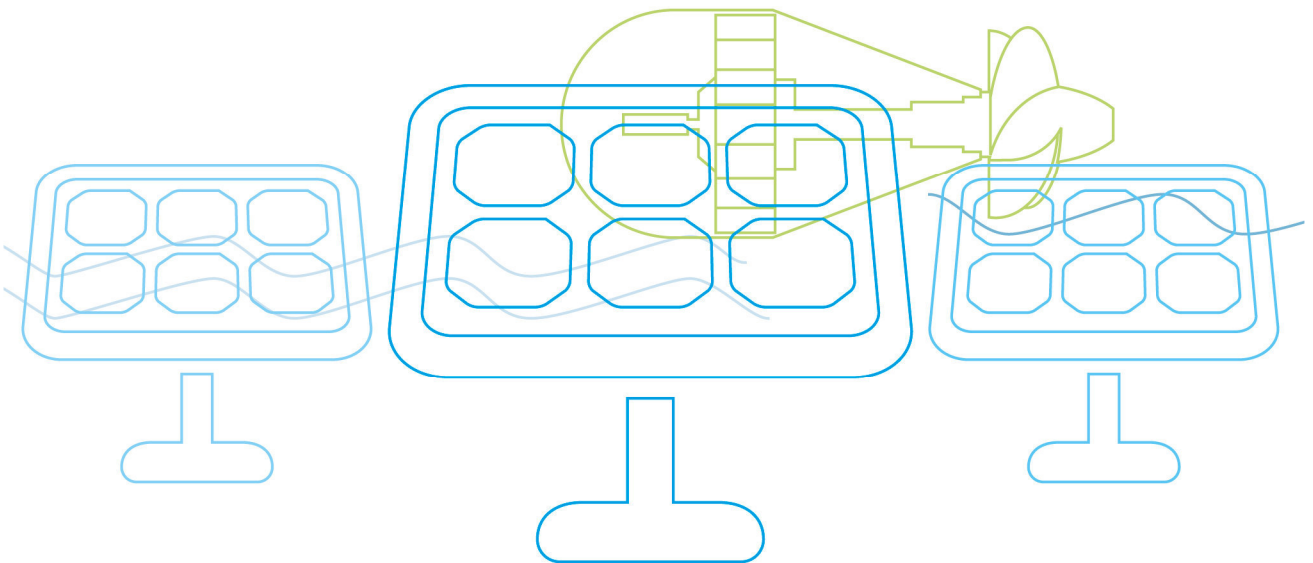




Intelligente Plattform zur dauerhaften automatisierten Qualitätssicherung und Ertragsüberwachung von Solaranlagen



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Energie der Zukunft“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A handwritten signature in black ink, reading 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, reading 'Ingmar Höbarth'.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

Inhalt

Kurzfassung.....	2
Abstract	4
1. Einleitung	6
2. Inhaltliche Darstellung.....	11
3. Ergebnisse	15
4. Schlussfolgerungen	26
5. Ausblick und Empfehlungen.....	28
6. Literaturverzeichnis	29
7. Anhang	32

Kurzfassung

Der Bereich thermischer Groß-Solaranlagen (GSA) wird zurzeit nicht optimal genutzt. Neben enormen offenen Potenzialen in der Marktumsetzung (vgl. „Solare Roadmap 2020“: <http://www.nachhaltigwirtschaften.at/results.html/id5694>) ist auch die Situation bei bestehenden Anlagen nicht zufrieden-stellend: Die Praxis zeigt, dass die Energieerträge vieler GSA deutlich unter den Erwartungen liegen.

Nur durch eine laufende Messdatenauswertung, Betriebskontrolle und Ertragsüberwachung können dauerhaft hohe Solarerträge erzielt werden. Wenn überhaupt, werden solche Auswertungen derzeit nur durch geschultes Fachpersonal mit hohem zeitlichem und personellem Aufwand durchgeführt. Daher werden Auswertungen häufig eingespart, Anlagenfehler bleiben lange Zeit unentdeckt. Dadurch entsteht wirtschaftlicher Schaden, das Vertrauen in Solarfirmen und allgemein in die Solartechnik sinkt.

Überblick und Ziele

Aus den genannten Gründen hat sich das Projekt IP-Solar zum Ziel gesetzt, die Auswertung und Betriebskontrolle von solargestützten Energieversorgungssystemen zu standardisieren und zu automatisieren. Das garantiert einen hohen qualitativen Standard im Anlagenbetrieb bei niedrigen laufenden Kosten.

Für ein solches System entwickelt IP-Solar die wissenschaftliche Basis, die technischen Grundlagen und einen Software-Prototyp. Der Hauptteil der Arbeit besteht in der Entwicklung vollautomatischer Auswerte- und Diagnose-Verfahren. Im Bedarfsfall soll IP-Solar den Anwender per SMS und Email rasch und gezielt informieren.

IP-Solar ist in der Lage, viele gängige Typen von GSA zu überprüfen. Im Bewusstsein, dass es nicht sinnvoll ist, nur wenige Teile eines Systems zu optimieren und andere zu vernachlässigen, betrachtet IP-Solar nicht nur den Solarkreis, sondern die gesamte Energieversorgungsanlage. Konkret werden etwa auch Nachheizung, Warmwasserbereitung oder das Verteilnetz analysiert. IP-Solar richtet sich speziell an GSA mit einer Kollektorfläche von mehr als 50 m², ist aber prinzipiell auch für kleinere Anlagen einsetzbar.

Durch den Web-basierten Aufbau ist die IP-Solar Software für Kunden einfach zu bedienen und wartungsfrei. Alle Informationen und Anlagenauswertungen stehen damit an jedem PC mit Internetzugang zur Verfügung. Durch diesen Ansatz kann die Software weltweit angeboten werden; internationales Interesse ist bereits vorhanden.

Details und Ergebnisse

Im Rahmen umfangreicher Marktanalysen zu bestehenden GSA konnte ein modularer Aufbau gefunden werden, mit dem zahlreiche marktübliche Systemtypen von GSA abgebildet werden können. Die Messdatenerfassung wurde so konzipiert, dass IP-Solar mit verschiedensten Kundensystemen zusammenarbeiten kann. Die messtechnischen Anforderungen sind sehr gering, und IP-Solar passt sich automatisch an vorhandene Messkonzepte an.

Die Diagnose und Auswertung der solaren Energieversorgungsanlagen beruht auf langjährigen Erfahrungen der Projektpartner, die sowohl aus dem praktischen Anlagenbetrieb als auch aus dem universitären Bereich kommen. Anhand bewährter Methoden aus der Industrie werden Anlagenfehler sowie deren Zusammenhänge und Ursachen systematisch erfasst und analysiert. Anschließend werden

eigene computerbasierte Verfahren und Algorithmen zur Anlagendiagnose entwickelt, die standardisierte

Kennzahlen berechnen und Funktionsfehler erkennen. Optional berechnet eine automatisch im Hintergrund laufende TRNSYS-Simulation Energieströme und Soll-Ist-Vergleiche.

Das Ablaufschema von IP-Solar ist flexibel und kann individuell an die Anforderungen einer GSA angepasst werden. Auf der IP-Solar Internet-Plattform können Kunden persönliche Einstellungen verändern und die grafische Ergebnisdarstellung anpassen. Alle Kennzahlen und Anlagendaten sind für Detailanalysen aufbereitet und können auch gedruckt oder heruntergeladen werden. Die beschriebene Vorgangsweise wird im Projekt anhand von drei Pilotanlagen getestet, je eine vom Typ „Brauchwasserbereitung“, „2-Leiter-Netz“ und „Fernwärmeeinspeisung“.

Nutzen durch IP-Solar

IP-Solar schafft die Möglichkeit zu einer automatisierten und permanenten Überwachung des Anlagenbetriebs. Ergebnis ist ein System für eine einheitliche und kostengünstige Betriebskontrolle und Auswertung von Solaranlagen. Durch gezielte Benachrichtigung im Fehlerfall bewirkt IP-Solar deutlich höhere Zuverlässigkeit im Betrieb von GSA und liefert nicht nur einen Optimierungsbeitrag hinsichtlich Energie-Output, sondern auch hinsichtlich Service- und Wartungskosten: Wartungsmaßnahmen können frühzeitig geplant und gezielt eingesetzt werden. Der Einsatz von IP-Solar reduziert somit die laufenden Kosten und ermöglicht einen einfachen und einheitlichen Vergleich zwischen verschiedenen GSA. Ein weiterer Vorteil ist die nachvollziehbare Dokumentation des Anlagenverhaltens, die durch die langfristige Speicherung von Anlagendaten und Ergebnissen in einer zentralen Datenbank möglich wird.

Dauerhaft höhere und kontrollierte Solarerträge bewirken ein geringeres Betriebsrisiko, optimierte Wirtschaftlichkeit und maximale Einsparung an fossilen Brennstoffen. Diese Faktoren tragen zu einem verbesserten Stellenwert von Solaranlagen in der Öffentlichkeit und zur weiteren Verbreitung der Technologie bei. Für öffentliche Institutionen wie etwa Fördergeber bietet IP-Solar neben einer Anlagenübersicht auch Unterstützung für den gezielten bzw. ertragsbezogenen Einsatz von Fördermitteln. Die Weiterentwicklung von IP-Solar in einem Folgeprojekt wird vorbereitet.

Abstract

Large solar thermal systems (LSTS) are currently not being used to their full capacity. Besides huge unused potentials on the market (cf. 'Solar Roadmap 2020'), the inventory of existing installations is not satisfying as well: experience has shown that the energy yields of many LSTS are considerably below expectations.

Permanently stable energy yields can only be achieved in a well-maintained installation. This requires ongoing evaluations of measuring data and the surveillance of plant operation and energy yields. If any, such evaluations are only conducted by highly trained expert staff and cause high expenses in both time and human resources. Hence, plant evaluations are often cancelled, and faults in the LSTS remain undetected for a long time. This causes economic losses and a loss of confidence in solar companies and the solar technology in general.

Overview and Objectives

For these reasons, the project IP-Solar intends to standardize and automate the evaluation and operational surveillance of solar energy supply systems. This guarantees a high standard of quality for the plant's performance combined with low running costs.

IP-Solar develops the scientific basis, the technical fundamentals and a software prototype for such a system. The main part of the work consists in the development of fully automated evaluation and diagnostics methods. In case of need, IP-Solar will provide the user with a quick and specific notification by SMS or email.

The modular design of IP-Solar allows processing many common types of LSTS. Bearing in mind that it is not reasonable optimizing only some parts of a system while disregarding the others, IP-Solar takes a look not only at the solar circuit, but at the entire energy supply system. In concrete terms, e.g. also auxiliary heating, hot water generation and distribution net are analyzed. IP-Solar is aimed at LSTS with a collector area of over 50 m², but in principle it is applicable also for smaller installations.

The web-based design of IP-Solar provides customers with an easy-to-use and maintenance-free software. All information and plant evaluations are thus available at any internet-connected PC. This means that the software can be distributed easily worldwide, a prudent point considering the international interest the project is already receiving.

Details and Results

Extensive market analysis into existing LSTS lead to a modular approach which is suitable for modeling numerous common LSTS system types. The acquisition of measuring data has been prepared in a way that permits the integration of IP-Solar with numerous customer systems. The requirements on customer-side measuring instrumentation are rather low, and IP-Solar automatically adapts to the existing measuring concept.

The diagnostics and evaluations of the solar energy supply systems are based on years of experience of the project partners. The partners' backgrounds are both academic research and practical experience in facility operation. Established industrial methods are used to systematically specify and analyze system failures, as well as their effects and causes. Subsequently, proper computer-based methods and algorithms for system diagnostics are developed. These are used to calculate standardized performance figures and to identify system

failures. There is also the option to run automated TRNSYS simulations in the background to calculate energy flows and target-performance comparisons.

The IP-Solar diagnostics procedure is rather flexible and can be adapted to suit the user requirements of each LSTS. On the IP-Solar internet platform, users can change personal settings and adjust the graphic representations of results. All key figures and monitoring data are prepared in detail for further analysis and may also be printed and downloaded. In the course of the project, the described approach is tested with three pilot installations of different types ('hot water generation', '2-line-system' and 'district heating supply').

Benefits

IP-Solar offers the opportunity for an automated and ongoing surveillance of the system operation. The result is a standardized and low-cost system for the evaluation of LSTS and operational control. By sending targeted notifications, in the case a fault occurs, IP-Solar creates a clear increase in the reliability of LSTS and contributes to their optimization, not only in terms of energy output but also in terms of service and maintenance cost: maintenance activities can be planned in advance and become more efficient, running costs are reduced. IP-Solar allows for a simple and consistent comparison of different LSTS. Another benefit is the comprehensive documentation of an installation's behavior; this is possible due to the long-term storage of plant data and results in a central database.

Consistently higher and better monitored solar energy yields lead to smaller operational risk, optimized economics and maximum savings in fossil fuels. This contributes to improving the acceptance of solar installations in public and to increasing the spread of this technology. IP-Solar supports public institutions such as funding authorities in the targeted use of subsidies, based on real energy yields, and offers them a concise survey of existing LSTS. The further development of IP-Solar in a follow-up project is being prepared.

1. Einleitung

a. Aufgabenstellung

Die derzeitige Situation im Bereich der Großsolaranlagen (GSA) ist nicht zufrieden stellend: Die Praxis zeigt, dass die Energieerträge vieler Anlagen unter den Erwartungen liegen. Nur eine laufende Betriebskontrolle und Ertragsüberwachung können dauerhaft hohe Solarerträge garantieren. Es gibt kein Produkt am Markt, das Solaranlagen verschiedener Hersteller unter Einbeziehung der gesamten Energieversorgungsanlage im Betrieb prüft. Überwachungssysteme gibt es nur für ausgewählte Hersteller oder spezielle Anlagentypen.

