit zusammen, dass die Solarregler ihre lokale Zeit unterschiedlich genau und in unterschiedlicher Art bestimmen. Manche Solarregler sind ausserdem permanent auf Winterzeit eingestellt, andere permanent auf Sommerzeit, wieder andere wechseln selbständig zwischen Sommer- und Winterzeit. Bei einer Testanlage war bei Inbetriebnahme des Reglers ein falsches Datum eingestellt worden. Die Messwerte wurden somit mit einem falschen Zeitstempel geloggt. Dies wurde nach dem Einlesen der Messdaten in den Funktions-Check festgestellt, weil der Funktions-Check „Messwerte aus der Zukunft“ importierte. Die Zeitstempel mussten danach manuell korrigiert werden.

Weiter wurden folgende Gründe gefunden, wieso Referenzertrag und gemessener Ertrag teilweise überhaupt nicht übereinstimmen:

- Bei mehreren Testanlagen wurden vom Funktions-Check technische Mängel entdeckt (siehe Kapitel „Resultate Testanlagen“). Wenn der Referenzertrag höher als der gemessene Ertrag ist, liegt dies oft an einem suboptimalen Verhalten der Anlage.
- Bei mindestens drei Anlagen war die Messung des Durchflusszählers falsch. Bei zwei dieser Anlagen lag die Messung konstant um 5L/Min zu hoch (siehe Abb. 7-2 und 10-2). Das führte dazu, dass ein deutlich zu hoher Ertrag gemessen wurde (siehe Abb. 7-3 und 10-3). Dies konnte im Verlauf des Projekts korrigiert werden. Bei einer Anlage zählt der Durchflusssensor deutlich zu wenig Durchfluss (siehe Abb. 11-2). Der Grund dafür konnte nicht eruiert werden. Der vom Regler aufgezeichnete Ertrag ist somit deutlich tiefer als der tatsächlich erzielte Ertrag (siehe Abb. 11-3).
- An einigen Tagen scheinen die gemessenen Solarstrahlungswerte nicht korrekt zu sein. Die Diskrepanz zwischen dem Referenz- und dem gemessenen Ertrag ist dort nicht erklärbar.

Tab. 3: jährliche Erträge der Testanlagen. BWW = Brauchwarmwasser, Hzg = Heizungsunterstützung, Flachk. = Flachkollektor, Röhrenk. = Röhrenkollektor

Anlage	Käfe	Pump	Hard	PeRo	ObMü	Hirz	Frob	Rose	Solo	Hole
System	BWW	BWW	BWW	BWW	BWW	BWW + Hzg	BWW	BWW	BWW	BWW
Kollektortyp	Flachk.	Flachk.	Flachk.	Röhrenk	Röhrenk	Flachk.	Flachk.	Flachk.	Flachk.	Flachk.
m2 Aperturfläche	3.9	31.6	37.3	7.8	19.6	14.0	23.3	12.0	18.3	7.1
hochgerechneter Jahresertrag (kWh/m2)	443	476	279	454	425	531		264	292	423
hochgerechneter Jahres-Referenzertrag (kWh/m2)	371	460	466	410	406	485	405	157	472	530
Abweichung Referenz von gemessenem Ertrag (%)	-16%	-3%	67%	-10%	-4%	-9%		-40%	61%	25%
Mittlerer Wirkungsgrad gemessen	34%	35%	21%	40%	32%	39%		19%	21%	31%
Mittlerer Wirkungsgrad Referenzertrag	28%	34%	35%	36%	31%	36%	34%	12%	34%	39%
jährlicher Ertragsverlust (kWh)	27	0	6384	362	1474	0	1041	2233	2878	188
jährlicher Ertragsverlust (%)	2%	0%	38%	10%	17%	0%	10%	41%	35%	6%

Tabelle 3 zeigt für die 10 Testanlagen den total gemessenen Ertrag und den Referenzertrag. Sowohl der Ertrag wie auch der Referenzertrag wurden anschliessend linear auf einen Jahresertrag pro m² Aperturfläche hochgerechnet. Dabei wurde eine jährliche Solarstrahlung von 1350 kWh/m² angenommen. Ebenfalls in der Tabelle angegeben ist der mittlere Wirkungsgrad der Anlage. Bei den zwei An-

lagen, bei denen der Durchflusszähler zuerst einen Offset von 5L/min hatte, wurden nur die Messdaten nach der Korrektur des Durchflusszählers berücksichtigt. Für diese Auswertung wurden nur Tage mit kompletten Messdatensätzen verwendet. Beim jährlichen Ertragsverlust wurde die Differenz zu einem Sollertrag von 450 kWh/m²/Jahr berechnet (bzw. 500 kWh/m²/Jahr für Röhrenkollektor).

Aus Tabelle 3 wird ersichtlich, dass:

- vier Anlagen einen Jahresertrag zwischen 440 bis 530 kWh/m²/Jahr aufweisen. Dies entspricht einem durchschnittlichen Jahresertrag einer Solarthermieanlage.
- Zwei Anlagen einen Jahresertrag von ca. 420 kWh/m²/Jahr aufweisen. Dies entspricht tendenziell einem unterdurchschnittlichen Ertrag. Bei der Anlage „Hole“ liegt dieses Resultat vermutlich an einem defekten Durchflusszähler.
- die Anlagen „Hard“, „Rose“ und „Solo“ einen Jahresertrag unter 300 kWh/m²/Jahr ausweisen. Bei der Anlage „Solo“ ist dies auf den defekten Durchflusszähler zurückzuführen. Der tatsächliche Ertrag liegt bei etwa 470 kWh/m²/Jahr wie vom Referenzertrag ausgewiesen. Die Anlagen „Hard“ und „Rose“ funktionieren nicht optimal.
- bei der Anlage „Frob“ die Ertragsmessung nicht funktionierte. Der Referenzertrag weist ca. 405 kWh/m²/Jahr aus und ist somit eher tief.
- Der mittlere jährliche Wirkungsgrad liegt zwischen 19% und 40%.
- Der Referenzertrag liegt bei sechs Anlagen tiefer als der tatsächlich gemessene Ertrag, bei drei Anlagen höher. Eine Abweichung von mehr als +/- 10% tritt bei fünf Anlagen auf. Bei diesen fünf Anlagen gibt es plausible Erklärungen für die hohe Abweichung:
 - Anlage „Käfe“: an vielen Tagen fehlt ein Teil der Messdaten. Für solche Tage wurde kein Referenzertrag berechnet, auch wenn teilweise ein gemessener Ertrag vorhanden war. Der Referenzertrag ist somit tiefer als der gemessene Ertrag.
 - bei der defekten Anlage „Hard“ ist der Referenzertrag um 67% höher als der gemessene Ertrag. Der Referenzertrag entspricht bei dieser Anlage gut dem Anlagenenertrag, der bei einer funktionierenden Anlage zu erwarten wäre.
 - Bei der defekten Anlage „Rose“ ist der Referenzertrag um 40% tiefer als der sowieso schon sehr tiefe gemessene Ertrag. Der Referenzertrag ist hier nicht geeignet, um den zu erwartenden Anlagenenertrag abzuschätzen. Zur Berechnung des Referenzertrags werden nicht nur die Wetterdaten sondern auch laufende Messdaten der Anlage mit einbezogen werden (Kollektortemperatur Vorlauftemperatur, Speichertemperatur). Wenn eine dieser drei Temperaturwerte aufgrund eines Sensor- oder Anlagenproblems nicht dem optimalen Anlagenverhalten entspricht, entspricht somit der Referenzertrag auch nicht mehr dem Soll-Ertrag der Anlage.
 - Anlagen „Solo“ und „Hole“: der Durchflusszähler ist vermutlich defekt und misst einen zu tiefen Ertrag.

Algorithmen zur Funktions-Prüfung

Bei der Funktions-Prüfung werden über 90 Kennwerte und Fehleranalysen durchgeführt. Tabelle 4 zeigt für die 10 Testanlagen die Resultate der fünf wichtigsten Kennwerte: maximale gemessene Kollektortemperatur, maximale gemessene Speichertemperatur, Anteil Tage an denen der Speicher voll aufgeheizt wurde, Anteil Tage an denen die Anlage in Stagnation war und durchschnittliche Anzahl Betriebsstunden pro Tag im Juni.

Tab. 4: Übersicht über die gemessenen Kennzahlen der Testanlagen

	Käfe	Pump	Hard	PeRo	ObMü	Hirz	Frob	Rose	Solo	Hole
im Funktions-Check hinterlegte Soll-Speichertemperatur	85	85	85	70	80	70	80	70	65	75
maximale gemessene Kollektortemperatur	181	144	160	87	57	166	175	206	85	75
maximale gemessene Speichertemperatur	85	85	80	71	46	68	80	67	63	64
Speicher aufgeheizt (Tage)	2.4%	1.5%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	14.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Stagnationsdauer (Tage)	2.9%	1.5%	18.2%	0.0%	0.0%	1.2%	13.0%	2.3%	0.0%	0.0%
durchschnittliche Betriebsstunden pro Tag im Juni	14	5	7	8	9	11	7	8	4	7
										8

Aus Tabelle 4 wird ersichtlich, dass die Anlage „Rose“ im Stagnationsfall Kollektortemperaturen von über 200°C erreicht. Die Stagnationsdauer lag bei 8 Anlagen bei lediglich 0 bis 3%. Die Anlage „Hard“ ging an 18% der Messtage in Stagnation. Der Speicher wurde nie voll aufgeheizt. Dies aufgrund eines Fehlverhaltens (siehe Kapitel „Resultate Testanlagen“ für weitere Informationen“). Die Anlage „Frob“ ging an 13% der Messtage in Stagnation. Der Grund dafür war jedesmal, dass der Speicher aufgeheizt war. Nur bei vier Anlagen wurde der Speicher während der Messperiode voll aufgeheizt. Bei den Betriebsstunden fallen die sehr tiefen Werte bei den Anlagen „Käfe“ und „Rose“ auf. Bei der Anlage „Käfe“ liegt der Grund in der lückenhaften Aufzeichnung der Messdaten, worunter auch die Pumpenlaufzeit und somit die Betriebsstunden gehören. Tatsächlich war die Anlage deutlich länger als 5 h pro Tag in Betrieb. Bei der Anlage „Rose“ hingegen sind die tiefen Betriebsstunden auf ein Fehlverhalten der Anlage zurückzuführen.

Diese fünf wichtigen Kennzahlen können im Funktions-Check im Analysebereich abgefragt werden, nebst vielen weiteren Kennzahlen. Für die 10 Testanlagen ist es allein anhand dieser Kennzahlen schon möglich, Anlagen mit ausgeprägtem Fehlverhalten zu erkennen.

Die Fehler-Analysen im Funktions-Check können in zwei Kategorien eingeteilt werden:

1. Analysen, welche prüfen, ob die Anlagen-Definition im Funktions-Check korrekt hinterlegt ist und die Messung im Solarregler funktioniert. Ist dies nicht der Fall, können andere Analysen und Auswertungen zu falschen Resultaten führen. Wenn z.B. der Durchfluss-Sensor defekt ist, wird ein falscher Ertrag ermittelt.
2. Analysen, die ein Ertrags-relevantes Fehlverhalten der Anlage detektieren.

Es gibt auch Analysen, die beiden Kategorien zugeordnet werden können.

Im Folgenden sind alle 24 implementierten Fehleranalysen beschrieben. Für jede Fehleranalyse wird erklärt, wie sie durchgeführt wird. Es wird aufgezeigt wie gravierend die Auswirkungen für den Anlagenenertrag sind. Und es wird analysiert, ob dieser Fehler bei den Testanlagen aufgetreten ist. Die anschließende Abb.1 zeigt, wie häufig die verschiedenen Fehler bei den Testanlagen detektiert wurden.

Tab. 5: Überblick über alle implementierten Analysen zur Fehlererkennung in alphabetischer Reihenfolge

Durchfluss trotz ausgeschalteter Pumpe	
Komponente	Volumenstrom Solarkreis
Beschrieb	An wie vielen Stunden war der Durchfluss > 0 Liter/min, obwohl die Pumpe ausgeschaltet war?
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Wenn auch bei ausgeschalteter Pumpe ein Durchfluss detektiert wird, ist meistens der Durchflusszähler defekt. Dies hat keinen Einfluss auf die Anlagenfunktion. Es führt aber dazu, dass der Solarregler einen zu hohen Ertrag berechnet.
Resultate Testanlagen	Bei der Anlage „ObMü“ und bei der Anlage „Rose“ war der Durchflusszähler defekt und mass auch bei ausgeschalteter Pumpe einen Volumenstrom von 5 liter/min. (s. Abb. 7-2). Nachdem die beiden Durchflusszähler korrekt geerdet wurden, trat dieses Verhalten nicht mehr auf.
Durchfluss zu hoch	
Komponente	Volumenstrom Solarkreis
Beschrieb	Der Durchfluss ist zu hoch, wenn der Tagesmittelwert des Durchflusses bei laufender Pumpe mehr als 20% höher als der Nenndurchfluss war.
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Ein zu hoher Durchfluss zeigt einen defekten Durchfluss-Sensor an. Dies muss korrigiert werden, damit der Anlagenenertrag vom Solarregler richtig erfasst werden kann.
Resultate Testanlagen	Dieser Fehler ist bei keiner der Testanlagen aufgetreten.
Durchfluss zu tief	
Komponente	Volumenstrom Solarkreis
Beschrieb	Der Durchfluss ist zu tief, wenn der Tagesmittelwert des Durchflusses bei laufender Pumpe mehr als 50% tiefer als der Nenndurchfluss war.
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Ein zu tiefer Durchfluss kann zwei verschiedene Ursachen haben: <ol style="list-style-type: none"> 1. er zeigt einen defekten Durchfluss-Sensor an. Dies muss korrigiert werden, damit der Anlagenenertrag vom Solarregler richtig erfasst werden kann. 2. Die Pumpe fördert zu wenig. In diesem Fall liegt ein gravierendes Fehlverhalten vor, das zu hohem Ertragsausfall führt.
Resultate Testanlagen	Dieser Fehler wurde bei keiner Testanlage detektiert. Bei zwei Testanlagen ist der Durchfluss zwar aufgrund eines defekten Durchflusszählers zu tief. Allerdings „nur“ um ca. 25%.
Ertrag tiefer als erwartet	
Komponente	Leistung
Beschrieb	Der gemessene tägliche Anlagenenertrag ist mehr als 30% tiefer als der erwartete Ertrag. Es werden nur Tage mit einer Sonneneinstrahlung > 4 kWh/m ² berücksichtigt.
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Wenn die Fehleranalyse einen Ertragsverlust von 30% ausweist, kann dies zwei Ursachen haben: <ol style="list-style-type: none"> 1. Es ist ein gravierender Anlagenfehler aufgetreten. 2. Der gemessene oder der Referenz-Ertrag ist nicht korrekt, z.B. wegen einem defekten Sensor. Die Anlage funktioniert aber. Es tritt effektiv kein Ertragsverlust auf.
Resultate Testanlagen	Bei fünf Testanlagen wurde an mehr als 10% der Tage der Fehler „Ertrag tiefer als erwartet“ detektiert. Bei den Anlagen „Pump“, „Hard“ und „ObMü“ liegt ein Fehlverhalten der Anlage vor. Bei den Anlagen „Solo“ und „Hole“ hingegen funktioniert der Durchfluss-Sensor nicht richtig. (Für Details siehe Kapitel „Resultate Testanlagen“).

Kein Durchfluss trotz eingeschalteter Pumpe	
Komponente	Volumenstrom Solarkreis
Beschrieb	Der Durchfluss ist 0 liter/min, obwohl die Solarpumpe zu 100% eingeschaltet ist.
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Falls „nur“ der Durchflusssensor defekt ist, hat dieser Fehler keinen Einfluss auf den Anlagenenertrag. Allerdings wird dann vom Solarregler kein Ertrag gemessen. Ist der Durchfluss der Anlage bei eingeschalteter Pumpe aber tatsächlich 0 Liter/min, bedeutet dies einen Totalausfall der Anlage. Wird der Fehler nicht behoben, kann es zu Folgeschäden am System kommen.
Resultate Testanlagen	Dieser Fehler wurde nur bei der Anlage „Solo“ detektiert (s. Abb. 11-2). Es ist davon auszugehen, dass die Anlage korrekt läuft, aber der Durchflusssensor defekt ist.
Kollektor kälter als Vorlauf	
Komponente	Kollektorkreis
Beschrieb	Der Tagesmittelwert der Kollektortemperatur ist bei eingeschalteter Solarpumpe mehr als 1°C kühler als der Tagesmittelwert des Vorlaufs ("heiss")
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Dies ist hauptsächlich dann der Fall, wenn der Kollektorfühler nicht korrekt befestigt ist oder nicht korrekt funktioniert. In vielen Fällen ist die Auswirkung auf den Ertrag gravierend. Die Anlage läuft zu spät oder gar nicht an.
Resultate Testanlagen	Der Fehler wurde bei vier Testanlagen detektiert, und dies mit sehr hoher Häufigkeit (69% der Messtage bei Anlage „Pump“, 59% bei Anlage „ObMü“, 39% bei Anlage „Hole“ und 16% bei Anlage „Rose“.). Bei der Anlage „Pump“ zeigte eine Begehung anschliessend, dass die Kollektoren von Pflanzen überwuchert sind (siehe Abb. 9-4). Auch mit der Rodung der Pflanzen konnte das Problem aber nicht komplett behoben werden. Bei der Anlage „Hole“ zeigen die Messdaten, dass die Vor- und Rücklauf-temperatur ungewöhnlich hoch sind (siehe Abb. 5-6). Es scheint also eher der Messwert der Vorlauf-temperatur zu sein, der Probleme verursacht als die Kollektortemperatur. Bei der Röhrenkollektor-Anlage „ObMü“ war der Kollektorfühler nicht am Kollektor befestigt, sondern nur lose darunter gelegt (s. Abb. 7-5). Durch besseres Befestigen des Kollektorfühlers läuft die Anlage jetzt jeweils nach kurzem Pendeln am Morgen an (s. Abb. 7-6). Bei der Anlage „Rose“ zeigte die Begehung, dass der Kollektorfühler falsch montiert ist und deshalb nur schlecht umflossen wird (s. Abb. 10-6). Ein Beheben des Mangels ist schwierig, da das Dach nicht zugänglich ist.
Kollektor viel heisser als Vorlauf	
Komponente	Kollektorkreis
Beschrieb	Der Tagesmittelwert der Kollektortemperatur ist bei eingeschalteter Solarpumpe mehr als 20°C höher als der Tagesmittelwert des Vorlaufs ("heiss")
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Bei diesem Anlagenfehler läuft die Anlage zu früh an und/oder schaltet zu spät ab. Während dieser Zeit kommt es zu einer Auskühlung des Solarspeichers. Der Einfluss auf den Anlagenenertrag ist in den meisten Fällen nicht sehr hoch, da verschiedene Sicherheitsmechanismen im Regler dafür sorgen, dass die Pumpe bald danach wieder ausgeschaltet wird. Der Fehler könnte auch detektiert werden, wenn der Vorlauf-fühler defekt ist oder ungenügend befestigt. Die Detektion des Fehlers ist dann besonders wichtig, weil die Vorlauf-temperatur für verschiedene Fehleranalysen und für die Ertragsmessung korrekt gemessen werden muss.
Resultate Testanlagen	Der Fehler wurde bei keiner der 10 Testanlagen entdeckt.

Kollektor wird warm ohne Sonne	
Komponente	Kollektorkreis
Beschrieb	An wie vielen Stunden stieg die Temperatur des Kollektors um mehr als 5°C an, obwohl die Sonne nicht schien (Sonneneinstrahlung = 0) und keine Nachrückkühlung eingeschaltet ist?
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Eine ungewollte nächtliche Rückkühlung über die Kollektoren kann z.B. auftreten, wenn das Rückschlagventil defekt ist, oder wenn im Regler Parameter falsch eingestellt sind. Wie hoch der Ertragsverlust, hängt stark von der Ursache und der Schwere des Phänomens ab.
Resultate Testanlagen	Dieser Fehler wurde bei keiner Testanlage detektiert.
Nächtliche Rückkühlung über die Kollektoren	
Komponente	Kollektorkreis
Beschrieb	Nachts zwischen 0 und 4 Uhr ist die Kollektormitteltemperatur um mehr als 1 °C wärmer als die Rücklauftemperatur, obwohl die Solarpumpe ausgeschaltet ist und die Aussentemperatur tiefer als die Kollektortemperatur ist.
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Wenn nächtliche Rückkühlung über die Kollektoren auftritt, wird ein Teil des tagsüber eingetragenen Solarertrags wieder ungenutzt abgegeben. Je nach Schwere des Problems ist die Auswirkung auf den Ertrag sehr gering bis einige Prozent.
Resultate Testanlagen	Der Fehler wurde bei keiner der 10 Testanlagen entdeckt.
Peak der Kollektortemperatur bei Pumpenstart	
Komponente	Kollektorkreis
Beschrieb	Ein Peak ist aufgetreten, wenn die Kollektortemperatur beim Pumpenstart um mehr als 15°C ansteigt. Dazu wird die Kollektortemperatur direkt vor dem Start der Pumpe (Pumpenlaufzeit = 0%) verglichen mit der Kollektortemperatur sobald die Pumpe 100% erreicht hat.
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Ein plötzliches Hochschnellen der Kollektortemperatur beim Pumpenstart ist typisch für einen schlecht platzierten Kollektorfühler. Es hat zur Folge, dass die Anlage zu spät anläuft, oder dass die Pumpe einschaltet, obwohl die Solarflüssigkeit bereits in Dampf übergegangen ist. Dies kann zu Folgeschäden an der Anlage führen.
Resultate Testanlagen	Ein Peak beim Pumpenstart wurde bei drei Anlagen detektiert, allerdings bei allen drei Anlagen nur an ganz wenigen Messtagen.
Pumpe aus trotz deltaT	
Komponente	Pumpe Kollektorkreis
Beschrieb	An wie vielen Stunden war die Pumpe ausgeschaltet, obwohl folgende Kriterien erfüllt waren: <ul style="list-style-type: none"> ○ Kollektortemperatur < maximale Betriebstemperatur ○ Speichertemperatur < maximale Speichertemperaur ○ Temperaturdifferenz Kollektor - Speicher >= Einschaltdifferenz ○ Stagnationsreduzierung ist nicht aktiviert ○ Wenn an diesem Tag eine Stagnation aufgetreten ist: Kollektortemperatur < Wieder-Einschalttemperatur Kollektor
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Diese Auswertung wird hauptsächlich genutzt, um zu prüfen, ob die im Funktions-Check hinterlegte Ausschalt-Temperaturdifferenz korrekt eingetragen wurde. Die Ausschalt-Temperaturdifferenz wird vom Funktions-Check für verschiedene andere Funktionen genutzt, z.B. zur Berechnung des Referenzertrags. Wenn die im Regler eingestellte Ausschalt-Temperaturdifferenz um wenige °C von den üblichen 7°C abweicht, hat das meistens keinen spürbaren Einfluss auf den Ertrag. Bei einer sehr hohen Abweichung, z.B. wenn im Regler 17°C statt 7°C als Ausschalt-Temperaturdifferenz eingetragen wurde, reduziert dies den Anlagenenertrag drastisch. In diesem Fall würden aber auch noch weitere Fehler-Analysen wie z.B. Ertrag tiefer als erwartet.
Resultate Testanlagen	Bei allen 10 Testanlagen schaltete die Pumpe immer bei der erwarteten Ausschalt-Differenz aus.

Pumpe ein bei Stagnation	
Komponente	Pumpe Kollektorkreis
Beschrieb	An wie vielen Stunden war die Pumpenlaufzeit 100%, obwohl die Kollektortemperatur über der maximalen Betriebstemperatur lag?
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Diese Auswertung wird hauptsächlich genutzt, um zu prüfen, ob die im Funktions-Check hinterlegte maximale Kollektortemperatur korrekt eingetragen wurde. Die maximale Kollektortemperatur wird vom Funktions-Check für verschiedene andere Funktionen genutzt, z.B. zur Bestimmung der Stagnationszeitpunkte.
Resultate Testanlagen	Bei keiner der 10 Testanlagen war die Pumpe bei Überschreiten der maximalen Betriebstemperatur des Kollektors noch eingeschaltet.
Pumpe ein ohne ΔT	
Komponente	Pumpe Kollektorkreis
Beschrieb	An wie vielen Stunden war die Pumpe dauernd eingeschaltet, obwohl die Temperaturdifferenz zwischen Kollektor und Speicher < Einschaltdifferenz war?
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Diese Auswertung wird hauptsächlich genutzt, um zu prüfen, ob die im Funktions-Check hinterlegte Einschalt-Temperaturdifferenz korrekt eingetragen wurde. Die Einschalt-Temperaturdifferenz wird vom Funktions-Check für verschiedene Funktionen genutzt, z.B. zur Berechnung des Referenzertrags. Es gibt allerdings auch Anlagenfehler, die dazu führen, dass die Pumpe unnötig eingeschaltet ist. So z.B. wenn der Regler fälschlicherweise auf Handbetrieb eingestellt wurde. Dann läuft die Pumpe permanent. Der Anlagenverlust ist dann sehr hoch, weil der Speicher Nachts vollständig ausgekühlt wird. Bei Handbetrieb würden aber auch noch weitere Fehler-Analysen, z.B. „Pumpe ein ohne Einstrahlung“ einen Fehler anzeigen.
Resultate Testanlagen	Bei allen 10 Testanlagen schaltete die Pumpe immer bei der erwarteten Temperaturdifferenz ein.
Pumpe ein ohne Einstrahlung	
Komponente	Pumpe Kollektorkreis
Beschrieb	An wie vielen Stunden war die Pumpe 100% eingeschaltet, obwohl die Solarstrahlung < 10 W/m ² war und bei dieser Anlage keine Nachrückkühlung aktiviert ist?
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Pumpe läuft nicht zur richtigen Zeit. Systematische Abweichung zwischen Soll-/Istertrag Es gibt zwei mögliche Ursachen für dieses Verhalten: <ol style="list-style-type: none"> 1. die Solarstrahlungsdaten sind zeitlich verschoben zu den Messwerten. Z.B. weil im Solarregler die Uhrzeit nicht richtig eingestellt ist. In diesem Fall funktioniert die Anlage korrekt. 2. Die Pumpe schaltet tatsächlich ein, wenn keine Einstrahlung vorhanden ist. Entweder weil sie manuell auf Handbetrieb gestellt wurde. Oder weil die Anlage die tagsüber anfallende Solarwärme nicht in den Kollektor abführen konnte und der Kollektor dann auch spät abends noch heiss ist. Oder weil die Pumpe aufgrund einer Fehleinstellung unbeabsichtigt eine Nachtauskühlung vornimmt. In allen diesen Fällen handelt es sich um ein gravierendes Fehlverhalten der Anlage, das zu einem hohen Ertragsverlust führt.
Resultate Testanlagen	Bei der Anlage „Rose“ war die Pumpe an manchen Tagen auch noch nachts um 23 Uhr in Betrieb (s. Abb. 10-7). Die Anlage weist ein gravierendes Fehlverhalten auf.

Pumpe ein wenn Speicher voll	
Komponente	Pumpe Kollektorkreis
Beschrieb	An wie vielen Stunden war die Pumpe ständig eingeschaltet, obwohl die Speichertemperatur über dem maximal erlaubten Wert lag? Falls mehrere Speichertemperaturen erfasst werden: Temperatur des Speichers 1 unten
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Diese Auswertung wird hauptsächlich genutzt, um zu prüfen, ob die im Funktions-Check hinterlegte maximale Speichertemperatur korrekt eingetragen wurde. Die maximale Speichertemperatur wird vom Funktions-Check für verschiedene andere Funktionen genutzt, z.B. zur Detektion von „Stagnation trotz Wärmebedarf“.
Resultate Testanlagen	Bei keiner der 10 Testanlagen war die Pumpe bei Überschreiten der maximalen Speichertemperatur noch eingeschaltet.
Pumpe pendelt	
Komponente	Pumpe Kollektorkreis
Beschrieb	Wie oft schaltet die Solarpumpe pro Stunde ein? Es wird der Stundenmittelwert von Stunden mit mehr als 300 W/m ² Sonneneinstrahlung berechnet. Einschaltvorgänge bei einer Einstrahlung < 300 W/m ² werden nicht berücksichtigt. Wenn die Pumpe durchschnittlich mehr als einmal pro Stunde einschaltet, deutet dies auf ein Fehlverhalten hin.
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Ein Pendeln der Solarpumpe kann verschiedenste Ursachen haben. Z.B. <ul style="list-style-type: none"> - falsch platzierter Temperaturfühler am Kollektor - falsch platzierter Speicherfühler - Vor- und Rücklaufrohre vertauscht, falsche Strömungsrichtung Je nachdem wie gravierend das Problem ist, sind die Auswirkungen auf den Anlagen-ertrag sehr unterschiedlich. Sie reichen von wenigen Prozent Ertragsreduktion bis zu Stagnation und damit Totalausfall.
Resultate Testanlagen	Ein Pendeln der Solarpumpe wurde bei sieben Testanlagen festgestellt. Bei drei Testanlagen trat das Pendeln an mehr als 10% der Messtage auf. Bei der Anlage „Rose“ ist das Pendeln auf den bereits mehrfach erwähnten Anlagendefekt zurückzuführen. Bei der Röhrenkollektor-Anlage „ObMü“ darauf, dass der Temperatursensor nicht im Kollektor platziert werden kann. Bei der Anlage „Pump“ trat das Pendeln auch nach dem Roden der Pflanzen vor den Kollektoren immer noch auf. Das deutet darauf hin, dass der Kollektorfühler ungünstig platziert ist. Bei den übrigen Anlagen tritt das Pendeln nur an stark wechselnd bewölkten Tagen auf und ist dann ein Teil des normalen Anlagenverhaltens.
Speicher wärmer als Rücklauf	
Komponente	Kollektorkreis
Beschrieb	Der Tagesmittelwert der Speichertemperatur ist bei eingeschalteter Solarpumpe um mehr als 1°C höher als der Tagesmittelwert des Rücklaufs ("kalt")
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Da der Rücklauffühler nicht zur Steuerung der Anlage genutzt wird, hat dieser Fehler keinen Einfluss auf den Anlagen-ertrag. Der Regler bestimmt den Anlagen-ertrag aber basierend auf Vor- und Rücklauf. Wenn der Rücklauffühler schlecht montiert ist, wird ein zu tiefer Rücklauf gemessen und dadurch ein zu hoher Anlagen-ertrag berechnet.
Resultate Testanlagen	Der Fehler wurde bei keiner der 10 Testanlagen entdeckt.

