

IEA Solar Heating and Cooling Task 45: Große Solare Heiz- und Kühlsysteme, Saisonal- speicher, Wärmepumpen

S. Putz

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

3/2016

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

IEA Solar Heating and Cooling Task 45: Große Solare Heiz- und Kühlsysteme, Saisonalspeicher, Wärmepumpen

Ing. Sabine Putz
S.O.L.I.D. Gesellschaft für Solarinstallation- und Design mbH

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)

Graz, April 2015

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie

IEA FORSCHUNGS
KOOPERATION

Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1.	Kurzfassung	3
2.	English Summary Report	5
3.	Einleitung	7
4.	Projekthalt und Ergebnisse	9
4.1	Solarthermische Großanlagen weltweit: Datenbank	10
4.2	Standardhydraulikkonzepte	15
4.2.1	Hydraulische Ebenen solarthermischer Anlagen	15
4.2.2	Konzepte für eine gleichmäßige Strömungsverteilung	17
4.3	Richtlinien zum Design effizienter Hydraulikkreisläufe	20
4.4	Richtlinie zur Sicherheitstechnik im primären Solarkreislauf	25
4.5	Richtlinie zu Leistungsgarantien solarthermischer Großanlagen	29
4.6	Richtlinie zu standardisierten Monitoring- und Qualitätssicherungskonzepten	29
4.7	Konzepte saisonaler Speicher	31
4.8	Modelle für Drittmittelfinanzierungen und Fallstudien	32
4.9	Planungshandbuch zu solarthermischen Großanlagen	35
4.10	Österreichische Projektpartner und das internationale Netzwerk der IEA SHC	35
4.11	Transfer der Projektergebnisse an die österreichische Solarthermiebranche	36
5.	Detailangaben zur Programmlinie der IEA	38
6.	Projektergebnisse der internationalen Task-Partner	38
7.	Ausblick und Empfehlungen	40
8.	Abbildungs- und Tabellenverzeichnisse	41
9.	Literaturverzeichnis	41
10.	Anhang	42
10.1	Teilnehmer am Task 45	42

1. Kurzfassung

Großsolaranlagen haben enormes Potential zentraler Bestandteil einer nachhaltigen Energiezukunft zu sein. Bereits bestehende Anlagen erzeugen schon heute weltweit große Mengen an Energie aus der Sonne. Die Nachfrage nach derartigen Anlagen nimmt seit Jahren deutlich zu. Die Datenbank zu Solarthermischen Anlagen des Tasks 45 konnte 309 Großanlagen erfassen, von welchen 184 alleine in den Jahren 2006 bis 2014 errichtet wurden. Global betrachtet wurden die größten Anlagenflächen in Dänemark gebaut, gefolgt von China, Deutschland und Österreich. 73% der Anlagen befinden sich noch in Europa, doch China vervielfacht seine installierte Kollektorfläche jährlich. Die Meisten der großen Anlagen dienen nach wie vor der Raumheizung, gefolgt von Prozesswärmeanlagen und solarer Kühlung.

Die großen Anlagen sind technisch deutlich anspruchsvoller als Installationen mit wenigen Quadratmetern. Ein Beispiel für entscheidende Faktoren sind die Abmessungen (Durchmesser, Länge) der einzelnen Rohre zueinander. Diese beeinflussen bzw. bestimmen die Strömungsverteilung der jeweiligen hydraulischen Ebenen. Bereits geringe Abweichungen der hydraulischen Rahmenbedingungen einzelner Ebenen können zu Veränderungen in der Strömungsverteilung des gesamten Kollektorfeldes führen. Aktive Maßnahmen für eine gleichmäßige Strömungsverteilung im Kollektorfeld sind unterschiedliche Ausführungen der Querschnitte in den Zuleitungen der einzelnen Kollektorreihen oder der Einbau von mechanischen Regelventilen. Kennzahlen bieten weitere Orientierung bei der Auslegung der technischen Komponenten. Die Kennzahlen können noch während der Planungsphase in einer theoretischen Analyse ermittelt werden und erlauben dadurch eine detailliertere Umsetzung des Kollektorfelddesigns. Zentral sind das Verhältnis der Zahlen zueinander und die tatsächlichen Parameter vor Ort für die grundsätzliche Auslegung der Anlage.

Neben Methoden im Umgang mit Stagnation muss bei allen solarthermischen Anlagen die Eigensicherheit gewährleistet sein. Dementsprechend sind im Primärkreis solarthermischer Anlagen Sicherheitseinrichtungen wie Ventile vorzusehen. Die Analyse unterschiedlicher internationaler Großanlagen zeigt, dass deutliche Unterschiede in der Umsetzung der Sicherheitskonzepte bestehen: Die Sicherheitssysteme sind von der individuellen Auslegung der Anlage abhängig. Leistungsgarantien basieren auf monatlichen Durchschnittswerten und stündlichen durchschnittlichen Wetterbedingungen. Ein entsprechendes Monitoring-Konzept kann hier Daten bereitstellen und außerdem genauere Parameter zur Überwachung der Anlage liefern, wie Energiebilanzen, Betriebsoptimierungen, Funktionsüberprüfungen, monatliche Energiebilanzen mit Soll-Ist-Wertvergleich oder multidimensionale Datenerfassungen und Sensorik.

Saisonale Speicher sind ein weiterer, zentraler Baustein großer Solaranlagen. Diese können nur in Gebieten gebaut werden, in welchen Untergrundmaterial und Speicherfähigkeit festgelegten Parametern entsprechen. Der Grunddruck der Umgebungsmaterialien wirkt hier dem Wasserdruck innerhalb des Großspeichers entgegen. Je nach Verwendungszweck wird der

Speicher an das Abnahmesystem angeschlossen. Beachtlich ist, dass die Investitionskosten je m³ Speicher sich zum Speichervolumen negativ verhalten. Hier liegen große Anlagen klar im Vorteil verglichen mit kleineren Anlagen.

Die Finanzierung großer Solarthermieanlagen stellt Stakeholder oft vor neue Herausforderungen. Große Anlagen können zur Entstehung ein beachtliches, finanzielles Volumen beanspruchen. Neue Finanzierungsmodelle wie ESCos bieten hier Abhilfe. Die Investitionskosten für Kunden werden überschaubar gestaltet und können beispielsweise zeitlich aufgeteilt werden.

Diese Maßnahmen unterstützen den weiteren Ausbau großer solarthermischer Anlagen und tragen zum Erfolgskurs am internationalen Energiemarkt entscheidend bei. Die österreichischen Experten/innen haben das Potential der Technologie längst erkannt und waren ein starker Partner im länderübergreifenden Projektteam.

2. English Summary Report

Large scale solar thermal plants have enormous potential to promote our global sustainable energy future. As of today, installed plants already generate huge amounts of energy from solar radiation. The Task 45 database identified 309 installed large scale solar thermal plants of which 184 were built between 2006 and 2014. From a global perspective, Denmark built most square meter of collector area in the past, followed by China, Germany and Austria. 73% of the total number of large plants is still located in Europe, but China multiplies its collector area yearly. Most large scale solar plants produce energy for space heating purposes, but the technology became increasingly attractive for process heating and solar thermal cooling.

Big solar thermal installations require more sophisticated technical solutions than plants with just a few square meters. One crucial factor for plant operations are pipe dimensions (length, diameter). The dimensions influence the flow distributions at the diverse hydraulic levels. Small differences on dimensions of the hydraulic parameters at single stages can alter flow characteristics within the overall collector field. Active measures to harmonize flow characteristics within collector fields are different lateral pipe cuts or the installation of mechanical safety valves. Plant components can be adjusted if appropriate key figures are selected at the planning stage. These key figures can be developed based on calculated parameters and allow for an enhanced design of collector fields. Central design characteristics are the ratios of figures compared to each other and actual, measured parameters at location sites.

Next to the mitigation of stagnation phases, safety components are central parts of large solar thermal plants. To guarantee safe operations, safety valves have to be integrated into the primary solar circuit. A comparison of safety installations at a variety of international plants showed that safety precautions differ widely and standards are limited: Safety systems are highly dependent on the unique plant design. Performance guarantees are also highly dependent on the individual installation design. Performance data should be based on average hourly and monthly weather conditions at site. Monitoring systems are well suited to gather data on these parameters as well as can oversee plant performance data such as energy balance, operational control, monthly energy balance with set-actual comparison or multidimensional data and sensor systems.

Seasonal energy storages are another, central component of large scale solar plants. Soil storages can only be built in areas where underground materials can capture energy and store it according to calculated parameters. Soil pressures and the pressure of the stored water itself have to balance each other. Storage systems are integrated at different plant levels, depending on the purpose of the installation. It is noticeable that storage dimensions and investment costs are proportionally negative. This is one central economic benefit of large scale plants compared to smaller applications.

Investment requirements of large solar thermal plants can be challenging in the process towards their realization. The installations are dependent on noticeable financial capabilities. New investment institutions such as energy contractors are one solution to finance pioneering projects. Investment costs become manageable and can be split across pre-defined time periods or investors.

A lot of measures facilitate the implementation of large solar thermal plants and contribute to its global road to success. Austrian experts know about the huge potential of the technology and were a strong partner within the international project team.

3. Einleitung

Solarthermische Großanlagen werden bereits seit Jahren genutzt um Wärme in Energienetze einzuspeisen, industrielle Prozesse zu verbessern oder für thermisch getriebene Kühlsysteme. Die österreichische Solarindustrie ist ein zentraler Bestandteil der Energieversorgung mit Erneuerbaren Ressourcen. Ihr Know-How ist bei Anlagen mit >500 m² Kollektorfläche sehr gefragt. Auch international wächst die Anzahl an von österreichischen Unternehmen (insbesondere auch von S.O.L.I.D.) installierten Anlagen, wie nicht zuletzt das innovative solarthermische Kühlprojekt Desert Mountain High School (DMHS) in Arizona, USA, mit 4.865 m² Kollektorfläche und einem 4.250 kW Kühlturm zeigt.

Große, solarthermische Anlagen besitzen ein enormes Potenzial zur Einsparung von fossilen Energieträgern und somit zur Reduktion der CO₂-Emissionen. Untermauert wird dies durch Ausführungen der österreichischen Energiestrategie (BMWFJ und BMLUFW, 2010) als auch in der Technologie- und Umsetzungsroadmap „Solarwärme 2025“ (Fink & Preiss, 2014).

Auch der volkswirtschaftliche Nutzen der Solarthermie ist hoch. Mit jährlichen Exportraten von über 80%, und, da rund 35% der jährlich in Europa installierten Kollektorfläche aus österreichischer Produktion stammen, ist die Solarthermie bereits jetzt ein Stärkefeld der lokalen Industrielandschaft.

Angesichts des riesigen Marktpotenzials und der führenden Position österreichischer Unternehmen in dieser Branche ist es fortlaufend zentral das technologische Wissen auszubauen und sich mit führenden Experten/innen eng zu vernetzen. Bei großen, solarthermischen Anlagen ist der Konkurrenzkampf mit konventionellen Energieträgern im Hinblick auf die erreichbaren Wärmegestehungskosten enorm. Die Internationale Energieagentur bietet Programme wie den Task 45 an um gewonnene, neue Forschungs- und Entwicklungserkenntnisse international zu verbreiten.

Durch regen Austausch des Know-hows und Standardisierungsarbeiten im Projekt Task 45 über 4 Jahre wurde eine gemeinsame, vernetzte Basis über solartechnologische Entwicklungen erarbeitet. In mehreren, internationalen Workshops präsentierten und diskutierten Vertreter/innen aus Wirtschaft und Wissenschaft die Kombination hoher solarer Deckungsgrade in Verbindung mit saisonalen Speichern, den kombinierten Einsatz von solarthermischen Großanlagen und Wärmepumpen, Herausforderungen des Hydraulikdesigns im primären Solarkreislauf und standardisierte Sicherheitseinrichtungen bei Anlagenstagnation. Im Zuge des Projektes konnte u.a. ein Tool zur einfachen Machbarkeitsabschätzung solarthermischer Großanlagen (technisch, wirtschaftlich) online allen Partnern und einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Dies erleichtert und vergünstigt nun die Arbeit an solarthermischen Großprojekten auf globaler Ebene. Zusätzlich ist es für Investoren leichter geworden Benchmarks zu identifizieren. Eine breit angelegte Studie zu Großsolaranlagen weltweit zeigt, welche Leistung bei welchen Dimensionen zu erwarten ist. Dies senkt das Risiko für Investitionen und half bei der Erfassung zusätzlicher

Finanzierungsmodelle. Neben der Finanzierung spielen die Projektentwicklung, Inbetriebnahme und Betriebsführung eine wichtige Rolle. Österreichische Unternehmen können sich nun dank fundierter, entwickelter Nachschlagewerke in diesen kritischen Feldern besser positionieren und sind für den wachsenden, globalen Wettbewerb gerüstet. In Folgeprojekten des Tasks 45 arbeiten nun österreichische Forschungseinrichtungen und Unternehmen bereits an der spezifischen Weiterentwicklung der Inhalte. Jeder Baustein trägt zur Erweiterung der Wettbewerbsfähigkeit und zur Weiterentwicklung der Solarthermie am Standort Österreich entscheidend bei. Die positiven Erfahrungen aus dem Task 45 im Hinblick auf Vernetzung und Ergebnisse führten zu einem Folgeprojekt (Task 55) unter österreichischer Leitung.

Neben den beiden beteiligten Institutionen S.O.L.I.D. und AEE INTEC sind die Ergebnisse für die österreichische Solarthermiebranche, Planer, Projektentwickler, Anlagenbauunternehmen und regionale Energieversorger interessant. Die Erkenntnisse stehen Interessierten nach Abschluss aller Arbeiten auf der Website des Tasks 45 (<http://task45.iea-shc.org>) zur Verfügung. Diese unterrichtet die Zielgruppen rasch über den Status Quo im Bereich solarthermischer Großanlagen regional und auf internationaler Ebene.

4. Projektinhalt und Ergebnisse

Übergeordnete Ziele der österreichischen Beteiligung am Forschungsprojekt (Task 45) der Internationalen Energieagentur (IEA) im Programm SHC (Solar Heating and Cooling Programme) waren ein intensiver Know-how Austausch mit internationalen Experten/innen zu solarthermischen Großanlagen, die Beseitigung von technischen und wirtschaftlichen Barrieren der Implementierung großflächiger Anlagen sowie der Transfer gewonnener neuer Erkenntnisse an die österreichische Solarindustrie.