Die Betriebskontrolle von Solaranlagen ist im Moment eine Tätigkeit, die zeitintensiv und mit hohem personellem Aufwand verbunden ist. Solche Analysen werden in der Regel bei kommerziellen Solaranlagen nicht standardmäßig durchgeführt, weil sie zu teuer sind. Anlagenfehler bleiben daher häufig lange unentdeckt – wenn sie dann entdeckt werden, ist durch den verminderten Solarertrag ein großer wirtschaftlicher Schaden entstanden. Dadurch sinkt das Vertrauen in Solarfirmen und in die Solartechnik. Die hohen Kosten der händischen Überwachung stehen im Widerspruch zu den Marktanforderungen, nämlich niedrige laufende Kosten und zugleich hohe Solarerträge und eine hohe Qualität der Betriebsführung.

Die genannten Gründe machen eine Automatisierung der Betriebskontrolle von Solaranlagen notwendig. IP-Solar entwickelt einen innovativen Ansatz, thermische Solaranlagen in einem vollautomatischen Diagnose-System zu überwachen. Die zentralen Anforderungen für eine Verbesserung dieser Situation sind:

- laufende Ertrags- und Betriebsüberwachung von Solaranlagen
- geringer zeitlicher und personeller Aufwand
- Standardisierung der Auswertung von Solaranlagen
- gezielter Einsatz von Service- und Wartungsmaßnahmen

Die einzige Möglichkeit, um für große Solaranlagen niedrige laufende Kosten und einen hohen qualitativen Standard zu kombinieren, besteht in einer Automatisierung der Betriebskontrolle. Diese Anforderungen können nur durch eine Automatisierung der Überwachung des Anlagenbetriebs von Solaranlagen erreicht werden. Nur eine Standardisierung und Automatisierung der Betriebskontrolle kann die laufenden Kosten niedrig halten und zugleich einen hohen qualitativen Standard in Form hoher Solarerträge garantieren.

b. Schwerpunkte des Projektes

IP-Solar setzt es sich zum Ziel, die wissenschaftlichen und technischen Voraussetzungen für ein System zur automatischen Ertrags- und Betriebskontrolle zu schaffen. Es soll der Prototyp für ein Expertensystem zur automatischen Betriebskontrolle von thermischen Solaranlagen entwickelt werden. Auch erste Tests dieses Systems und Rückkopplungen auf die Produktentwicklung sollen im Projekt durchgeführt werden.

Benutzer von IP-Solar sollen auf einer Internet-Plattform detaillierte Informationen zu ihren Anlagen bekommen, wie etwa: Anlagendaten in Grafik- und Tabellenform dargestellt, exportierbar, detaillierte Informationen zum Anlagenverhalten (z.B. aufgetretene Fehler und Fehlerursachen), Benachrichtigung von Benutzern (SMS, Email) beim Auftreten unerwünschter Anlagenzustände. Bei der Entwicklung der

Internet-Plattform wird besonderer Wert auf intuitive Benutzbarkeit gelegt. Das IP-Solar-System wird so konzipiert, dass es mit verschiedenen Datenübertragungssystemen arbeiten kann.

IP-Solar ist nicht auf einen speziellen Anlagentyp zugeschnitten, sondern eignet sich für sehr viele gängige Typen großer Solaranlagen. Im Bewusstsein, dass es nicht sinnvoll ist, nur Teile eines Systems zu optimieren und andere Systembausteine zu vernachlässigen, betrachtet IP-Solar nicht nur den Solarkreis als isolierten Teil, sondern die gesamte Energieversorgungsanlage. Konkret heißt das, dass in IP-Solar nicht nur der Solarkreis, sondern (je nach Anlagenkonfiguration) auch Puffermanagement, Nachheizung mit fossilen Energieträgern, Warmwasserbereitung oder die Übergabe an ein Fernwärmenetz mit analysiert werden. IP-Solar richtet sich speziell an große Solaranlagen mit einer Kollektorfläche von mehr als 50 m², ist aber prinzipiell auch für kleinere Anlagen einsetzbar.

Für den durch IP-Solar angestrebten Innovationssprung gibt es derzeit keine am Markt verfügbare oder konkret in Entwicklung befindliche Technologie oder Dienstleistung. IP-Solar weist daher Alleinstellungskriterien auf. Die Weiterentwicklung des IP-Solar-Systems zur Marktreife geschieht außerhalb des vorliegenden Projekts. Die IP-Solar-Plattform kann auch international angewendet werden; es gibt bereits Interessenten aus Deutschland und Spanien, und natürlich auch aus Österreich.

Hier zusammengefasst der Nutzen der IP-Solar Plattform (Betrachtung des Business Case):

- einheitliche, vergleichbare Auswertung der Messdaten von Solaranlagen
- Kostensenkung für Anlagen im laufenden Betrieb (Überwachung, Service und Wartung)
- IP-Solar ermöglicht einen gezielten Einsatz von Wartungsmaßnahmen
- Langfristig höhere und gesicherte Solarerträge und geringeres Betriebsrisiko
- Durch geringeres Betriebsrisiko verbessert sich der Stellenwert von Solarthermie-Anlagen
- Einheitliches System für die automatische Betriebskontrolle von Solaranlagen
- Rückschlüsse auf einzelne Fabrikate und Optimierung des Planungsprozesses

c. Einordnung in das Programm

IP-Solar spricht hauptsächlich die Themenfelder 1, 3 und 4 an.

☒ Themenfeld 1: Energiesysteme und Netze

Obwohl Österreich in der Solarthermie im internationalen Vergleich eine Vorreiterrolle einnimmt, bleibt in vielen Marktsegmenten noch ein großes ungenutztes Potenzial. Eine höhere Marktdurchdringung kann nur durch die Erhöhung der Zuverlässigkeit von Solaranlagen durch die Vernetzung der Anlagen erreicht werden.

Solarthermie funktioniert grundsätzlich dezentral; IP-Solar entwickelt die Grundlagen, um die dezentralen Solaranlagen zu vernetzen und in einem zentralen System zusammenzufassen. Dieses System analysiert automatisch und laufend die Anlagendaten und alarmiert bei Bedarf dezentral die Anlagenbetreiber. Dafür wird ein solartechnisches Expertensystem in eine einfache Internet-Plattform eingebunden, das die Anlagen zusammenfasst. IP-Solar schafft die solartechnischen und IT-Voraussetzungen für Vernetzung von Solaranlagen.

So wird eine Kommunikationsstruktur für den Betrieb der verteilten Energiesysteme Solaranlagen geschaffen. Dies ist von besonderer Wichtigkeit vor dem Hintergrund regionaler Netze und kommunaler Energiepolitik.

☐ Themenfeld 2: Fortgeschrittene biogene Brennstoffproduktion (Bioraffinerie)

☒ Themenfeld 3: Energie in Industrie und Gewerbe

Solarenergie hat speziell in Industrie und Gewerbe noch große Potenziale (s. Projekte wie PROMISE oder IEA Task 33 / SHIP), um den Anteil Erneuerbarer Energieträger zu erhöhen. Die größten Hemmnisse bestehen in den Kosten bzw. der Wirtschaftlichkeit von Solaranlagen, die derzeit häufig nicht mit den hohen Anforderungen in diesem Bereich mithalten kann.

Für eine stärkere Marktdurchdringung sind hohe und zuverlässige Solarerträge die Voraussetzung. Dies deckt sich zur Gänze mit den Zielsetzungen des vorliegenden Projekts. IP-Solar senkt die laufenden Betriebskosten von Solaranlagen und verbessert Effizienz und Zuverlässigkeit durch eine Automatisierung der Betriebsüberwachung. Damit wird insgesamt eine verbesserte Wirtschaftlichkeit der Anlagen erreicht. Durch niedrigere laufende Kosten, höhere Erträge und geringeres Betriebsrisiko kann sich Solares Contracting etablieren.

☒ Themenfeld 4: Energie in Gebäuden

IP-Solar erhöht die Effizienz von Solaranlagen durch langfristig höhere Solarerträge. Im Sinne einer gesamtenergetischen Optimierung von Gebäuden führt die Effizienzsteigerung der Solaranlage direkt zur Einsparung von fossilen Energieträgern. Langfristig wird IP-Solar die gesamte Planungsqualität von Solaranlagen erhöhen (durch die Möglichkeit der Analyse statistischer Daten zu Anlagenfehlern in IP-Solar). Dies wird weiter zu Kosteneinsparungen und höherer Zuverlässigkeit sowie höheren Erträgen der Anlagen führen.

☒ Themenfeld 5: Energie und Endverbraucher

IP-Solar beinhaltet keine direkte Weiterentwicklung technologischer Produkte, trägt jedoch zu einer Verbesserung der Solar-Technologie bei: Die laufende komponenten-orientierte und detaillierte Analyse von Solaranlagen führt langfristig zu besserem Produkt-Know-How für Hersteller und zu Weiterentwicklungen in Basisprodukten.

So wird durch eine Senkung der Betriebskosten und eine Optimierung des Planungsprozesses das Gesamtprodukt „Solaranlage“ für den Endkunden preisgünstiger. Die Technologien von IP-Solar werden unter besonderer Einbeziehung der Nutzeransprüche entwickelt und erfüllt den Bedarf an einer nachvollziehbaren Überwachung des Anlagenbetriebs

☒ Themenfeld 6: Fortgeschrittene Verbrennungs- und Umwandlungstechnologien

IP-Solar betrachtet immer das Gesamtsystem einer Energieversorgungsanlage (nicht nur die Solaranlage). Die laufende Betriebsüberwachung umfasst das gesamte System. Folgen sind eine Effizienzsteigerung der Anlagenkette und eine Reduktion des Primärenergieeinsatzes.

☐ Themenfeld 7: Foresight und Strategie unterstützende Querschnittsfragen

d. Aufbau und verwendete Methoden der Arbeit

AP 1: IP-Solar geht von einer Marktanalyse aus dem Bereich großer Solaranlagen und Energieversorgungssysteme aus. Hier wurden Solaranlagen in Hinblick auf ihre hydraulische Ausführung, messtechnische Ausstattung und Regelungsstrategie analysiert. Das vorliegende Ergebnis ist die Betrachtung von Modulen, aus denen eine Energieversorgungsanlage (unter Einhaltung bestimmter Regeln) „wie ein Puzzle“ zusammengesetzt werden kann. Die Module enthalten diverse Varianten zur Anlagenhydraulik und diverse Optionen zur Messtechnik. Daher lassen sich auf diese Art und Weise Energieversorgungsanlagen mit Solaranlage sehr flexibel zusammensetzen. Die Module sind so aufgebaut und codiert, dass sie sich für eine computergestützte, automatisierte Auswertung eignen.

AP 2: Da eine computergestützte Datenauswertung auf eine hohe Datenqualität angewiesen ist,

wurde dafür ein eigenes Arbeitspaket angesetzt: Ziel ist die Sicherstellung einer umfassenden Qualitätssicherung der Messtechnik von Energieversorgungsanlagen. Im Rahmen von AP 2 wurden empfohlene Messkonzepte entwickelt. Erfahrungen zu diesem Thema, die der Antragsteller aus vielen Jahren Praxis mitbringt, wurden in als Richtlinien zur Qualitätssicherung in der Messtechnik zusammengefasst. Weiters wurde ein praxistauglicher Leitfaden für die Montage und Inbetriebnahme von Solaranlagen erstellt.

AP 3: Eine weitere wichtige Voraussetzung, die Bereitstellung geeigneter Hard- und Software-Voraussetzungen für IP-Solar, werden in AP 3 geschaffen. Energieversorgungsanlagen übermitteln ihre Daten online an einen zentralen IP-Solar-Server, der die Datenspeicherung und -analyse ausführt. Daher wurde in AP 3 ein geeigneter Server installiert, auf dem die laufenden Messdaten gespeichert werden. Weiters wurde bereits eine Datenbankstruktur entwickelt, die die spätere automatisierte Auswertung der Daten ermöglicht. Durch die Entwicklung einer speziellen Software-Schnittstelle zu den Anlagen ist IP-Solar flexibel und kann verschiedenste Kundenformate (Datenstrukturen) verarbeiten und in ein einheitliches internes IP-Solar-Datenformat importieren und umwandeln.

AP 4: In diesem zentralen Arbeitspaket wird die eigentliche Methodik der Datenauswertung und Diagnosefähigkeit von IP-Solar entwickelt. Dazu wurden zunächst bewährte Methoden zur Fehlerfindung in komplexen Systemen untersucht und auf ihre Tauglichkeit für die Zwecke des Projekts analysiert. Die FMEA-Methode (Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse) stellte sich als gute Grundlage zur Fehleranalyse heraus. Hier werden Charakteristiken, Zusammenhänge, Ursachen und Folgen von Fehlern in komplexen Systemen miteinander verknüpft. In einem zentralen FMEA-Dokument wurde eine an die Gegebenheiten von IP-Solar angepasste Version der FMEA erstellt, die laufend erweitert wird. Die FMEA-Analyse berücksichtigt die Ergebnisse aus AP 1 und AP 2. Durch die FMEA sind die möglichen Anlagenfehler mittels 11 Kriterien nach Priorität kategorisierbar. In AP 4 wurde schließlich speziell an der Ausarbeitung von Algorithmen gearbeitet, um Funktionsfehler auffinden zu können („Fehlerdetektion“). So konnten 111 Algorithmen zur Fehlersuche und 92 Algorithmen zur Kennzahlen-Berechnung entwickelt werden. Zusätzlich wurden 56 Hilfs- und Datenbankfunktionen entwickelt, um bestimmte Arbeitsabläufe für alle anderen Algorithmen zu vereinheitlichen, zu standardisieren und zu optimieren.

Weiters wurden in AP 4 standardisierte Bezeichnungen für alle Variablen und Parameter der Module aus AP 1 entwickelt; dies ermöglicht die automatisierte Abarbeitung der Algorithmen. IP-Solar wurde in allen Arbeitspaketen so konfiguriert, dass die Software mit verschiedenen Kunden-Hydrauliken und verschiedenen Messtechnik-Konfigurationen arbeiten kann. Die Detektionsfähigkeit von IP-Solar wird automatisch der Kunden-Anlage angepasst. Dies bedeutet zwar höheren Aufwand in der Entwicklung, macht IP-Solar dafür aber für eine große Anzahl von Anlagen und Kunden universell einsetzbar.

