

# CombiSol

Solar-Kombianlagen für Einfamilienhäuser  
Stand der Technik und Optimierungspotenziale

Á

A. Thür, G. Kuhness, J. Breidler

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

& /2011

## **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

[www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at)

# CombiSol

Solar-Kombianlagen für Einfamilienhäuser  
Stand der Technik und Optimierungspotenziale

Á

DI Dr. Alexander Thür, Gabriele Kuhness,  
DI (FH) Johann Breidler

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien  
Abt. Solarthermische Komponenten und Systeme

Gleisdorf, März 2011

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines beauftragten Projekts aus der Programmlinie *Haus der Zukunft Plus* im Rahmen des Impulsprogramms *Nachhaltig Wirtschaften*, welches 1999 als mehrjähriges Forschungs- und Technologieprogramm vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gestartet wurde.

Die Programmlinie Haus der Zukunft intendiert, konkrete Wege für innovatives Bauen zu entwickeln und einzuleiten. Aufbauend auf der solaren Niedrigenergiebauweise und dem Passivhaus-Konzept soll eine bessere Energieeffizienz, ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, nachwachsender und ökologischer Rohstoffe, sowie eine stärkere Berücksichtigung von Nutzungsaspekten und Nutzerakzeptanz bei vergleichbaren Kosten zu konventionellen Bauweisen erreicht werden. Damit werden für die Planung und Realisierung von Wohn- und Bürogebäuden richtungsweisende Schritte hinsichtlich ökoeffizientem Bauen und einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich demonstriert.

Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt dank des überdurchschnittlichen Engagements und der übergreifenden Kooperationen der Auftragnehmer, des aktiven Einsatzes des begleitenden Schirmmanagements durch die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik und der guten Kooperation mit der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft bei der Projektabwicklung über unseren Erwartungen und führt bereits jetzt zu konkreten Umsetzungsstrategien von modellhaften Pilotprojekten.

Das Impulsprogramm *Nachhaltig Wirtschaften* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert, aber auch elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



## Kurzfassung

Der Marktanteil von solaren Kombisystemen für die Raumheizungsunterstützung steigt europaweit deutlich an. Es werden zwar immer besser entwickelte Komponenten und Baugruppen am Markt angeboten, die Solar-Kombianlage als Ganzes wird aber in der Mehrheit der Fälle letztendlich durch den Installateur vor Ort geplant und errichtet. Die Qualität und Effizienz der Solar-Kombianlage ist daher nur zu einem relativ kleinen Teil durch die Solarindustrie beeinflussbar und kann naturgemäß vor Ort nicht durchgängig überprüft werden. Das Projekt CombiSol hat sich zum Ziel gesetzt, im Rahmen einer Evaluierungskampagne die Qualität und Effizienz installierter Solar-Kombianlagen zu evaluieren und darauf aufbauend Vorschläge für Maßnahmen zur Qualitätssicherung bzw. Qualitätsverbesserung zu erarbeiten. Folgende Arbeitspakete wurden dazu definiert:

- Erhebung und Klassifizierung von Standard Solar-Kombisystemen wie sie aktuell am Markt angeboten werden.
- Qualitative Evaluierung durch vor Ort Besichtigung von 70 Solar-Kombianlagen in den vier Partnerländern Schweden, Frankreich, Deutschland und Österreich.
- Quantitative Evaluierung durch ein einjähriges Messprogramm von 45 Solar-Kombianlagen in den vier Partnerländern.
- Erarbeitung von Empfehlungen für Hersteller, Anbieter und Installateure zur verbesserten Entwicklung, Planung bzw. Installation und Betrieb von Solar-Kombianlagen.
- Erarbeitung von ergänzenden Schulungsunterlagen für bestehende Ausbildungskurse für Solarplaner und Solarinstallateure.
- Messungen von Solar-Kombianlagen im Labor und Vergleich mit Feldmessungen mit dem Ziel die Vorhersagegenauigkeit der Systemtests im Labor zu evaluieren und damit die Erarbeitung der Normen von Systemtests zu unterstützen.

Die Markterhebung ergab, dass die Anzahl an Produkten von Kompakt Solar-Kombianlagen, die als Gesamtpakete angeboten werden, deutlich steigt. Im Statusbericht wurden 19 solche Systeme beschrieben.

Die qualitative Evaluierung der 70 Solar-Kombianlagen ergab ein differenziertes Bild, im wesentlichen gekennzeichnet durch die mehrheitlich noch individuell geplanten und mit Produktgruppen von unterschiedlichen Lieferanten zusammengestellten Solar-Kombianlagen. Alle untersuchten Anlagen waren jedenfalls in voll funktionsfähigem Zustand. Die Qualität hinsichtlich Minimierung der thermischen Verluste durch Wärmedämmung der Speicher bzw. der Hydraulik sowie durch die hydraulische und regelungstechnische Integration der Zusatzheizung zeigte in vielen Fällen teilweise deutliches Optimierungspotential.

Auch die Messergebnisse der 41 Feldanlagen zeigten in einer relativ großen Bandbreite, dass es in der Praxis gut und effizient, leider aber auch relativ schlecht funktionierende Solar-Kombianlagen gibt. Oft sind es Unzulänglichkeiten nur in einzelnen Punkten, die zu deutlich geringeren Einsparungen führen als eigentlich möglich wäre. Die große Bandbreite der Ergebnisse zieht sich gleich verteilt über alle beteiligten Länder wie auch über alle an den Messungen beteiligten Produkte bzw. Systemtypen. Einzig bei hohem Grad an Vorfertigung bzw. Kompaktheit und Vollständigkeit der Systeme (inkl. Zusatzheizung aus einer Hand) zeigte sich ein signifikanter Trend zu effizienteren Solar-Kombianlagen. In drei Labormessungen konnte eine relativ gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Feldmessungen wie auch Bestätigungen und Gründe für die teilweise auftretenden erhöhten Systemverluste gefunden werden.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass aktuell installierte Solar-Kombianlagen durchwegs funktionieren, Effizienzsteigerungspotential ist jedoch in fast allen Solar Kombianlagen vorhanden, dies kann durch deutliche Erhöhung des Vorfertigungsgrades und der Systemintegration erreicht werden.

## Abstract

The European market for solar combisystems for domestic hot water preparation and space heating is growing significantly. For such solar combisystems more and more improved components are available on the market, but still the installer is the main responsible person who does the installation and who decides on site what the entire system looks like. Therefore, quality and efficiency of the solar combisystem on site is not much influenced by the solar industry and can not be checked in each single case by industry experts. It was the goal of the project CombiSol to evaluate the quality and efficiency of state-of-the-art installed solar combisystems. Based on the evaluation results the main potentials for improvements have been described and measures to increase the quality of solar combisystems on site have been proposed. In order to reach these project goals the following work packages were defined:

- Collection and classification of standard solar combisystems existing on the market
- Qualitative evaluation of 70 solar combisystems by on site visitations in the four project countries Sweden, Germany, France and Austria.
- Quantitative evaluation by means of a one year monitoring campaign of 45 solar combisystems in all four partner countries.
- Elaboration of recommendations for producers, retailers and installers for improved development, planning, installation and operation of solar combisystems.
- Elaboration of new training material to support existing training activities for solar thermal planners and installers.
- Measurements on solar combisystems in the laboratory and comparison of the results with the in-situ measurements with the goal to test the quality of the performance prediction of laboratory system tests and to support CEN standardization activities for system tests.

A market analysis showed that the number of offered compact solar combisystems which are sold as complete packages is increasing significantly. In the state of the art report 19 such systems are described.

The qualitative evaluation of the 70 solar combisystems showed a quite differentiated image, mainly influenced by the mostly individually planned and installed solar combisystems based on products of different suppliers. The most important result is that all evaluated solar combisystems were in full operation. The quality in terms of efficiency was often not as expected due to reduced insulation quality of heat storage and piping. Also the integration of the auxiliary heater in terms of hydraulics and control concept showed high potentials for improvements.

In-situ monitoring results of 41 solar combisystems showed mostly well but also some badly operating solar combisystems. Often mistakes in just single points result in a significant reduction of energy savings. This wide range of results is quite equally distributed over the countries, the system types and the products as well. Only solar combisystems with high degree of compactness (i.e. including the auxiliary heater from a single supplier) and pre-fabrication showed significantly higher efficiency and performance. Three products of solar combisystems were measured in the laboratory and compared to in-situ measurements showing high degree of similarity of the results. Also increased heat losses and the reasons for that could be verified in the laboratory tests.

Summarizing, the project showed that all of the state-of-the-art installed solar combisystems worked in principle, but in almost all installations significant potentials for improving the efficiency and the energy savings exist. Improvements can be expected, if the degree of pre-fabrication and system integration is increased significantly.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>9</b>
<b>2 Projektinhalt</b> .....	<b>10</b>
2.1 Systemkonzepte für Solar-Kombianlagen.....	10
2.2 Produkte und Markttendenzen .....	13
2.2.1 Vorgefertigte Komponentengruppen.....	13
2.2.2 Vorgefertigte Kompaktlösungen .....	14
2.3 Ergebnisse der Qualitativen Anlagenevaluierung .....	17
2.3.1 Allgemeine Systembeschreibung .....	18
2.3.2 Kollektortyp und Solarkreis .....	19
2.3.3 Pufferspeicher.....	21
2.3.4 Wärmeabgabesysteme.....	22
2.3.5 Brauchwarmwasserbereitung .....	22
2.3.6 Nachheizung.....	23
2.3.7 Schlussfolgerungen der qualitativen Evaluierung.....	24
2.4 Ergebnisse der Feldmessungen .....	26
2.4.1 Allgemeine Informationen zu den vermessenen Systemen.....	29
2.4.2 Ergebnisse der Feldmessungen .....	35
2.4.3 Vergleich zwischen Laborprüfung und Feldmessungen .....	39
2.5 Empfehlungen für gut funktionierende Solar-Kombianlagen.....	41
2.5.1 Ein- oder Mehrspeicherkonzept .....	41
2.5.2 Speicher.....	42
2.5.3 Zusatzheizsystem .....	46
2.5.4 Raumheizung.....	47
2.5.5 Kollektorkreis.....	50
2.5.6 Allgemeine Aspekte .....	58
2.6 Potentialstudie für Solar Kombianlagen .....	60
<b>3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b> .....	<b>63</b>
<b>Verzeichnis verfügbarer CombiSol Projektberichte</b> .....	<b>66</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>68</b>



# 1 Einleitung

Solar-Kombianlagen sind solarunterstützte Heizungsanlagen, die sowohl der Warmwasserbereitung als auch der Heizungseinbindung dienen. Das Hauptziel des Projekts CombiSol (2007 - 2010) war es die aktuelle Qualität installierter markttypischer Solar-Kombianlagen zu dokumentieren und daraus Empfehlungen zur Optimierung bzw. Standardisierung abzuleiten und damit beizutragen den Markt für Solar-Kombianlagen positiv weiter zu entwickeln.

Dieses Projekt basierte im Wesentlichen auf den Arbeiten der IEA SHC Task 26 „Solar Combisystems“ (1998 – 2002) bzw. dem ALTENER Projekt „Solar Combisystems“ (2001 – 2003) und wurde von Partnern aus Schweden, Dänemark, Deutschland, Frankreich und Österreich durchgeführt.

Im Speziellen sollte über CombiSol folgendes erreicht werden:

- Feststellung der Qualität installierter Solar-Kombianlagen an Hand von Qualitäts-Checks vor Ort.
- Evaluierung der Anlageneffizienz durch Feldmessungen auf Monatsbasis.
- Ableitung von Empfehlungen zur Optimierung von Solar-Kombianlagen.
- Unterstützung der Marktakteure zur Entwicklung standardisierter und kostengünstiger Lösungen.
- Know-how-Transfer zu Installateuren und Planern.
- Entwicklung von einfachen Dimensionierungswerkzeugen, um die vereinfachte Vorplanung von Solar-Kombianlagen zu unterstützen.

Das Aufzeigen der Optimierungspotenziale im Bereich Solar-Kombianlagen soll zu höherer Effizienz beginnend in der Entwicklung der Komponenten und Systeme, Zusammenführen von Teilsystemen und Komponenten in der Planung und auch verbesserter Ausführung bei der Installation und damit zu einem weiteren nachhaltigen Marktwachstum beitragen.

Der Inhalt des vorliegenden Berichts ist folgendermaßen gegliedert:

Am Beginn wird in einem Statusüberblick eine Kategorisierung von zu Projektbeginn am Markt bestehender Systemkonzepte vorgenommen und ein prinzipieller Überblick der aktuell verfügbaren Solar-Kombisysteme auf Komponentenbasis bzw. der langsam mehr werdenden Kompaktsysteme mit hohem Vorfertigungsgrad gegeben.

Im nächsten Kapitel werden die Ergebnisse der Evaluierung von 70 Solar-Kombianlagen in Europa dargestellt, welche im Zuge des Projekts CombiSol in den teilnehmenden Ländern vor Ort genau unter die Lupe genommen wurden. Ein Teil dieser Anlagen wurde auch durch ein einjähriges Messprogramm begleitet.

Die Ergebnisse dieses Messprogramms präsentiert das anschließende Kapitel. Es werden die in allen Partnerländern untersuchten Anlagen in Bezug auf erreichte Energieeinsparung der Nachheizung dargestellt. Ebenfalls präsentiert wird der Vergleich zwischen durchgeführten Laborprüfungen und Feldmessungen für drei Solar-Kombisysteme.

Basierend auf den Erkenntnissen aus den qualitativen Evaluierungen und den Feldmessungen werden Empfehlungen für gut funktionierende Solar Kombianlagen zusammengefasst.

Das letzte Kapitel gibt einen Überblick über das bestehende Potential für Solar-Kombianlagen in Europa und in den im Projekt CombiSol teilnehmenden Ländern Dänemark, Deutschland, Frankreich, Österreich und Schweden für drei unterschiedliche Szenarien bis 2050.

## 2 Projektinhalt

### 2.1 Systemkonzepte für Solar-Kombianlagen

Der Bericht D2.4 „State of the Art Report“ welcher im CombiSol Projekt erstellt wurde, beschreibt mit Stand 2010 am Markt angebotene typische Konzepte und Systeme und teilt diese in sechs Haupttypen ein.

Moderne Solar-Kombianlagen von heute können grundsätzlich in sechs Kategorien klassifiziert werden, die sich aus 3 unterschiedlichen Warmwasserbereitungstypen (WW-Typ A, B, C) und 2 unterschiedlichen Einbindungstypen des Zusatzheizsystems (Zusatzheizsystem-Typ 1, 2) zusammensetzen (siehe Abbildung 1):

- WW-Typ A: Tank-in-Tank-System (ein Warmwasserspeicher befindet sich im Inneren des Pufferspeichers)
- WW-Typ B: Innenliegender Wärmetauscher (ein Warmwasser-Wärmetauscher befindet sich im Inneren des Pufferspeichers)
- WW-Typ C: Frischwassermodul (ein Warmwasser-Plattenwärmetauscher befindet sich außerhalb des Pufferspeichers)
- Zusatzheizsystem-Typ 1: Zusatzheizsystem eingebunden als Rücklaufanhebung (Das in Serie zum Solarspeicher nachgeschaltete Zusatzheizsystem hebt den solar vorgewärmten Rücklauf auf die vorgegebene Soll-Vorlauftemperatur an.)
- Zusatzheizsystem-Typ 2: Zusatzheizsystem beladet den Pufferspeicher

Es sind auch unterschiedliche Untertypen möglich, wie z.B.:

- WW-Typ C\*: Anstatt des externen Warmwasser-Wärmetauschers gibt es hier einen zusätzlichen Warmwasserspeicher mit innen liegendem Wärmetauscher. Dies ist gelegentlich dann der Fall, wenn eine solare Kombianlage im Zuge einer Sanierung zum bestehenden System gefügt wird.
- Zusatzheizsystem-Typ 2\*: Der Kessel des Zusatzheizsystems beladet den Pufferspeicher, zusätzlich dient ein 4-Wege-Ventil dazu den Pufferspeicher aus 2 unterschiedlichen Temperaturniveaus zu entladen.

Zusatzheizsystem-Typ 1 wird typischerweise angewendet, wenn:

- Die Leistung des Zusatzheizsystems kann in einem breiten Bereich moduliert werden und arbeitet trotzdem mit hoher Effizienz über die ganze Modulationsbreite und wenn passive Erwärmung über den Solarspeicher erfolgt (Brenner ist aus, aber die Rücklauftemperatur aus dem Speicher ist hoch) sind die eigenen Wärmeverluste relativ gering. Solche Zusatzheizsysteme sind in erster Linie Gasthermen oder kleine Ölkessel, Fern-/Nahwärmanschlüsse oder hochqualitative Wärmepumpen mit drehzahlgeregelten Verdichtern (oder Elektro Heizelemente)
- Solar-Kombianlagen eine relativ geringe solare Deckung (beispielsweise deutlich unter 20%) aufweisen. In solchen Anlagen kommt es eher selten vor, dass Raumheizung benötigt wird und der Kessel selbst auf Grund von ausreichend warmem Pufferspeicher nicht aktiv ist (Der Kessel würde in diesem Fall nämlich passiv aus dem Pufferspeicher geheizt, was zu entsprechenden Wärmeverlusten führen würde)

Zusatzheizsystem-Typ 2 wird typischerweise angewendet, wenn:

- Der Kessel hohe Laufzeiten benötigt, um hohe Nutzungsgrade zu erreichen: Standard-Wärmepumpen, Pelletskessel und Ölkessel im höheren Leistungsbereich
- Solar-Kombianlagen mit mittlerer bis hoher solarer Deckung (größer als etwa 20%), wo signifikant lange Perioden mit Raumwärmebedarf und gleichzeitig zur Verfügung stehender Solarenergie vorkommen. In diesem Fall würde der Kessel, wäre er nach Zusatzheizsystem-Typ 1 angeschlossen, in Zeiten in denen er passiv aus dem Pufferspeicher beheizt wird hohe Wärmeverluste aufweisen.

**Zusatzheizsystem 1:  
Zusatzheizsystem eingebunden als  
Rücklaufanhebung**

**Zusatzheizsystem 2:  
Zusatzheizsystem belädt  
den Pufferspeicher**

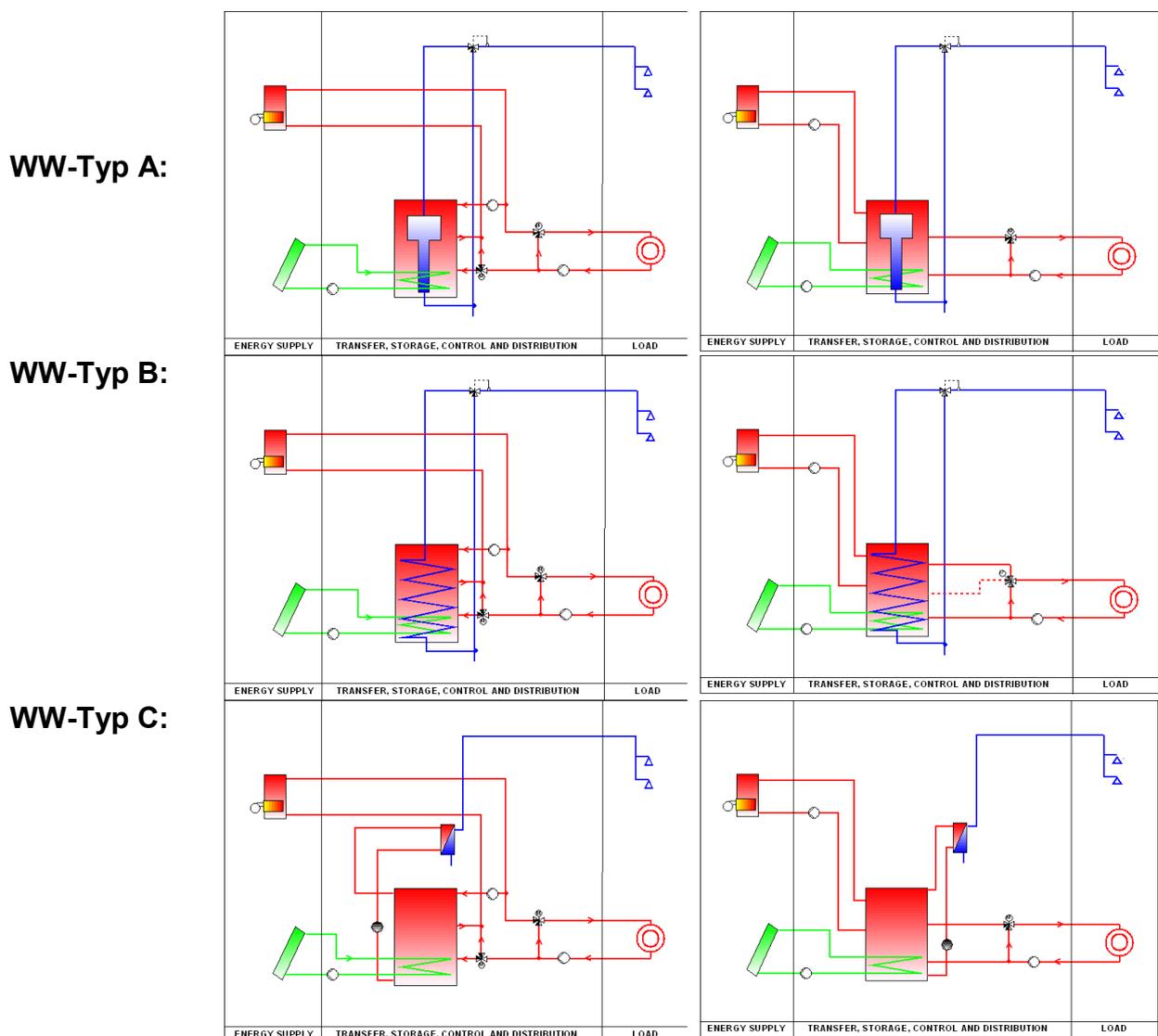


Abbildung 1: Hauptkategorien von Solar-Kombianlagen

Zusatzheizsystem-Typ 2 ist unbedingt notwendig, wenn:

- Das Zusatzheizsystem nicht einfach ausgeschaltet werden kann, solange der Brennstoff vorhanden ist: zB bei einem Stückholzkessel.
- Zusatzheizsysteme, welche eine relativ lange Mindestlaufzeit benötigen um effizient genug zu arbeiten, wie Hackgutkessel oder groß dimensionierte Pelletskessel.

Im Prinzip können alle Warmwasser-Typen mit allen Zusatzheizsystem-Typen kombiniert werden. Es sollte auf jeden Fall bedacht werden, dass ein hohes Bereitschaftsvolumen für die Warmwasserbereitung - welches auf hohem Temperaturniveau gehalten werden muss - auf der einen Seite zwar die ganze Zeit über warmes Wasser garantiert, jedoch auf der anderen Seite auch einen Hauptanteil der Verluste trägt. Da typischerweise keine höhenflexible Einbindung der Rohranschlüsse am Pufferspeicher möglich ist, sollte doch wenigstens der Temperaturfühler flexibel in der Höhe fixierbar sein, um eine optimale Anpassung des notwendigen Bereitschaftsvolumen in Abhängigkeit des spezifischen Warmwasserbedarfs der Personen im Haushalt zu ermöglichen.

Die Warmwasser-Typen A und B sind vor allem beim Einsatz eines Biomassekessels sinnvoll, da dieser hohe Vorlauftemperaturen mit mindestens 60°C bis 65°C liefert, was immer für die Warmwasserbereitung ausreicht. Außerdem wird ein Biomassekessel üblicherweise nach Zusatzheizsystem-Typ 2 betrieben und heizt somit jedes Mal wenn Raumheizung notwendig ist automatisch das Warmwasserbereitschaftsvolumen mit auf.

WW-Typ C, kann besonders vorteilhaft mit modulierenden, schnell reagierenden und ausreichend leistungsstarken Kesseln wie Gastherme, Ölkessel und Nah- oder Fernwärme kombiniert werden. Bei dieser Kombination ist es möglich, das Bereitschaftsvolumen sehr klein zu halten, da schon ein geringes Heißwasservolumen oben im Pufferspeicher Warmwasser in der gewünschten Temperatur zur Verfügung stellt. Wird diese Eigenschaft optimal ausgenutzt, kann der Hauptanteil der Speicherkapazität für die Solaranlage freigehalten werden oder kann kalt gehalten werden, was zu minimalen Wärmeverlusten führt. Somit ergibt sich die Möglichkeit besonders kleine (billige) Speicher ohne Einbußen an solarer Deckung zu wählen.

## 2.2 Produkte und Markttendenzen

Während der letzten 10 Jahre ist durch die Einführung der vorgefertigten Komponentengruppen und gesamter vorgefertigter Kompaktsysteme eine signifikante Richtungsänderung bei Solar-Kombianlagen zu beobachten.

### 2.2.1 Vorgefertigte Komponentengruppen

Einige Firmen bieten eine breite Vielfalt von vorgefertigten Komponentengruppen an, welche beim Einsatz einer Solaren Kombianlage genutzt werden können:

- **Solarrücklaufgruppe**, welches die Solarpumpe, Rückschlagventil, Thermometer, Sicherheitsventil und oft auch die Regelung des Solarkreises beinhaltet.
- **Solarmodul**, welches neben der Solarrücklaufgruppe auch den externen Solarplattenwärmetauscher und gegebenenfalls ein Umschaltventil im Solarvorlauf zur temperaturorientierten Schichtung in den Pufferspeicher beinhaltet.
- **Heizkreismodul**, welches zwischen unterschiedlichen Hydraulikkomponenten in Abhängigkeit des ausgeführten Heizkreises variiert. Diese Einheiten beinhalten Pumpen, 3-Wegeventile, usw.



Abbildung 2: Solarrücklaufgruppen (Viessmann, SOLution, Tisun, Sonnenkraft, Bosch-Junkers)



Abbildung 3: Warmwassermodul (SOLution, Sonnenkraft)



Abbildung 4: Heizkreismodul (Sonnenkraft, Vaillant)

In einigen Fällen, sind diese vorgefertigten Komponentengruppen direkt am Pufferspeicher befestigt und mittels Edelstahl Wellrohrverbindungen an den Pufferspeicher angeschlossen. Diese Ausführung verringert die Arbeit des Installateurs sowie die Gefahr des falschen Anschlusses, jedoch sollten die Dämmung des Pufferspeichers sowie der flexiblen Rohrleitungen und der vorgefertigten Komponentengruppe hochwertig und als Thermosyphonanschlüsse ausgeführt sein, um Wärmeverluste über diese Kältebrücken möglichst zu minimieren.

### 2.2.2 Vorgefertigte Kompaktlösungen

In einem ersten Schritt wurden am Markt vorgefertigte Komponentengruppen angeboten, um den Arbeitsaufwand vor Ort einzusparen und die Gefahren von fehlerhafter Dimensionierung und Montage einzudämmen. Im zweiten Schritt wird nun vermehrt die Entwicklung von kompletten vorgefertigten Kompaktsystemen vorangetrieben.

Diese Systeme beinhalten auch das Zusatzheizsystem (Kessel) und sind als eine Kompakteinheit ausgeführt, welche sowohl die Wärme für die Heizung als auch das Brauchwasser mit Hilfe der Solarenergie und des Zusatzkessel liefert. Diese Kompaktlösungen bieten große Vorteile im Bezug auf Platzeinsparung, Reduzierung der Arbeit des Installateurs, Minimierung von möglichen Installationsfehlern. Zusätzlich werden damit durch die höhere Kompaktheit (geringere Länge und Anzahl an Rohrleitungen) die Wärmeverluste verringert. Besonders die eindeutig vorgegebene und aus einer Hand stammende hydraulische und regelungstechnische Integration der Nachheizung verhindert konzeptionelle Installations- und Inbetriebnahmefehler und sollte letztendlich einen effizienten Betrieb des Gesamtsystems garantieren.

