

Entwicklung eines modularen Ansatzes zur Beschreibung großer thermischer Solaranlagen für den Einsatz eines intelligenten Monitoring-Systems

A. Dröscher^{a)}, Ph. Ohnewein^{b)}, M.Y. Haller^{a).c)}, R.Heimrath^{a)}

^{a)}Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz

Inffeldgasse 25 B, A-8010 Graz

Tel.: +43 316 873-7307, Fax: +43 316 873-7305

angela.droescher@tugraz.at, <http://www.iwt.tugraz.at>

^{b)}S.O.L.I.D. Gesellschaft für Solarinstallation und Design mbH, A-8010 Graz

^{c)}jetzt: Institut für Solartechnik SPF, CH-8640 Rapperswil

Das Forschungsprojekt "IP-Solar" hat zum Ziel, die wissenschaftliche und technische Basis für eine Software-Tool zum dauerhaften und automatisierten Monitoring von großen thermischen Solaranlagen zu schaffen. Der vorliegende Beitrag befasst sich in erster Linie mit der Entwicklung einer Struktur zur Abbildung solcher Anlagen für das genannte Monitoring-System. Die gewählte modulare Form der Abbildung wird begründet sowie ihre Struktur beschrieben. Die Idee eines empfohlenen Mindest-Messkonzeptes für thermische Solaranlagen wird vorgestellt. Die Grundzüge der Anlagenüberprüfung, die auf die modulare Abbildung der Hydraulik sowie der Messtechnik aufbaut, und deren Anforderungen die Abbildungsstruktur erfüllen muss, werden erläutert. In der Zusammenfassung wird auf einige wichtige Merkmale von IP-Solar eingegangen. Ein Ausblick auf die laufenden und kommenden Arbeiten im Projekt bildet den Abschluss.

Einleitung

Der wachsende Markt großer thermischer Solaranlagen (GTSA) und die Forderung nach hohen Solarerträgen stellt Planer und Betreiber von GTSA vor eine große Herausforderung: Wie kann der optimale Betrieb der Solaranlage langfristig und kostengünstig gesichert werden? In diesem Zusammenhang hat sich laufendes begleitendes Monitoring der Anlage als maßgeblich für den erfolgreichen Betrieb herausgestellt.

Dieser Umstand war die Motivation, "IP-Solar" zu starten. IP-Solar ist sowohl der Name des laufenden Forschungsprojektes als auch der Dienstleistung, die sich der-

zeit in Entwicklung befindet. Die Website www.ip-solar.com informiert über beide Aspekte von IP-Solar. Im Forschungsprojekt wird in einem interdisziplinären Team die wissenschaftliche und technische Basis für ein Software-Tool entwickelt, dessen prinzipieller Ablauf in Abb. 1 dargestellt ist. Das Forschungsprojekt läuft bis 2011.



Abb. 1: Ablauf in IP-Solar

IP-Solar ist eine Webanwendung für permanentes Monitoring von GTSA. Durch einen modularen, standardisierten Aufbau ist IP-Solar auf Anlagen verschiedener Hersteller und Betreiber anwendbar. Zielgruppe sind dabei Anlagen ab ca. 50 m² Kollektorfläche, da dort die technischen und ökonomischen Anforderungen i.A. höher sind als bei kleineren Anlagen. Grundsätzlich wird IP-Solar aber auch für kleinere Anlagen verwendbar sein.

Ein wesentliches Merkmal von IP-Solar ist, dass unter dem Begriff "thermische Solaranlage", der oftmals gleichgesetzt wird mit dem Solarkreis, die Energieversorgungsanlage (EVA) als Ganzes verstanden wird. Darin sind alle im Gesamtsystem mitwirkenden Komponenten, einschließlich der Nachheizung und der Wärmeverteilung enthalten. Dieser ganzheitliche Ansatz ist essentiell, um das Betriebsverhalten einer Anlage umfassend interpretieren zu können - Wechselwirkungen finden nicht nur innerhalb des Solarkreises sondern innerhalb der gesamten Anlage statt.