Der Projektpartner Uni Kassel arbeitete an der Implementierung der Analyse mit Hilfe von TRNSYS-Simulationen. Hier werden Anlagen-Messdaten mit simulierten Ergebnissen verglichen. In diesem Bereich wurde bisher an der grundlegenden Funktionalität des Systems gearbeitet.

Als Hilfsmittel für die Erforschung von Fehlerursachen wurde nach eingehenden Recherchen die Methode der Fehlerbaumanalyse (FTA, Fault Tree Analysis) gewählt. Durch die FTA-Methode können für wichtige Anlagenfehler Rückschlüsse zwischen Ursache und Auswirkung des Fehlers gezogen werden. Bei tiefergehenden Untersuchungen hat sich 2010 herausgestellt, dass die Erforschung und die Software-technische Umsetzung systematischer Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge mit deutlich mehr Aufwand verbunden ist, als dies zur Projektplanung von den Experten geschätzt worden war. Hier müsste jedenfalls in einer außerhalb dieses Projektes liegenden Arbeit weiter geforscht werden.

AP 5: Die softwaretechnische Umsetzung der IP-Solar Plattform ist Aufgabe von AP 5. Im Sinne einer

effizienten Entwicklung gab es hier enge Abstimmungen zwischen den Partnern. Inzwischen ist die Erfassung der Fähigkeiten und Anwendungsfällen („Use Cases“) von IP-Solar aus softwaretechnischer Sicht abgeschlossen.

In AP 5 wurde ein Großteil der IT-technischen Struktur von IP-Solar erfolgreich umgesetzt, getestet und mit den Inhalten der anderen Arbeitspakete abgestimmt. Unter anderem wurden in AP 5 die wichtigen Hilfs- und Datenbankfunktionen, alle Kennzahlenalgorithmen sowie ca. 10 Fehlersuch- Algorithmen in java-Code umgesetzt. Gemeinsam mit der Umsetzung wurde eine standardisierte Testumgebung zur Verifizierung dieser Algorithmen in Form von Unit-Tests entwickelt. Dadurch wird die maximale Qualität des endgültigen Expertensystems gewährleistet. Weiters wurde in AP 5 das Frontend zum IP-Solar-System umgesetzt. Das Frontend, das auf einem php/mysql-Framework basiert, besitzt noch nicht die Benutzerfreundlichkeit und die Funktionalität, die sich ein Kunde von einer zu verbreitenden Software erwartendarf. Weiters sind auch im Bereich Algorithmen-Umsetzung und Algorithmen-Tests noch weiterführende Arbeiten wichtig und notwendig, um sämtliche in AP4 beschriebenen komplexen Hydraulikverschaltungen abzubilden.

Für die weiterführenden Validierungs-Arbeiten, die noch innerhalb des laufenden Projekts aufgeführt werden sollen, wurde durch Installation des webbasierenden Projektmanagement-Systems „FogBugz“ eine effiziente Möglichkeit zur Vernetzung des Inputs mehrerer räumlich getrennter Personen geschaffen.

AP 6: 2010 konnte auch mit dem Testbetrieb von IP-Solar gestartet werden. An Hand aktueller sowie seit 2009 gesammelter Anlagen-Messdaten kann dadurch die Funktionsweise der Datenübertragung, der Fehlersuch-Algorithmen, der Kennzahlen etc. überprüft werden. Als Testanlagen stehen 3 große Solaranlagen der Fa. S.O.L.I.D. mit unterschiedlichen Konfigurationen zur Verfügung. In Abstimmung mit den Ergebnissen aus AP 1 bis AP 4 konnte gezeigt werden, dass die Datenübertragung sowie die prinzipielle Ausführung des IP-Solar Monitorings und der Fehlersuche funktioniert. Allerdings sind weiterführende Arbeiten notwendig, wie z.B. Tests mit anderen Reglerherstellern oder anderen Anlagentypen, sowie Tests mit dem Gesamtsystem IP-Solar im Sinne einer System-Validierung.

AP 7: In allen Arbeitspaketen arbeiten die Projektpartner eng zusammen. Insbesondere die Arbeit zwischen dem Projektkoordinator, den Universitäten und dem Partner zur Softwareentwicklung ist sehr eng und gut aufeinander abgestimmt. Die Projektziele, Hauptaufgaben und Methodiken wurden zu Beginn im Konsortium erörtert. Laufend finden kleinere Arbeits-Workshops zwischen 2 oder 3 Partnern statt. 1...2 Mal pro Jahr gibt es Projektmeetings im Plenum: Hier wird u.a. das vom Projektleiter aktualisierte Projekthandbuch präsentiert und der Projektstatus bzgl. Inhalt, Meilensteinen, Kosten und Terminen mit den Partnern besprochen. Die laufende Dokumentation und der Austausch von elektronischen Dokumenten erfolgen über eine spezielle Internet-basierte Dokumentationsplattform (Cerepedia). Zu jedem Arbeitspaket hat der der AP-Verantwortliche die terminliche und inhaltliche Übersicht und erstellt die Dokumentation zum AP. Im Bereich Dissemination ist die Erstellung der Homepage www.ip-solar.at und die Veröffentlichung von mehreren Postern und Papers (z.B. Solar World Conference in Johannesburg und Kassel, OTTI Konferenz Bad Staffelstein, EuroSun 2010 in Graz) zu nennen. Eine Zusendung dieser Publikation an die FFG sowie den Klima- und Energiefonds erfolgte gesondert.

2. Inhaltliche Darstellung

AP 1: „Analyse solargestützter Energieversorgungsanlagen“

Eine Marktanalyse der gängigen Typen von großen Energieversorgungsanlagen mit Solareinbindung (mind. 80 m² Kollektorfläche) in Mitteleuropa soll durchgeführt werden. Die erfassten Anlagen werden hinsichtlich ihrer Hydraulikkonfiguration, ihrer Messtechnik und ihrer Regellogiken auf Gleichheiten und Unterschiede untersucht und in Typen kategorisiert. Weiters wird festgelegt, welche Anlagentypen im Projekt im Detail untersucht werden. Eine Systematik zur Beschreibung und Abbildung dieser Anlagentypen in einem computerverständlichen Formalismus wird entwickelt.

AP 2: „Qualitätssicherung Messtechnik“

Notwendige Vorarbeiten werden durchgeführt, um qualitativ hochwertige Messdaten von Energieversorgungsanlagen mit Solarunterstützung zu bekommen. Das Thema Messtechnik ist in diesem Bereich bisher etwas vernachlässigt worden. Die automatisierte computergestützte Datenauswertung und Diagnose von Solaranlagen benötigt hochwertigere Messdaten als der bloße Standard-Betrieb der Regelung. Daher werden in AP 2 wichtige Messwerte identifiziert und Richtlinien für eine umfassende Qualitätssicherung in der Messtechnik sowie eine praxisorientierte Checkliste entwickelt. Der Fokus liegt dabei auf tatsächlich vorhandene Bedingungen.

AP 3: „Datenübertragung- und Speicherung“

IP-Solar baut auf einer zentralen Struktur auf, d.h. die Messdaten der Anlagen werden laufend auf einem zentralen Server abgelegt, und auch die Analyse der Daten läuft über diesen Server. Greift ein Kunde auf die IP-Solar Internet Plattform zu, so läuft dies wiederum über diesen Server. Es sollen daher die Anforderungen für diesen Server sowie für die darauf laufende Datenbank definiert werden. Weiters soll der Server beschafft, installiert und konfiguriert und die Datenbank operativ werden. Ein Importschema für den laufenden Import der Messdaten von Solaranlagen soll innerhalb des APs definiert werden. Der Datenimport muss an der Schnittstelle zum IP-Solar System möglichst standardisiert sein, nach außen aber möglichst flexibel bleiben, um die Anforderungen an Kundensysteme minimal zu halten. Die voll automatisierte Datenübertragung wird umgesetzt und anhand von Beispieldaten getestet.

AP 4: „Datenauswertung und Simulation“

Das Ziel von AP 4 war die Durchführung der solartechnischen Untersuchungen und Entwicklung der solartechnischen Analyse-Methoden, auf deren Basis das IP-Solar System eine Anlagendiagnose durchführen kann. Die besondere Herausforderung besteht darin, die Diagnose nicht für eine spezielle Anlage, sondern in allgemeiner Form für vielfältige Anlagentypen zu entwickeln. Das heißt, es soll möglich sein, mit einer übersichtlichen Anzahl an Hilfsmitteln (Algorithmen) möglichst viele Fehlermuster in den Messdaten von Energieversorgungsanlagen zu erkennen. Die Methode muss außerdem für zahlreiche Anlagentypen (siehe Modularisierung, AP 1) anwendbar sein. Die Methode muss so konstruiert sein, dass sie später hinsichtlich weiterer Anlagentypen und zusätzlicher Anlagenfehler erweiterbar ist.

In AP 4 sind drei sich ergänzende Ansätze entwickelt worden: zum Ersten die Entwicklung griffiger Kennzahlen, an Hand derer das Anlagenverhalten im Überblick abgeschätzt werden kann, zum Zweiten die Diagnose über Algorithmen, die laufend die Messdaten prüfen und auswerten, zum Dritten die Diagnose über einen Vergleich zwischen Simulation und Messdaten.

AP 5: „Entwicklung der Expertensystem-Software“

In diesem Arbeitspaket sollten die softwaretechnischen Grundlagen für das Expertensystem zur Abwicklung der automatisierten Anlagendiagnose entwickelt werden. Es wurde ein Prototyp entwickelt. Dieser Prototyp ist in der Lage, die Funktionalität der in AP 4 entwickelten Diagnoseverfahren grundsätzlich zu prüfen, Anlagendaten automatisiert abzulegen und die 3 Stufen der Datenauswertung auf erste Messdaten von Testanlagen (siehe Arbeitspaket 6) anzuwenden. In AP 5 sollten prototypartig das Backend und das Frontend für IP-Solar entwickelt werden. Entsprechend liegt als Ergebnis von AP 5 bereits eine Internet-Plattform von IP-Solar vor.

Als Grundlage für die Erstellung des Prototypen sollten die genauen softwaretechnischen Anforderungen an Front- und Backend im Rahmen eines klassischen Softwareentwicklungsprozesses abgebildet werden. Der Fokus sollte dabei auf der Funktionalität zum Datenbankzugriff und der Berechnungsfunktionalität im Backend liegen. Diese Teile werden benötigt, um die Validierung der in AP4 entwickelten Verfahren zu validieren. Das Frontend des Expertensystems sollte vor allem den Entwicklern der Algorithmen eine einfache Schnittstelle bieten, um die Ergebnisse der Verfahren effizient einsehen zu können.

AP 6: „Testbetrieb IP-Solar“

In AP 6 soll IP-Solar im Testbetrieb an Pilot-Anlagen praxisnahe geprüft werden. Zur Durchführung des geplanten Testbetriebs des IP-Solar Prototypen an Pilot-Solaranlagen mussten zunächst diese Testanlagen für IP-Solar vorbereitet werden. Primäres Ziel innerhalb dieser Berichtsperiode war daher eine möglichst frühzeitige Anpassung der Anlagen an den IP-Solar Standard und ein Erfassen und Sammeln der Messdaten, die im späteren Testbetrieb ausgewertet werden können.

AP 7: „Management und Dissemination“

IP-Solar ist ein Unterfangen, welches das Projektmanagement vor besondere Herausforderungen stellt. Die Aufgabenstellung bedingt hohes Risiko (siehe Abbildung 1). Die Arbeitspakete sind stark verknüpft, das Team ist sehr interdisziplinär, was ständige Abstimmungen erfordert. Zudem war das Budget für die Zielsetzungen des Projektes nach relativ knapp bemessen. Dies stellte sich im Laufe des Projektes durch die unvorhergesehen aufgetretenen Schwierigkeiten heraus.

Dem wurde durch den gezielten Einsatz von Projektmanagement-Methoden entgegnet, die für den guten Verlauf des Projekts mitverantwortlich sind. Das Projektmanagement wurde vom Konsortium trotz Koordinatorwechsels (innerhalb von S.O.L.I.D.) gut angenommen, das Projekt war inhaltlich sehr gut aufgestellt, die Motivation im Team war außerordentlich gut. Das Projekthandbuch wurde regelmäßig aktualisiert (u.a. Balkendiagramm, Umweltanalyse, Risikoanalyse). Ausgewählte Mitarbeiter des Konsortiums als Kernteam eingeteilt (Abbildung 2).

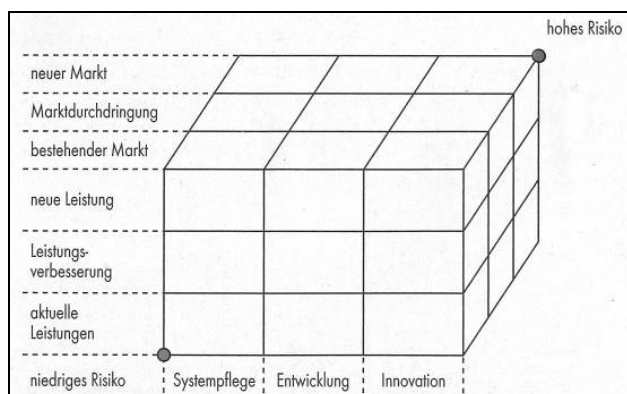


Abbildung 1 Risikobewertung IP-Solar

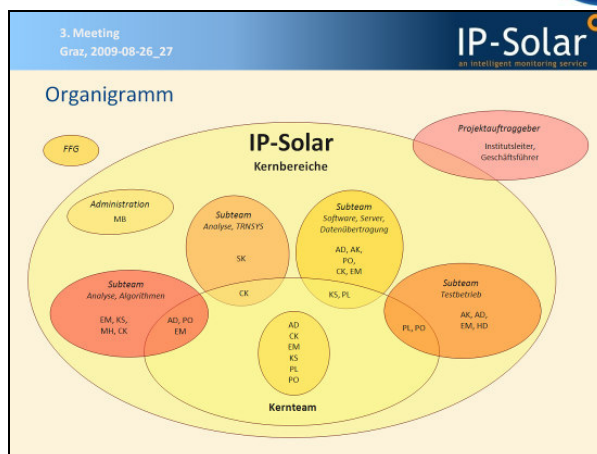


Abbildung 2 Organigramm

Etwa zwei Mal im Jahr fanden zweitägige Gesamt-Projekt-Meetings bei wechselndem Gastgeber statt. Ablauf und Agenda werden zeitgerecht organisiert und mit dem Kernteam abgesprochen, die Meetings wurden intensiv vorbereitet und protokolliert. Gehaltene Meetings: Kick-off Meeting (8.+9. Mai 2008, Graz), Meeting 1 (11.+12. Dez 2008, Graz), Meeting 2 (26.+27. Aug 2009, Graz), Meeting 3 (8. Juni 2010, Graz), Abschlussmeeting (19. Dezember 2011, Graz). Intensive Arbeitsgruppen-Meetings fanden laufend statt. Für diese Partner-übergreifenden Treffen ist räumliche Nähe von Vorteil (außer Uni Kassel). Die technischen Ziele und Schwierigkeiten des Projekts waren anspruchsvoll, aber durch die Qualität des Konsortiums erreichbar.