Die folgenden Abbildungen 5 bis 9 zeigen Beispiele vorgefertigter Kompaktlösungen mit unterschiedlichen Zusatzheizsystemen wie Gas-/Ölkessel bzw. -brenner, Wärmepumpe und Pelletkessel. (siehe Projektbericht D2.4).

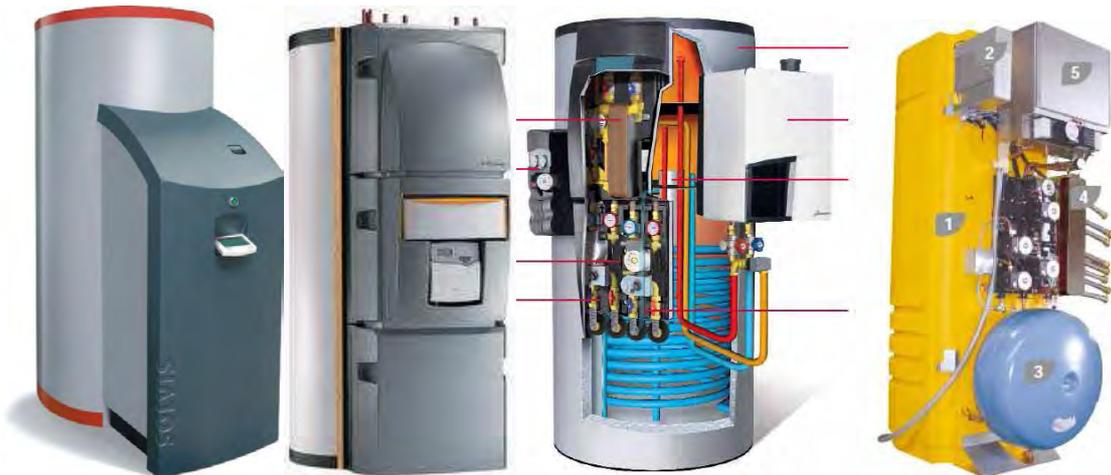


Abbildung 5: Solare Kompaktlösungen mit integriertem Brennwert-Gaskessel (Solvis, DeDietrich, Bösch, Clipsol)



Abbildung 6: Weitere solare Kompaktlösungen mit integriertem Brennwert-Gaskessel (Rotex, Capito, Sonnenkraft/Dänemark)



Abbildung 7: Solare Kompaktlösung wahlweise mit integriertem Gas- oder Ölbrenner (Olymp)



Abbildung 8: Solare Kompaktlösung mit integrierter Wärmepumpe (Sonnenkraft)



Abbildung 9: Solare Kompaktlösungen mit integriertem Pelletskessel (Solarfocus, Ökofen)

## 2.3 Ergebnisse der Qualitativen Anlagenevaluierung

Im Rahmen des CombiSol Projektes wurden insgesamt 70 Solar-Kombianlagen aus 4 Ländern (Österreich: 20, Deutschland: 6, Frankreich: 24, Schweden: 20) (Beispiele davon siehe *Abbildung 10* und *Abbildung 11*) von nationalen Experten qualitativ evaluiert.



*Abbildung 10: Beispielfotos evaluerter Anlagen in Österreich (Bildquelle: AEE INTEC / Österreich)*



*Abbildung 11: Beispielfotos evaluerter Anlagen in Frankreich (Bildquelle: INES Education / Frankreich)*



*Abbildung 12: Beispielfotos evaluerter Anlagen in Schweden (links) und Deutschland (rechts) (Bildquelle: SERC / Schweden und ITW / Deutschland)*

Der eigens dafür entwickelte 17-seitige Fragebogen (siehe Abbildung 13 und Abbildung 14) wurde so konzipiert, dass anhand von insgesamt 131 Abfragepunkten jede der untersuchten Anlagen in acht Bereichen beurteilt werden konnte: Allgemeine Systembeschreibung, Kollektor, Solarkreis, Thermischer Speicher, Brauchwarmwasserbereitung, Raumheizungssystem (Wärmeabgabesystem), Zusatzheizung sowie Steuer- und Regelungstechnik. In diesem Kapitel sind die Ergebnisse der umfassenden Systemevaluierung von Solar-Kombianlagen in den Projektpartnerländern ausgewertet (siehe Projektbericht D5.4).

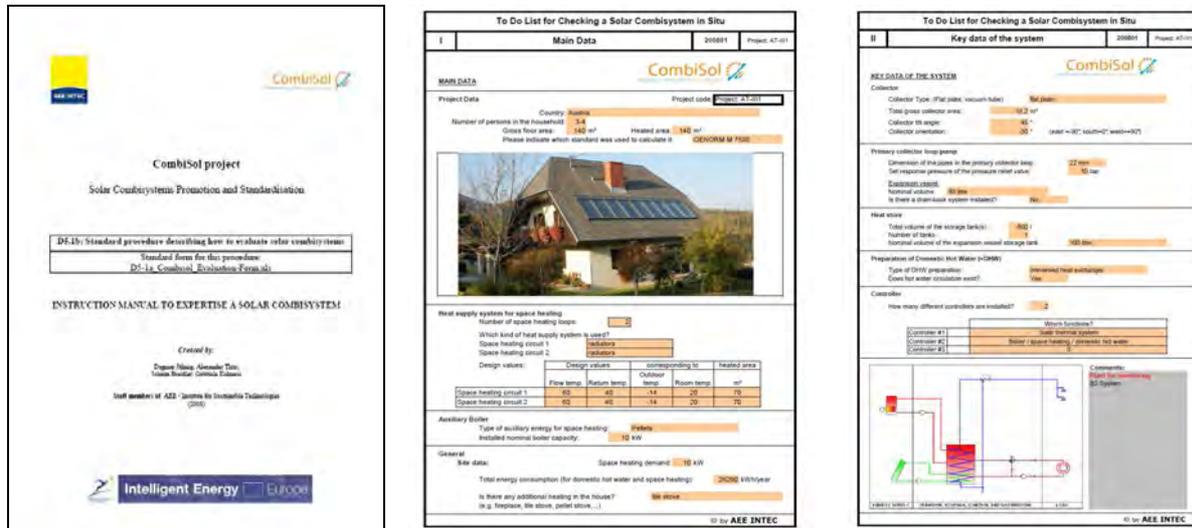


Abbildung 13: Fragebogen: Titelseite und die 2 Seiten zur allgemeinen Beschreibung des evaluierten Objektes.

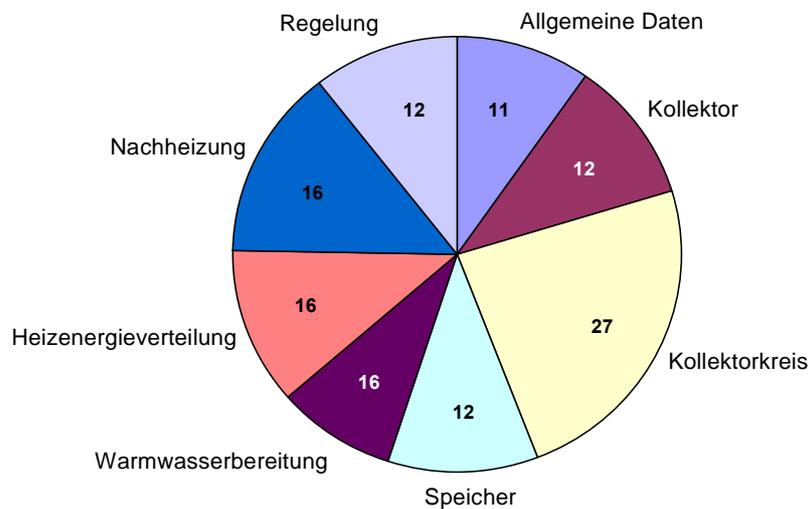
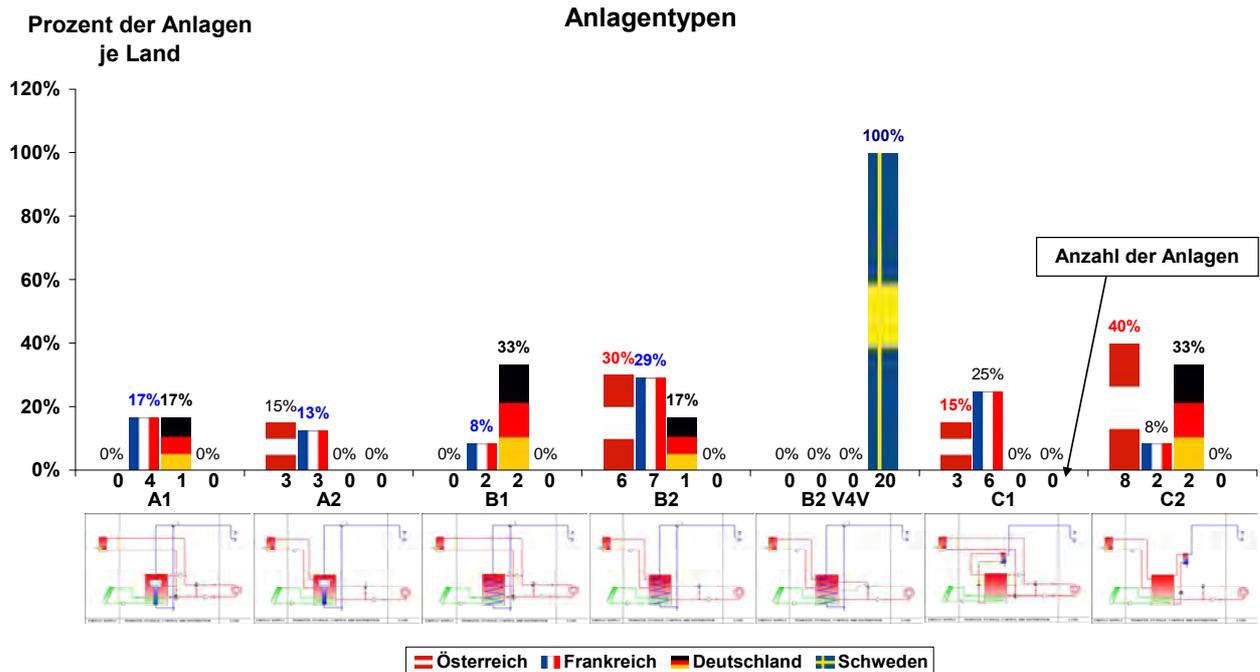


Abbildung 14: Aufteilung der Evaluierungspunkte im Fragebogen

### 2.3.1 Allgemeine Systembeschreibung

Rund 50% aller evaluierten Solar-Kombianlagen zählen zum Typ B2 (Kombispeichersystem mit internem Rohrwendelwärmetauscher zur Warmwasserbereitung und Nachheizung direkt in den Speicher). Häufig anzutreffen sind auch Systeme vom Typ C2 (17%) und C1 (13%), während die Mehrzahl der möglichen weiteren Systemtypologien nur rund 7% ausmachen.



*Abbildung 15: Einteilung in die unterschiedlichen Kategorien bezüglich der Zusatzheizungseinbindung und Warmwasserbereitung*

Allgemein ist festzustellen, dass die Anlagendokumentation (Hydraulikschema, Steuer- und Regelungsstrategie, Wartungsprotokolle...) häufig mangelhaft oder überhaupt nicht verfügbar ist, was nachträgliche Reparatur- oder Wartungsarbeiten erheblich erschwert. Ein Großteil der Anlagenbesitzer gibt an, mit der installierten Anlage zufrieden zu sein und auch von der Leistungsfähigkeit ist man grundsätzlich überzeugt. Die Mehrheit glaubt auch gut über die Funktions- und Betriebsweise ihrer Anlage Bescheid zu wissen – die Abfrage einzelner grundlegender Fakten zur eigenen Anlage kann diesen subjektiven Eindruck allerdings nicht bestätigen.

### 2.3.2 Kollektortyp und Solarkreis

Die meisten der untersuchten Solar-Kombianlagen sind mit Flachkollektoren bestückt, die entweder Auf- oder Indach installiert sind. Die Qualität der eingesetzten Kollektoren sowie deren Installation ist überwiegend hoch – als teilweise mangelhaft wurden jedoch außenverlegte Rohrleitungsdämmungen identifiziert, die ausreichend vor Witterung, UV-Strahlung und Tierbissen geschützt sein sollten (siehe *Abbildung 16* und *Abbildung 17*).

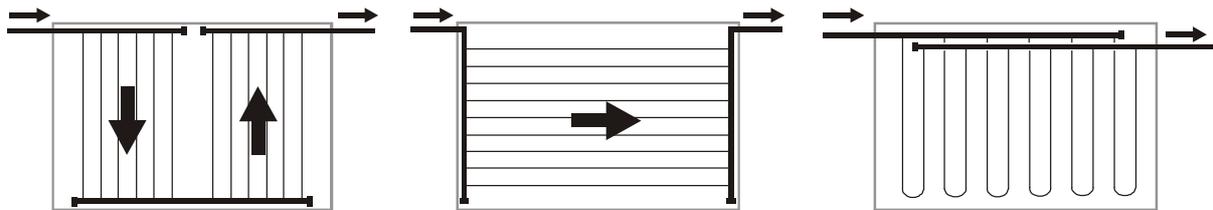


*Abbildung 16: links: gut gedämmte Rohrleitung im Außenbereich inklusive Schutz; rechts: die außengeführte Rohrleitung ist zwar gut gedämmt, der Schutz fehlt jedoch; (Bildquelle: INES Education / Frankreich)*

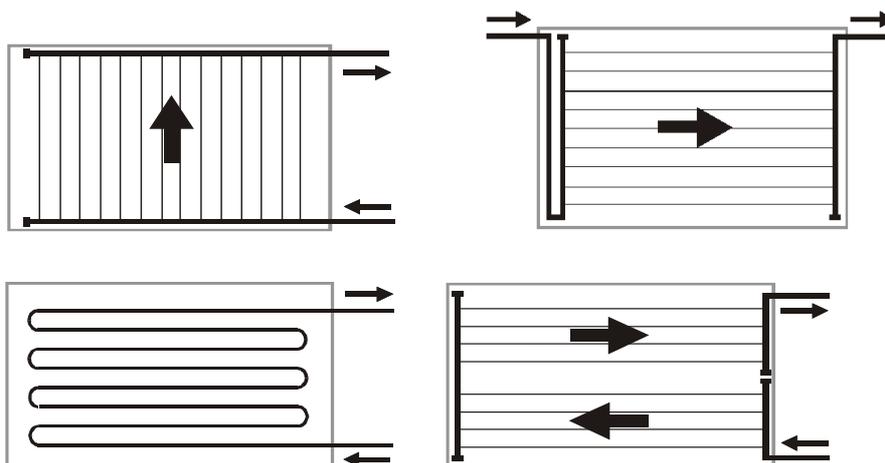


**Abbildung 17:** links: GUT: optimal gedämmte Rohrleitung im Außenbereich inklusive Schutz; rechts: SCHLECHT: vollkommen dämmungslose außengeführte Rohrleitung (Bildquelle: AEE INTEC)

Verbesserungspotentiale gibt es außerdem hinsichtlich der Kollektorfeldhydraulik. Hier zeigt sich im Speziellen bei größeren Kollektorfeldern, dass wenige ein gutes Entleerungsverhalten (siehe *Abbildung 18* und *Abbildung 19*) aufweisen und somit hohe thermische Belastungen im Stagnationsfall auftreten können.



**Abbildung 18:** Beispiele für interne Kollektorverrohrung mit schlechtem Entleerungsverhalten (Quelle: R.Hausner, AEE INTEC)



**Abbildung 19:** Beispiele für interne Kollektorverrohrung mit gutem Entleerungsverhalten (Quelle: R.Hausner, AEE INTEC)

Die Dimensionierung der Ausdehnungsgefäße hingegen wurde durchwegs richtig durchgeführt, weswegen von den Anlagenbesitzern auch über keine Probleme aufgrund von Anlagenüberhitzung/Stagnation berichtet wurde. In gut einem Drittel aller Anlagen fehlte jedoch der Überlaufbehälter beim Auslass des Überdruckventils. Nur in wenigen Fällen wurden im Solarprimärkreis temperaturkritische Komponenten eingesetzt, welche

möglicherweise bereits nach einigen Stagnationsperioden im Sommer wegen zu hoher thermischer Belastung ausfallen könnten.

### 2.3.3 Pufferspeicher

Der Pufferspeicher sollte die solar gewonnene Energie über ein bis zwei Tage speichern bzw. die Nachheizenergie für nur kurze Zeit puffern ohne dabei große Wärmeverluste aufzuweisen. Bei einer Reihe der untersuchten Systeme mussten leider hohe Wärmeverlustpotenziale festgestellt werden – hauptsächlich aufgrund von generell schlechter Dämmung besonders an der Speicheroberseite, Wärmebrücken an den Rohranschlüssen (sei es genutzte oder ungenutzte Anschlüsse) und wegen offener Dämmung bei Zugängen zu Tauchhülsen oder Nachheizregistern.



*Abbildung 20: Beispiele für mangelhafte Dämmung: Links: teilweise ungedämmte Oberseite des Pufferspeichers mit Tank in Tank-System, ungedämmte nach oben führende Rohrleitungen (Bildquelle: AEE INTEC); Mitte: 3 Pufferspeicher weisen ein schlechtes Volumen/Oberflächenverhältnis im Gegensatz zu einem großen Speicher auf; Rohrleitungen ungedämmt (Quelle: SERC/Schweden); Rechts: keine Dämmung ungenutzter Anschlüsse des Pufferspeichers sowie nach oben geführte ungedämmte Rohrleitung im oberen, warmen Bereich des Puffers (Quelle: INES/Frankreich)*

In einigen Fällen konnte festgestellt werden, dass auch die Dimensionierung des nötigen Speichervolumens zu groß durchgeführt wurde. Besonders in Kombination mit schnell reagierenden Erdgas- oder Ölkesseln werden Speichervolumina oft zu groß gewählt. Vor allem als Zwei- oder Mehrspeichersysteme verursachen diese Speicher dann allein aufgrund des ungünstigen Oberflächen/Volumen-Verhältnisses erhöhte Verluste. Auch nur vereinzelt wurden Rohranschlüsse mit Thermosiphonen ausgeführt, die einfach und effektiv interne Konvektionsverluste reduzieren würden. Zusätzlich wird auch häufig auf die Rohrleitungsdämmung im Technikraum verzichtet oder nur dort ausgeführt, wo es sehr einfach geht.



Abbildung 21: positive Beispiele: Links: optimal gedämmter Anschluss am oberen Bereich des Pufferspeichers, Mitte: Dämmung des ungenutzten Anschlusses sowie der Temperaturfühlers; Rechts: gedämmte und zuerst nach unten geführte Rohrleitungen (=Thermosyphon)(Bildquellen: INES Education: Mitte, AEE INTEC: links+rechts)

### 2.3.4 Wärmeabgabesysteme

Bei etwa der Hälfte aller untersuchten Systeme bestand das Heizungsverteilsystem aus nur einem hydraulischen Kreis, der entweder als Radiatorenkreis oder als Fußboden- bzw. Wandheizungskreis (Niedertemperaturheizkreis) ausgebildet war. In 40% der Fälle waren je ein hydraulischer Radiatorenkreis und ein Niedertemperaturheizkreis vorhanden. Bei den restlichen Anlagen gab es entweder 2 Radiatoren- oder 2 Niedertemperaturheizkreise.

Grundsätzlich positiv wurde die hydraulische Anbindung der Heizkreise an den Speicher evaluiert. Nur in einigen wenigen Fällen wird der Heizungsrücklauf zu hoch in den Speicher rückgeführt – allem Anschein nach wird der Kühleffekt, den die Brauchwarmwasserbereitung im unteren Teil des Speichers bewirkt, überschätzt.

Bei etwa 55% der Systeme aus den vier unterschiedlichen Ländern war die Qualität der Heizkreisisolierung (inklusive Pumpengruppen, Ventile...) gut, bei 15% akzeptabel und bei bemerkenswerten 30% aller Systeme war keine Dämmung im Technikraum vorhanden.

Die Leistungsfähigkeit einer solaren Kombianlage ist allgemein besonders von niedrigen Heizungsrücklauftemperaturen abhängig, da dadurch zum einen die Speicherkapazität erhöht wird und zum anderen die Wärmeverluste reduziert werden. Um diese niedrigen Rücklauftemperaturen zu gewährleisten, ist ein hydraulischer Abgleich der Heizkreise sowie der Einsatz von Thermostatventilen unumgänglich. Dies konnte aber leider im Rahmen der relativ kurzen Vorortüberprüfungen aus Zeitmangel nicht im Detail überprüft werden.

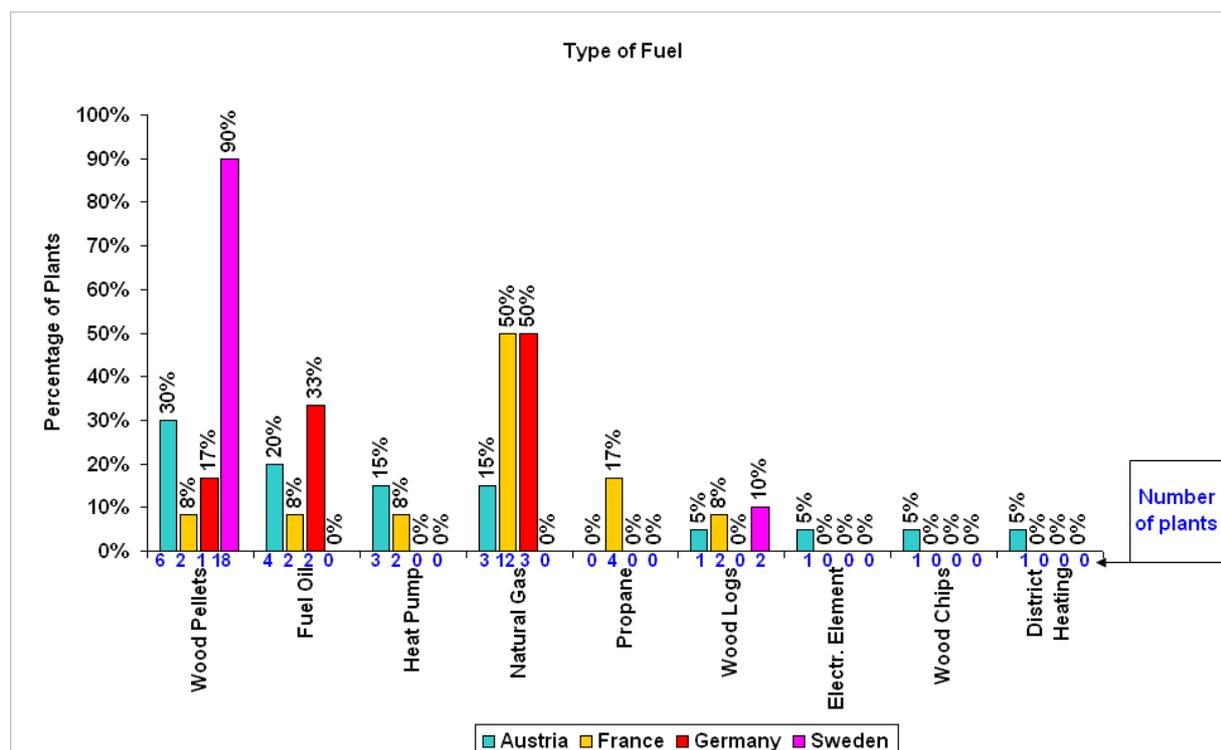
### 2.3.5 Brauchwarmwasserbereitung

Die Brauchwarmwasserbereitung erfolgt zu rund 50% mittels in Pufferspeicher integrierten Brauchwarmwasser-Wärmetauschern. Bei 21% der Systeme erfolgt die Brauchwarmwasserbereitung über externe Plattenwärmetauscher im Durchlaufprinzip und bei 13% der Anlagen kommen „Tank in Tank“ Kombispeicher zum Einsatz. Bei immer noch 14% der Anlagen gibt es neben dem Solarpufferspeicher einen externen Brauchwarmwasserspeicher – häufig ist dies der Fall bei Installation einer thermischen Solaranlage in einem bereits existierenden Haus in dem der bestehende Speicher weiter verwendet wird. Beachtliche Potentiale für Speicherverluste konnten bei einigen Tank-in-

Tank Systemen festgestellt werden, wo Wärmebrücken an den Rohranschlüssen an der heißen Speicherseite zu beträchtlichen Verlusten führen. Positiv evaluiert wurden externe Wärmetauschermodule, die sowohl hinsichtlich ihres Vorfertigungsgrades als auch hinsichtlich ihres Betriebsverhaltens laut den Bewohnern gute Resultate liefern. Besonders effizient sind Modullösungen von Herstellern, welche solche Frischwasserstationen am Speicher montiert anbieten (kurze Rohrleitungslängen vom Puffer mit hoher Temperatur, hoher Vorfertigungsgrad...). Bei etwa 30% der untersuchten Systeme ist eine Warmwasser-Zirkulationsleitung vorhanden. Zumindest einige dieser Zirkulationspumpen werden nach dem sehr effizienten Prinzip „Zirkulation bei Bedarf“ aktiviert. Das bedeutet, dass die Pumpe für die Brauchwarmwasserzirkulation manuell vom Nutzer beispielsweise über einen Taster in Betrieb genommen und nach einigen Minuten wieder automatisch abgeschaltet wird. Messergebnisse zeigen, dass die Wärmeverluste solcher Systeme unter 30% des Brauchwarmwasserbedarfs liegen, wohingegen Zirkulationsleitungen, die kontinuierlich oder über Zeitschaltuhren gesteuert betrieben werden bis zu 80% Verluste aufweisen.

### 2.3.6 Nachheizung

Die Nachheizung der evaluierten Anlagen erfolgt durch fast alle möglichen Kesseltypen. Ungefähr die Hälfte der Anlagen werden von Biomassekessel und 1/3 der Anlagen durch Gaskessel bzw. Brennwertthermen beheizt (genaue Aufteilung *Abbildung 22*).



*Abbildung 22: Unterschiedliche Heizsysteme als Zusatz der Solar-Kombianlagen welche im Rahmen des CombiSol Projektes evaluiert wurden.*

Bei 75% der Systeme erfolgt die Nachheizung direkt in den Speicher („Zusatzheizsystem-Typ 2“), während bei den übrigen Systemen der Kessel im Durchflussprinzip die erforderlichen Temperaturen für Heizung bzw. Brauchwarmwasser nach Vorwärmung durch den Solarspeicher bereit stellt. („Zusatzheizsystem-Typ 1“).

Vor allem bei Systemen mit direkter Beladung des Speichers wurde die hydraulische Einbindung sowie die Regelstrategie in einigen Fällen nur unzureichend gelöst: Anstatt den Pufferspeicher periodisch zu laden und zu entladen wird er häufig als hydraulische Weiche

betrieben, die konstant auf hoher Temperatur gehalten wird. Vor allem bei Brennwertgeräten, die auf niedrige Rücklauftemperaturen angewiesen sind, besteht hier Optimierungs- und Einsparungspotential.

### 2.3.7 Schlussfolgerungen der qualitativen Evaluierung

Ein zentrales Ergebnis der Untersuchungen an den Solar-Kombianlagen ist, dass eine Steigerung der Systemeffizienz weniger mit einer Erhöhung der solaren Gewinne zu erreichen ist, als viel mehr mit der Reduzierung systemgebundener Wärmeverluste.