"Intelligentes Monitoring" bezeichnet im Rahmen von IP-Solar die Gesamtheit aus dauerhaftem Loggen, Übertragen und Analysieren von Messdaten sowie Anlagendiagnose, d.h. die Identifikation von unerwünschten Zuständen im Anlagenbetrieb -

das alles auf einem außergewöhnlich hohen Automatisierungsniveau. Bei Bedarf erfolgt eine sofortige automatische Benachrichtigung über einen aufgetretenen unerwünschten Anlagenzustand an eine/n Verantwortliche/n per Email oder SMS. Diese/r kann die Informationen nutzen, um den Fehler durch gezielten Einsatz von Service- und Wartungsmaßnahmen zu beheben. Insgesamt werden auf diese Weise bei geringem Zeit- und Kostenaufwand hohe Zuverlässigkeit, optimaler Anlagenbetrieb und maximale solare Erträge erreicht.

Modulare Abbildung von GTSA

Für die Anwendung eines solchen hochgradig automatisierten Monitoring-Systems für verschiedene Anlagentypen ist es notwendig, das GTSA (d.h. die gesamte Energieversorgungsanlage) in standardisierter Form zu beschreiben und für das Monitoring-System vorzubereiten. Die Anforderungen an diese Struktur wurden im Rahmen einer Marktanalyse im mitteleuropäischen Raum erarbeitet. Erfasst wurden GTSA mit mehr als 80 m² Kollektorfläche, wobei der Fokus auf jenen Anlagenkonfigurationen lag, die sich langfristig und vielseitig bewährt haben. Aus den anfangs ca. 200 Anlagen wurden dadurch 90 Anlagen herausgefiltert, die sich in folgende drei Typologien unterscheiden lassen (s. auch Dröscher et al., 2009):

- Einspeisung in ein Nah-/Fernwärmenetz (2 Anlagen)
- 2-Leiter-Anlagen zur Raumheizung und Warmwasserbereitung (39 Anlagen)
- Anlagen zur reinen Warmwasserbereitung (49 Anlagen)

Die hydraulischen Schaltbilder dieser 90 Anlagen wurden auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede hin untersucht und konnten dadurch innerhalb der Typologien in Untergruppen gegliedert werden. Die freundlicherweise zur Verfügung gestellten Unterlagen der Betreiber, Forschungseinrichtungen und Firmen waren in einigen Fällen nicht ausreichend detailliert für IP-Solar oder stellten z.B. nur den Solarkreis und den Wärmespeicher im Detail dar, nicht aber die Nachheizung. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, ist es jedoch ein Hauptziel von IP-Solar, nicht nur den Solarkreis, sondern die gesamte EVA zu erfassen. Im Sinne einer möglichst breiten Grundlage für IP-Solar wurden deshalb diese Anlagen mit weniger umfangreichen Informationen trotzdem in die Analyse aufgenommen und die Hydraulikpläne nach bestem Gewissen interpretiert.

Für die Modellierung von GTSA stehen grundsätzlich drei verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Abbildung einzelner Komponenten, die vom Benutzer fast beliebig miteinander kombiniert werden können. Beispiele: Simulations-Software Polysun (VelaSolaris, 2010) oder TRNSYS (Solar Energy Laboratory, 2010)
2. Vorgabe ganzer, vordefinierter Anlagenhydrauliken, wo keine oder nur geringe Detailänderungen möglich sind. Beispiel: Software T-Sol (Valentin, 2010)
3. Zusammenfassung einzelner Komponenten zu "Modulen", die unter bestimmten Regeln zum Gesamtsystem zusammengestellt werden. Beispiel: Inhalte des IEA SHC Task 38 (Becker et al., 2009)

Der Vorteil des ersten Modells, die Kombination einzelner Komponenten, liegt in der hohen Flexibilität. Dem gegenüber stehen der hohe Zeitaufwand in der Eingabe und der fehlende vordefinierte sinnhafte Zusammenhang zwischen den einzelnen Komponenten, wodurch die automatisierte Analyse von Systemzuständen erschwert wird. Das zweite Modell, die Vorgabe ganzer vordefinierter Systemkonfigurationen, wäre die einfachste Basis für die automatisierte Anlagenüberprüfung. Es ist jedoch zu befürchten, dass für eine zufriedenstellende Flexibilität eine große Anzahl von Auswahlmöglichkeiten definiert werden muss, wodurch der Aufwand wiederum stark ansteigt. Aus diesem Grund wurde auch dieser Ansatz in IP-Solar nicht weiter verfolgt.