Das internationale Projekt bestand aus drei Arbeitsgruppen (Subtasks A, B und C). Die österreichische Delegation war federführend in der Arbeitsgruppe C aktiv und arbeitete eng mit dem Projektteam A zusammen. Eine Liste aller teilnehmenden Länder und Partner ist im Anhang zu finden.

Operative Ziele des Forschungsprojektes waren das punktuell vorhandene Know-how zu technischen und marktwirtschaftlichen Rahmenbedingungen solarthermischer Großanlagen auszutauschen, zu erweitern, für die interessierte Öffentlichkeit aufzubereiten und einer breiten Experten/innengruppe, Unternehmen sowie internationalen Entscheidungsträgern/innen zur Verfügung zu stellen. Das internationale Forschungsteam erarbeite Maßnahmen und Richtlinien um neue Projekte zu solarthermischen Großanlagen in Wärme/Kältenetze am Markt zu etablieren. Die zwei österreichischen Institutionen S.O.L.I.D. und AEE INTEC waren in zahlreichen Projektarbeiten aktiv um Ergebnisse für den Österreichischen Markt zu gewinnen. Schwerpunkte der österreichischen Arbeiten lagen im Bereich von Standardisierungen, Modellierungen, Kostensenkungen, Datenerhebungen und der Aufbereitung bzw. dem Transfer von Ergebnissen an nationale Akteure.

Ergebnisse laufender und bereits abgeschlossener Projekte bildeten eine Basis für die Arbeiten von S.O.L.I.D. und AEE INTEC (S.O.L.I.D.: IEA SHC TASKS 33, 38, 25, 26, 49, Polysmart, ST-ESCOs sowie zahlreiche installierte Anlagen; AEE INTEC: IEA TASKS 26, 33, 38, 44 sowie einschlägige Forschungsprojekte wie „Begleitforschung zum Förderprogramm Solare Großanlagen, PARASOL, SolarDrain, SolarCoolingOpt, SolarCoolingMonitor, etc.).

Folgende Inhalte wurden im Rahmen der österreichischen Beteiligung untersucht und ausgearbeitet:

- [1] Überblick zu solarthermischen Großanlagen weltweit; Erstellung einer umfangreichen Datenbank zu bisher installierten solarthermischen Großanlagen
- [2] Entwicklung von Standardhydraulikkonzepten
- [3] Richtlinien zum Design effizienter Hydraulikkreisläufe (insbesondere Kollektorfelder) im primären Solarkreis
- [4] Richtlinien zur Sicherheitstechnik in primären Solarkreisläufen

- [5] Richtlinien zu Leistungsgarantien solarthermischer Großanlagen
- [6] Richtlinie zu standardisierten Monitoring- und Qualitätssicherungskonzepten in unterschiedlichen Detaillierungsstufen
- [7] Überblick zu Konzepten saisonaler Speicher und Rahmenbedingungen
- [8] Finanzierungsmodelle für Drittmittelprojekte und Ausarbeitung von Fallstudien
- [9] Planungshandbuch zu solarthermischen Großanlagen
- [10] Integration österreichischer Projektpartner in das internationale Netzwerk der IEA SHC
- [11] Transfer der Projektergebnisse an die österreichische Solarthermiebranche

Die Ergebnisse zu den einzelnen Inhalten werden in den anschließenden Kapiteln im Detail vorgestellt. Die umfangreichen Analysen und Berichte sind den beigefügten Dokumenten zu entnehmen.

4.1 Solarthermische Großanlagen weltweit: Datenbank

S.O.L.I.D hat eine Vorlage zur Systemkategorisierung von großen Solaranlagen, Wärmepumpen und Netzeinspeisungen erstellt und verbreitet. Ziel war es, weltweit möglichst viele Solarthermieanlagen mit einer Kollektorfläche grösser als 500m² (350 kW) zu erfassen. Aufbauend auf die Datensammlung aus dem europäischen Forschungsprojekt SDH Take Off wurde eine Matrix zur Klassifizierung verschiedener Systemtypen erstellt. Eine umfangreiche, weltweite Recherche zu Anlagen wurde durchgeführt und rasch große Unterschiede bei der Datenverfügbarkeit von Anlagen und dem internationalen Kooperationswillen je nach Land festgestellt.

Durch die Initiative konnten von S.O.L.I.D. zahlreiche Kontakte nach China hergestellt werden. Chinesische Unternehmen und Forschungseinrichtungen waren sehr kooperativ und gaben überdurchschnittlich viel Information zu ihren Installationen frei. Dies hatte zur Folge, dass beim 3. Expert Meeting im Mai 2012 in Dänemark 10 asiatische Delegierte teilnahmen um ihre Technologien und den chinesischen Solarthermiemarkt vorzustellen. Es konnte auf detaillierte technische Daten zugegriffen werden um Unterschiede zu europäischen Anlagen zu identifizieren. Die Daten aller Anlagen wurden im Rahmen der Studie erfasst und mit weltweit erhobenen Anlagendaten verglichen. Auch australische Unternehmen konnten im Zuge der Recherchen gefunden werden, die bereitwillig Input gaben.

Das von S.O.L.I.D. erstellte, recherchierte und regelmäßig aktualisierte „System categorisation sheet“ beinhaltet 309 Großsolaranlagen, welche detailliert durch Anlagenparameter und wirtschaftliche Daten beschrieben sind. Dieses Dokument ist lebend und wird laufend

aktualisiert. Es wurde des Weiteren Interesse geäußert den Sheet in einem Folgeprojekt (IEA Task) weiterzupflegen.

Die Großsolaranlagen wurden in 6 Kategorien eingeteilt: General Heating, General Cooling, Process Heating, Process Cooling, Water Heating und Swimming Pool Heating. Ausgewählte statistische Graphiken zeigen Trends und Art verwendeter Technologien. Die erste Abbildung hier zeigt, wie viele Großanlagen in welchem Zeitraum der letzten 25 Jahre gebaut wurden:

Worldwide Installed Solar Thermal Plants from 1985 - 2014

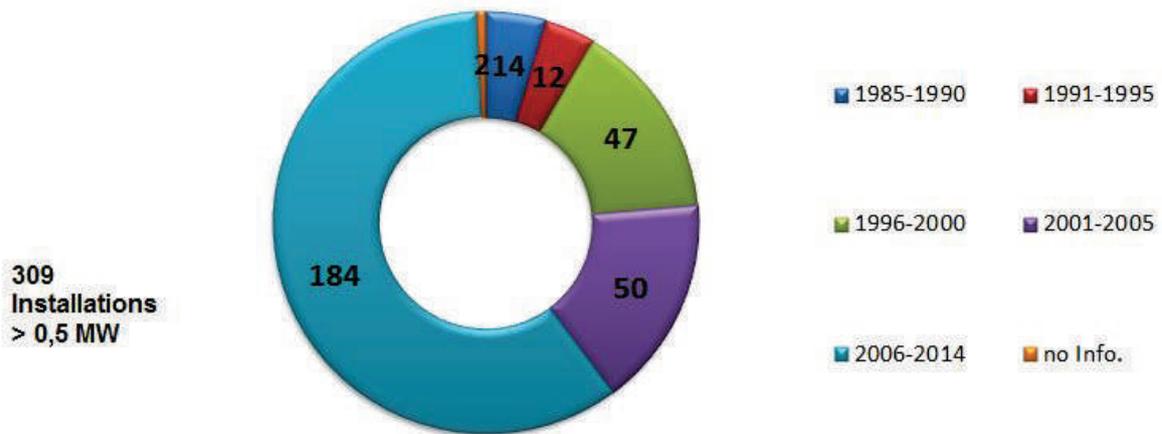


Abbildung 1 Auswertung - Errichtungszeitraum solarthermischer Großanlagen

Die Ergebnisse zeigen, dass die Anzahl der neu errichteten Solaranlagen im Verlauf der Jahre stark zugenommen hat. Großsolaranlagen scheinen zunehmend attraktiv zu werden:

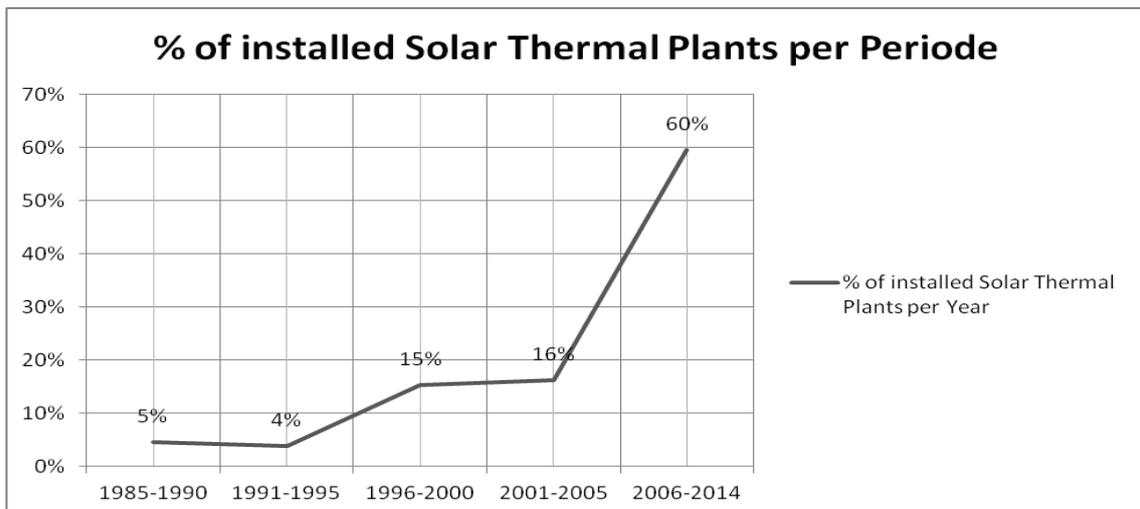


Abbildung 2 Trend neuer Großsolaranlagen

Ein weiteres zentrales Ergebnis ist die Anzahl der errichteten Anlagen je Land. Dänemark führt mit überdurchschnittlich großen Fernwärmeeinspeisungen das Feld an, gefolgt von China, Deutschland und Österreich. Auch Griechenland, Spanien und Schweden weisen eine beachtliche Anzahl an Installationen auf. Bemerkenswert sind die geringen Marktaktivitäten in den USA, vor allem im Vergleich zu Europa und China:

Installed Solar Thermal Plants Worldwide per Continent

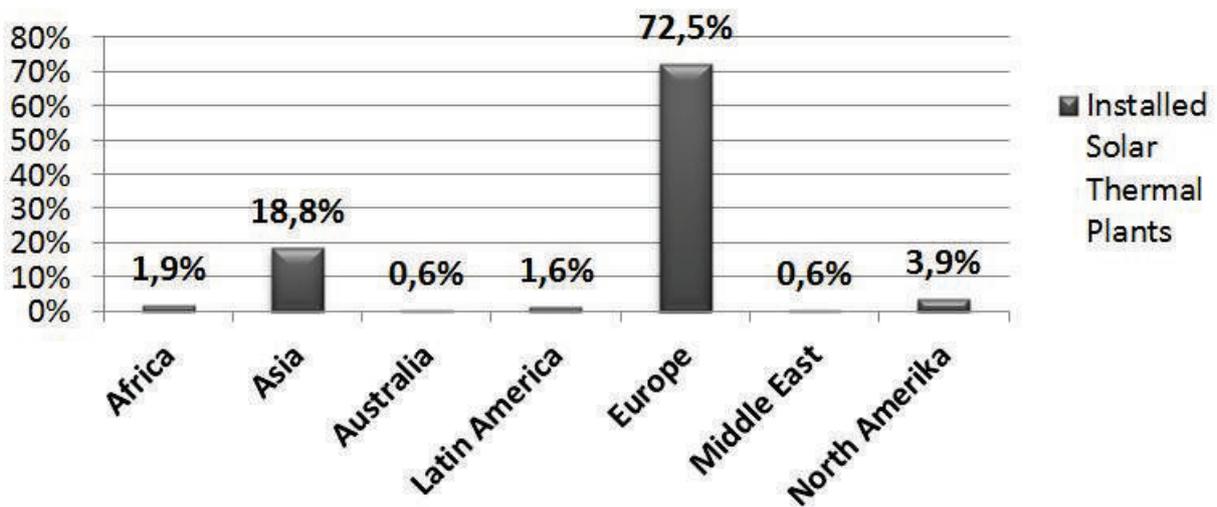


Abbildung 3 Auswertung - Installationen pro Kontinent

Die Art der verbauten Kollektortechnologie pro Kontinent ist sehr unterschiedlich. Europa ist klar von Flachkollektortechnologien geprägt, asiatische Länder greifen auf sehr unterschiedliche Kollektortypen zurück. Allein Afrika und Australien stützen sich vorwiegend auf Röhrentechnologien. Konzentrierende Systeme sind nur minimal vertreten.

Insgesamt sind weltweit 139.176 m² Hochtemperatur-Flachkollektoren identifiziert worden. Die große Mehrheit der Anlagen mit 618.436 m² haben einfache Flachkollektoren verbaut. Röhrenkollektoren wurden zu 89.154 m² verbaut. Europa weist die größten Flächen solarthermischer Anlagen auf. Der asiatische Markt holt jedoch auf und ist von starkem Wachstum geprägt. Die Vorreiterrolle Europas wird allerdings nur schwer zu kippen sein, da der Trend in Europa auch eindeutig hin zum Bau von Großanlagen geht.