Insbesondere für Hersteller von Komponenten für Solar-Kombianlagen, Systemanbieter, Installateure und Planer können aus der qualitativen Evaluierung, die im Rahmen des CombiSol Projektes durchgeführt wurde, folgende Empfehlungen abgeleitet werden:

- Im Dialog mit Installateuren sollten Systemanbieter und/oder Planer in ihren Empfehlungen zur Speicherauslegung sehr genau in Abhängigkeit des Systemkonzeptes (Typ 1 oder Typ 2) bzw. der Type des Nachheizkessels (schnell reagierender Brennwertkessel oder träger Biomassekessel) abwägen (simulieren!), wie groß das Puffervolumen wirklich sein soll und unnötig verlustbehaftete Zwei- oder Mehrspeicherkonzepte wenn irgendwie möglich vermeiden. Die Priorität bei der Optimierung einer Kombianlage soll bei einer möglichst hohen Brennstoffeinsparung liegen – und hier ist eine an 365 Tagen im Jahr wirksame effektive Speicher- und Rohrleitungs-dämmung einem zusätzlichem Speichertank in den meisten Fällen vorzuziehen.
- Dämmelemente für ungenutzte Rohrleitungsanschlüsse müssen so schnell als möglich zum Standard werden!
- Thermosiphon-Rohranschlüsse müssen zum Standard werden bzw. sollten Speicherhersteller und Systemlieferanten diese zu einer verpflichtenden Vorgabe für Installateure machen bzw. abwärtsgerichtete Speicheranschlüsse bereits vormontieren.
- Vorgefertigte Dämmelemente sind nicht immer so konstruiert, dass sie einwandfrei montiert werden können. Besonders der Speicherdeckel, der das ganze Jahr über heiß ist, sollte perfekt gedämmt werden. Das Speicherkonzept sollte daher Speicheranschlüsse am Deckel überhaupt vermeiden. Stattdessen sollten seitliche Speicheranschlüsse vorgesehen werden, welche innen mit ganz nach oben führenden Rohren verbunden sind und außen mittels Thermosiphon angeschlossen werden.
- Installateure sollten klar definierte Pläne für die hydraulisch und regelungstechnisch richtige Einbindung unterschiedlicher Nachheizsysteme erhalten. Es kann nicht sein, dass der Installateur ein Schema ausgehändigt bekommt, auf dem steht „die Einbindung des Kessels ist mit dem Kesselhersteller abzustimmen“. Die Kesselhersteller wissen genau wie ihr Produkt in einem konventionellen Heizsystem eingebunden werden muss, sie wissen aber in der Regel nicht, wie das Konzept der solaren Kombianlage funktionieren soll. Es ist also notwendig dem Installateur nur die Auswahl zwischen ganz genau definierten Einbindungskonzepten zu überlassen und ihn nicht nur mit prinzipiell möglichen Ideen auf die Baustelle zu schicken.
- Eine übersichtliche und umfassende Dokumentation der fertigen Anlage sollte Standard werden. Minimale Anforderungen an eine Anlagendokumentation sind ein korrektes Hydraulikschema mit Vermerk aller Sensoren und den zu regelnden Komponenten, die Dokumentation sämtlicher Reglereinstellungen und eine umfassende Betriebs- und Instandhaltungsanleitung.

- Aufgrund des großen Einflusses, den das Heizungsverteil- und Abgabesystem auf die solare Kombianlage hat, muss mittels hydraulischem Abgleich der Heizkreise bzw. Radiatoren sowie mittels Thermostatventile eine angemessene niedrige Rücklauftemperatur gewährleistet werden. Zudem soll der Anlagenbesitzer auf den großen Einfluss, den sein eigenes Nutzerverhalten auf die Effizienz der Anlage hat, aufmerksam gemacht werden bzw. entsprechend geschult werden wie z.B.: Thermostatventile richtig zu bedienen sind.
- Für außenverlegte Rohrleitungen im Kollektorprimärkreis sollten ähnlich den vorgefertigten Fernwärmeleitungen vorgefertigte Rohrleitungselemente von der Industrie entwickelt und angeboten werden, die angemessenen Schutz vor Witterung, UV-Strahlung und Tierbissen bieten. Mit einer entsprechenden Marktstrategie muss dann versucht werden, dass diese vorgefertigten Rohrleitungen dann auch von den Installateuren angenommen werden.
- Für die Installation größerer Kollektorfelder sollten gut entleerende Kollektoren bzw. gesamte Kollektorfelder für die im Sommer auftretenden Stagnationszeiten angeboten werden, besonders da zukünftig vermehrt größere Anlagen (deutlich über 20m<sup>2</sup>) mit höheren solaren Deckungsgraden installiert werden sollen.
- Der Durchmesser von Tauchhülsen sollte immer auf den Durchmesser von Temperatursensoren abgestimmt sein, um hohe Messgenauigkeit zu gewährleisten. Für Produkte, die nicht kompatibel sind, sollten Adapter entwickelt und angeboten werden, die einen guten thermischen Kontakt und eine sichere Fixierung der Sensoren gewährleisten.
- Lässt sich eine Warmwasser-Zirkulationsleitung nicht vermeiden, sollte zumindest die Ansteuerung der Zirkulationspumpe nach dem wesentlich effizienteren Prinzip „Zirkulation bei Bedarf“ realisiert werden. Dies bedeutet, dass der Bewohner mittels Taster die Zirkulationspumpe dann aktiviert, wenn er sie wirklich braucht. Gegebenenfalls kann dies mit einer sehr restriktiven kurzen Standardbetriebszeit, beispielsweise in der früh vor der alltäglichen Morgendusche gekoppelt werden, für den restlichen Tag gilt dann wieder die manuelle Aktivierung.

## 2.4 Ergebnisse der Feldmessungen

Für eine umfassende Felduntersuchung von Solar-Kombianlagen sind in vier Ländern (Österreich, Frankreich, Deutschland und Schweden) eine Vielzahl von bereits installierten Solar-Kombianlagen mit Messtechnik ausgestattet worden. Die verwendete Messtechnik ist detailliert im Dokument D4.1 "Specification for monitoring, collection and evaluation of results" beschrieben. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse, die entsprechend der im Dokument D4.2 "Guidelines for calculation of savings indicators" beschriebenen Auswertemethoden ermittelt werden, dargestellt.

Als Kenngröße wird der Wert der anteiligen Energieeinsparung ( $F_{sav}$ ) in Abhängigkeit von der Fractional Solar Consumption (FSC) angegeben [7]. Die Berechnungsmethode beruht auf einer Erstellung von monatlichen Energiebilanzen, die aus den gemessenen Energiemengen ermittelt werden. Der Wert  $F_{sav}$  vergleicht die Nachheizenergiemenge, die von der solaren Kombianlage benötigt wird mit der Nachheizenergiemenge eines konventionellen Systems ohne Solaranlage, die die gleiche Energiemenge für Heizung und Trinkwassererwärmung benötigt.

Am Ende des Projekts waren nicht für alle untersuchten Anlagen Messergebnisse verfügbar. Ursache hierfür war zum Einen, dass die Auswahl der Anlagen deutlich länger gedauert hat als geplant, da nur wenig Kunden bereit waren ihre Anlagen messtechnisch untersuchen zu lassen. Ein weiterer Grund war, dass die Installateure die Messtechnik nicht termingerecht bzw. zunächst fehlerhaft eingebaut haben. Jährliche Kennwerte konnten für 31 der 45 Anlagen ermittelt werden (69 %). (siehe Projektbericht D4.4)

Dennoch konnten im Verlauf des Projekts aus den Felduntersuchungen wichtige Erkenntnisse und Ergebnisse erzielt werden. Besonders hervorgehoben werden müssen dabei die hohen gemessenen Wärmeverluste, die an und zwischen den unterschiedlichen Systemkomponenten auftreten.

In diesem Kapitel sind zusätzlich zu den Ergebnissen des CombiSol Projekts Ergebnisse des französischen Projekts „Solcombi2“ aufgeführt. Dies gibt einen Überblick über die thermische Leistungsfähigkeit von kompakten, vorgefertigten Systemen.

Ziel war es 45 Solar-Kombianlagen im Feld messtechnisch zu untersuchen. Bis zum Ende des Projekts wurden 91 % des Ziels erreicht (vergl. Tabelle 1). Es wurden unterschiedliche Systemdesigns von Solar-Kombianlagen von insgesamt 9 unterschiedlichen Herstellern vermessen.

Tabelle 1: Zahl der vermessenen Systeme (Status 30. November 2010)

Hersteller	Österreich	Frankreich	Deutschland	Schweden	Gesamt
Hersteller 1			2		2
Hersteller 2		4			4
Hersteller 3				7	7
Hersteller 4	4	3			7
Hersteller 5	3				3
Hersteller 6				3	3
Hersteller 7	3	2			5
Hersteller 8		3	2		5
Hersteller 9		2	3		5
30.11.2010	10	14	7	10	41
	100%	93%	70%	100%	91%

Die vermessenen Systeme sind vorgefertigte Systeme. Das bedeutet, dass der Hersteller alle Komponenten verkauft, die zum Aufbau des Systems benötigt werden (Solarkollektoren, Wasserspeicher, Solarkreispumpe, Heizkreispumpe, Regelung und optional der Heizkessel). Diese vorgefertigten Systeme werden vor Ort vom Installateur aufgebaut, der sowohl den Einbauort bestimmt, als auch die Verrohrung zwischen den Komponenten realisiert.

Keines der vermessenen Systeme ist jedoch ein Kompaktsystem in dem Sinne, wie es im Bericht D2.4: „Updated State of the Art Report of Solar Combisystems Analysed within CombiSol“ auf Seite 63 beschrieben ist.

In Abbildung 23 ist die geographische Lage aller vermessenen Systeme in Europa und in Abbildung 24 jener der 10 Messanlagen in Österreich dargestellt. In Österreich befinden sich die meisten Systeme der Felduntersuchung in der Region Graz-Gleisdorf-Weiz, 2 Anlagen in Trofaiach bzw. Kammern (Steiermark) bzw. eine Anlage in Linz (Oberösterreich).

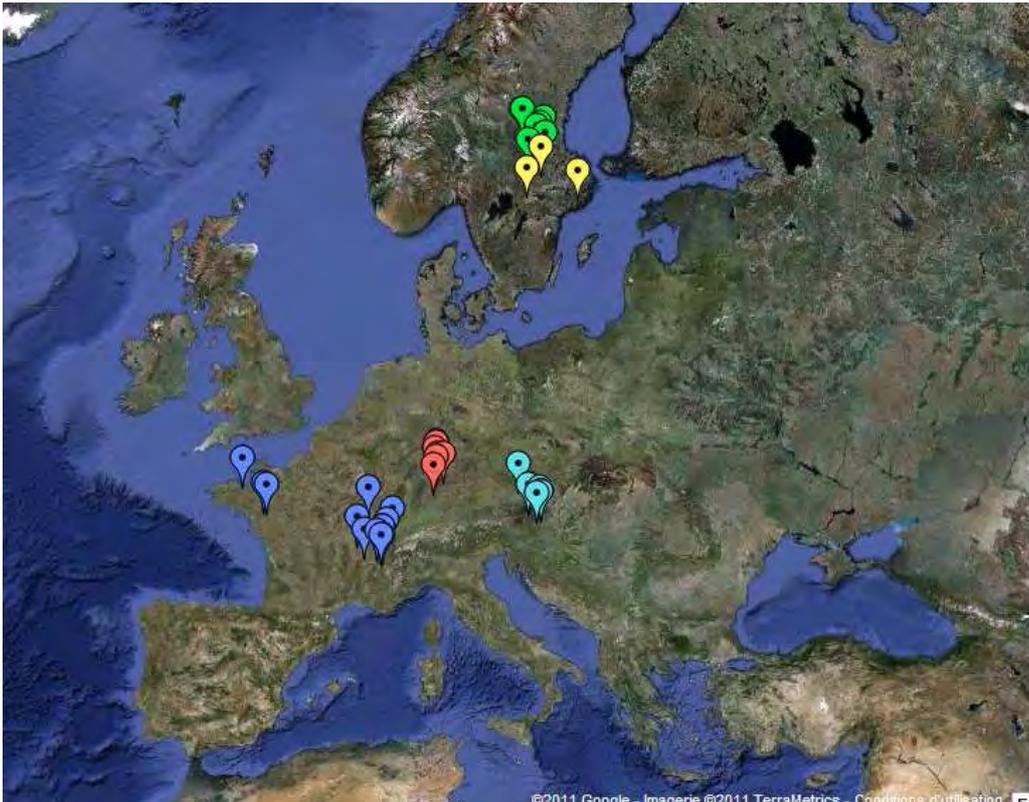


Abbildung 23: Geographische Lage der vermessenen Systeme in Österreich, Frankreich, Deutschland und Schweden

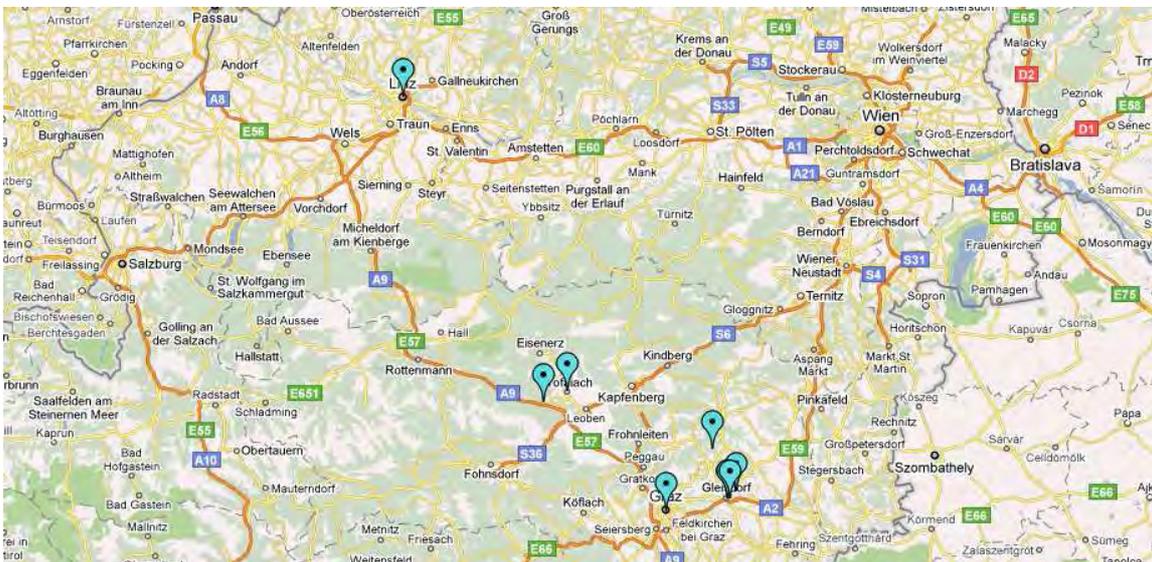


Abbildung 24: Geographische Lage der vermessenen Systeme in Österreich

In Tabelle 2 bis Tabelle 5 sind die wesentlichen Eckdaten der vermessenen Systeme in den 4 Ländern aufgelistet.

**Tabelle 2: Wesentliche Eckdaten der vermessenen Systeme in Österreich**

N°	Systemtyp	beheizte Fläche (m²)	Hilfsenergie	Kollektorfläche (m²)	Neigungswinkel (°)	Ausrichtung (°)	Speicher-volumen (l)	Raumheizungs-kreislauf 1	Raumheizungs-kreislauf 2
1	A2	110	Nahwärme	18,9	43	-45, 0, 45	1000	Radiatoren	Radiatoren
2	C2	220	Erdgas	20,3	30	-7	1250	Fußbodenheizung	Fußbodenheizung
3	C2	300	Außenluft-Wärmepumpe	16	45	35	1000	Fußbodenheizung	
4	B2	180	Holzpellets	16,4	45	44	1000	Radiatoren	
5	C2	180	Erdgas	20,2	25	30	1600	Radiatoren und Fußbodenheizung	
6	C1	100	Öl	20,4	61	-21	1600	Radiatoren	Fußbodenheizung
7	C2	300	Holzpellets	18	45	25(15)/-20(3)	1000	Fußbodenheizung	Radiatoren
8	B2	140	Holzpellets	18,2	45	-30	800	Radiatoren	Radiatoren
9	B2	270	Erdgas	32,2	45	0	2000	Wand- und Fußbodenheizung	
10	B2	270	Erdwärmepumpe	24,3	42	5	1500	Wand- und Fußbodenheizung	Radiatoren

**Tabelle 3: Wesentliche Eckdaten der vermessenen Systeme in Frankreich**

N°	Systemtyp	beheizte Fläche (m²)	Hilfsenergie	Kollektorfläche (m²)	Neigungswinkel (°)	Ausrichtung (°)	Speicher-volumen (l)	Raumheizungs-kreislauf 1	Raumheizungs-kreislauf 2
1	B2	150	Holzpellets	16,48	22	20	1000	Fußbodenheizung	Radiatoren
2	B2	160	Erdgas	14,7	41	0	1200	Fußbodenheizung	Radiatoren
3	B2	140	Holzpellets	16,2	60	0	1250	Fußbodenheizung	
4	B2	120	Erdgas	12,75	30	0	950	Fußbodenheizung	Radiatoren
5	B2	270	Wärmepumpe	14	30	0	950	Fußbodenheizung	Handtuchtrockner
6	A1	120	Propan	13,44	18	10	670	Fußbodenheizung	
7	A2	138	Wärmepumpe	12,12	45	0	820	Fußbodenheizung	Fußbodenheizung
8	A1	170	Erdgas	9	30	0	670	Fußbodenheizung	Radiatoren
9	B1	180	Erdgas	8,64	35	-55	870	Fußbodenheizung	Luftkonvektoren
10	B1	120	Erdgas	10,04	45	0	750	Fußbodenheizung	Radiatoren
11	A1	100	Erdgas	9	30	0	642	Radiatoren	
12	A1	90	Erdgas	9,33	30	-90	385	Radiatoren	
13	A1	235	Erdgas	10,5	25	-45	642	Radiatoren	
14	A1	180	Erdgas	10,5	45	0	642	Radiatoren	

**Tabelle 4: Wesentliche Eckdaten der vermessenen Systeme in Schweden**

N°	Systemtyp	beheizte Fläche (m²)	Hilfsenergie	Kollektorfläche (m²)	Neigungswinkel (°)	Ausrichtung (°)	Speicher-volumen (l)	Raumheizungs-kreislauf 1	Raumheizungs-kreislauf 2
1	B2 V4V	240	Holzpellets	10,8	33	-20	750	Radiatoren	
2	B2 V4V	214	Holzpellets	10,8	15	30	750	Radiatoren	
3	B2 V4V	300	Holzpellets	10,8	45	30	750	Radiatoren	
4	B2 V4V	390	Holzpellets	14,0	27	0	750	Radiatoren + Heizöl	
5	B2 V4V	150	Holzpellets	8,1	30	40	750	Radiatoren	
6	B2 V4V	176	Holzpellets	8,1	90	-40	750	Radiatoren	
7	B2 V4V	330	Scheitholz + Holzpellets	9,2	37	-10	2.250	Radiatoren	Radiatoren
8	B2 V4V	120	Holzpellets	9,2	49	-10	750	Radiatoren	
9	B2 V4V	290	Holzpellets	10,8	35	0	1.500	Radiatoren und Fußbodenheizung	
10	B2 V4V	300	Holzpellets	10,8	30	0	750	Radiatoren	

**Tabelle 5: Wesentliche Eckdaten der vermessenen Systeme in Deutschland**

N°	Systemtyp	beheizte Fläche (m²)	Hilfsenergie	Kollektorfläche (m²)	Neigungswinkel (°)	Ausrichtung (°)	Speicher-volumen (l)	Raumheizungs-kreislauf 1	Raumheizungs-kreislauf 2
1	A1	100	Erdgas	9,6	30	2	750	Fußbodenheizung	
2	B1	280	Holzpellets (Öl-Abschaltung)	12,7	30	10	750	Fußbodenheizung	Radiatoren
3	B2	210	Öl	15,1	30	4	950	Radiatoren	
4	B1	180	Erdgas	9,6	30	10	750	Radiatoren	
5	C2	240	Erdgas	15,0	35	100	950	Radiatoren	
6	C2	220	Öl	15,0	28	87	800	Radiatoren	

## 2.4.1 Allgemeine Informationen zu den vermessenen Systemen

Dieser Abschnitt präsentiert einige statistische Informationen der vermessenen Systeme. In *Abbildung 25* ist die Einteilung der Systeme in die unterschiedlichen Hydrauliklayout-Kategorien (beschrieben in 2.1) dargestellt:

- In Schweden weisen alle vermessenen Systeme das gleiche Hydrauliklayout auf. Die Systeme besitzen im Heizkreislauf ein spezielles 4-Wege-Ventil welches es erlaubt, dem Speicher auf unterschiedlichen Höhen Energie zu entnehmen (je nach dem Temperaturniveau auf der entsprechenden Speicherhöhe).

- In Frankreich ist keines der vermessenen Systeme mit einer externen Trinkwasserbereitung ausgestattet.

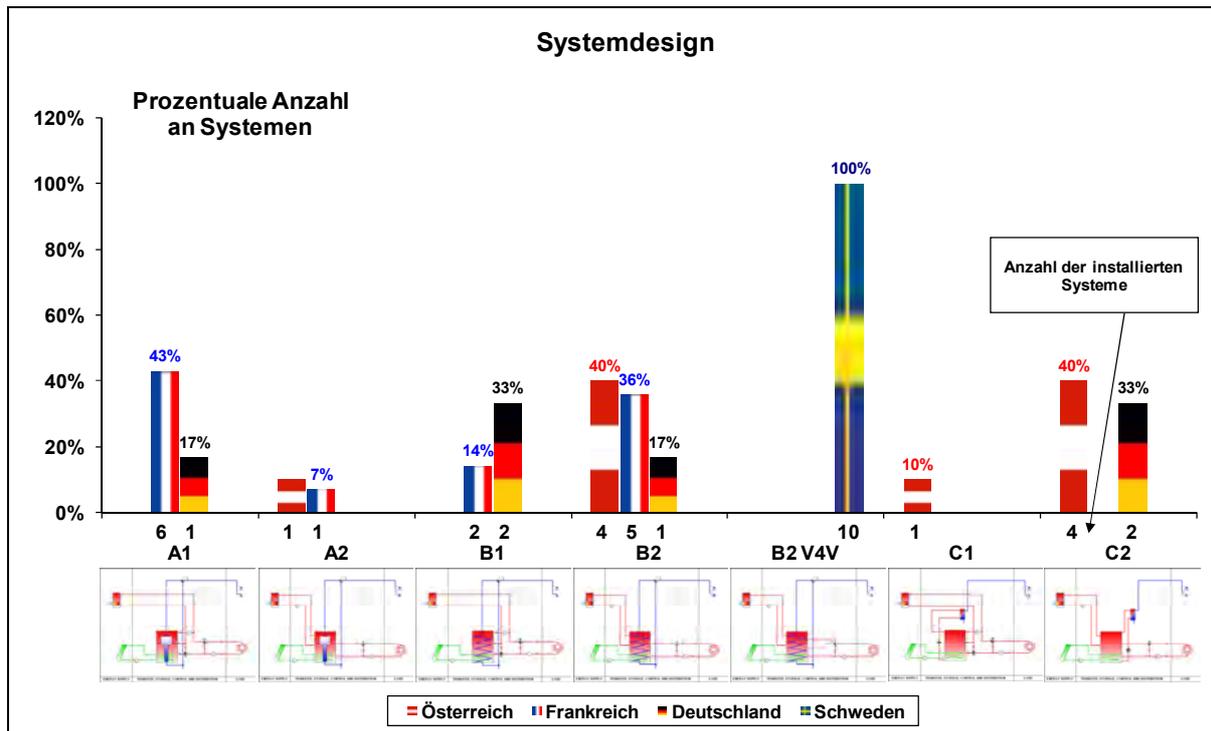


Abbildung 25: Systemdesign der vermessenen Systeme

In Tabelle 6 sind einige allgemeine Daten zu den vermessenen Systemen aufgelistet. Zusätzlich dargestellt sind die anfangs gesetzten Ziele:

Tabelle 6: Allgemeine Daten der 40 vermessenen Systeme

	Minimum	Mittel	Maximum
beheizte Fläche (m <sup>2</sup> ): Ziel	80	-	220
beheizte Fläche (m <sup>2</sup> )	90	200	390
Anzahl der Bewohner	2	3,3	5
Bruttokollektorfläche (gesamt, m <sup>2</sup> ): Ziel	8	-	30
Bruttokollektorfläche (gesamt, m <sup>2</sup> )	8,1	13,8	32,2
Speichervolumen (l)	632	980	2250

In Frankreich werden die Ziele hinsichtlich beheizter Fläche und Kollektorgröße im Mittel von den vermessenen Systemen erfüllt. In anderen Ländern, insbesondere in Schweden, sind die Gebäude, in denen die Solar-Kombianlagen installiert sind, deutlich größer. Die beheizte Fläche liegt im Mittel oberhalb der gesetzten Grenze von 220 m<sup>2</sup>. In Deutschland und Österreich befindet sich die mittlere beheizte Fläche ebenfalls Nahe der oberen Grenze.

Die Untersuchung zeigt, dass bei der Dimensionierung der Systeme kein offensichtlicher Zusammenhang zwischen der beheizten Grundfläche, den klimatischen Bedingungen und der Kollektorfläche besteht: Abbildung 27 zeigt, dass die schwedischen Systeme kleinere Kollektorflächen sowohl als die österreichischen Systeme als auch die französischen Systeme aufweisen. Dies ist auch ein Grund dafür, dass die in Schweden erreichten anteiligen Energieeinsparungen deutlich kleiner sind als in den anderen Ländern.