Für IP-Solar wurde der dritte Ansatz gewählt, da er die Vorteile der beiden ersten Möglichkeiten vereint: in Modulen werden mehrere Komponenten, die typischerweise in dieser Kombination verbaut werden und in dieser eine bestimmte Funktionalität erfüllen, zusammengefasst. Module sind z.B. Solarkreis, Wärmespeicher, Wärmeabnahme, Zusatzheizung. Dadurch ist der sinnhafte Zusammenhang innerhalb der Module vordefiniert, gleichzeitig ist die Abbildungs-Struktur flexibler als bei der Vorgabe ganzer Anlagenkonfigurationen. Ein ähnlicher Ansatz wurde z.B. in den Arbeiten zum IEA SHC Task 38 (Becker, 2009) gewählt. In den folgenden Punkten unterscheidet sich jedoch dieser Ansatz von den Zielen in IP-Solar:

- Hauptanwendungsbereiche solare Klimatisierung und Kühlung
- Analyse neuer Konzepte und Technologien
- geplantes Ergebnis: ein "best-practice"-Katalog als Unterstützung für die Planung und zur Erleichterung der Markteinführung derartiger Anlagen
- Fehlersuche: nicht geplant, deshalb wird auf die Messtechnik ein geringeres Augenmerk gelegt als in IP-Solar.

Abb. 2 zeigt als Beispiel eine aus den in IP-Solar entwickelten Modulen zusammengesetzte Anlage zur Wärmeverteilung in einem 2-Leiter Netz. Eine Auflistung der entwickelten Module findet sich in Tab. 1.

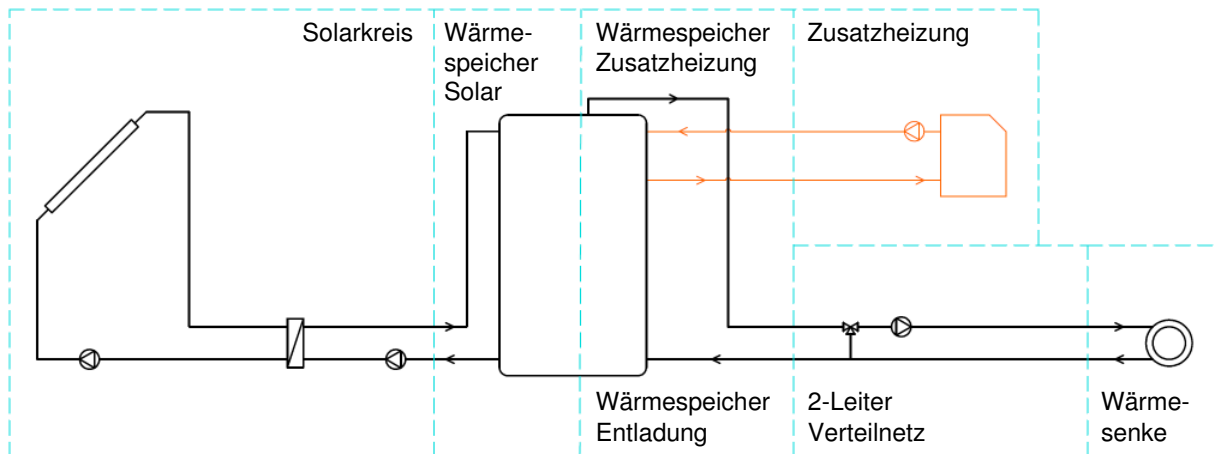


Abb. 2: Beispiel einer aus Modulen zusammengesetzten Anlage zur Wärmeverteilung in einem 2-Leiter Netz. Unterbrochene Linien: Modulgrenzen

Die Module bilden die erste Ebene in der Abbildungsstruktur. Eine zweite Ebene wurde erstellt, indem zu jedem Modul "Modul-Varianten" entwickelt wurden, die grundsätzlich dieselbe Funktionalität haben, sich jedoch in ihrer hydraulischen Ausbildung unterscheiden. In einer dritten Ebene werden "Detail-Varianten" abgebildet, die nur einen kleinen Teilbereich des Moduls betreffen und daher die Definition eines eigenen Moduls nicht rechtfertigen. Durch diese Struktur ist die Abbildung der Anlagen bis ins Detail flexibel, gleichzeitig bleibt die Übersichtlichkeit über die Konfigurationen bewahrt. Tab. 2 zeigt am Beispiel des Moduls AUXH (Zusatzheizung) die drei Modul-Ebenen, in Abb. 3 sind diese für AUXH1 und AUXH2 dargestellt.