Folgende Abbildung zeigt die Verteilung der weltweiten Kollektorfläche je Land:

Total installed Area m²

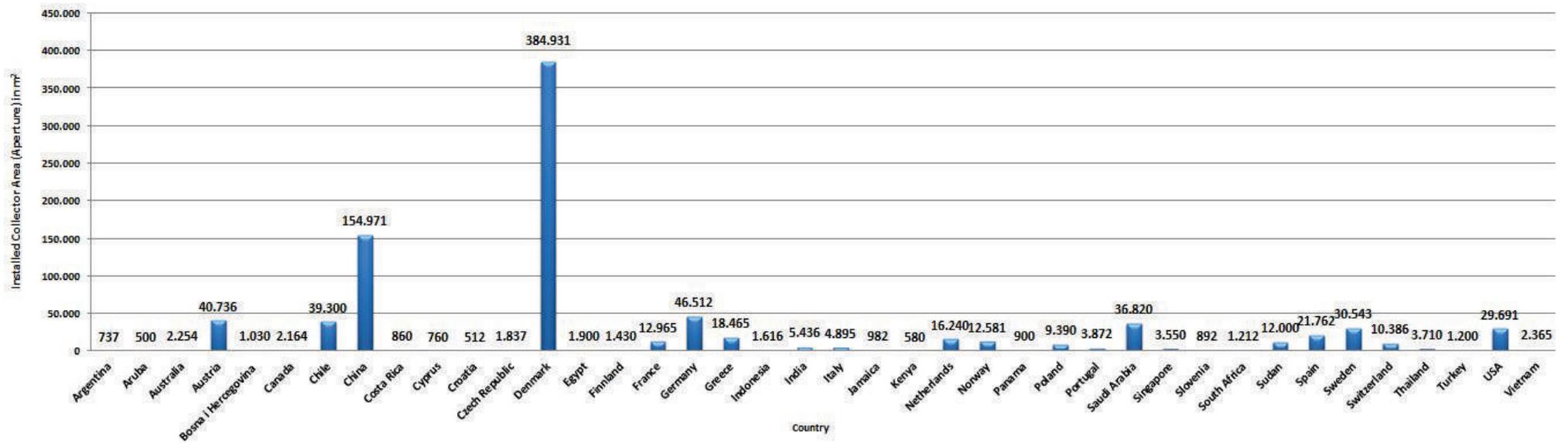


Abbildung 4 Kollektorfläche pro Land

Folgende Abbildung zeigt den Trend installierter solarthermischer Großanlagen am Chinesischen und Europäischen Markt:

Installed Solar Thermal Plants and m² Collector Area in China and Europe from 1985 - 2014

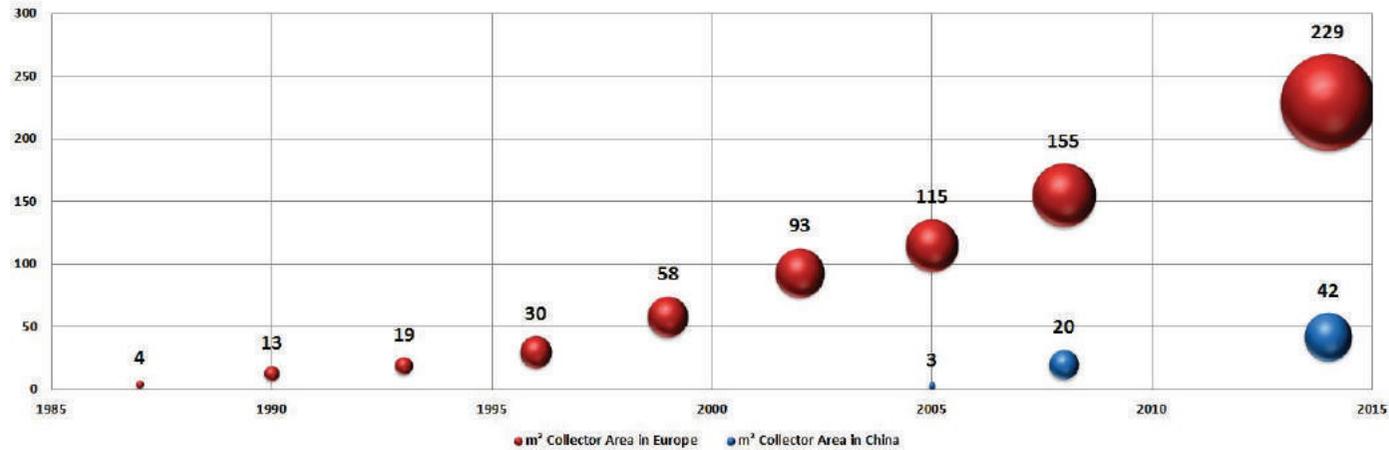


Abbildung 5 Trend in China und Europa – Anlagen und Kollektorfläche

Abbildung 6 zeigt die Anzahl der errichteten solarthermischen Großanlagen in Europa und China in den Jahren 1985 bis 2015. Die Größe der Kreise gibt an, wieviele Quadratmeter Kollektorfläche zum Zeitpunkt der Erhebung installiert waren. Die Analyse zeigt, dass Europa bis zum Jahr 2015 mehr installierte Anlagen vorweisen kann. China verdoppelt oder vervielfacht jedoch die Anzahl der installierten Anlagen jährlich.

Folgende Grafik verdeutlicht diesen Trend anhand der installierten Kollektorfläche in China und Europa nochmals:

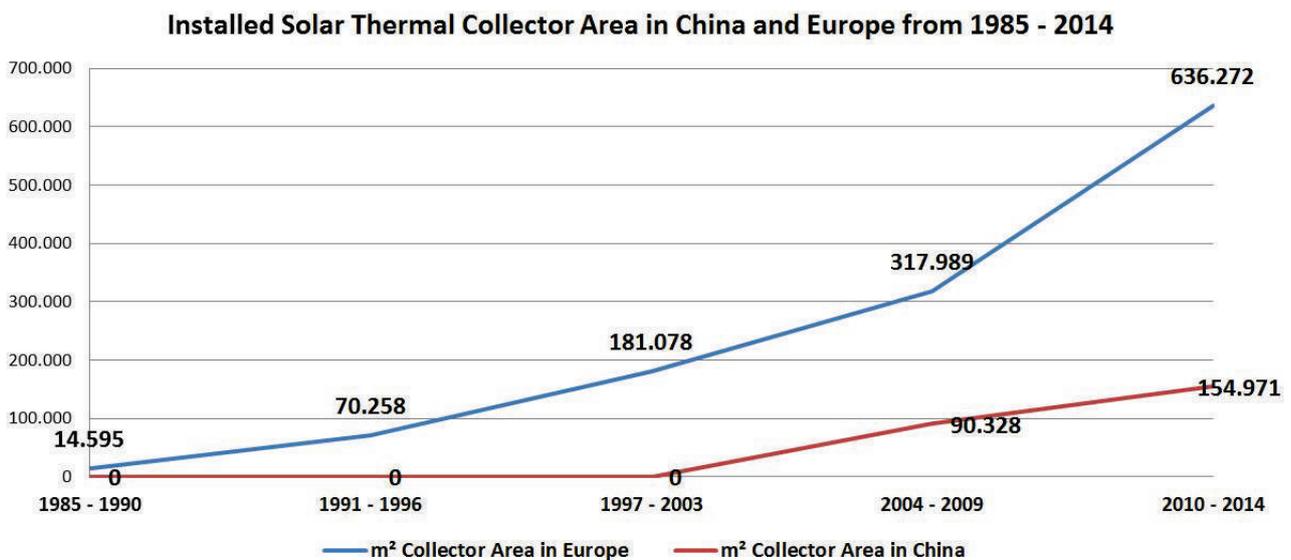


Abbildung 6 Trend in China und Europa – Anlagen und Kollektorfläche

Die Dynamik am Chinesischen Markt ist beachtlich. Bis 2004 gab es kaum bis keine Großanlagen zu finden. Seit 2004 steigt die Anzahl der Installationen stark an. Die europäische Entwicklung ist seit 2008 allerdings noch dynamischer, wofür vor allem die dänischen Anlagen verantwortlich sind.

Es war von großem Interesse festzustellen, welchem Zweck die installierten Anlagen vornehmlich dienen. Folgende Grafik veranschaulicht, wofür solarthermische Großanlagen weltweit am häufigsten und am seltensten eingesetzt werden:

Technology Segmentation 2014

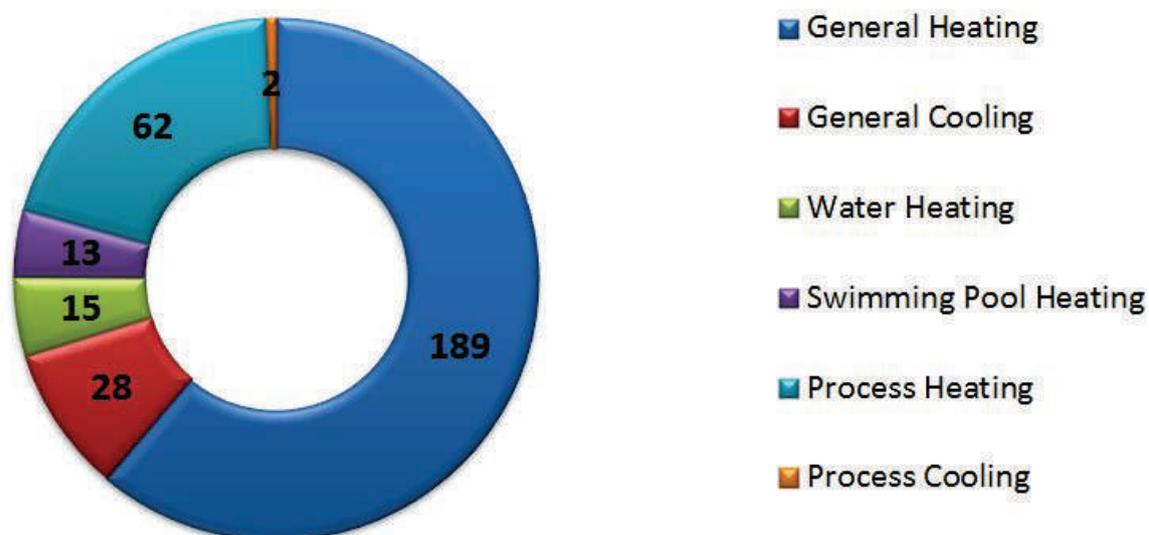


Abbildung 7 Anzahl der Solaranlagen nach Einsatz der Technologie

Diese Ergebnisse stießen auf sehr großes Interesse unter allen Projektpartnern. Die Teilnehmer zogen für sich Schlussfolgerungen aus dem weltweiten Technologieeinsatz, aus dem Trend im Bereich der Kollektortypen oder welche Märkte zukünftig das größte Potential aufweisen.

Es wurde beschlossen die Studie auch nach dem Ende des Projektes weiterzuverfolgen und die Arbeiten in einem neuen Projekt fortzuführen. Es handelt sich um eine weltweit einzigartige Zusammenstellung von Daten im Bereich der solarthermischen Großanlagen. Weitere Informationen und die vollständige Datenbank sind hier erhältlich:

<http://task45.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA-SHC-T45.C.1-TECH-Categorization-of-large-systems.pdf>

4.2 Standardhydraulikkonzepte

AEE INTEC erarbeitete komplexe technische Lösungen zu Hydraulischen Konzepten, Kreisläufen und anschließenden Richtlinien zur Sicherheitstechnik. Große Solaranlagen besitzen ein enormes globales Potential, stellen Nutzer jedoch auch vor technische Besonderheiten und Herausforderungen.

4.2.1 Hydraulische Ebenen solarthermischer Anlagen

In solarthermischen Anlagen werden im Allgemeinen einzelne Kollektoren zu Kollektorreihen und in weiterer Folge zu Kollektorgruppen und Kollektorfeldern verschaltet. Für die Beschreibung bzw. für das Verständnis der hydraulischen Vorgänge in einem Kollektor bzw.

Kollektorfeld ist es hilfreich, eine solarthermische Anlage in mehrere, in sich greifende hydraulische Ebenen zu unterteilen. Bei jedem Übergang von einer Ebene zur nächst höheren kommt es üblicherweise zu einer Veränderung der Rohrdimensionen, Querschnitte und Längen. Die Abmessungen (Durchmesser, Länge) der einzelnen Rohre zueinander beeinflussen bzw. bestimmen entscheidend die Strömungsverteilung der jeweiligen hydraulischen Ebenen. Diese wiederum wirken sich auf das Strömungsverhalten der übergeordneten Ebenen aus. Bereits geringe Abweichung der hydraulischen Rahmenbedingungen einzelner Ebenen können so zu Veränderungen in der Strömungsverteilung des gesamten Kollektorfeldes führen. Eine genau Kenntnis der Auswirkungen unterschiedlicher Abmessungen einzelner Ebenen bzw. mehrerer Ebenen zueinander ist daher von entscheidender Bedeutung für das hydraulische Verständnis in einem Kollektor als auch im gesamten Kollektorfeld.

Abbildung 8 stellt die einzelnen hydraulischen Ebenen eines beispielhaften Kollektorfeldes dar. Die Verbindungen der einzelnen hydraulischen Ebenen sind durch schwarze Kreise hervorgehoben. Als unterste hydraulische Ebene kann der Absorber bzw. die Absorberrohre eines Einzelkollektors betrachtet werden. Diese Absorberrohre sind im Kollektor mit den Absorbersammelrohren verbunden. Die Absorbersammelrohre stellen die zweite hydraulische Ebene dar. Diese sind mit den außenliegenden Sammelrohren der Kollektorreihe verschaltet. Als letzte bzw. vorletzte Ebene können die Sammelrohre der Kollektorguppen bzw. die Sammelrohre des gesamten Kollektorfeldes angesehen werden.

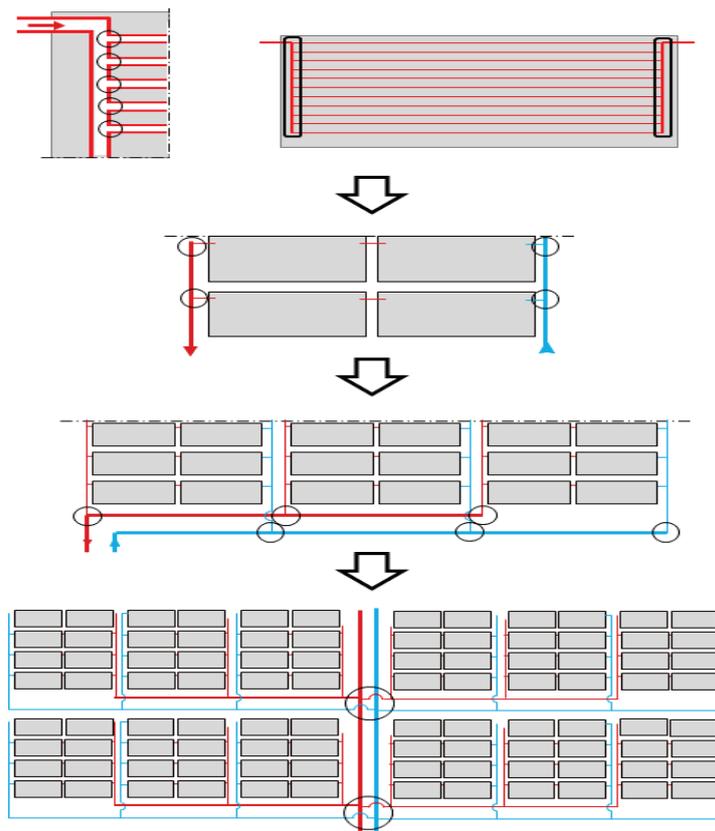


Abbildung 8 Hydraulische Ebenen eines beispielhaften Kollektorfeldes sowie die Verbindung der Ebenen zueinander (AEE INTEC)

4.2.2 Konzepte für eine gleichmäßige Strömungsverteilung

Ein Hauptziel bei der Auslegung von solarthermischen Großanlagen ist es, die Hydraulik des Kollektorfeldes so zu gestalten, dass einerseits kostengünstige Verschaltungen mit geringen Rohrlängen und andererseits möglichst gleichmäßige Strömungsverteilungen einzelner Anlagenteile erreicht werden.