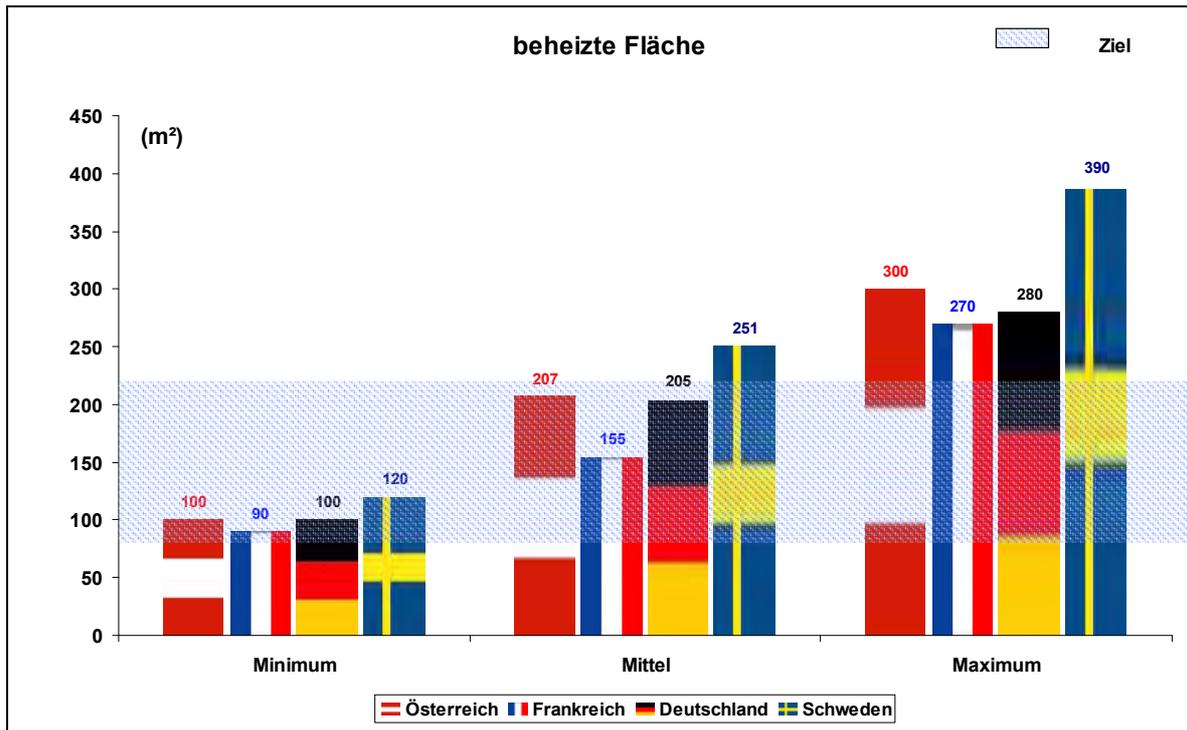


Abbildung 26: Beheizte Flächen der vermessenen Systeme

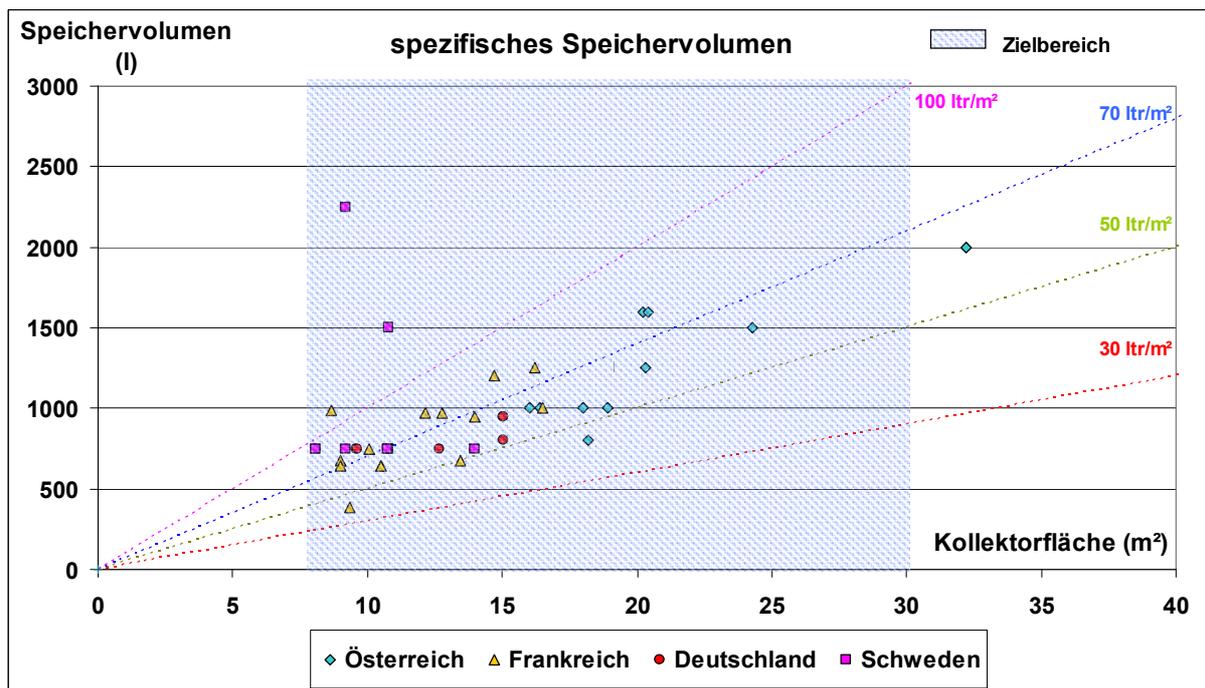


Abbildung 27: Dimensionierung der Systeme (Speichervolumen als Funktion der Kollektorfläche)

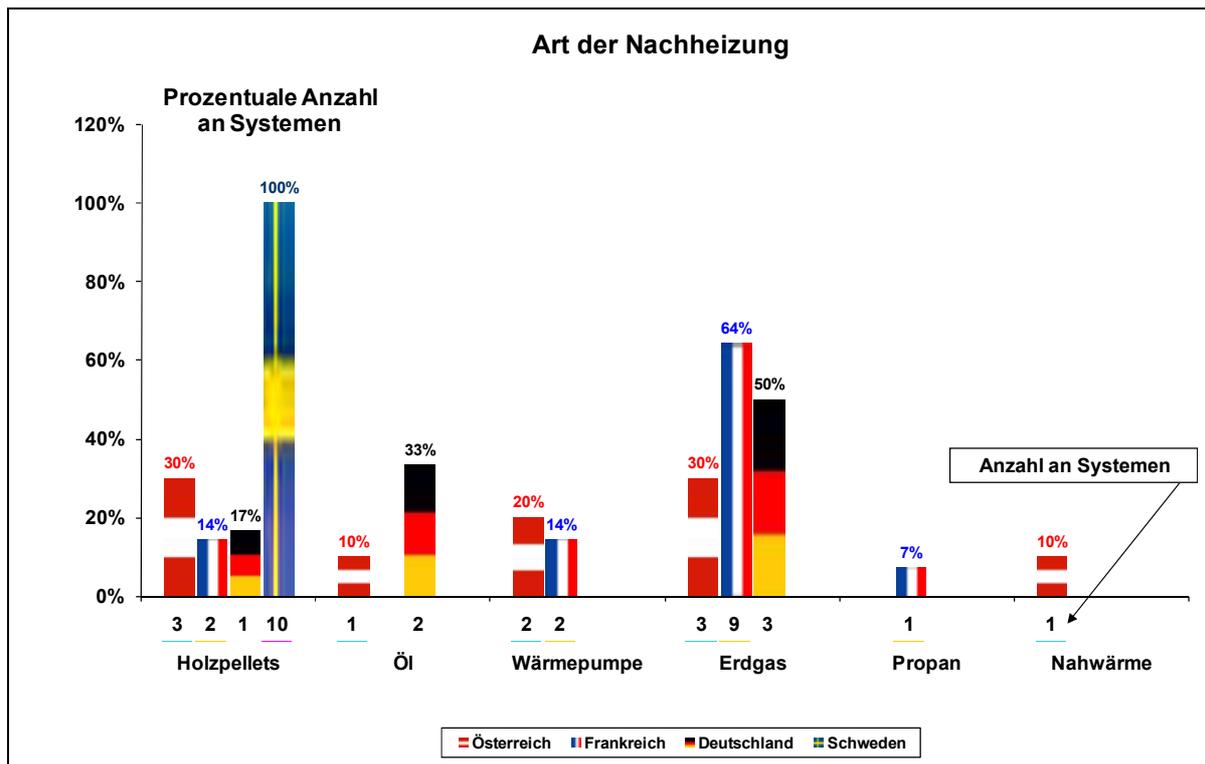


Abbildung 28: Art der Nachheizenergie

Die Trinkwasserbereitung (vergl. **Abbildung 29**) wird bei den meisten Systemen über einen in dem Wasserspeicher integrierten Wärmeübertrager realisiert. In Schweden weisen alle vermessenen Systeme diese Art der Trinkwasserbereitung auf.

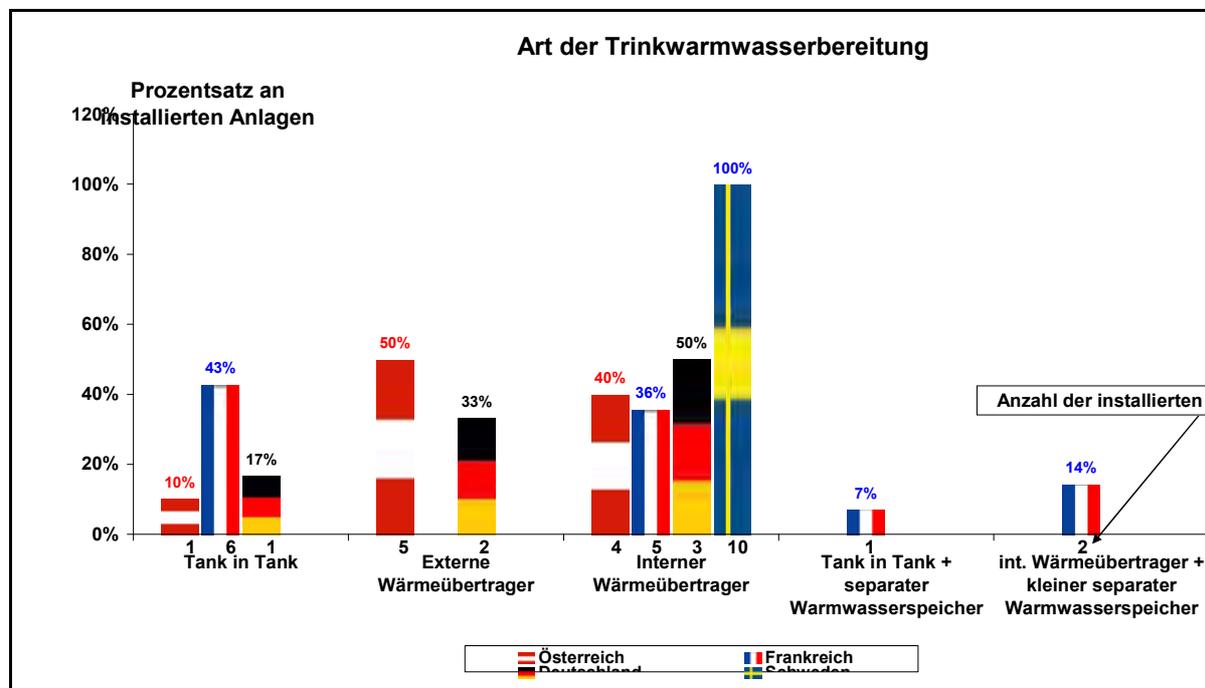


Abbildung 29: Art der Trinkwasserbereitung

In Frankreich und Schweden besitzt keines der vermessenen Systeme einen externen Wärmeübertrager für die Trinkwasserbereitung. In Frankreich haben einige Systeme einen zusätzlichen separaten Trinkwasserspeicher. In einem Fall wird das Trinkwasser bei Bedarf über eine Wärmepumpe in einem Tank in Tank Speicher vorgewärmt und anschließend über einen zusätzlichen elektrisch beheizten

Speicher auf die geforderte Trinkwassertemperatur erwärmt. In einem anderen Fall wird der Wasserspeicher nur mit Solarenergie aufgeheizt. Die Trinkwassererwärmung erfolgt über einen internen Wärmeübertrager und wird bei Bedarf in einem zusätzlichen Wasserspeicher über einen Gaskessel auf die geforderte Temperatur erwärmt.

Die meisten Systeme besitzen nur einen Wasserspeicher (vergl. Abbildung 30). Dies ist ein positiver Schritt zur Reduzierung der Wärmeverluste und zur Verbreitung von standardisierten kompakten Systemlösungen.

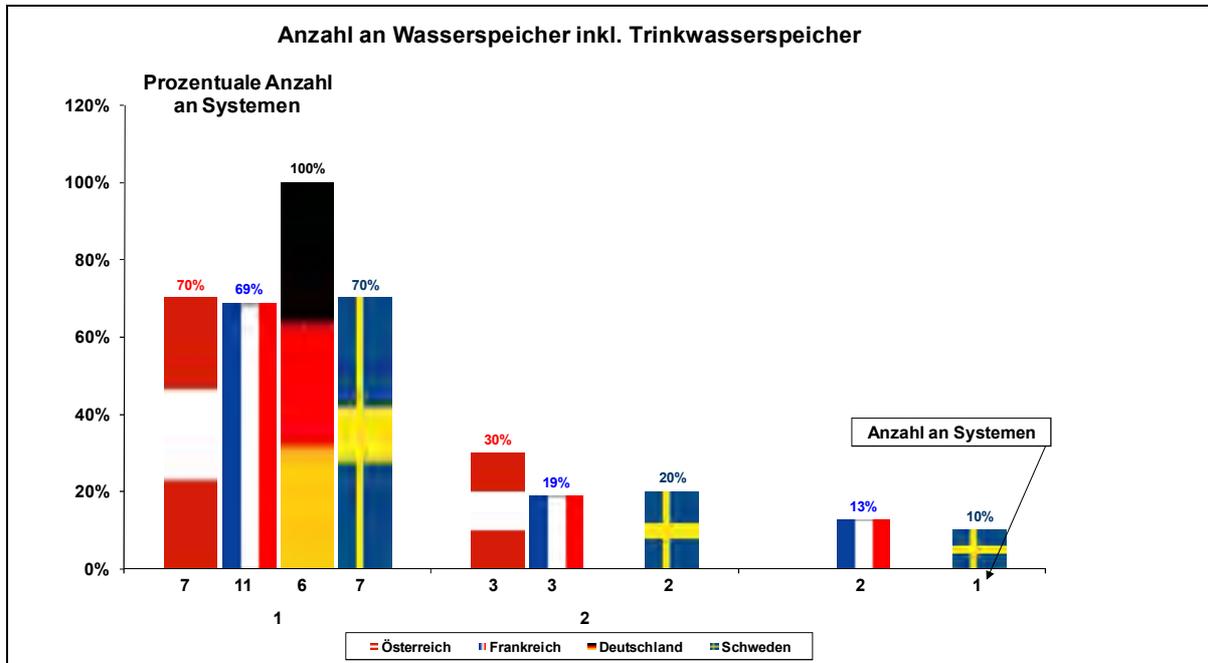


Abbildung 30: Anzahl an Wasserspeichern

Fast alle Systeme nutzen Flachkollektoren. Nur bei sechs Systemen, die in Frankreich installiert sind, werden Vakuumröhrenkollektoren eingesetzt. Ein Hersteller hat eine spezielle Regelstrategie entwickelt, um das Kollektorfeld gegen Frost zu schützen, ohne dem Wasser im Kollektorkreis Glykol beizumischen: In Zeiten von geringen Außentemperaturen wird die Kollektorkreispumpe gestartet, um eine geringe Energiemenge vom Wasserspeicher zum Kollektorfeld zu pumpen und so die Kollektoren vor Frost zu schützen. Um das Flüssigkeitsvolumen im Kollektorfeld gering zu halten, werden Vakuumröhrenkollektoren eingesetzt. Vier dieser Systeme werden in Frankreich vermessen.

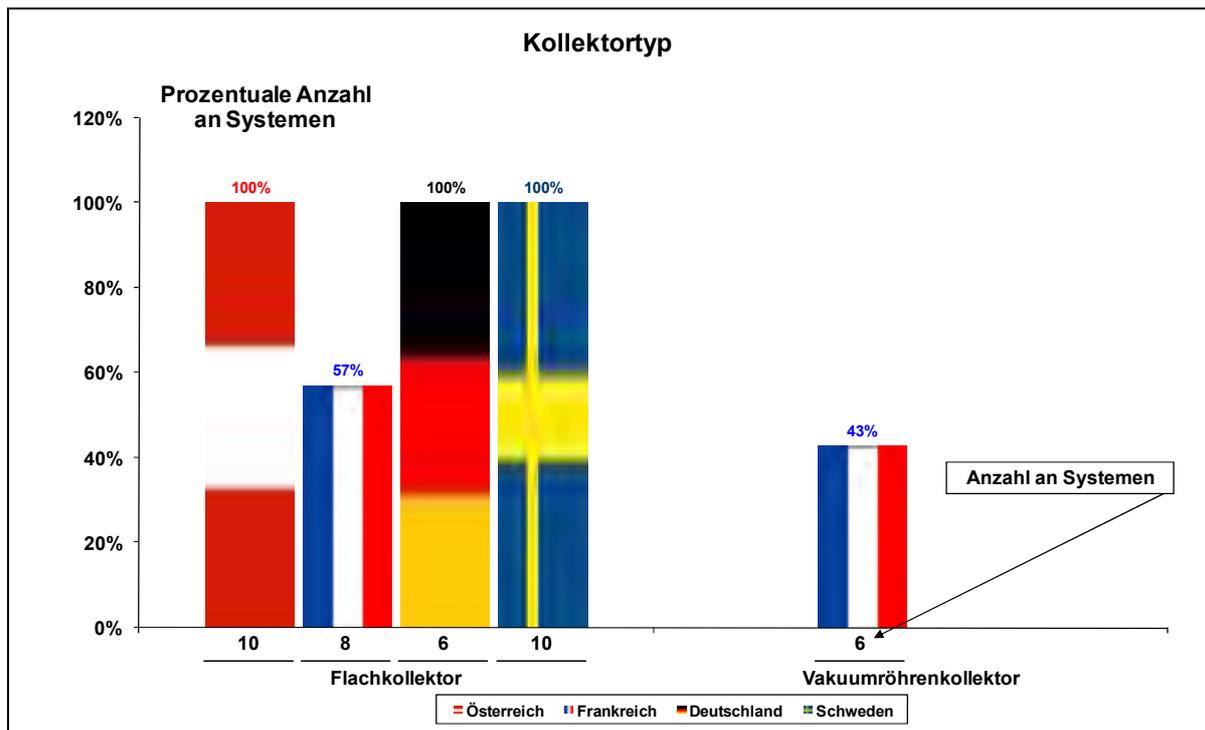


Abbildung 31: Kollektortyp

Die Wärmebereitstellung für Raumheizung erfolgt bei etwa der Hälfte der Systeme über zwei Heizkreisläufe. Niedertemperatur-Heizsysteme wie zum Beispiel Fußbodenheizung oder Wandheizung sind in der Minderheit. Diese Systeme sind jedoch aus energetischer Sicht sehr günstig, da aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus im Heizkreislauf der Anteil an solar bereitgestellter Wärme erhöht werden kann und damit eine Effizienzsteigerung des Gesamtsystems erreicht wird.

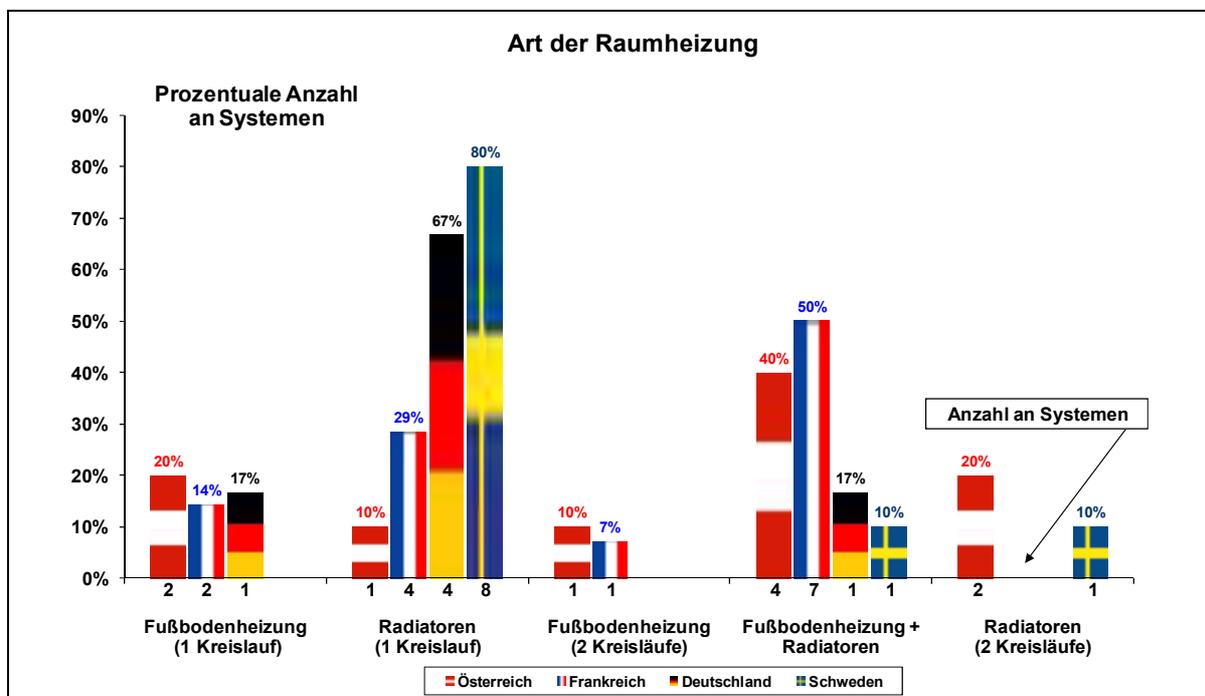


Abbildung 32: Anzahl der Heizkreisläufe und Art der Raumheizung

## 2.4.2 Ergebnisse der Feldmessungen

Der grundsätzliche Aufbau des Messkonzeptes für alle Messanlagen mit den Energiezählern ( $C_n$ ; Wärme bzw. Brennstoff Öl oder Gas), Pyranometer ( $I_c$ ), Technikstromzähler ( $W_{sol}$ ) sowie Raum- ( $\Theta_i$ ) und Außentemperaturfühler ( $\Theta_e$ ) ist in Abbildung 33 dargestellt.

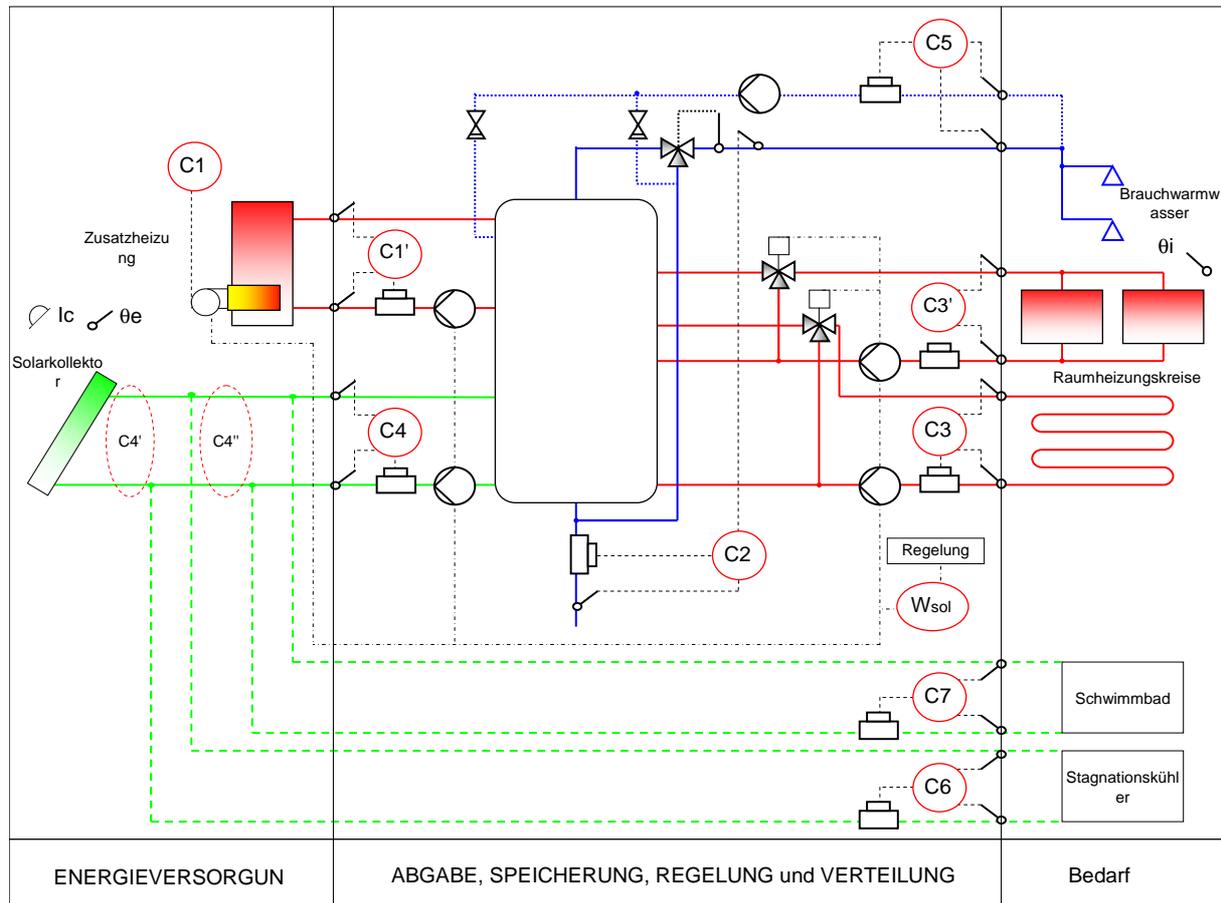


Abbildung 33: Einbauort der Messtechnik

Basierend auf den für jedes Haus gemessenen Energieverbräuche für Warmwasser und Heizung wurde ein Referenzheizsystem definiert, welches den gleichen Kessel wie die Solar-Kombianlage verwendet und um Referenzsystemverluste ergänzt.

Für Öl- bzw. Gaskessel sowie Wärmepumpen wurde zur Berechnung der Referenzverluste nur ein Warmwasserspeicher angenommen, der entsprechend der Hausgröße ein Volumen zwischen 100 und 150 Liter aufweist. Die Wärmeverluste wurden gemäß EN 12977 berechnet. Für Pelletkessel wurde ein Pufferspeicher mit integrierter Warmwasserbereitung mit 500 Liter Volumen und Wärmeverlusten ebenfalls gemäß EN 12977 angenommen (siehe „Verzeichnis verfügbarer CombiSol Projektberichte“: D4.2 ).

Der jeweils gemessene Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser plus den Referenzverlusten ergibt den jeweiligen Referenzheizenergiebedarf (= vom Kessel wasserseitig erzeugte Heizenergie) der Referenzanlage, welcher als Vergleichswert zur Berechnung der „Relativen Energieeinsparung“ herangezogen wird.

In Abbildung 34 ist die so berechnete Relative Energieeinsparung über den FSC (Fractional Solar Consumption) dargestellt. Der FSC ist ein rein theoretischer Vergleichswert, der angibt wie groß der solare Deckungsgrad sein würde, wenn die auf die Kollektorfläche der gemessenen Solar-Kombianlage eintreffende Solarstrahlung zu 100% (also ohne jegliche

Verluste) zur Abdeckung des Heiz- bzw. Warmwasserbedarfes genutzt werden könnte. Der Jahres-FSC wird aus den 12 einzelnen Monatswerten gewichtet gemittelt, wobei jeder Monats-FSC maximal 1 (=100%) sein kann. Entsprechende solare Überschüsse in den Sommermonaten werden also nicht in die Wintermonate übertragen. Dieser FSC ist damit eine Vergleichsgröße, in der für jede betrachtete Solar-Kombianlage das Standortklima (Einstrahlung, Heizgradtagzahl), die Kollektorgröße und Ausrichtung sowie der Energiebedarf des Gebäudes enthalten ist. Damit kann ein Niedrigstenergiehaus mit großer Solar-Kombianlage (relativ hoher FSC) mit einer relativ kleinen Solar-Kombianlage in einem Standardhaus (relativ kleiner FSC) verglichen werden. Wenn die Punkte relativer Einsparung auf einer Kurve parallel zu der den Sollbereich markierenden blauen Kurven liegen, dann sind die Solar-Kombianlagen in etwa gleichwertig, auch wenn die relative Einsparung deutlich unterschiedlich ist.

In Abbildung 34 ist ersichtlich, dass rund ein Viertel der gemessenen Anlagen innerhalb des Sollbereiches liegen, die restlichen Anlagen haben teilweise deutliches Verbesserungspotential. Die Länderverteilung zeigt deutlich, dass es überall gute und schlechte Anlagen gibt. Auch die Verteilung nach Hersteller (hier nicht dargestellt) zeigt die gleiche Verteilung, von jedem Hersteller gibt es gute und schlechtere Anlagen.