Speicher wärmer als zulässig	
Komponente	Speicher
Beschrieb	An wie vielen Tagen überschritt die Speichertemperatur die maximal zulässige Temperatur? Falls mehrere Speichertemperaturen erfasst werden: An wie vielen Tagen überschritt die Temperatur in Speicher 1 unten die maximal zulässige Temperatur?
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Dieser Fehler hat keine Auswirkung auf den Anlagenenertrag. Er zeigt an, dass die maximal erlaubte Speichertemperatur im Funktions-Check und/oder im Regler nicht korrekt eingestellt wurde. Für viele Fehler-Analysen im Funktions-Check ist es sehr wichtig, die maximale erlaubte Speichertemperatur zu kennen. Nur so kann z.B. detektiert werden, ob die Anlage korrekterweise in Stagnation geht, oder ob ein Anlagendefekt vorliegt. Ist die Soll-Speichertemperatur zu hoch eingestellt, erkennt die Fehleranalyse fälschlicherweise „Stagnation trotz Wärmebedarf“. Ist die Soll-Speichertemperatur zu tief eingestellt, wird der Referenzertrag zu tief berechnet.
Resultate Testanlagen	Die im Regler eingestellte Soll-Speichertemperatur von den 10 Testanlagen war bei der Begehung nicht abgeklärt worden. So wurde bei allen Anlagen im Funktions-Check zuerst eine Soll-Speichertemperatur von 60°C hinterlegt. Die Analyse detektierte dann an sehr vielen Tagen „Speicher wärmer als zulässig“. Die im Funktions-Check hinterlegte Soll-Speichertemperatur wurde danach angepasst und die Analyse nochmals neu berechnet. Nun sind bei den Testanlagen Soll-Speichertemperaturen zwischen 65 bis 85° hinterlegt. Mit diesen Einstellungen wird der Fehler „Speicher wärmer als zulässig“ nie mehr detektiert.
Speicher wird selber warm	
Komponente	Speicher
Beschrieb	An wie vielen Stunden steigt die Speichertemperatur innerhalb einer Stunde um mehr als 5°C an, obwohl die Solaranlage nicht in Betrieb war? Falls mehrere Speichertemperaturen erfasst werden: Temperatur in Speicher 1 unten
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Bei diesem Fehler wird der Speicher nicht durch die Solaranlage sondern von der Nachheizung aufgeheizt. Je nachdem, wie stark und wie oft dieses Phänomen auftritt, ist die Auswirkung auf den Anlagenenertrag minimal bis sehr hoch. Der Ertragsverlust kann sehr hoch sein, falls die Nachheizung den Speicher fast bis zur Soll-Speichertemperatur aufheizt. Die Anlage erreicht dann sehr schnell den Stagnationszustand und kann den Solarertrag gar nicht mehr nutzen.
Resultate Testanlagen	Bei den 10 Testanlagen wurde das Phänomen „Speicher wird selber warm“ nur bei der Anlage „Hard“ an ganz wenigen Tagen detektiert.
Stagnation trotz Wärmebedarf	
Komponente	Stagnation
Beschrieb	An wie vielen Tagen überschritt die Kollektortemperatur die maximale Betriebstemperatur, obwohl der Speicher seine Maximaltemperatur um mehr als 1°C nicht erreicht hatte? Falls mehrere Speichertemperaturen erfasst werden, wird die Temperatur des Speichers 1 unten analysiert.
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Wenn trotz Wärmebedarf im Speicher Stagnation auftritt, führt dies zu einem totalen Ertragsverlust während der Stagnationszeit. Das Problem tritt ausserdem hauptsächlich bei sonnigem Wetter, d.h. bei potentiell hohem Ertrag auf. Die Auswirkung auf den Anlagenenertrag ist somit gravierend. Die Ursachen für Stagnation trotz Wärmebedarf können sehr vielfältig sein. So z.B. unkorrekt platzierte Sensoren, aber auch Luft im Solarsystem.
Resultate Testanlagen	Abb. 1 zeigt, dass „Stagnation trotz Wärmebedarf“ bei der Anlage „Hard“ an 18% der Messtage auftrat. Dies deutet darauf hin, dass diese Anlage ein gravierendes Problem hat (für Details siehe Kapitel „Resultate Testanlagen“). Bei den anderen Testanlagen wurde „Stagnation trotz Wärmebedarf“ an 0 bis maximal 2% der Messtage detektiert.

Temperaturdifferenz zwischen Kollektor und Speicher zu hoch	
Komponente	Kollektorkreis
Beschrieb	Der Tagesmittelwert der Kollektortemperatur ist bei eingeschalteter Solarpumpe um über 30°C höher als der Tagesmittelwert der Speichertemperatur
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Falls der Fehler durch den Speicherfühler verursacht wird, führt er dazu dass der Speicher zu heiss wird. Zu hohe Speichertemperaturen führen zu einer schnelleren Verkalkung des Speichers. Auf den Ertrag hat dieses Verhalten keinen Einfluss, bzw. es führt eher zu einem höheren Ertrag, da die Anlage länger läuft und weniger schnell in Stagnation geht. Wenn der Fehler hingegen dadurch verursacht wird, dass die Pumpe zu wenig fördert, bedeutet dies, dass nicht die gesamte Solarleistung genügend schnell in den Speicher transportiert werden kann und die Anlage deutlich zu früh in Stagnation geht. In diesem Fall kann der Ertragsverlust beträchtlich sein.
Resultate Testanlagen	Der Fehler wurde lediglich bei der Anlage „Hirz“ an drei Tagen detektiert. Bei dieser Anlage war zu diesem Zeitpunkt Luft in den Kreislauf eingedrungen, so dass die Pumpe zu wenig förderte.
Temperaturdifferenz zwischen Kreislauf und Speicher zu hoch	
Komponente	Kollektorkreis
Beschrieb	Der Tagesmittelwert der Kreislauftemperatur ist bei eingeschalteter Solarpumpe um über 20°C höher als der Tagesmittelwert der Speichertemperatur. Kreislauftemperatur = Temperatur-Mittelwert zwischen Vor- und Rücklauf
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Der Fehler tritt auf, wenn die Anlage einen externen Wärmetauscher hat und dieser nicht richtig funktioniert. Je nach Schwere des Problems kann dieser Fehler bis zu einer Stagnation der Anlage führen.
Resultate Testanlagen	Keine der Testanlagen hat einen externen Wärmetauscher. Der Fehler wurde nie detektiert.
Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf zu hoch	
Komponente	Kollektorkreis
Beschrieb	Der Tagesmittelwert der Vorlauftemperatur ("heiss") ist bei eingeschalteter Solarpumpe um mehr als 25°C höher als der Tagesmittelwert der Rücklauftemperatur ("kalt").
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Der Fehler tritt auf, wenn nicht die gesamte Solarleistung genügend schnell in den Speicher transportiert werden kann und die Anlage deutlich zu früh in Stagnation geht. Der Ertragsverlust ist meistens beträchtlich.
Resultate Testanlagen	Dieser Fehler wurde bei den zwei Anlagen „Käfe“ und „Pump“ an 2% resp. 5% der Messtage detektiert. Bei der Anlage „Käfe“ zeigen die Messdaten an diesen Tagen zwar eine extrem hohe Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf, aber ansonsten ein korrektes Anlageverhalten (s. Abb. 6-3). Bei der Anlage „Pump“ entsteht der Fehler dadurch, dass die Pumpe pendelt und somit zu wenig fördert (s. Abb. 9-2).

Vorlauf kälter als Rücklauf	
Komponente	Kollektorkreis
Beschrieb	Tagesmittelwert des Vorlaufs ("heiss") ist mehr als 1 °C kühler als der Tagesmittelwert des Rücklaufs ("kalt"), obwohl die Pumpe während mehr als 1 Stunde eingeschaltet war.
Auswirkung auf Anlagen-ertrag	Da der Vor- und Rücklauffühler meistens nicht zur Steuerung der Solaranlage genutzt werden, hat dieser Fehler keinen Einfluss auf den realen Anlagenenertrag. Der Regler ermittelt aber den Anlagenenertrag basierend auf der Temperatur des Vorlauffühlers. Wurde dieser schlecht montiert, oder sogar mit dem Rücklauf vertauscht, registriert der Regler einen viel tieferen Anlagenenertrag als tatsächlich erzielt wurde. Die Vorlauf-temperatur wird ausserdem vom Funktions-Check für verschiedene weitere Analysen genutzt, z.B. zur Prüfung, ob der Kollektorfühler korrekt positioniert ist.
Resultate Testanlagen	Der Fehler wurde bei zwei Testanlagen detektiert. Bei der Anlage „ObMü“ stellte sich heraus, dass die Wärmeübertragung zwischen dem Vorlauffühler und dem Rohr nicht ideal war. Nachdem dies behoben wurde, trat der Fehler nicht mehr auf. Bei der Anlage „Frob“ wurde der Temperatursensor von Vor- und Rücklauf vom Installateur vertauscht (siehe Abb. 2-3). Im Funktions-Check wurde dies nach wenigen Tagen korrigiert, indem die Messdaten von Vor- und Rücklauf beim Einlesen jeweils vertauscht eingelesen werden. Bei der Schlussergebnung wurde dann klar, dass der vertauschte Vor- und Rücklauf im Regler dazu führte, dass dieser den Anlagenenertrag nicht berechnen konnte. Als Konsequenz wurde bei der Anlage „Frob“ kein Anlagenenertrag aufgezeichnet.

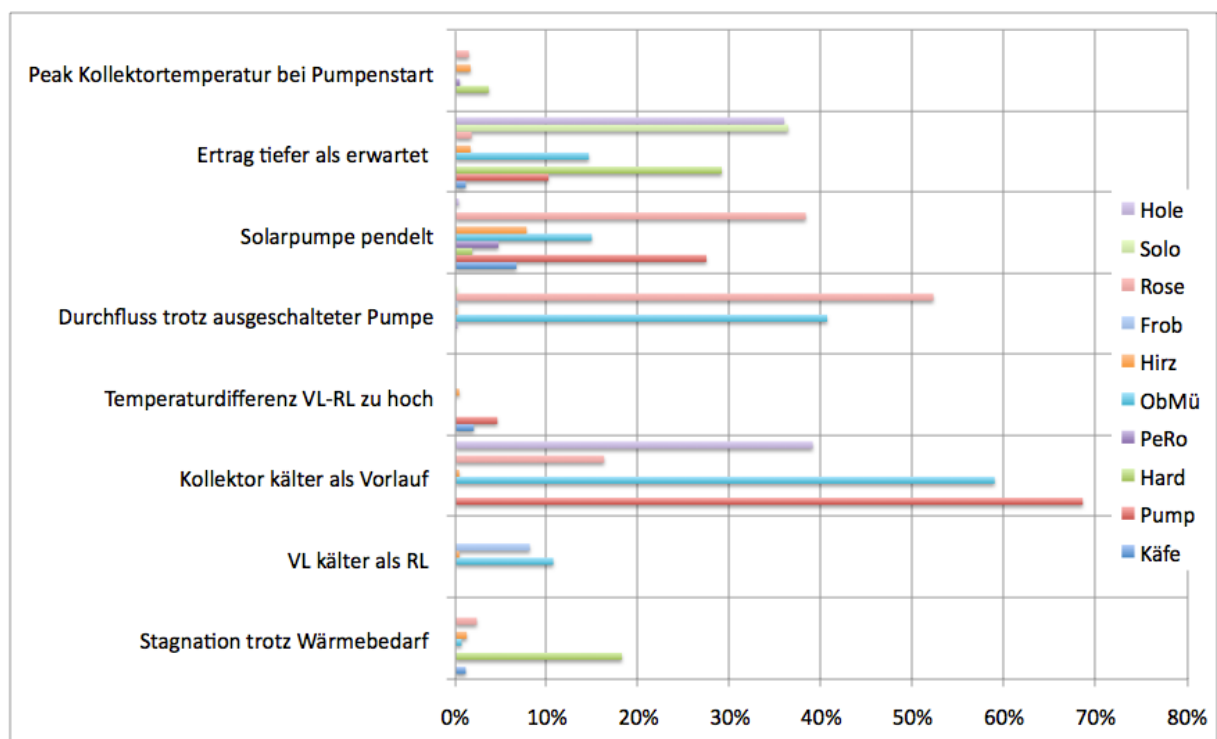


Abb. 1: Anteil Messtage, an denen bei den Testanlagen Fehler detektiert wurden. Es sind nur Fehler aufgeführt, die bei mindestens einer Testanlage detektiert wurden.

Resultate Testanlagen

In diesem Kapitel werden für jede Testanlage in alphabetischer Reihenfolge die Analyseresultate diskutiert. Bilder, Grafiken und Fotos zu den Testanlagen befinden sich im Anhang.

Resultate der Anlage „Frob“

Steckbrief	Flachkollektor mit 23 m ² Aperturfläche Genutzt für Brauchwassererwärmung Ausrichtung: 75° Südwest Speichervolumen 800 Liter solar + 500 Liter konventionell beheizt
Gemessener Ertrag	Die Ertragsmessung funktionierte nicht, da Vor- und Rücklaufsensor vertauscht montiert wurden. Aus dem Referenzertrag wird ein Jahresertrag von ca. 400 kWh/m ² abgeschätzt.
Resultate der Fehler-Analyse	Die Fehler-Analyse detektierte sofort, dass Vor- und Rücklauf vertauscht sind. Ansonsten wurden keine Fehler entdeckt. Die Anlage geht an 13% der Messtage in Stagnation, weil der Speicher aufgeheizt ist.
Interpretation	Die Anlage funktioniert korrekt. Der eher tiefe Ertrag ist auf die starke Westausrichtung der Anlage zurückzuführen und darauf, dass der Speicher eher klein dimensioniert ist.

Resultate der Anlage „Hard“

Steckbrief	Flachkollektor mit 37 m ² Aperturfläche Genutzt für Brauchwassererwärmung Ausrichtung: 15° Südwest Speichervolumen 1'000 Liter solar + 1'000 Liter konventionell beheizt
Gemessener Ertrag	Weniger als 300 kWh/m ² /Jahr. Auch an sehr sonnigen Tagen liegt der Wirkungsgrad unter 20%. Jährlich resultiert ein Ertragsverlust von fast 6'400 kWh, d.h. fast 40%.
Resultate der Fehler-Analyse	Der Solarregler speicherte nur von sehr wenigen Tagen die Messwerte korrekt auf der SD-Karte. Von den meisten Tagen fehlen die Messwerte sogar komplett. Die Fehler-Analyse detektierte an knapp 30% der vorhandenen Messtage einen deutlich tieferen Ertrag als erwartet und an fast 20% der Messtage Stagnation ohne Wärmebedarf.
Interpretation	Die Anlage weist ein Fehlverhalten mit hohem Ertragsverlust aus. Bei einer anschliessenden Begehung vor Ort wurde festgestellt, dass der Temperaturfühler für „Speicher 1 unten“ im Rücklauf statt im Speicher platziert war. Dies wurde behoben. Das Anlagenverhalten hat sich dadurch aber nicht gebessert. Es ist davon auszugehen, dass der Solarregler die Ursache für das Fehlverhalten ist. Entweder, weil er defekt ist, oder falsch parametrier ist, oder durch einen Umwelteinfluss gestört wird. Dies muss jetzt vom Solarregler-Lieferanten zusammen mit dem Installateur geklärt werden.

Resultate der Anlage „Hirz“

Steckbrief	Flachkollektor mit 14 m ² Aperturfläche Genutzt für Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung Ausrichtung: 20° Südwest Speichervolumen 1'600 Liter solar + konventionell beheizt
Gemessener Ertrag	531 kWh/m ² /Jahr. An sonnigen Tagen liegt der Wirkungsgrad bei 40% bis 50%.
Resultate der Fehler-Analyse	Die Fehleranalyse detektierte an 8% der Messtage ein Pendeln der Solarpumpe. Zusätzlich werden an jeweils weniger als 2% der Messtage andere Fehler detektiert, z.B. „Peak Kollektortemperatur bei Pumpenstart“ und „Ertrag tiefer als erwartet“.
Interpretation	Die Anlage funktioniert inzwischen wieder korrekt. Im August wurde eine Dachsanierung durchgeführt. Daraufhin drang Luft in die Anlage ein. Dies wurde vom Funktions-Check korrekt mit der Meldung „Ertrag tiefer als erwartet“ und „Peak Kollektortemperatur bei Pumpenstart“ detektiert. Der Fehler wurde nach wenigen Tagen behoben. Bei den Fehlermeldungen zum Pendeln der Solarpumpe handelt es sich um Falschalarme.

Resultate der Anlage „Hole“

Steckbrief	Flachkollektor mit 7 m ² Aperturfläche Genutzt für Brauchwassererwärmung Ausrichtung: 20° Südwest Speichervolumen 850 Liter solar + 850 Liter konventionell beheizt
Gemessener Ertrag	423 kWh/m ² /Jahr. An sonnigen Tagen liegt der Wirkungsgrad bei unter 20%. Der Anlagenenertrag liegt leicht unter den Erwartungen.
Resultate der Fehler-Analyse	Es wurden zwei verschiedene Fehler detektiert: <ul style="list-style-type: none"> - an knapp 40% der Messtage ist der Kollektor kälter als der Vorlauf - an 36% der Messtage ist der Ertrag tiefer als erwartet.
Interpretation	Es fällt auf, dass der gemessene Durchfluss immer lediglich 2 Liter/min beträgt, obwohl der Nenndurchfluss vom Installateur mit 3 Liter/min angegeben wird. Dies ist wohl der Grund dafür, dass der Anlagenenertrag tiefer als erwartet ausfällt. Es muss jetzt abgeklärt werden, ob der Durchfluss-Sensor defekt ist, oder ob bei der Anlage ein Problem vorliegt. An stark bewölkten Tagen sind die gemessenen Vor- und Rücklauf-temperaturen deutlich höher als die Kollektor- und die Speichertemperatur. Sie folgen dann fast dem Verlauf der Temperatur im oberen Teil des Speichers. Dies führt dann zur Fehlermeldung „Kollektor ist kälter als Vorlauf“. Der Grund dafür muss abgeklärt werden, liegt aber höchstwahrscheinlich in der Platzierung der Vor- und Rücklaufsenoren. Insgesamt ist davon auszugehen, dass die Anlage korrekt funktioniert und pro Jahr deutlich mehr als 420 kWh/m ² Wärme erzeugt. Die Fehler sind wohl bei defekten bzw. ungünstig platzierten Sensoren zu suchen.

Resultate der Anlage „Käfe“

Steckbrief	Flachkollektor mit 3.9 m ² Aperturfläche Genutzt für Brauchwassererwärmung Ausrichtung: 40° Südwest Speichervolumen 500 Liter solar + konventionell beheizt
Gemessener Ertrag	443 kWh/m ² /Jahr. An sonnigen Tagen liegt der Wirkungsgrad zwischen 25% bis 40%. Unter Berücksichtigung der Ausrichtung und Beschattung der Anlage ist dies ein gutes Resultat.
Resultate der Fehler-Analyse	Es wurden nur an ganz vereinzelt Messtagen Fehler detektiert. Am häufigsten mit 7% der Messtage die Meldung „Solarpumpe pendelt“.
Interpretation	Angesichts der Ausrichtung und Beschattung der Anlage ist der Ertrag ansprechend hoch. Schade, dass der Solarregler die Messdaten so lückenhaft speichert. Bei den Fehlermeldungen handelt es sich um Falschalarme.

Resultate der Anlage „ObMü“

Steckbrief	Röhrenkollektor mit 19.6 m ² Aperturfläche Genutzt für Brauchwassererwärmung Ausrichtung: 40° Südwest Speichervolumen 1'200 Liter solar + konventionell beheizt
Gemessener Ertrag	425 kWh/m ² /Jahr. Der Wirkungsgrad weist auch an sonnigen Tagen sehr hohe Schwankungen von 10% bis 40% auf und liegt im Jahreschnitt bei 32%. Für eine Röhrenkollektoranlage ist der Ertrag trotz der starken Westausrichtung recht tief. Es ist mit einem Optimierungspotential von bis zu 1'474 kWh/Jahr (17%) zu rechnen.
Resultate der Fehler-Analyse	Die Fehler-Analyse detektierte an 93% der Messtage einen Fehler. Es wurden folgende fünf Fehlermeldungen ausgegeben: <ul style="list-style-type: none"> - Vorlauf kälter als Rücklauf (11% der Messtage) - Kollektor kälter als Rücklauf (59% der Messtage) - Durchfluss trotz ausgeschalteter Pumpe (41% der Messtage) - Solarpumpe pendelt (15% der Messtage) - Ertrag tiefer als erwartet (15% der Messtage)
Interpretation	Bei der Anlage sind zwei Probleme aufgetreten. Der Fehler „Durchfluss trotz ausgeschalteter Pumpe“ entstand, weil der Durchflusszähler nicht korrekt geerdet war. Dies wurde Mitte März behoben. Seitdem ist der Fehler nicht mehr aufgetreten. Die anderen Fehler treten auf, weil der Kollektorfühler eine zu tiefe Temperatur misst. Da es sich um einen Röhrenkollektor handelt, ist der Kollektorfühler aussen am Kollektor angelegt und wird nicht von der Solarflüssigkeit umflossen. Bei einer Begehung im April wurde festgestellt, dass der Kollektorfühler nicht einmal am Kollektor befestigt, sondern nur unter dem Kollektor eingelegt war. Dies wurde zwar inzwischen behoben, aber die Kollektortemperatur wird immer noch einige °C zu tief gemessen. Dies führt häufig zum Pendeln der Solarpumpe und damit zu einem verzögerten Einschalten der Anlage. Es wird jetzt mit dem Installateur besprochen, ob beim Regler eine Röhrenkollektorfunktion aktiviert werden kann. Dies würde das Anlagenverhalten verbessern.

Resultate der Anlage „PeRo“

Steckbrief	Röhrenkollektor mit 7.8 m ² Aperturfläche Genutzt für Brauchwassererwärmung Ausrichtung: 90° Westen Speichervolumen 850 Liter solar + 850 Liter konventionell beheizt
Gemessener Ertrag	454 kWh/m ² /Jahr. An sonnigen Tagen liegt der Wirkungsgrad zwischen 35% bis über 40%. Unter Berücksichtigung der Ausrichtung der Anlage ist dies ein gutes Resultat.
Resultate der Fehler-Analyse	Es wurde nur an ganz vereinzeltten Messtagen der Fehler „Solarpumpe pendelt“ detektiert.
Interpretation	Angesichts der Ausrichtung der Anlage ist der Ertrag ansprechend hoch. Bei den Fehlermeldungen handelt es sich um Falschalarme.

Resultate der Anlage „Pump“

Steckbrief	Flachkollektor mit 31.6 m ² Aperturfläche Genutzt für Brauchwassererwärmung Ausrichtung: -5° Südosten Speichervolumen 1'500 Liter solar + 1'500 Liter konventionell beheizt
Gemessener Ertrag	476 kWh/m ² /Jahr. An sonnigen Tagen liegt der Wirkungsgrad zwischen 30% bis 40%.
Resultate der Fehler-Analyse	Es wurden an 71% der Messtage verschiedene Fehlermeldungen ausgegeben: <ul style="list-style-type: none"> - Kollektor kälter als Vorlauf (an 69% der Messtage) - Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf zu hoch (an 5% der Messtage) - Solarpumpe pendelt (an 27% der Messtage) - Ertrag tiefer als erwartet (an 10% der Messtage)
Interpretation	Die Messdaten und die Fehlermeldungen deuten darauf hin, dass die Kollektortemperatur nicht korrekt gemessen wird. Bei einer Begehung vor Ort stellte ein Mitarbeiter von IWB fest, dass die Kollektoren auf dem Flachdach von Pflanzen überwuchert waren. Diese wurden anschliessend gerodet. Trotzdem ist die Vorlauftemperatur immer noch um etwa 5°C höher als die Kollektortemperatur, was zu den oben erwähnten Fehlermeldungen führt. Seit dem Roden der Pflanzen tritt aber die Fehlermeldung „Ertrag tiefer als erwartet“ nicht mehr auf. Da die Anlage nach kurzem Pendeln jeweils anläuft und nicht in Stagnation geht, ist der daraus resultierende Ertragsverlust sehr gering.

Resultate der Anlage „Rose“

Steckbrief	Flachkollektor mit 12 m ² Aperturfläche Genutzt für Brauchwassererwärmung Ausrichtung: -20° Südosten Speichervolumen 1'500 Liter solar + 1'500 Liter konventionell beheizt
Gemessener Ertrag	264 kWh/m ² /Jahr. An sonnigen Tagen liegt der Wirkungsgrad zwischen 0% bis 30%. Der mittlere Wirkungsgrad beträgt 19%.
Resultate der Fehler-Analyse	Es wurden an 82% der Messtage verschiedene Fehlermeldungen ausgegeben: <ul style="list-style-type: none"> - Kollektor kälter als Vorlauf (an 16% der Messtage) - Durchfluss trotz ausgeschalteter Pumpe (an 52% der Messtage) - Solarpumpe pendelt (an 38% der Messtage)
Interpretation	Bei der Anlage sind zwei Probleme aufgetreten. Der Fehler „Durchfluss trotz ausgeschalteter Pumpe“ entstand, weil der Durchflusszähler nicht korrekt geerdet war. Dies wurde Mitte März behoben. Seitdem ist der Fehler nicht mehr aufgetreten. Die anderen Fehler treten auf, weil der Kollektorfühler falsch montiert ist. Er wird erst von der Solarflüssigkeit durchflossen, wenn die Solarpumpe einschaltet. Aus diesem Grund verzögert sich das Einschalten der Anlage an den meisten Tagen um mehrere Stunden. Um die Positionierung des Kollektorfühlers auf dem Steildach zu korrigieren müsste ein hoher Kran organisiert werden. Da dies sehr aufwendig wäre wird jetzt abgeklärt, ob die Anlage über den Vorlauftemperaturfühler anstatt über den Kollektorfühler gesteuert werden könnte.

Resultate der Anlage „Solo“

Steckbrief	Flachkollektor mit 18.3 m ² Aperturfläche Genutzt für Brauchwassererwärmung Ausrichtung: 0° Süden Speichervolumen 1'300 Liter solar + konventionell beheizt
Gemessener Ertrag	292 kWh/m ² /Jahr. Aufgrund der Messdaten ist davon auszugehen, dass der Durchflusszähler defekt ist. Der gemessene Ertrag ist somit zu tief. Tatsächlich liegt der Ertrag wohl eher bei ca. 470 kWh/m ² /Jahr.
Resultate der Fehler-Analyse	An 36% der Messtage wurde die Fehlermeldung „Ertrag tiefer als erwartet“ ausgegeben.
Interpretation	Der gemessene Ertrag ist deshalb deutlich tiefer als erwartet, weil der Durchflusszähler an fast allen Tagen nur lückenhaft zählt. Es gibt an sonnigen Tagen jeweils mehrere Stunden, während denen die Solarpumpe in Betrieb ist, der Durchflusszähler aber praktisch keinen Durchfluss misst. Die Speichertemperatur nimmt während diesen Stunden jeweils linear mit der Kollektortemperatur zu. Es ist deshalb davon auszugehen, dass der Durchflusszähler defekt ist und die Anlage korrekt läuft.

Diskussion / Würdigung der Ergebnisse / Erkenntnisse

Die Ergebnisse werden in derselben Reihenfolge diskutiert, wie in den Kapiteln Ergebnisse / Erkenntnisse zum Funktions-Check und Resultate Testanlagen die Resultate des Projekts vorgestellt wurden:

Eingesetzte Hardware

Es zeigte sich, dass die eingesetzte Hardware problemlos, und praktisch ohne Zusatzaufwendungen installierbar ist. Allerdings nur, wenn alle Komponenten bereits beim Bau der Anlage eingebaut werden. Dies ist bei den Anlagen der Fall, die von Ernst Schweizer AG betreut werden. Bei allen Anlagen, die von Ernst Schweizer AG analysiert wurden, hat sich die eingesetzte Hardware sehr bewährt. Ernst Schweizer AG musste bei keiner einzigen Anlage Hardware-Installationen vornehmen. Bei allen Anlagen waren bereits geeignete Regler mit Speicherkarte, Durchflusszähler sowie Vor- und Rücklaufsensoren vorhanden und funktionierten. Der Funktions-Check konnte deshalb ohne Installationskosten sofort durchgeführt werden.

Müssen hingegen bei einer Anlage, welche bereits in Betrieb ist, die nötigen Komponenten eingebaut und allenfalls sogar Solarregler ausgetauscht werden, ist dies aufwendig und fehleranfällig. Umso mehr, wenn die vorhandene Hardware bei den Anlagen nicht einheitlich ist, sondern verschiedenste Solarregler und Durchflusszählertypen eingesetzt werden. Bei vier der 10 Testanlagen ergaben sich Probleme mit dem Durchflusszähler, bei zwei Anlagen mit dem Solarregler und bei zwei Anlagen mit der Positionierung der Vor- und Rücklauffühler. Wenn IWB in Zukunft weitere Solaranlagen mit diesem System überwachen möchte, gilt es folgendes zu beachten:

- bereits beim Bau einer Solaranlage sollte ein Solarregler mit SD Speicherkarte, ein Durchflusszähler und ein Vor- und Rücklauffühler eingebaut werden.
- Spätestens wenige Wochen nach Inbetriebnahme muss mit dem Funktions-Check überprüft werden, ob die eingesetzten Komponenten korrekt funktionieren. Insbesondere die Messung des Durchflusszählers muss plausibilisiert werden.
- Bei neuen Anlagen werden die Vor- und Rücklauffühler als Tauchhülse im Vorlauf bzw. Rücklauf montiert. (Keine Rohranlegefühler)
- Falls nachträglich bei einer Anlage die Hardwarekomponenten eingebaut werden, muss ebenfalls kurz nach dem Einbau eine Überprüfung aller Messdaten mit dem Funktions-Check erfolgen.
- Werden die Vor- und Rücklaufsensoren nachträglich als Anlegesensoren angebracht, müssen geeignete Anlegefühler eingesetzt werden, keine Tauchrohrfühler.

Kenndaten im Funktions-Check erfassen

Die Erfassung aller nötigen Kenndaten für die Anlagen ist komplex. Es sind sehr viele und detaillierte Angaben nötig, um die Fehler-Analysen im gewünschten Detaillierungsgrad durchführen zu können. Für Firmen wie z.B. Ernst Schweizer AG ist die Eingabe dieser Kenndaten kein Problem. Sie nehmen die Anlage selbst in Betrieb. Sie haben gut ausgebildetes Servicepersonal. Und alle ihre Anlage werden typischerweise mit denselben Parametern betrieben.

Für Anlagenbetreiber wie IWB ist die Erfassung der Anlagen hingegen sehr aufwendig. Die notwendigen Angaben zu den Anlagen sind oft nicht vorhanden. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn eine bestehende Anlage nachträglich mit dem Monitoring ausgerüstet wird. Die Anlagendokumentation ist meistens zu wenig ausführlich, um alle nötigen Angaben zu liefern.