Neben mehreren Methoden der aktiven hydraulischen Einregulierung besteht immer die Möglichkeit, die auftretende Ungleichheit im Massenstrom zu tolerieren und keine weiterführenden Maßnahmen anzuwenden. Eine aktive Maßnahme zur Erreichung einer möglichst gleichmäßigen Strömungsverteilung im Kollektorfeld besteht in der unterschiedlichen Ausführung der Querschnitte in den Zuleitungen der einzelnen Kollektorreihen. Dies kann über eine Verringerung der Rohrquerschnitte bei weiterentfernten Zuleitungspunkten erfolgen. Eine weitere Möglichkeit besteht in dem Einbau von mechanischen Regelventilen. Regelventile sind äußerst effektiv, dabei aber relativ kostenintensiv und stellen zudem weitere mögliche Fehlerquellen im Kollektorfeld bzw. System dar.

Wie bereits angeführt kann über eine Kollektorfeldverschaltung nach Tichelmann die Durchströmung im Kollektorfeld angepasst werden. In Kombination mit der Verringerung der Zuleitungsquerschnitte kann so prinzipiell eine gleichmäßigere Durchströmung erreicht werden. Nachteile der Tichelmannverschaltung sind der erhöhte und damit kostenintensivere Verrohrungsaufwand im Kollektorfeld.

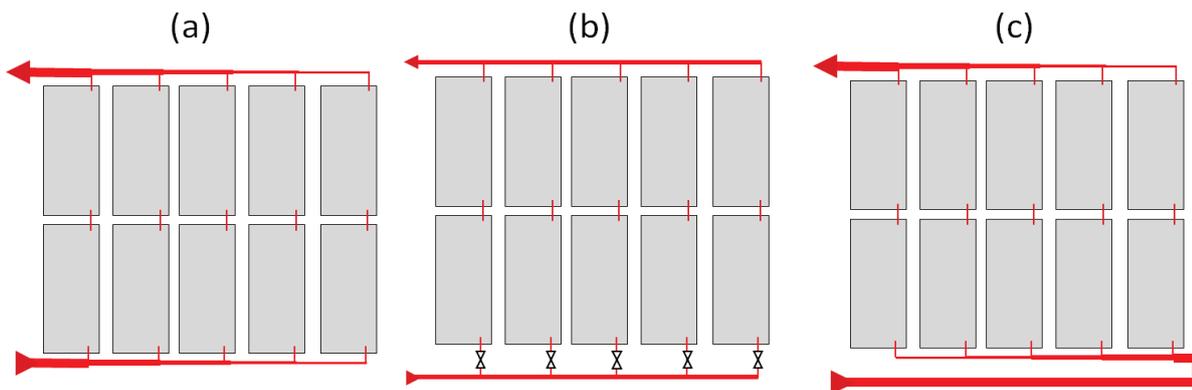


Abbildung 9 Methoden zur Erreichung einer gleichmäßigen Strömungsverteilung. (a) Anpassung der Zuleitungsquerschnitte. (b) Einbau mechanischer Regelventile. (c) Tichelmannverschaltung in Kombination mit der Anpassung der Zuleitungsquerschnitte (AEE INTEC)

Ziel des folgenden Vergleiches ist es, beispielhaft eine technische Bewertung unterschiedlicher Kollektorfeldhydraulikdesigns darzustellen. Nach eingängiger Untersuchung stand jedoch fest, dass Präferenzen oder Empfehlungen hinsichtlich eines speziellen Kollektortyps oder Kollektorfelddesigns nicht abgegeben werden soll. Folgende Abbildung zeigt jedoch zwei Referenz-Kollektorfelder mit je 4800 m² Kollektorfläche. Ein Referenz-Kollektorfeld verwendet Harfenabsorber (16 Harfen Kollektoren in Reihe; 20 solcher Reihen werden parallel miteinander verschaltet), im zweiten kommen Mäander-Kollektoren (zwei Gruppen werden in Serie geschaltet und bilden eine Reihe; jede Gruppe besteht aus 16 parallel miteinander verbundenen Kollektoren) zum Einsatz.

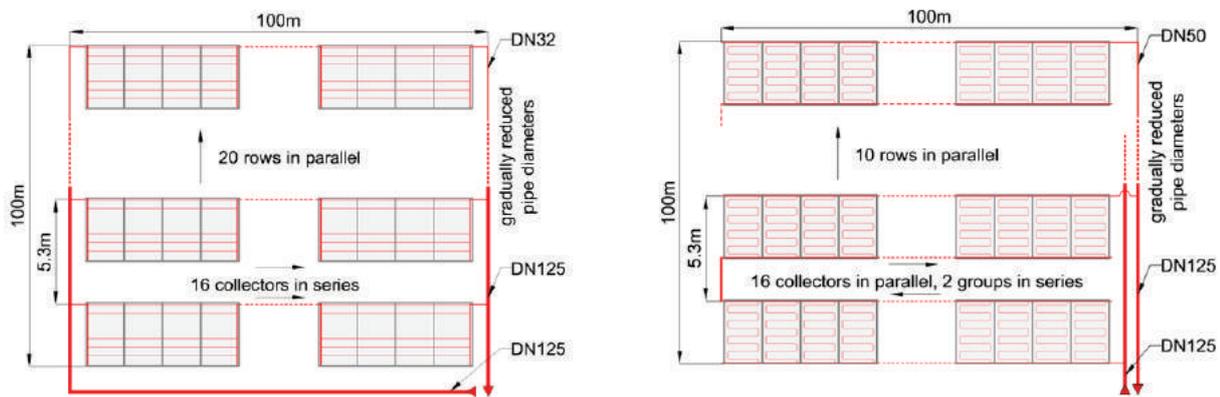


Abbildung 10 Verschaltung der beiden Referenz-Kollektorfelder mit je 4800 m² Brutto-Kollektorfläche. Das linke Kollektorfeld verwendet Harfenkollektoren, das rechte Mäanderkollektoren (Philip Ohnewein, 2013)

Tabelle 1: Allgemeine Simulationsergebnisse und Ergebnisse der charakteristischen Kennzahlen für die beiden Referenz-Kollektorfelder aus Abb. 3 (Philip Ohnewein, 2013)

Allgemeine Simulationsergebnisse	Harfen-Kollektorfeld	Mäander-Kollektorfeld
Kollektorfläche: Brutto, Apertur	4800 m ² _{gr} , 4492 m ² _{ap}	4800 m ² _{gr} , 4492 m ² _{ap}
Thermische Leistung: absolut,	2769 kW, 577 W/m ² _{gr}	2763 kW, 576 W/m ² _{gr}
Vorlauftemperatur	86.3°C	86.2°C
Absorber-Temperatur (Vorlauf): max, min	89.6°C, 84.2°C	89.0°C, 82.8°C
Kennzahlen	Harfen-Kollektorfeld	Mäander-Kollektorfeld
Stagnationsdistanz: min, Mittelwert, min/Mittelwert.	41.0 K, 44.4 K, 92.3%	41.5 K, 44.4 K, 93.6%
Maximale Strömungsgeschwindigkeit	1.69 m/s	1.71 m/s
Absorber-Reynoldszahl: min, max	3451, 8812	2839, 7169
spezifische Metallmasse der Kollektorfeldverrohrung	0.84 kg _{Stahl} /m ² _{br}	0.50 kg _{Stahl} /m ² _{br}
Trassenlänge der Kollektorfeldverrohrung	~6.3 cm/m ² _{br}	~2.1 cm/m ² _{br}
spezifische Kupfermasse im Solarkollektor	1.28 kg _{Cu} /m ² _{br}	1.96 kg _{Cu} /m ² _{br}
Wärmekapazität des Kollektorfelds	11.3 kJ/m ² _{br} -K	9.6 kJ/m ² _{br} -K
Verhältnis von hydraulischer zu thermischer Leistung	1.37 W _{hyd} /kW _{th}	1.27 W _{hyd} /kW _{th}
Gesamtdruckverlust	1.94 bar	1.78 bar
Wirkungsgradeinbuße aufgrund ungleicher Strömungsverteilung	0.03%	0.04%
Gesamtes Entleerungsverhalten	schlecht	gut

Obige Tabelle stellt einen Überblick der ermittelten Kennzahlen beider eingangs angeführter Kollektorfelder dar (Philip Ohnewein, 2013).

Die Ermittlung der Strömungsverteilung zeigt, dass diese sowohl für das Harfen- als auch des Mäander-Kollektorfeldes als zufriedenstellend bezeichnet werden kann (Absorber-Temperatur (Vorlauf): max, min). Resultierend ergeben sich gute Werte für die Stagnationsdistanz (min, Mittelwert, min/Mittelwert) und einem dementsprechend geringes Risiko von partieller Stagnation. Eine kaum auftretende Verminderung der Gesamteffizienz durch eine ungleichmäßige Strömungsverteilung (0,03% für das Harfen-Kollektorfeld, 0,04% für das Mäander-Kollektorfeld) kann als weiterer Beweis für das niedrige Risiko einer partiellen Stagnation angesehen werden.

Obwohl die Gesamtkollektorfläche als auch der spezifische Massendurchfluss beider Kollektorfelder ident sind, weichen die Absorber Reynoldszahlen (\min , \max) erheblich voneinander ab. Die Differenz ist die Hauptursache für die etwas höhere thermische Leistung, die höhere Vorlauftemperatur und den allgemein etwas höheren thermischen Wirkungsgrad des Harfen-Kollektorfeldes im Vergleich zum Mäander-Kollektorfeld.

Die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in den Kollektorfeldern werden nicht in den Absorberrohren sondern in den Verbindungsstücken erreicht und liegen trotz der relativ hohen Werte (1.69 m/s für das Harfen-Kollektorfeld, 1.71 m/s für das Mäander-Kollektorfeld) in einem akzeptablen Bereich. Der Gesamtdruckverlust beider Kollektorfelder stellt kein sicherheitsrelevantes Problem dar. In Zusammenhang mit dem „Verhältnis von hydraulischer zu thermischer Leistung“ zeigt sich jedoch, dass das Harfenkollektorfeld mehr Strom bei gleicher thermischer Leistung benötigt. Während das Harfenkollektorfeld 1.37 W_{hyd} zum Erhalt von 1 kW_{th} benötigt sinkt der benötigte Pumpstrom auf 1.27 W_{hyd}/kW_{th} beim Harfen-Kollektorfeld, sprich eine Reduzierung um 7%.

Aufgrund der unterschiedlichen internen Rohrdurchmesser ist die spezifische Kupfermasse beim Mäander-Kollektor (2,10 kg_{Cu}/m^2_{br}) deutlich höher als beim Harfen-Kollektor (1,37 kg_{Cu}/m^2_{br}). Jedoch können aufgrund der Bauform beim Mäander-Kollektorfeld kürzere Trassenrohrängen erreicht werden. Die „spezifische Metallmasse der Kollektorfeldverrohrung“ des Hafen-Kollektorfeldes liegt mit 0,53 kg_{Stahl}/m^2_{br} deutlich unter denen es Mäander-Kollektorfeldes (0,89 kg_{Stahl}/m^2_{br}).

Abschließend erlaubt eine Betrachtung der Wärmekapazitäten der Referenzkollektorfelder, dass diese für beide Harfe- und Mäander, sowohl mit Einbeziehung der gesamten Kollektorfeldverrohrung (Harfen-Kollektorfeld: 119 kJ/K; Mäander-Kollektorfeld: 128 kJ/K) und als auch ohne Einbeziehung der gesamten Kollektorfeldverrohrung (Harfen-Kollektorfeld: 12.1 kJ/m^2_{ap} ; Mäander-Kollektorfeld: 10.2 kJ/m^2_{ap}) hoch zu bewerten sind (Philip Ohnewein, 2013).

4.3 Richtlinien zum Design effizienter Hydraulikkreisläufe

Wie bereits im vorigen Abschnitt beschrieben sind Hydraulikkreisläufe für den Volumenstrom und die technischen Widerstände innerhalb großer Solaranlagen zentral. Von AEE INTEC erarbeitete Kennzahlen bieten hier Orientierung bei der Auslegung der technischen Komponenten.

Kennzahlen zur Beurteilung von großen Kollektorfeldhydrauliken

Eine der wichtigsten Aufgaben bei der Planung von solarthermischen Großanlagen ist die hydraulische Auslegung des Kollektorfeldes. Anlagenspezifische Kennzahlen helfen eine einfache und unkomplizierte technische Charakterisierung, Bewertung und einen Vergleich

verschiedener Hydraulikdesigns vorzunehmen. Einzelne Kennzahlen erlauben zudem eine wirtschaftliche Betrachtung solarthermischer Wärmekosten. (Philip Ohnewein, 2013)

Die folgenden 11 charakteristischen Kennzahlen geben einen schnellen Überblick über die wichtigsten technischen Phänomene und ermöglichen einen direkten Vergleich unterschiedlicher Hydraulikkonzepte. Alle vorgestellten Kennzahlen können noch während der Planungsphase in einer theoretischen Analyse ermittelt werden und erlauben dadurch eine detailliertere Umsetzung des Kollektorfelddesigns. (Philip Ohnewein, 2013)

Stagnationsdistanz: [K]

Die „minimale Stagnationsdistanz“ ist definiert als die Temperaturdifferenz zwischen der lokalen Siedetemperatur und der heißesten Absorber-Vorlauftemperatur des gesamten Kollektorfelds. Im Gegensatz dazu bezieht sich die „durchschnittliche Stagnationsdistanz“ auf die durchschnittliche Vorlauftemperatur des gesamten Kollektorfeldes. Der Vergleich zwischen der „minimalen“ und der „durchschnittlichen Stagnationsdistanz“ stellt eine einfache Möglichkeit dar, das Risiko des Auftretens einer partiellen Stagnation an einer bestimmten Position des Kollektorfeldes zu bewerten.