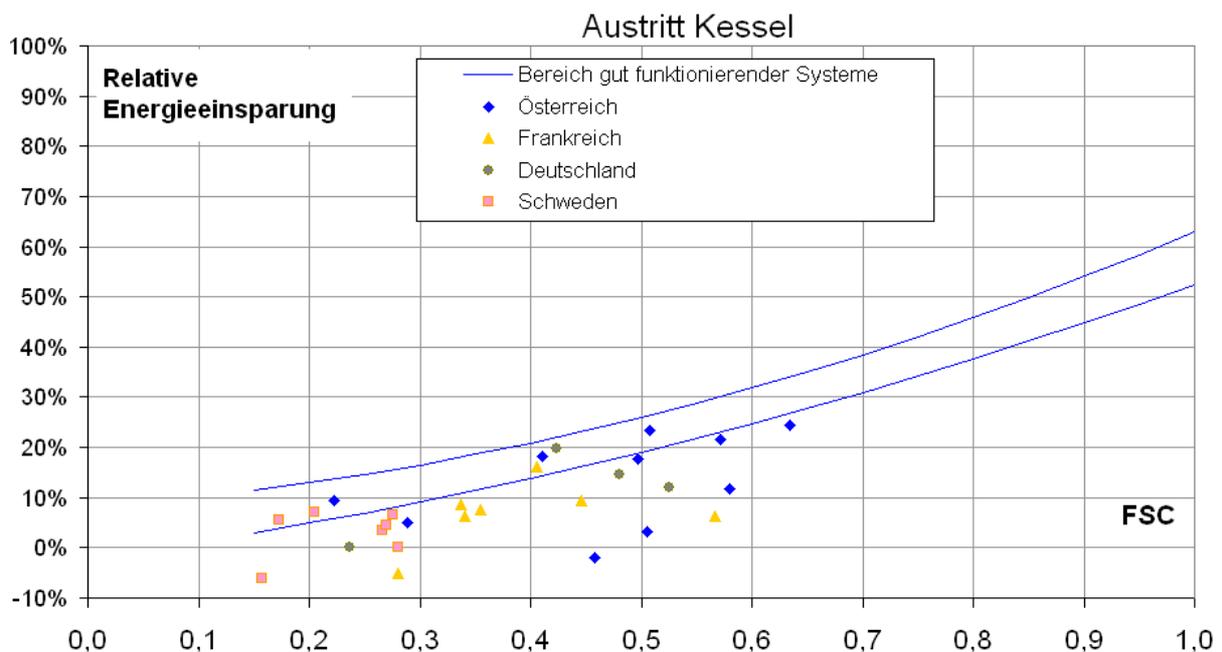


Abbildung 34: Relative Energieeinsparung aller CombiSol Messanlagen

In Abbildung 35 sind zusätzlich zu den CombiSol Messungen die Ergebnisse des französischen Projektes SolComb2 dargestellt. In SolComb2 wurden nur solche Anlagen vermessen, die als hochgradig vorgefertigte Kompakteinheit geliefert und installiert wurden, während alle CombiSol Anlagen von den Installateuren aus Komponentengruppen zusammgebaut wurden. Diese Komponentengruppen (Solarpumpengruppe, Warmwassermodul, Kessel, Speicher, etc.) waren teilweise von einem Hersteller aber oft auch von verschiedenen Herstellern, insbesondere der Kessel. Es ist deutlich zu sehen, dass die vorgefertigten Kompaktsysteme aus dem SolComb2 Projekt im Schnitt deutlich bessere Ergebnisse aufweisen. Die bessere hydraulische und regelungstechnische Integration der Nachheizung in den vorgefertigten Kompaktsystemen und die räumliche Kompaktheit dürften zwei wesentliche Gründe für die durchschnittlich besseren Ergebnisse sein.

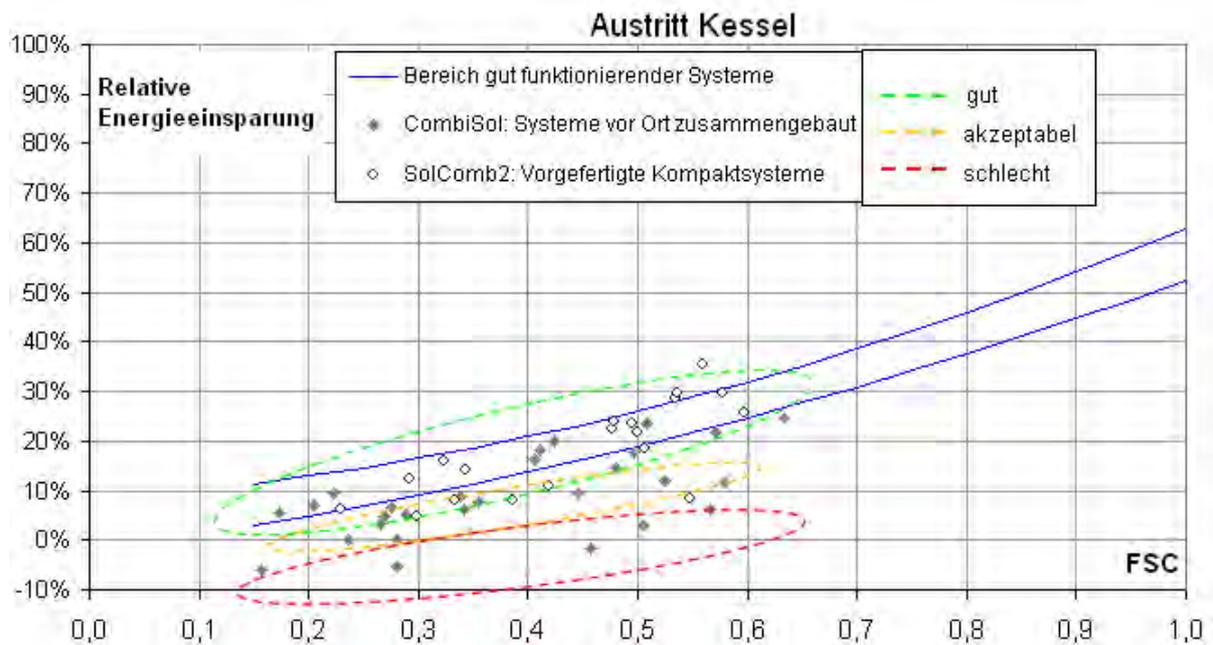


Abbildung 35: Relative Energieeinsparung der CombiSol Messanlagen im Vergleich zu den Messanlagen des französischen SolComb2 Projektes mit ausschließlich vorgefertigten Kompaktsystemen

Die gemessenen spezifischen Jahres-Kollektorserträge der zehn Solar-Kombianlagen in Österreich sind in Abbildung 36 dargestellt. Im Mittel wurden  $322 \text{ kWh/m}^2$  bei einer Bandbreite von minimal  $274$  bis maximal  $428 \text{ kWh/m}^2$  gemessen. Der für Solar-Kombianlagen typischerweise als Minimalwert angenommene Kollektorsertrag von  $250 \text{ kWh/m}^2$  wurde bei diesen Anlagen also in allen Fällen teilweise sogar deutlich übertroffen.

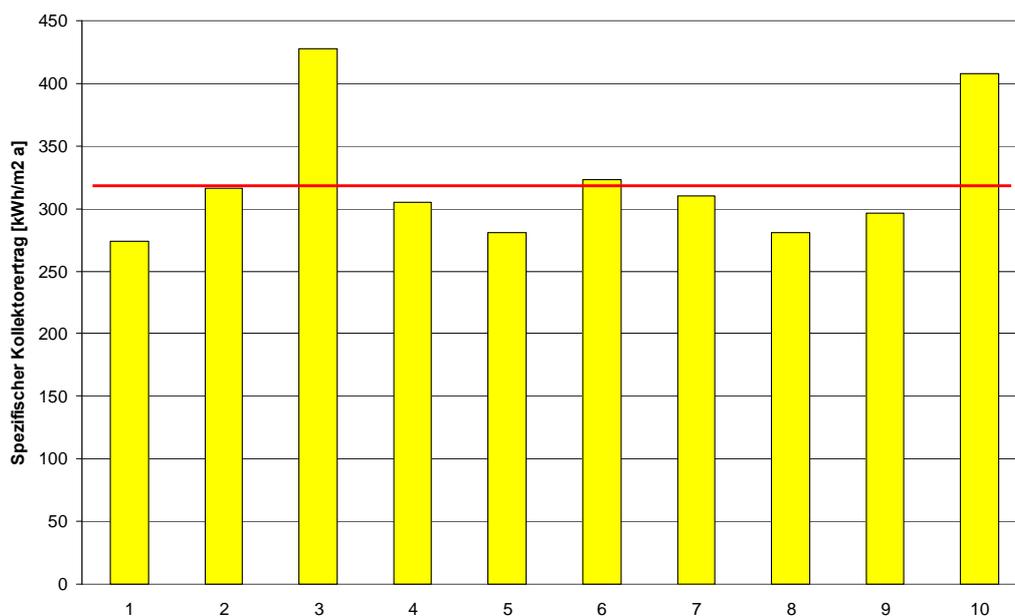
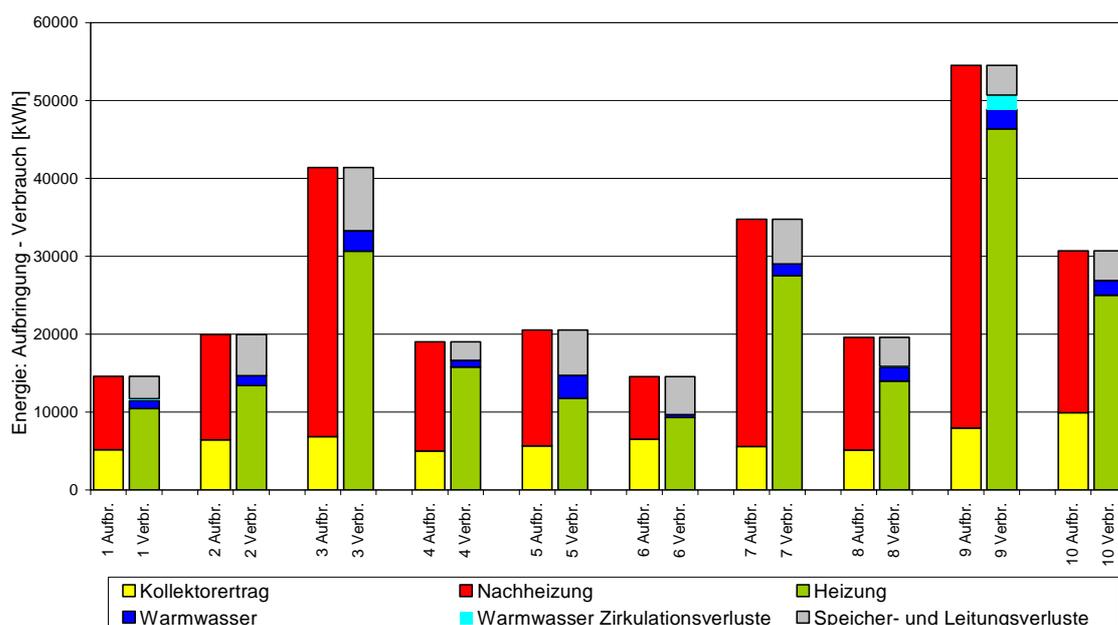
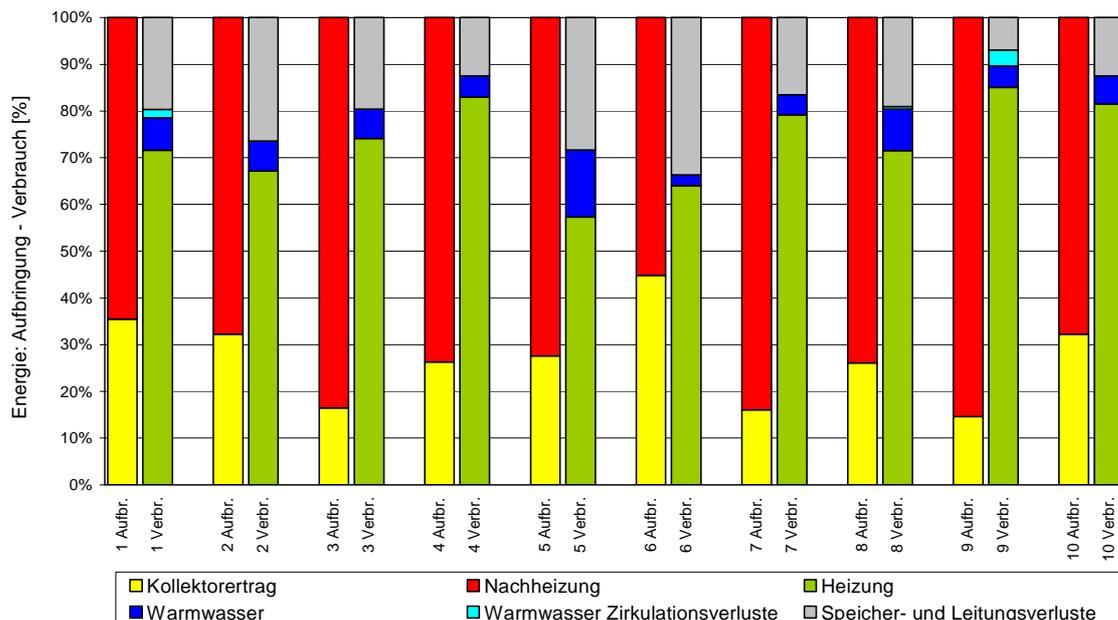


Abbildung 36: Gemessener spezifischer Jahres-Kollektorsertrag der zehn österreichischen Solar-Kombianlagen mit im Mittel  $322 \text{ kWh/m}^2$  Aperturfläche.

Der solare Deckungsgrad als Anteil der Solarenergie an der gesamten zugeführten Heizenergie zur Deckung des Heiz- und Warmwasserbedarfes ist im Wesentlichen von der Größe der Solaranlage im Verhältnis zu Verbrauch an Warmwasser bzw. Heizenergie abhängig. Die zehn hier gemessenen Anlagen weisen Bruttokollektorflächen zwischen 16 und 27m<sup>2</sup> sowie Speichervolumen zwischen 800 und 2000 Liter auf, wobei drei der 10 Anlagen das Speichervolumen auf zwei Speicher aufgeteilt haben. Wie in *Abbildung 37* (oben) ersichtlich wurden solare Deckungsgrade zwischen 15 und 45% ermittelt.

Der Anteil an Warmwasserverbrauch bei diesen Anlagen liegt zwischen sehr sparsamen 5% und 14% des Gesamtenergieverbrauches bzw. zwischen rund 1.000 und 3.000 kWh/a (Anlage 6 mit 336 kWh ist wegen atypischen Verbrauchs nicht repräsentativ).



*Abbildung 37: Energiebilanz der zehn österreichischen Solar-Kombianlagen mit Messdaten über 12 Monate in prozentueller (oben) und absoluter (unten) Darstellung.*

Die Warmwasserzirkulationspumpe in Anlage 1 wie auch in Anlage 8 wird nur bei Bedarf über einen Taster im Bad aktiviert, während in Anlage 9 die Warmwasserzirkulationspumpe über eine Zeitschaltuhr in der Früh und am Abend jeweils ca. 1,5 Stunden in Betrieb ist. Der vergleichsweise geringe Warmwasserzirkulationsverlust in Anlage 1 bzw. Anlage 8 im Vergleich zu Anlage 9 bestätigt auch hier diese erfolgreiche Strategie der bedarfsgesteuerten Warmwasserzirkulation zur Minimierung der Warmwasserzirkulationsverluste.

### 2.4.3 Vergleich zwischen Laborprüfung und Feldmessungen

Für einige der vermessenen Systeme sind zusätzlich Laborprüfungen von Systemen mit identischem Systemdesigns durchgeführt worden. Die Laborprüfung erfolgte mit der SCSPT Methode, die in D3.1 „Laboratory determination of primary energy savings“ beschrieben ist. Tabelle 7 stellt die wesentlichen Ergebnisse (Wärmebedarf Raumheizung, Wärmebedarf Trinkwasser, Gesamt-Wärmebedarf, FSC,  $F_{sav}$ ) für die drei Systeme dar, die sowohl im Labor geprüft wurden, als auch im Feld vermessen worden sind.

Tabelle 7: Vergleich zwischen den Kennwerten ermittelt im Prüflabor und bei der vor Ort Vermessung.

		Kollektorfläche	Systemtyp	Klima	Wärmebedarf Raumheizung	Wärmebedarf Trinkwasser	Gesamt-Wärmebedarf	FSC	Fsav	Systemgrenze zur Bewertung der Nachheizenergie menge
		(m <sup>2</sup> )			(kWh)	(kWh)	(kWh)			
Laborprüfung	Hersteller 1	16.0	B1	Zürich	8914	3099	12013	0.52	30%	Eintritt Nachheizung
	Hersteller 2		C2		11105	2709	13814	0.54	20%	
	Hersteller 3		A1		13309	3005	16314	0.53	28%	
Felduntersuchung	Hersteller 1	10.0	B1	Lyon	11971	1601	13572	0.38	26%	Eintritt Nachheizung
	Hersteller 2	18.6	C1	Graz	9161	381	9543	0.59	21%	
	Hersteller 3	9.3	A1	Stuttgart	13353	1745	15098	0.42	20%	Austritt Nachheizung

Die im Feld vermessenen Systeme befinden sich in einem kontinentalen Klima (Lyon, Graz, Stuttgart), ähnlich dem Klima in Zürich, welches für die Laborprüfung verwendet wurde. Die Gesamtwärmebedarf des Gebäudes in denen die Systeme der Hersteller 1 und 3 installiert wurden, ist vergleichbar mit den im Labor aufgeprägten Wärmebedarf. Der Wärmebedarf des Gebäudes, in dem das System 2 installiert ist, ist niedriger als im Labor angenommen.

Abbildung 38 zeigt die anteilige Energieeinsparung in Abhängigkeit vom FSC Wert für die Systeme, die im Labor geprüft wurden und die Systeme, die im Feld vermessen wurden. In diesen Ergebnissen ist aber bei den Punkten von Hersteller 1 und 2 der Nutzungsgrad der Nachheizung enthalten. Da bei der Feldmessung der Anlage von Hersteller 3 die Verbrauchsmessung nicht korrekt war, ist dieser Punkt („Austritt Nachheizung“) ohne Nutzungsgrad angegeben.

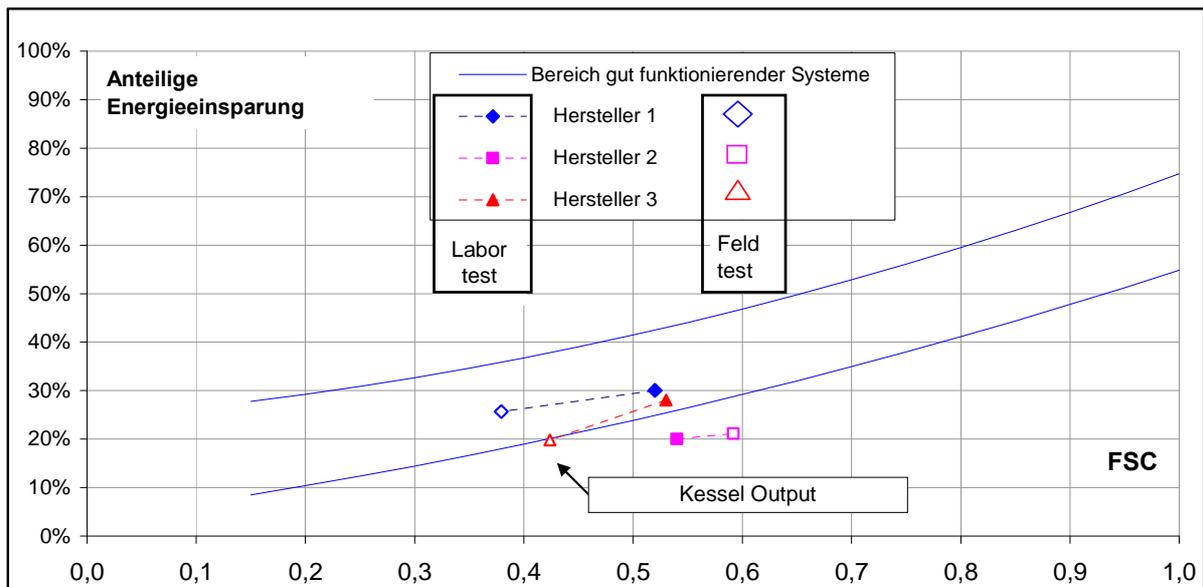


Abbildung 38: Vergleich zwischen Laborprüfung und Feldtestuntersuchung

Folgende Beobachtungen können gemacht werden:

- Die Ergebnisse der Felduntersuchungen stimmen gut mit den Ergebnissen aus Laborprüfungen überein. Dies lässt sich daran erkennen, dass die Kurven durch die Werte der anteiligen Energieeinsparung ermittelt im Labor und im Feldtest etwa die gleiche Steigung aufweisen, wie die Grenzkurven des Bereichs der „gut funktionierenden Systeme“.
- Die im Feldtest ermittelte anteiligen Energieeinsparung und FSC Wert der Systeme der Hersteller 1 und 3 sind geringer als die entsprechenden Werte, die in der Laborprüfung ermittelt wurden. Grund hierfür ist die geringere Kollektorfläche der im Feld vermessenen Systeme. Der Wärmebedarf und die Einstrahlung sind vergleichbar.
- Bei dem System des Herstellers 2 ist es genau umgekehrt. Die im Feldtest ermittelten Ergebnisse liegen höher, als die in der Laborprüfung ermittelten Ergebnisse. Grund hierfür ist insbesondere, dass der Wärmebedarf des im Feld vermessenen Systems geringer ist, als der bei der Laborprüfung angesetzte Wärmebedarf. Zusätzlich ist in diesem Fall die Kollektorfläche des im Feld vermessenen Systems etwas größer.

Der Vergleich der im Labor ermittelten Ergebnisse mit den Ergebnissen aus dem Feldtest zeigt eine sehr gute Übereinstimmung. Dies zeigt, dass die FSC Methode gut geeignet ist, um die thermische Leistungsfähigkeit von unterschiedlichen Solar-Kombianlagen zu bewerten. Es zeigt außerdem, dass die Kurzzeit Labor Prüfmethode (12 Tage Test) gut geeignet ist, um die thermische Leistungsfähigkeit vorherzusagen.



Mehrspeichersysteme haben beträchtliche Nachteile in Bezug auf Wärmeverluste auf Grund von mehreren Effekten:

- Das Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen von 2 Speichern im Vergleich zu einem Speicher mit gleichem Volumen ist um ein Drittel höher was zu signifikant höheren Wärmeverlusten führt.
- Zwei Speicher müssen miteinander verbunden werden. Als Konsequenz daraus ergeben sich zusätzliche Kältebrücken durch die zusätzlichen Verbindungsstücke jedes Pufferspeichers (auch die ungenutzten Speicheranschlüsse stellen Kältebrücken dar!!) UND außerdem durch die zusätzlichen Rohrleitungen. Beides führt wiederum zu höheren Wärmeverlusten.
- Bei schlechter Planung führen 2 parallel verbundene Speicher zu fast doppeltem Bereitschaftsvolumen, welches durchgehend auf hoher Temperatur gehalten wird, solange nicht Rohranschluss- und Temperaturfühlerhöhe an das jeweilige Konzept, nämlich Einspeicher – oder Mehrspeicherkonzept, angepasst werden.

Es wird empfohlen genau zu prüfen, ob es wirklich notwendig ist, ein Mehrspeichersystem auszuführen und wenn ja, ob der Vorteil der erhöhten Speicherkapazität die Nachteile der steigenden Wärmeverluste und doppelten Kosten kompensiert. Das spezifische Speichervolumen von 50 l/m<sup>2</sup> ist keine allgemeingültige Regel, die in jedem Fall anzuwenden ist, sie ist kein Muss. In Kombination mit einem schnellen und ausreichend leistungsstarken Zusatzheizsystem, einer intelligenten Hydraulik und einem gut durchdachten Regelungskonzept sowie hoher Qualität der Dämmung kann ein spezifisches Speichervolumen von 25 l/m<sup>2</sup> durchaus sinnvoll sein und in eine sehr gut ausgelegte und sogar effizienter funktionierende Anlage resultieren.

## 2.5.2 Speicher

Es wurden innerhalb des Projekts CombiSol vergleichsweise hohe Systemverluste gemessen. Die Qualitätsevaluierung lieferte einige nachvollziehbare Erklärungen, wie Wärmeverluste des Energiespeichers zu diesen Ergebnissen führen konnten. Die Pufferspeicherdämmung wurde oft nicht fachgerecht installiert, es wurden Lücken bei den Rohranschlüssen sowie den Anschlüssen der Temperaturfühler vorgefunden, welche zur Entstehung von Kältebrücken führten und die Wärmeverluste im Vergleich zu getesteten, über die ganze Oberfläche gut gedämmten Speichern signifikant in die Höhe schnellen ließen. Nur ein Drittel der in CombiSol evaluierten Anlagen wies Dämmungen bei ungenutzten Rohranschlüssen auf. Nackter Stahl mit ca. 5 cm Durchmesser ist somit ungedämmt der Umgebungstemperatur ausgesetzt. Thermosiphone werden fast nirgends installiert, nur 20% der Anlagen zeigen mehr oder weniger korrekte Rohranschlüsse. In einigen Fällen wurde der Deckel des Speichers offensichtlich wegen der dortigen Rohranschlüsse nur teilweise oder schlecht gedämmt, obwohl dies der durchschnittlich heißeste Bereich des Puffers ist.

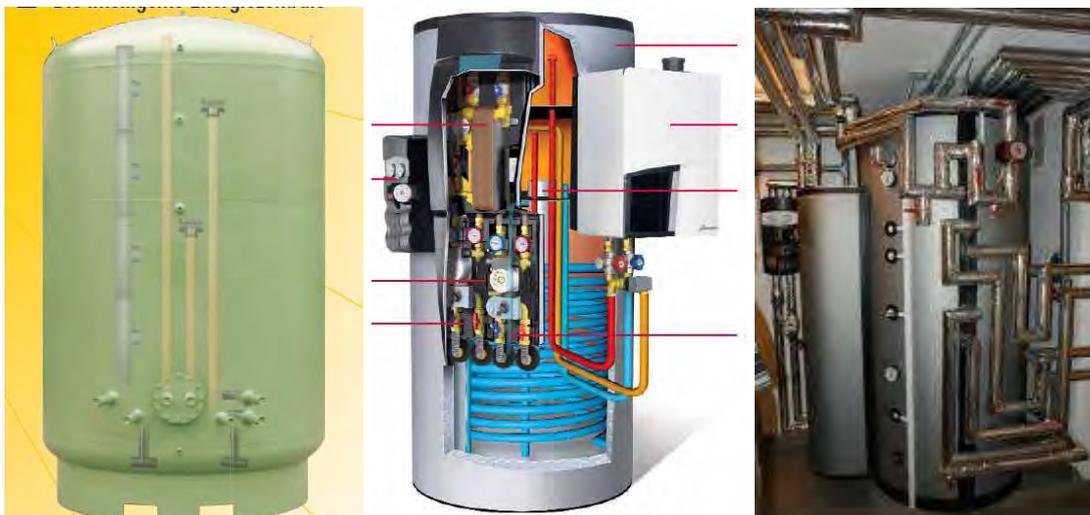
Es wird empfohlen statt einem Speicher mit Rohranschlüssen am Deckel des Puffers besser einen Pufferspeicher mit seitlichen Anschlüssen (wenn möglich in der Höhe der unteren Grenze des Bereitschaftsvolumen) zu wählen, welche mit innenliegenden Rohren bis zum höchsten Punkt des Puffers reichen, um trotzdem bei der Entnahme die höchsten Temperaturen im Puffer zu erreichen. Auch lange Leitungen an der Oberseite des Puffers für Entlüftungsventile sind zu vermeiden. Ein

kleines Entlüftungsventil direkt an der Oberseite des Puffers montiert reicht aus solange es im Falle des Füllens und bestimmter Wartungsarbeiten in Betrieb ist. 99,99% der Zeit ist es also nicht in Betrieb und sollte daher komplett mit der Pufferdämmung mitisoliert werden.