Dieses Pilotprojekt zeigte aber auch, dass sehr viele Anlagenparameter während dem Betrieb vom Funktions-Check selbst herausgefunden werden können. So z.B. die Einschalt- und Ausschalt-Temperaturdifferenz und die maximale Speichertemperatur. In einer Weiterentwicklung des Funktions-Checks wäre es also wohl möglich, die Anzahl der nötigen Anlagenparameter deutlich zu reduzieren. Sehr viele Anlagenparameter werden ausserdem allein für die Berechnung des Referenzertrags benötigt. So z.B. Wirkungsgrad, a_1 und a_2 des Solarkollektors. Dieses Pilotprojekt hat gezeigt, dass die Berechnung des Referenzertrags mit dem aktuellen Verfahren problematisch ist. Es ist sinnvoll, für

den Referenzertrag ein einfacheres, robusteres Berechnungsmodell zu suchen. Dieses benötigt dann vermutlich auch deutlich weniger detaillierte Angaben zur Solaranlage. (siehe Abschnitt „Berechnung Referenzertrag“ weiter unten).

Für zukünftige Benutzer des Funktions-Checks hilfreich wäre ausserdem ein vorgefertigtes Abnahmeprotokoll, in welches der Installateur alle benötigten Anlagenparameter eintragen kann.

Manueller Datenimport von SD Karte

Der manuelle Datenimport hat den grossen Vorteil, dass keine Hardware für die Datenübertragung installiert werden muss. Es fallen auch keine Internet- oder andere Übertragungsgebühren an. In diesem Projekt zeigte sich aber, dass der manuelle Datenimport für die laufende Überwachung einer Solaranlage und für die Optimierung von Fehlverhalten nicht geeignet ist. Zwischen zwei manuellen Auslesungen vergehen meistens einer bis mehrere Monate. Wenn bei einer Anlage ein Fehler auftritt, wird dies also erst mehrere Monate später detektiert. Und wenn eine Anlage optimiert wird, stellt man ebenfalls erst einige Monate später fest, ob die Massnahme erfolgreich war. Wenn kein Anlagenbesitzer vor Ort ist, wie bei IWB, ist der Aufwand für das Einsammeln der SD-Karten enorm. Die Kosten für den Einbau einer Hardware mit Datenübertragung würden sich dann bereits nach wenigen Ablesungen amortisieren.

Plausibilitäts- und Vollständigkeits-Check

Der Plausibilitäts- und Vollständigkeits-Check hat sich als sehr hilfreich erwiesen. Bei fast allen Testanlagen traten Datenlücken und teilweise auch unplausible Messwerte auf. Dank diesem Check war sofort klar, an welchen Tagen komplette und plausible Messdaten vorliegen. Damit konnte die Fehleranalyse sich auf diese Messtage konzentrieren.

Berechnung Referenzertrag

In der aktuellen Version des Funktions-Checks wird der Referenzertrag in Minutenschritten unter Berücksichtigung von Wetterdaten wie auch von Anlagenmesswerte berechnet.

Die Gesamtauswertung des Anlagenenertrags hat gezeigt, dass der Referenzertrag bei den meisten Anlagen um maximal +/- 10% vom gemessenen Ertrag abweicht. Bzw. dass grössere Abweichungen durch Anlagenprobleme oder defekte Sensoren erklärt werden können.

Ein grosses Problem bei der Berechnung des Referenzertrags ist aber, dass er von Messdaten der Solaranlage selbst abhängt. Wenn diese Messwerte (z.B. die Vorlauftemperatur) nicht korrekt erfasst werden, stimmt auch der Referenzertrag nicht. So wurde z.B. für die Anlage „Rose“ ein Referenzertrag von lediglich 157 kWh/m²/Jahr berechnet. Dies, weil die Kollektortemperatur nicht richtig gemessen wird und damit die Anlagenlaufzeit für den Referenzertrag entsprechend auch nicht korrekt berechnet wird.

Ein weiteres Problem bei der Berechnung des Referenzertrags ist die hohe zeitliche Auflösung. Die Messwerte der Solaranlage müssen zeitlich sehr genau mit den Wetterdaten übereinstimmen. Eine Verschiebung von einer Stunde, z.B. weil der Solarregler Sommerzeit und die Wetterdaten Winterzeit haben, führt zu einer sehr hohen Abweichung im Referenzertrag.

Eine Möglichkeit für eine robustere Berechnung des Referenzertrags in Zukunft wäre z.B.:

- Der Referenzertrag wird nur noch in Tages-Auflösung berechnet (Tagessumme)
- Die Berechnung erfolgt allein anhand der Einstrahlung, des Kollektortyps und der Nutzung der Solaranlage. Z.B. mit einem fixen Wirkungsgrad von 35% für Flachkollektoren und 40% für Röhrenkollektoren sowie Anlagen für die Heizungsunterstützung.
- Tagessumme der Einstrahlung auf die Kollektorebene x fixer Wirkungsgrad = Referenzertrag

Abb. 8-7 zeigt, dass dies zumindest für die gut funktionierende Anlage „PeRo“ ein sehr robuster Ansatz wäre. Ob dies generell eine geeignete Möglichkeit wäre um den Referenzertrag abzuschätzen, müsste genauer evaluiert werden.

Ein weiterer Vorteil dieser Methode wäre, dass deutlich weniger Anlagenparameter bekannt sein müssen. Das würde die Erfassung einer Anlage im Funktions-Check vereinfachen.

Algorithmen zur Funktions-Prüfung

Es wurden insgesamt über 90 verschiedene Berechnungen von Kennzahlen und Funktions-Prüfungen implementiert. Diese Kennzahlen und die Resultate der Fehler-Analyse sind für das Servicepersonal äusserst nützlich, um Anlagenfehler zu detektieren und Ursachen für das Fehlverhalten herauszufinden. Ernst Schweizer AG hat während der Projektlaufzeit zusätzlich zu den 10 Testanlagen fast 40 Anlagen ihrer Kunden mit dem Funktions-Check analysiert. Die Mitarbeiter von Ernst Schweizer AG bestätigen, dass die Funktions-Analyse sehr zuverlässig funktioniert und die Auswertung von Anlagen deutlich vereinfacht.

Bei der Untersuchung der 10 Testanlagen hat sich ebenfalls gezeigt, dass die Fehler-Analysen sehr zuverlässig arbeiten. Einzig die Analyse „Solarpumpe pendelt“ führt noch in etwa 5% der Fälle zu Fehlalarmen. Allerdings sind bei den 10 Testanlagen (zum Glück) nicht alle getesteten Fehler aufgetreten. Ob z.B. die Funktions-Analyse „nächtliche Rückkühlung über Kollektoren“ korrekt funktioniert, konnte nicht geprüft werden. Dazu müsste zuerst eine Solaranlage mit diesem Verhalten analysiert werden.

Ebenfalls noch ausstehend ist die Entwicklung von Funktions-Analysen für komplexere Anlagensysteme. Zur Zeit wird allein der Solarkreislauf einer Anlage mit genau einem Speicher, einem Kollektorfeld und ohne weitere Komplexität überprüft. Für Solaranlagen mit Zonenbeladung, mehreren Speichern, externem Wärmetauscher, Schwimmbad etc. müssten zusätzliche Funktions-Analysen entwickelt werden.

Resultate Testanlagen

Der Jahresertrag der 10 Testanlagen liegt zwischen 264 bis 531 kWh/m²/Jahr. So unterschiedlich wie der Ertrag sind auch die Auswertungen und Fehler-Analysen ausgefallen. Während des Projekts wurde festgestellt, dass es nicht genügt, nur nach Fehler im Anlagenverhalten zu suchen. Mindestens ebenso wichtig ist es, Fehler in der Datenerfassung und in der Mess-Sensorik zu detektieren. Denn wie Tabelle 6 zeigt, treten diese leider häufig auf. Bei zwei der 10 Testanlagen funktionierte die Speicherung der Messdaten auf dem Solarregler nicht korrekt. Die Messdaten wurden nur sehr lückenhaft abgelegt. Bei fünf weiteren Anlagen traten Probleme mit der Ertragsmessung auf. Bei vier dieser Anlagen ist das Problem auf den Durchflusszähler zurückzuführen. Und bei mindestens drei dieser Anlagen lag das Problem bei der Installation und nicht bei einem Hardware-Defekt.

Tab. 6: Überblick über die Resultate der Fehler-Analysen bei den 10 Testanlagen

Legende:

Grün + ok = kein Fehler detektiert

gelb = Fehler detektiert. Konnte bis Projektende behoben oder zumindest entschärft werden

rot = Fehler detektiert. Konnte noch nicht behoben werden

Installation = Fehler wurde bei der Installation verursacht

Hardware = Fehler aufgrund Hardware-Defekt

Betrieb = Fehler trat während dem Betrieb auf

	Daten-speicherung	Ertragsmessung (Durchfluss, VL, RL)	Anlagenverhalten
Käfe	Hardware	ok	ok
Pump	ok	ok	Installation + Betrieb
Hard	Hardware	ok	Hardware?
PeRo	ok	ok	ok
ObMü	ok	Installation	Installation
Hirz	ok	ok	Installation
Frob	ok	Installation	ok
Rose	ok	Installation	Installation
Solo	ok	Hardware	ok
Hole	ok	Hardware?	ok

Bei fünf der 10 Testanlagen wurde ein ertragsrelevantes Fehlverhalten detektiert. Bei einer Anlage wurde das Problem innerhalb weniger Tage behoben. Bei zwei Anlagen konnte das Fehlverhalten

deutlich entschärft werden, so dass der Ertragsverlust nun nur noch sehr klein ist. Bei zwei weiteren Anlagen konnte das Fehlverhalten noch nicht behoben werden. Bei diesen zwei Anlagen liegt der jährliche Ertragsverlust bei ca. 40%.

Insgesamt war nur bei einer Anlage alles in Ordnung. Von den 12 detektierten Problemen konnten nur drei klar auf einen Hardware-Fehler zurückgeführt werden. In mindestens sieben Fällen wurde das Problem durch eine unsachgemässe Installation verursacht. Bei den Durchflusszählern liegt dies evtl. daran, dass Installateure sich deren Installation nicht gewohnt sind. Ausserdem war die Installationsanleitung unvollständig. Die detektierten Fehlverhalten der Solaranlagen sind zu einem grossen Teil auf nicht korrekt montierte oder platzierte Temperaturfühler, insbesondere Kollektorfühler zurückzuführen. Da dieses Projekt nur 10 Testanlagen umfasst ist nicht klar, ob dies eine zufällige Verteilung ist. Bei den untersuchten Anlagen war es sehr schwierig, Probleme am Kollektorfühler zu beheben, da die Kollektoren nicht ohne weiteres zugänglich sind. Um einen defekten Kollektorfühler auszutauschen müsste in zwei Fällen ein Gerüst oder ein grosser Kran organisiert werden.

Schlussfolgerungen, Ausblick, nächste Schritte

Dieses Pilotprojekt hat aufgezeigt, dass das Monitoring von Solarthermie-Anlagen viele Vorteile mit sich bringt. Bei fünf der 10 Testanlagen wurde ein ertragsrelevantes Fehlverhalten detektiert. Und dies teilweise mit gravierenden Ertragsausfällen von mehreren tausend kWh pro Jahr.

Die Algorithmen des Funktions-Checks haben sich sehr bewährt, sie konnten bei allen fünf fehlerhaften Anlagen das Fehlverhalten zuverlässig detektieren.

Das Pilotprojekt hat ebenfalls aufgezeigt, dass die Ertragsmessung bei Solarthermie-Anlagen problematisch ist. Besonders bei den Durchflusszählern traten in diesem Projekt verschiedene Probleme auf. Dadurch war logischerweise die Ertragsmessung nicht korrekt. Auch die Probleme mit den Durchflusszählern wurden vom Funktions-Check zuverlässig erkannt.

Die Erfahrungen in diesem Pilotprojekt zeigen, dass der Funktions-Check verschiedenste wichtige Aufgaben erfüllt:

- Monitoring der korrekten Funktion der Anlage im Betrieb
- Überprüfen der korrekten Installation der Anlage
- Monitoring und Ausweis des Anlagenertrags
- Plausibilitätsprüfung des Anlagenertrags und Prüfung der Ertragsmessung

Damit stellt der Funktions-Check sicher, dass:

- die Anlage korrekt installiert wurde
- die Anlage korrekt funktioniert
- die Ertragsmessung korrekt funktioniert
- die Anlage den erwarteten Ertrag liefert
- bei der Anlage keine Folgeschäden aufgrund von kleinen Mängeln zu erwarten sind

Damit ist der Funktions-Check eine Versicherung gegenüber dem Endkunden, dass die Anlage korrekt und richtig funktioniert. Er schafft auch für den Lieferanten und den Installateur Transparenz und die Sicherheit, dass bei der Anlage nicht mit Folgeschäden und Haftungsfällen gerechnet werden muss. Bei mehreren Testanlagen wurden z.B. Probleme mit den Kollektorfühlern detektiert. Diese Probleme führen dazu, dass die Anlage regelmässig in Betrieb ist obwohl die Solarflüssigkeit bereits in Dampf übergegangen ist und dass die Anlage sehr häufig in Stagnation geht. Wenn dieses Problem lange nicht erkannt wird, kann dies zu Schäden am Kollektor führen. Und damit zu einem Totalausfall der Anlage, sowie einem unschönen Garantiefall für den Installateur oder Lieferanten.

Sobald der Funktions-Check für eine grössere Anzahl Anlagen eingesetzt wird, können statistische Auswertungen der Resultate ausserdem noch zu weiteren Nutzen führen:

- Lieferanten können zahlreich auftretende Fehlerquellen durch optimierte Produkte und Installationsanleitungen minimieren. Das Pilotprojekt zeigt z.B., dass bereits vorinstallierte Kollektorfühler evtl. dazu beitragen würden, die Qualität der Anlagen zu erhöhen
- Installateure können in Aus- und Weiterbildungen gezielt auf häufig auftretende Probleme hingewiesen werden

Ausblick

Dieses Pilotprojekt hat aufgezeigt, dass für das Monitoring von Solarthermie-Anlagen in mindestens drei Bereichen noch grosses Entwicklungspotential aufweist:

1. Hardware: Messgeräte, Sensoren und Datenübermittlung
2. Software: Weiterentwicklung der Analysen
3. Marktakzeptanz und Verbreitung

Diese drei Punkte werden im Folgenden kurz diskutiert:

1. Hardware: Messgeräte, Sensoren und Datenübermittlung
In der aktuellen Version des Funktions-Checks müssen die Messdaten manuell auf das Webportal hochgeladen werden. Es hat sich gezeigt, dass dies nur für einen einmaligen Check, aber nicht für ein permanentes Monitoring geeignet ist. In Zukunft müssen die Messdaten automatisch von der Anlage an den Funktions-Check übermittelt werden. Dazu wurde bereits ein Projekt mit der BFE-Verfügungsnummer SI/501085-01 gestartet. In diesem Projekt wird eine externe Hardware entwickelt, welche die Datenmessung und Übermittlung vornimmt. In diesem neuen BFE-Projekt werden nicht die Messdaten vom Solarregler genutzt, sondern weitere, unabhängige Sensoren installiert.
Ein anderer Ansatz besteht darin, dass die Solarregler internetfähig werden und ihre internen Messdaten automatisch übermittelt werden können. Bei verschiedenen Systemlieferanten bestehen Bestrebungen in diese Richtung.
2. Software: Weiterentwicklung der Analysen
Obwohl die Funktions-Analysen bereits sehr zuverlässig funktionieren, gibt es auch hier noch Optimierungspotential. Dieses Projekt hat aufgezeigt, dass die Berechnung des Referenzertrags noch nicht zuverlässig funktioniert und unbedingt robuster gemacht werden sollte. Ausserdem ist der Funktions-Check bisher erst für ganz einfache Anlagen geeignet. Der Funktions-Check sollte weiter entwickelt werden, so dass er auch Anlagen mit mehreren Speichern, mit Zonenbeladung, mit einem externen Wärmetauscher oder mit Schwimmbad analysieren kann.
3. Marktakzeptanz und Verbreitung
Das Monitoring von Solarthermieanlagen ist zur Zeit noch weitgehend Neuland, und das sowohl bei den Kunden wie auch bei den Systemlieferanten und den Installateuren. Besonders bei den Installateuren bestehen grosse Vorbehalte. Es besteht die Befürchtung, dass das Monitoring zu einem hohen Zusatzaufwand führt, der nicht verrechnet werden kann. Ausserdem befürchten wohl auch einige Installateure, dass die Endkunden unzufrieden mit ihrer Anlage werden, wenn Fehler erkannt werden. Hier ist noch viel Aufklärungsarbeit zu leisten. Ausserdem sollten besonders für Installateure auch Hilfestellungen entwickelt werden. So z.B. Merkblätter und Anleitungen für die korrekte Durchführung eines Monitorings. Darin sollte aufgeführt sein, welche Komponenten installiert werden müssen, worauf bei der Installation zu achten ist etc. Sowohl Installateuren wie auch Lieferanten sollte ausserdem in Weiterbildungen und/oder Merkblättern aufgezeigt werden, wie das Monitoring-Angebot wirtschaftlich erfolgreich genutzt werden kann. So ist z.B. das Geschäftsmodell für die Installateure und Lieferanten noch unklar. Wie soll ein Monitoring- bzw. Servicevertrag mit dem Kunden aussehen? Welche Leistungen sind darin enthalten? Was und wann wird dem Kunden etwas verrechnet? Bei welchen Fehlermeldungen muss / soll reagiert werden? (Nur wenn ein ernsthafter Ertragsverlust oder Anlagenschaden droht? Oder auch bei „Unschönheiten“ wie z.B. Pendeln der Solarpumpe, die zu geringem Ertragsverlust führen) Wie sollen „Fehlermeldungen“ dem Kunden kommuniziert werden?

Dieses Pilotprojekt hat aufgezeigt, dass ein Monitoring von Solarthermie-Anlagen grossen Nutzen mit sich bringt. In der Praxis wird sich das Monitoring aber nur durchsetzen, wenn die Monitoring-Lösungen in diesen drei Bereichen wirtschaftliche und zuverlässige Lösungen anbieten können.

Referenzen

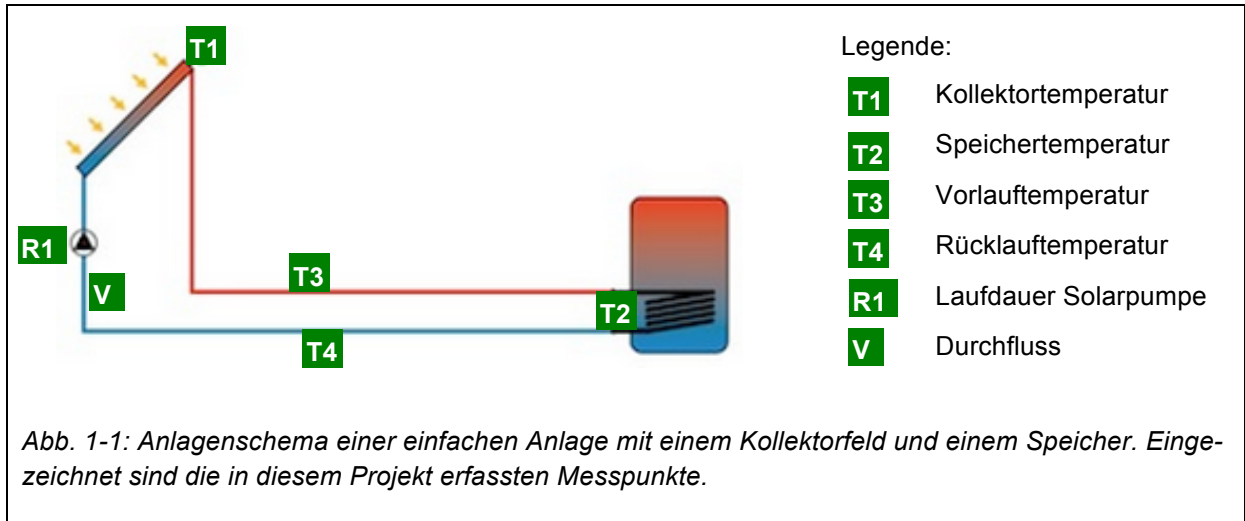
[1] Dipl. Ing. (FH) Bernd Sitzmann. Qualitätsprüfung thermische Solaranlagen 2013. Für Kantone Basel-Stadt (Amt für Umwelt und Energie) und Basel-Landschaft (Amt für Umweltschutz und Energie); 2013; Seiten 7-15

[2] Keizer, A.C. de, Küthe, S., Jordan, U., Vajen, K.: Simulation-based long-term fault detection for solar thermal systems, Solar Energy, 22.05.2013

Anhang

1. Print Screens Funktions-Check



Die folgenden PrintScreens zeigen die wichtigsten Seiten des Funktions-Checks Webportals für die Service-Ebene.



egon Anlagen-Übersicht Endkunden Mein Konto

Angemeldet als **Solarprofi** [abmelden](#)

[neue Anlage hinzufügen](#)

Name	PLZ	Ort	Aperturfläche	Installations-Datum	neuster Messwert	letzte Aktualisierung	Kommissions-Nr.
 Anlage Muster Musterstrasse 1	1234	Musterort	5 m2	2010-04-06	2014-03-20	2014-03-20	
 Anlage IWB Margarethenstr. 40	4002	Basel	8 m2	2000-01-01	2014-03-20	2014-03-20	

Egon AG | General Wille-Str. 59 | 8706 Feldmeilen | +41 (0)58 680 20 05 | sandra.stettler@egonline.ch | www.egonline.ch

Abb. 1-2: Einstiegsseite des Funktions-Checks mit Anlagenübersicht und der Möglichkeit, neue Anlagen zu definieren.

StandortName Adresse PLZ / Ort Breitengrad Längengrad Höhe über Meer Kommissions-Nr. Ausrichtung Neigung Installations-Datum **Speicher**

Speicher 1

Speicher 2

Endkunden

Endkunden

Abb. 1-3: Formular zum Erfassen eines neuen Anlagenstandorts.

Egon AG: Zeitreihe erfassen und bearbeiten

Parameter sind gültig ab dem

Kommentar

Solarkollektor

Typ Solarkollektor

Anzahl Kollektoren

Solarregler

Solarregler-Typ

Abb. 1-4: Formular 1 von 3 zum Erfassen der Anlagenparameter. Mit Hilfe von „Zeitreihen“ ist es möglich, mehrere Parametersätze für eine Anlage zu definieren. Damit können z.B. die Anlageneigenschaften vor- und nach einer Optimierung separat erfasst werden.

Anlagenschema

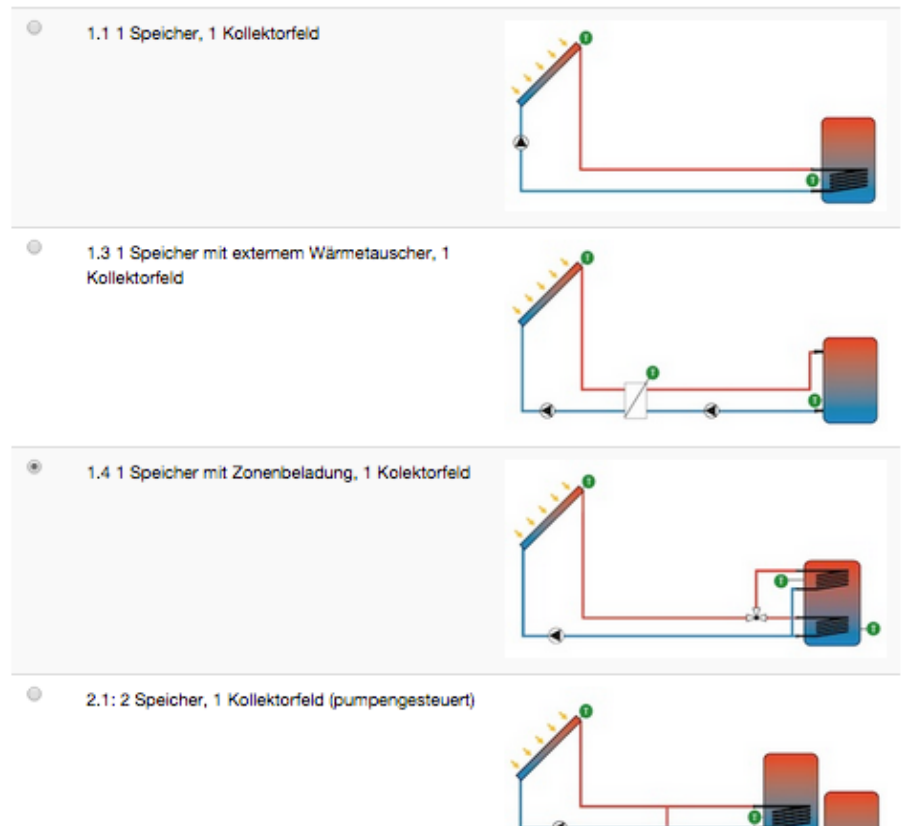


Abb. 1-5: Formular 2 von 3 zum Erfassen der Anlagenparameter.: Auswahl des Anlagenschemas

Anlagen-Parameter

Nenn-Volumenstrom Kollektorkreis	991L/h	↕	= 62 L/h/m ²
Maximale Temperatur Kollektor	120°C	↕	
Wieder-Einschalttemperatur nach Stagnation	90°C	↕	
Einschaltdifferenz Solarkreis	8°C	↕	
Ausschaltdifferenz Solarkreis	4°C	↕	
Maximale Temperatur Speicher unten	65°C	↕	
Maximale Temperatur Speicher Zonenbeladung	60°C	↕	
Priorität Speicherladung	Speicher 1 unten	↕	
Sommerzeit-Umschaltung	aktiv	↕	
Stagnationsreduzierung	aktiv	↕	
minimale Speichertemperatur für Nacht-Rückkühlung	nicht aktiv	↕	

Zuordnung der Sensoren

Kollektorfeld	T1[C]	↕
Speicher 1 unten	T2[C]	↕
Speicher 1 oben	T3[C]	↕
Solarkreispumpe	R1[%]	↕

Abb. 1-6: Formular 3 von 3 zum Erfassen der Anlagenparameter: Definition der Reglereinstellungen und Zuordnung, welche Messdaten unter welchem Namen geloggt werden.

Anlage Muster

Vorhandene Messdaten

2010										2012																														2014									
Januar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31																		
Februar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28																					
März	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31																		
April	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																			
Mai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31																		
Juni	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																			
Juli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31																		
August	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31																		
September	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																			
Oktober	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31																		
November	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																			
Dezember	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31																		

Legende: keine Messwerte Messwerte lückenhaft Messwerte nicht plausibel Messwerte korrekt

Messwerte importieren

Beachte: Beim Import werden bestehende Werte nicht überschrieben. Falls dies gewünscht ist, bitte zuerst die entsprechenden Daten löschen.

Zip-Datei Keine ausgewählt

Messwerte löschen

von
bis

Abb. 1-7: Seite für den Import und das Löschen von Messdaten. Inkl. grafischer Anzeige, für welchen Zeitraum Messdaten hochgeladen wurden.