Maximale Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

Die hier beschriebene Kennzahl ist definiert als die maximale Strömungsgeschwindigkeit im gesamten Kollektorfeld (alle Verbindungsrohre, Absorberrohre, Sammelrohre), unabhängig von dem verwendeten Rohrwerkstoff.

Absorber Reynolds-Zahl [#]

Trotz gleicher Kollektorfeldhydraulik variiert die Absorberrohr-Reynolds-Zahl aufgrund unterschiedlicher Temperaturniveaus, Wärmeübertragemedien, Kollektortypen/-designs und dem gewählten Kollektorreihen-Layout (hydraulische Länge). Eine höhere Absorberrohr-Reynolds-Zahl bedeutet eine verbesserte Wärmeübertragung im Absorber und infolgedessen eine Steigerung des thermischen Wirkungsgrads. Bedingt durch die variierenden Strömungsbedingungen in einem Kollektorfeld wird für diese Kennzahl die minimale und maximale Absorberrohr-Reynolds-Zahl angegeben.

Spezifische Metallmasse der Kollektorfeldverrohrung [kg_{steel}/m^2_{gr}]

Je nach Kollektorfelddesigns ergeben sich unterschiedliche Rohrleitungsabmessungen, sowohl in Bezug auf Rohrlänge als auch Rohrdurchmesser. Diese Kennzahl wird über die gesamte Metallmasse der Kollektorfeldverrohrung (außerhalb der Kollektoren) in Bezug auf die Gesamtbruttofläche aller Absorber definiert. Als Rohrmaterial wird Stahl angenommen, da dieses in der Regel bei solarthermischen Großanlagen verwendet wird. Eine Minimierung des

Verrohrungsaufwands stellt eine Möglichkeit dar, die Investitionskosten solarthermischer Anlagen zu reduzieren.

Trassenlänge der Kollektorfeldverrohrung [cm / m²_{gr}]

Die Gesamtlänge der Kollektorfeldverrohrung ist ein weiteres Maß für den Materialaufwand eines Kollektorfeldes. Für die Definition dieser Kennzahl wird die gesamte Trassenlänge in Bezug auf die Gesamtbruttofläche des Kollektorfeldes gesetzt. Diese Kennzahl gibt nicht Auskunft über die gesamte Rohrleitungslänge, sondern sie stellt den erforderlichen Aufwand welcher notwendig ist, um die Verrohrung des gesamten Kollektorfeldes zu erreichen, dar.

Spezifische Kupfermasse im Solarkollektor [kgCu / m²_{br}]

Diese Kennzahl stellt das Gewicht aller Kupferrohre im Kollektor, bezogen auf die Bruttokollektorfläche dar. Da Kupfer üblicherweise als Absorber-Rohrleitungsmaterial verwendet wird und es verhältnismäßig teuer ist wurde dieses zur Definition der Kennzahl herangezogen. Die Absorberplatte, oft aus Aluminium, wird nicht berücksichtigt.

Wärmekapazität des Kollektorfeldes [kJ/m²_{br}K]

Kapazitive Energieverluste treten in einer Solaranlage aufgrund der Gesamtwärmekapazität des Kollektorfeldes auf. Mit anderen Worten ist die absolute Wärmekapazität aller Kollektoren des Kollektorfeldes, der Rohrleitungen und der Wärmeübertragungsflüssigkeit charakteristisch für die Anlaufverluste eines Kollektorfeldes. Die Kennzahl wird auf die Gesamtbruttofläche des Kollektorfeldes bezogen.

Gesamtdruckverlust des Kollektorfeldes [bar]

Diese Kennzahl stellt bei definierten Betriebsbedingungen den Druckverlust des gesamten Kollektorfeldes dar. Er ergibt sich aus der Reibung sowie den Einzeldruckverlusten des Kollektorfeldes, einschließlich der Verbindungsleitungen, der Vorlauf- und Rücklaufleitungen und aller im Kollektorfeld installierten Hydraulikelemente (z.B. Regelventile). Wärmetauscher, Rückschlagventile oder weitere hydraulische Elemente werden nicht berücksichtigt, da sie kaum durch das Kollektorfeld -Design beeinflusst werden.

Verhältnis von hydraulischer zu thermischer Leistung [W_{hyd} / kW_{th}]

Mittels der absoluten Druckverluste eines Kollektorfeldes kann kein aussagekräftiger Vergleich in Hinblick der zu erwartenden Betriebskosten durch Pumpenstrom getroffen werden. Der benötigte Pumpenstrom (in Bezug auf hydraulische Leistung) zur Erreichung einer bestimmten solarthermischen Wärmeleistung, bei definierten Betriebsbedingungen, stellt eine bessere Kennzahl für die zu erwartenden Betriebskosten dar.

Wirkungsgradeinbuße durch ungleiche Strömungsverteilung [%]

Ungleichmäßige Strömungsverteilung und dementsprechende ungleichmäßige Temperaturverteilung zwischen den Kollektoren führen zu einer Verringerung des thermischen Wirkungsgrades des gesamten Kollektorfeldes. Die Kennzahl ist über das Verhältnis zwischen dem Gesamtwärmewirkungsgrad des Kollektorfeldes mit der realen (mehr oder weniger unebenen) Strömungsverteilung zum idealisierten theoretischen thermischen Wirkungsgrad definiert.

Gesamtes Entleerungsverhalten [in Worten]

Insbesondere für große solarthermische Anlagen mit effizienten Kollektoren und hohen Leistungen stellt Stagnation in Bezug auf die Betriebssicherheit ein nicht vernachlässigbares Risiko dar. Die maximale Systembelastung hängt im Falle von Stagnation entscheidend von dem Entleerungsverhalten, der Menge der verbleibenden Flüssigkeiten in den Absorbern sowie in den Kollektorverbindungen, ab. Mittels dieser Kennzahl kann das Entleerungsverhalten eines Kollektors -und Kollektorfeldes in qualitativer Weise beurteilt werden.

Internationale Unterschiede bei Hydraulikbenchmarks

Auf der Basis von insgesamt 24 realisierten solarthermischen Großanlagen sollen folgend die Unterschiede in der Ausfertigung des Primärkreises betrachtet werden. Neben den bereits angeführten Unterschieden in der Auswahl der Kollektoren, der Kollektorfeldverschaltung und im Umgang mit Anlagenstagnation bzw. dem Sicherheitskonzept, bestehen deutliche Unterschiede in der Betriebsweise (Strömungsgeschwindigkeit, Druckverlust, etc.) der Anlagen. Wie aus der folgenden Tabelle ersichtlich, wurden Daten zu Großanlagen mit einer Kollektorfläche von rund 430 m² bis 17.500 m² erhoben. Bei den betrachteten Anlagen handelt es sich um Anlagen aus dem europäischen Raum sowie aus China und Kanada.

Tabelle 2: Hydraulik- und Anlagebenchmarks internationaler solarthermischer Großanlagen (AEE INTEC)

	Max. Serial Length of the collector field [m]	Max. Collector Area in Series [m ²]	Delta p over the entire collector field [mbar]	Specific flow [kg/m ² h]	Type of Collector	Meander/Harp/U-Tube	Gross Collector Area	Pipe Material	Connection Method
Solid	30	63	350	35	FPC-DC	Harp	1134	steel	welding (gas welding)
	50	175	1400	17	FPC	Harp	3782		
NRCan		57	2840	14	FPC	Meander	2293	Steel in the energy centre, pre-insulated steel pipe underground, copper above the ground	Threaded, welded, soldered (respectively)
CIB Solar	10	17		60	VTC	U-Tube	1900	stainless steel	welding
	16	50		30	VTC	U-Tube	2200		
PlanEnergi	85	189			FPC	Harp	10600	Black steel (pre insulated)	Piping: Welding Collectors: Threaded
Ramboll Energy	150	369	5000	14	FPC	Harp	10000	Black steel	
	121	295	4000	14	FPC	Harp	10000		
	85	182	5000	15	FPC-DC	Harp	10000		
	85	182	5500	15	FPC-DC	Harp	12094		
	85	207	5000	14	FPC	Harp	17500		
TECSOL	7	13	250	80	VTC	U-Tube	430		
	11	25		50	FPC	Meander	1500		
Ritter XL Solar	12		1100	23	VTC	U-Tube	1330	Black steel	welding
	13		1600	22	VTC	U-Tube	3388		
	13		1100		VTC	U-Tube	687		
					VTC	U-Tube	1031		
					VTC	U-Tube	527		
					VTC	U-Tube	505		
					VTC	U-Tube	737		
				VTC	U-Tube	550			
AiguaSol		76	730	16	FPC	Harp	516	copper	welding (12% silver)
		17		35	FPC	Meander	990		
				18	LFC		3000		

FPC: Flat Plate Collector; FPC-DC: Flat Plate Collector (Double Covered); VTC: Vacuum Tube Collectro directly streamed; LFC: Linear Fresnel Collector

Hohe Strömungsgeschwindigkeiten verbessern in der Regel den Wirkungsgrad einer solarthermischen Anlage. Sehr hohe Strömungsgeschwindigkeiten sind jedoch in Anbetracht des erhöhten Risikos von Erosionskorrosion, welche Rohrwände beschädigen oder zerstören können, zu vermeiden. Zudem erfordern hohe Strömungsgeschwindigkeiten mehr Pumpleistung und/oder größere Rohrdurchmesser. Die Analyse zeigte, dass die Mehrheit der betrachteten Großanlagen im Low-Flow Prinzip betrieben (rund 15 kg/m²h) werden. Dennoch weisen vereinzelt Systeme spezifische Massenströme zwischen 30 kg/m²h und 80 kg/m²h auf. Da sowohl Anlagen mit Vakuumröhrenkollektoren als auch mit Flachkollektoren in Mäander- und Harfenbauweise mit sehr hohen Strömungsgeschwindigkeiten betrieben werden kann keine einheitliche Aussage über die Betriebsweise solarthermischer Großanlagen getroffen werden.

Die Druckverluste der Kollektoren sowie des Rohrsystems sind von entscheidender Bedeutung, bei der Ausgestaltung einer solarthermischen Anlage. In der Regel sind die Druckverluste umso höher, je mehr Kollektoren miteinander verschaltet werden. Dementsprechend steigt bei hohen Druckverlusten die benötigte Pumpleistung und in weiter Folge die maximale Fläche seriell verschalteter Kollektoren.

Bei der Betrachtung sind je nach Ausgestaltung deutliche Unterschiede zwischen den realisierten Großanlagen erkennbar. Während die Druckverluste bei Systemen der Fa. „Solid“ und „Ritter XL Solar“ zwischen 350 mbar und 1.600 mbar aufweisen, weisen Anlagen der Fa. „Ramboll Energy“ Druckverluste von über 4.000 mbar, bis zu 5.000 mbar auf.

Unmittelbar in Verbindung mit dem Druckverlust stehen die maximal verschaltete Anzahl der Kollektoren bzw. die maximale serielle Länge. Die maximalen seriellen Längen korrelieren deutlich mit den Druckverlusten und liegen zwischen 10 m und 150 m, wobei Anlagen mit den kleinsten seriellen Längen die niedrigsten Druckverluste aufweisen. Die maximal seriell verschaltete Kollektorfläche beträgt 369 m² bei einem Druckverlust von 5.000 mbar.

Je nach Anlage variieren die Kennzahlen. Zentral sind das Verhältnis der Zahlen zueinander und die tatsächliche Erhebung der oben genannten Parameter für die grundsätzliche Auslegung der Anlagen.

4.4 Richtlinie zur Sicherheitstechnik im primären Solarkreislauf

Das Unternehmen AEE INTEC hat sich im Verlauf des Projektes intensiv mit der Sicherheitstechnik im primären Solarkreislauf beschäftigt.

Neben Methoden im Umgang mit Stagnation bzw. zur Verhinderung von Stagnation muss bei allen solarthermischen Anlagen die Eigensicherheit der Anlage gewährleistet sein. Dementsprechend sind im Primärkreis solarthermischer Anlagen Sicherheitseinrichtungen vorzusehen, die die angeführte Eigensicherheit garantieren. Als primäre Sicherheitseinrichtung ist bei allen solarthermischen Anlagen -wie bei allen druckführenden wärme-erzeugenden Kreislaufsystemen- der Einbau von Sicherheitsventilen vorzusehen (DIN EN 12828 2011). Sicherheitsventile im Primärkreis garantieren beim Erreichen eines maximalen Drucks das Ablassen des flüssigen bzw. des verdampften Wärmeträgerfluid in die Umgebung oder in einem Auffangbehälter. Der maximale Druck wird durch das Bauteil mit der geringsten Druckstufe bestimmt und muss auf die Wärmeleistung des Systems abgestimmt werden. Nach dem Öffnen eines Sicherheitsventils darf die Solaranlage nicht automatisch in Betrieb genommen werden und eine Überprüfung des Ventils ist erforderlich.

Neben dem Sicherheitsventil als primäre Sicherheitseinrichtung (Basis-Sicherheitskonzept) sind aktuell keine allgemein verbindlichen bzw. einheitlichen Lösungen im Bereich der

Sicherheitstechnik bei solarthermischen Großanlagen erkennbar. Bei der Analyse unterschiedlicher internationaler Großanlagen zeigten sich deutliche Unterschiede in der Umsetzung der Sicherheitskonzepte. Folgend ein Überblick über gängige Sicherheitskonzepte in solarthermischen Anlagen. Die Aufnahme des Flüssigkeitsvolumens des Wärmeträgermediums durch temperaturbedingte Volumenausdehnung wird in den folgenden Beispielen allgemein über ein im Rücklauf befindliches Ausdehnungsgefäß gewährleistet.

(1) Basis-Sicherheitskonzept

Folgende Abbildung zeigt das Basis-Sicherheitskonzept einer solarthermischen Anlage. Das Sicherheitsventil öffnet bei Überschreiten des maximalen zulässigen Drucks und lässt Dampf oder flüssiges Wärmeträgermedium in die Umgebung ab. Im Regelfall ist das Sicherheitsventil an eine Ablassleitung angeschlossen, sodass das gesamte Volumen des Solarkreises in einem Auffangbehälter aufgenommen werden kann. Das Sicherheitsventil kann sowohl im Vorlauf als auch im Rücklauf des Primärkreises, vor und nach der Solarpumpe, angebracht werden. Je nach Position ergeben sich unterschiedliche Ansprechdrücke des Sicherheitsventils.