Die Tauchhülse der Temperaturfühler sollte nicht die Pufferdämmung durchbrechen. Es ist ausreichend wenn die Tauchhülse am Pufferspeicher endet und das Kabel innerhalb der Dämmung nach unten geführt wird. Vorgefertigte Pufferdämmelemente können bei Temperaturfühler austausch relativ einfach entfernt werden. Damit ist es möglich den gesamten oberen Teil des Puffers mit einer vollkommen geschlossenen Dämmhülle abzudecken.

Wenn sowohl im oberen Teil als auch auf der Seite keine Durchführung von Rohr- und Kabelanschlüsse besteht ist es auch um einiges einfacher die Speicherdämmung zu entfernen, etwa um bei Wartungsarbeiten das Entlüftungsventil oder zum Beispiel einen gebrochenen Temperaturfühler auszutauschen.

Es sind Speicher am Markt erhältlich, welche die gesamten Rohranschlüsse am untersten Teil des Puffers angeordnet haben. Diese Rohranschlüsse führen zu innenliegenden PEX-Rohren, welche abhängig von den speziellen Funktionen unterschiedliche Höhen erreichen. Diese Rohre sind ausreichend temperaturbeständig und ab einer Wandstärke von ca. 4 mm sind die inneren Wärmetransporteffekte vernachlässigbar. So ein Speicher kann direkt mit einer vollkommen geschlossenen Dämmung ohne Kältebrücken ausgestattet werden. Die Thermosphone der Rohranschlüsse sind automatisch inkludiert.



*Abbildung 40: Beispiele von Speichern mit seitlichen Rohranschlüssen für Mittel- und Niedertemperaturzonen mit innenliegenden Rohren, die bis zum oberen Bereich reichen, Quellen: Pink(links) und Bösch(Mitte). Beispiel gut isolierter Rohranschlüsse an den Pufferspeicher inklusive Thermosphone, Quelle: Tisun (rechts)*



Abbildung 41: Beispiele für einen gut gedämmten oberen Bereich des Speichers mit im günstigsten Fall vollkommen geschlossenen Dämmungsdeckel (Quelle: AEE INTEC)



Abbildung 42: Beispiel für gute / akzeptable Installationsdetails: links: gedämmter Thermosiphon (Quelle : INES Education); rechts: gut fixierter Temperaturfühler, die freiliegende Metallmuffe stellt jedoch noch eine Schwachstelle dar und könnte vermieden werden (Quelle: AEE INTEC)



Abbildung 43: gute Beispiele für vorgefertigte Installationselemente für ungenutzte Rohranschlüsse am Speicher (Quelle: Sonnenkraft: links; Bösch: rechts).



*Abbildung 44: Beispiel für zumindest nachträgliche Isolierung der Rohranschlüsse und Temperaturfühler – auch für ungenutzte Anschlüsse (Quelle : INES Education)*

### **Zwei-Speicher Systeme**

Sollte es unvermeidlich sein, dass zwei Speicher installiert werden, könnten Wärmeverluste verringert werden indem die obere Verbindung der beiden Pufferspeicher mit einem Rückschlagventil versehen ist, mit dem Ziel beim Nachheizen mit dem Zusatzheizsystem nur den oberen Bereich eines Puffers als Bereitschaftsvolumen zu nutzen und immer heiß zu halten. Nur im Falle der Beladung mit Solarwärme jedoch wird das Rückschlagventil in der richtigen Richtung genutzt und kann somit auch den oberen Teil des 2. Speichers aufwärmen. Es wird hier die natürliche Zirkulation durch den Temperaturunterschied der beiden Speicher ausgenutzt.

### **Pufferanschluss des Rücklaufs des Heizkreises**

Ein oft diskutierter Punkt ist die Höhe des Anschlusses des Rücklaufs des Heizkreises am Pufferspeicher. Im Falle einer Fußboden- oder Wandheizung ist die Sache schnell geklärt: Der Rücklauf sollte ganz unten am Pufferspeicher angebracht sein. Der Volumenaustausch bei der Heizung ist um einiges höher als bei der Warmwasserbereitung und der Umstand, dass die Temperatur auf Grund der Warmwasserbereitung unten zuerst etwas geringer ist, wird durch interne Wärmeleitung innerhalb des Pufferspeicher in kurzer Zeit behoben.

Im Falle von Radiatoren im Heizkreis ist die Sache etwas komplexer: Ist die Heizung richtig einreguliert und über Heizkörper-Thermostatventile geregelt und sind auch die Heizkörper groß genug dimensioniert, um auch als Niedertemperatur-Radiatoren betrieben werden zu können (oder vielleicht sind die Radiatoren auf Grund von einer vorausgegangenen Sanierung überdimensioniert), dann ist der Heizungsrücklauf zu 95% der Heizperiode immer so kalt, dass der Rücklauf im untersten Bereich des Puffers angeschlossen werden sollte.

Wenn aber hohe Rücklauftemperaturen während längerer Heizperioden in Kauf genommen werden müssen, oder die Bewohner die Fenster ohne die Thermostatventile zu schließen geöffnet halten, sollte ein 3-Wegeumschaltventil in Kombination mit einem Rücklauf- und einem Puffertemperaturfühler die Möglichkeit bieten, je nach Betriebszustand den Rücklauf im untersten Bereich oder im Bereich des Rücklauf des Zusatzheizsystems einzuspeisen.

### 2.5.3 Zusatzheizsystem

Grundsätzlich gibt es keinen bevorzugten Kesseltyp, der als Zusatzheizsystem für eine solare Kombianlage zu empfehlen wäre. Unterschiedliche Faktoren, wie der Gebäudetyp, das Land, das Systemkonzept, die Verfügbarkeit der Brennstoffe, etc. beeinflussen stark die Bewertung.

Die Erfahrungen aus CombiSol zeigen auf, dass die Einbindung des Zusatzheizsystems in einigen Installationen kritische Punkte aufweisen, vor allem dann wenn die Solar-Kombianlage nicht als Gesamtpaket sondern Komponenten von unterschiedlichen Herstellern geliefert wurden. Ein Hauptproblem stellt die Nutzung des Bereitschaftsvolumens dar, welches oft nicht als Speicher (= be- und entladen) sondern als große hydraulische Weiche genutzt wird. Vor allem in Kombination mit einer Gas-Brennwerttherme kann dies eine starke Reduzierung des Nutzungsgrades zur Folge haben, weil hier die tiefe Rücklauftemperatur (Abgastemperatur muss deutlich unter der Kondensationstemperatur von 57°C sein) die Voraussetzung für die Kondensationsgewinne ist.

#### **Typische Probleme im Zusatzheizsystem-Typ 1: "Zusatzheizsystem eingebunden als Rücklaufanhebung"**

Da in diesem Konzept der Kessel im Heizbetrieb immer ohne Pufferspeicher arbeitet, ist ein weiter Modulationsbereich und ein effizientes Teillastverhalten des Kessels wichtig. Dies ist oft nicht der Fall, da die Kessel aus Angst vor gelegentlicher Unterversorgung (extrem kalte Perioden oder hohe Warmwasserverbrauchsspitzen) reichlich überdimensioniert werden.

Für die Warmwasserbereitung steht in einer Solar-Kombianlage in der Regel ein Bereitschaftsvolumen des Pufferspeichers zur Verfügung welches 2 bis 3 mal so groß ist, wie in konventionellen Heizsystemen wo interessanterweise 100 bis 150 Liter ausreichen. Die Warmwasserspitzenlast ist also bei weitem durch den Puffer abgedeckt und kein Argument für einen Kessel der über die Heizlast dimensioniert ist.

Außerdem wurde öfters beobachtet, dass der Temperaturfühler für die Regelung der Temperatur des Warmwasserbereitschaftsvolumens zu nahe am Heizungsbereitschaftsvolumen liegt und somit durch den (relativ hohen) Massenstrom der Heizung stark beeinflusst wird. Dies bewirkt, dass der Fühler in der Mischzone sitzt und eine Temperatur unter dem Sollwert misst und damit die Nachheizung im Hochtemperatur-Warmwassermodus anfordert. Um diese negativen Effekte in der etwas turbulenten Mischzone zu vermeiden, sollte der Temperaturfühler 20 bis 30 cm über dem Kessel- bzw. Heizkreisvorlauf angebracht sein. Zusätzlich sollte die Aufheizung des Warmwasserbereitschaftsvolumens durch Zeitfenster gesteuert nur zu bestimmten Zeiten stattfinden (z.B.: jeweils eine Stunde in der Früh und am Abend, kurz vor typischen Verbrauchsspitzen), da ja eigentlich das Warmwasserbereitschaftsvolumen in der Regel so groß ist wie der Tagesbedarf.

## **Typische Probleme im Zusatzheizsystem-Typ 2 "Zusatzheizsystem beladet den Pufferspeicher"**

Im Zusatzheizsystem-Typ 2 in Kombination mit einem Brennwertgaskessel, kommt es häufig vor, dass die Kesselladepumpe durchgehend mit konstantem, maximalem Volumenstrom in Betrieb ist und der Kessel regelt die Leistung nur über die Vorlauftemperatur durch Modulation oder viel häufiger durch Ein/Ausschalten des Brenners, weil die untere Modulationsgrenze unterschritten wird. Daraus resultierend wird das Bereitschaftsvolumen aber eigentlich als hydraulische Weiche benutzt und je nach verbrauchter Heizleistung entsprechendem Verbrauchsvolumenstrom (in der Regel weit unter dem Maximum) stellt sich im gesamten Bereitschaftsvolumen die Temperatur des Vorlaufs des Brennwertkessels ein. Aus diesem Grund sind Vor- und Rücklauftemperatur annähernd gleich und der Brennwertnutzen wird minimiert und die Kesselleitungsverluste werden maximiert.

Eine Volumenstromregelung des Kesselladekreises (zB: mittels drehzahl geregelter Pumpe) und/bzw. die Regelung des Bereitschaftsvolumens mit 2 Temperaturfühlern (statt 1 Fühler mit zu kleiner Hysterese) könnte eine Lösung darstellen.

### **2.5.4 Raumheizung**

Für die meisten Solar-Kombianlagen (ausgenommen für Niedrigstenergiehäuser) stellt neben der Warmwasserbereitung der Anteil der Raumheizung den weitaus wichtigeren Teil, nämlich 70 bis 90% des gesamten Wärmebedarfs dar. Natürlich fällt der Hauptbedarf in der Winterperiode an, wo schlechtere Betriebsbedingungen des Sonnenkollektors wie geringere Globalstrahlung und niedrigere Umgebungstemperaturen herrschen. Aus diesem Grund hat gerade das Raumheizungssystem einen dominierenden Einfluss auf das gesamte Systemverhalten der Anlage:

- Je niedriger die Vorlauftemperatur umso mehr Energie kann aus dem Pufferspeicher genutzt werden, was auch zu einem geringeren und späteren Aufheizen durch das Zusatzheizsystem führt. Außerdem kommt die niedrige Vorlauftemperatur Brennwertkesseln zu gute, was sich in höheren Kondensationsmengen und in Folge davon in höheren Nutzungsgraden widerspiegelt.
- In Folge von niedrigeren Vorlauftemperaturen kann die Temperatur des Pufferspeichers durch das Zusatzheizsystem niedriger gehalten werden, was wiederum zu niedrigeren Wärmeverlusten in Speicher und Rohrleitungen führt.
- Je niedriger die Vorlauftemperatur umso höher ist die Speicherkapazität des Pufferspeichers, da die nutzbare Temperaturdifferenz zur Maximaltemperatur des Speichers höher ist.
- Je niedriger die Rücklauftemperatur der Raumheizung, umso geringer ist die durchschnittliche Temperatur im Speicher und somit sind die Wärmeverluste im Pufferspeicher geringer.
- Je niedriger die Rücklauftemperatur der Raumheizung, umso niedriger ist der Solarrücklauf und umso höher ist der Kollektorwirkungsgrad und umso geringer ist die notwendige Einstrahlung bei der die Solargewinnung beginnt.

Temperaturen sind abhängig von gewissen Randbedingungen, wie z.B.:

- Rücklauf- und Vorlauftemperaturen hängen von den genutzten Komponenten zur Energieabgabe ab, wie alte klein dimensionierte Hochtemperatur-Radiatoren oder neue, groß dimensionierte Niedertemperatur-Radiatoren, Wand/Fußbodenheizung oder oft in Passivhaus genutzte luftgeführte kontrollierte Wohnraumlüftung.
- Die Rücklauftemperatur ist stark abhängig von den Betriebsbedingungen, zB ob der Heizkreis bzw. die Radiatoren einreguliert sind oder nicht. Außerdem spielt auch die Regelungsstrategie eine wichtige Rolle für den Rücklauf des Heizkreises: hat das System nur eine außentemperaturgeführte Vorlauftemperaturregelung und/oder verfügt es über Thermostatventile in den einzelnen Räumen.

Einige Simulationsstudien, welche innerhalb des IEA SHC Programms Task 26 entstanden sind, zeigen, dass der Rücklauf den höheren Einflussfaktor im Vergleich zum Vorlauf darstellt. Aus diesem Grund sollte der Fokus auf einer möglichst niedrigen Rücklauftemperatur im Heizkreis für die Raumheizung liegen.

Wenn z.B. die Betriebstemperatur des Zusatzheizsystems 60°C und der Rücklauf des Heizkreises für die Raumheizung 40 oder 30°C beträgt, führt das zu einer genutzten Temperaturdifferenz von 20K (60°C-40°C) o der 30K (60°C-30°C) welches gleichzusetzen ist mit einer Speicherkapazität für dasselbe Pufferspeichervolumen von zusätzlich 50% im Falle der 30°C Rücklauftemperatur.

Im Folgenden eine Einteilung der Heizsysteme, basierend auf unterschiedliche Temperaturniveaus:

### **Hochtemperatur-Raumheizungssystem**

Alte Heizkörpersysteme mit Auslegungstemperaturen von 70/50°C (Vorlauf/Rücklauftemperatur bei Normaußentemperatur) oder sogar 90/70°C (sehr alte Systeme) sind üblicherweise in alten Gebäuden installiert.

- Vorteil: kein Vorteil aber eine einfache Entscheidung: In diesem Fall ist es sicher wirtschaftlicher in eine Sanierung des Gebäudes zu investieren anstatt in eine Solar Kombianlage.
- Nachteil: Sehr hohe Rücklauftemperaturen führen zu hohen Speicherverlusten und schlechten Betriebsbedingungen des Kollektors.

Nach einer thermischen Sanierung des Gebäudes würden die Radiatoren zu einem Mitteltemperaturheizsystem wechseln, weil ja nun die Heizflächen mit den alten Auslegungstemperaturen überdimensioniert wären. In diesem Fall wäre das Heizsystem für eine Solar Kombianlage mit niedriger solarer Deckung und gutem hydraulischem Abgleich eventuell eine sinnvolle Lösung.

Solche Systeme sind auch oft in alten Häusern installiert, wo sogar im Sommer oft geringe Raumheizung notwendig ist. In diesem Fall kann eine Solar Kombianlage eine sinnvolle Investition sein.

### **Mitteltemperatur-Raumheizungssystem**

In neuen Gebäuden werden Radiatoren typischerweise im Mitteltemperatur- und Niedrigtemperaturbereich ausgelegt, wie z.B. 60/40 °C oder sehr fortschrittlich mit 50/30°C (Vorlauf/Rücklauftemperatur bei Normaußentemperatur). Auch großzügig

ausgelegte Wasser/Luft Wärmetauscher in modernen Passivhäusern können in diesem Bereich arbeiten.

- Vorteile:
  - Billiges Raumheizungssystem
  - Sehr niedrige Rücklauftemperaturen sind möglich, vor allem im Herbst und im Frühling, aber nur wenn die Heizkörper korrekt ausgelegt wurden UND der Heizkreis einreguliert wurde UND das System über Thermostatventile gesteuert wird (vor allem bei 50/30°C Betrieb) UND die Thermostatventile auch richtig von den Bewohnern bedient werden.
  - Auf Grund von hohen Temperaturdifferenzen, treten niedrige Massenströme auf, welches wiederum geringe Turbulenzen im Speicher zur Folge hat
- Nachteile:
  - Leider zeigen Erfahrungen aus der Praxis, dass bei bestehenden Gebäuden die Rücklauftemperatur in Folge von nicht durchgeführtem hydraulischem Abgleich der Heizkreise meist sehr hoch liegt. Speziell bei Heizsystemen ohne Thermostatventilen, wo Standardventile händisch nur auf und zuge dreht werden stellt dies ein großes Problem dar.

### **Niedertemperatur-Raumheizungssystem**

Fußboden- oder Wandheizungssysteme mit Betriebstemperaturen von 35/30°C (Vorlauf/Rücklauftemperatur bei Normaußentemperatur) sind prinzipiell das beste Raumheizungssystem in Kombination mit einer Solar Kombianlage, weil das Temperaturniveau üblicherweise sehr niedrig ist.

- Vorteile:
  - Diese Systeme haben normalerweise niedrige Rücklauftemperaturen, welche zu guten Betriebsbedingungen des Sonnenkollektors führt.
  - Niedrige Vorlauftemperaturen können sogar im Winter von den Solar Kollektoren leicht erreicht werden. Aus diesem Grund kann das Zusatzheizsystem oft früher abgeschaltet werden.
- Nachteile:
  - Niedrige Temperaturdifferenzen haben hohe Massenströme zur Folge, welches sich in starken Turbulenzen im Pufferspeicher niederschlägt. Dies kann mit angepasster Speichergestaltung (z.B.: Leitblech und Querschnittsvergrößerung zur Geschwindigkeitsreduzierung) vermieden werden.
  - Dieses Raumheizungssystem ist meist eher relativ teuer.
  - Wegen dem direkten Kontakt zu der hohen Speichermasse und der hohen Wärmekapazität des Bodens übt die Ausführung der Rohrhydraulik einen starken Einfluss auf die Rücklauftemperatur beziehungsweise die Temperaturdifferenz aus. Wenn die Leitung wie eine Spirale ausgeführt ist, kann eine sehr gleichmäßige Fußbodentemperatur im Raum erreicht werden. Im Gegensatz dazu steht die Verlegung als Mäanderform, beginnend mit der Leitung an der Außenwand und endend im Inneren des Gebäudes. Im zweiten Fall kann eine höheren Spreizung und somit eine tiefere Rücklauftemperatur erreicht werden. Bei Wandheizungen wird typischerweise die Mäanderform von oben nach unten verlegt ausgeführt, welches wiederum zu relativ niedrigen Rücklauftemperaturen führt.

## **Tiefe Heizkreis Rücklauftemperaturen in der Praxis**

- Heizflächen (Heizkörper, Fußboden/Wandheizung) sollten so groß wie möglich dimensioniert werden, um mit niedriger Rücklauftemperatur betrieben werden zu können. Wenn z.B. die Heizkörperauslegung für 50/30 70% der Fensterlänge ergibt, sollten trotzdem die 100% gewählt werden, was auch die Kosten nicht signifikant erhöht.
- In JEDEM einzelnen Teilstrangstück der Raumheizungsverteilung (bei jedem Heizkörper!!) MUSS der Auslegungs-Volumenstrom bei maximaler Heizlast sauber voreingestellt sein, was leider in der Praxis sehr selten der Fall ist.
- Raumheizungssysteme sollten als "low-flow"- Systeme mit großen Temperaturspreizungen und niedrigen Rücklauftemperaturen betrieben werden. Aus diesem Grund ist es speziell bei Radiator-Heizsystemen von Vorteil lieber mit etwas höheren Vorlauftemperaturen zu arbeiten und dadurch die Massenströme durch Einsatz von Thermostatventilen bei JEDEM Heizkörper senken zu können. Gerade im Herbst und im Frühling kann bei Überdimensionierung der Radiatoren eine Rücklauftemperatur von nur wenigen Graden über Raumtemperatur erreicht werden.
- Gerade wenn das Radiator-Heizsystem die meiste Zeit als "low-flow"- System arbeitet (solange es korrekt betrieben wird!) sollte unbedingt der Vorlauf, der unter Putz installiert ist (was üblicherweise in Österreich, aber beispielsweise nicht in Schweden der Fall ist), besonders gut gedämmt werden, damit im Eingang in den Heizkörper noch die gewünschte Vorlauftemperatur vorhanden ist. Die unter Putz verlegte Leitung sollte somit nicht als Wandheizung fungieren. Die Dicke der Dämmung sollte mindestens dem Rohrdurchmesser entsprechen. Die dadurch etwas höheren Kosten können durch die deutlich geringere Dämmstärke im kalten Rücklauf, auf Grund von niedrigeren Temperaturen, kompensiert werden.
- Ein weiterer Vorteil von Radiator-Heizsystemen mit niedrigem Volumenstrom ist, dass der sehr niedrige Volumenstrom natürlich auch geringere Rohrdurchmesser verglichen mit Standard-Installationen nach sich zieht. Oft sind 10 bis 12mm Rohre anstatt von typischerweise 15, 18 oder 22mm Rohre ausreichend. Einerseits lässt dies hauptsächlich die Kosten sinken, andererseits wird dadurch aber auch die Reaktionsgeschwindigkeit des Radiators beim Einschalten erhöht.

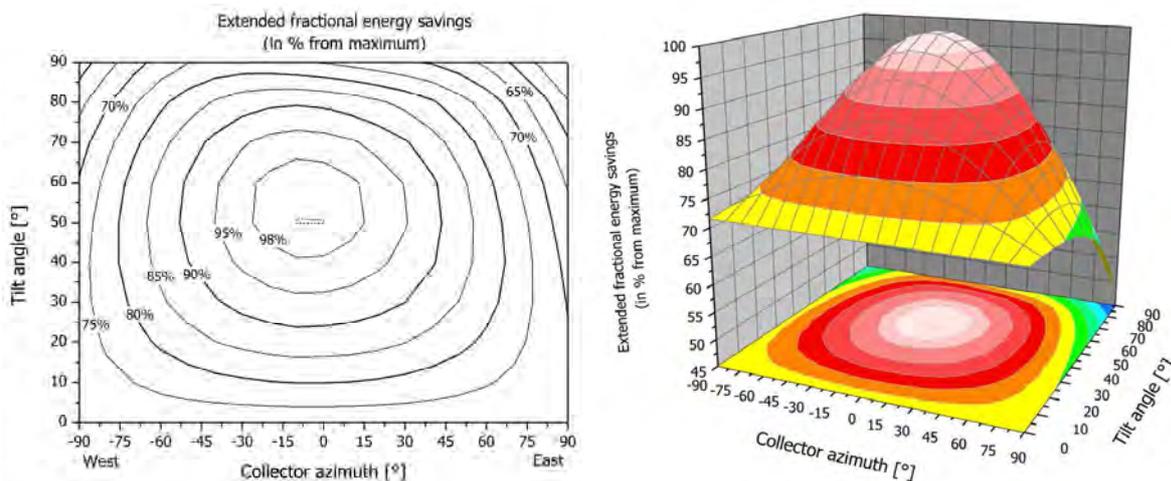
### **2.5.5 Kollektorkreis**

In Europa werden für Solar-Kombianlagen hauptsächlich Flachkollektoren oder Vakuumröhrenkollektoren verwendet, welche auf unterschiedlichste Arten eingebaut werden können:

- Direkt in das Dach integriert, als ein Teil der wasserdichten Dachhaut
- Am Dach über der Dachhaut, jedoch parallel zum Neigungswinkel des Daches
- Am Dach und zusätzlich aufgeständert, um einen steileren Winkel zu erreichen
- In die vertikale oder geneigte Außenwand integriert
- Als Teil einer zusätzlichen Konstruktion am Haus, wie z.B. das Balkongeländer, Extradach am Hauseingang oder der Terrasse oder am Carport, usw.
- Am Dach der Garage, welche neben dem Haus platziert ist
- Am Dach eines Gartenhäuschens
- Am Boden des Gartens, mit einer zusätzlichen Konstruktion aufgeständert
- Etc.

Die Größe der gesamten Kollektorfläche ist hauptsächlich a) von der Heizlast (Heizung + Warmwasser) und b) dem Ziel, welche solare Deckung erreicht werden soll, abhängig. Am Markt angebotene Simulationsprogramme (T-Sol, Polysun,...) können optimal dazu genutzt werden bei unterschiedlichen Randbedingungen das Potential der solaren Gewinne und des Energiebedarfs des Zusatzheizsystems zu bestimmen. Außerdem wurde auch im Rahmen des CombiSol Projekts ein einfaches Werkzeug auf Basis der EN 15316-4-3 zur Erstabschätzung in Form einer Exeldatei erstellt: "A simple calculation tool for manufacturers and installers" (D6.2). Es ist einfach in der Anwendung und steht auf der Homepage [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu) in Englisch, Deutsch, Französisch, Dänisch und Schwedisch zur Verfügung.

Bei einer Abweichung der Orientierung von Süden um  $30^\circ$  und einer Kollektorneigung von  $30^\circ$  bis  $75^\circ$ , auf mitteleuropäischem Klima basierend, ergibt sich eine Reduktion der Energieeinsparung von weniger als 10% (siehe *Abbildung 45*). Innerhalb dieses Bereiches ist es normalerweise recht einfach auf die entsprechende geringfügig größere Kollektorfläche zu erweitern. (Weiss, 2003) [7].



*Abbildung 45: Abhängigkeit der solaren Deckung vom Neigungswinkel und der Orientierung des Kollektors. (Klima: Mitteleuropa, 100% = 39% der Energieeinsparung gegenüber einem konventionellen Heizsystem), Quelle: Weiss 2003 [7].*

## **Qualität der außenliegenden Verrohrung**

Wie die Qualitäts-Evaluierung innerhalb des CombiSol Projektes zeigt, ist die Qualität der Verrohrung im Speziellen im Außenbereich ein kritischer Punkt. Da diese Leitungen den Wetterbedingungen und Naturgewalten vollkommen ausgesetzt sind, ist es notwendig folgenden zusätzlich Aufwand zu akzeptieren:

- Erweiterte Rohrdämmung: Dämmstärke eine Dimension größer als der Rohrdurchmesser.
- Die Rohrdämmung sollte wasserundurchlässig sein (geschlossene Poren) oder wirklich wasserdicht.
- Die Rohrdämmung sollte gegenüber hohen Temperaturen resistent sein (mindestens  $160^\circ\text{C}$ ).
- Die Rohrdämmung sollte gegen UV-Strahlung und Tierbisse geschützt sein.

In *Abbildung 46* sind gute Beispiele einer Verrohrung im Außenbereich zu sehen.