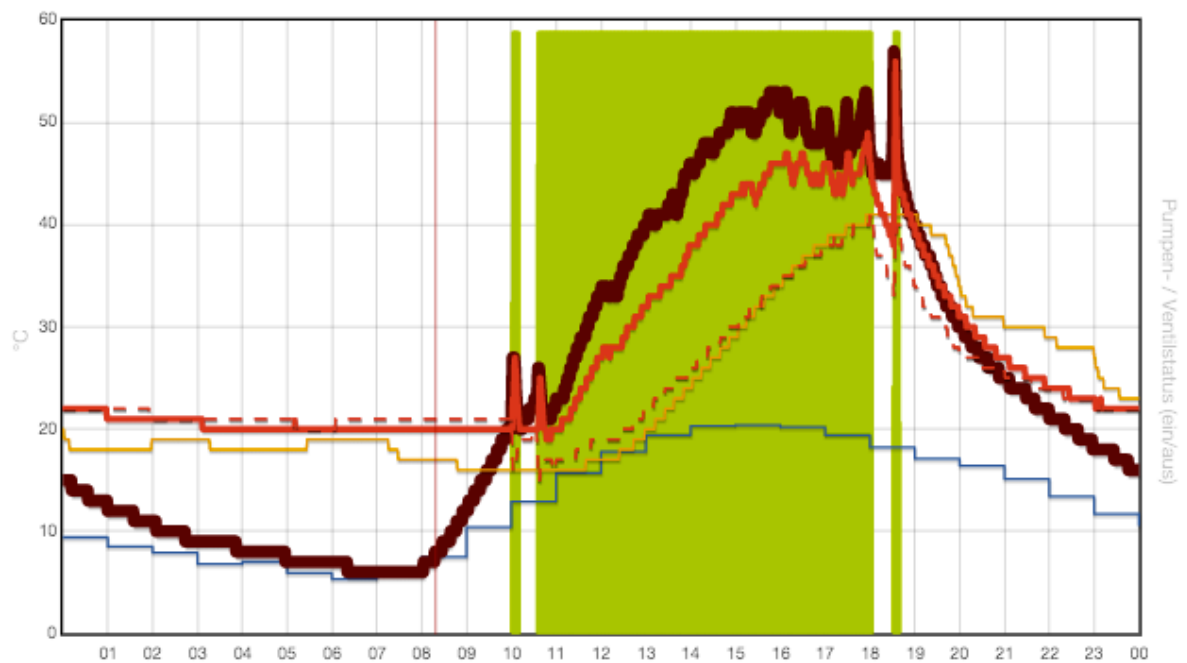
Anlage IWB

Zeitauflösung ☒ maximal ☐ Tage ☐ Monate ☐ Jahre

Grafik ☐ Kollektorsertrag ☒ Temperaturen

zusätzliche Messwerte

Datum



Legende

- Solarkreispumpe = aus
- Aussenluft = 8 °C
- Kollektorfeld = 8 °C
- Speicher 1 unten = 17 °C
- Vorlauf ("heiss") = 20 °C
- Rücklauf ("kalt") = 21 °C
- Vorlauf ("heiss") (°C)
- Rücklauf ("kalt") (°C)

Abb. 1-8: Darstellung der gemessenen Temperaturen und Pumpenlaufzeit an einem Tag

Anlage IWB

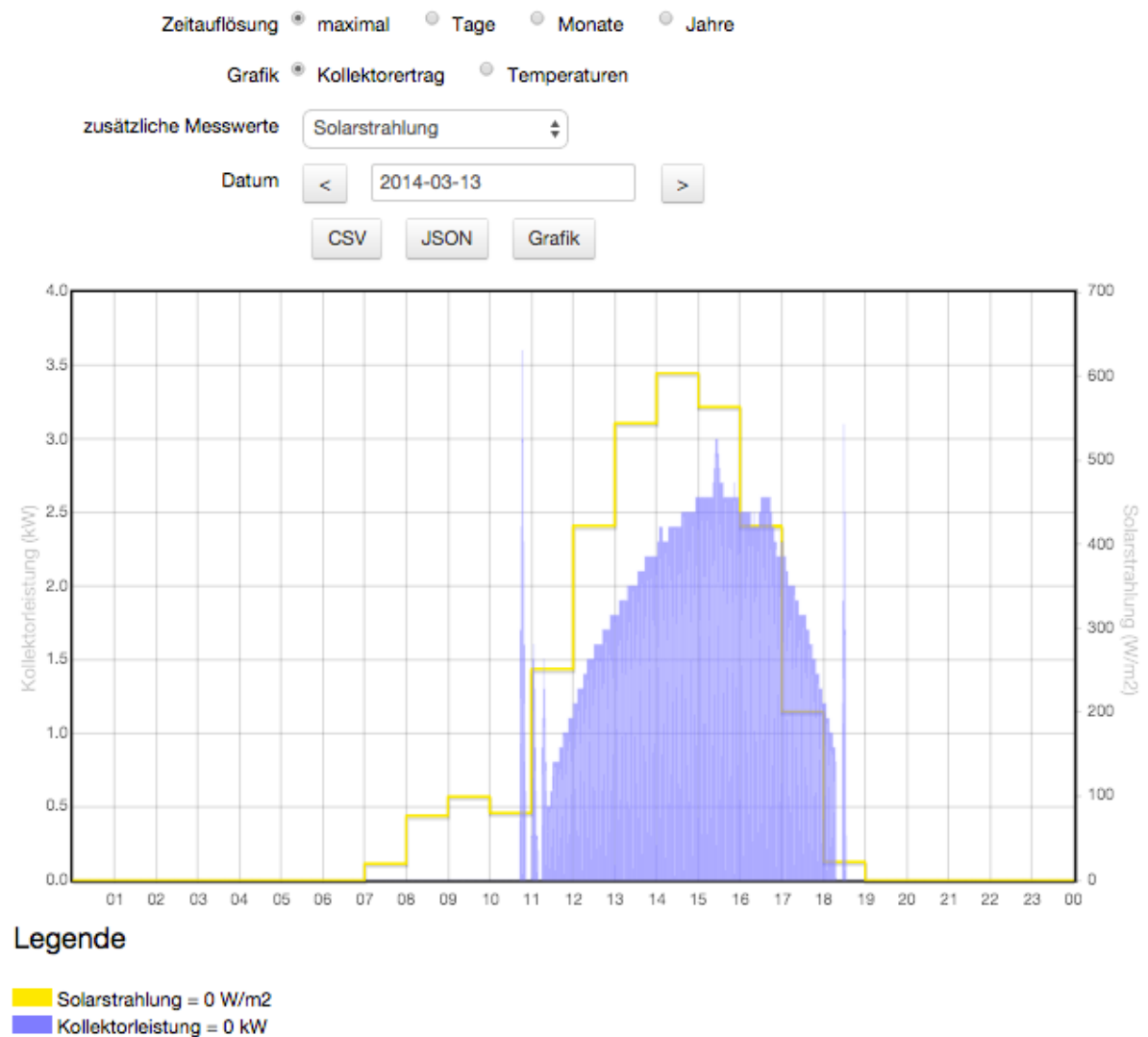


Abb. 1-9: Darstellung des gemessenen Ertrags und der Sonneneinstrahlung an einem Messtag

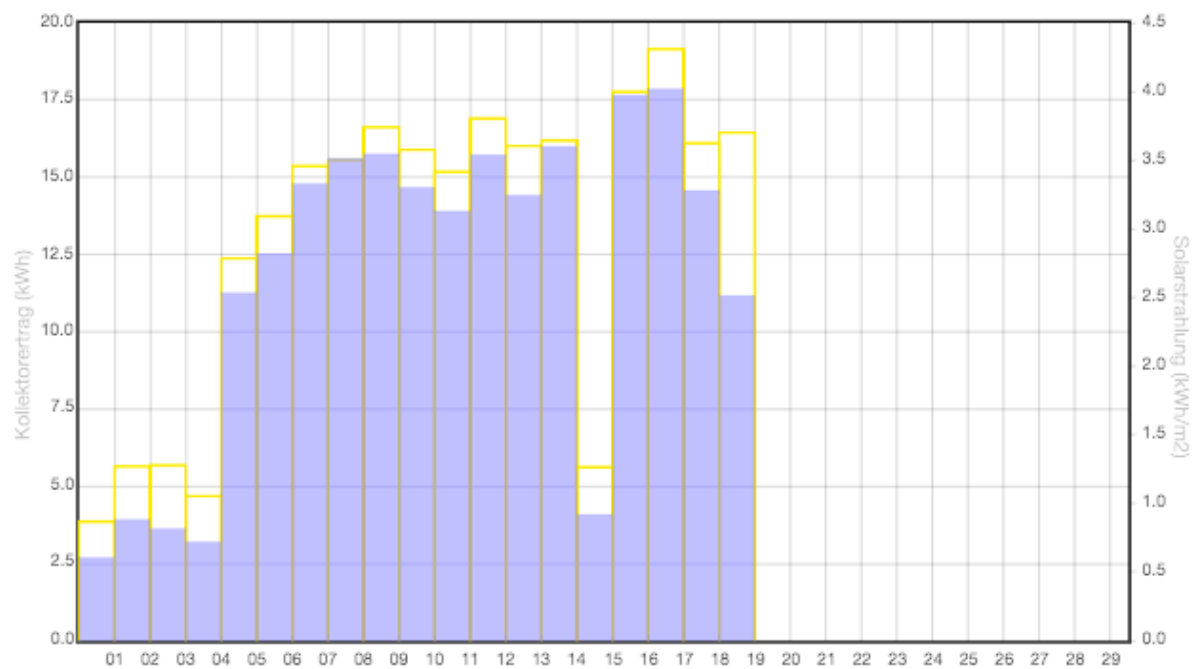
Anlage IWB

Zeitaufösung ☐ maximal ☒ Tage ☐ Monate ☐ Jahre

Grafik ☒ Kollektorertrag ☐ Temperaturen

zusätzliche Messwerte

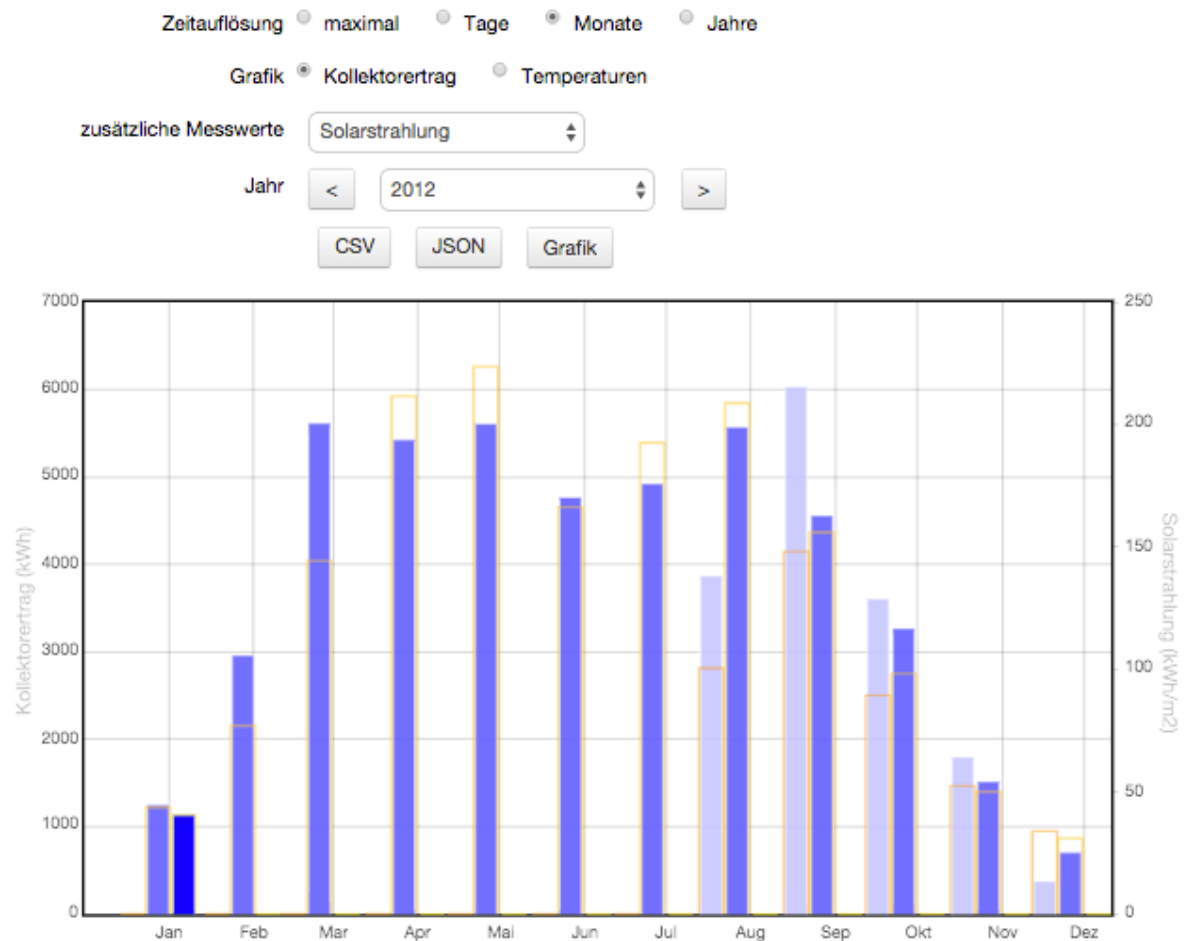
Monat / Jahr



Legende

- Solarstrahlung (kWh/m²)
- Ertrag gemessen (kWh)

Abb. 1-10: Darstellung der Tagessummen von Einstrahlung und gemessenem Ertrag im März 2014



Legende

- Kollektorertrag 2010 (kWh)
- Kollektorertrag 2011 (kWh)
- Kollektorertrag 2012 (kWh)
- Solarstrahlungs-Intensität 2010 (kWh/m²)
- Solarstrahlungs-Intensität 2011 (kWh/m²)
- Solarstrahlungs-Intensität 2012 (kWh/m²)

Abb. 1-11: Darstellung der Monatssummen von Ertrag und Sonneneinstrahlung. Auf derselben Grafik werden bis zu 3 Jahre angezeigt.

< 2014 >																															
Januar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Februar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28			
März	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
April	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Mai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Juni	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Juli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
August	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
September	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Oktober	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
November	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Dezember	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31

Legende: keine Messwerte Messwerte lückenhaft Messwerte nicht plausibel Messwerte korrekt Anlagen-Fehler

Abb. 1-12: Grafische Übersicht über die Analyse-Resultate. Durch „Klicken“ auf den gewünschten Tag erfährt man Details zu den Analysen.

< 9. Aug 2014 >	
Solarpumpe pendelt	Fehler ?

Abb. 1-13: Information, welches Fehlverhalten am 9. Aug. 2014 bei dieser Anlage aufgetreten ist.

< 9. Aug 2014 >	
Temperaturfühler Kollektor ist am Eingang statt am Ausgang	Fehler ?
Speicherfühler am RL-Rohr statt im Wasser positioniert	
Speicherfühler oberhalb des Wärmetauschers	

Abb. 1-14: Information, welche Ursachen am 9. Aug. 14 bei dieser Anlage zum detektierten Fehlverhalten geführt haben können.


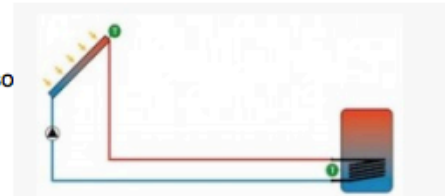
< 9. Aug 2014 >				
Typ	Diverses	Einheit	9. Aug 2014	
ok	Qualität der Messdaten		Messwerte korrekt	
Info	Solarstrahlung	kWh/m2	6.1	
Info	Mittlere Aussentemperatur	°C	20.4	
Typ	Kollektorkreis	Einheit	9. Aug 2014	
Info	Mittelwert Kollektortemperatur	°C	58.9	
Info	Mittelwert Speichertemperatur	°C	45.7	
Info	Temperaturmittelwert Vorlauf ("heiss")	°C	53.9	
Info	Temperaturmittelwert Rücklauf ("kalt")	°C	44.1	
Info	Differenz Vorlauf-Temperatur ("heiss") - Rücklauf-Temperatur ("kalt")	°C	9.8	
Info	Differenz Kreislauf - Speicher	°C	3.3	
Info	Differenz Kollektor - Vorlauf ("heiss")	°C	5	
ok	vorlauf ("heiss") kälter als Rücklauf ("kalt")	d	0	
ok	Kollektor kälter als Vorlauf ("heiss")	d	0	
ok	Kollektor viel heisser als Vorlauf ("heiss")	d	0	
ok	nächtliche Rückkühlung über die Kollektoren	d	-4.3	
ok	Temperaturdifferenz Kollektor - Speicher zu hoch	d	0	
ok	Temperaturdifferenz Kreislauf - Speicher zu hoch	d	0	
ok	Temperaturdifferenz Vor- Rücklauf zu hoch	d	0	
ok	Kollektor wird warm ohne Sonne	h	0	
ok	Peak Kollektortemperatur bei Pumpenstart	#/h	0	
Typ	Stagnation	Einheit	9. Aug 2014	
Info	Maximale Kollektortemperatur	°C	74	
Info	Maximale Vorlauf-Temperatur ("heiss")	°C	67	
Info	Maximale Temperatur im Rücklauf ("kalt")	°C	53	
Info	Stagnation	h	0	

Abb. 1-15: Auszug aus der Analysetabelle einer Anlage für den 9. August 14.

Anlage IWB Jahresreport 2014

Adresse: Margarethenstr. 40, 4002 Basel
 Aperturfläche: 7.84 m²
 Solarkollektor: 8 x Tubo 12 CI Vakuum Röhrenkollektor Conso
 Installations-Datum: 01.01.2000
 Letzter Datenupload: 20.03.2014



2014	Ertrag
Jan	102
Feb	165
Mar	*
Apr	*
May	*
Jun	*
Jul	*
Aug	*
Sep	*
Oct	*
Nov	*
Dec	*
Jahr	268

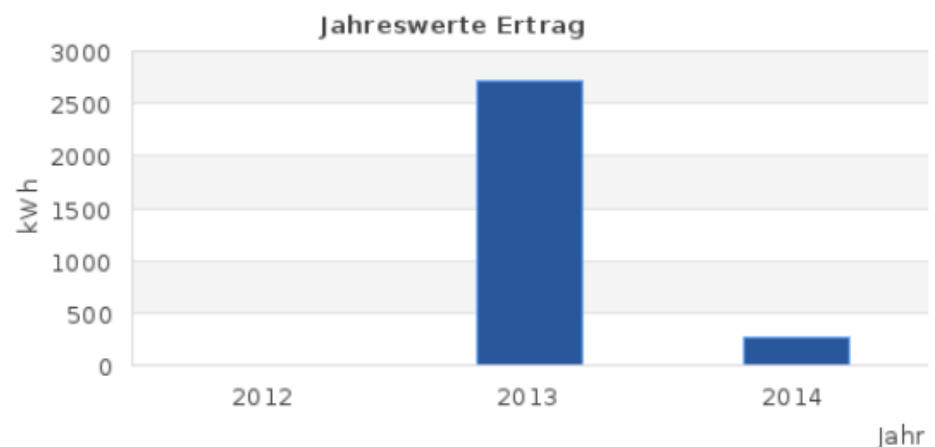
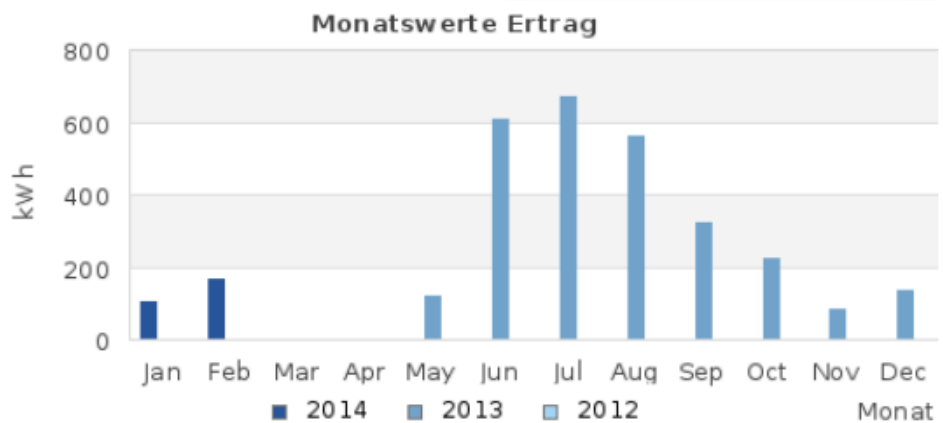


Abb. 1-16: ausdrückbarer PDF-Report mit einer Zusammenfassung der Monats- und Jahreserträge der Anlage

2. Anlage „Frob“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen

< 2013 >																																
Januar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Februar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28				
März	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
April	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Mai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Juni	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Juli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
August	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
September	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Oktober	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
November	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Dezember	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
< 2014 >																																
Januar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Februar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28				
März	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
April	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Mai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Juni	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Juli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
August	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
September	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Oktober	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
November	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Dezember	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	

Legende: keine Messwerte Messwerte lückenhaft Messwerte nicht plausibel Messwerte korrekt Anlagen-Fehler

Abb. 2-1: Analyse-Übersicht. Die Datenlücke von Okt. bis Mai entstand, weil die Speicherkarte nicht korrekt in den Regler eingeschoben wurde. Die Anlagen-Fehler im August 2013 entstanden durch den vertauschten Vor- und Rücklaufsensor.

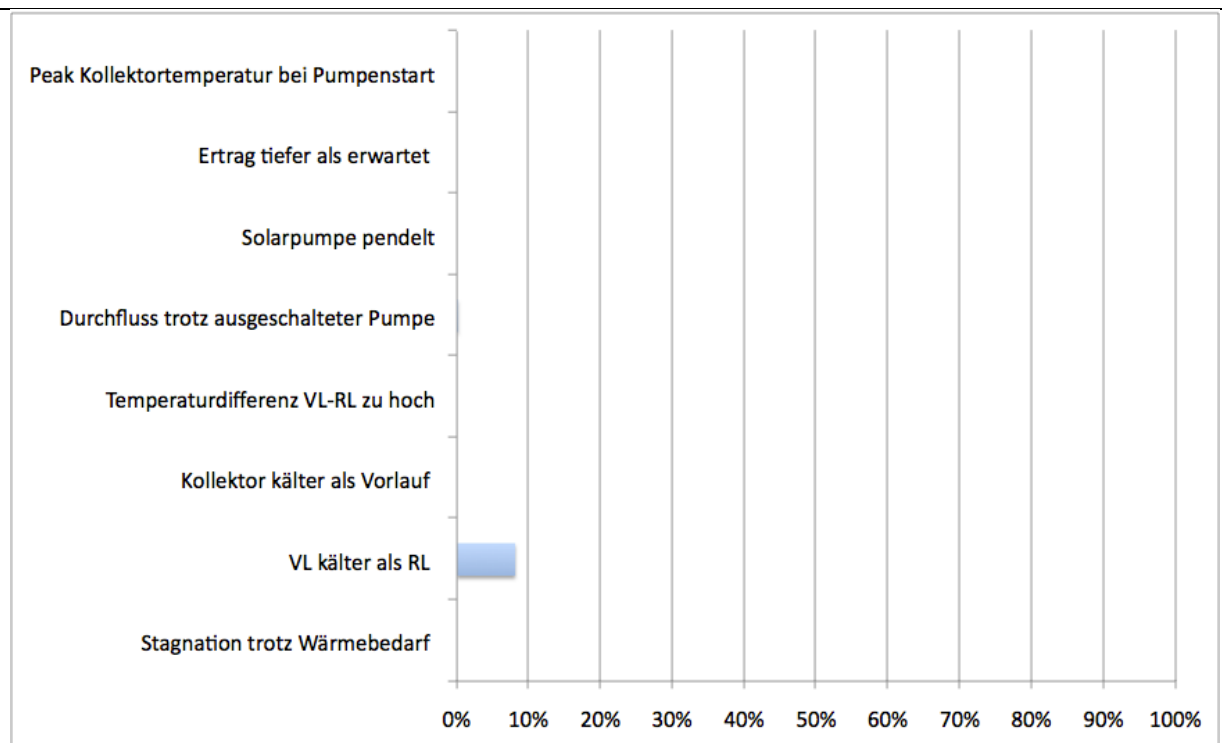
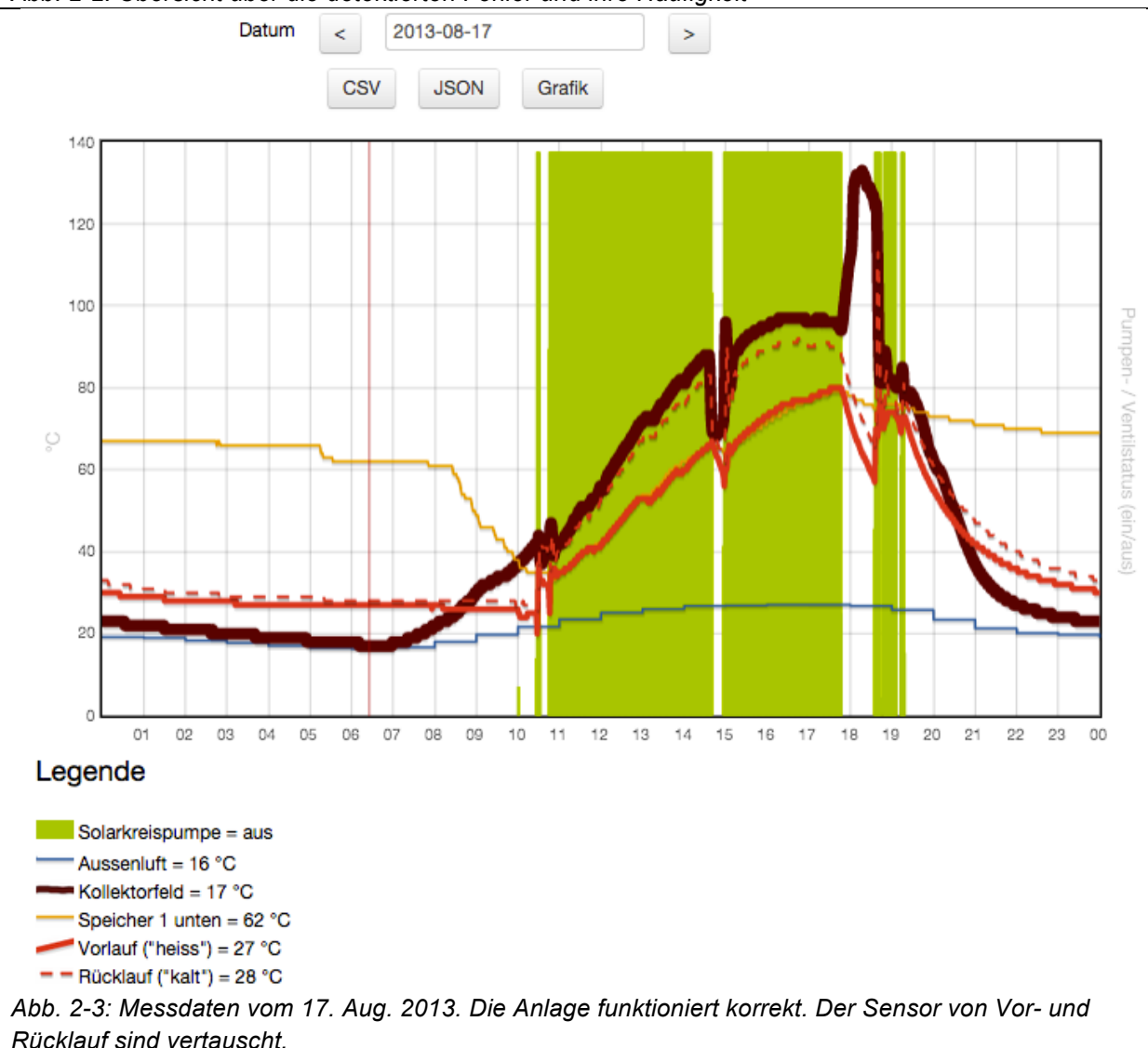
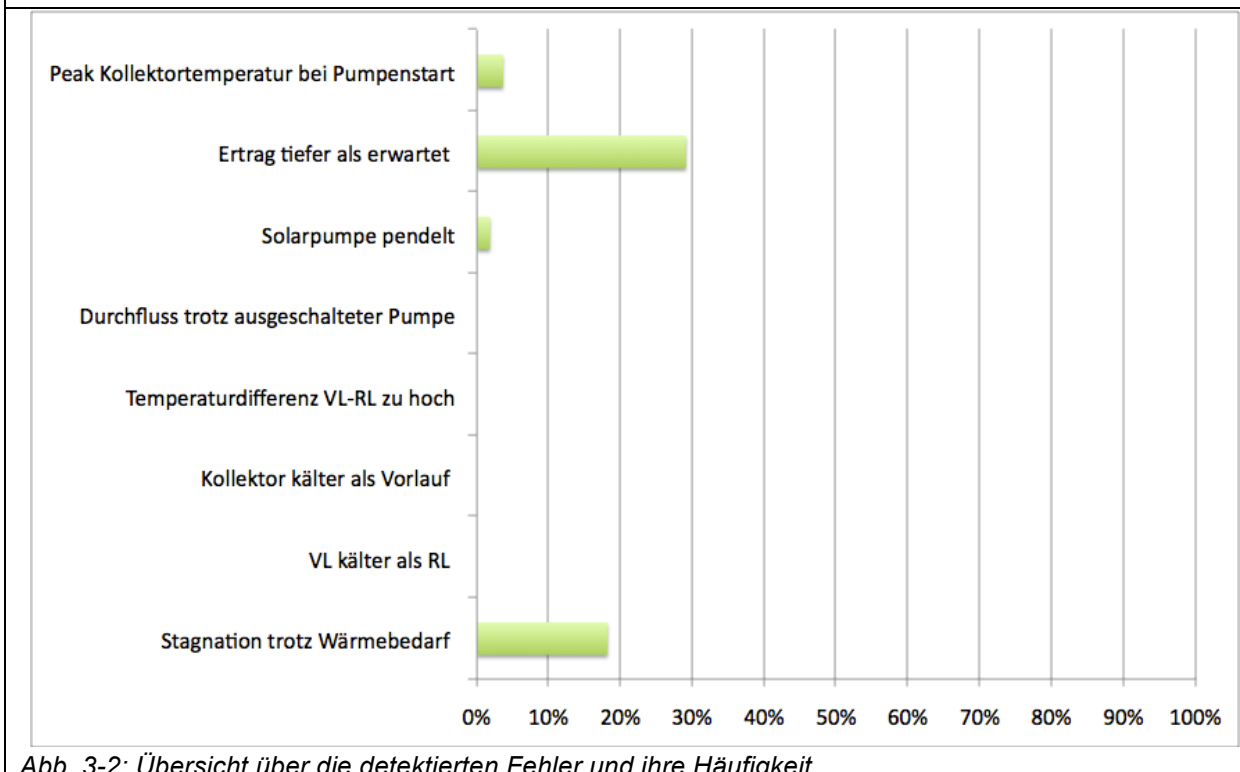
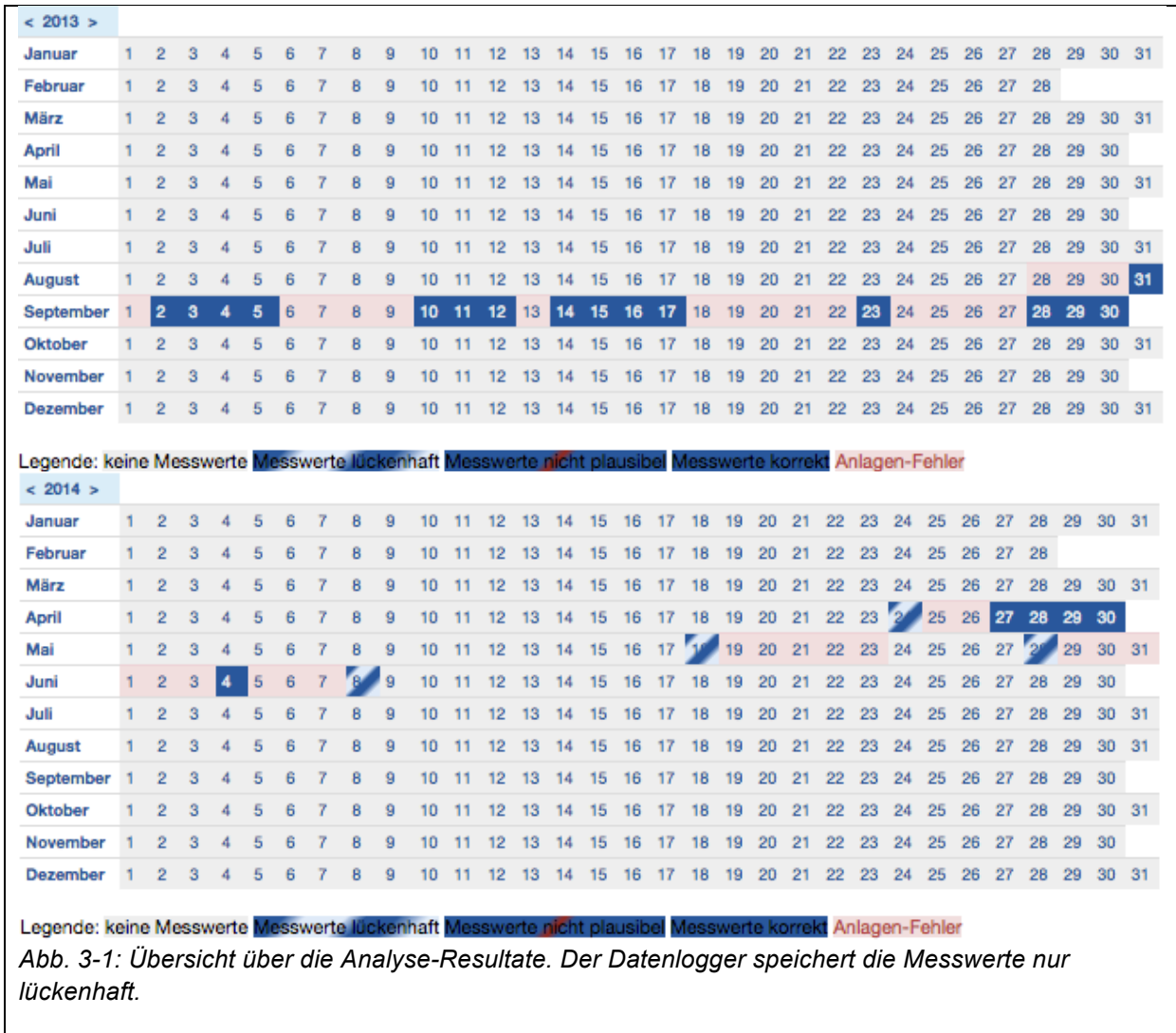