Tab. 1: Module, Anzahl Varianten und Detail-Varianten

Modul Beschreibung	# Modul- Varianten	# Detail- Varianten
Solarkreis	2	6
Wärmespeicher, Teil: Beladung Solar	2	3
Wärmespeicher, Teil: Entladung	3	2
Wärmespeicher, Teil: Beladung Zusatzheizung	3	6
Zusatzheizung	4	6
Brauchwarmwasserbereitung	4	32
allg. Wärmesenke	1	0
2-Leiter Verteilnetz	2	2
Ein- und Auslass Brauchwasser	1	0
Verbindung	2	0

Tab. 2: Modul-Ebenen am Beispiel von Modul AUXH (s. auch Abb. 3)

Modul-Ebene			Beschreibung
Modul-Name	Modul-Variante	Detail-Variante	
AUXH			Modulfunktion: Zusatzheizung
	AUXH1		Modulvariante 1 : Kessel
		AUXH1_a1	Detailvariante a1 von AUXH1: keine Rücklaufanhebung
		AUXH1_a2	Detailvariante a2 von AUXH1: Rücklaufanhebung
	AUXH2	AUXH2_a1	Modulvariante 2, Detailvariante a1 : Fernwärme über Wärmetauscher
	AUXH3	AUXH3_a1	Modulvariante 3, Detailvariante a1 : Fernwärme sekundär
	AUXH4	AUXH4_a1	Modulvariante 4, Detailvariante a1 : allgemeine Wärmequelle

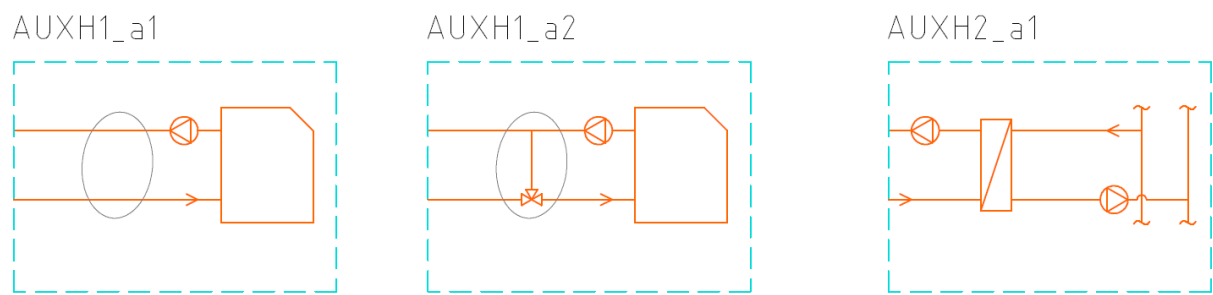


Abb. 3: Modulvarianten und Detailvarianten am Beispiel von AUXH1 und AUXH2 (s. auch Tab. 2)

Eine wesentliche Eigenschaft der Module ist die Definition fixer Schnittstellen zueinander. Dadurch können Modul-Varianten einfach gegeneinander ausgetauscht werden. Zugleich ist die Struktur vorbereitet für die spätere Aufnahme bisher nicht definierter Varianten. Unter Einhaltung der Schnittstellendefinitionen könnten auch gänzlich neue Module verarbeitet werden.

Einige Regeln für die Kombinationsmöglichkeiten der Module werden durch die fix definierten Schnittstellen bereits vorgegeben. Eine Einschränkung der verbleibenden möglichen Kombinationen auf die technisch sinnvollen ist gemäß dem Flowchart in Abb. 4 vorgesehen. Gleichzeitig wird damit die Anzahl der in den Algorithmen zur Anlagenüberprüfung zu berücksichtigenden Konfigurationen reduziert und deren Entwicklung vereinfacht. Die gezeigte Flowchart beinhaltet nur einige ausgewählte der entwickelten Module.