Der Austausch von Information und Dokumenten im Projekt wurde über eine eigens für diesen Zweck entwickelte Software namens Cerepedia (siehe Abbildung 3) gestützt. Cerepedia ist ein Corporate Knowledge Management Tool und wurde vom Projektpartner Cerebra entwickelt (außerhalb des Projekts). Dieses Werkzeug stellt eine zentrale Drehscheibe im projektbezogenen Wissensmanagement und Dokumentenaustausch dar. So kann das gesamte im Projekt anfallende Wissen zum Zeitpunkt seiner Verbreitung festgehalten werden, was letztlich zu einer lückenlosen Projektdokumentation führt. Damit war eine exakte Nachvollziehbarkeit der Entwicklungen im Projekt möglich. Zusätzlich garantierte Cerepedia, dass alle Partner zu jedem Zeitpunkt die gleichen Dokument-Versionen nutzen und ermöglicht den Vergleich mit älteren Versionen der Dokumente.

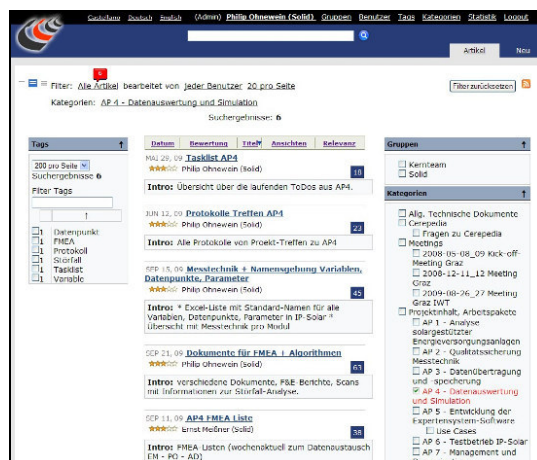


Abbildung 3 Cerepedia

Als wichtiges Verbreitungs-Instrument für IP-Solar wurde die Ende 2009 angelegte Projekt-Webseite (www.ip-solar.at) weiter ausgebaut (z.B. Diagramme) und wird laufend aktualisiert (News-Beiträge, etc.). KLIEN-Logo ist auf der Homepage vorhanden. Die Partner haben auf ihren jeweiligen Webseiten Links auf die IP-Solar Homepage gesetzt.

Die Arbeiten im Bereich Verbreitungs- und Verwertungsmaßnahmen wurden der Projektart entsprechend in erster Linie auf wissenschaftlichen Tagungen und Konferenzen vorgebracht.

Kontakt im Sinne von Verbreitungs-Maßnahmen gibt es mit thematisch verwandten Richtungen vorwiegend in Österreich und Deutschland, aber auch außerhalb. Zu nennen ist insbesondere der Kontakt mit der VDI-Norm 2169 zum Thema „Funktionskontrolle und Ertragsbewertung an solarthermischen Anlagen“, aber auch Kontakte zum Fraunhofer-ISE in Freiburg und Solites in Stuttgart, die IP-Solar in informeller Form unterstützen.

Weiters wurde IP-Solar im europäischen Projekt QAISt als einer der erfolgversprechendsten Ansätze zum Thema Anlagenüberwachung von thermischen Solaranlagen genannt. Projekt-Dokumente zu QAISt (Kontakt: Klaus Vanoli, Emmerthal, Deutschland) enthalten detaillierte Informationen zur Herangehensweise von IP-Solar. Eine Informations-Anfrage zu IP-Solar erfolgte auch bereits vom Verlag Solarpraxis in Berlin.

3. Ergebnisse

AP 1: „Analyse solargestützter Energieversorgungsanlagen“

Beschreibung der Ergebnisse und Meilensteine

In der Marktanalyse wurden Informationen zu ca. 200 Anlagen (größtenteils in Deutschland und Österreich) aus Projektberichten, von Forschungsinstitutionen und von Firmen gesammelt. Die Anlagen wurden hinsichtlich ihrer Hydraulikkonfiguration wie in einem Baukasten-System in Module aufgegliedert, aus denen verschiedene Anlagen zusammengestellt werden können. Insgesamt wurden 10 Haupt-Module mit 24 Modul-Varianten gefunden. Zu jedem Modul bzw. Variante gibt es detaillierte Dokumentationen zur Hydraulik, Messtechnik und Regelungstechnik. Für die Software wurden eindeutige Bezeichnungen für die Module und Varianten der Module festgelegt und Bedingungen für die Kombinationsmöglichkeiten der Module untereinander definiert. Auf diese Weise ist es möglich, flexibel und dennoch eindeutig kategorisiert eine große Anzahl von Energieversorgungsanlagen mit Solareinbindung in einer computerverständlichen Form eindeutig zu beschreiben. Pro Modul wurden mögliche Messtechnik- und Regelkonzepte gemäß den Ergebnissen aus der Marktanalyse festgelegt. Erst dadurch wird eine spätere automatisierte Auswertung (siehe AP 4) möglich. Beispiele für Module finden sich in den Grafiken unten (Abbildung 4).

Beschreibung der „Highlights“ im Projektfortschritt

Erstmals erfolgte eine systematische Aufbereitung großer Solaranlagen in modularer Struktur, die alle Anlagenteile (z.B. auch Nachheizung, Warmwasser-Bereitung, nicht nur den Solarkreis) abbildet. Die Definition von Modulen und Modulvarianten mit fest definierten Schnittstellen zueinander ermöglicht eine übersichtliche und klar strukturierte erweiterbare Datenbank an Bausteinen, mit denen die Abbildung eines Großteils der am europäischen Markt ausgeführten großen Solaranlagen realisierbar ist. Dabei können in einfacher und dennoch flexibler Weise hydraulische Konfiguration, messtechnische Ausrüstung und regeltechnische Zusammenhänge der Anlagen nachgebildet werden. In diesem Zusammenhang hat sich die Interdisziplinarität des Konsortiums gleichermaßen als Herausforderung und als großer Pluspunkt erwiesen.

Die Datenbank an Modulen und -varianten kann weiters als "best practice"-Datenbank für den Planungsprozess herangezogen werden. Mit der Entwicklung der Module wurde ein wichtiger Grundstein gelegt, um in Zukunft die Monitoring-Aufgabe von Solaranlagen effizienter bearbeiten zu können. Die Ergebnisse aus diesem Arbeitspaket wurden aufgrund ihres Innovationsgehaltes für die Einreichung eines Papers auf einem internationalen Kongress aufbereitet und akzeptiert.

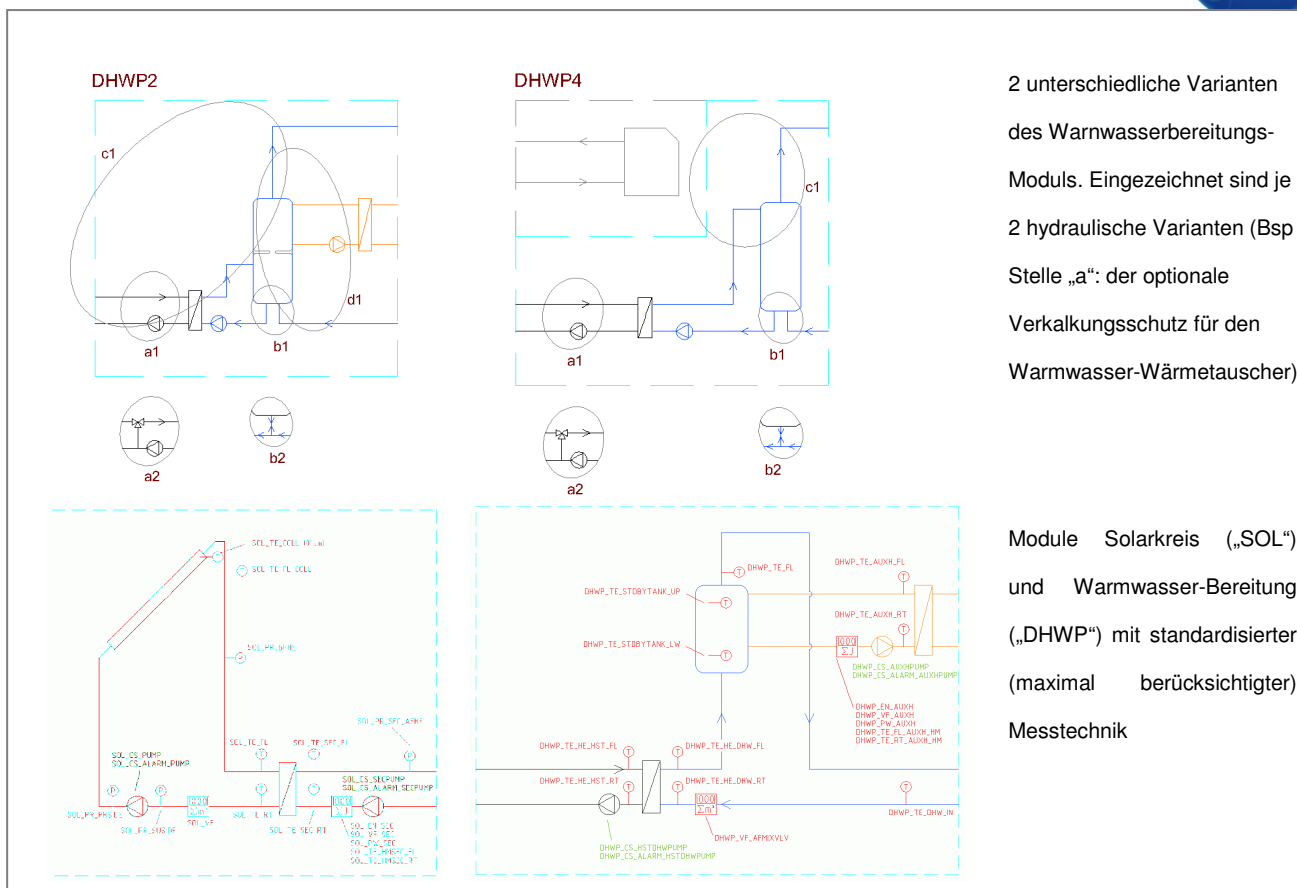


Abbildung 4 Beispiele für Module

Das AP 1 bildete stärker als ursprünglich angenommen die Basis für die weiteren Tätigkeiten im Projekt, von der Anlagen-Diagnose bis hin zu softwaretechnischen Details. Durch die von der FFG genehmigte Kostenumschichtung konnten zusätzliche Ressourcen für AP 1 frei gemacht werden, was zum Erfolg von IP-Solar beitragen soll.

Das AP 1 bildete stärker als ursprünglich angenommen die Basis für die weiteren Tätigkeiten im Projekt, von der Anlagen-Diagnose bis hin zu softwaretechnischen Details. Durch die von der FFG genehmigte Kostenumschichtung konnten zusätzliche Ressourcen für AP 1 frei gemacht werden, was zum Erfolg von IP-Solar beitragen soll.

AP 2: „Qualitätssicherung Messtechnik“

Beschreibung der Ergebnisse und Meilensteine

Zunächst wurde aus den vielfältigen messtechnischen Konzepten, die bei großen Solaranlagen festgestellt wurden, eine „empfohlene Mindest-Messausstattung“ analysiert. Ziel war es, jene Messtechnik-Variante zu finden, die mit bewährten und möglichst wenigen Sensoren die beste Aussagekraft im Sinne einer automatisierten Auswertung zulässt. Natürlich können mit einer erweiterten Messtechnik mehr Fehler gefunden werden – allerdings ist in der Praxis aus Kostengründen meist nur sehr wenig Messtechnik vorhanden. Daher gilt es, das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis zu finden.

Aus den genannten Gründen wurde aufbauend auf den Erkenntnissen der Marktanalyse (AP 1) eingehend analysiert, welche Bedeutung und Wichtigkeit ein Sensor bzw. eine Gruppe Sensoren in

der Anlagenauswertung hat. Daraufhin wurde für jedes Modul aus AP 1 die empfohlene Mindest-Messausstattung entwickelt und grafisch sowie tabellarisch dargestellt.

Für die Richtlinien zur Qualitätssicherung in der Messtechnik wurde eine Übersicht der relevanten Peripheriegeräte erstellt, gegliedert nach Messgröße und Messprinzip. Dabei flossen theoretische Kenntnisse und praktische Erfahrungen des Konsortiums ein, um praxisnahe Informationen zur Auswahl der Sensorik zu erhalten. Weiters wurden Genauigkeitsaspekte der Sensorik und praktische Aspekte wie Einbau, Platzierung und Montage der Sensorik sowie der Anschluss an die MSR-Technik detailliert betrachtet. Gezielte Informationen zu Fehlervermeidung bei der Messtechnik mit speziellem Fokus auf große Solaranlagen sowie Aspekte zur Qualitätssicherung von Messdaten und Kalibrierung der Sensoren wurden erfasst.