Abb. 2-2: Übersicht über die detektierten Fehler und ihre Häufigkeit



3. Anlage „Hard“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen



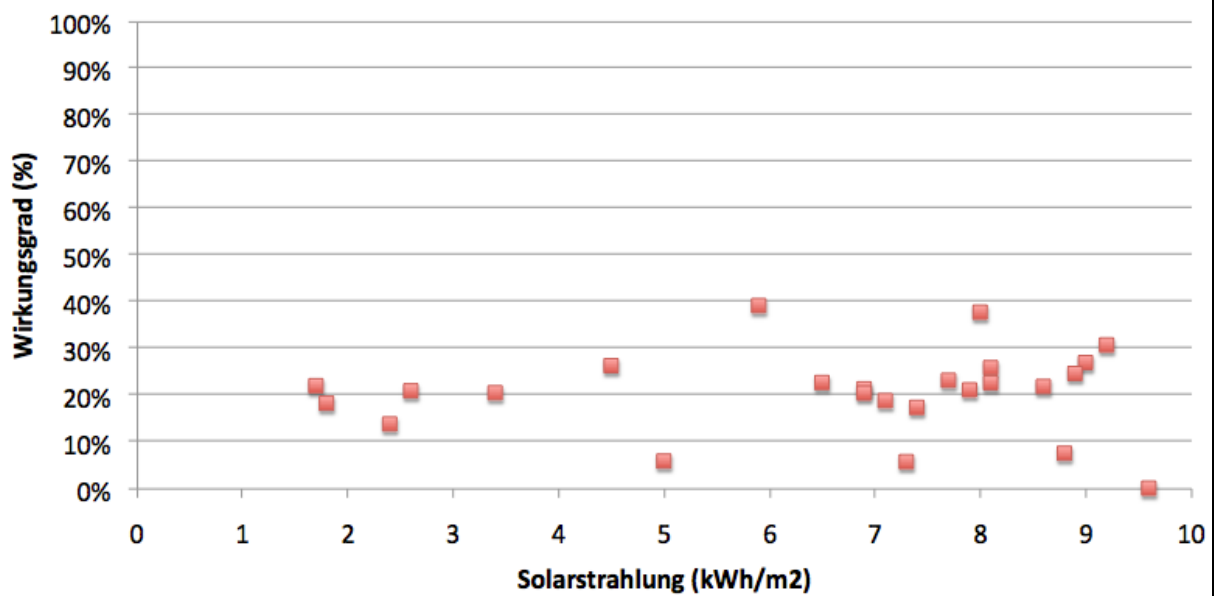
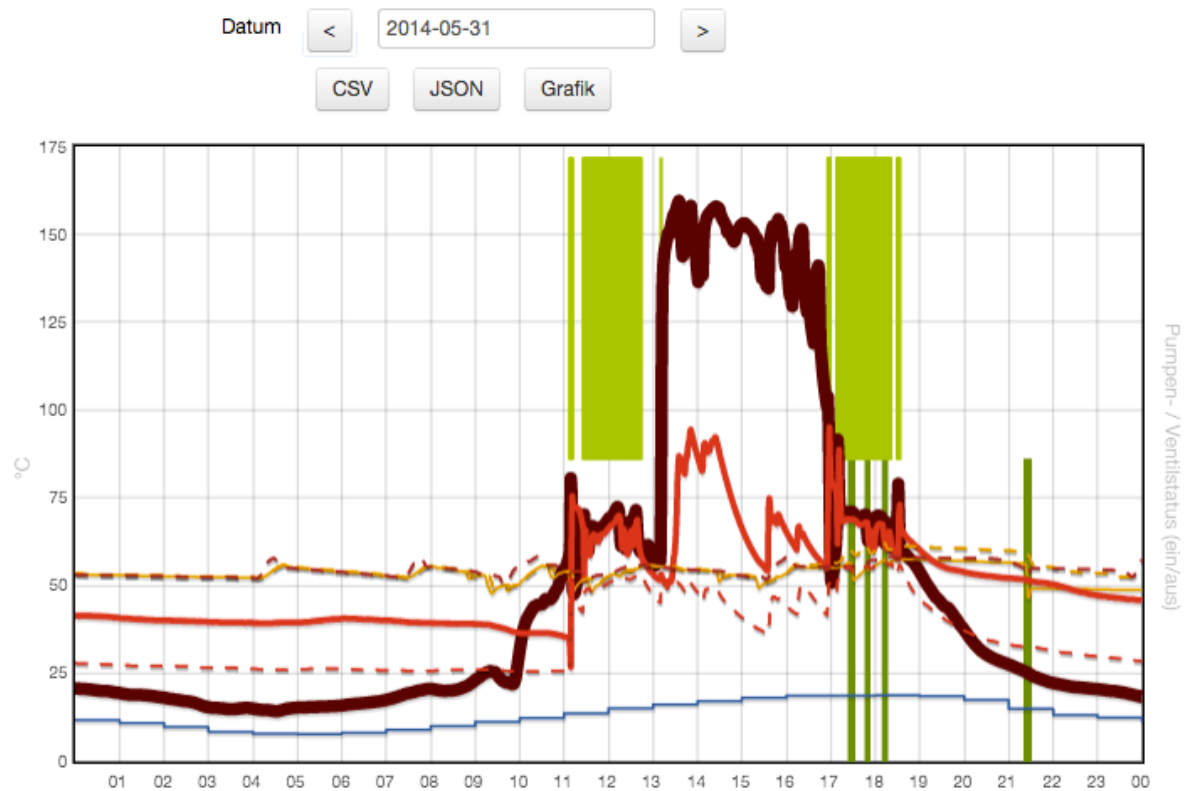


Abb. 3-3: Tagesmittelwerte des Kollektorwirkungsgrads aufgetragen gegen die Tagessummen der Solarstrahlung in die Kollektorebene.



Legende

- Umwälzpumpe = aus
- Solarkreispumpe = aus
- Aussenluft = 8 °C
- Kollektorfeld = 14 °C
- Speicher 1 unten = 55 °C
- Speicher 1 oben = 55 °C
- Speicher 2 oben = 57 °C
- Vorlauf ("heiss") = 39 °C
- Rücklauf ("kalt") = 26 °C

Abb. 3-4: Messwerte vom 31. Mai 2014. Die Anlage geht in Stagnation, obwohl der Speicher erst eine Temperatur von 50°C aufweist.



Abb. 3-5: Heizungsraum bei der Anlage „Hard“. Foto vom 7. März 2013

4. Anlage „Hirz“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen

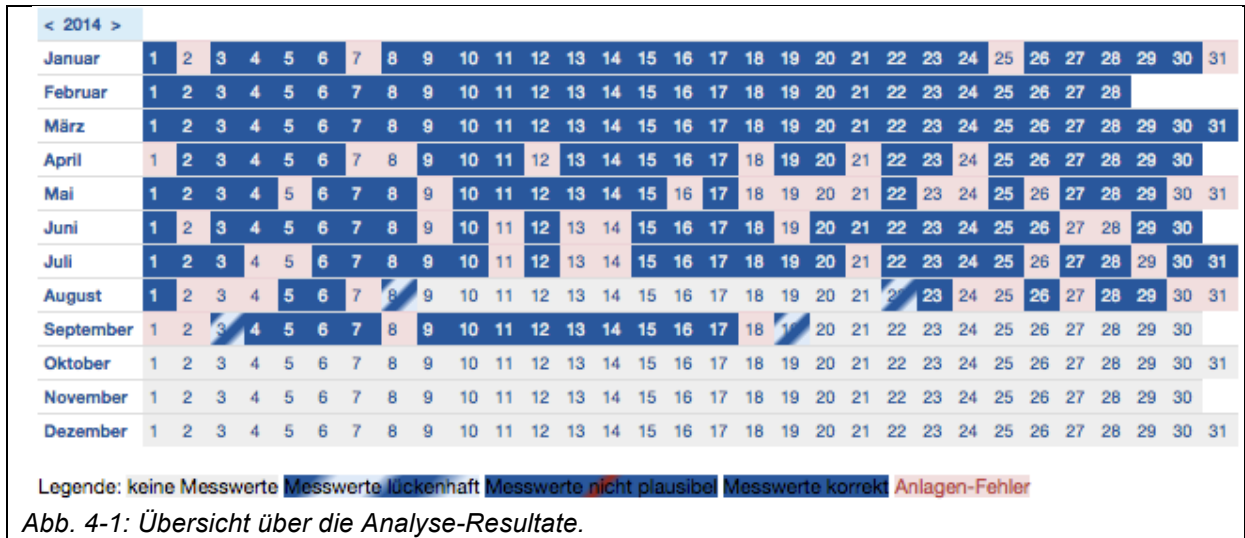


Abb. 4-1: Übersicht über die Analyse-Resultate.

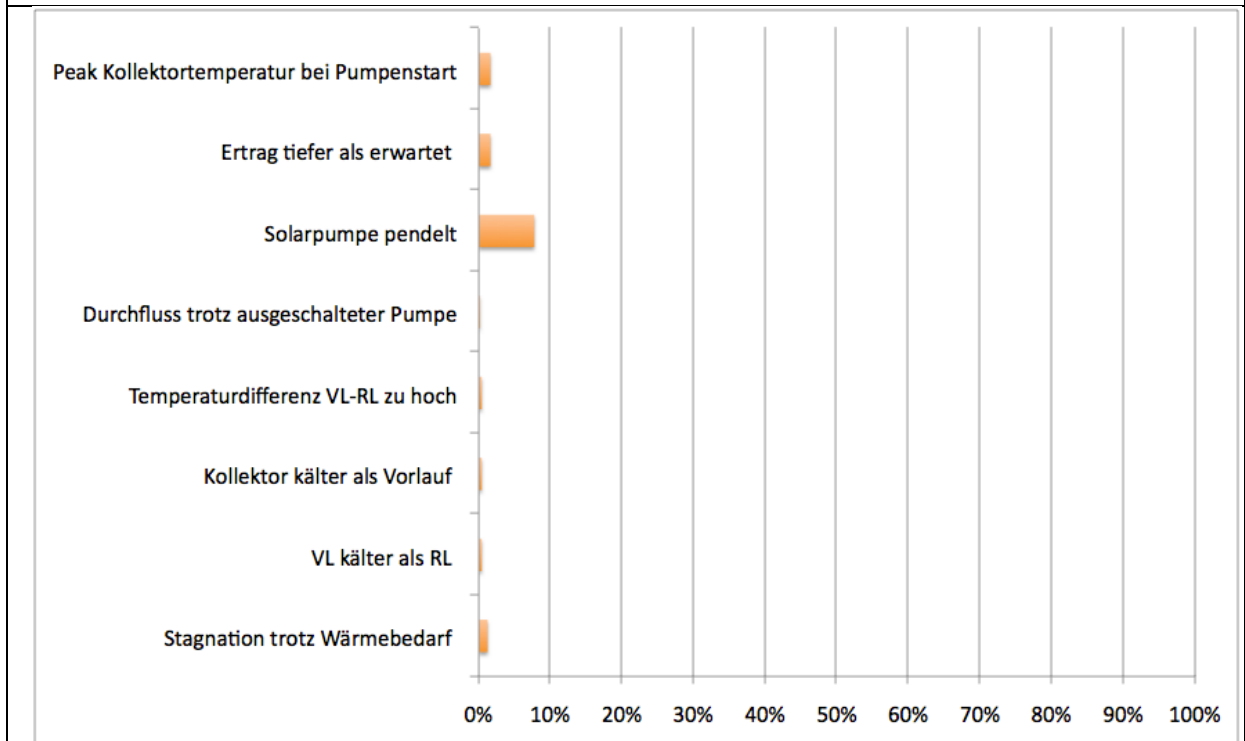


Abb. 4-2: Übersicht über die detektierten Fehler und ihre Häufigkeit

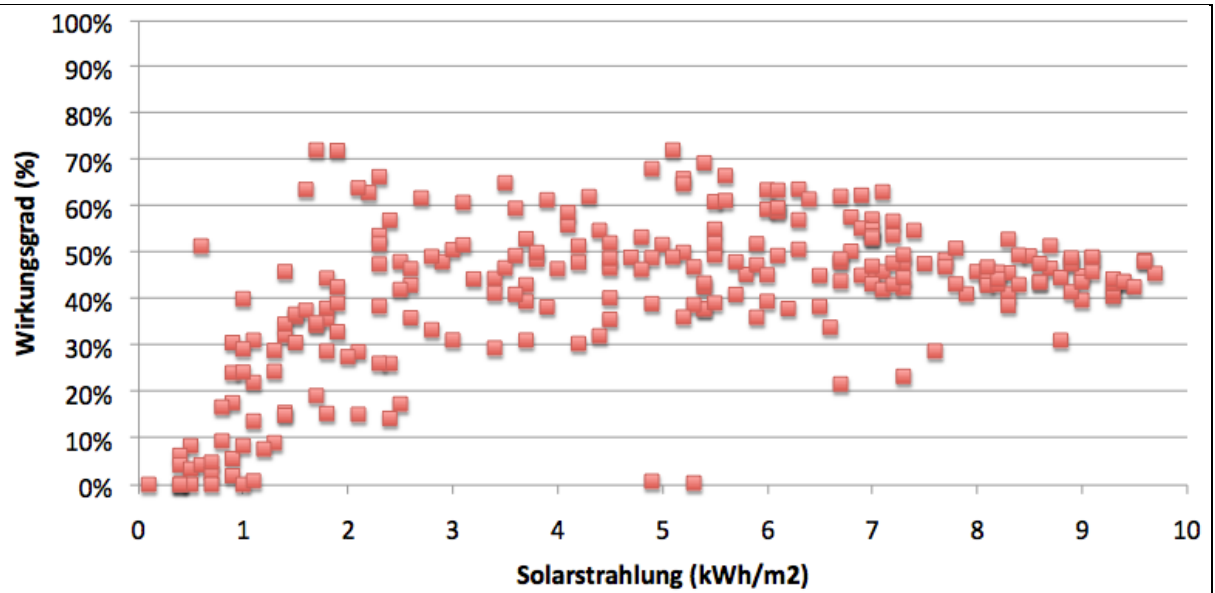
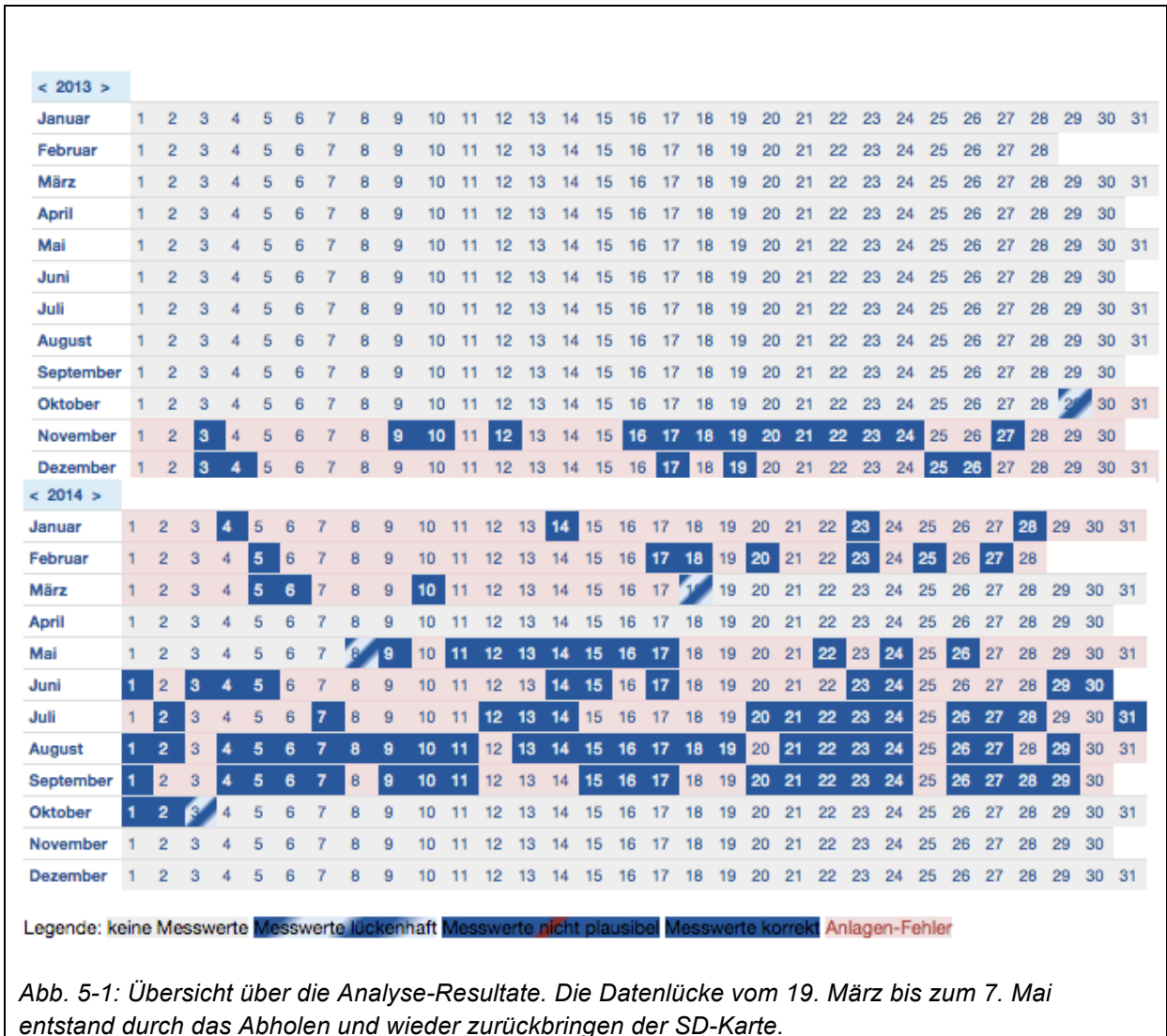
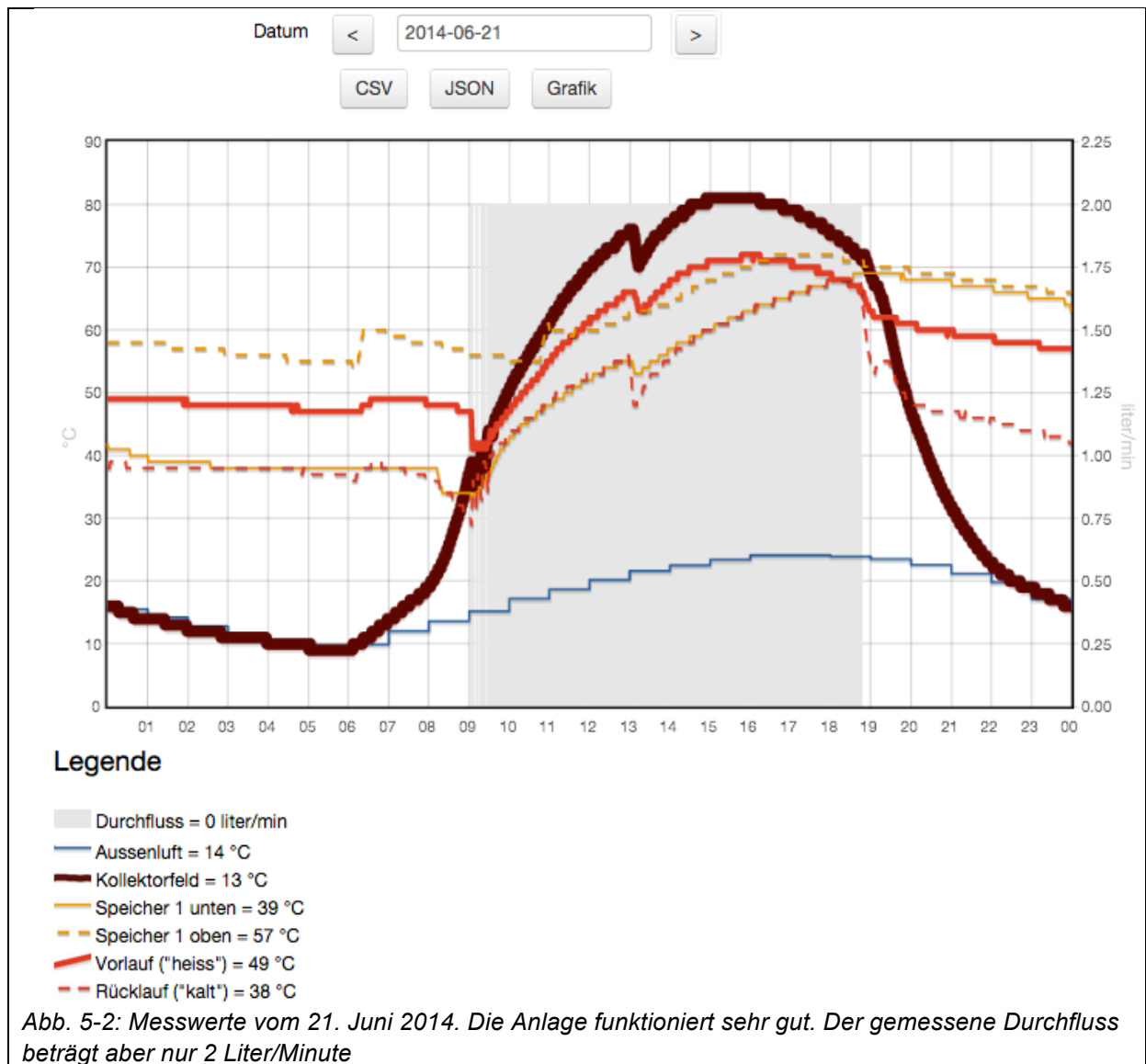
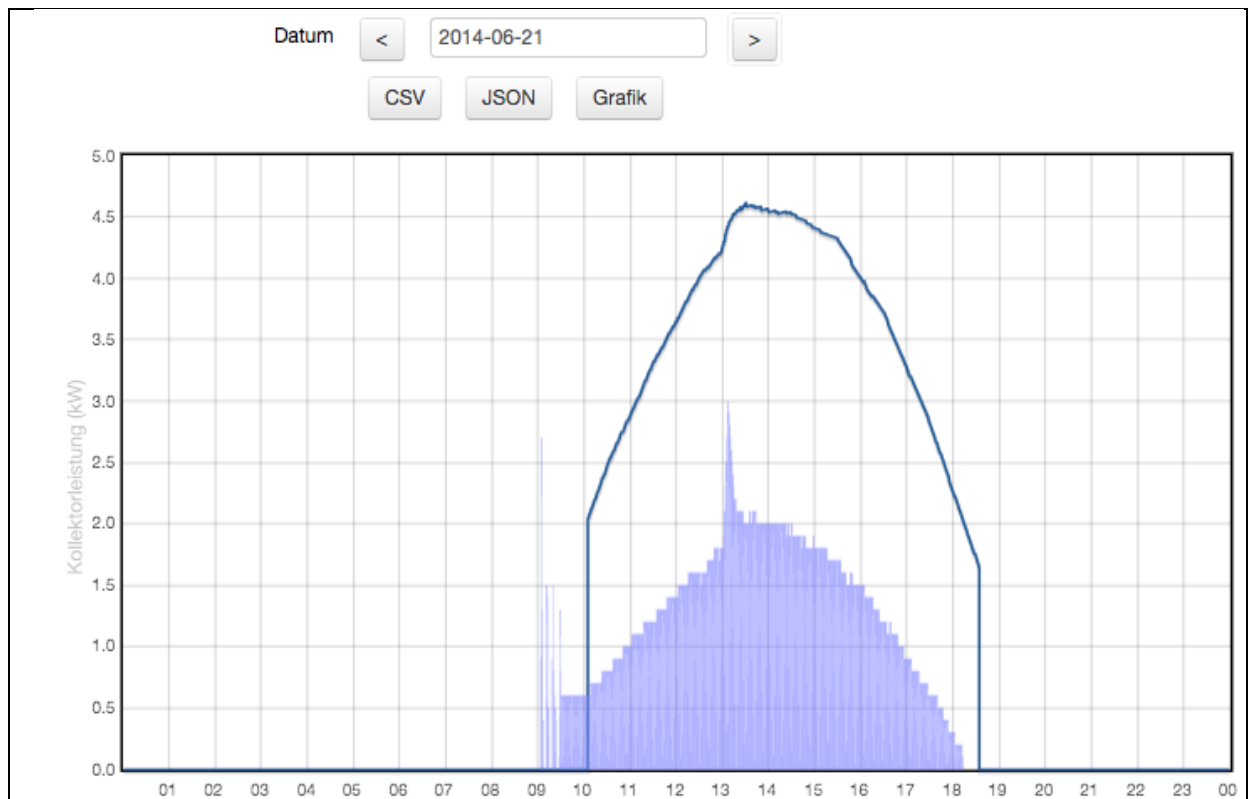


Abb. 4-3: Tagesmittelwerte des Kollektorstadiums aufgetragen gegen die Tagessummen der Solarstrahlung in die Kollektorebene.

5. Anlage „Hole“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen







Legende

- Referenz-Kollektorleistung = 0 kW
- Kollektorleistung = 0 kW

Abb. 5-3: gemessener und Referenz-Ertrag vom 21. Juni 2014. Der gemessene Ertrag ist deutlich tiefer als der Referenzertrag

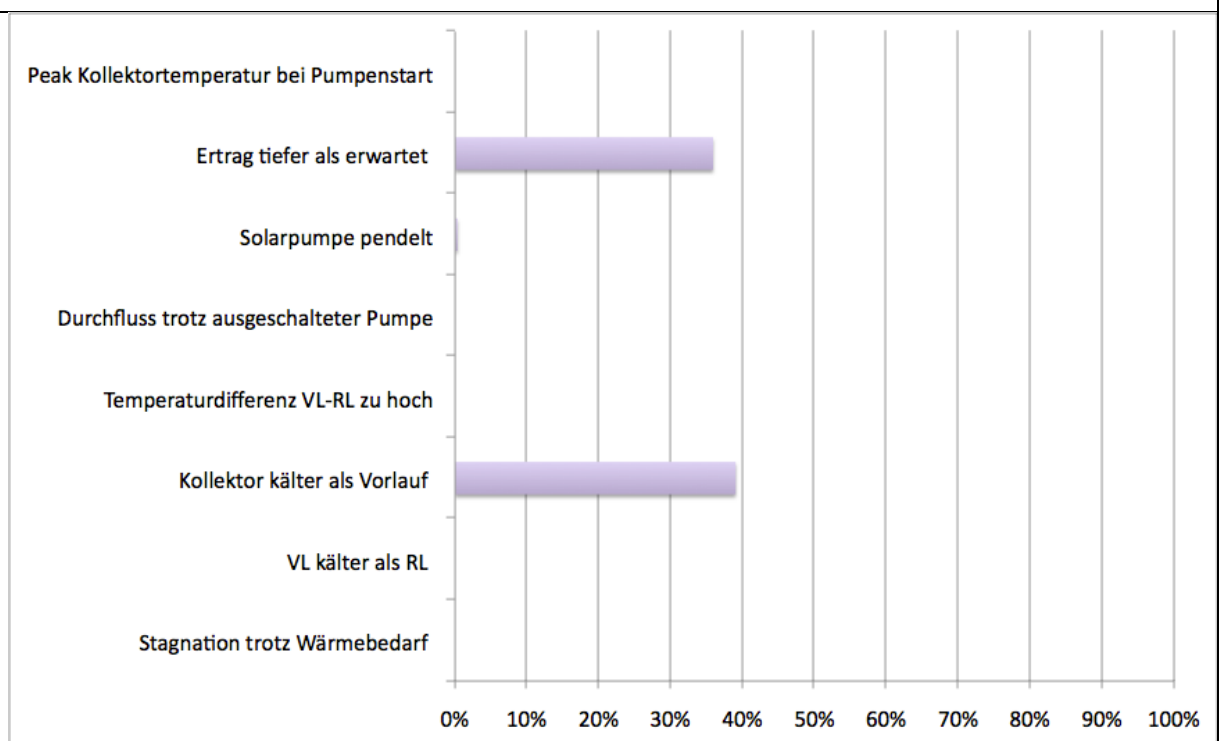


Abb. 5-4: Übersicht über die detektierten Fehler und ihre Häufigkeit

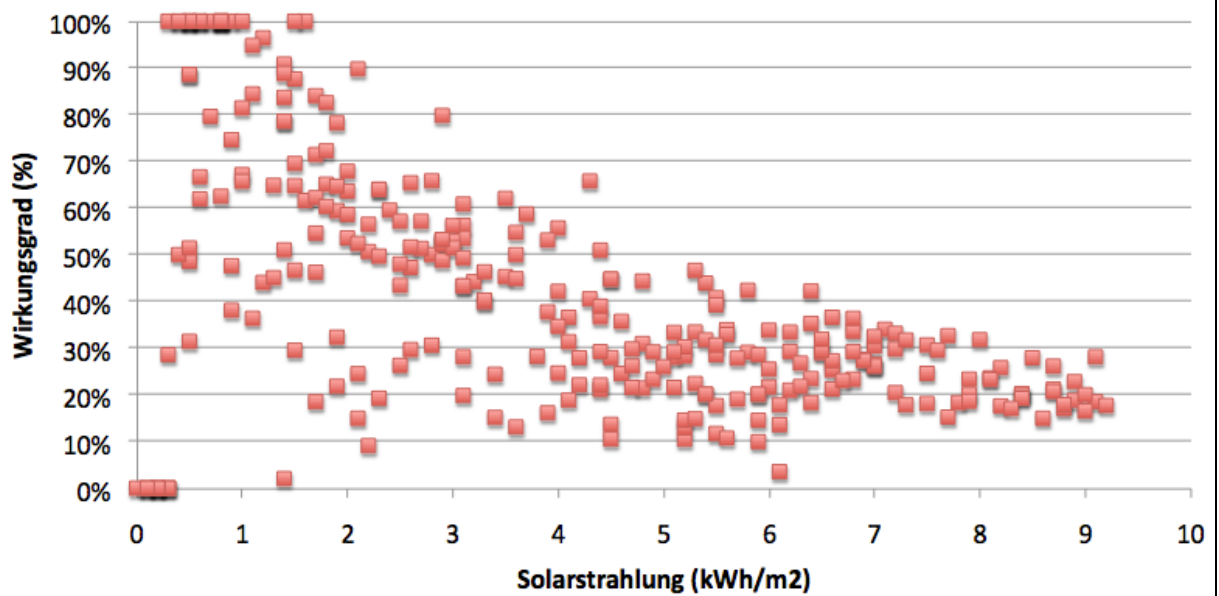
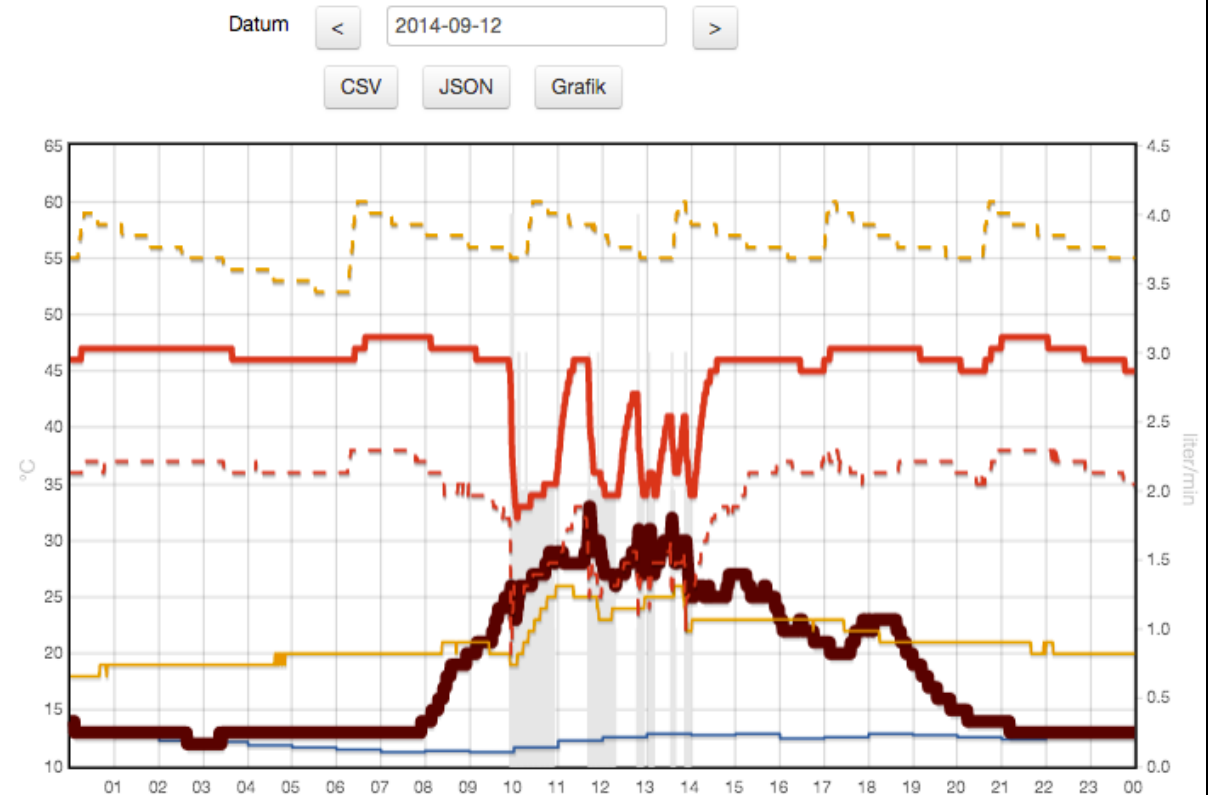


Abb. 5-5: Tagesmittelwerte des Kollektorstadiums aufgetragen gegen die Tagessummen der Solarstrahlung in die Kollektorebene.