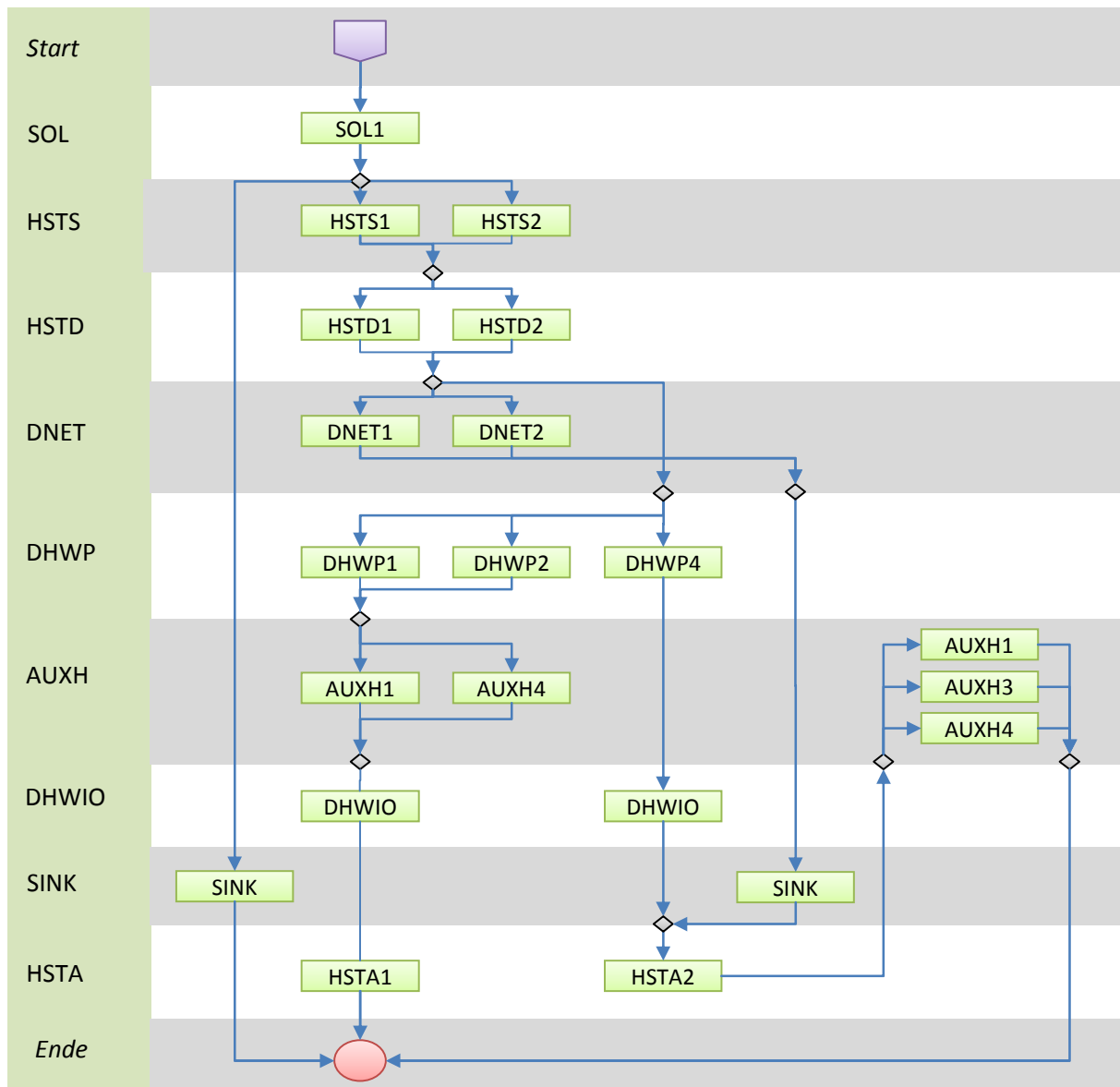


Abb. 4: Flowchart Kombinationsmöglichkeiten für ausgewählte Module

Ebenso wie die Hydraulik für jedes Modul (und jede Variante) festgelegt wurde, wurden zu jedem Modul mögliche Messstellen vordefiniert. Die Basis dafür bildeten die in der Marktanalyse gesammelten Informationen sowie das im Team vorhandenen Know-How.

Empfohlenes Mindest-Messkonzept

In der Entwicklung von IP-Solar wird darauf Wert gelegt, dass die Software am Ende mit jeder beliebigen kundenseitigen Messtechnik (im Rahmen der vordefinierten Messstellen) zurechtkommt. Je mehr Messstellen an der Anlage vorhanden sind und

je höher die Genauigkeit der Sensoren ist, desto mehr und desto verlässlichere Aussagen über den Anlagenzustand kann IP-Solar treffen.