Die praktische Erfahrung des Antragstellers zeigt, dass bereits auf der Baustelle die Voraussetzungen für eine gute Qualität der Messdaten einer Solaranlage zu schaffen sind. Daher wurde eine Checkliste erstellt, die in übersichtlicher Form die wichtigsten Vorgaben für Montage, Einbau und Inbetriebnahme der Messtechnik in die Solaranlage zusammengefasst.

Beschreibung der „Highlights“ im Projektfortschritt

Nach dem Kenntnisstand des Projektteams, stellen die Ergebnisse von AP 2 die ersten Ausführungen dieser Art und dieser Vollständigkeit für große Solaranlagen dar. Der Vorteil liegt nun darin, dass anhand einer vollständigen Dokumentation für jeden Anlagenbauteil („Modul“, siehe AP 1) ein Messkonzept gefunden werden kann, das den Kundenbedürfnissen sowie Anforderungen hinsichtlich Kosten und Genauigkeit im Sinne einer Kosten-Nutzen-Optimierung entspricht. Die dokumentierten Informationen zu den Themen Fehlervermeidung und Qualitätssicherung der Messdaten fassen langjährige Erfahrungen, die viele Jahre Erfahrung kosten, prägnant zusammen. Die Checkliste wird in der Praxis eingesetzt und bewährt sich, sodass damit bereits auf der Baustelle wichtige Fehlerquellen ausgeschlossen werden.

AP 3: „Datenübertragung- und Speicherung“

Beschreibung der Ergebnisse und Meilensteine

Zunächst wurden die Anforderungen an die Server-Hardware definiert, anschließend der Server beschafft, konfiguriert und mit der benötigten Software ausgestattet. Anschließend wurde eine geeignete Datenbankstruktur für den IP-Solar Server erstellt und implementiert. Der Aufgabenbereich der Datenbank geht dabei über die Ablage der Messdaten hinaus: Hier werden auch alle anderen Anlagendaten und Daten von IP-Solar Kunden gespeichert sowie alle Informationen, die zum Betrieb der Internet-Plattform notwendig sind. Um Daten ablegen zu können, wurden die entsprechenden Datenbankschnittstellen umgesetzt. Dabei stimmen die hier entwickelten Schnittstellen mit denen überein, die zu einem späteren Zeitpunkt für die Auswertungssoftware von IP-Solar verwendet werden. Um flexibel zu bleiben, entschied sich das Konsortium daher, eine automatisiert generierbare SQL-Datenbank zu verwenden. Die Datenbank wurde so entworfen um spätere Anpassungen, die in einem langfristigen F&E Projekt zu erwarten sind, einfacher umsetzen zu können. Die Kunden-Anforderung von langfristig gesicherten Messdaten wird durch ein automatisiertes Back-up aller Daten am Server gewährleistet.

Um von verschiedenen Anlagentypen (mit entsprechenden Unterschieden in der von den Kunden verwendeten Regler-Hardware) Daten empfangen zu können, wurde ein sogenanntes Datenpunktprotokoll entwickelt. Dieses wurde in XML definiert, um sowohl den Import von großen Datenmengen als auch die kontinuierliche Übertragung von aktuellen Daten mithilfe eines modernen

und flexiblen Standards zu ermöglichen. Mit der entwickelten Struktur ist auch eine Erweiterung der Datenpunkte und der Kapazitäten von IP-Solar zu einem späteren Zeitpunkt relativ einfach möglich.

Ein mehrstufiges Filter- und Importverfahren wurde entwickelt (siehe Abbildung 5), um spätere Erweiterungen auf andere Anlagen und Regler zu vereinfachen. Die Datenbankstruktur wurde für die Bereiche, die bereits vollständig definiert wurden (allgemeine Teile des Frontends, Anlagendaten, Berechtigungen), entwickelt. Die Umsetzung der Datenbank konnte nach einigen notwendigen Anpassungen und massivem ungeplanten Zeitaufwand aufgrund von neuen Anforderungen, die im Laufe von AP4 und AP5 aufgetreten sind, abgeschlossen werden.

2010 wurde das nebenstehende Schema an Hand der 3 Testanlagen (siehe AP 6) getestet und umgesetzt sowie verfeinert. Inzwischen läuft der Datenimport für die 3 Testanlagen weitgehend problemlos – für weitere Anlagen, insbesondere für weitere Regelungshersteller, wären weiterführende Arbeiten notwendig, die allerdings außerhalb des Projektrahmens liegen. Durch die Weiterentwicklung in anderen Projektbereichen, speziell durch die Entwicklungen in der Methodik zur Fehlerdetektion in AP 4 und zur Performancesteigerung der Algorithmen in AP5, wurde in AP 3 die Datenbankstruktur weiterentwickelt und wurde abgeschlossen.

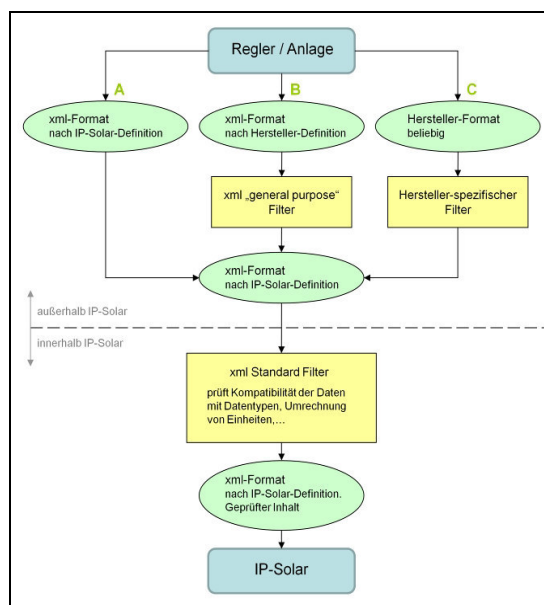


Abbildung 5 Filter- und Importverfahren

Beschreibung der „Highlights“ im Projektfortschritt

Der zentrale IP-Solar Server läuft, die Datensicherung funktioniert. Damit stand für die folgenden Projektstätigkeiten von Anfang an ein lauffähiges Hardware-System zur Verfügung. Da die Datensammlung ein wesentlicher Punkt für den Erfolg späterer Arbeitspakete ist, wurde die Installation des Servers sehr rasch umgesetzt. Weiters wurde auf die Optimierung der Datenbank und somit auf die Performance der Datenbankanwendung spezieller Wert gelegt, um für die in AP 4 entwickelten Analysen schnelle Ausführungszeiten zu erreichen. Spezielles Datenbank-Design, z.B. die Partitionierung der datenintensiven Messdaten-Tabellen, ermöglichen sehr rasche Zugriffszeiten auf die Datenbank. Die automatisiert generierbare Datenbankstruktur in ersten Testbetriebs-Erfahrungen hat sich die Datenbank als stabil erwiesen, die Datenbankstruktur wurde vom gesamten Test-Team als einfach erfassbar bezeichnet. Allerdings hat sich im Laufe der Testphase gezeigt, dass es weiteres Potenzial für einen höheren Datendurchsatz geben würde. Ansätze in diese Richtung konnten innerhalb des Projektes allerdings nicht mehr entwickelt werden.

Parallel zu den laufenden Tätigkeiten aus AP 3 wurde die Datenübertragung zum IP-Solar-Server mit den Regelgeräten eines großen deutschen Regler-Herstellers getestet. Dabei stellten sich das entwickelte Daten-Import-Verfahren und die interne IP-Solar-XML-Struktur als flexibel und kundenfreundlich heraus.

AP 4: „Datenauswertung und Simulation“

Zunächst wurde nach ausführlicher Literaturstudie ein dreistufiges Modell definiert, das die grundlegenden Ansätze von AP 4 in unterschiedlicher Komplexität beschreibt:

- Stufe 1 (Kennzahlen): Definition standardisierter Kennzahlen, mit Hilfe derer auf einen Blick die rasche Auswertung des Anlagenbetriebs und der Vergleich mehrerer Anlagen möglich wird.

- Stufe 2 (Algorithmen, Analyse von Messdaten): Detaillierte Untersuchung der verfügbaren Messdaten einer solaren Energieversorgungsanlage zu bestimmten Fehlerkriterien.
- Stufe 3 (Simulation, vom Projektpartner Uni Kassel durchgeführt): TRNSYS-Simulationen berechnen verschiedene Energieströme im System und ertragsbasierte Soll-Ist-Vergleiche.

Stufe 2 ist das Kernelement der Analysen von IP-Solar. Darauf aufbauend wurde die eigentliche Datenauswertung und Diagnosefähigkeit von IP-Solar entwickelt. Dazu wurden zunächst bewährte Methoden zur Fehlerfindung in komplexen Systemen untersucht. Die FMEA-Methode (Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse), eine in der Industrie bewährte Methode, stellte sich als gute Grundlage zur Fehleranalyse heraus. Anhand dieses Ansatzes wurden Charakteristiken, Zusammenhänge, Ursachen und Folgen von Fehlern in komplexen Systemen miteinander verknüpft und die grundlegende Struktur der Anlagen-Diagnose von IP-Solar entwickelt (AP 4.4). In einem zentralen FMEA-Dokument wurde eine an die Gegebenheiten von IP-Solar angepasste Version der FMEA erstellt. Die FMEA-Analyse berücksichtigt die Ergebnisse aus AP 1 und AP 2. Alle namhaften, aber dennoch knappen, Quellen wurden in einer Literaturstudie nach verwertbaren Aussagen durchsucht.

Die wurde FMEA zu einer FMECA weiterentwickelt, d.h. es wurde speziell auf die Beurteilung der Anlagenfehler hinsichtlich (evtl. sicherheitskritischer) Auswirkungen auf das System Wert gelegt. Insgesamt wurden 202 Anlagenfehler in der FMECA untersucht, in 5 Gruppen eingeteilt und nach insgesamt 11 Kriterien bewertet. Die 5 Fehlergruppen sind: allgemeine Fehler, sicherheitskritische Fehler, Fehler aufgrund beschädigter Messausstattung, Fehler in der Anlagenregelung und durchgeschliffene Fehlersignale aus der Regelung. Die 11 Bewertungs-Kriterien sind in 2 Kategorien eingeteilt: Kategorie 1 ist eine sog. „Criticality analysis“ (Kriterien in absteigender Reihenfolge: sicherheitskritisch, reduzierter Komfort, Analgenschaden möglich, leicht reduzierter Komfort, geringerer Solarertrag, suboptimaler Betrieb einer Komponente); Kategorie 2 sind einzelne Fehler-Auswerte-Kriterien (Schaden aller Ursachen, die mit diesem Fehler verknüpft sind; Schaden, den der Fehler im System bewirken kann; Häufigkeit des Auftretens des Fehlers [Erfahrungswert]; Komplexität der Fehlerdetektion; Zeitskala, auf der sich der Fehler im System zeigt).

Durch ein Punktevergabe-System für die oben genannten Kriterien wurde eine Reihung der Fehler vorgenommen, sodass man von „wichtigeren“ und „unwichtigeren“ Fehler sprechen kann. Gemäß dieser Reihung wurde in AP 4 mit der Entwicklung von Fehlersuch-Algorithmen begonnen.

Insgesamt konnten bisher 111 Fehlersuch-Algorithmen in Form eines Pseudocodes entwickelt werden. Dieser Pseudocode lässt sich relativ rasch in java-Code umsetzen, der direkt ins System eingebunden wird. Weiters wurden 92 Kennzahlen-Algorithmen für die oben beschriebene Stufe 1 entwickelt; damit ist die Entwicklung der Kennzahlen und somit der Stufe 1 vorläufig abgeschlossen. In Stufe 2 können noch weitere Fehlersuch-Algorithmen in Pseudocode umgesetzt werden. In Abstimmung mit AP 5 wurden weiters 56 Hilfs- und Datenbankfunktionen entwickelt. Alle anderen Algorithmen können auf diese Funktionen zugreifen, um die darin enthaltenen Arbeitsabläufe zu vereinheitlichen, zu standardisieren und zu optimieren. Auf diese Weise erfolgen auch alle Datenbankzugriffe von den Algorithmen auf die Datenbank in einer einheitlichen Art und Weise, die nicht nur nachträgliche Änderungen vereinfacht, sondern es auch erst ermöglicht, beschädigte Analgendaten (z.B. Datenausfälle, offensichtlich unplausible Werte etc.) in standardisierter Form zu behandeln.

Außerdem konnte das, in den theoretischen Grundlagen bereits früher entwickelte Modell zur automatischen Berechnung von Mess-Unsicherheiten und deren Fortpflanzung bei komplexen Berechnungen, fertiggestellt werden. Dieses Modell wurde arbeitspaketübergreifend so weit entwickelt, dass es nun in AP 5 fertig in der Programmiersprache Java implementiert wurde.

Weiters wurden in AP 4 standardisierte Variablen und Parameter für die Module aus AP 1 entwickelt; dies ermöglicht erst die automatisierte Abarbeitung der Algorithmen. IP-Solar wurde in allen Arbeitspaketen so konfiguriert, dass die Software mit verschiedenen Anlagen-Hydrauliken arbeiten kann und sich mit der Detektionsfähigkeit automatisch an verschiedene anlagenseitige Messkonzepte anpasst. Dies bedeutet zwar höheren Aufwand in der Entwicklung, macht IP-Solar dafür aber für eine größere Anzahl von Anlagen und flexibler einsetzbar.

Der Projektpartner Uni Kassel arbeitete speziell an der Implementierung der Analyse mit Hilfe von TRNSYS-Simulationen. Anlagen-Messdaten mit simulierten Ergebnissen werden verglichen um zum einen schwer detektierbare Fehler zu bestimmen und durch Fehler auftretenden Ertragsminderung zu quantifizieren. Ein Konzept wurde erstellt, TRNSYS-Modelle komplexer solarthermischer Anlagen in Subsysteme zu untergliedern um die benötigte Entwicklungszeit eines Simulationsmodells zu reduzieren. Die wichtigsten Module aus AP1 konnten in TRNSYS 17 als TRNSYS-Makro abgebildet werden. Verschiedene Hydrauliken werden durch TRNSYS-Subsysteme dargestellt und unterschiedliche Regelstrategien werden durch „Flags“ im Subsystem spezialisiert.