Legende

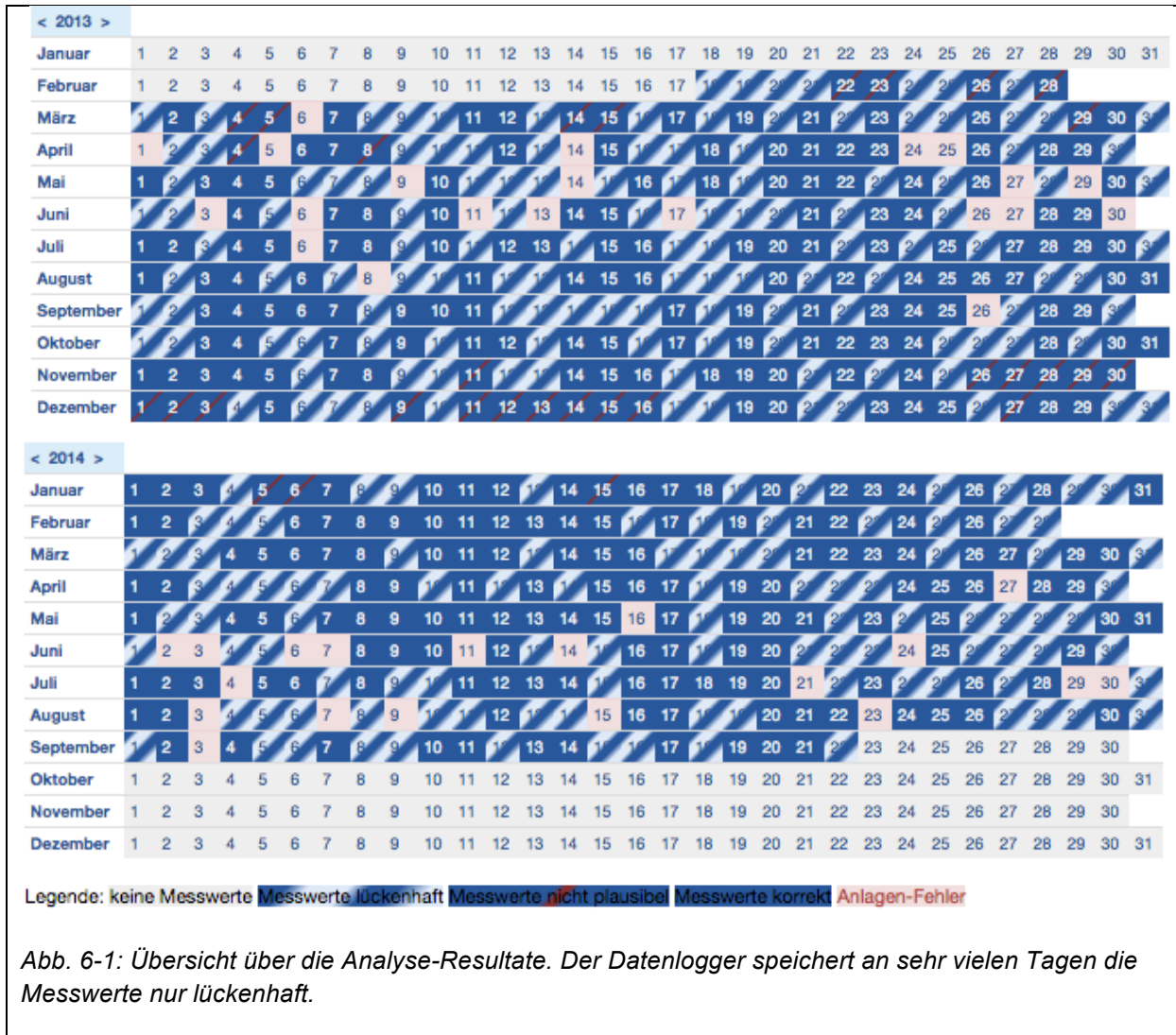
- Durchfluss = 0 liter/min
- Aussenluft = 13 °C
- Kollektorfeld = 20 °C
- Speicher 1 unten = 22 °C
- Speicher 1 oben = 59 °C
- Vorlauf ("heiss") = 47 °C
- Rücklauf ("kalt") = 37 °C

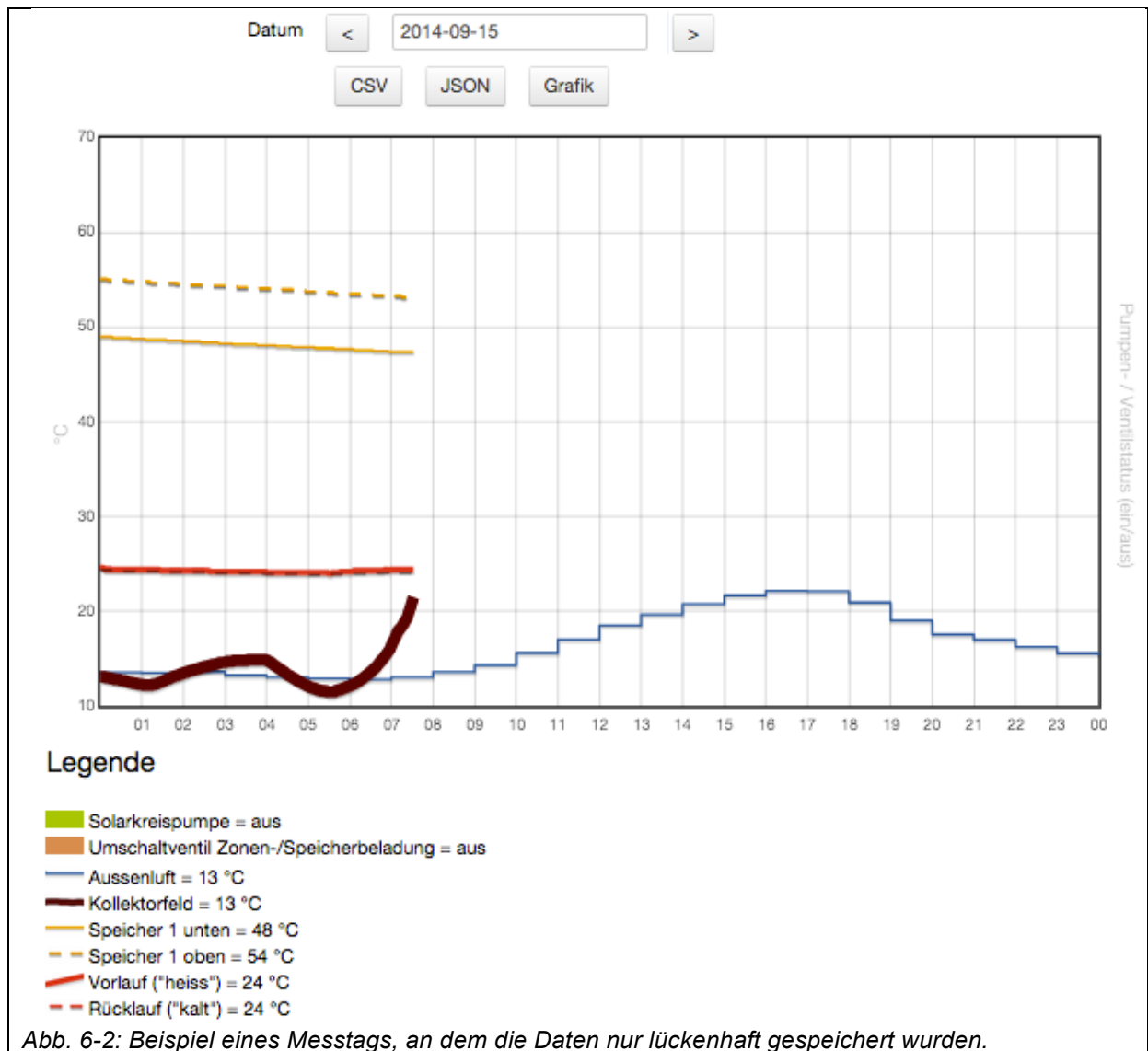
Abb. 5-6: Messwerte vom 12. Sept. 2014. Die Vor- und Rücklauftemperaturen sind unplausibel hoch. Sie scheinen durch die Temperatur im Speicher 1 oben beeinflusst zu werden.

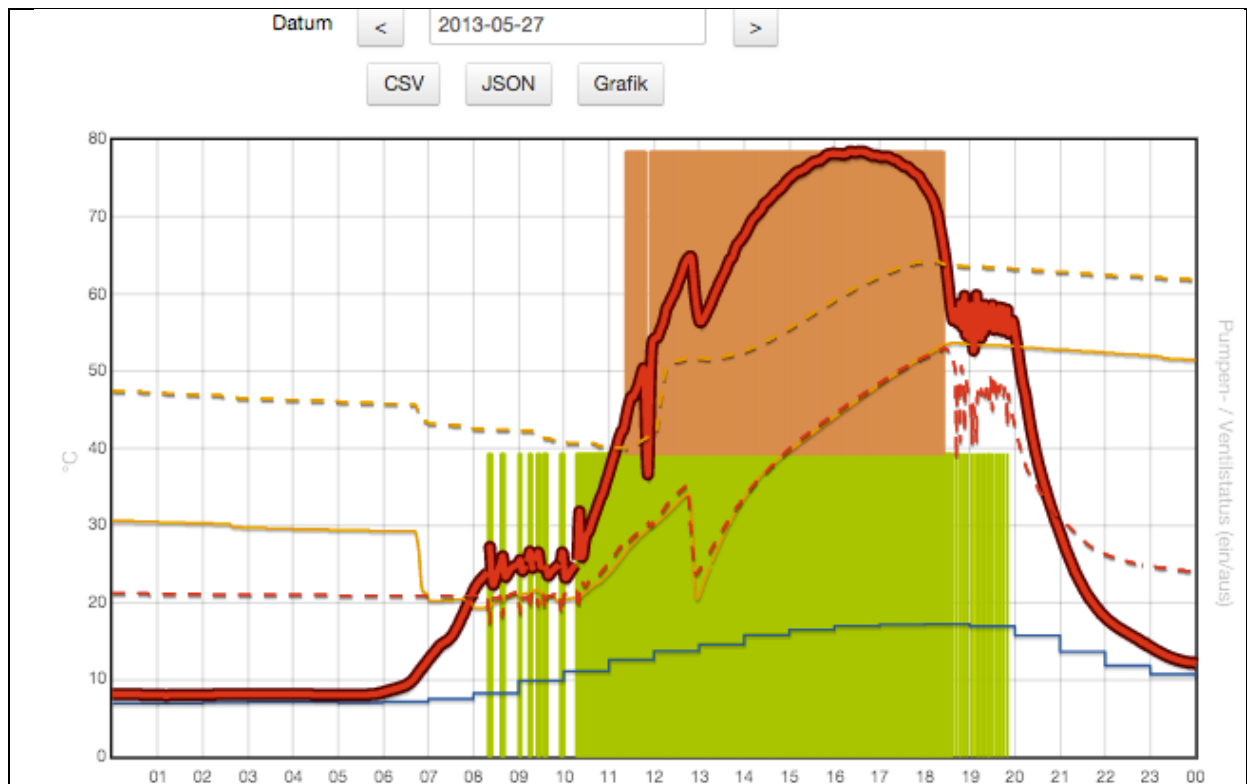


Abb. 6-6: Foto des Speiches von Anlage „Hole“ vom 22. April 2014

6. Anlage „Käfe“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen







Legende

- Solarkreispumpe = ein
- Umschaltventil Zonen-/Speicherbeladung = ein
- Aussenluft = 17 °C
- Kollektorfeld = 78 °C
- Speicher 1 unten = 44 °C
- - Speicher 1 oben = 59 °C
- Vorlauf ("heiss") = 78 °C
- - Rücklauf ("kalt") = 45 °C

Abb. 6-3: Messwerte am 27. Mai 2014. An diesem Tag detektierte die Fehleranalyse „Differenz zwischen Vor- und Rücklauf zu hoch“.

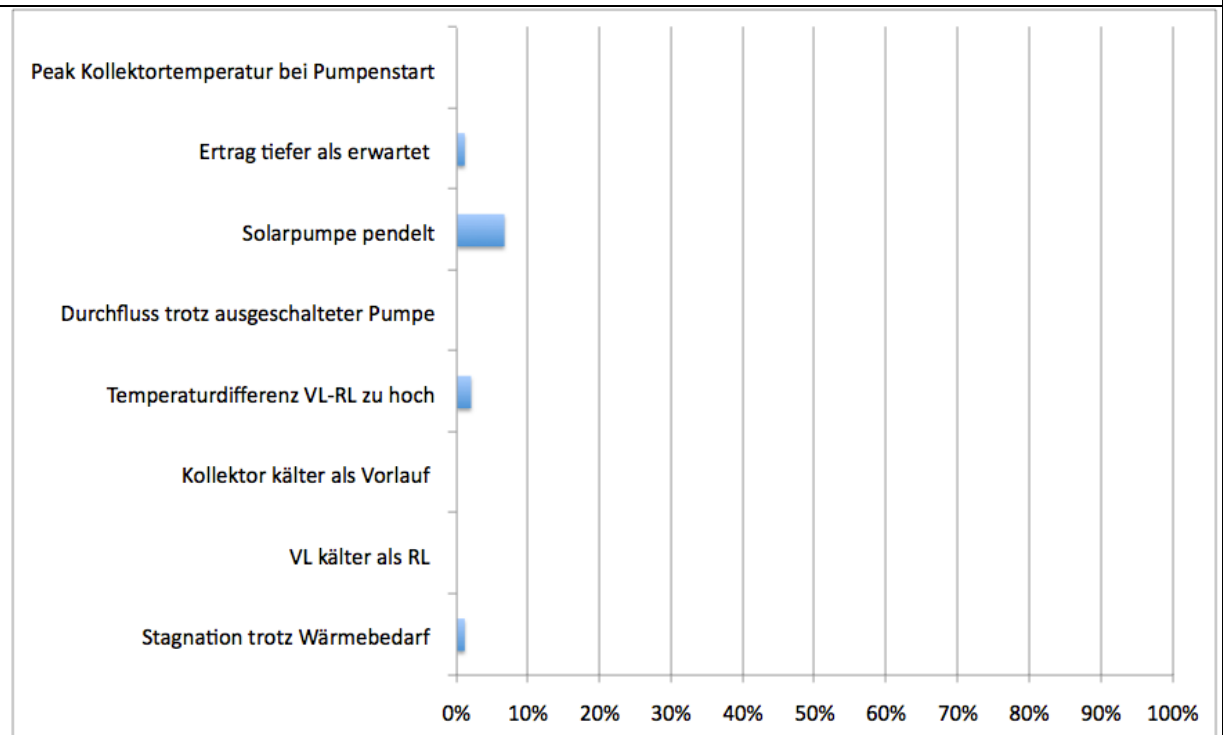


Abb. 6-4: Überblick über die detektierten Fehler und ihre Häufigkeit

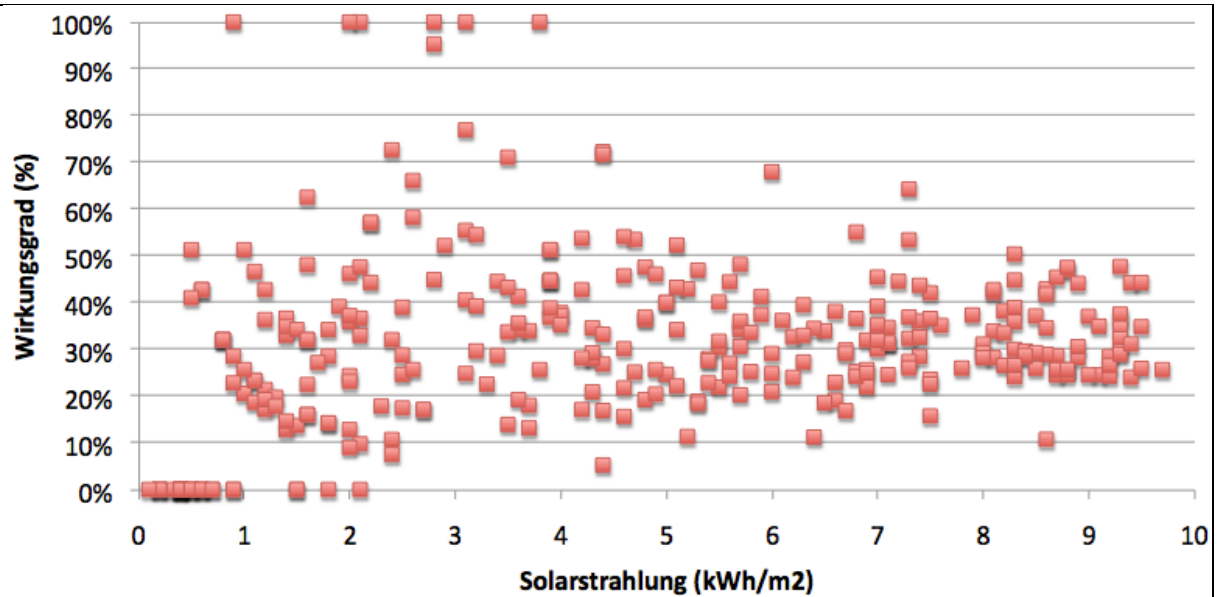


Abb. 6-5: Tagesmittelwerte des Kollektorwirkungsgrads aufgetragen gegen die Tagessummen der Solarstrahlung in die Kollektorebene.



Abb. 6-6: Foto der Anlage „Käfe“. Quelle: Firma LWS Wärmeservice

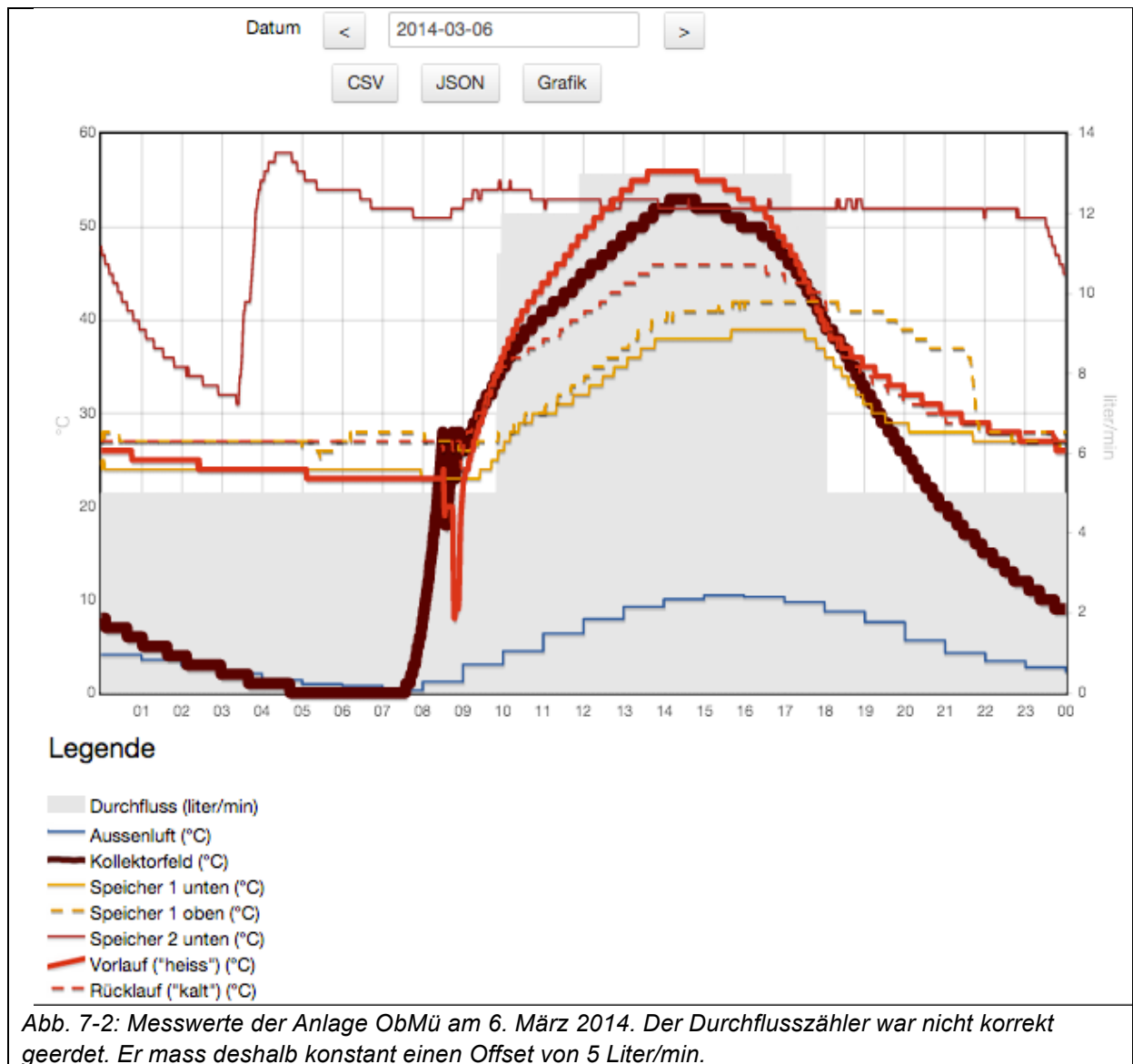
7. Anlage „ObMü“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen

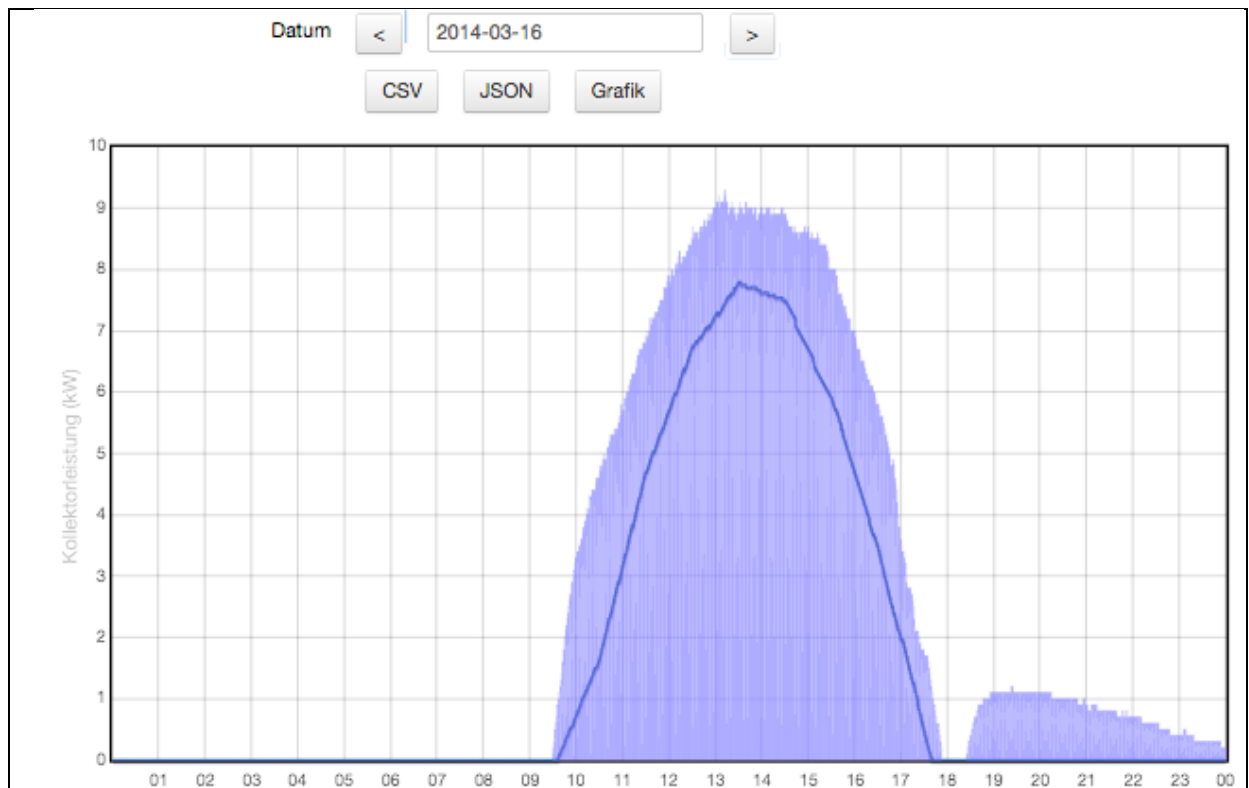
< 2013 >																																
Januar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Februar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28				
März	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
April	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Mai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Juni	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Juli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
August	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
September	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Oktober	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
November	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Dezember	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
< 2014 >																																
Januar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Februar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28				
März	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
April	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Mai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Juni	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Juli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
August	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
September	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Oktober	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
November	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Dezember	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	

Legende: keine Messwerte Messwerte lückenhaft Messwerte nicht plausibel Messwerte korrekt Anlagen-Fehler

Abb. 7-1: Übersicht über die Analyse-Resultate.

Abb. 7-1: Übersicht über die Analyse-Resultate.





Legende

- Referenz-Kollektorleistung = 0 kW
- Kollektorleistung = 1 kW

Abb. 7-3: gemessene und Referenz-Kollektorleistung am 16. März 2014. Aufgrund des Offsets beim Durchflusszähler wurde ein deutlich zu hoher Ertrag gemessen. Auch Nachts bei ausgeschalteter Anlage wurde fälschlicherweise ein Ertrag gemessen.