Es wurden Messstellen definiert, die für die Anlagenanalyse besonders wichtig sind. Für das empfohlene Mindest-Messkonzept wurden diese entscheidenden Messstellen unter Abwägung von Kosten und Einfluss auf die Aussagekraft der Diagnose in einem Leitfaden dokumentiert. Abb. 5 zeigt am Beispiel der Modul-Variante AUXH1 die maximal vorgesehene und die empfohlene minimale Messtechnik.

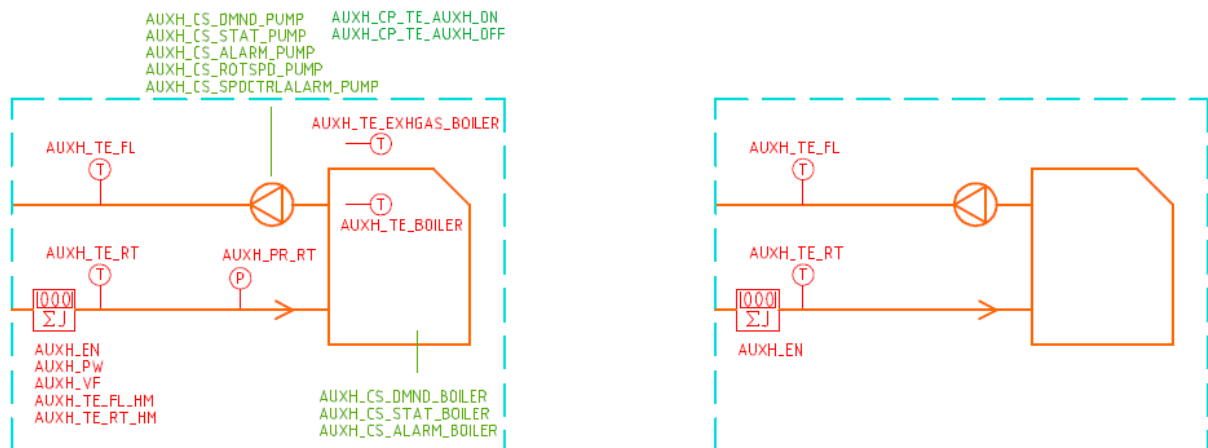


Abb. 5: Maximal vorgesehene (links) und empfohlene minimale (rechts) Messtechnik am Beispiel AUXH1

In der Praxis hat sich gezeigt, dass sich konsequentes Qualitätsmanagement bei der Messtechnik bezahlt macht: viele Fehler, die den effizienten Betrieb der Anlage behindern, sind auf diesem Wege vermeidbar. Einige wichtige Punkte zu dieser Thematik sind im genannten Leitfaden zusammengefasst und dienen gleichermaßen der internen Dokumentation wie auch als Orientierungshilfe für den Interessenten von IP-Solar. Darin werden nicht nur die Messstellen an sich behandelt, sondern auch die Genauigkeit der Sensoren sowie die Peripherie-Geräte zur Messdatenerfassung. Die Leistungsfähigkeit von IP-Solar ist schließlich abhängig von der vorhandenen Messtechnik, d.h. Anzahl der Sensoren und Genauigkeit der Messkette. Am Ende der Messkette stehen das Loggen sowie die Übertragung der Messdaten. Diese Aufgabe wird i.A. vom Regler übernommen, d.h. die Kommunikation zwischen dem Regler und dem IP-Solar-Server, auf dem die Messdatenanalyse zentral stattfindet, ist ein weiterer essentieller Aspekt für die Effizienz von IP-Solar. Die in der Einleitung erwähnte Ungebundenheit an bestimmte Hersteller und/oder Betreiber von Solaranlagen umfasst dabei auch den Einsatz verschiedener Reglertypen.

Anlagendiagnose

Sobald die Überprüfung einer Anlage weg vom menschlichen Auge hin zu automatisierter Analyse geht, wird das Erfassen von Zusammenhängen, das Trennen von "günstigen / erwünschten" und "ungünstigen / unerwünschten" Betriebszuständen schwieriger. Ein Hauptziel von IP-Solar ist, dauerhaftes Anlagenmonitoring möglichst vollautomatisiert durchzuführen, so dass eine menschliche Interaktion erst bei festgestelltem Fehlverhalten der Anlage notwendig wird.