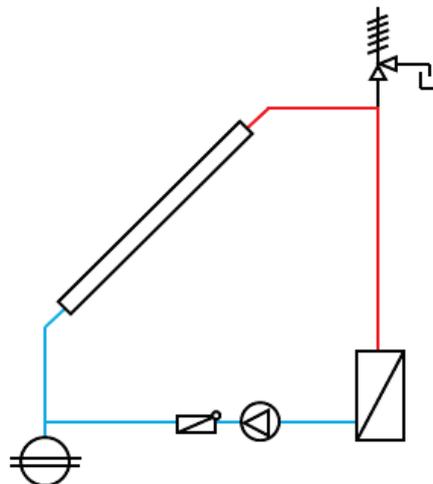


Abbildung 11 Beispielhaftes Primärkreis-Hydraulikschema eines „Basis-Sicherheitskonzept“
(AEE INTEC)

(2) Überstromventil parallel zu Sicherheitsventil

Eine weitere Möglichkeit besteht in der zum Sicherheitsventil parallelen Installation eines Überstromventils. Überstromventile zeichnen sich im Gegensatz zu Sicherheitsventilen durch ein flacheres Ansprechdruckverhalten sowie ein automatisches Schließen nach Unterschreiten eines festgelegten Systemdrucks aus. Werden neben einem Überstromventil, mit im Vergleich zum Sicherheitsventil verringertem Ansprechdruck, Auffangbehälter in einem System als Teil der Sicherheitskonzept implementiert, fangen diese bei Erreichen des maximalen Drucks über das Überstromventil das im System befindliche Wärmeträgermedium auf. Sicherheitskonzepte

dieser Art erlauben nach Anlagenstillstand bzw. Stagnation die automatische Wiederinbetriebnahme der Anlage über den Auffangbehälter. Bei großen Solaranlagen wird der Auffangbehälter in der Regel drucklos ausgelegt.

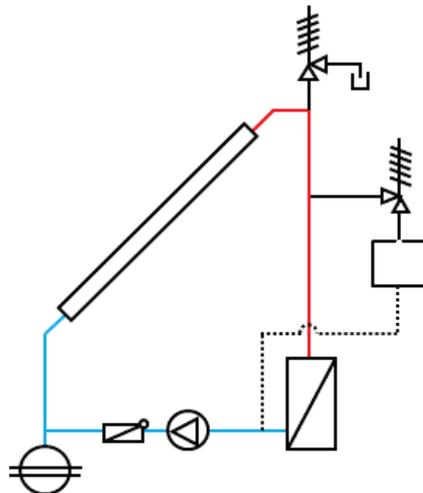


Abbildung 12 Beispielhaftes Primärkreis-Hydraulikschemata eines Sicherheitskonzepts mit Überstromventil und Auffangbehälter (AEE INTEC)

(3) Feldinterne Absperrarmaturen

Feldinterne Absperrarmaturen ermöglichen bei defekten Kollektoren bzw. allgemeinen Wartungsarbeiten das Trennen einzelner Kollektorgruppen- bzw. reihen vom kompletten Kollektorfeld. Werden Drei-Wege-Hähne implementiert, kann das Wärmeträgerfluid aus den Kollektorreihen bzw. -gruppen in einem mobilen Auffangbehälter laufen und das Abschalten der gesamten Anlage bzw. das Entleeren des gesamten Solarnetzes kann umgangen werden. Zusätzlich ermöglichen Drei-Wege-Hähne ein einfaches und unkompliziertes Befüllen des Kollektorfeldes. Im Zuge der Inbetriebnahme können so einzelne Kollektorreihen reihum befüllt werden. Folgende Abbildung zeigt beispielhaft eine mögliche Umsetzung dieses Sicherheitskonzepts mit feldinternen Absperrarmaturen in jeder Reihe des Kollektorfeldes und einem zentralen Sicherheitsventil.

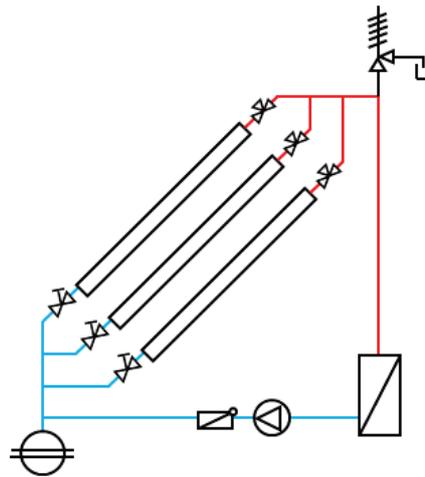


Abbildung 13 Beispielhaftes Primärkreis-Hydraulikschemata eines Sicherheitskonzepts mit feldinterner Absperrarmaturen (AEE INTEC)

Je nach Sicherheitskonzept können auch in jeder einzelnen Kollektorreihe bzw. -gruppe Sicherheitsventile installiert werden. Absperrarmaturen erlauben bei Defekt bzw. Wartungsarbeiten und der Inbetriebnahme das Trennen einzelner Kollektorreihen vom übrigen Kollektorfeld. Im folgend dargestellten Sicherheitskonzept verfügt die Anlage zudem über ein zentrales Überströmventil zur Entleerung und Wiederbefüllung im Falle von Stagnation bzw. bei erhöhtem Systemdruck.

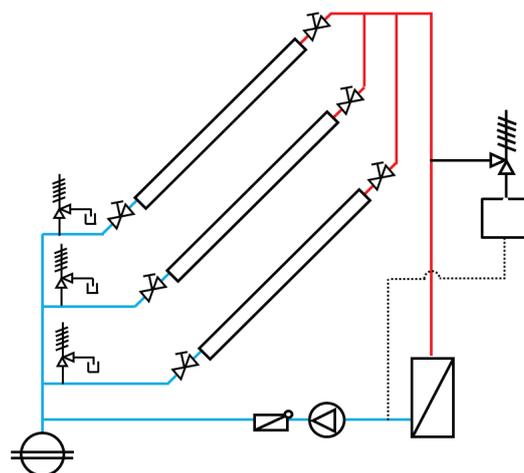


Abbildung 14 Beispielhaftes Primärkreis-Hydraulikschemata eines Sicherheitskonzepts mit Überstromventil, Auffangbehälter und feldinterner Absperrarmaturen (AEE INTEC)

Internationale Standards zu Sicherheitssystemen sind von der individuellen Auslegung der Anlage abhängig. Grundsätzlich sind die oben genannten Einrichtungen technisch möglich und bereits international verbreitet.

4.5 Richtlinie zu Leistungsgarantien solarthermischer Großanlagen

In einem weiteren Arbeitspaket wurde von AEE INTEC die Berechnung von Leistungsgarantien untersucht.

Leistungsgarantien für Solarkollektoren sind unter anderem stark von den klimatischen Bedingungen vor Ort abhängig. Um zu kommunizierbaren Parametern für solarthermische Großanlagen zu gelangen müssen monatliche Durchschnittswerte und stündliche durchschnittliche Wetterbedingungen erhoben werden. Folgendes Vorgehen wird für die Vergabe von Leistungsgarantien vorgeschlagen.

Garantieübergabe:

Erhebung, Beschreibung und/oder Abschätzung der Betriebsbedingungen des Kollektorfeldes anhand von Wetterdaten, Lokaldaten, Meteonorm-Daten, oder Energieverlustdaten innerhalb von Wärmenetzen.

Berechnung der Referenzwerte für den Output des Kollektorfeldes $Q_{out,ref}$ anhand der Wetterdaten und Betriebstemperaturen mithilfe bereits validierter Werte und Simulationsprogramme.

Berechnung des Einflusses des Wetters auf die Solaranlage für einen Referenzzeitraum von beispielsweise 10 Jahren. Der Maximal- und Minimalwert der Sonneneinstrahlung und der Temperatur ist hier auch von Bedeutung.

Berechnung der Parameter, welche die Betriebsabläufe signifikant beeinflussen können, wie etwa eine variierende Umgebungstemperatur von bis zu 10°C.

- Basierend auf diesen Erhebungen, den Referenzwerten und der Sensitivitätsanalyse können Leistungsgarantien ausgesprochen werden.

Garantieüberprüfung:

Die Überprüfung der garantierten Werte basiert auf dem Vergleich der berechneten Parametern mit den tatsächlich vor Ort im Betrieb gemessenen Werten unter Berücksichtigung der aktuellen Wetterbedingungen und Betriebstemperaturen im Jahr der Messung.

4.6 Richtlinie zu standardisierten Monitoring- und Qualitätssicherungskonzepten

AEE INTEC erarbeitete eine Studie zu „EMPFEHLUNGEN FÜR MONITORINGKONZEPTE IN SOLARTHERMISCHEN GROßANLAGEN“.

Die Vorteile eines professionellen Anlagen-Monitorings bei solarthermischen Großanlagen sind vielfältig. Um diese Vorteile zu erzielen, ist es aber notwendig, ein entsprechendes Monitoring-Konzept umzusetzen. Folgend Empfehlungen für unterschiedliche Monitorings-Ansätze in unterschiedlichen Stufen.

Energiebilanz (Input-Output Bilanzierung)

Bei einem Anlagenmonitoring dieser Stufe werden sowohl die Wärmeinputs (üblicherweise umfasst dies das Solarsystem und die konventionellen Wärmeerzeuger) in den Energiespeicher als auch der Wärmeoutput (alle Verbraucher) inkl. der dazugehörigen Temperaturen erfasst. Dadurch können verbrauchsspezifische Rahmenbedingungen erfasst und Wechselwirkungen mit dem Solarsystem bzw. Beeinflussungen festgestellt werden. Eine Bestimmung des solaren Deckungsgrades unter Berücksichtigung der Speicherverluste ist möglich. Eine Ausnahme hinsichtlich Input-Output Bilanzierung bilden Anlagen zum solarthermischen Kühlen. Diese werden mittels speziellem Monitoringkonzept untersucht.

Betriebsoptimierung

In den ersten drei Betriebsmonaten jeder Anlage sollte eine sogenannte Optimierungsphase durchgeführt werden. In diesem Zeitraum gilt es die Anlagen hinsichtlich Funktionalitäts- und Effizienzsteigerungspotenziale zu untersuchen und bei festgestellten Verbesserungspotenzialen diese in Kooperation mit den beteiligten Akteuren (Haustechnikplaner, Installationsunternehmen, Regelungsunternehmen, Betreiber, etc.) auch umzusetzen. Dadurch kann ein optimiertes Betriebsverhalten der Anlagen über viele Jahre erreicht werden.

Funktionsüberprüfung

Die einzelnen Funktionen und Zustände der Anlagen werden über den gesamten Monitoringzeitraum (empfohlen wird ein Jahr) aufgezeichnet und analysiert.

Basierend auf definierten Grenzwerten soll bei Über- bzw. Unterschreitung von Kennwerten bzw. Verhältniszahlen eine Fehlermeldung generiert werden.

Diese Plausibilitätsprüfung soll beim Vorgang des Einlesens der Daten auf die Datenbank erfolgen. Dadurch kann gewährleistet werden, dass die Erkennung von Anlagenstandzeiten (sprich Mängel) rasch erfolgt und prompt darauf reagiert werden kann.

Monatliche Energiebilanzen mit Soll-Ist-wertvergleich

Es wird empfohlen, die aufgezeichneten Wärmemengen u.a. in repräsentativen Zeiträumen (Tage, Wochen, Monate, etc.) darzustellen und mit den Sollwerten aus der Anlagenplanung zu vergleichen. Treten größere Abweichungen auf, soll der Ursache nachgegangen werden.

Datenerfassung und Sensorik

Nachfolgend sind die Anforderungen an das Messdatenerfassungssystem sowie an die Sensoren beschrieben. Zu beachten ist, dass es sich hierbei um Empfehlungen handelt, die auf Basis von Erfahrungen des Berichtverfassers basieren und dessen Standard-Messpaket beschreiben.

Das System zur Messdatenerfassung, Speicherung und Messdatenübertragung muss folgende Punkte erfüllen:

- Das Datenloggersystem muss grundsätzlich als eigenständiges und von anderen Einflüssen unabhängiges System ausgeführt sein.
- Während der Datenerfassung muss auch eine automatisierte Plausibilitätsprüfung der Messdaten durchgeführt werden.
- Die erfassten Messdaten müssen mindestens drei Monate unabhängig von Stromausfällen im Datenlogger gespeichert bleiben.
- Sämtliche Messdaten der Sensoren müssen zumindest in einem 5 Minuteninterfall auf dem Logger abgespeichert werden.
- Der Datenfluss der Messdatenerfassung bis zur Datenübertragung über das mobile oder analoge Telefonnetz muss vollkommen automatisiert ablaufen.

Detaillierte Monitoring-Kennzahlen sind dem ausführlichen AEE INTEC Bericht „EMPFEHLUNGEN FÜR MONITORINGKONZEPTE IN SOLARTHERMISCHEN GROßANLAGEN“ zu entnehmen.

4.7 Konzepte saisonaler Speicher

S.O.L.I.D. hat das Unternehmen SOITES bei der Erstellung einer Studie zu saisonalen Wärmespeichern für große Solarsysteme unterstützt. Die Projektpartner erhoben den status-quo zu Speichern am Markt und identifizierten Forschungsfragen für zukünftige Untersuchungen.

Große Erdwärmespeicher werden oft in unmittelbarer Nähe zu bewohnten Gebieten und Abnahmestellen angelegt um Verluste zu minimieren. Der Untergrund selbst, wie die vorhandene Erde, dient dabei als wesentliches Isoliermaterial. Der Speicher kann folglich nur in Gebieten gebaut werden, in welchen Untergrundmaterial und Speicherfähigkeit festgelegten Parametern entsprechen. Der Grunddruck der Umgebungsmaterialien wirkt hier dem Wasserdruck innerhalb des Großspeichers entgegen.

Speicher werden zu unterschiedlichen Zwecken errichtet. Je nach Verwendungszweck wird der Speicher somit an das Abnahmesystem angeschlossen.

Eine neue Möglichkeit um gewonnene Energie aus großen Solarsystemen zu speichern bieten Erdsonden. Erdsonden könnten zur saisonalen Speicherung von Solarenergie ausgelegt werden. Eine weitere Möglichkeit der Speicherung von Energie bilden Grubenspeicher. In diesen wird Solarenergie über sonnenarme Zeiträume gespeichert und so vielseitig einsetzbar gemacht.

Speichertypen sind:

- TTES: Tank thermal energy storages (60 – 80 kWh/m³)
- PTES: Pit thermal energy storages (60 – 80 kWh/m³)
- BTES: Borehole thermal energy storages (15 – 30 kWh/m³)
- ATES: Aquifer thermal energy storages (30 – 40 kWh/m³)
-

Die Investitionskosten je m³ Speicher verhalten sich negativ zum Speichervolumen.