Abbildung 46: Rohrdämmung im Außenbereich (Quelle: AEE INTEC / Austria)

### **Dimensionierung des Solarwärmetauschers**

Es wurde auch festgestellt, dass externe Plattenwärmetauscher oft zu groß gewählt werden, um sicher zu gehen, dass die notwendige Wärmeleistung und/oder eine bestimmte Temperaturdifferenz übertragen werden kann. Es ist aber für eine effiziente Wärmeübertragung UNBEDINGT notwendig, dass es im Wärmetauscher zu turbulenter Strömung kommt, andernfalls sinkt die Wärmeübertragungsleistung dramatisch ab. Hier ist KEIN Platz für einen Sicherheitszuschlag, da dies zu Fehlfunktionen führt, außerdem ist die Gesamtleistung nicht das einzige Maß für die Dimensionierung, sondern auch das richtige Zusammenspiel zwischen Volumenstrom und Temperaturspreizung. Zum Beispiel ein 10 kW Wärmetauscher, ausgelegt für eine Kollektorfläche von 20 m<sup>2</sup> und eine Temperaturspreizung von 10K und „high-flow“ Betrieb kann nicht für den „low-flow“ Betrieb mit 30 bis 35K Temperaturspreizung eingesetzt werden. Die Wärmetauscher Hersteller haben die entsprechenden Auslegungswerkzeuge und bieten die richtige Auslegung in der Regel gratis an, darauf sollte jedenfalls zurückgegriffen werden.

### **Stagnationssicherheit im Kollektorkreis**

Vor allem im Sommer ist eine Solar Kombianlage in der Regel deutlich überdimensioniert, was zu Perioden führt, in welchen der Pufferspeicher seine maximale Temperatur erreicht und dann die Regelung die Pumpe(n) abschaltet und der Kollektor in Stagnation geht und Dampf produziert. Nun stellt sich die Frage, wohin mit der weiter vom Sonnenkollektor gewonnenen Wärme bzw. was tun mit dem entstehenden Dampf bzw. den entsprechend hohen Temperaturen.

Die Komponenten einer Solaranlage müssen jedenfalls gegenüber hohen Temperaturen geschützt sein, da während der Stagnation im Kollektor Temperaturen bis zu 200 °C erreicht werden können, sowie die Temperatur des Dampfes, der in die Rohrleitung des Systems hineinreicht über 150°C liegen kann. Für Solar Kombianlagen kann die Stagnation ein alltäglicher Betriebszustand während der Sommerperiode sein. Wenn Planer und Installateure bestimmte Hauptregeln befolgen, wird Stagnation zu einem normalen und problemlos beherrschbaren

Zustand der Solar Kombianlage. Die Maßnahmen können in 2 Gruppen unterteilt werden: in 1) passive Schutzvorkehrungen und 2) aktive Schutzvorkehrungen.

## 1) Passive Schutzvorkehrungen

Im Folgenden sind einige Regeln und Tipps die passiven Schutzvorkehrungen bei Überhitzung betreffend aufgeführt.

Die Rohrleitung, vom Kollektor bis in den Technikraum betrachtet, sollte konstant abwärts ohne irgendwelche Bögen nach oben geführt werden, um ein problemloses Zurückerinnen bis zum Expansionsgefäß zu ermöglichen. Damit wird das Entstehen von Dampfblasen mit nachfolgenden lauten Kavitationsschlägen und hoher örtlichen Druckbelastung vermieden.

Üblicherweise kann die Membran des Ausdehnungsgefäßes einer Temperatur von über 90°C nicht standhalten. Aus diesem Grund sollten Expansionsgefäße für Solaranlagen von oben angeschlossen werden. In diesem Fall bleibt die kühlere Flüssigkeit im Expansionsgefäß zurück und das heißere Medium erreicht die Membran nicht so leicht. Abbildung 47 zeigt die zwei beschriebenen Fälle. Eine zweite unter Vorbehalt akzeptable Möglichkeit wäre die Installation eines Thermosiphonbogens in der NICHT isolierten und ausreichend langen Leitung zum Expansionsgefäß und dem Anschluss des Expansionsgefäßes von unten, vorausgesetzt das Volumen des Expansionsgefäßes ist ausreichend groß dimensioniert (siehe Mitte bei Abbildung 48)

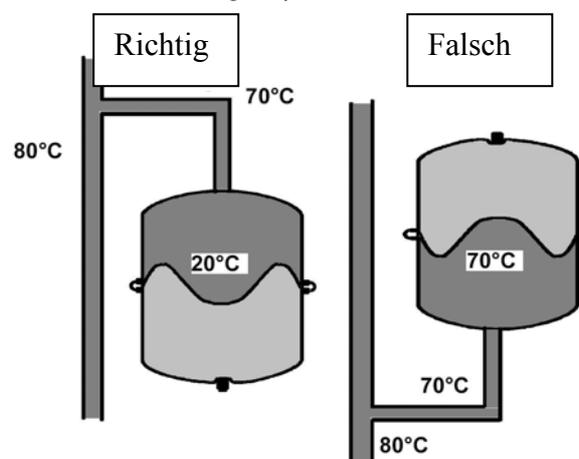


Abbildung 47: Korrekter (links) und falscher (rechts) Anschluss des Expansionsgefäßes im Solarkreis

Um das Ausdehnungsgefäß vor Überhitzung zu schützen (und parallel dazu auch die Einbauten wie Pumpen und Ventile) kann ein Stagnationskühler vor dem Expansionsgefäß eingebaut werden. Der Stagnationskühler ist ein Wärmeabgabesystem (=Heizkörper) mit einer möglichst hohen Wärmeübergangszahl zur umgebenden Luft. Das kann z.B. ein Heizungsrohr mit einer großen Oberfläche sein, damit das Medium vor Erreichen des Expansionsgefäßes abgekühlt ist. Meist ist es ein einfache Heizleiste (Abbildung 48, links bzw. mitte). Die durchschnittliche Kühlleistung eines solchen Elements liegt bei etwa 750 W/m.

Eine andere Möglichkeit ist die Nutzung eines Vorschaltgefäßes mit ausreichendem Volumen, welches das heiße Medium ob nun im flüssigen oder gasförmigen Zustand

aufnimmt und genug Kühleffekt aufweist um die in das Expansionsgefäß einfließende Flüssigkeit ausreichend abzukühlen. (Abbildung 48, rechts).



*Abbildung 48: Stagnationskühler, ausgeführt als eine Heizleiste (links), im eingebauten Zustand (mitte), oder der Einbau eines "Vorschaltgefäß"(rechts) schützen das Expansionsgefäß im Falle der Stagnation*

Um die Komponenten vor hohen Temperaturen zu schützen ist die richtige Reihenfolge der Rückschlagklappe, Pumpe und Anschluss zum Expansionsgefäß, wie in Abbildung 49 gezeigt notwendig. Da der Druck im Solarkreis eindeutig höher liegt als es sonst bei Heizungsanlagen üblich ist (der Fülldruck im kalten Zustand liegt bei ca. 2,5 bar) ist es nicht notwendig, aus Gründen des Kavitationsschutzes das Expansionsgefäß auf der Unterdruckseite der Pumpe einzubauen.

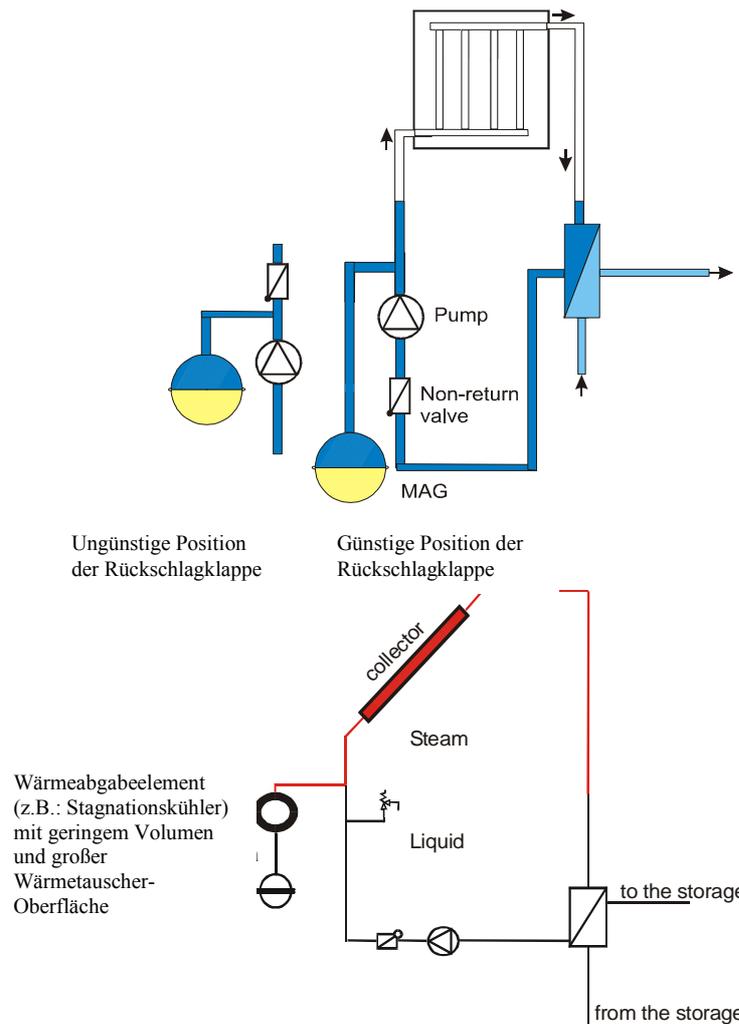


Abbildung 49: Richtige Position der Rückschlagklappe im Bezug auf das Expansionsgefäß (oben rechts); und richtige Position des Stagnationskühlers, der den Dampf kondensiert und damit die empfindlicheren und tiefer liegenden Komponenten schützt (unten). (Quelle: AEE INTEC)

Der wichtigste Punkt im Bezug auf Stagnation ist die Menge des produzierten Dampfes innerhalb des Systems. Je mehr Flüssigkeit in U-förmigen Rohrabschnitten zurückbleibt, umso mehr Dampf wird während der Stagnation erzeugt. Deshalb sollte während der Stagnation, wenn die Flüssigkeit beginnt zu verdampfen, so viel Heizungsmedium wie möglich den Kollektor so schnell wie möglich verlassen. D.h. der Kollektor sollte ein gutes „Entleerungsverhalten“ aufweisen.

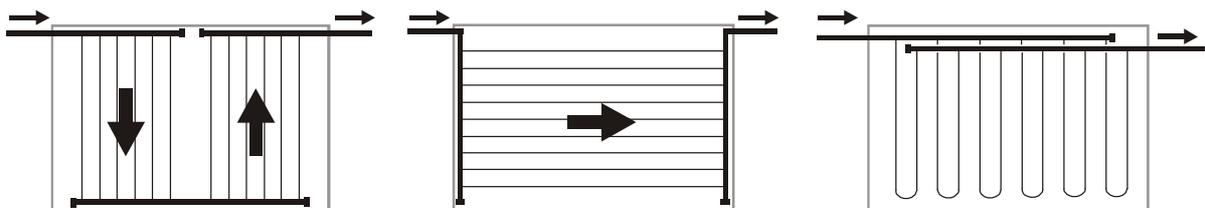


Abbildung 50: Kollektor mit schlechtem Entleerungsverhalten (Quelle: R.Hausner, AEE INTEC)

**Abbildung 50** zeigt Kollektortypen mit schlechtem Entleerungsverhalten, da sie eine U-Form aufweisen. In diesem Fall wird fast das gesamte Kollektorstück verdampfen, weil im Falle einer Stagnation das Wärmeträgermedium nicht aus dem Kollektor fließen kann.

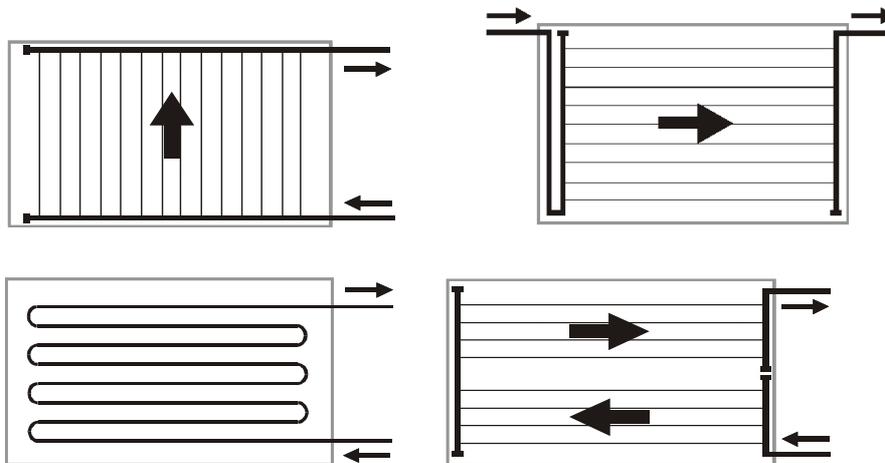


Abbildung 51: Kollektor mit gutem Entleerungsverhalten (Quelle: R.Hausner, AEE INTEC)

Kollektoren mit gutem Entleerungsverhalten sind in *Abbildung 51* zu sehen. Am Anfang des Stagnationsprozesses kann das Wärmeträgermedium aus dem Kollektor abfließen, womit das Dampfvolumen auf ein Minimum reduziert werden kann.

Ein weiterer Schritt in Richtung Stagnationssicherheit zeigt das „Drain-back“ System auf. In solchen Systemen rinnt das gesamte Wärmeträgermedium in ein Gefäß, welches im Technikraum situiert ist, wenn die Pumpe ausgeschaltet wird. Im Sommer ergibt sich daraus keine Dampfproduktion und im Winter sind somit Frostschäden ausgeschlossen.

Um den Betrieb zu starten muss die Pumpe bei solchen Systemen allerdings stark genug sein, damit ein Wiederbefüllen des Kollektors möglich ist.

Temperaturempfindliche Komponenten, die nicht geschützt werden können müssen entsprechend passend gewählt werden. So sollen diese aus ausreichend temperaturbeständigem Materialien bestehen. Eine dieser Komponenten ist das Entlüftungsventil oben beim Kollektor. Dieses darf KEIN automatisches Entlüftungsventil sein, da a) es nicht im Stande ist zwischen Dampf (während Stagnation) und Luft zu unterscheiden und b) diese oft im Inneren Plastikteile als Schwimmer haben, die den hohen Temperaturen während der Stagnation nicht standhalten. D.h. am obersten Punkt in der Kollektorleitung sollte immer ein manuell bedienbares Lüftungsventil installiert sein und dieses sollte nur im kalten Zustand betätigt werden. Wenn notwendig kann ein automatisches Entlüftungsventil am tiefsten möglichen Punkt im Technikraum angebracht werden, wo sichergestellt ist, dass der Dampf nie hinreicht und noch vor dem Wärmetauscher, wo bei hohen Temperaturen die meisten Luftblasen entstehen.

Wenn im System irgendetwas nicht passt, z.B. wenn das Expansionsgefäß kaputt ist, wird das Sicherheitsventil sich öffnen und im schlimmsten Fall, nämlich im Fall der Stagnation, Dampf ablassen. Aus dem Grund ist es unbedingt NOTWENDIG, eine Ablaufleitung und einen Sammelbehälter beim Auslass des Sicherheitsventils

anzubringen, um andere Komponenten im Umkreis zu schützen, aber vor allem auch um zu verhindern, dass sich eine Person verletzen kann. Die Ablaufleitung muss gegenüber hohen Temperaturen beständig sein (Dampf bis 150°C ist möglich), d.h. die Leitung sollte aus Metall und NICHT aus Plastik (kein Gartenschlauch!!!) bestehen. So sollte auch das Auffanggefäß aus temperaturbeständigem Material sein, am besten mit kalter Kollektorflüssigkeit vorgefüllt, und mindestens das Volumen des doppelten Kollektorvolumens haben.

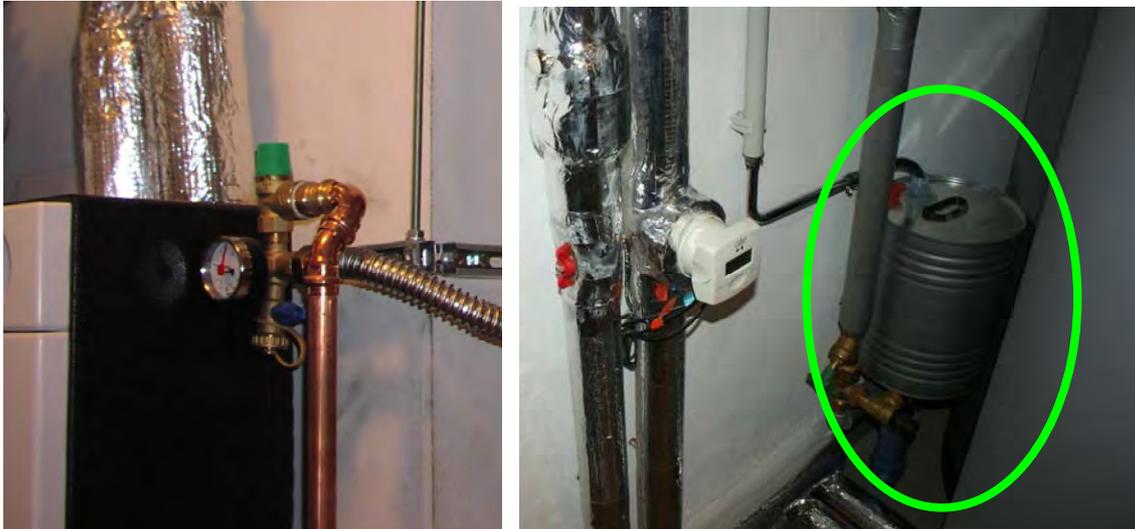


Abbildung 52: die Ablaufleitung beim Sicherheitsventil ist aus Kupfer (links), geschlossener Sammelbehälter aus Metall (rechts)

## 2) Aktive Schutzvorkehrungen

Im ersten Schritt sollten einmal die erwähnten passiven Schutzvorkehrungen eingesetzt werden, da diese auch ohne Strom ausfallsicher sind. Erst wenn das nicht ausreicht, ist es angeraten, auf aktive Schutzvorkehrungen, in Form von regelungstechnische Maßnahmen, aber auch Komponenten zum Schutz vor Überhitzung des Systems zurückzugreifen.

Eine Möglichkeit ist, die Kollektorflüssigkeit, wenn der Speicher voll geladen ist, zu einem Wasser-Luft Wärmetauscher umzuleiten und die Energie an die Umgebung abzugeben. Nachteil in diesem Konzept ist wieder, dass zusätzliche Hilfsenergie für die Pumpe und den Ventilator notwendig ist. Wenn ein Swimmingpool vor Ort ist, ist dies natürlich eine optimale Wärmesenke (außer in Südeuropa), welche dafür genutzt werden kann den Überschuss an Wärme im Kollektor abzuführen.

Eine weitere Möglichkeit ist, wenn der oberste Bereich im Pufferspeicher eine kritische Temperatur erreicht, leitet ein Umschaltventil den Kollektorkreis statt in den Puffer direkt in die Heizung in einen speziellen Raum, wo Überhitzung kein Problem darstellt, z.B. das Badezimmer.

## 2.5.6 Allgemeine Aspekte

Schließlich sollen noch einige allgemeine Aspekte diskutiert werden, welche aber nicht eines der vorher erwähnten Bereiche abdeckt. (Einige Punkte mögen vielleicht als unwichtig und klein gesehen werden, aber in Summe können sie doch einigen Einfluss haben.)

Es ist wichtig im Vorhinein die Anordnung der wichtigsten Komponenten, sei es im Technikraum oder auch innerhalb des Gebäudes, sich gut zu überlegen, um einen hohen Grad an Kompaktheit zu erreichen, sowie die Leitungslängen (vor allem der heißen Leitungen) möglichst zu minimieren und Thermosiphon-Bögen bei Pufferanschlüssen mit zu berücksichtigen. Auch an die richtige Ausführung bei einem T-Stück-Anschluss und nicht oft genutzten Abzweigern sollte gedacht werden. Diese Leitungen sollten immer nach unten fallend installiert werden, um den Thermosiphoneffekt zu nutzen (z.B. bei Anschluss des Expansionsgefäßes oder eines Heizkreises, der einen Extraraum im Keller versorgt, der nur fallweise beheizt wird.).

Der Pufferspeicher sollte so installiert werden, dass die Warmwasserbereitung möglichst eng am Speicher liegt, dass aber auch die Warmwasserleitung zu den einzelnen Zapfstellen möglichst kurz ist. Ein Hauptziel sollte es sein, dadurch Zirkulationsleitungen überhaupt zu vermeiden. Zirkulationsverluste liegen oft im gleichen Bereich wie niedrige Speicherverluste, in anderen Worten „sehr hoch“.

Jeder vermiedene Meter Rohrleitung bedeutet:

- a) Zwei Meter weniger Rohrintallation (weil üblicherweise sowohl Vor- und Rücklauf installiert werden müssen), reduziert die Investitionskosten.
- b) Zwei Meter weniger Dämmung, reduziert die Investitionskosten.
- c) Der Wärmeverlust von Null Meter Leitungslänge ist Null, unabhängig von der Qualität der Dämmung.
- d) Schnelleres Reagieren des Systems, weil das Wasser geringere Distanzen zurücklegen muss.
- e) Druckverlust wird minimiert, was zu kleineren Pumpen und weniger verbrauchter Hilfsenergie in den zu erwartenden 50 Betriebsjahren führt oder kleinere Rohrdimensionen erlaubt und somit auch die Investitionskosten senkt.

Oft wird in einem hydraulischen Kreis ein Mischventil eingesetzt, was zur Folge hat, dass die Temperatur des Vorlaufs vor dem 3-Wegeventil höher ist, als danach. Deshalb sollte es Ziel sein, das Mischventil möglichst nahe an der Wärmequelle (Puffer, Kessel) zu installieren um die Leitungslänge mit der hohen Temperatur zu minimieren, auch wenn die Pumpe ganz wo anders installiert ist.

Auch ein Plattenwärmetauscher hat einen warmen Primärkreis und einen kühleren Sekundärkreis. So macht es auch hier Sinn, die Länge der heißeren Leitungen zu minimieren.

Manchmal wird damit argumentiert, dass die Wärmeverluste auf der einen Seite ja auf der anderen Seite einen Wärmeeintrag in das Gebäude bedeuten. Dies ist aber nur teilweise und oft nur zu einem geringen Anteil richtig. Normalerweise ist im Technikraum sogar eine Öffnung zur Außenluft vorgeschrieben, um die Verbrennungsluft für den Kessel zu gewährleisten, was zu einer konstanten

Abkühlung des Raumes führt. Wärmeverluste können nicht kontrolliert werden wie ein Heizkörper mit einem Thermostatventil. Aus diesem Grund können sie nicht einfach gestoppt werden, wenn durch interne Lasten und passive solare Gewinne die Temperaturen ausreichend sind, was Überhitzungen zur Folge hat, sodass die Fenster der überhitzten Räume geöffnet werden und somit weitere Verluste produziert. Schließlich sind eine aufwendige Heizungsregelung und hochwertige Heizungsflächen installiert und diese sollten auch genutzt werden wofür sie gedacht sind.

Grundsätzlich sollte die Ausführung der Wärmedämmung sorgfältigst ausgeführt werden. So ist es von Vorteil vorgefertigte Hydraulikgruppen (Pumpe, Mischventil, Rückschlagventil, Sicherheitsventil, ...), die schon in einer Dämmschale eng zusammengepackt angeordnet sind einzusetzen. Für den Rest der reinen Rohrleitungen ist eine saubere Dämmung nun ohne großen Aufwand möglich. Die Qualitätsevaluierung innerhalb des Projekts CombiSol zeigte leider sehr oft, dass zwar die Pumpengruppen mit den vorgefertigten Dämmschalen gut isoliert wurden, jedoch die Dämmung der anschließenden Leitungen fehlte.

Wenn Kosten gespart werden sollen, ist es sinnvoller, dass im Kellerraum für die Dämmung der Rohrleitung auf den Schutz durch eine Metallschale oder eine Kunststoffschalen verzichtet wird.

Zum Schluss sei erwähnt, dass für Wartungsarbeiten oder spätere Reparaturen eine gute Dokumentation vor Ort UND eine Kopie, welche beim ausführenden Installateur aufliegt, äußerst hilfreich ist. Das heißt:

- Das Hydraulikschema, welches der Ausführung entspricht und nicht ein Standard-schema, welches aus einem Technischen Katalog kopiert wurde.
- Klar bezeichnete Komponenten im Hydraulikschema, wo zu ersehen ist, welche Teile zur Regelung gehören (Temperaturfühler) und welche geregelt werden (Pumpe, Ventile, Kessel). Am besten ist dieselbe Bezeichnung an den einzelnen Komponenten angebracht.
- Regeleinstellungen, die bei der Erstinbetriebnahme eingestellt wurden und nicht die von der Firma empfohlenen Standardwerte.
- Bedienungsanleitung für die Bewohner des Hauses, um ihnen eine Anpassung der Anlage an ihre Bedürfnisse zu ermöglichen. Das ist vor allem die Zapftemperatur der Warmwasserbereitung, die gewünschten Raumtemperaturen, Heizungskurven in Abhängigkeit der Außentemperaturen, Zeitschema für die Raumheizung, Aufheizung des Bereitschaftsvolumens für die Warmwasserbereitung und die Einstellungen der Zirkulationspumpe.
- Wartungsbeschreibung, in der beschrieben ist, welche Arbeiten von den Hausbewohnern selbst und welche Arbeiten vom Installateur durchgeführt werden sollten sowie in welchen Zeitintervallen diese erledigt werden müssen.

## 2.6 Potentialstudie für Solar Kombianlagen

Dieses Kapitel ist eine kurze Zusammenfassung der Studie "POTENTIAL OF SOLARTHERMAL IN EUROPE" [12]. Zusätzlich wurden aktuelle Statistikdaten<sup>1</sup> der betreffenden Länder hinzugefügt.

Die Potentialstudie basiert auf einem Modell, welches die vielfältigen und veränderlich wirkenden Faktoren, wie z.B. Anteil des Neubaus und deren Energiezahl, Qualität der Gebäudesanierungen, unterschiedliche wirtschaftliche Lage, verschiedene Förderbedingungen, usw. aber auch limitierende Faktoren wie die zur Verfügung stehende Fläche für Solarkollektoren berücksichtigt.

Mit Hilfe dieser Faktoren wurde das zu erwartende Wachstum der Solarthermiebranche bis 2020, 2030 und 2050 errechnet.

Dies wurde für 3 unterschiedlich stark ambitionierte Szenarien - das „BAU-“ (Business As Usual), das „AMD-“ (Advanced Market Deployment) und das „RDP-Szenario“ (Full Research Development and Policy) - vorerst für die Länder Dänemark, Deutschland, Österreich, Polen und Spanien ausgewertet und aufbauend auf diese auf die gesamte EU hochgerechnet.

Da in der gegenständlichen Studie keine detaillierten Ergebnisse für Frankreich und Schweden enthalten sind, wurden diese basierend auf den Resultaten anderer Länder abgeleitet.

Für Schweden wurde Dänemark und für Frankreich wurde Spanien als Grundlage herangezogen.

Die Ergebnisse der Potentialstudie für Solarthermie im Allgemeinen und für Kombianlagen im Speziellen sind im Folgenden für die EU 27 und für die CombiSol-Partnerländer aufgelistet:

Für die EU27 liefert die Langzeitstudie bis 2050 eine spezifische Kollektorfläche von 2 m<sup>2</sup> pro Einwohner (BAU) bis 8 m<sup>2</sup> pro Einwohner (RDP), welches einer Gesamtkollektorfläche von 970 Millionen m<sup>2</sup> (BAU) bis 3.880 Millionen m<sup>2</sup> (RDP) entspricht. Diese Kollektorfläche entspricht einer Energieeinsparung von 1,552 TWh und würde die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 687 Millionen Tonnen pro Jahr reduzieren.