Die Aktivitäten zur Anlagendiagnose, wie sie in IP-Solar durchgeführt wird, können in drei Bereiche gegliedert werden, die automatisiert abgearbeitet werden:

- 1.) Fehlererkennung: Feststellung, *dass* ein unerwünschter Anlagenzustand vorliegt
- 2.) Fehlerlokalisierung: Feststellung, von *wo* (welcher Komponente / welchem Sensor) der Fehler ausgeht bzw. wo sich der Fehler zeigt
- 3.) Ursachenidentifikation: *Benennung* möglicher Ursachen für den Fehler bzw. unerwünschten Anlagenzustand

Grundsätzlich steht das rasche und eindeutige Erkennen eines unerwünschten Anlagenzustandes im Vordergrund. Bei Vorliegen einer Fehlfunktion wird eine Benachrichtigung per Email oder SMS an eine/n Verantwortliche/n gesendet. Dabei ist in der Entwicklung von IP-Solar darauf zu achten, Fehlalarme wegen zu sensibel eingestellter Überprüfungs-Algorithmen zu vermeiden.

Zur Abwicklung der oben genannten Schritte sind für die Anlagenanalyse in IP-Solar drei Stufen unterschiedlicher Komplexität vorgesehen:

- 1.) Stufe 1, Kennzahlen: Mit einfachen aber aussagekräftigen Kennzahlen wie Maxima, Minima, Mittelwerten und Summen über verschiedene Zeiträume (Tag / Monat / Jahr) von Leistungen, Temperaturen, Drücken u.a. kann die grundsätzliche Funktionalität der Anlage quantifiziert werden. Diese erste Stufe stellt ein "vereinfachtes" Monitoring dar. Die berechneten Kennzahlen können für den Benutzer von IP-Solar anschaulich in Diagrammen dargestellt werden. Eine Überprüfung von Anlagenzuständen, d.h. Fehlererkennung oder Fehlerlokalisierung, wird auf dieser Stufe nicht durchgeführt.
- 2.) Stufe 2, Algorithmen: In Algorithmen kann der Anlagenzustand qualitativ untersucht werden. Dabei können auch komplexe Zusammenhänge erfasst und

analysiert werden. In den Algorithmen werden Aussagen darüber, ob ein bestimmter Fehler oder unerwünschter Anlagenzustand vorliegt, getroffen. Ziel ist hier die Erkennung und möglichst genaue Lokalisation von Fehlern. Fehler, die in Stufe 2 erkannt werden können, sind z.B. Pumpenausfälle, starke Druckschwankungen und Leckage. Auch schleichende Fehler wie Verkalkung oder Verschlammung eines Wärmetauschers können detektiert werden. Über selbstlernende Funktionen werden dabei die Parameter der allgemeinen Algorithmen für die jeweilige Anlage individuell angepasst.

- 3.) Stufe 3, Simulation: Mit Hilfe eines Vergleichs von Messdaten der Solaranlage (Ist-Werte) mit simulierten Werten (Soll-Werte) können durch Aussagen zu Energiebilanzen und andere quantitative Aussagen zum Anlagenzustand getroffen werden. In De Keizer et al. (2009) wird die Entwicklung einer modularen Anlagenmodellierung für diese Stufe in TRNSYS behandelt.

Alle drei Stufen haben als Grundlage die zu Beginn beschriebene modulare Abbildung von GTSA. Diese einheitliche Struktur ist wesentlich für eine effiziente Abarbeitung der Monitoring-Aufgaben und die Konsistenz innerhalb von IP-Solar. Egal, auf welcher der genannten Stufen die Anlage überprüft werden soll - sinnvolles Anlagenmonitoring setzt in jedem Fall eine gewisse Mindest-Messausstattung voraus, wie sie im vorigen Abschnitt beschrieben wurde.

Eine Besonderheit von IP-Solar ist, dass die Messunsicherheit der verwendeten Messtechnik in den Algorithmen zur Fehlererkennung automatisch berücksichtigt wird. Über die Eingabe der Sensorqualität (z.B. Pt1000 Klasse A) wird in IP-Solar - unter gewissen Annahmen - die Messunsicherheit bewertet. Die Qualität der Messtechnik geht damit direkt in das Ergebnis eines Algorithmus (also die Aussage darüber, ob ein Fehler vorliegt oder nicht) ein, welches dadurch an Bedeutung gewinnt und unerwünschte Anlagenzustände verlässlicher erkennen lässt.