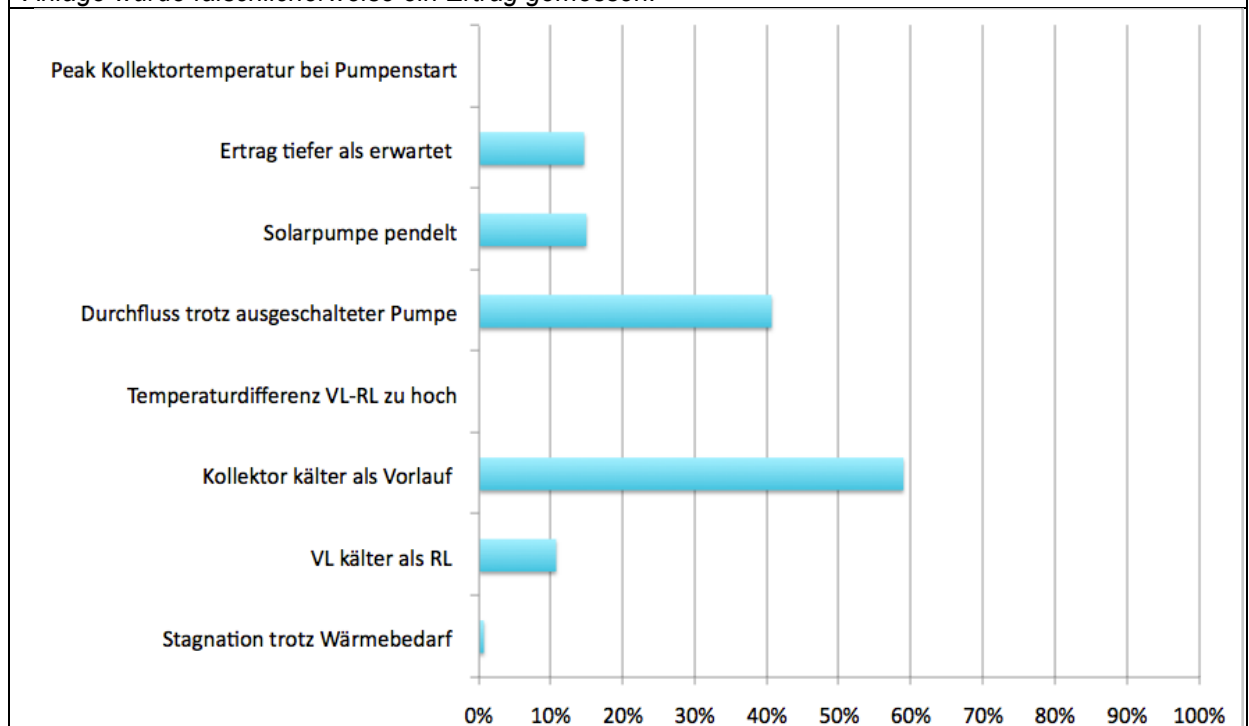


Abb. 7-4: Überblick über die detektierten Fehler und ihre Häufigkeit

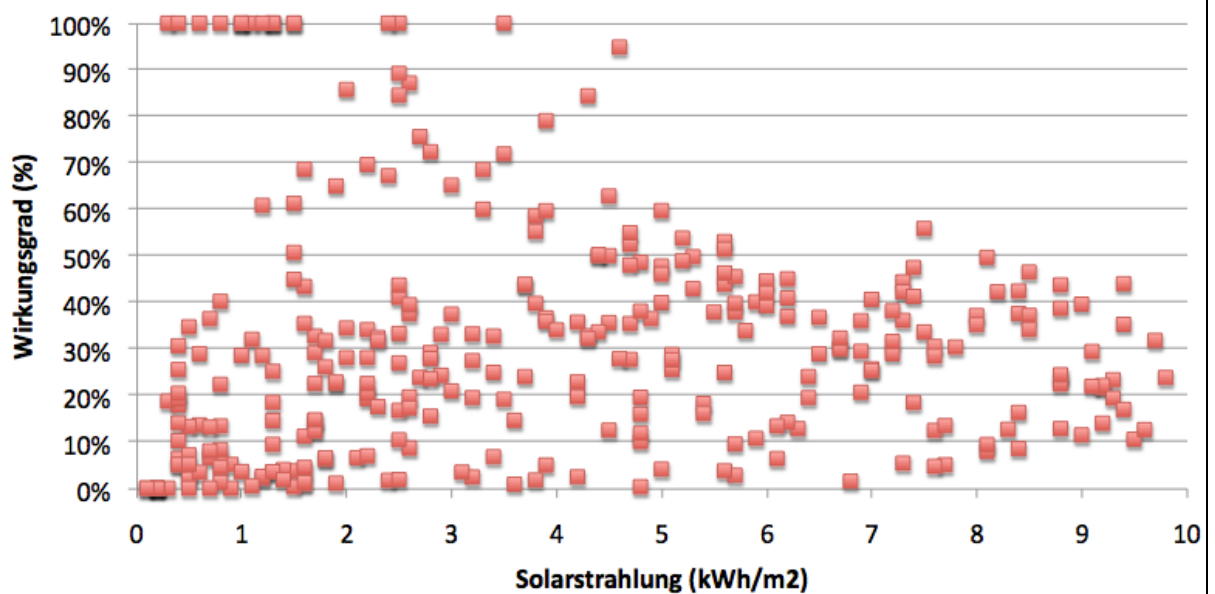
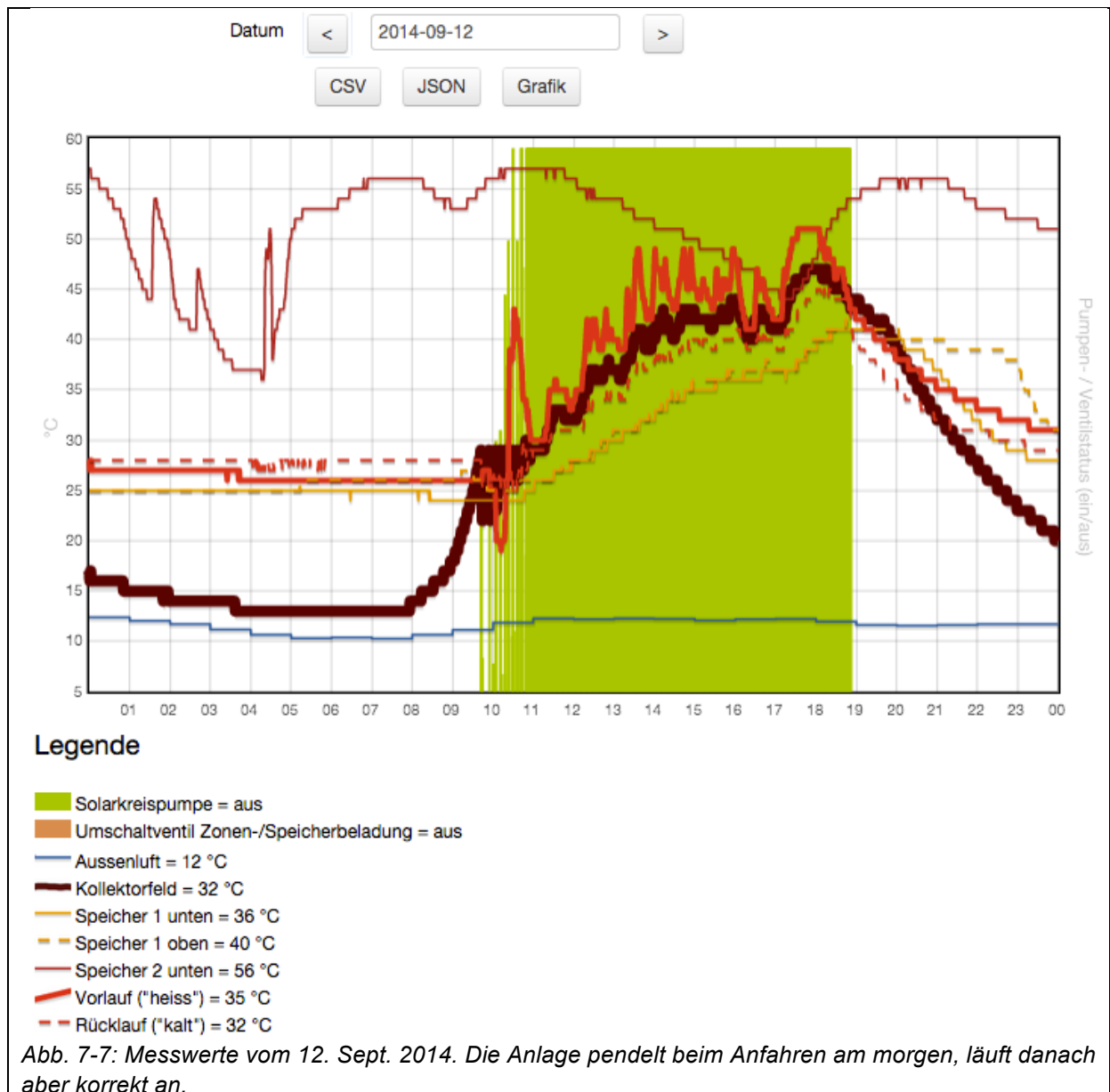


Abb. 7-5: Tagesmittelwerte des Kollektorstörungsgrads aufgetragen gegen die Tagessummen der Solarstrahlung in die Kollektorebene.



Abb. 7-6: der Kollektorstörungsgrad ist lose unter den Kollektor gelegt. Quelle: Firma LWS Wärmeservice, 28. April 2014

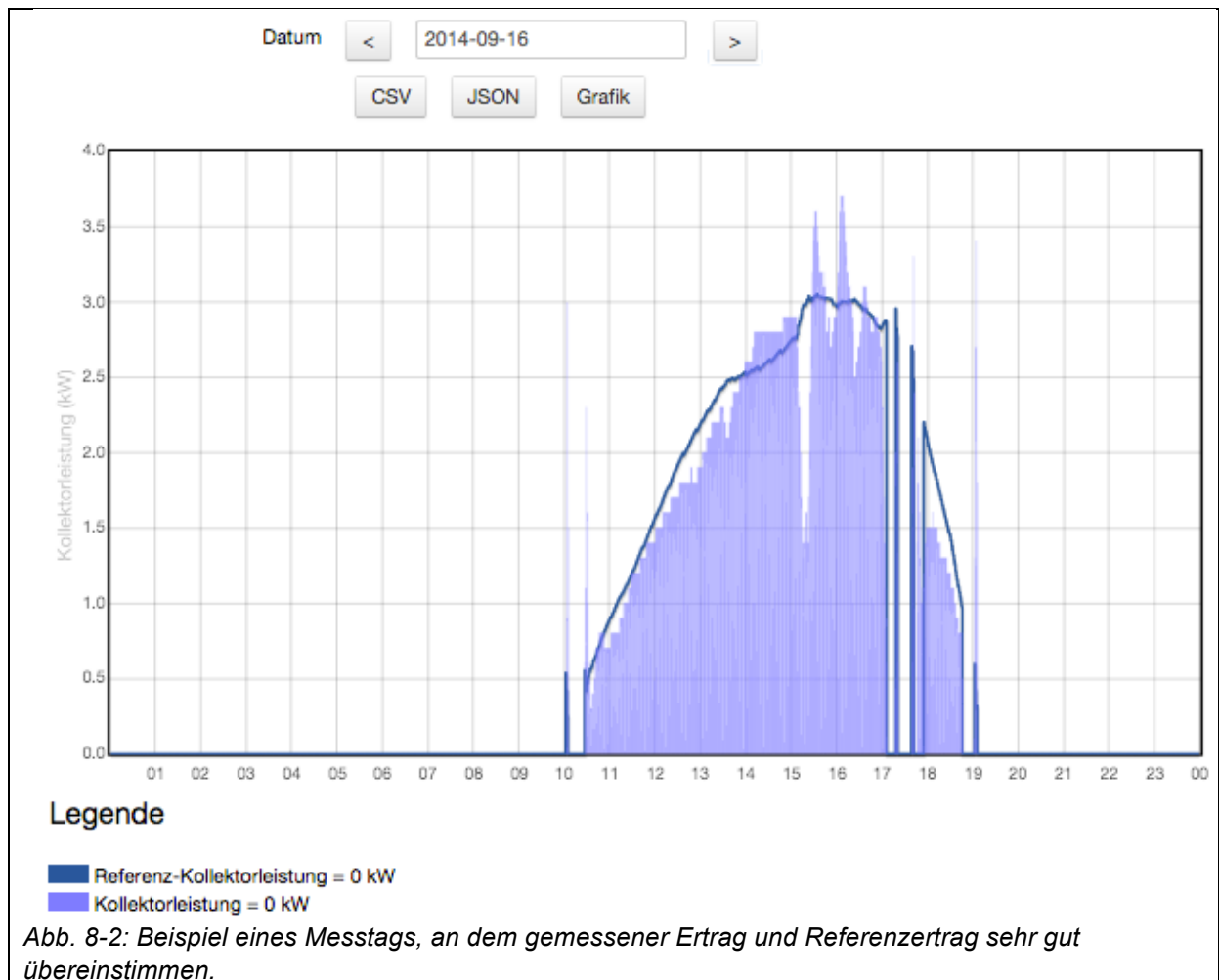


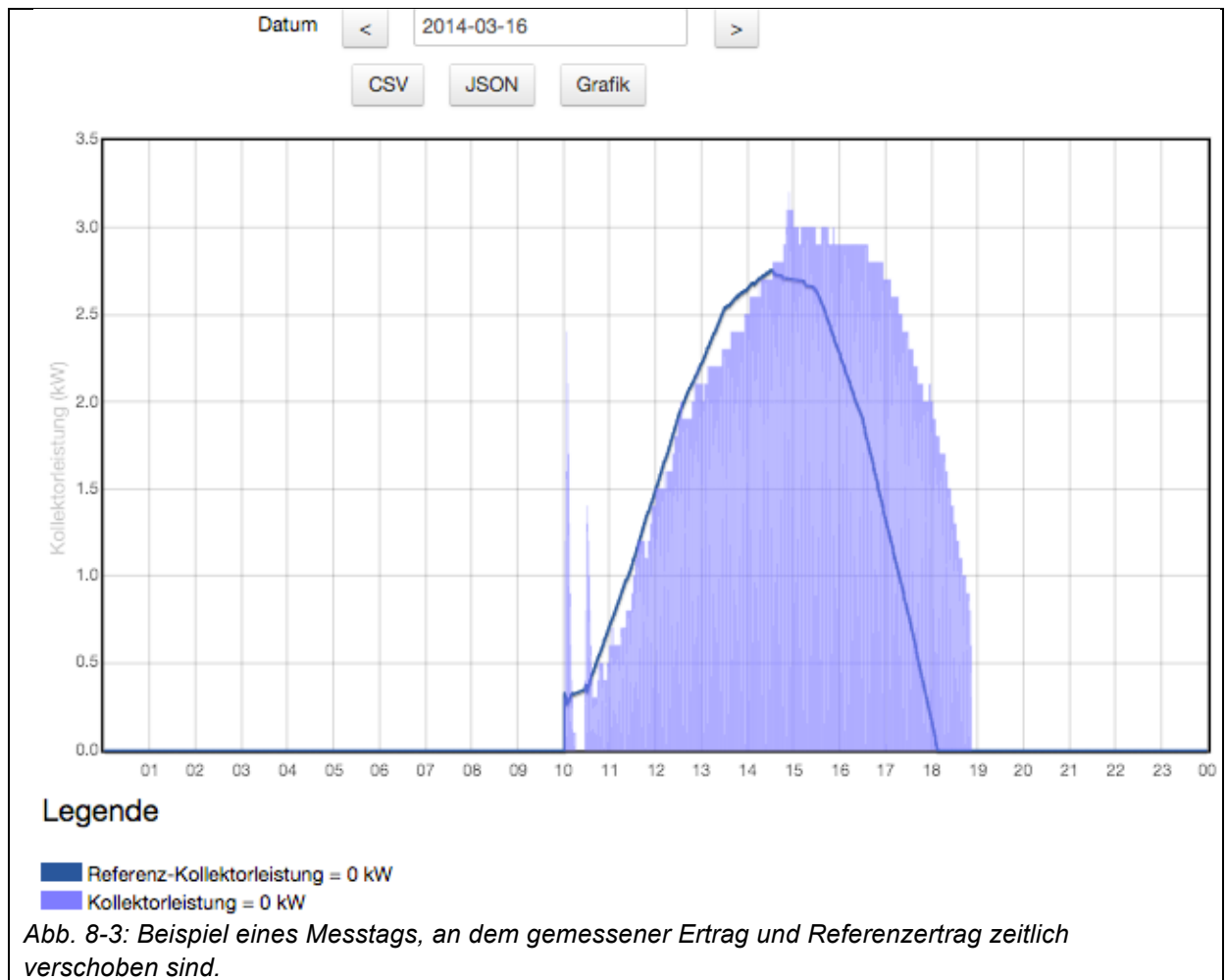
8. Anlage „PeRo“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen

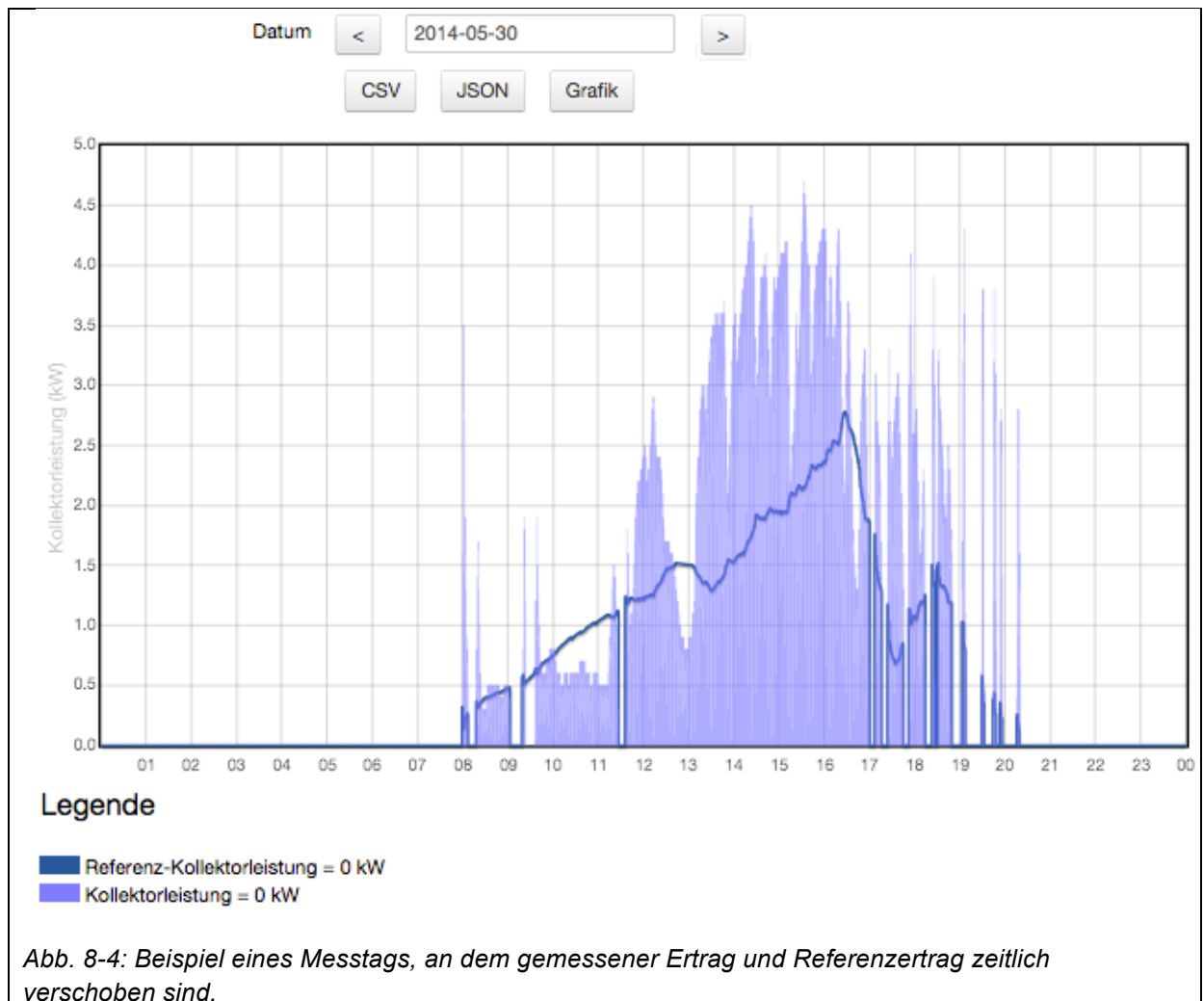
< 2013 >	
Januar	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
Februar	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28
März	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
April	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
Mai	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
Juni	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
Juli	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
August	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
September	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
Oktober	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
November	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
Dezember	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
Legende: keine Messwerte Messwerte lückenhaft Messwerte nicht plausibel Messwerte korrekt Anlagen-Fehler	

< 2014 >	
Januar	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
Februar	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28
März	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
April	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
Mai	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
Juni	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
Juli	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
August	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
September	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
Oktober	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
November	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
Dezember	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
Legende: keine Messwerte Messwerte lückenhaft Messwerte nicht plausibel Messwerte korrekt Anlagen-Fehler	

Abb. 8-1: Übersicht über die Analyse-Resultate.









Legende

- Solarkreispumpe = aus
- Aussenluft = 11 °C
- Kollektorfeld = 24 °C
- Speicher 1 unten = 21 °C
- Vorlauf ("heiss") = 22 °C
- Rücklauf ("kalt") = 23 °C

Abb. 8-5: Messwerte vom 5. Juni 2014. Die Betriebszeit der Solarpumpe liegt bei 11 Stunden

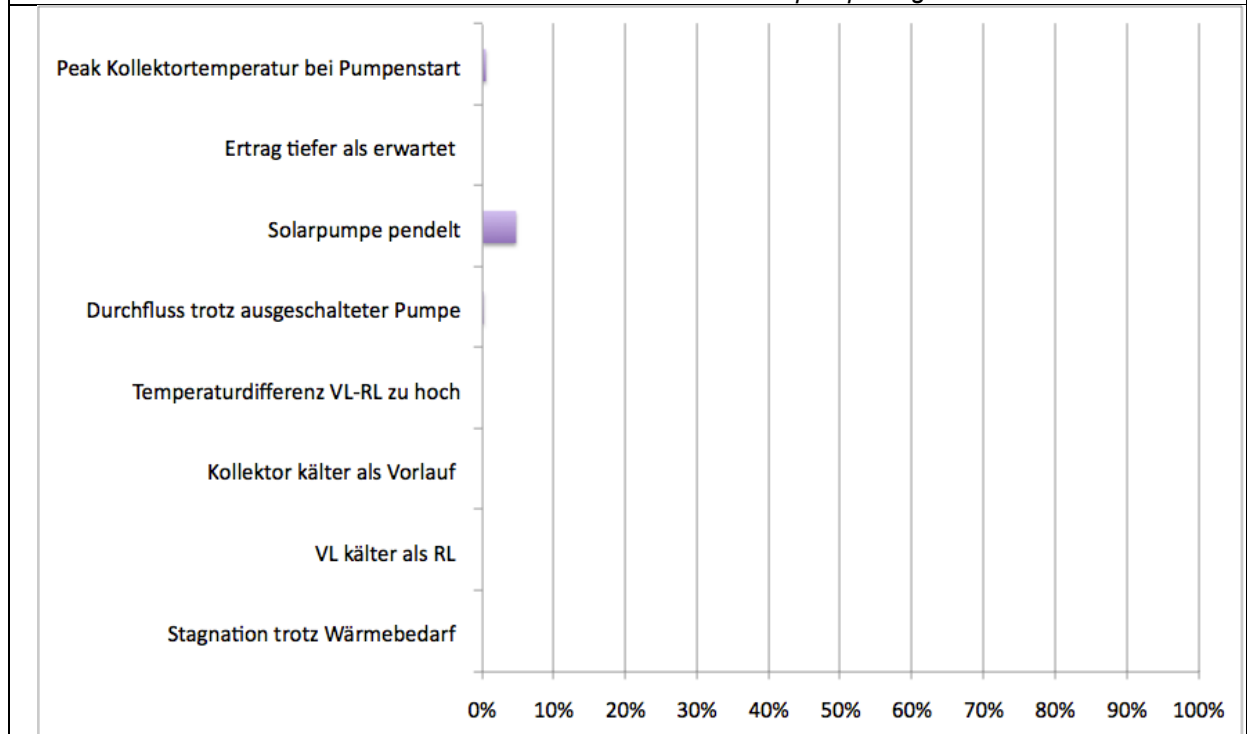


Abb. 8-6: Übersicht über die detektierten Fehler und ihre Häufigkeit

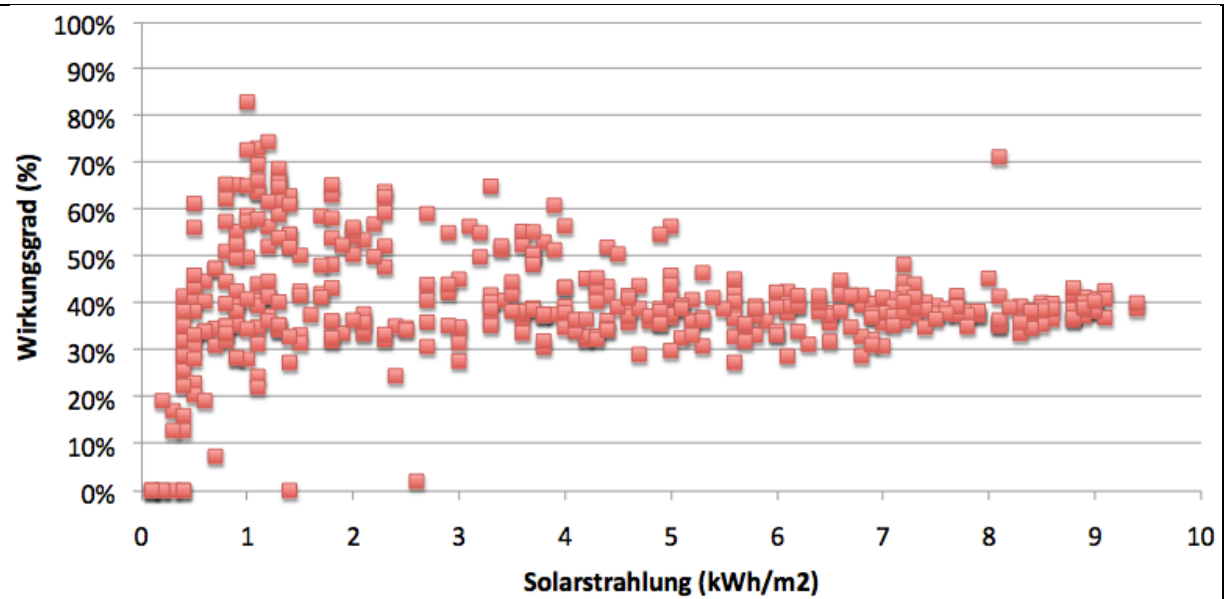


Abb. 8-7: Tagesmittelwerte des Kollektorwirkungsgrads aufgetragen gegen die Tagessummen der Solarstrahlung in die Kollektorebene.

9. Anlage „Pump“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen

< 2013 >																																
Januar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Februar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28				
März	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
April	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Mai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Juni	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Juli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
August	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
September	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Oktober	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
November	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Dezember	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
< 2014 >																																
Januar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Februar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28				
März	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
April	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Mai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Juni	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Juli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
August	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
September	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Oktober	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
November	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Dezember	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	

Legende:

keine Messwerte

Messwerte lückenhaft

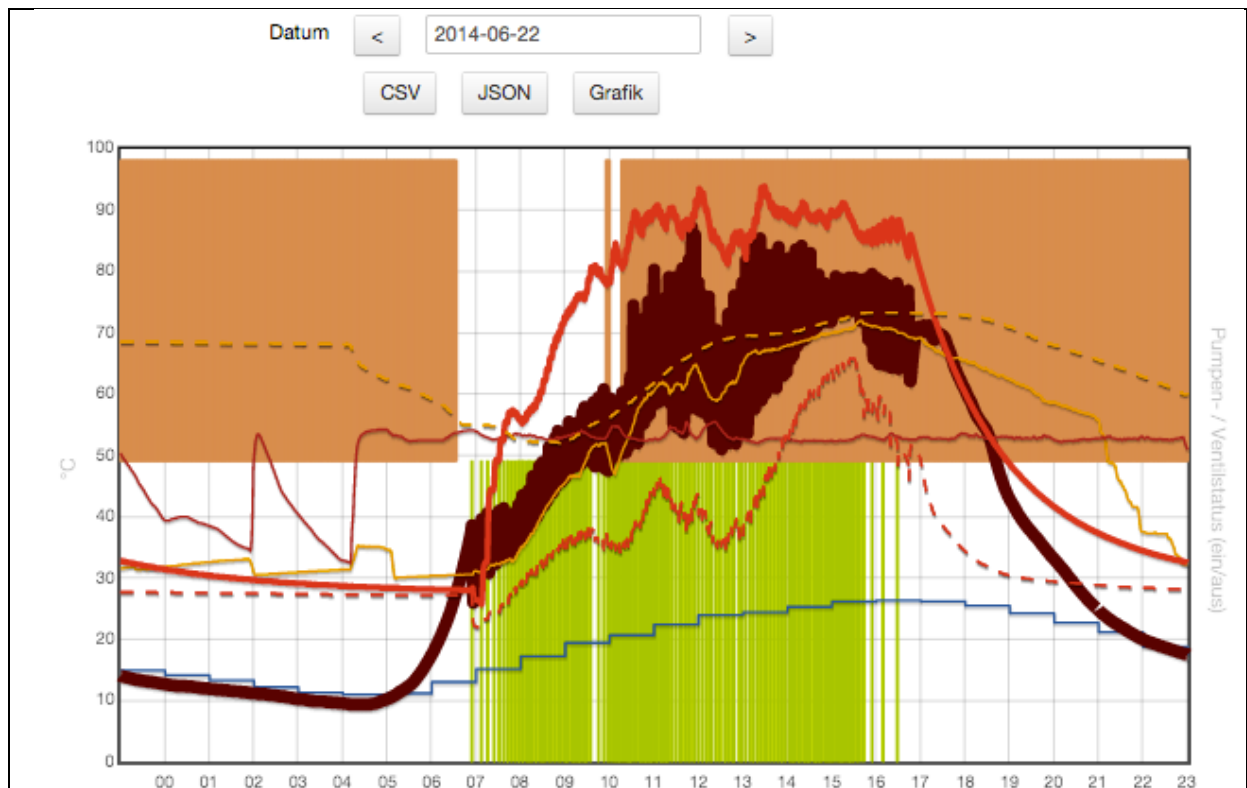
Messwerte nicht plausibel

Messwerte korrekt

Anlagen-Fehler

Abb. 9-1: Übersicht über die Analyse-Resultate

Abb. 9-1: Übersicht über die Analyse-Resultate



Legende

- Solarkreispumpe = ein
- Umschaltventil Zonen-/Speicherbeladung = ein
- Aussenluft = 26 °C
- Kollektorfeld = 79 °C
- Speicher 1 unten = 71 °C
- Speicher 1 oben = 73 °C
- Speicher 2 unten = 53 °C
- Vorlauf ("heiss") = 87 °C
- Rücklauf ("kalt") = 66 °C

Abb. 9-2: Messwerte vom 22. Juni 2014. An diesem Tag detektierte die Fehleranalyse „Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf zu hoch“

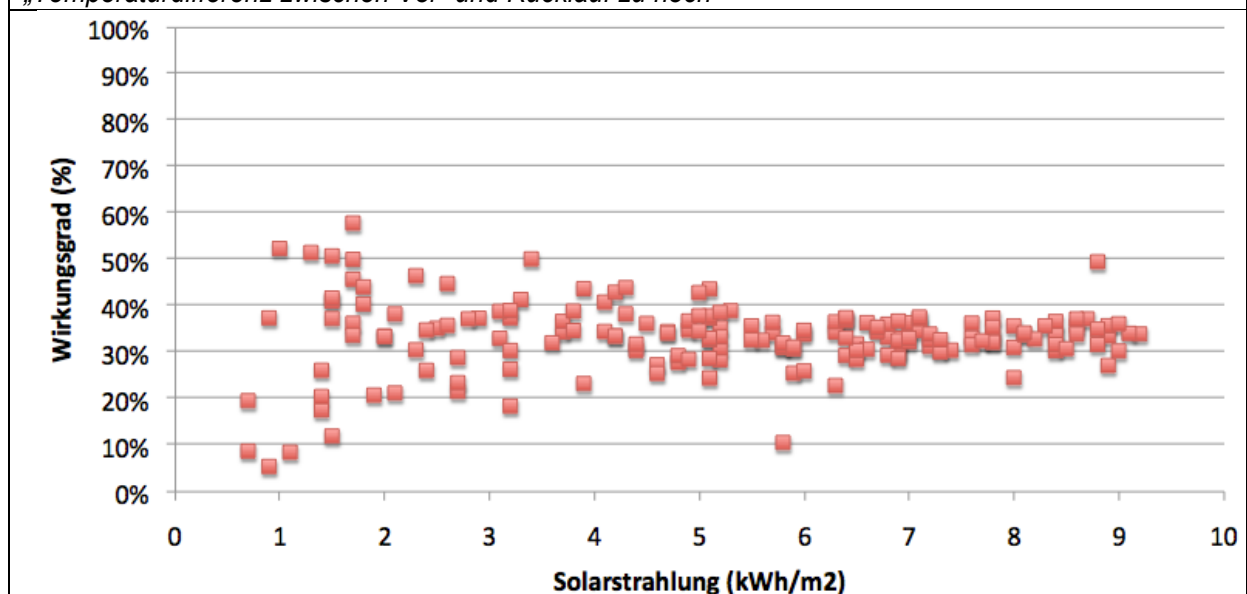


Abb. 9-3: Tagesmittelwerte des Kollektorwirkungsgrads aufgetragen gegen die Tagessummen der Solarstrahlung in die Kollektorebene.