Als Beispiel kostete ein Wassertank in München im Jahr 2007 mit 5.700m³ 910.000 EURO. Ein Wassertank in Carlsheim im Jahr 2008 mit 37.500 m³ jedoch nur 520.000 EURO. Die Auslegung des Systems ist hier von zentraler Bedeutung. Große Anlagen liegen im Vorteil verglichen mit kleineren Anlagen.

Herausragende Hürden, welche die Implementierung großer Speicher erschweren, sind thermische Verluste, undichte Stellen am Tank und unvorteilhafte Wasserschichtungen im Tankinneren.

4.8 Modelle für Drittmittelfinanzierungen und Fallstudien

Die Finanzierung großer Solarthermieanlagen stellt Stakeholder oft vor neue Herausforderungen. Große Anlagen können zu ihrer Entstehung ein beachtliches, finanzielles Volumen beanspruchen. Aus diesem Grund hat S.O.L.I.D. basierend auf seiner langjährigen Erfahrung mit derartigen Anlagen ein Kompendium zur Finanzierung erstellt. Das Kompendium steht zum Download auf der Homepage des Projektes zur Verfügung: http://task45.iea-shc.org/data/sites/1/publications/P-Task45C-D4_ESCoGUIDE.pdf

Es wird beschrieben, welche unterschiedlichen Möglichkeiten es für Energielieferungen und Serviceeinrichtungen im Bereich der Solarthermie gibt. Die Arbeit zeigt Hürden auf, mit welchen Unternehmen bei der Implementierung konfrontiert sind, ebenso wie Geschäftsmöglichkeiten, die sich hier ergeben.

Ein ESCO (Energy Service Company, Energiedienstleister) ist ein professionelles Unternehmen, welches Konsumenten eine Reihe an Energiedienstleistungen anbietet und dabei die Möglichkeit aufzeigt den Energiekonsum und damit verbundene Kosten zu reduzieren.

Eigenschaften eines Energiedienstleisters sind unter anderem:

- Verringerter Energieverbrauch oder geringere Energiekosten durch Leistungsgarantien
- Die Verdienstmöglichkeiten sind an Energieeinsparungen geknüpft
- Die Finanzierung von Projekten wird übernommen oder organisiert
- Die Wartung und Überwachung des Betriebs von Anlagen wird vom Dienstleister übernommen

Einige Hürden erschweren die Implementierung von Energiedienstleistern behindern. Häufig sind derartige Dienstleistungen nicht bekannt, und aktive Unternehmen in diesem Bereich

schwer zu finden. Im öffentlichen Sektor sind kaum Erfahrungswerte mit derartigen Projekten vorhanden und die Rechtslage vielfach unbekannt. Auch Finanzdienstleistern sind Energiedienstleistungen vielfach unbekannt. Folglich werden Finanzierungen zögerlich gewährt und damit die Arbeit erheblich behindert. In der Branche sind standardisierte Dokumente und Verfahren bislang kaum zu finden. Aus diesem Grund beinhaltet das Kompendium Vorlagen und Musterverträge für neue Geschäfte.

Auch zu niedrige Energiepreise, fehlende Daten zum Energieverbrauch potentieller Kunden und kaum Experten auf diesem Feld erschweren die Arbeit bestehender ESCos.

Basierend auf den im Verlauf der Arbeit von S.O.L.I.D. identifizierten Hürden wurden Strategien entwickelt, welche Unternehmen beim Aufbau neuer Energiedienstleisterverträge unterstützen sollen:

- Identifikation von relevanten Zielgruppen, welche an derartigen Dienstleistungen besonderes Interesse haben könnten (Einrichtungen wie Krankenhäuser, Schwimmbäder oder Wäschereien)
- Zielgerichtete Ansprache potentieller Kunden
- Zielgerichtete Informationen zu ESCo-Systemen aufbereiten und an mögliche Kunden kommunizieren
- Aufzeigen bereits bestehender Anlagen und der durch einen derartigen Vertrag möglichen Einsparungen

Für potentielle Kunden bieten ESCos zahlreiche Vorteile. Die Investitionskosten für Kunden sind überschaubar und können zeitlich verschoben werden. Ebenso kann das Risiko großer Anlagen auf den ESCo abgewälzt werden. Der Energiepreis für Solarenergie kann über längere Zeiträume fixiert werden und unterliegt keinen Marktschwankungen. Der Kunde bekommt ein Paket und ist nicht in technische Komplikationen verwickelt. Der ESCo garantiert dem Kunden neueste technische Lösungen und einen maximalen Solarertrag, da der Dienstleister selbst von einer optimalen Lösung finanziell profitiert. Kunden sind von Wartungsarbeiten und –reparaturen unabhängig. Nicht zu vernachlässigen sind auch Marketingeffekte solarthermischer Großanlagen, von welchen Kunden direkt profitieren ohne sich in Unkosten zu stürzen.

Im Kompendium werden drei unterschiedliche Geschäftsmöglichkeiten präsentiert, wie ESCos ihren Service an Kunden verrechnen. In der Praxis werden jedoch meist Hybrid-Formen eingesetzt:

Energiepreis-Verrechnung

Der Kunde bezahlt einen festgelegten Preis pro kWh an Solarenergie

Energiepreis und Basispreis

Zusätzlich zu einem festgelegten Preis pro kWh bezahlt

	der Kunde einen monatlichen
<i>Fixpreis für das System</i>	Der Fixpreis pro kWh kann hier geringer ausfallen
<i>Energiepreis und Anschlusspreis</i>	In diesem Fall bezahlt der Kunde ähnlich einer Anschlussgebühr an ein Nahwärmenetz einen Fixpreis (einen Prozentsatz von bis zu 100% der Systemkosten)

Weitere wichtige Erkenntnisse für ESCos betreffen Marketingtools, Marktstrategien, Finanzierungsmodelle, rechtliche Hintergründe, bewährte Geschäftsmodelle, Garantien, Monitoringinstrumente oder Optimierungsstrategien. Zur Unterstützung der Projektpartner bei der Implementierung der neuen Finanzierungsmodelle wurden Musterverträge, Kurzfassungen zu Energielieferverträgen und ein Berechnungstool dem Kompendium beigelegt.

Anzumerken ist auch, dass ESCo Modelle insbesondere bei internationalen Partnern aus Asien auf großes Interesse stießen.

Beispiele für Einrichtungen des öffentlichen Sektors, welche Interesse an ESCo-Projekten haben sind:

Medizinische Einrichtungen – Krankenhäuser sind für ESCo-Geschäftsmodelle aufgrund ihres Dauerbetriebs und des damit verbundenen Energiekonsums von Interesse. Weiteres sind auch andere medizinische Einrichtungen, wie öffentliche Gesundheitszentren oder Kliniken zu berücksichtigen.

Institutionen höherer Bildung, Schulen und Vorschuleinrichtungen – Vorschuleinrichtungen wie Kinderbetreuungseinrichtungen, unterscheiden sich von anderen Einrichtungen vor allem durch ihren erhöhten Heizbedarf und geringere Kapazitäten. Normalerweise sind diese für ESCos aufgrund der Größe von geringerem Interesse. Einrichtungen wie Universitäten und Schulen haben ein Interesse daran, ihre Wärmeversorgung aufgrund des fehlenden internen Know-Hows auszulagern. In diesem Bereich können Energieeffizienzprojekte aufgrund des ähnlichen Bedarfs an Energieart und -menge standardisiert werden. Standardisierungen ermöglichen die Implementierung ähnlicher Projekte in Kooperation mit autorisierten Einrichtungen wie Universitäten, Städten, Gemeinden oder Staaten.

Studenten- und Altenheime – Gebäude in diesem Bereich sind Spitalern im Energiekonsum ähnlich durch ihren täglichen Verbrauch und auftretende unterstützende Prozesse (Küchen, Waschräume usw.). Auf der anderen Seite sind diese meist geringere Verbraucher als Krankenhäuser und haben saisonale Verbrauchsmerkmale. Das Potential, Projekte in diesen Einrichtungen zu standardisieren, ist hoch.

Gebäude im Besitz des Staates, einer Region oder lokaler Einrichtungen – Grundsätzlich wird dasselbe Prinzip wie bei Bürogebäuden angewandt. Es können standardisierte Verträge mit einer Institution wie dem Staat, der Gemeinde oder einer Stadt aufgesetzt werden.

Bibliotheken, Archive, Museen, Ausstellungsräume – Projekte in diesen Geschäftsbereichen sind für ESCos von Bedeutung, wenn standardisierte Verträge möglich sind und eine Serie an Projekten mit einer Institution/einem Klient möglich sind.

Zu ausgewählten Einrichtungen wurden Fallstudien ausgearbeitet. Diese sind dem Anhang des ESCo-Kompandiums zu entnehmen.

Zusätzlich hat der spanische Partner Aiguasol in Zusammenarbeit mit S.O.L.I.D. einen Leitfaden zur Erstellung von Machbarkeitsstudien für große Solaranlagen erstellt, der auch ein Tool beinhaltet, welches die Projektierung in die Zukunft erleichtert. Die spanische Universität von Zaragoza hat dies übernommen und ein Pre-feasibility Tool erstellt, welches Solaranlagenanbietern die Machbarkeitsphase erleichtert. Das Tool kann auf Anfrage bei S.O.L.I.D. bestellt werden.

4.9 Planungshandbuch zu solarthermischen Großanlagen

Um die Umsetzung solarthermischer Großsolaranlagen international zu forcieren hat S.O.L.I.D. einen Planungsguide erstellt. Das Handbuch enthält Richtlinien für die Planung, das Design, den Bau, die Inbetriebnahme und die Wartung von solarthermischen Großanlagen. Es steht allen Projektteilnehmern/innen zur Verfügung und hat zum Ziel Know-How für eine breite Community verfügbar zu machen. Das Handbuch ist auf Anfrage bei S.O.L.I.D. erhältlich.

4.10 Österreichische Projektpartner und das internationale Netzwerk der IEA SHC

Sowohl S.O.L.I.D. als auch AEE INTEC wurden im Zuge des Projektes in die internationale SHC Community integriert.

Die österreichischen Experten nahmen an insgesamt acht halbjährlich anberaumten transnationalen Workshops teil. Das Kick-off Meeting fand von 5. bis 6. April in Barcelona (Spanien) statt, das nächste Meeting von 24. bis 26. Oktober 2011 in Calgary (Kanada). Das Abschlussmeeting bildete eine Veranstaltung mit anschließender SHC Konferenz in China. Das Abschlusstreffen in China bot Raum für einen finalen, internationalen Austausch. S.O.L.I.D. und AEE INTEC haben dabei ihre bestehenden Netzwerke erweitert und die vorliegenden Ergebnisse mit Projektpartnern diskutiert.

In Kooperation mit dem Team des IEA Task 49 wurde am 24. Oktober 2013 in Leoben eine ganztägige Transferveranstaltung mit dem Titel „Solare Großanlagen in Fernwärmenetzen und

industriellen Anwendungen“ organisiert und durchgeführt. 15 Fachreferenten/innen und die Möglichkeit der Besichtigung der 1.500m² großen Solaranlage in der Brauerei Göss sorgten für ein attraktives Programm. An der Veranstaltung nahmen 52 Personen teil.

4.11 Transfer der Projektergebnisse an die österreichische Solarthermiebranche

S.O.L.I.D. und der Projektpartner AEE INTEC arbeiteten im Projektverlauf eng zusammen. Unterschiedliche Veranstaltungen wurden organisiert um die Ergebnisse der Zusammenarbeit der Österreichischen Partner an die nationale Solarthermiebranche weiterzugeben.

Als Beispiel wurden Ergebnisse beim Workshop „Highlights der Energieforschung“ 2012 präsentiert. Zudem gab es unter Absprache mit der Förderstelle einen gemeinsamen ASTTP (Österreichische Solar-Thermie Technologie Plattform) Workshop am 17. 10. 2012 in Wien zum Thema „Innovative Förderinstrumente – Chancen für die Solarthermie“.

Weitere Präsentation bei Solarthermie- und einschlägigen Fachveranstaltungen

23. April 2012:

Ein Fachvortrag beim ASTTP-Workshop wurde zu „Solare Großanlagen – Chancen und Herausforderungen“ abgehalten und Ergebnisse des Task 45 zu vermitteln.

12. – 14. September 2012:

Beim internationalen Symposium „Gleisdorf Solar 2012“ wurde ein Veranstaltungsblock zu Großanlagen mit 300 Teilnehmer/innen akquiriert und inhaltlich organisiert. Acht Experten/innen des Task 45 referierten zum Thema solarthermische Großanlagen. Von den Vortragenden haben vier Personen des nationalen Task Konsortiums Projektergebnisse vorgestellt und während der Konferenz diskutiert.

23. Oktober 2012:

Beim IEA-Vernetzungstreffen in Wien wurde der Task 45 und wichtige Zwischenergebnisse vorgestellt.

11. Juni 2014:

Highlights der Energieforschung Wien: Bei der Veranstaltung wurde der IEA Task 45, Inhalte und Ergebnisse präsentiert.