Praxistest

Die Entwicklungen im Rahmen von IP-Solar werden an drei bestehenden GTSA in Graz getestet. Alle Anlagen haben eine Kollektorfläche von mehr als 100 m² und sind je einer der drei Typologien zugeordnet: Einspeisung in ein Fernwärmenetz (1440 m²), 2-Leiter-Netz (154 m²) und Brauchwarmwasserbereitung (114 m²). Die Erprobung an verschiedenen konfigurierten Anlagen ist essentiell, um die Flexibilität von IP-Solar zu verifizieren. Besonders die nachträgliche Implementierung von IP-Solar in bestehende Anlagen stellt eine große Herausforderung dar im Vergleich da-

zu, wenn dem Thema Monitoring von Beginn an gebührend Rechnung getragen wird. Kritische Punkte wie Datenübertragung und vorliegende Sensorqualitäten stellen IP-Solar zusätzlich zur eigentlichen Anlagendiagnose auf die Probe. Diese Punkte, haben zwar auf die Inhalte der Anlagenüberprüfung wenig Einfluss, sind aber für die Gesamt-Performance von IP-Solar mit ausschlaggebend.

Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen einer Marktanalyse wurde eine breite Basis für die Entwicklung eines Monitoring-Tools für GTSA in verschiedenen Anwendungen und Konfigurationen geschaffen. Für die Implementierung eines "intelligenten" hochautomatisierten Monitoring-Systems wurde unter Abwägung der Vor- und Nachteile verschiedener Ansätze zur Anlagenabbildung eine modulare Struktur gewählt. Mit nur zehn Modulen können durch die Einführung von Modul-Varianten und Detail-Varianten alle 90 in der Marktanalyse untersuchten Anlagen im Detail abgebildet werden. Für jedes Modul wurden mögliche Messstellen vordefiniert und ein empfohlenes Mindest-Messkonzept für eine sinnvolle Anlagenüberprüfung entwickelt. Die Anlagenüberprüfung selbst erfolgt vollautomatisch: die Erkennung unerwünschter Anlagenzustände sowie eine möglichst genaue Lokalisierung von Fehlern werden permanent durchgeführt, sobald Messdaten der Anlage vorhanden sind. Davon getriggert wird ein/e Verantwortliche/r automatisch benachrichtigt, wenn ein unerwünschter Anlagenzustand vorliegt.

Die Algorithmen zur Anlagenüberprüfung werden derzeit entwickelt, was eine besonders enge Zusammenarbeit zwischen den Disziplinen Solartechnik und Softwareentwicklung erfordert. Hier stellt der zu Beginn des Abschnitts "Anlagenüberprüfung" erwähnte Schritt vom menschlichen Auge hin zur automatisierten Analyse die größte Herausforderung dar. Dies gilt sowohl für die Messdatenanalyse an sich als auch für das - ebenfalls automatisierte - Eskalationsmodell zur Benachrichtigung bei Vorliegen eines Fehlers.

Parallel dazu wird der Betrieb von IP-Solar an den drei Testanlagen vorbereitet, um in einer Testphase die Funktion von IP-Solar optimieren zu können. Die Erprobung umfasst unter anderem die Funktion des Einpflegens der Anlage in das System, die Kommunikation der Regler mit dem IP-Solar Server, die grundsätzliche Funktion der Algorithmen (insbesondere jener, die Lernkurven enthalten) - sowohl aus solartechnischer als auch aus softwaretechnischer Sicht - sowie die automatische Benachrichtigungs-Funktion.

Danksagung

Das F&E-Projekt "IP-Solar" wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms "Energie der Zukunft" durchgeführt. Projektnummer: 815747

Referenzen

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.

De Keizer, A.C.; Küthe, S.; Zass, K.; Wilhelms, C; Vajen, K. (2009): "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, South Africa.

Dröscher, A.; Ohnewein, P.; Haller, M.Y.; Heimrath, R. (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.

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

Valentin (2010): http://www.valentin.de/index_de_page=tsol_pro (Zugriff: 24.02. 2010)

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