Es wurden Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen durchgeführt um festzustellen, wie groß die Auswirkung von Unsicherheiten in den Messdaten und den Simulationsparametern auf den simulierten solaren Energieertrag ist. Aus der Sensitivitätsanalyse ging hervor, dass Unsicherheiten bei der gemessenen Einstrahlung und bei den Kollektorparametern den größten Einfluss auf den Energieertrag im Solarsekundärkreis haben. Weiterhin wurden zwei verschiedene Methoden zur Unsicherheitsanalyse angewendet, sowohl eine Monte Carlo Analyse als auch eine Minimum-Maximumanalyse, wobei letztere einen geringen Aufwand erfordert.

Die Fehlerdetektion erfolgt, indem simulierte und gemessene Energieerträge miteinander verglichen werden. In erster Instanz wird dies durch einen täglichen Vergleich dieser beiden Größen geprüft. Weitere Untersuchungen könnten auf Stunden- und Jahresskala erfolgen.

Als Beispiel sind in Abbildung 6 die Ergebnisse der solarthermischen Anlage an der Krottendorferstrasse in Graz präsentiert, die Solarwärme an ein Zweileiternetz weitergibt. Die Energiebilanz wurde für 219 Tage im Zeitraum 2008-2009 analysiert und ist in obiger Abbildung dargestellt. Auf der x-Achse ist der gemessene tägliche Solarenergieertrag (kWh/m^2), auf der y-Achse der simulierte Ertrag aufgetragen. Die horizontalen bzw. vertikalen Balken geben die Konfidenzintervalle für die gemessenen bzw. simulierten Erträge wieder. Wenn die Unsicherheitsbalken die $x=y$ Linie überschneiden, befindet sich der gemessene Wert innerhalb der Unsicherheitsmargen und es liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit kein Anlagenfehler vor. Bei den mit roten Dreiecken gekennzeichneten Punkten überschneiden sich die Intervalle nicht mit der Winkelhalbierenden. Viele dieser Werte sind allerdings bei sehr niedrigen Systemleistungen ermittelt worden. Durch den Vergleich werden für die Testanlage Krottendorferstrasse Anlagenfehler, die zu einem Energieverlust von ca. 20 % führen, sicher gefunden.

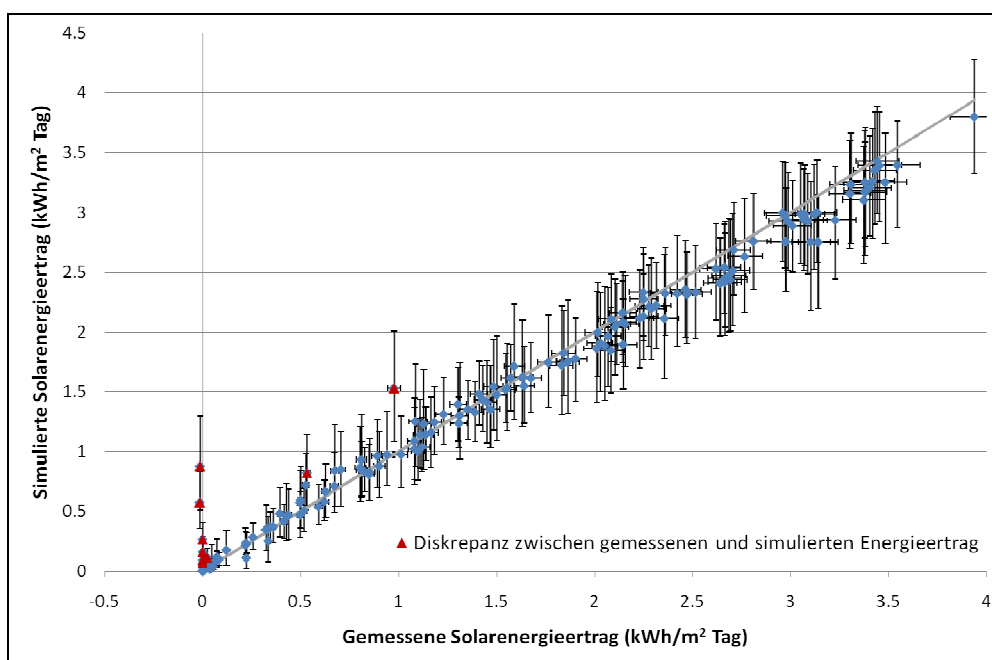


Abbildung 6 Simulationsergebnis der Anlage Krottendorferstrasse in Graz

Als Hilfsmittel für die Erforschung von Fehlerursachen wurde nach eingehenden Recherchen die Methode der Fehlerbaumanalyse (FTA, Fault Tree Analysis) gewählt. Durch die FTA-Methode können für wichtige Anlagenfehler Rückschlüsse zwischen Ursache und Auswirkung des Fehlers zulassen. Diese Arbeiten bauen auf die Ergebnisse der FMEA-Analyse und Algorithmen-Entwicklung auf. In der laufenden Berichtsperiode konnte durch weitere tiefergehende Untersuchungen seitens des Konsortiums festgestellt werden, dass ein standardisierter Ablauf bei der Verknüpfung der analysierten Anlagenfehler mit Methoden der FTA und der FMECA zwar vielversprechend erscheint, allerdings mit deutlich höherem Aufwand verbunden ist als ursprünglich angenommen. Hier wären Arbeiten in einem weiterführenden Projekt notwendig.

Beschreibung der „Highlights“ im Projektfortschritt

Dadurch, dass die Vorarbeiten in den Arbeitspaketen 1...3 bereits sehr gut auf die Anforderungen von AP 4 abgestimmt worden waren, konnte in diesem Arbeitspaket ein konsistentes System für die Fehleranalyse entwickelt werden.

Für die internen Schnittstellen konnte ein hoher Grad an Standardisierung erreicht werden. Dies betrifft die Schnittstellen zwischen interner Datenbank, Messdatenerfassung, Auswerte-Algorithmen, Kennzahlen-Berechnung, Benutzeroberfläche und Benachrichtigung im Fehlerfall. Dieses System garantiert einerseits eine automatisierte Funktion ohne Benutzerinteraktion, andererseits aber auch einen hohen Anpassungsgrad an individuelle Kundenansprüche für einzelne Solaranlagen.

Durch die strukturierte Methodik des grundlegenden Auswerteverfahrens ist später die einfache Erweiterbarkeit der entwickelten Methoden um weitere Algorithmen und um weitere Funktionalität relativ einfach gewährleistet. Damit bleibt IP-Solar nicht auf dem derzeitigen Stand der Solartechnik stehen, sondern kann mit der Zeit gehen und sich an neue Trends, wie z.B. Solar Cooling, anpassen.

Die erfolgreiche Umsetzung aller Kennzahlen-Algorithmen sowie vieler Fehlersuch-Algorithmen ist sicherlich ein Projekterfolg, ebenso wie die automatisierte Unsicherheits- und Fehlerfortpflanzungs-Berechnung, die sich durch alle Systemteile durchzieht. Was noch aussteht, ist die Erst- und

Weiterentwicklung einiger wichtiger solartechnischer Algorithmen sowie Implementierung und Test weiterer Algorithmen.

AP 5: „Entwicklung der Expertensystem-Software“

Beschreibung der Ergebnisse und Meilensteine

AP 5 behandelte die Entwicklung des Expertensystems, das die Forschungsergebnisse der anderen Arbeitspakete bündelt und über eine Benutzeroberfläche auf gesammelte Daten anwenden lässt. Außerdem stellt es ein Werkzeuggerüst zur Verfügung, mit dessen Hilfe die in den anderen Arbeitspaketen entwickelten Algorithmen und Techniken in ihrer Entwicklung unterstützt werden. Als Beispiel wurde hier die Versionierung von Diagnose-Algorithmen erarbeitet, mit Hilfe derer einfach und nachprüfbar verschiedene Versionen von Algorithmen zur Datenauswertung verwendet werden und verglichen werden können.

Das Expertensystem stellt Zugriffsmöglichkeiten auf Messdaten und Auswertungsergebnisse zur Verfügung und erlaubt zur Einpflegung von Anlagen die Erstellung von Hydraulik- und Messtechnik-Schemata. Zusätzlich gibt es verschiedene Kommunikations- und Verwaltungsmechanismen. Die Software zum IP-Solar-Expertensystem besteht aus Backend (Datenbankzugriff, Algorithmen- und Kennzahlenberechnung, Kommunikation, Ablaufsteuerung, etc.) und Frontend (User Interface, Internet-Zugriffsplattform). Beim Frontend handelt es sich um eine CAF-basierende Webanwendung (Cerebra Application Framework), die das Grundgerüst für eine individuelle Webapplikationen darstellt. Als Web-Technologie wurde die weitverbreitete Kombination php/MySQL verwendet, die als freie Software verfügbar ist.

Das Backend wurde in Java/MySQL implementiert und ist für die Datenspeicherung und -bearbeitung zuständig. Java wurde gewählt, um einerseits den Algorithmenentwicklern eine einfache Umgebung mit mächtigen Entwicklungstools zur Verfügung zu stellen und gleichzeitig eine schnelle und effiziente Abarbeitung der Algorithmen zu ermöglichen. Die Kernstücke sind die Datenanalyse und das Kennzahlenmanagement.

Der Ablauf der Datenanalyse sowie die Funktionsblöcke, wie sie in AP4 entwickelt wurden, sind in der Abbildung 7 dargestellt. Zusammengefasst gibt es folgende Abhängigkeiten im System.

- Die Abarbeitung aller TLFS wird vom TLFS-Management geleitet. Das Zeitintervall für TLFS-Überprüfungen ist gleich dem Bezugsintervall des TLFS.
- Die TLFS Ergebnisse triggern das Fehlermanagement. Durch den Fehlermanagement-Algorithmus wird eine zeitliche Komponente hinzugefügt (z.B. wie oft muss das Ergebnis eines TLFS-Algorithmus 1 oder 2 sein, bevor jemand alarmiert wird).
- Das Fehlermanagement entscheidet, ob eine Benachrichtigung abgesetzt werden muss und somit das Benachrichtigungsmanagement gestartet wird.

Von diesem Ablauf unabhängig arbeitet das Kennzahlenmanagement, das ohne weitere Auswirkungen im System Kennzahlen berechnet.

Um die Kommunikation zwischen den Algorithmen-Entwicklern und Programmierern zu erleichtern, wurde eine Pseudoform definiert, in der genaue Richtlinien für die Pseudocodeentwicklung spezifiziert sind.

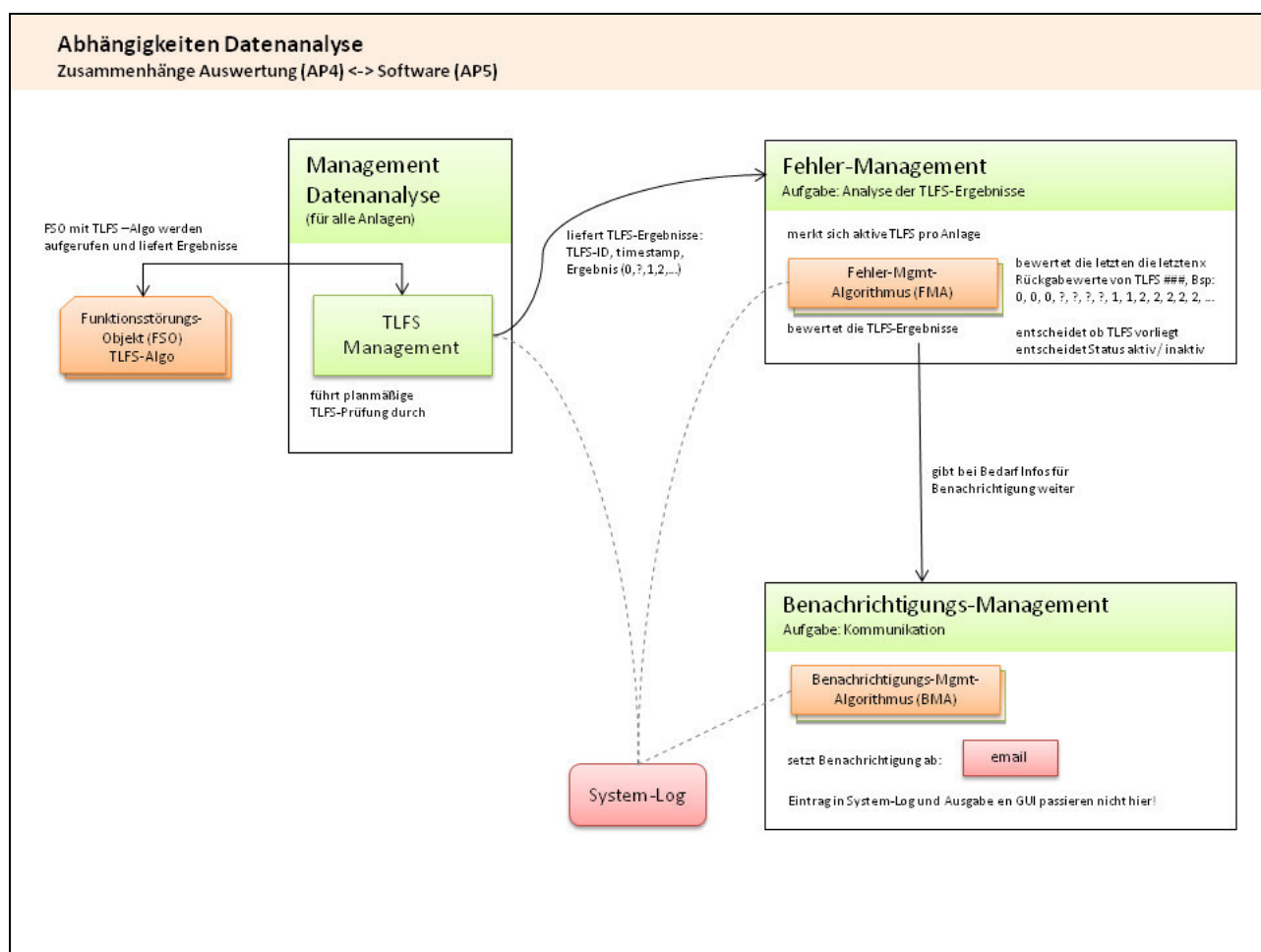


Abbildung 7 Abhängigkeiten Datenanalyse

Die Umsetzung der Algorithmen erfolgte iterativ, d.h., Erkenntnisse aus den Tests in AP6 führten in einigen Fällen zu Adaptierungen der Algorithmen in AP5. Gleichzeitig wurde das Datenbankdesign (AP3) aufgrund der Entwicklungen in AP5 überarbeitet und ergänzt.