Veröffentlichung in einschlägigen Fachzeitschriften

Der Task selbst und Ergebnisse aus dem Projekt wurden in Fachzeitschriften veröffentlicht:

- In der Fachzeitschrift „Erneuerbare Energie (Ausgabe 2-2012)“ wurde eine Schwerpunktausgabe zum Thema des Task 45 „Solare Nah- und Fernwärmenetze“ mit Beiträgen von sechs Experten des Task 45 akquiriert und redaktionell organisiert

- In der Fachzeitschrift „Energy Procedia“ Vo.30,2012, Seiten 849 – 855, wurde ein Artikel zum Thema „IEA-SHC Task 45: Large Solar Heating/Cooling Systems, Seasonal Storage, Heat Pumps“ veröffentlicht

Veröffentlichung von Ergebnissen auf einschlägigen Websites

Ergebnisse wurden auf einschlägigen Websites zur laufenden Bewerbung der Task 45 Aktivitäten veröffentlicht:

Global Solar Thermal Energy Council

„Contracting Models for Solar Thermally Driven Cooling and Heating Systems (2014)“

18. September 2014, S.O.L.I.D

<http://www.solarthermalworld.org/content/contracting-models-solar-thermally-driven-cooling-and-heating-systems-2014>

SDH Solar District Heating

„News from IEA-SHC Task 45 – Large solar heating and cooling systems, seasonal storage and heat pumps“

04. März 2012, S.O.L.I.D

<http://www.solar-district-heating.eu/NewsEvents/News/tabid/68/ArticleId/174/News-from-IEASHC-Task-45--Large-solar-heating-and-cooling-systems-seasonal-storage-and-heat-pumps.aspx>

SDH Solar District Heating

„IEA-SHC Task 45: Visit to Drake Landing Solar Community, almost 100% solar supply to the local DH“

02. September 2012

<http://www.solar-district-heating.eu/NewsEvents/News/tabid/68/ArticleId/180/IEASHC-Task-45-Visit-to-Drake-Landing-Solar-Community-almost-100-solar-supply-to-the-local-DH.aspx>

Solarwärme.at

IEA SHC Task 45

23. April 2012, S.O.L.I.D

<http://www.solarwaerme.at/docs/854.pdf>

Nachhaltig Wirtschaften

„IEA-SHC Task 45: Große solare Heiz- und Kühlsysteme mit Wärmepumpen und saisonalen Speichern“

<http://www.nachhaltigwirtschaften.at/iea/results.html/id7598>

5. Detailangaben zur Programmlinie der IEA

Das Hauptziel des IEA SHC Task 45 war, den wachsenden Markt der solarthermischen Großanlagen zu unterstützen. Des Weiteren wurde die Netzeinspeisung solarer Wärme und Kälte in Märkten außerhalb von Dänemark und Österreich (derzeit sind insbesondere in Dänemark und mit Abstrichen auch in Österreich solarthermische Netzintegrationen ein Thema) aufgebaut. Einerseits wurde das Gesamtsystem betrachtet, andererseits die Integration der Solarthermie mit saisonalen Speichern, Wärmepumpen und Kältemaschinen untersucht.

Die internationalen Arbeitsgruppen der IEA bilden eine ideale Plattform für die Zusammenarbeit in Forschungs- und Entwicklungsfragen. Die Teilnehmer profitieren vom Expertenwissen einer globalen Community. Internationale Studien und Analysen sind zahlreichen Teilnehmern zugänglich, Synergien können genutzt werden und Doppelarbeiten werden unterbunden. Dies entspricht einer optimalen Nutzung der begrenzten Ressourcen zahlreicher Partnerländer. Die Resultate aus der gemeinsamen inhaltlichen Arbeit (Studien, Handbücher, Berechnungs- und Simulationsmodelle, regionale bzw. nationale Rahmenbedingungen, Monitoring- und Umsetzungskonzepte, etc.) liefern eine ausgezeichnete Basis für eine nationale Implementierung. Die Beteiligung an den Arbeitsgruppen hat sowohl essentielle Beiträge zur Umsetzung solarthermischer Großanlagen in Österreich als auch zur Steigerung der nationalen Exporte (Europa, Asien, Australien und Nordamerika) geleistet.

6. Projektergebnisse der internationalen Task-Partner

Die internationalen Teilnehmer des Tasks erarbeiteten zahlreiche wertvolle Ergebnisse für den Ausbau von Großsolaranlagen, welche auch für Österreichische Unternehmen einsetzbar sind. Es wurde ein Leitfaden zur Korrektur von Kollektoreffizienzen erstellt, welcher unterschiedliche Kollektortypen, Kollektorflüssigkeiten, Durchflussgeschwindigkeiten und Aufstellwinkel berücksichtigt. Durch eine ausgereifte Auslegung der Komponenten wird eine optimale Nutzung der thermischen Performance sichergestellt.¹ Eine weitere Untersuchung erhob den garantierten Output großer Kollektorfelder. Es wurden Optionen untersucht, garantierte Outputs für große Solaranlagenfelder und Wärmetauscher zu eruieren um

¹ Link zu weiteren Informationen:

<http://task45.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA-SHC-T45.A.1-INFO-Correction-of-collector-efficiency.pdf>

derzeitige Werte zu überprüfen.² Eine andere Untersuchung überprüfte die Methoden, wie Leistungsgarantien kommuniziert und deren Werte innerhalb der Branche kontrolliert werden. Auch diese Ergebnisse sind im Subtask A zu finden.³ Ein dänischer Partner entwickelte ein Simulationstool für große Solaranlagen. Die Unterlagen bieten einen Überblick zum Simulationsmodell und zeigen Möglichkeiten auf, wie eine Simulationen von Unternehmen erstellt werden könnte.⁴

Weitere zentrale Ergebnisse sind:

- Standards zu Anlagendimensionierungen und Modernisierungen
- Analyse des Einflusses von Wärmeträger-Zusammensetzungen, Massenströmen und Kollektorneigungen auf die Effizienz des Kollektorwirkungsgrades (im Vergleich zur per Leistungstest festgelegten Wirkungsgradkennlinie mit fixem Parametereinfluss)
- Dimensionierungsempfehlungen im Bereich großer Erdsondenspeicher
- Empfehlungen für die Konstruktion und die Materialwahl bei großen Erdbeckenspeichern

Alle Ergebnisse sind auf der Task 45 Homepage einzusehen (Öffentlicher Bereich und Partner Area) und zum Download verfügbar: <http://task45.iea-shc.org/publications>

Verarbeitung der Ergebnisse innerhalb der Projektteams

S.O.L.I.D. ist ein international bekannter Großsolaranlagenbauer mit einer starken Forschungs- und Entwicklungsabteilung. Die Ergebnisse des Projektes fließen in bestehende, realisierte und neue Anlagen ein. Zusätzlich wird das erarbeitete Know-how in weitere Forschungsprojekte einfließen und die Bedeutung von S.O.L.I.D. für internationale Projektpartner deutlich positiv beeinflussen.

Solarthermische Großanlagen bilden bereits seit geraumer Zeit einen Forschungsschwerpunkt bei AEE INTEC, weshalb die gewonnenen Erkenntnisse die vorhandene Expertise zielgerichtet erweitern. Als angewandte Forschungseinrichtung werden diese als Basis für neue Forschungsarbeiten genutzt. Gleichzeitig ist AEE INTEC bestrebt das erlangte Know-how an die Branche und potenzielle neue Akteure weiterzugeben.

² Link zu weiteren Informationen:

<http://task45.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA-SHC-T45.A.3.1-INFO-Power-Guarantee.pdf>

³ <http://task45.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA-SHC-T45.A.3.2-INFO-Annual-Output-Guarantee.pdf>

⁴ <http://task45.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA-SHC%20T45.A.4%20INFO%20Sheet%20Simulation%20of%20collector%20fields.pdf>

7. Ausblick und Empfehlungen

Ziel der Projektpartner ist es, die erarbeitenden Inhalte als lebendige Dokumente in den Institutionen weiterzupflegen. Die praxisbezogenen, gewonnenen Erkenntnisse werden im Anlagenbau eingesetzt. Auch die Forschungs- und Entwicklungsabteilungen beider Einrichtungen arbeiten mit den Ergebnissen in zukünftigen Projekten weiter. Als Beispiel wird die erarbeitete Datenbank zu weltweiten Großsolaranlagen fortlaufend gepflegt, bei Präsentationen eingesetzt und in den angestrebten Folgetask 55 – geleitet von S.O.L.I.D. - aufgenommen.

Es ist bemerkenswert, dass Österreich die Liste der weltweit installierten solarthermischen Anlagen mit 430kWth/1.000 Einwohner anführt. Diesen Vorsprung verdankt das Land der kontinuierlichen Forschung, Förderung und dem Streben zahlreicher Akteure im politischen und wirtschaftlichen Sektor. Um diese Stellung nicht nur zu halten sondern auszubauen gibt es eine Reihe von Empfehlungen:

- Ausbau der angewandten Forschung zu solarthermischen Anlagen
- Die Errichtung von weltweit beachteten Demo-Anlagen
- Ausbau der Netzintegration solarthermischer Großanlagen
- Stärken der Konkurrenzfähigkeit solarthermischer Anlagen gegenüber konventionellen Energieressourcen durch finanzielle Anreize
- Kostensenkungspotentiale in bestehenden Anlagen und bei Neuplanungen aufdecken
- Neue Finanzierungsmodelle und neue Businessmodelle fördern
- Die Bekanntheit von ESCo-Modellen erhöhen
- Richtlinien für geringe Betriebs- und Wartungskosten ausarbeiten
- Automatische Betriebsüberwachungssysteme für Großsolaranlagen entwickeln
- Überprüfung der Leistungskennzahlen bestehender Anlagen und Optimierung des Outputs großer Anlagen
- Optimierung der Hydraulik bestehender Anlagen und Minimierung der Systemverluste
- Förderung der Solarthermie in neuen Märkten um für Österreich neue Absatzmöglichkeiten zu erschließen

Wie die Empfehlungen zeigen, gibt es für die Österreichische Solarthermiebranche zahlreiche Möglichkeiten auf den Ergebnissen aus dem vorliegenden Projekt aufzubauen. Der neue Task 55 wird die Empfehlungen aufgreifen und damit Österreichs Position am weltweiten Solarthermiemarkt weiter stärken.

8. Abbildungs- und Tabellenverzeichnisse

Abbildung 1 Auswertung - Errichtungszeitraum solarthermischer Großanlagen	11
Abbildung 2 Trend neuer Großsolaranlagen	11
Abbildung 3 Auswertung - Installationen pro Kontinent	12
Abbildung 4 Kollektorfläche pro Land	13
Abbildung 5 Trend in China und Europa – Anlagen und Kollektorfläche	13
Abbildung 6 Trend in China und Europa – Anlagen und Kollektorfläche	14
Abbildung 7 Anzahl der Solaranlagen nach Einsatz der Technologie	15
Abbildung 8 Hydraulische Ebenen eines beispielhaften Kollektorfeldes sowie die Verbindung der Ebenen zueinander (AEE INTEC)	17
Abbildung 9 Methoden zur Erreichung einer gleichmäßigen Strömungsverteilung. (a) Anpassung der Zuleitungsquerschnitte. (b) Einbau mechanischer Regelventile. (c) Tichelmannverschaltung in Kombination mit der Anpassung der Zuleitungsquerschnitte (AEE INTEC)	18
Abbildung 10 Verschaltung der beiden Referenz-Kollektorfelder mit je 4800 m ² Brutto-Kollektorfläche. Das linke Kollektorfeld verwendet Harfenkollektoren, das rechte Mäanderkollektoren (Philip Ohnewein, 2013)	19
Abbildung 11 Beispielhaftes Primärkreis-Hydraulikschema eines „Basis-Sicherheitskonzept“ (AEE INTEC)	26
Abbildung 12 Beispielhaftes Primärkreis-Hydraulikschema eines Sicherheitskonzepts mit Überstromventil und Auffangbehälter (AEE INTEC)	27
Abbildung 13 Beispielhaftes Primärkreis-Hydraulikschema eines Sicherheitskonzepts mit feldinterner Absperrarmaturen (AEE INTEC)	28
Abbildung 14 Beispielhaftes Primärkreis-Hydraulikschema eines Sicherheitskonzepts mit Überstromventil, Auffangbehälter und feldinterner Absperrarmaturen (AEE INTEC)	28
Tabelle 1: Allgemeine Simulationsergebnisse und Ergebnisse der charakteristischen Kennzahlen für die beiden Referenz-Kollektorfelder aus Abb. 3 (Philip Ohnewein, 2013)	19
Tabelle 2: Hydraulik- und Anlagebenchmarks internationaler solarthermischer Großanlagen (AEE INTEC)	24

9. Literaturverzeichnis

Roadmap „Solarwärme 2025“, Eine Technologie- und Marktanalyse mit Handlungsempfehlungen, Fink, C. & Preiss, P., AEE INTEC, 2014.

BMWFJ, BMLFUW (Hrsg.), 2010: Energiestrategie Österreich

10. Anhang

10.1 Teilnehmer am Task 45

Operating Agent

Mr. Jan Erik Nielsen

SolarKey International

Aggerupvej 1

4330 Hvalsoe

DENMARK

jen@planenergi.dk

4.546.461.229

Task Teilnehmer

Austria

Sabine Putz

SOLID GmbH

s.putz@solid.at

Christian Fink

AEE – INTEC

c.fink@aee.at

Samuel Knabl

AEE – INTEC

s.knabl@aee.at

Anna Katharina Provasnek

SOLID GmbH

a.provasnek@solid.at

Canada

Alfred Brunger

Exova
2395 Speakman Drive
L5K1B3 Mississauga
CANADA
alfred.brunger@exova.com

Doug McClenahan
Natural Resources Canada
580 Booth Street
K1A0E4 Ottawa, ON
CANADA
Doug.McClenahan@NRCan-RNCan.gc.ca

Bruce Sibbitt
Natural Resources Canada
580 Booth Street
K1A0E4 Ottawa
CANADA
Bruce.Sibbitt@NRCan-RNCan.gc.ca

China

Huang Xunquig
Center for Quality Supervision and Testing of Solar Heating Systems
(CABR)
No. 13, Jianye Mid-Road
Shunde High-Tech Industry Developmet Zone, Ronghue, Shunde,
Foshan
Guangdong
CHINA

Sun Yuquan
Energy Saving Product Quality Inspecting
SDQI

Li Yuwu
Energy Saving Product Quality Inspecting
SDQI

Denmark

Simon Furbo
Technical University of Denmark
sf@byg.dtu.dk

Leo Holm
Marstal Fjernvarme
info@solarmarstal.dk

Per Kristensen
Brædstrup Fjernvarme a.m.b.a.
pk@braedstrup-fjernvarme.dk

France

Philippe Papillon
CEA INES
philippe.papillon@cea.fr

Cédric Paulus
CEA INES
cedric.paulus@cea.fr

Germany

Harald Drucek
Institut fuer Thermodynamik und WaermetechNIK
drucek@itw.uni-stuttgart.de

Dirk Mangold
Solites
mangold@solites.de

Rolf Meissner (observer)
Ritter XL Solar GmbH
r.meissner@ritter-xl-solar.com

Dr. Thorsten Urbaneck (observer)
Chemnitz University of Technology
thorsten.urbaneck@mb.tu-chemnitz.de

Italy

Prof. Maurizio De Lucia
Università degli Studi di Firenze
delucia@unifi.it

Spain

Mateo de Guasalfjara
Universidad de Zaragoza
mateog@unizar.es

Maidier Epelde
TECNALIA
maider.epelde@tecnalia.com

Detta Schaefer
Catalonia Institute for Energy Research IREC
dschaefer@irec.cat

Luis M. Serra
Universidad de Zaragoza
serra@unizar.es

Aitor Sotil
TECNALIA
aitor.sotil@tecnalia.com

Marc Vives
Catalonia Institute for Energy Research IREC
mvives@irec.cat