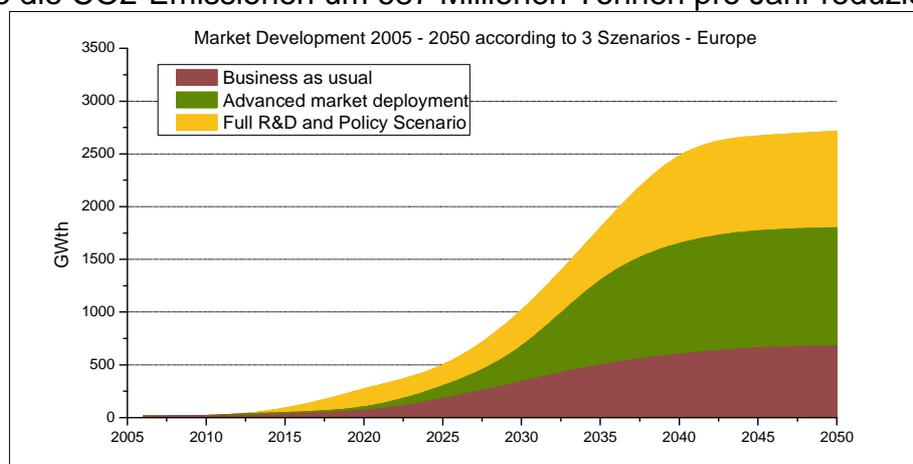


Abbildung 53: Solarthermie-Potential in EU 27, basierend auf den 3 Szenarios; Quelle: [12]

<sup>1</sup> Quelle: Solar Heat Worldwide Ausgaben für 2005 bis 2008 [Werner Weiss, Gerhard Faninger, Irene Bergmann, Roman Stelzer, Franz Mauthner, 2007-2010]

Für Österreich liefert die Langzeitstudie bis 2050 eine spezifische Kollektorfläche von 2 m<sup>2</sup> pro Einwohner (BAU) bis 8 m<sup>2</sup> pro Einwohner (RDP), welches einer Gesamtkollektorfläche von 16 Millionen m<sup>2</sup> (BAU) bis 66 Millionen m<sup>2</sup> (RDP) entspricht, wovon 20,46 Million m<sup>2</sup> für Solar-Kombianlagen angenommen werden (RDP). Diese Kollektorfläche entspricht einer Energieproduktion von 6,4 TWh und einer CO<sub>2</sub>-Einsparung (Heizöläquivalent) von 2,0 Millionen Tonnen pro Jahr.

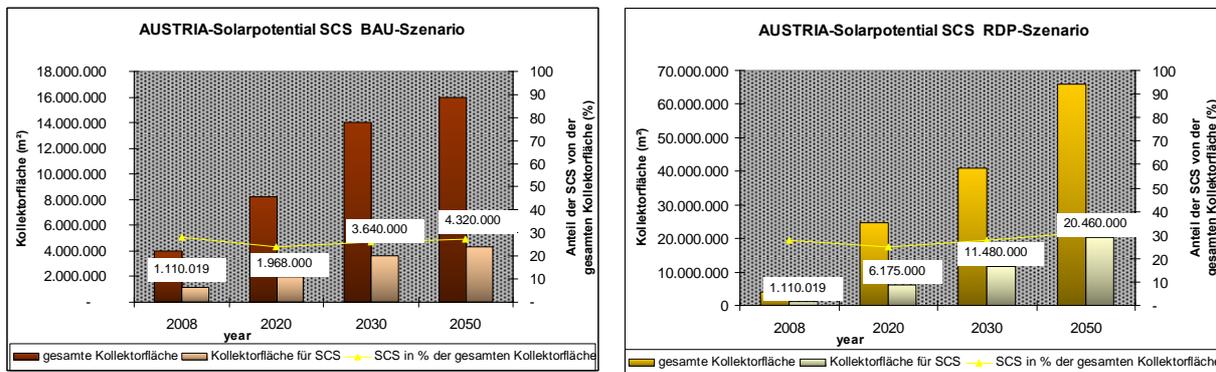


Abbildung 54: gesamtes Solarthermie-Potential und Potential für Solar-Kombianlagen(SCS) in Österreich: einmal für das BAU-Szenario (links) und einmal für das RDP-Szenario (rechts)

Für Dänemark liefert die Langzeitstudie bis 2050 eine spezifische Kollektorfläche von 2 m<sup>2</sup> pro Einwohner (BAU) bis 8 m<sup>2</sup> pro Einwohner (RDP), welches einer Gesamtkollektorfläche von 10,9 Millionen m<sup>2</sup> (BAU) bis 43,4 Millionen m<sup>2</sup> (RDP) entspricht, wovon 4,3 Million m<sup>2</sup> für Solar-Kombianlagen angenommen werden (RDP). Diese Kollektorfläche entspricht einer Energieproduktion von 1.328 GWh und einer CO<sub>2</sub>-Einsparung (Heizöläquivalent) von 423.000 Tonnen pro Jahr.

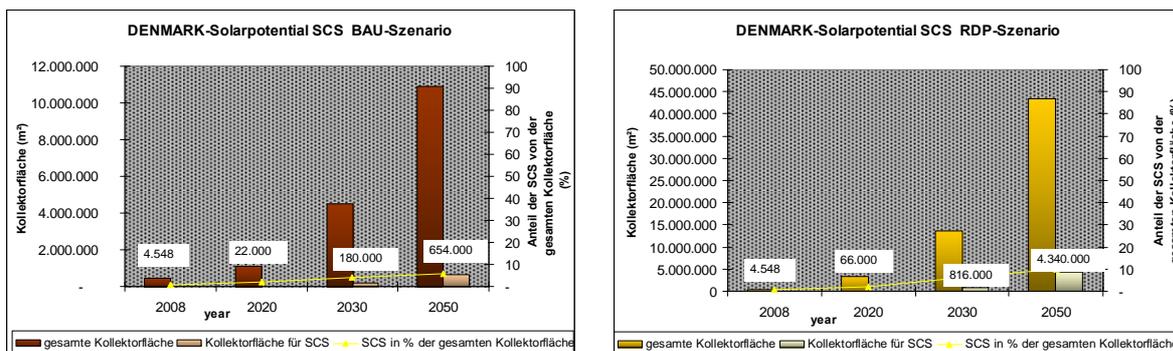


Abbildung 55: gesamtes Solarthermie-Potential und Potential für Solar-Kombianlagen (SCS) in Dänemark: einmal für das BAU-Szenario (links) und einmal für das RDP-Szenario (rechts)

Für Deutschland liefert die Langzeitstudie bis 2050 eine spezifische Kollektorfläche von 2 m<sup>2</sup> pro Einwohner (BAU) bis 8 m<sup>2</sup> pro Einwohner (RDP), welches einer Gesamtkollektorfläche von 165 Millionen m<sup>2</sup> (BAU) bis 662 Millionen m<sup>2</sup> (RDP) entspricht, wovon 152,26 Million m<sup>2</sup> für Solar-Kombianlagen angenommen werden (RDP). Diese Kollektorfläche entspricht einer Energieproduktion von 47,2 TWh und einer CO<sub>2</sub>-Einsparung (Heizöläquivalent) von 15,0 Millionen Tonnen pro Jahr.

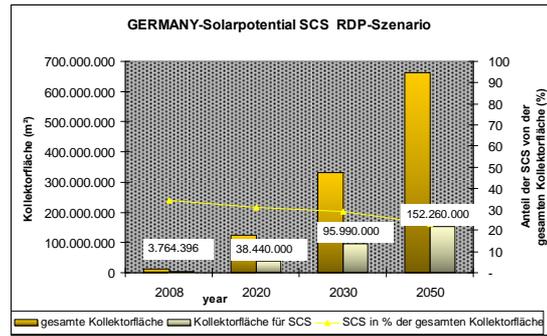
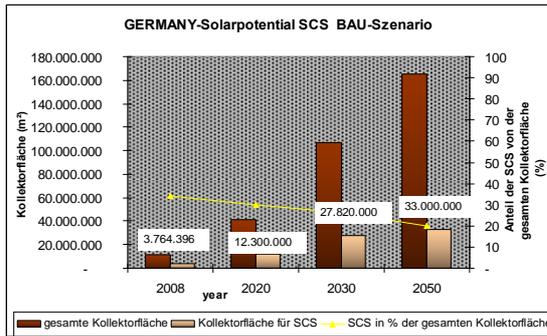


Abbildung 56: gesamtes Solarthermie-Potential und Potential für Solar-Kombianlagen (SCS) in Deutschland: einmal für das BAU-Szenario (links) und einmal für das RDP-Szenario (rechts)

Für Frankreich liefert die Langzeitstudie bis 2050 eine spezifische Kollektorfläche von 1,8 m<sup>2</sup> pro Einwohner (BAU) bis 5,5 m<sup>2</sup> pro Einwohner (RDP), welches einer Gesamtkollektorfläche von 115 Millionen m<sup>2</sup> (BAU) bis 363 Millionen m<sup>2</sup> (RDP) entspricht, wovon 65 Million m<sup>2</sup> für Solar-Kombianlagen angenommen werden (RDP). Diese Kollektorfläche entspricht einer Energieproduktion von 20,1 TWh und einer CO<sub>2</sub>-Einsparung (Heizöläquivalent) von 6,4 Millionen Tonnen pro Jahr.

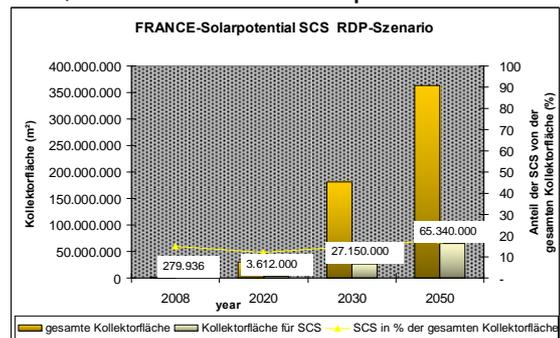
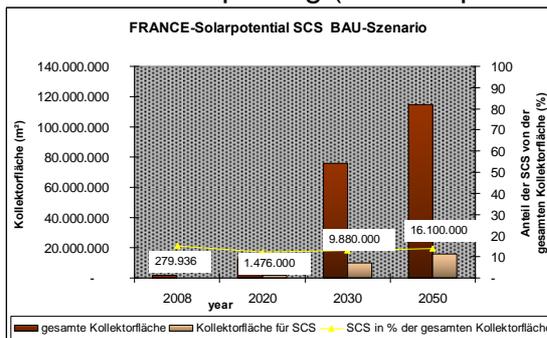


Abbildung 57: gesamtes Solarthermie-Potential und Potential für Solar-Kombianlagen(SCS) in Frankreich: einmal für das BAU-Szenario (links) und einmal für das RDP-Szenario (rechts)

Für Schweden liefert die Langzeitstudie bis 2050 eine spezifische Kollektorfläche von 1,5 m<sup>2</sup> pro Einwohner (BAU) bis 4,6 m<sup>2</sup> pro Einwohner (RDP), welches einer Gesamtkollektorfläche von 14 Millionen m<sup>2</sup> (BAU) bis 43 Millionen m<sup>2</sup> (RDP) entspricht, wovon 26,72 Million m<sup>2</sup> für Solar-Kombianlagen angenommen werden (RDP). Diese Kollektorfläche entspricht einer Energieproduktion von 8,3 TWh und einer CO<sub>2</sub>-Einsparung (Heizöläquivalent) von 2,6 Millionen Tonnen pro Jahr.

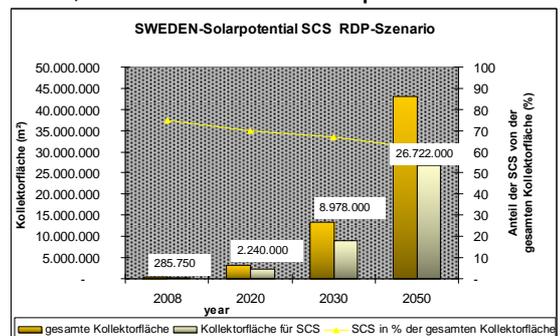
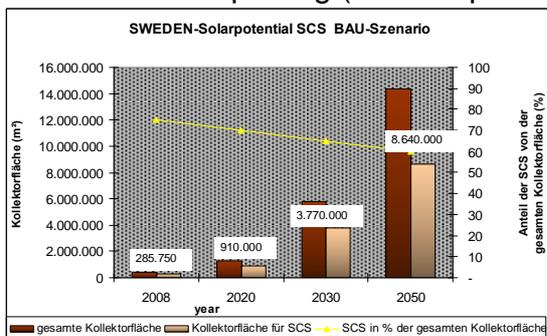


Abbildung 58: gesamtes Solarthermie-Potential und Potential für Solar-Kombianlagen(SCS) in Schweden: einmal für das BAU-Szenario (links) und einmal für das RDP-Szenario (rechts)

### 3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Das Projekt CombiSol hat sich zum Ziel gesetzt, im Rahmen einer Evaluierungskampagne die Qualität und Effizienz installierter Solar-Kombianlagen zu evaluieren und darauf aufbauend Vorschläge für Maßnahmen zur Qualitätssicherung bzw. Qualitätsverbesserung zu erarbeiten. Folgende Arbeitspakete wurden dazu definiert:

- Erhebung und Klassifizierung von Standard Solar-Kombisystemen wie sie aktuell am Markt angeboten werden.
- Qualitative Evaluierung durch vor Ort Besichtigung von 70 Solar-Kombianlagen in den vier Partnerländern Schweden, Frankreich, Deutschland und Österreich.
- Quantitative Evaluierung durch ein einjähriges Messprogramm von 45 Solar-Kombianlagen in den vier Partnerländern.
- Erarbeitung von Empfehlungen für Hersteller, Anbieter und Installateure zur verbesserten Entwicklung, Planung bzw. Installation und Betrieb von Solar-Kombianlagen.
- Erarbeitung von ergänzenden Schulungsunterlagen für bestehende Ausbildungskurse für Solarplaner und Solarinstallateure.
- Messungen von Solar-Kombianlagen im Labor und Vergleich mit Feldmessungen mit dem Ziel die Vorhersagegenauigkeit der Systemtests im Labor zu evaluieren und damit die Erarbeitung der Normen von Systemtests zu unterstützen.

Aktuell am Markt angebotene Systeme wurden klassifiziert nach drei Warmwasserbereitungstypen und 2 Typen hinsichtlich Einbindung der Zusatzheizung. Viele der aktuell installierten Solar-Kombianlagen werden aus Hauptkomponenten bzw. Baugruppen von einem oder auch von mehreren Lieferanten zusammengestellt. Die richtige Installation, Reglereinstellung und Inbetriebnahme bleibt aber oft dem Installateur überlassen.

Die Markterhebung ergab aber auch, dass die Anzahl an Produkten von Kompakt Solar-Kombianlagen, die als Gesamtpakete angeboten werden, deutlich steigt. Im Statusbericht (D2.4) wurden 19 solche im europäischen Raum angebotenen Systeme ohne Anspruch auf Vollständigkeit beschrieben.

Die qualitative Evaluierung der 70 Solar-Kombianlagen ergab ein differenziertes Bild, im wesentlichen gekennzeichnet durch die mehrheitlich noch individuell geplanten und eben mit Produktgruppen von unterschiedlichen Lieferanten zusammengestellten Solar-Kombianlagen. Alle untersuchten Anlagen waren jedenfalls in voll funktionsfähigem Zustand. Die Qualität hinsichtlich Minimierung der thermischen Verluste durch Wärmedämmung der Speicher bzw. der Hydraulik sowie durch die hydraulische und regelungstechnische Integration der Zusatzheizung zeigte in vielen Fällen teilweise deutliches Optimierungspotential. Neben der Montagequalität der Speicherdämmung selbst sind viele Speicher so konzipiert, dass die Dämmung wegen Rohranschlüssen bzw. Temperaturfühlern sehr oft durchbrochen ist (auch wenn nicht genutzt) und damit massive Kältebrücken aufweist. Die Ausführung von Rohranschlüssen am Pufferspeicher nach unten weg führend (Thermosyphonanschluss) wird praktisch nicht realisiert, obwohl dies eine einfache und effiziente Maßnahme wäre. Die hydraulische und regelungstechnische Integration der Zusatzheizung führt oft zu durchgehend hohen Temperaturen in sehr

großen Teilen des Pufferspeichers sowie den Leitungen zwischen Pufferspeicher und Zusatzheizung und damit einhergehend entsprechend hohen Wärmeverlusten. Solar-Kombianlagen mit hohem Vorfertigungs- und Kompaktheitsgrad bzw. mit allen Komponenten (inkl. Zusatzheizung und Gesamtregelung) von einem Lieferanten haben in der Regel deutlich niedrigeres Verlustpotential.

Auch die Messergebnisse der 41 Feldanlagen zeigten in einer relativ großen Bandbreite, dass es in der Praxis gut und effizient, leider aber auch relativ schlecht funktionierende Solar-Kombianlagen gibt. Oft sind es Unzulänglichkeiten nur in einzelnen Punkten, die zu deutlich geringeren Einsparungen führen als eigentlich möglich wäre. Die Solarerträge für sich waren durchwegs auf hohem Niveau bzw. auch über den Erwartungen. Die teilweise erhöhten systemtechnisch bedingten Verluste können im Sommerhalbjahr durch die Solaranlage (fast) kostenneutral ausgeglichen werden, im Winter muss aber dann öfters die Zusatzheizung diese Verluste decken und reduziert damit das Einsparungspotential. Die große Bandbreite der Ergebnisse zieht sich gleich verteilt über alle beteiligten Länder wie auch über alle an den Messungen beteiligten Produkte bzw. Systemtypen. Es konnte also keine Häufung von durchschnittlich besonders guten oder schlechten Anlagen in einem speziellen Land bzw. von einem spezifischen Hersteller ermittelt werden. Einzig bei hohem Grad an Vorfertigung bzw. Kompaktheit und Vollständigkeit der Systeme (inkl. Zusatzheizung aus einer Hand) zeigte sich ein signifikanter Trend zu effizienteren Solar-Kombianlagen.

In drei Labormessungen konnte eine relativ gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Feldmessungen wie auch Bestätigungen und Gründe für die teilweise auftretenden erhöhten Systemverluste gefunden werden. Bei ausreichender Berücksichtigung der gesamten Rohrleitungshydraulik im Simulationsmodell bzw. in Kombination mit einer Thermographiekamera konnten die wesentlichen Schwachpunkte wie oben erwähnt evaluiert werden.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass aktuell installierte Solar-Kombianlagen durchwegs funktionieren, Effizienzsteigerungspotential ist jedoch vorhanden und kann durch deutliche Erhöhung des Vorfertigungsgrades und der Systemintegration erreicht werden. Als wesentliche Bereiche mit Verbesserungspotential wurde identifiziert:

- Wärmeverluste durch Speicher und Hydraulik durch:
  - Kältebrücken am Pufferspeicher wegen Dämmungsdurchbrüche für Rohranschlüsse (unabhängig ob genutzt oder nicht) bzw. Temperaturfühler besonders in der oberen Hälfte des Pufferspeichers inkl. Pufferdeckel.
  - Fehlende Thermosyphonanschlüsse, d.h. nach unten führende Rohranschlüsse am Pufferspeicher.
  - Mangelnde bis gar keine Dämmung der Hydraulik im Technikraum
  - Unnötig lange Hydraulik im Technikraum
  - Unnötige Zwei- oder Mehrspeichersysteme mit schlechtem Oberflächen-Volumenverhältnis
- Wärmeverluste durch Fehler im Hydraulik- bzw. Regelkonzept:
  - Speicher als überdimensionale hydraulische Weiche statt als Puffer genutzt.
  - Schlechte bis keine Temperaturschichtung bei Energiezufuhr in bzw. Energieentnahme aus dem Speicher mangels Einregulierung bzw.

Anpassung des Heizenergieabgabesystems, der Warmwasserbereitung bzw. -zirkulation.

- Schlechte Positionierung bzw. Montage von Temperaturfühlern
- Für den Installateur fehlen eindeutige Vorgabe der hydraulischen und regelungstechnischen Integration der Zusatzheizung in Abhängigkeit der Type (Pellet-, Stückholz-, Gas-, Ölkessel, etc.) und Leistung.
- Kollektorkreis:
  - Schlecht entleerenden Kollektoren bzw. Kollektorfeldern im Stagnationsfall
  - Verwendung von Komponenten mit nicht ausreichender Temperaturbeständigkeit
  - Mangelnde bis keine Dämmung bzw. Schutz der Dämmung außen liegender Leitungen.
  - Fehlende bzw. nicht hochtemperaturbeständige Ablaufleitung und Sammelgefäß nach Überdruckventil

Die aktuell bereits zunehmend zu beobachtende Entwicklung von vorgefertigten und vollständigen Heizanlagen als Solar-Kombikompaktsysteme mit der gesamten Anlage aus einer Hand ist die Basis für eine weitere Optimierung der Systemeffizienz bzw. Installationsqualität sowie ein Potential für eine auch notwendige Kostenreduktion.

## Verzeichnis verfügbarer CombiSol Projektberichte

Final Publishable Report to EIE (Contract No: EIE/07/295/SI2.466855):  
“Solar Combisystems Promotion and Standardisation – CombiSol”

- D2.1 Criteria for best practice (English) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D2.2 Preliminary state of the art report (English) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D2.3 Guidelines for design and dimensioning (English) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D2.4 Updated state of the art report (English) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D3.1 Report assessing the two test methods - component based and whole system based approach (English) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D3.2 Draft standards describing test methods for the determination of primary energy savings of solar combisystems (English) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D4.1 Specifications for monitoring and collection and evaluation of results (English) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D4.2 Guidelines for calculation savings indicators (English) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D4.3 Software for quick delivery of yearly indicators (English) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D4.4 Comparison of results of all monitored plants (English, French, Danish, German and Swedish) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D5.1 Standard form and procedure describing how to evaluate solar combisystems (English) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D5.2 Uniform documentation of the evaluated solar combisystems (English) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D5.3 A simple data base available on Internet to get information about the evaluation results (English) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D5.4 Final documentation summarizing the main conclusions and resulting in general recommendation for the industry (English; 4 page executive summary in French, Danish, German and Swedish) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D6.1 Material for training courses (English, French, Danish, German and Swedish) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D6.1a Suggested Contents for Training on Solar Combisystems for Installers (English) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D6.2 Simple calculation tool “Combi-EN” based on EN 15316-4-3 (English, French, Danish, German and Swedish) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)
- D6.3 Guidelines for Manufacturer (English, French, Danish, German and Swedish) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)

D6.4 Document on energy savings potential (English, French, Danish, German and Swedish) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)

D6.5 Document with recommendations for subsidy schemes (English, French, Danish, German and Swedish) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)

D7.2 Project leaflet (English, French and German) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)

D7.5 Articles published in professional publications, towards installers and manufacturers (English, French, German and Swedish) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)

D7.6 Communication Flyer of Project Results (English, French and German) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)

D7.7 Presentations of project's results at conferences, seminars (English, French, Danish, German and Swedish) [www.combisol.eu](http://www.combisol.eu)

## Literaturverzeichnis

- [1]: **LETZ T.**, 2001, Combisystemes characterisation, IEA SHC-TASK 26, 6<sup>th</sup> Experts Meeting, Delft, Finnland, 2. – 4. April 2001
- [2]: **SUTER J.- M., LETZ T., WEISS W., INÄBNIT J.**, 2000, SOLAR COMBISYSTEMS in Austria, Denmark, Finland, France, Germany, Sweden, Switzerland, the Netherlands and the USA; overview 2000; IEA SHC-TASK 26, Bern, 42 Seiten
- [3]: **LETZ T.**, 2003, Altener program: SOLAR COMBISYSTEMS, WORKPACKAGE 6: MONITORING PROCEDURE, 18 Seiten
- [4]: **IEA SHC – TASK 26**, 2001, SOLAR COMBISYSTEMS, subtask C milestone report C 0.2; Reference conditions; Rapperswill, Schweiz, 7-10 Okt. 2001
- [5]: **M. CONDE**: Engineering, 2002; Thermophysical properties of brines, 11 Seiten
- [6]: **EUROPEAN STANDARD 2006**: EN 12975: Thermal solar systems and components – Solar collectors – Part 2: Test methods; Annex I : Properties of water (DIN V 4757-4:1995-11)
- [7]: **WEISS W. (ed.)**: Solar heating systems for houses, a design handbook for solar combisystems, James & James (Science Publishers) Ltd, London, 2003
- [8]: **HADORN, J-C., ed.**: Thermal energy storage for solar and low energy buildings – State of the art, 2005, University of Lleida: Lleida; Spain. ISBN: 84-8409-877-X
- [9]: **VISSMAN VERK** : Technical Guide Solar Thermal Systems, Viessman GmbH Co KG; Allendorf, Deutschland 2009
- [10]: **VDI 6002 Blatt 1: 2004 -9**: Solar heating for domestic water – General principles, system technology and use in residential buildings. VDI, Düsseldorf, Deutschland, 2004
- [11]: **INTERNATIONAL ENERGY AGENCY**: Renewables for Heating and Cooling: Untapped Potential. Paris, Frankreich, Juli 2007
- [12]: **WEISS W., BIERMAYR P.**: “POTENTIAL OF SOLAR THERMAL IN EUROPE”, European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF); AEE - Institut für Nachhaltige Technologien; Vienna University of Technology – Energy Economics Group (EEG) , 2009 [3]
- [13]: **IEA SHC**: Solar Heat Worldwide, Edition 2008, Werner Weiss, et al. 2010
- [14]: **HALLER M.; HEIMRATH R.** : 2007 “The reference heating system, the template solar system”, Technical report, IEA Solar Heating Cooling program TASK 32, [www.iea.shc.org/task32](http://www.iea.shc.org/task32)
- [15]: **ISO 9459-2 (1995)**: “Solar heating – Domestic water heating systems. Part 2: Outdoor test methods for system performance characterization and yearly performance prediction of Solar-only systems”
- [16]: **ISO 9459-5 (1995)**: “Solar heating – Domestic water heating systems. Part 5: System performance characterization by means of whole-system tests and computer simulation”

- [17]: **NARON D.J., VISSER H. (2002):** "Characterisation Test Procedure for Solar Combisystems", Technical report, IEA Solar Heating & Cooling program TASK 26, [www.iea.shc.org/task26](http://www.iea.shc.org/task26)
- [18]: **PETER M., DRÜCK H. (2008)** Testing of controllers for thermal solar systems, Solar Energy 82 (2008), pp.676-685 Science Direct: Reference: SE2069, Journal title : Solar Energy
- [19]: **VOGELSANGER P. (2002) ARON D.J., VISSER H. (2002):** "The Concise Cycle Test – An Indoor Test Method using a 12-day test Cycle", Technical report, IEA Solar Heating & Cooling program TASK 26 [www.iea.shc.org/task26](http://www.iea.shc.org/task26)
- [20]: **BALES C. (2002) RON D.J., VISSER H. (2002):** "Combitest\_Inial Development of the AC/DC Test Method", Technical report, IEA Solar Heating & Cooling program TASK 26 [www.iea.shc.org/task26](http://www.iea.shc.org/task26)
- [21]: **CEN/TS 12977-2, (2010):** "Thermal solar systems and components. Custom built systems. Part 2: Test method for solar water heaters and combisystems"
- [22]: **CEN/TS 12977-4, (2010):** "Thermal solar systems and components. Custom built systems. Part 4: Performance test methods for combistores"
- [23]: **CEN/TS 12977-5, (2010):** "Thermal solar systems and components. Custom built systems. Part 5: Performance test methods for control equipment"
- [24]: **EN 12975-2, (2006):** "Thermal solar systems and components. Solar collectors. Part 2: Test methods
- [25]: **EN 15316-4-3, (2007): /TS 12977-5, (2010):** "Heating systems in buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 4-3: Heat generation systems, thermal solar systems"