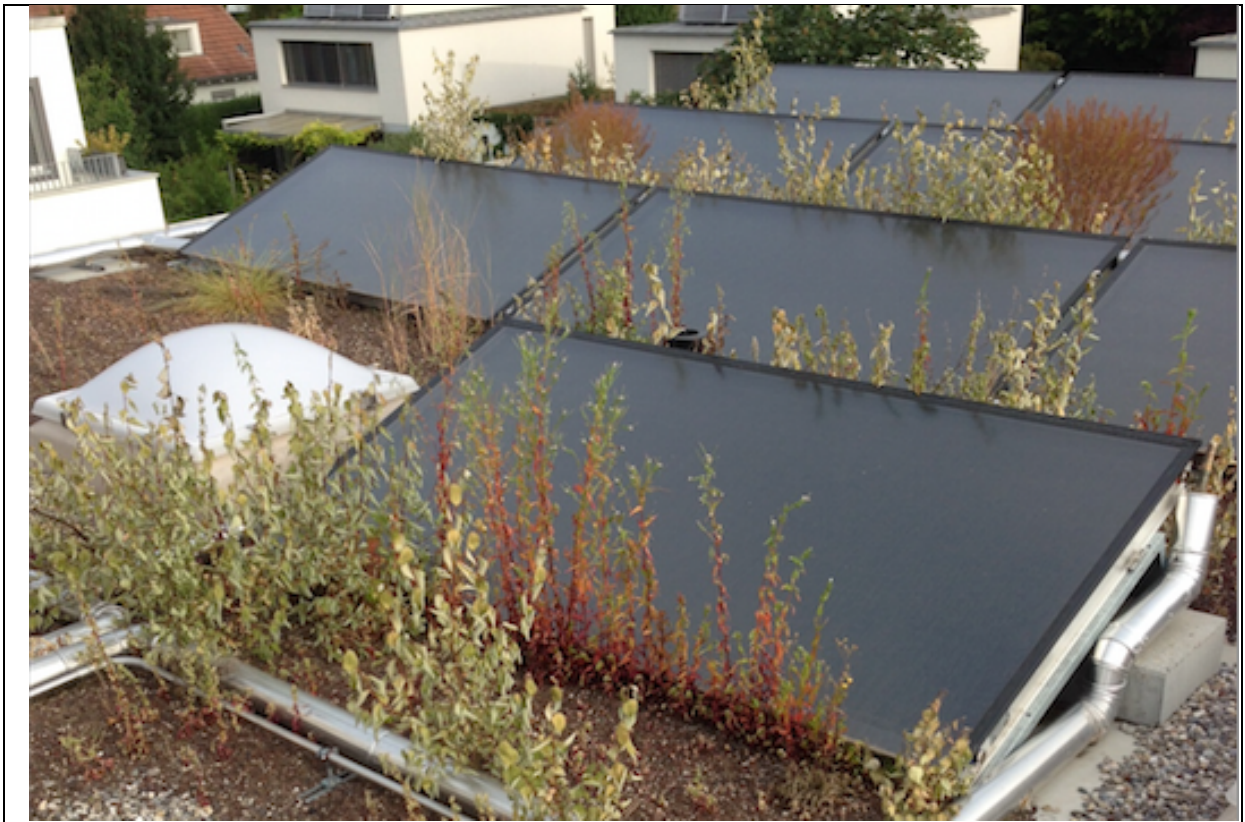


Abb. 9-4: Foto der Kollektoren am 16. Juni 2014

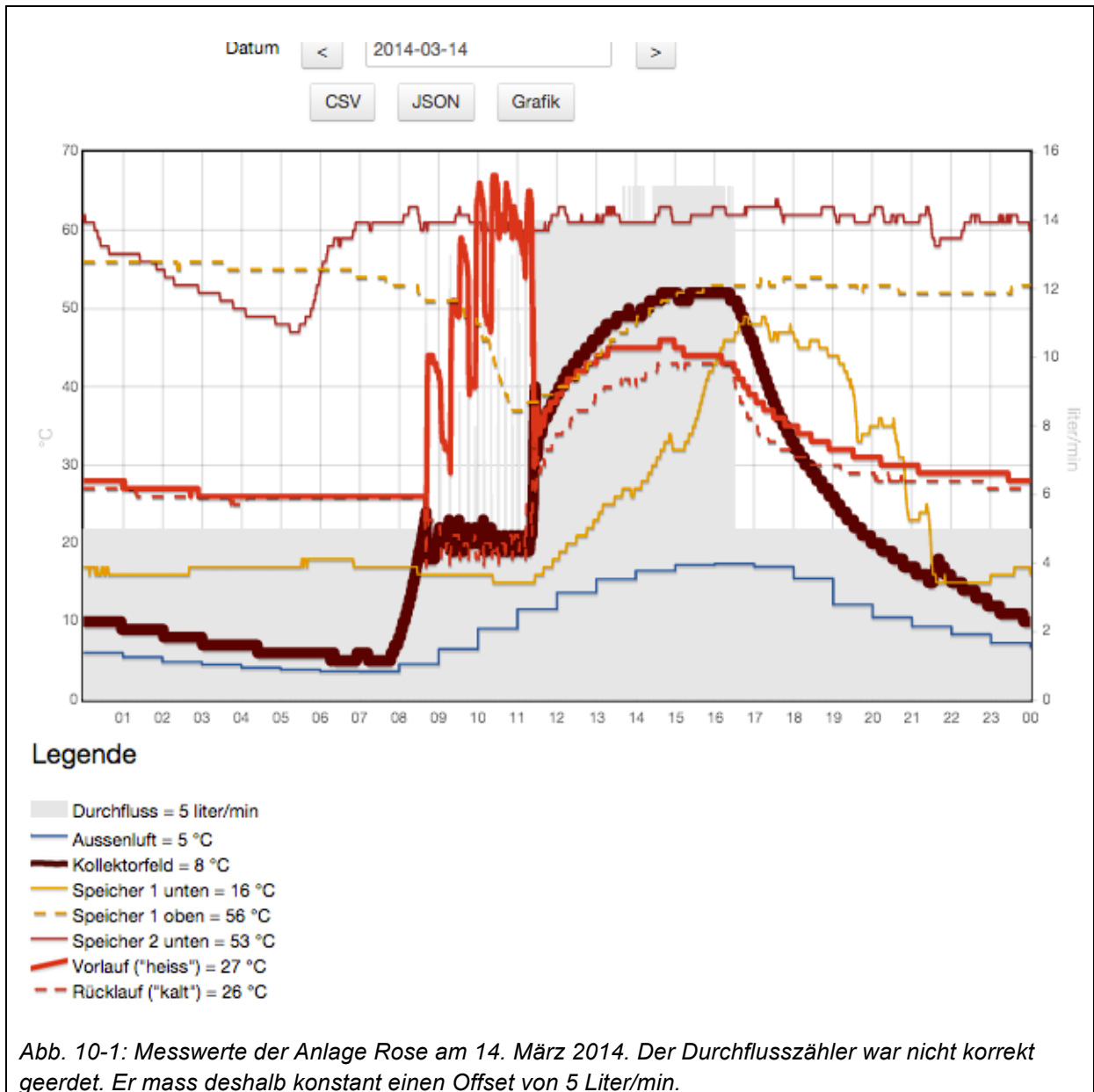
10. Anlage „Rose“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen

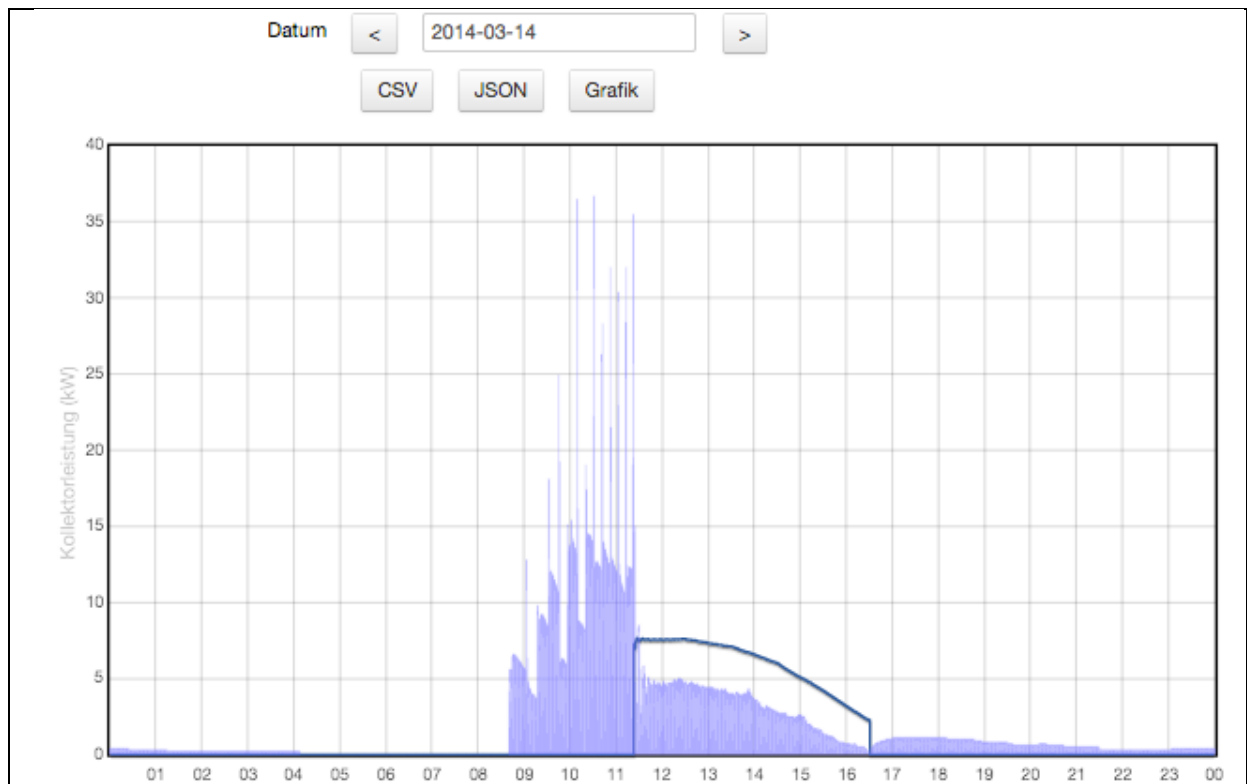
< 2013 >																																
Januar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Februar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28				
März	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
April	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Mai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Juni	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Juli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
August	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
September	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Oktober	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
November	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Dezember	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
< 2014 >																																
Januar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Februar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28				
März	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
April	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Mai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Juni	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Juli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
August	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
September	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Oktober	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
November	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Dezember	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	

Legende: keine Messwerte Messwerte lückenhaft Messwerte nicht plausibel Messwerte korrekt Anlagen-Fehler

Abb. 10-1: Übersicht über die Analyse-Resultate.

Abb. 10-1: Übersicht über die Analyse-Resultate.





Legende

- Referenz-Kollektorleistung = 0 kW
- Kollektorleistung = 0 kW

Abb. 10-3: Messwerte des Ertrags und Referenz-Ertrags am 14. März 2014. Wegen des Offsets beim Durchflusszähler wurde auch bei ausgeschalteter Solarpumpe (z.B. von 9 bis 11 Uhr) ein Ertrag gemessen.

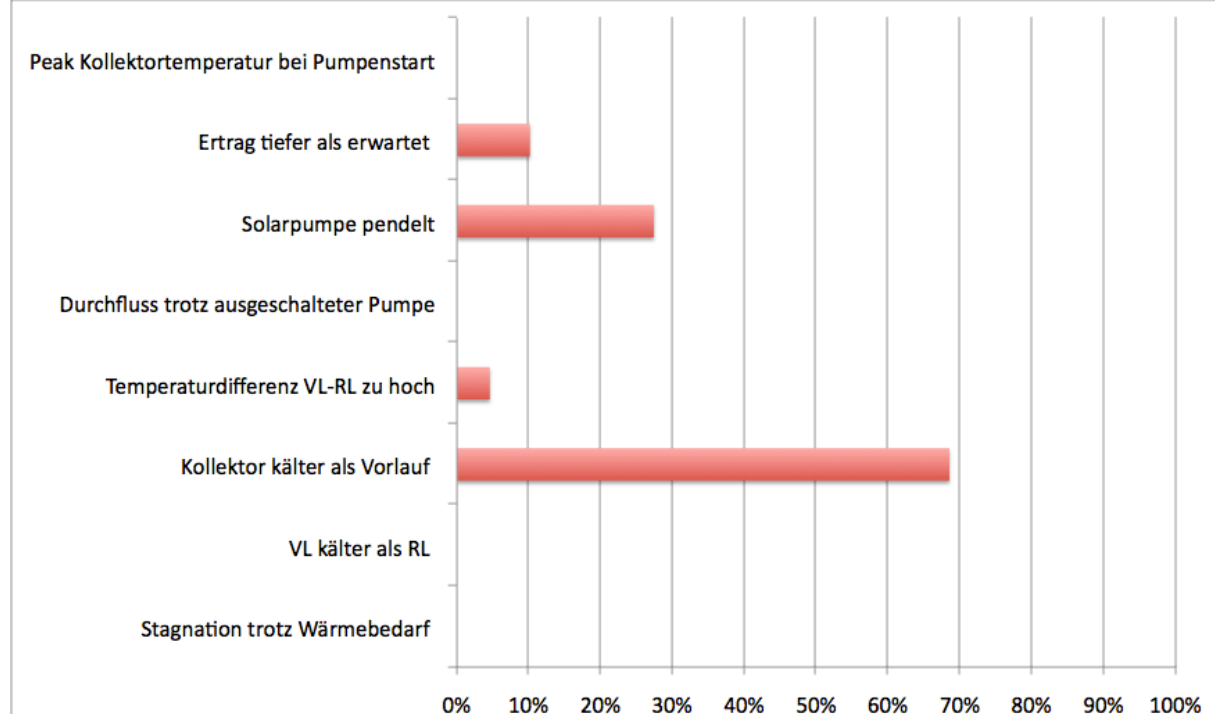


Abb. 10-4: Überblick über die detektierten Fehler und ihre Häufigkeit

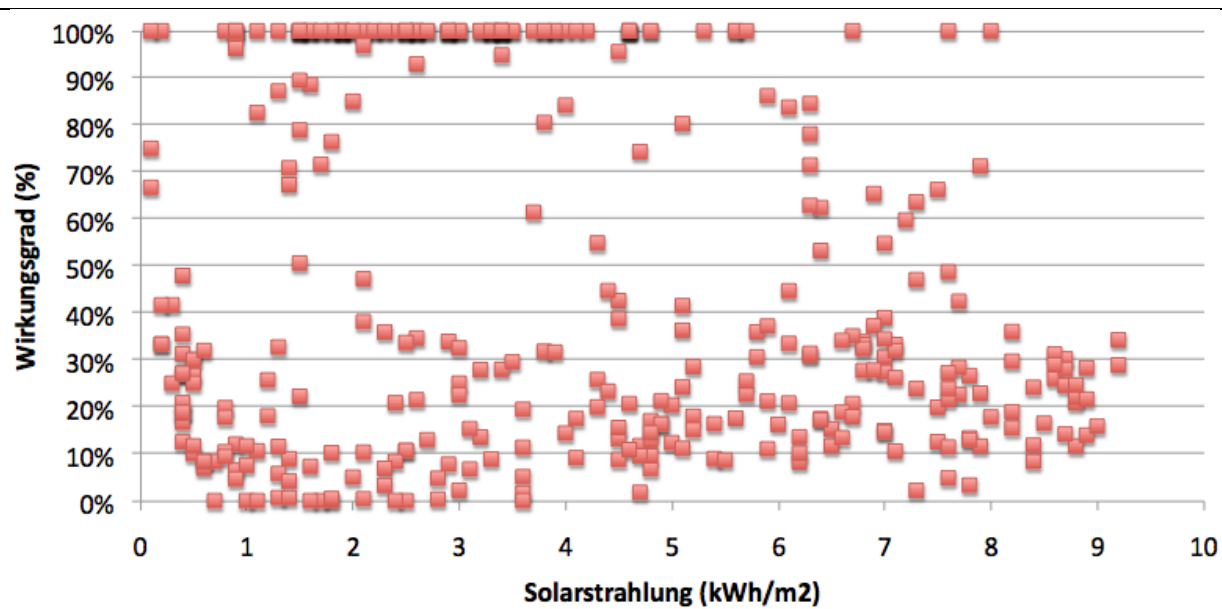


Abb. 10-5: Tagesmittelwerte des Kollektorstands aufgetragen gegen die Tagessummen der Solarstrahlung in die Kollektorebene.



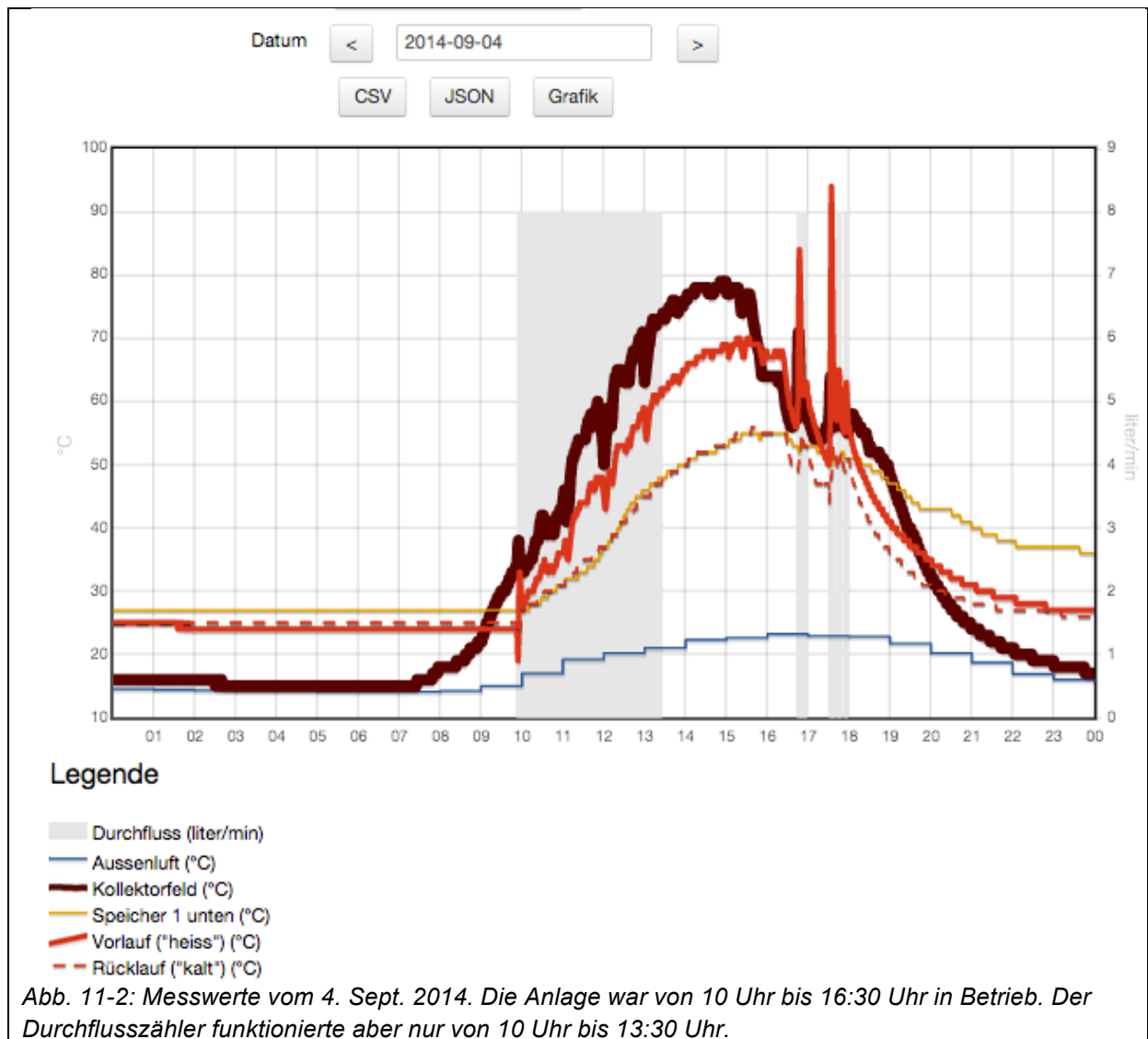
Abb. 10-6: Foto des Kollektoraustritts vom 28. April 2014. Der Temperaturfühler wurde am Kreuzstück auf der falschen Seite montiert.

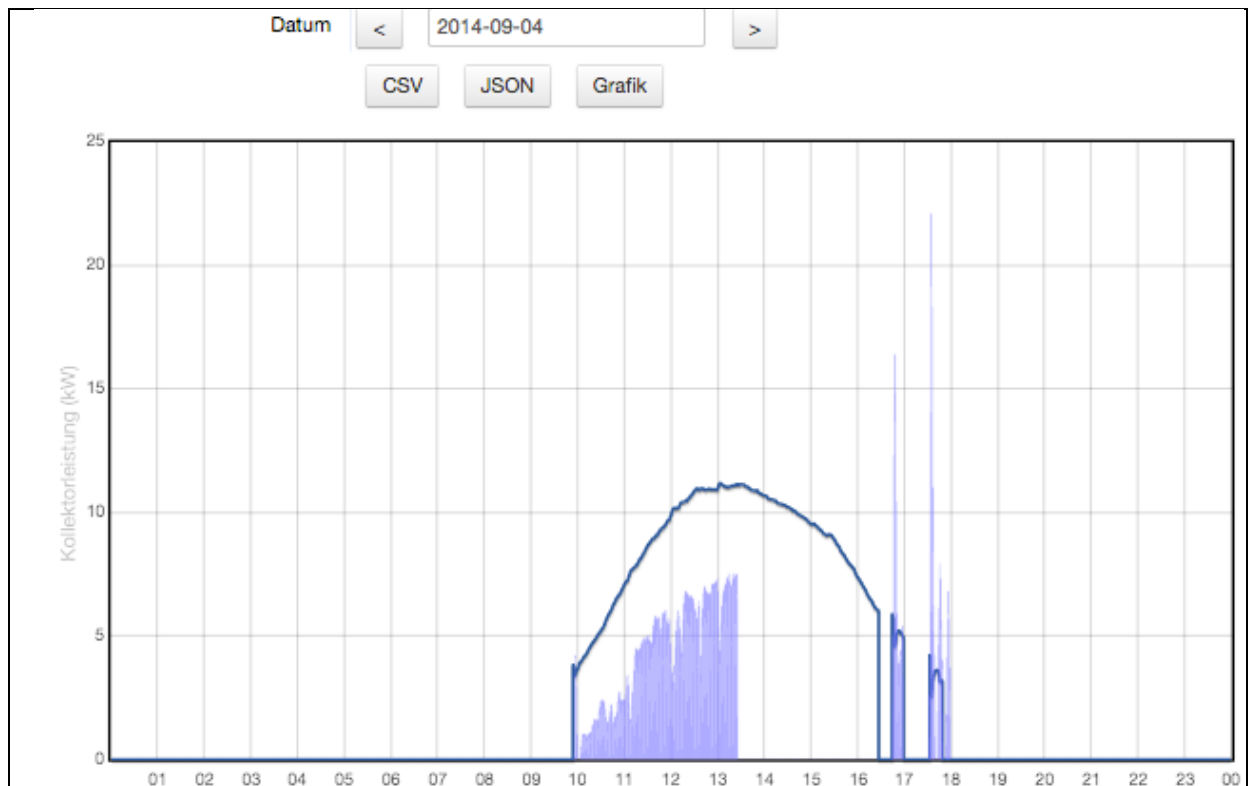
11. Anlage „Solo“: Fotos, Schemas, Messdaten und Auswertungen

< 2013 >																																			
Januar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
Februar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28							
März	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
April	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
Mai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
Juni	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
Juli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
August	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
September	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
Oktober	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
November	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
Dezember	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
< 2014 >																																			
Januar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
Februar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28							
März	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
April	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
Mai	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
Juni	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
Juli	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
August	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
September	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
Oktober	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
November	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
Dezember	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				

Legende: keine Messwerte Messwerte lückenhaft Messwerte nicht plausibel Messwerte korrekt Anlagen-Fehler

Abb. 11-1: Übersicht über die Analyse-Resultate





Legende

- Referenz-Kollektorleistung (kW)
- Kollektorleistung (kW)

Abb. 11-3: Ertrag und Referenzertrag vom 4. Sept. 2014. Von 13:30 bis 16:30 Uhr wird kein Ertrag gemessen, obwohl die Anlage in Betrieb war.

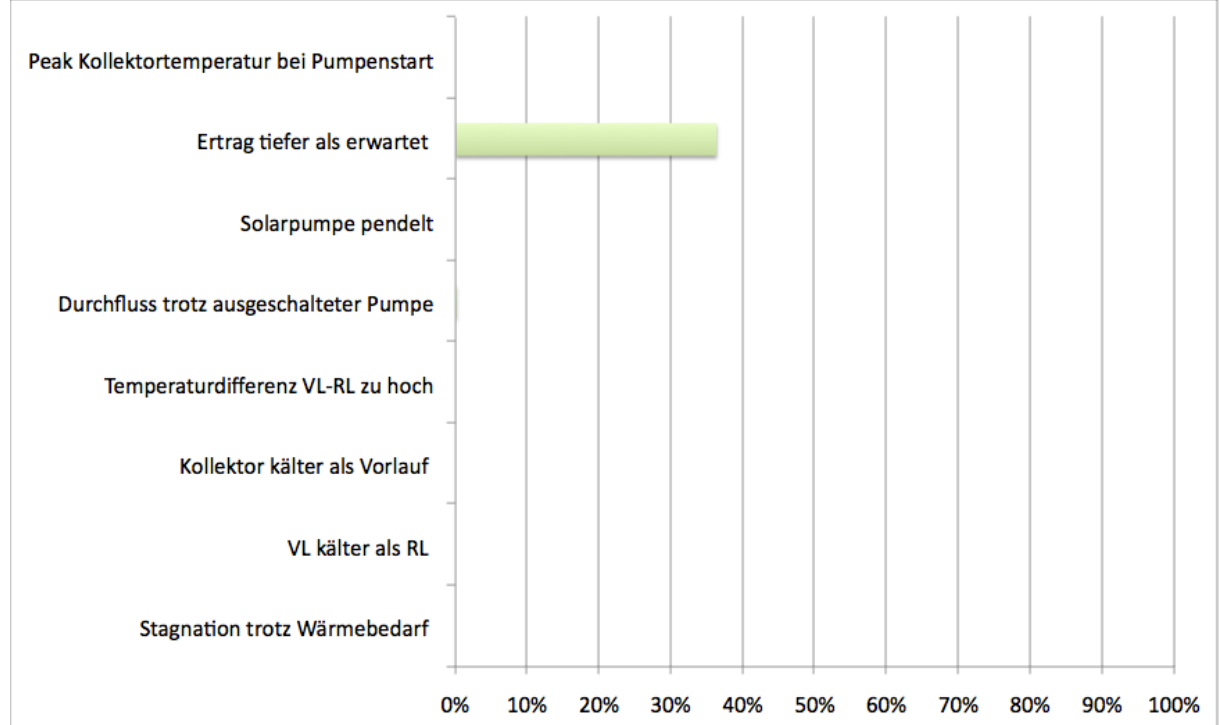


Abb. 11-4: Überblick über die detektierten Fehler und ihre Häufigkeit

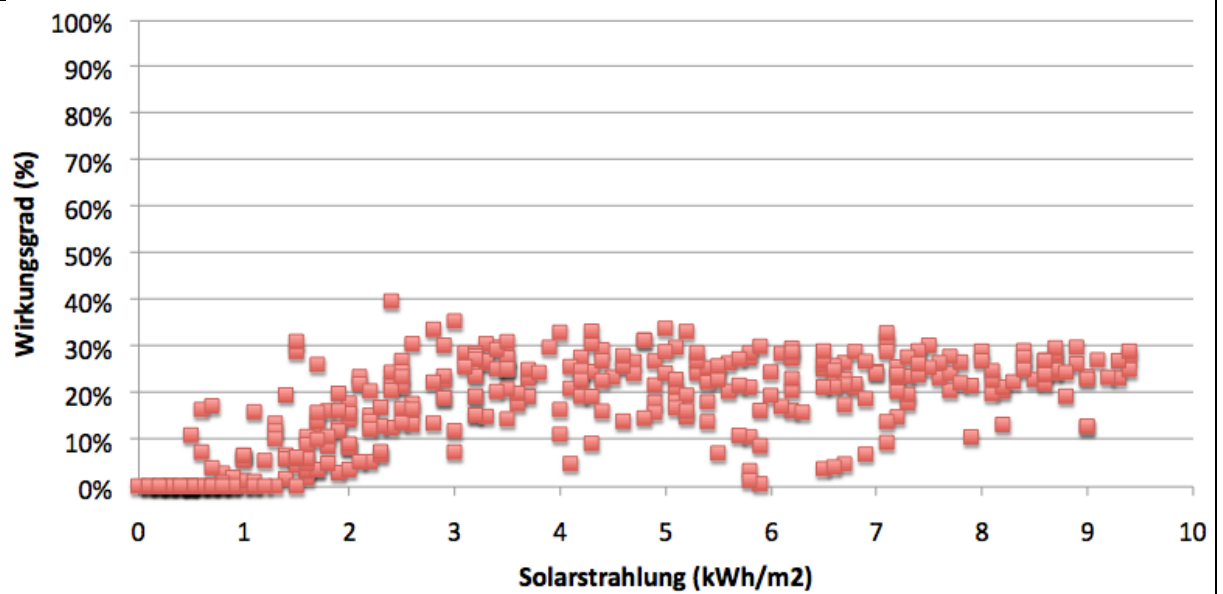


Abb. 11-5: Tagesmittelwerte des Kollektorwirkungsgrads aufgetragen gegen die Tagessummen der Solarstrahlung in die Kollektorebene.