Die Definitionen der Anforderungen an den Software-Prototypen wurden in einem Softwareprojekt als sogenannte Use Cases formuliert. Use Cases sind Anwendungsfälle, die alle möglichen Szenarien der zu entwickelnden Software beschreiben. Für das Frontend und das gesamte Backend sind die Use Cases vollständig fertig gestellt. Weitere Anforderungen an das Expertensystem wurden in Form von User Requirements Documents fixiert. Die Umsetzung der Use Cases war allerdings nicht vollständig möglich, da sich die Entwicklung des Backends aufgrund von funktionalen Erweiterungen deutlich aufwändiger gestaltete als angenommen.

Beschreibung der „Highlights“ im Projektfortschritt

Die Erfassung der 3 Pilot-Anlagen erfolgte auf Basis der Ergebnisse der vorangegangenen Arbeitspakete: Standard-Hydraulikschema mit den in AP 1 entwickelten Modulen, Berücksichtigung der Messtechnik und Qualitätssicherungs-Ansätze aus AP 2 mit standardisierten Variablenamen aus AP 4. Hier laufen die Informationen und Ergebnisse aus den vergangenen Arbeitspaketen erstmals an Hand konkreter Energieversorgungsanlagen mit Solarunterstützung zusammen und erlauben Rückschlüsse auf die Ergebnisse.

Neben der guten Weiterentwicklung der Arbeiten speziell in AP 4 und AP 5 konnten auch in AP 6 in der aktuellen Berichtsperiode entscheidende Schritte in Richtung Prüfung und Test von IP-Solar gesetzt werden: Für die Verifizierung einzelner Projektteile (z.B. Algorithmen, aber auch Teile des Expertensystems) konnte eine einheitliche Systematik gefunden und zur Gänze entwickelt werden; für die Validierung des Gesamtsystems IP-Solar stehen monatlich aktualisierte Messdaten der Pilotanlagen in der IP-Solar Datenbank zur Verfügung. Auf diese Daten können die Algorithmen in der nun folgenden Validierungs-Phase des Gesamtsystems IP-Solar angewendet werden.

AP 6: „Testbetrieb IP-Solar“

Beschreibung der Ergebnisse und Meilensteine

Für 3 Haupt-Anlagentypen konnten insg. 3 geeignete Pilot-Anlagen (Testanlagen) für IP-Solar gefunden werden: je 1 Anlage für Warmwasser-Bereitung („WAG Prochaskagasse“, Graz), Fernwärme-Einspeisung („Stadion Liebenau“, Graz) und 2-Leiter-Netz („Krottendorfer Straße“, Graz, Abbildung 8). Alle Anlagen wurden vom Antragsteller, Fa. S.O.L.I.D., gebaut; daher war der Zugriff auf Anlagendetails relativ einfach.

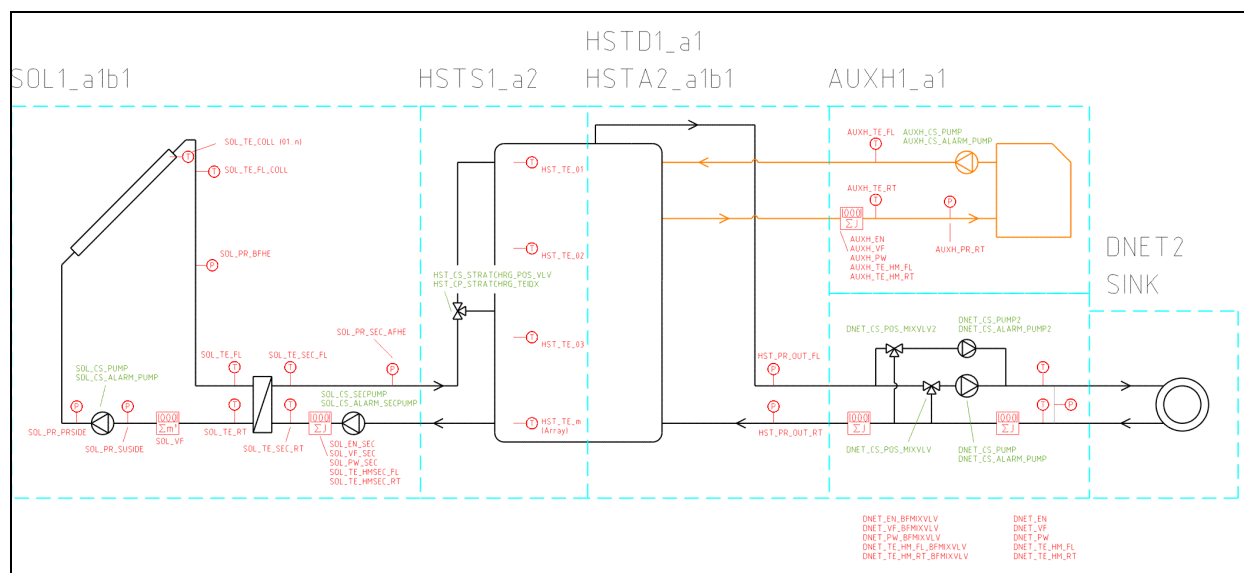


Abbildung 8 Pilotanlage „Krottendorfer Straße“, abgebildet an Hand der Ergebnissen aus AP 1, AP 2 und AP 4

Die Regler der Testanlagen wurden auf zusätzlichen Datenlogger-Modus mit automatischer Datenerfassung und -übertragung umgestellt. Damit können Messdaten für Entwicklung, Test und Prüfung der Analyseverfahren aus AP 4 automatisch erfasst und zur Verfügung gestellt werden. Einige Anlagen wurden mit zusätzlicher Messtechnik (in erster Linie Strahlungssensoren) ausgestattet. Bei einigen Anlagen wurden die Temperaturfühler kalibriert, um die Messunsicherheit

der Sensoren zu optimieren und Vergleiche zwischen Anlagen mit kalibrierten sowie unkalibrierten Messfühlern anstellen zu können (siehe Ergebnisse AP 2).

Weiters konnte in AP 6 in Bezug auf Systemtests eine einheitliche Test-Systematik zur Verifizierung der in AP 4 und AP 5 entwickelten Algorithmen geschaffen werden. Auch hier war die sehr enge Zusammenarbeit zwischen den Partnern Cerebra und S.O.L.I.D. Grundlage für den Erfolg.

Die Test-Systematik besteht aus 3 Stufen. Aufgrund der Komplexität der Algorithmenfunktionalität und der Vielzahl an unterschiedlichen Anlagenfehlerszenarien wurde zusätzlich zu den aus der Softwareentwicklung bekannten und üblichen Unit- und Integrationstests eine dritte Teststufe (erweiterte Unit-Tests anhand von historischen Messdaten) eingeführt.

Für einzelne Algorithmen ist es möglich, Test-Umgebungen (Unit Tests) zu bilden, bei denen an Hand synthetisch generierter Messdaten automatisch berechnete mit händisch geprüften erwarteten Ergebnissen verglichen werden können. Diese Vorgangsweise erlaubt eine sehr strikte und jederzeit nachvollziehbare Qualitätssicherung, die noch weiter durch ein 4- oder 6-Augen-Prinzip bei der Algorithmen-Entwicklung (mehrfache Prüfung) unterstützt wird. Die Verifizierung der Algorithmen an Hand der hier beschriebenen Unit Tests wurde für sämtliche implementierten Algorithmen fertig gestellt. Allerdings ist die intensive Prüfung aller Algorithmen im laufenden Projekt nicht mehr möglich, da der finanzielle Projektrahmen komplett ausgeschöpft wurde. S.O.L.I.D. ist dennoch an der Weiterführung dieser Arbeiten interessiert und wird auch nach Projektende die tiefergehende Prüfung der Algorithmen vorantreiben. Hierfür wurden in der Budgetplanung von S.O.L.I.D. für 2012 bereits Ressourcen vorgesehen.

Für die Unit- und historischen Tests wurden Netbeans-basierende Testumgebungen entwickelt, die bei allen Testern entsprechend eingerichtet wurden. Abbildung 9 zeigt das Ergebnis eines Unit-Tests des TLFS-Algorithmus T_052 (Pufferladung über oberes Ladeventil geht trotz hoher Temperatur nach unten).

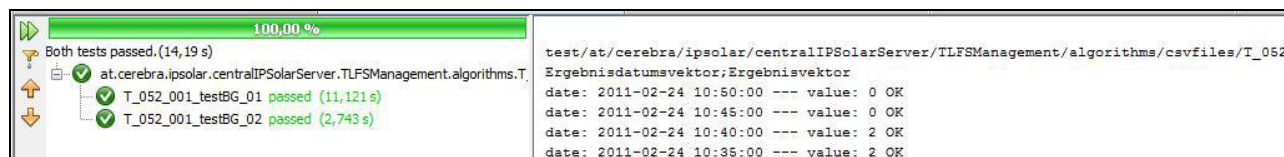


Abbildung 9 Unit-Test Ergebnis des TLFS-Algorithmus T_052

4. Schlussfolgerungen

Systematische Aufbereitung des Modularen Ansatzes:

Erstmals erfolgte eine systematische Aufbereitung großer Solaranlagen in modularer Struktur, die alle Anlagenteile (z.B. auch Nachheizung, Warmwasser-Bereitung, nicht nur den Solarkreis) abbildet. Die Definition von Modulen und Modulvarianten mit fest definierten Schnittstellen zueinander ermöglicht eine übersichtliche und klar strukturierte erweiterbare Datenbank an Bausteinen, mit denen die Abbildung eines Großteils der am europäischen Markt ausgeführten großen Solaranlagen realisierbar ist. Dabei können in einfacher und dennoch flexibler Weise hydraulische Konfiguration, messtechnische Ausrüstung und regeltechnische Zusammenhänge der Anlagen nachgebildet werden. Eine Erweiterung der berücksichtigten Anlagentypen könnte etwa in einem Folgeprojekt durchgeführt werden und würde die Analysefähigkeit von IP-Solar erweitern. In diesem Zusammenhang hat sich die Interdisziplinarität des Konsortiums gleichermaßen als Herausforderung und als großer Pluspunkt erwiesen.

Der Vorteil liegt nun darin, dass anhand einer vollständigen Dokumentation für jeden Anlagenbauteil ein Messkonzept gefunden werden kann, das den Kundenbedürfnissen sowie Anforderungen hinsichtlich Kosten und Genauigkeit im Sinne einer Kosten-Nutzen-Optimierung entspricht. Die dokumentierten Informationen zu den Themen Fehlervermeidung und Qualitätssicherung der Messdaten fassen langjährige Erfahrungen, die viele Jahre Erfahrung kosten, prägnant zusammen. Die Checkliste wird in der Praxis eingesetzt und bewährt sich, sodass damit bereits auf der Baustelle wichtige Fehlerquellen ausgeschlossen werden. Die Datenbank an Modulen und -varianten kann weiters als "best practice"-Datenbank für den Planungsprozess herangezogen werden. Mit der Entwicklung der Module wurde ein wichtiger Grundstein gelegt, um in Zukunft die Monitoring-Aufgabe von Solaranlagen effizienter bearbeiten zu können.

Bei tiefergehenden Untersuchungen hat sich 2010 herausgestellt, dass die Erforschung und die Software-technische Umsetzung systematischer Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge mit deutlich mehr Aufwand verbunden ist, als dies zur Projektplanung von den Experten geschätzt worden war. Hier müsste jedenfalls in einer außerhalb dieses Projektes liegenden Arbeit weiter geforscht werden.

Projektmanagement für interdisziplinäres Team:

Die größte Herausforderung im Projekt, nämlich die hohe Interaktivität im Entwicklungsprozess aufgrund der sehr innovativen Anforderungen an den Software-Prototypen, konnte durch intensive Zusammenarbeit der entsprechenden Partner unter straffer Führung der Projektleitung überwunden werden. Durch die optimale Kooperation konnte eine sehr effiziente Kommunikations- und Problemlösungs-Strategie gefunden werden.

Die Arbeitspakete sind stark verknüpft, das Team ist sehr interdisziplinär, was ständige Abstimmungen erfordert. Zudem war das Budget für die Zielsetzungen des Projektes nach relativ knapp bemessen. Dies stellte sich im Laufe des Projektes durch die unvorhergesehen aufgetretenen Schwierigkeiten heraus. Dem wurde durch den gezielten Einsatz von Projektmanagement-Methoden entgegnet, die für den guten Verlauf des Projekts mitverantwortlich sind.

Schwierigkeiten waren in den Arbeitspaketen, die speziell durch den hohen Innovationsgrad gezeichnet waren, begründet durch die erstmalige Durchführung einer Entwicklung dieser Art. Dem wurde durch massiv verstärkte Abstimmung der Partner und durch häufige Arbeitsmeetings begegnet. Für diese Partner-übergreifenden Treffen ist räumliche Nähe der Partner von Vorteil.

Stabile Datenübertragung:

Bei der Datenübertragung von den Pilot-Anlagen zu IP-Solar (Aufgabe des Partners Schneid) ist es immer wieder zu technischen Problemen gekommen. Damit verbunden sind kurz- bis mittelfristige Datenausfälle. Dies wirkt sich nachteilig auf die Datenbasis aus, die für die Entwicklung der Algorithmen und Simulationen in AP 4 notwendig ist.

Die Partner Cerebra und Solid werden den Prototypen der Software weiterentwickeln, um die Anforderungen einer automatisierten Anlagenüberwachung in der Praxis umzusetzen. Mit dem Partner IWT werden auf Basis des Konsortialvertrages die Nutzungsrechte abgeklärt.

Von zahlreichen Seiten, die als potenzielle Kunden von IP-Solar in Frage kommen, gibt es Kontakte und Interessensbekundungen. Dies betrifft sowohl die namhaften Reglerhersteller der Solarbranche als auch große Betreiber von solarthermischen Anlagen im In- und Ausland.

5. Ausblick und Empfehlungen

Der Software-Prototyp IP-Solar bildet zum aktuellen Zeitpunkt einen Großteil der am Markt eingesetzten Systeme ab. Um eine hochwertige, voll automatisierte Fehlerüberwachung garantieren zu können und einen Schritt in Richtung industriellen Einsatz zu machen, ist eine Verfeinerung in einigen Modulen notwendig.

Entwicklungspotenzial ist hier vor allem in den von IP-Solar bewusst ausgesparten Bereichen der Darstellung von Ergebnissen und der Benutzerfreundlichkeit.

Die Fehlerursachenforschung, wie sie in Rahmen von IP-Solar nicht umsetzbar war, bedarf einer genauen Untersuchung und Beschäftigung.

IP-Solar hat sich die automatische Fehlererkennung und Ertragskontrolle von solarthermischen Systemen zum Ziel gesetzt. In der Praxis werden solarthermische Systeme mit anderen erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Wärmetechnologien kombiniert eingesetzt. Eine automatische Fehlerüberwachung des gesamten thermischen Systems, sowohl erneuerbarer als auch nicht-erneuerbarer Energien, wird einen großen Schritt in Richtung Effizienzsteigerung setzten. Initiativen der letzten Jahre zielten hauptsächlich auf die Planung und Inbetriebnahme von Anlagen ab. In den Jahren des Anlagenbetriebs ist das Erreichen und Einhalten hoher Qualitätsstandards durch laufende Überwachung des Anlagenbetriebs von zentraler Bedeutung. Das Ausschöpfen des technischen und wirtschaftlichen Potentials Erneuerbarer Energieträger bei der Wärmeerzeugung wird die Folge sein.

6. Literaturverzeichnis

- H. Altgeld (1999): ‚Funktionskontrollen bei kleinen thermischen Solaranlagen ohne Wärmemengenmessung‘, Forschungsbericht
- Becker M., Helm M., Schweigler C. (2009): "Task 38 Solar Air-Conditioning and Refrigeration. D-A2: Collection of selected system schemes, 'Generic Systems' ". ZAE Bayern. Unveröffentlicht.
- C. de Keizer, S. Kueth, K. Vajen, U. Jordan and P. Ohnewein: 'Simulation based Fault Detection for Large Solar Thermal Systems'; Eurosun2010 (Graz, Austria)
- DIN. Industrielle Platin-Widerstandsthermometer und Platin-Tempertursensoren (IEC 60751:2008); Deutsche Fassung, 2009-05-01.
- A. Drösch, P. Ohnewein, M.Y. Haller, R. Heimrath, (2009) 'Modular specification of large-scale solar thermal systems for the implementation of an intelligent monitoring system.' Proceedings of ISES Solar World Congress 2009, 11-14 October 2009, Johannesburg, South Africa.
- Drück H. (2006) "Multiport Store – Model for TRNSYS – Type 340, Version 1.99F." Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) Universität Stuttgart.
- R. Düpont and J. Siemer. Solarstrahlungssensoren: Test und Marktübersicht: Wie viel Einstrahlung darf es sein? Photon Profi, (12):8–40, 2010.
- EPA. Guiding Principles for Monte Carlo Analysis: EPA/630/R-97/001, 1997. URL <http://www.epa.gov/NCEA/pdfs/montcarl.pdf>.
- C. Fink et al.: 'Funktionalitäts- und Qualitätsanalyse bei 120 Solarsystemen im Geschosswohnbau und in gewerblichen Anwendungen', 20th Symposium Thermische Solarenergie (Staffelstein, Germany)
- C. Fink, T. Müller, W. Weiss, (2008). ‚Solarwärme 2020. Eine Technologie- und Umsetzungsroadmap für Österreich‘. Download from <http://www.nachhaltigwirtschaften.at/results.html/id5694>
- C. Fink, R. Riva, M. Pertl, W. Wagner, (2006) 'OPTISOL – Messtechnisch begleitete Demonstrationsprojekte für optimierte und standardisierte Solarsysteme im Mehrfamilienwohnbau'. Download from <http://www.nachhaltigwirtschaften.at/results.html/id1822>
- Grabe, M. (2005). Measurement Uncertainties in Science and Technology, Springer Verlag Berlin.
- M. Gebauer (2004): 'Solar-Expert – Expertensystem zur Fehleranalyse in thermischen Solaranlagen', 14th Symposium Thermische Solarenergie (Staffelstein, Germany)
- Grossenbacher (2003): 'Qualitätssicherung für Solaranlagen – Methode zur permanenten Funktionskontrolle thermischer Solaranlagen'. Final project report
- Isaksson, Jaehrig, Panaras, Peter, Schindl (2007): Report on technical investigations on large solar thermal systems (WP2.D5) <http://www.swt-technologie.de/html/publicdeliverables2.html> (accessed October 30, 2008)
- ISO/IEC Guide 98-3 (2008): 'Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement'
- JCGM. Evaluation of measurement data—Guide to the expression of uncertainty in measurement, 2008. URL http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf.

Keizer, A.C. de; Vajen, K.; Jordan, U.: Overview of Monitoring and Failure Detection Approaches for Solar Thermal Systems. In: Proceedings of Eurosun 2008, Lisbon, Portugal, Paper No. 376.

Keizer, A.C. de; Kütthe, S.; Zass, K.; Wilhelms, C.; Vajen, K. (2009): Implementation of a modular approach for large-scale solar thermal systems in TRNSYS. In: Proceedings of ISES Solar World Congress. Johannesburg, South Africa, pp. 671–679.

Klein, S. A. (2006) "TRNSYS 16. A Transient System Simulation program." Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison.

Klein, S. A., et al. (2009) "TRNSYS 17. A Transient System Simulation program." Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison.

Kütthe, S; Wilhelms, C; Zass, K; Heinzen, R; Vajen, K; Jordan, U (2008) "Modelling complex systems within TRNSYS SIMULATION STUDIO." Proceedings of Eurosun 2008, 7-10 October 2008, Lisbon, Portugal.

Mathioulakis, E., Voropoulos, K., Belessiotis, V., Solar Energy 66 (1999) 337-347.

D. R. Myers and S. Wilcox. Relative Accuracy of 1-Minute and Daily Total Solar Radiation Data for 12 Global and 4 Direct Beam Solar Radiometers. In Proceedings of American Solar Energy Society Annual Conference, 2009.

Parabel Energiesysteme GmbH (2010): www.parabel-solar.de, visited 22.4.2010, 11:45

P. Ohnewein, A. Dröscher, K. Schgaguler, F. Feichtner, E. Meißner, P. Luidolt, A. Köstinger, R. Heimrath, M. Jaendl and W. Streicher, 2010. 'IP-Solar: Development of a Web-Based Monitoring and Diagnostics Tool for Solar Thermal Systems'. Eurosun 2010, Graz, Austria

P. Pärish, K. Vanoli (2007): 'Wissenschaftlicher Schlussbericht zu dem Forschungsvorhaben: Wissenschaftlich-technische Untersuchung des ISFH-Input-Output-Verfahrens zur Ertragskontrolle solarthermischer Systeme sowie Entwicklung und Erprobung von Input/Output-Controllern'. Final project report

Perers B., Bales C. (2002) "A Solar Collector Model for TRNSYS Simulation and System Testing" A Report of IEA SHC - Task 26 Solar Combisystems, December 2002

F.A. Peuser, R. Croy, M. Mies et al, (2008) 'Solarthermie-2000, Teilprogramm 2 und Solarthermie2000plus. Wissenschaftlich-technische Programmbegleitung und Messprogramm (Phase 3). Abschlussbericht zum BMU Projekt 032 9601 L'. Download from: www.zfs-energie technik.de

QAiST (2010): 'Quality Assurance in Solar Heating and Cooling Technology'. Project Fact Sheet, updated: March 2010. 'Intelligent Energy Europe' EU Project

R. Räber (1997): Spektralmethode zur Fehlerfrüherkennung in wärmetechnischen Anlagen, Dissertation, ETH Zürich

J. C. Refsgaard, J. P. van der Sluijs, A. L. Hojberg, and P. Vanrolleghem. HarmoniCa Guidance Uncertainty Analysis: Report commissioned by European Commission. Brussels, Belgium, 2005.

Solar Energy Laboratory (2010): <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/> (Zugriff: 24.02. 2010)

Solarge (2009) <http://www.solarge.org> (accessed August 07, 2009)

Solarkombianlagen-xl (2009) <http://www.solarkombianlagen-xl.info/> (accessed August 07, 2009)

A. Saltelli, M. Ratto, S. Tarantola, and F. Campolongo. Sensitivity analysis practices: Strategies for modelbased inference: The Fourth International Conference on Sensitivity Analysis of Model Output (SAMO 2004) - SAMO 2004. Reliability Engineering & System Safety, 91(10-11):1109–1125, 2006.

L. Staudacher, W. Schölkopf, S. Raab, D. Mangold (2004): 'Feldtest eines Verfahrens zur Vermessung solarthermischer Großanlagen - ISTT-Verfahren'. Abschlussbericht an das BMU, November 2004.

Stryi-Hipp, G.; Schnauss, M; Moch, F. (2007): "GroSol. Studie zu großen Solarwärmeanlagen", Bundesverband Solarwirtschaft e.V. (BSW), http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/studie_grosol.pdf (accessed August 07, 2009)

Valentin (2010): http://www.valentin.de/index_de_page=tsol_pro (Zugriff: 24.02.2010)

VDI6002. Solar heating for domestic water: General principles, system technology and use in residential building.

VDI 2169 (2007): 'VDI Richtlinie: Funktionskontrolle und Ertragsbewertung an solarthermischen Anlagen' <http://www.vdi.de/4406.0.html>, visited 2010-06-15, 9:31

VelaSolaris (2010): <http://www.velasolaris.com> (Zugriff: 24.02. 2010)

„Tachion“ simulation software; contact: Solar Campus GmbH, Technologiepark Wetzikon, Buchgrindelstrasse 13, CH-8620 Wetzikon, www.solarcampus.ch

F. Wiese et al. (2005): 'Funktionskontrolle und Fehlerdetektion bei großen solarunterstützten Wärmeversorgungssystemen'; 15th Symposium Thermische Solarenergie (Staffelstein, Germany)

Wiese, F., "Langzeitüberwachung großer solarintegrierter Wärmeversorgungsanlagen", Dissertation, Universität Kassel, 2006. <http://www.upress.uni-kassel.de/online/frei/978-3-89958-232-1.volltext.frei.pdf> (accessed August 05, 2009).

7. Anhang

A. Dröscher, Ph. Ohnewein, M. Y. Haller, R. Heimrath: „Modular Specification Of Large-Scale Solar Thermal Systems For The Implementation Of An Intelligent Monitoring System“. Proceedings of ISES Solar World Congress 2009, 11-14 October 2009, Johannesburg, Südafrika.

A. Dröscher, P. Ohnewein, M.Y. Haller, R.Heimrath: „Entwicklung eines modularen Ansatzes zur Beschreibung großer thermischer Solaranlagen für den Einsatz eines intelligenten Monitoring-Systems“, OTTI, 5 – 7 Mai 2010, Bad Staffelstein, Deutschland.

B. Gerardts, P. Ohnewein, A. Dröscher, F. Feichtner, K. Schgaguler, E. Meißner, S. Putz, P. Luidolt, A. Köstinger, R. Heimrath, C. Holter, W. Streicher: „IP-Solar: Development and Validation of a Web-Based Monitoring and Diagnostic Tool for Solar Thermal Systems“, ISES Solar World Congress 2011, 28 August – 2 September, Kassel, Deutschland

A.C. de Keizer, S. Kütke, K. Zass, C. Wilhelms, K. Vajen: „Implementation of a modular approach for large-scale solar thermal systems in TRNSYS“. Proceedings of ISES Solar World Congress 2009, 11-14 October 2009, Johannesburg, Südafrika.

A.C. de Keizer, S. Kütke, C. Wilhelms, K. Zass, K. Vajen: „Implementierung eines modularen Ansatzes zur Entwicklung von TRNSYS Modellen für große solarthermische Anlagen“, OTTI, 5 – 7 Mai 2010, Bad Staffelstein, Deutschland

C. de Keizer, S. Kuethe, K. Vajen, U. Jordan and P. Ohnewein: „Simulation based Fault Detection for Large Solar Thermal Systems“, Eurosun 2010, 28 September – 1 Oktober 2010, Graz, Österreich.

C. de Keizer, K. Vajen and U. Jordan: „Sensitivity and Uncertainty Analysis for Fault Detection in Solar Thermal Systems“, ISES Solar World Congress 2011, 28 August – 2 September, Kassel, Deutschland

P. Ohnewein, A. Dröscher, K. Schgaguler, F. Feichtner, E. Meißner, P. Luidolt, A. Köstinger, R. Heimrath, M. Jaendl, W. Streicher: „IP-Solar: Development of a Web-Based Monitoring and Diagnostics Tool for Solar Thermal Systems“, Eurosun 2010, 28 September – 1 Oktober 2010, Graz, Österreich.

IMPRESSUM

Verfasser

S.O.L.I.D. Gesellschaft für Solarinstallation
und Design mbH

Puchstrasse 85, 8020 Graz

Tel: +43 316 292840

E-Mail: office@solid.at

Autoren

Bernhard Gerardts, Sabine Putz,
Richard Heimrath, Angela Dröscher,
Klaus Schgaguler, Alice Köstinger,
Corry de Keizer, Stefan Kuethe

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige
Verantwortung für den Inhalt dieses
Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise
die Meinung des Klima- und Energiefonds
wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die
Weiternutzung der hier enthaltenen
Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH