

# NEUE ENERGIEN 2020

## Publizierbarer Endbericht

### Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

### Programmabwicklung:

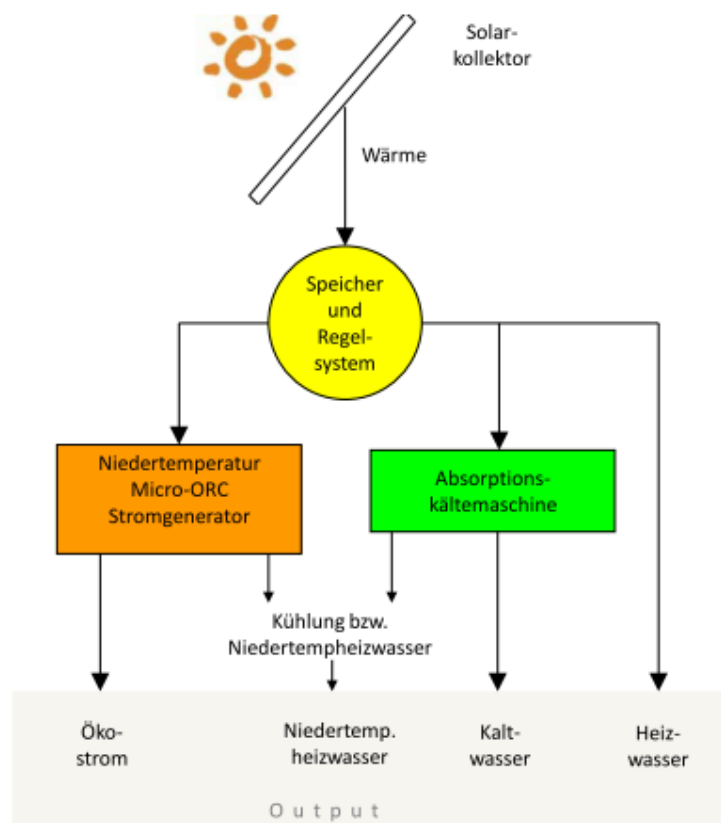
Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

## Projektdaten

<b>Kurztitel</b>	SOLPOLSYS	
<b>Langtitel</b>	Solares Systemkonzept (Strom, Kälte und Wärme) auf ORC-Basis für Büro-, Geschäfts- und Industrieobjekte	
<b>Projektnummer</b>	825.482	
<b>Programm/Programmlinie</b>	<b>Neue Energien 2020</b> <b>3. Ausschreibung</b>	
<b>Antragsteller</b>	YIT Austria GmbH. DI Dr. Christian Schiefer christian.schiefer@yit.at	
<b>Projektpartner</b>	BLUEWATERS Environmental Consultants TUW-Technische Universität Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften WTI wärmetechnische Industrieanlagen GmbH	
<b>Projektstart u. - Dauer</b>	Projektstart: 01.01.2010	Dauer: 30 Monate
<b>Berichtszeitraum</b>	von 01.01.2011 bis 30.06.2012	
<b>Projekt-Homepage</b>	www.solpolsys.at	

# 1 Einleitung

Auf Basis gemessener Energieverbräuche von Büro-, Geschäfts- u. Industrieobjekten wurde ein solares Systemkonzept zur Bereitstellung von Strom, Kälte u. Wärme mit Prozesssimulations-Unterstützung entwickelt. Zur Untersuchung des Konzeptes wurde eine Versuchsanlage errichtet, die es ermöglicht, unterschiedliche Kollektorsysteme mit verschiedenen hydraulischen Schaltungen bei unterschiedlichen Einstrahlungsbedingungen und Prozessbedingungen zu testen. Auf Grundlage der Messergebnisse wurde ein Anlagenkonzept für die solarthermische Versorgung eines größeren Büro- und Geschäftskomplexes entworfen. Aufgrund höherer Temperaturniveaus der dabei eingesetzten Kollektorsysteme können speziell im Sommerbetrieb Absorptionskältemaschinen mit höheren Wirkungsgraden (COPs) verwendet werden.



**Abbildung 1.1: Prinzipskizze Systemkonzept zur Bereitstellung von Strom, Kälte u. Wärme**

Das gesamte Projekt wurde in sieben Arbeitspakete aufgeteilt:

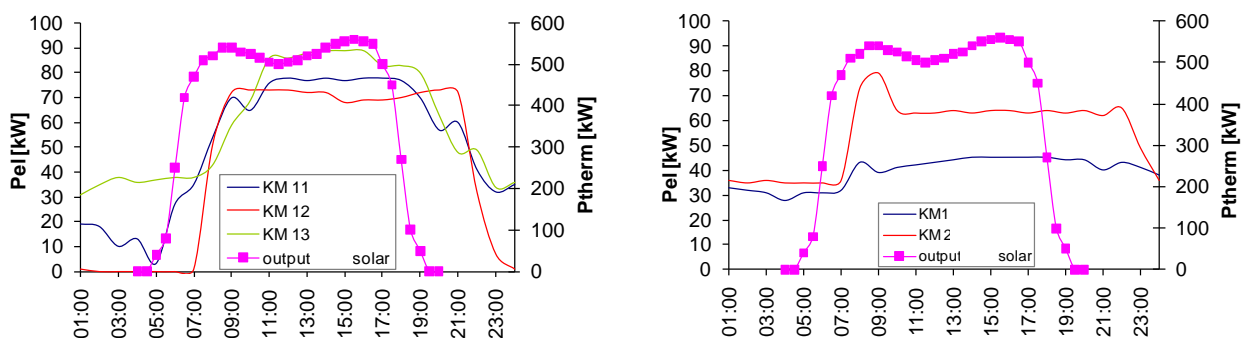
- AP1: Projektmanagement
- AP2: Anforderungen an Kälte-, Wärme und Strombedarf für Büro-, Geschäfts- u. Industrieobjekte – Charakterisierung der Erzeugungs- und Lastsituationen (Dispatching)
- AP3: Konzeptionierung eines intelligenten Last- u. Ressourcenmanagements
- AP4: Thermoöldurchströmter Solarkollektor: Entwicklung eines geeigneten Betriebskonzeptes
- AP5: Aufbau des Systemversuches bestehend aus Solarkollektor, intelligentem Lastmanagement und ORC, IBS
- AP6: Versuchsprogramm „Systemversuch“ bestehend aus Solarkollektor, intelligentem Lastmanagement und ORC, Monitoring, Adaptierung des Versuchsaufbaus
- AP7: Integrierte Systemkonzepte für ausgewählte Büro-, Geschäfts- u. Industrieobjekte

## 2 Inhaltliche Darstellung

### Anforderungen an Kälte-, Wärme und Strombedarf für Büro-, Geschäfts- u. Industrieobjekte – Charakterisierung der Erzeugungs- und Lastsituationen

Es wurde mit einigen Betreibern von Einkaufszentren in Wien Kontakt aufgenommen. In weiterer Folge wurden für 2 ausgewählte Einkaufszentren, der Wärme- und Kühlbedarf errechnet bzw. Messdaten analysiert. Aus den Aufzeichnungen von Stromzählerwerten wurde durch Integration der zeitabhängige Energieverbrauch der einzelnen Kältemaschinen ermittelt.

Um die Sinnhaftigkeit eines möglichen Ersatzes oder der Ergänzung einer oder mehrerer Kompressionskältemaschinen durch solare Kühlung zu evaluieren, wurde der zeitabhängige Energieverbrauch der einzelnen Kältemaschinen mit dem erwarteten thermischen Output eines Solarkollektorfeldes für den Standort Wien überlagert. Die Prüfung der zeitlichen Übereinstimmung von erzeugter thermischer Leistung der Kollektoren und benötigter elektrischer Leistung der Kompressionskältemaschinen konnte wichtige Erkenntnisse im Hinblick auf die Sinnhaftigkeit eines Ersatzes und die Dimensionierung des solaren Wärmespeichers liefern. Beispiele für eine gute bzw. schlechte zeitliche Übereinstimmung an einem typischen Wochentag sind in Abbildung 2.1 für ein Bürogebäude bzw. ein Einkaufszentrum dargestellt. Für die Kältemaschinen 12 im Bürogebäude liegt beispielsweise eine gute zeitliche Übereinstimmung vor, die leichte Zeitversetzung kann durch einen ausreichend dimensionierten Wärmespeicher ausgeglichen werden. Die Kältemaschinen im Einkaufszentrum sind zur Abdeckung der Grundlast durchgängig in Betrieb. Ein Ersatz dieser Kältemaschinen durch solare Kühlung ist aufgrund der tageszeitlichen Schwankungen der Solarstrahlung nur teilweise möglich.



**Abbildung 2.1: Typischer Tagesgang des Stromverbrauches von 3 Kältemaschinen wochentags in einem Bürogebäude (links) bzw. Einkaufszentrum (rechts) sowie der Verlauf der thermischen Leistung eines Kollektorfeldes im Sommer**

### Konzeptionierung eines intelligenten Last- u. Ressourcenmanagements

Das Last- und Ressourcenmanagement muss einen ökonomisch und ökologisch optimalen Betrieb der Anlage bei unterschiedlichen Betriebsfällen und Lastsituationen sicherstellen. Dafür ist eine geeignete anforderungsgerechte Verschaltungslösung für die Verteilung des heißen Vorlaufs aus dem Solarkollektorsystem auf ORC-Prozess, Kältemaschine, Trinkwassererwärmung bzw. Heizung sowie die Sammlung des kalten Rücklaufs aus den Prozessen notwendig. Zur Gewährleistung eines kontinuierlichen Betriebes von ORC-Prozess und Kältemaschine ist außerdem die Dimensionierung eines Pufferspeichers erforderlich. Da je nach Einstrahlung und Witterungsbedingungen die Leistungsabgabe des Kollektorsystems und damit die Vorlauftemperatur stark variiert, bringt der

Einsatz eines Schichtspeichers energetische Vorteile. Die verschiedenen Vorlauftemperaturen werden hier schichtweise unter minimaler Konvektion in den Pufferspeicher eingebracht. Aufgrund der Temperaturabhängigkeit der Dichte des Wärmeträgermediums ergibt sich ein Temperaturgradient innerhalb des Speichers. Mehrere Ausgänge ermöglichen die gezielte Entnahme unterschiedlicher Temperaturen für verschiedene Prozesse und damit flexible Verschaltungsmöglichkeiten bei unterschiedlichen Betriebsfällen und Lastsituationen.

## **Thermoöldurchströmter Solarkollektor: Entwicklung eines geeigneten Betriebskonzeptes**

### **Kollektoren**

Um die erforderliche Temperatur für die ORC-Anlage bzw. die Absorptionskältemaschine zu erreichen sind jedenfalls mehrere Kollektoren in Serie zu Schalten. Diese Kollektorgruppe wird dann mittels Parallelschaltung zu einem Kollektorfeld verbunden. Die tatsächliche Ausführung der Kollektorschaltung ist hauptsächlich von den verwendeten Kollektoren (Druckabfall, Leistung, Nennvolumenstrom) sowie den örtlichen Gegebenheiten abhängig.

Die gängigen Solarkollektortypen lassen sich in zwei große Gruppen unterteilen: konzentrierende und nicht-konzentrierende Solarkollektoren. Nicht-konzentrierende Kollektoren absorbieren die einfallende Strahlung direkt auf ihrer selektiven Absorberschicht. Die Wärme wird auf eine Wärmeträgerflüssigkeit übertragen, die den Absorber durchströmt. Innerhalb der nicht-konzentrierenden Kollektoren kann zwischen Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren unterschieden werden. Flachkollektoren bestehen aus einer flachen Absorberschicht, einer Glasabdeckung, oft mit Antireflexbeschichtung, Rahmen und Dämmmaterial. Sie nehmen sowohl diffuse als auch direkte Strahlung auf und zeichnen sich durch ihren einfachen Aufbau und die damit verbundenen niedrigen Investitionskosten aus, jedoch finden sie aufgrund ihrer hohen Wärmeverluste eher im niedrigen Temperaturbereich (etwa zur Brauchwassererwärmung) ihre Anwendung.

Bei Vakuumröhren befindet sich der Absorber in einem evakuierten Glasrohr, was zu einer deutlichen Reduktion der Wärmeverluste führt. Vakuumröhrenkollektoren sind leistungsfähiger aber auch teurer als Flachkollektoren gleicher Größe. Es gibt verschiedenste Bauarten von Vakuumröhrenkollektoren. Das so genannte Heatpipe Prinzip besteht aus einer Reihe von parallel angeordneten evakuierten Glasröhren, in denen sich der Absorber und die mit Wasser gefüllten Heatpipes befinden. Die Montage erfolgt schräg, mit einem minimalen Aufstellwinkel von 20°. An der Oberseite befindet sich das Sammelrohr, das von dem Wärmeträgermedium des Solarkreises durchströmt wird. Das Wasser in den Heatpipes verdampft durch die Aufnahme der Strahlungswärme, kondensiert am oberen Ende des Wärmerohrs unter Wärmeabgabe an den Solarkreis und rinnt zurück in die Heatpipe. Ein Vorteil dieser Konstruktion ist, dass es auch bei Stillstand der Anlage nicht zu einer Überhitzung des Wärmeträgermediums kommt, da in diesem Fall das gesamte in den Heatpipes befindliche Wasser dampfförmig vorliegt und damit einen geringeren Wärmetransport aufweist. Problematisch ist jedoch der Übergang des Solarglases auf das metallische Sammelrohr. Da Glas und Metall ein unterschiedliches Wärmeausdehnungsverhalten aufweisen, bildet dieser Übergang eine Schwachstelle für die Aufrechterhaltung des Vakuums. Ein Vorteil dieser Konstruktion ist jedoch, dass einzelne defekte Röhren leicht ausgetauscht werden können.

Eine Leistungssteigerung der Vakuumröhrenkollektoren kann durch den Einsatz so genannter CPC-Spiegel (Compound Parabolic Concentrator) erzielt werden. Durch diese kann die Strahlung von allen Seiten auf den Absorber fallen, was mit einer Effizienzsteigerung des Kollektors einhergeht.

Obwohl es dadurch zu einer leichten Konzentration der einfallenden Strahlung kommt, werden CPC-Kollektoren nicht zu den konzentrierenden Kollektoren gezählt, da ihr Verhalten eher mit jenem der Vakuumröhrenkollektoren vergleichbar ist. Die Geometrie der Spiegel ist so gewählt, dass sowohl direkte als auch diffuse Strahlung ohne Nachführung absorbiert werden kann. Dies verlangt einen großen Öffnungswinkel der Spiegel. Daraus ergibt sich ein um ein Vielfaches geringerer Konzentrationsfaktor als bei konzentrierenden Kollektoren, da dieser umgekehrt proportional zum Öffnungswinkel ist.

Um die Eignung der verschiedenen Kollektortypen für die geplanten Betriebsbedingungen abschätzen und vergleichen zu können, die Leistung der Kollektoren für den Standort Wien im Jahresverlauf ermittelt. Grundlage der Berechnung waren Einstrahlungsdaten für den Standort Wien aus den Jahren 1996 bis 1999 der Satel-Light Datenbank ([www.satel-light.com](http://www.satel-light.com)). Mit einer zeitlichen Auflösung von 30min wurde über den Sonnenstand die Direkt- und Diffusstrahlung auf eine beliebig ausgerichtete Fläche berechnet. Des Weiteren wurden die technischen Daten von über 50 verschiedenen Kollektormodellen, vorwiegend von österreichischen, deutschen oder schweizerischen Herstellern, verglichen. Mithilfe des optischen Wirkungsgrades und der Wärmeverlustkennwerte der Kollektoren wurde nach Gleichungen (Gl. 2.1) bis (Gl. 2.2) die Kollektorleistung in Abhängigkeit der Ein- und Austrittstemperatur des Wärmeträgermediums für den Standort Wien im Jahresverlauf ermittelt.

Die Ergebnisse der Berechnung sind in Abbildung 2.2 und Tabelle 2.1 für eine Auswahl an Kollektoren und zwei unterschiedliche Fälle der Ein- und Austrittstemperatur des Wärmeträgermediums (120-150°C bzw. 190-230°C) dargestellt, um die unterschiedliche Performance verschiedener Kollektormodelle in Abhängigkeit der Fluidtemperatur zu veranschaulichen.

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{T_F - T_U}{E} - a_2 \frac{(T_F - T_U)^2}{E} \quad \text{mit: } T_F = \frac{T_{F(ein)} + T_{F(aus)}}{2} \quad (\text{Gl. 2.1})$$

$$\dot{Q} = E \eta \quad (\text{Gl. 2.2})$$

$\eta$ ... thermischer Wirkungsgrad [-]

$\eta_0$ ... optischer Wirkungsgrad [-]

$a_1$ ... linearer Wärmeverlustkoeffizient [W/m<sup>2</sup>K]

$a_2$ ... quadratischer Wärmeverlustkoeffizient [W/m<sup>2</sup>K]

$T_F$ ... mittlere Temperatur des Wärmeträgerfluids im Kollektor [K]

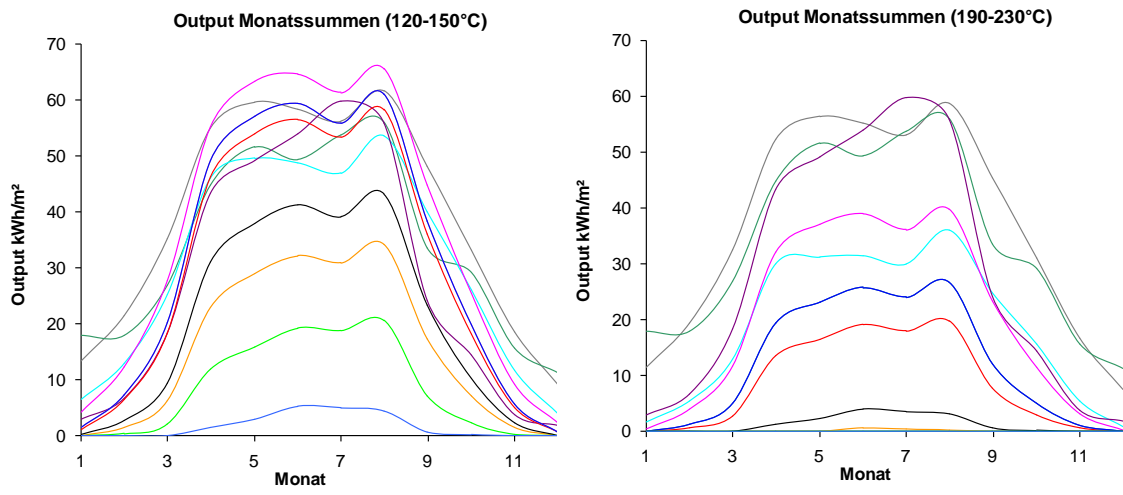
$T_{F(ein)}$ ,  $T_{F(aus)}$ ... Temperatur des Wärmeträgerfluids am Eintritt/Austritt des Kollektors [K]

$T_U$ ... Umgebungstemperatur [K]

$E$ ... aperturspezifische Einstrahlung [W/m<sup>2</sup>]

$\dot{Q}$ ... aperturspezifischer Output des Kollektors [W/m<sup>2</sup>]

Wie aus Tabelle 2.1 und Abbildung 2.2 hervor geht, können die Vakuumröhren und CPC-Kollektoren, mit Ausnahme der weniger leistungsfähigen Modelle, bei niedriger Fluidtemperatur durchaus mit den konzentrierenden Kollektoren mithalten. Bei hoher Temperaturdifferenz zwischen Wärmeträgermedium und Umgebung, daher bei hoher Fluidtemperatur bzw. im Winter, sind die konzentrierenden Kollektoren den Vakuumröhren jedoch überlegen. Zusätzlich ist zu beachten, dass seitens der CPC- und Vakuumröhrenkollektorhersteller keine Erfahrungswerte bei Fluidtemperaturen über 170°C vorliegen. Flachkollektoren erbringen bei diesen Temperaturen in keinem Fall eine zufrieden stellende Leistung, da ihre Wärmeverluste selbst bei Temperaturen von 120 bis 150°C zu hoch sind.



**Abbildung 2.2: Apertur spezifische Monatssummen in kWh/m<sup>2</sup> bei einer Temperatur des Wärmeträgermediums von 120 bis 150°C bzw. 190 bis 230°C**

Die Flächenausnutzung bei Fresnelkollektoren ist bei diesen Betriebsbedingungen bei Weitem am besten, da kein Abstand zwischen den Kollektorreihen zur Vermeidung von Abschattung notwendig ist. Preislich gesehen sind jedoch die leistungsfähigeren Vakuumröhren bzw. CPC-Kollektoren bei niedrigem Temperaturniveau die bessere Wahl.

**Tabelle 2.1: Sammlung der wichtigsten Kenndaten verschiedener Kollektoren bei Ein- und Austrittstemperaturen von 120-150°C bzw. 190-230°C**

	Fresnel 1	Fresnel 2	Parabolrinnen 1	Parabolrinnen 2	CPC 1	CPC 2	CPC 3	Heatpipe 1	Heatpipe 2	Vakuumröhre 1	Flachkollektor 1
T <sub>max</sub> [°C]	380	250	190	220	295			150	150		200
Wärmeträgerfluid	Druckwasser		Druckwasser	Mobiltherm 605	Tyfocor LS	Frostschutzlösung	Tyfocor LS	Wasser/Glykol		nur spezielle Wärmeträger Flüssigkeit	
Öl mögl	Ja		Ja	Ja	Ja	Ja		Ja			
A <sub>a</sub> [m <sup>2</sup> ]	22	223	9,0	28,8	3	1,72	1,88	3,175	3,175	1,112	5,525
A <sub>b</sub> [m <sup>2</sup> ]	30,45	315	20,3		3,42	2,13	2,21	4,261	4,261	1,512	6,06
m [kg]	852,6		150	900	54		36	86	86	36	190
A <sub>ges</sub> (150°C) [m <sup>2</sup> ]	1000	1200	3700	2300	2000	2500	4200	2600	2600	3900	6600
A <sub>ges</sub> (230°C) [m <sup>2</sup> ]	1100	1200	5600	2300	3400	7600	376000	6100	6100	48000	11200000
P (120-150°C) [kWh/m <sup>2</sup> a]	470	406	371	334	436	354	183	376	376	241	20
P (190-230°C) [kWh/m <sup>2</sup> a]	440	406	226	334	238	102	1	144	144	15	0

$A_a$	Aperturfläche eines Moduls [ $m^2$ ]
$A_b$	Bruttofläche eines Moduls [ $m^2$ ]
$m$	Gewicht eines Moduls [kg]
$K_{sp}$	spezifische Kosten ohne MwSt. [ $€/m^2_{Apertur}$ ]
$A_{ges}$	Gesamtfläche eines Moduls unter Miteinbeziehung des notwendigen Abstands zum Nachbarmodul zur Vermeidung von Abschattung [ $m^2$ ] für eine mittlere thermische Leistung von 350kW täglich vier Stunden lang von Mai bis August
$P$	Apertur spezifische Jahresgesamtleistung in kWh/ $m^2$ bei einer Temperatur des Wärmeträgermediums von 120 bis 150°C bzw. 190 bis 230°C

## Wärmeträger

Für die Evaluierung und Festlegung geeigneter Wärmeträger wurden die technischen Daten von an die 100 Medien verschiedener Hersteller gesammelt und im Hinblick auf ihre Einsatzfähigkeit in Solarkollektoren im Mitteltemperaturbereich verglichen.

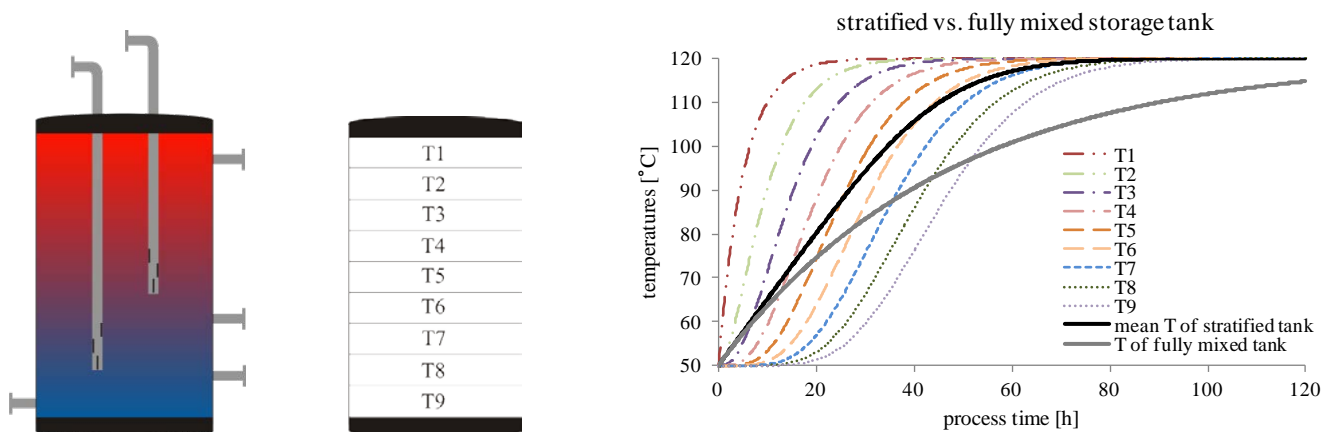
Die gängigen Medien lassen sich in zwei Gruppen - Glykol-Wassermischungen und Thermoöle - unterteilen, welche sich im Hinblick auf Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit und Viskositätsverhalten, vor allem aber bezüglich ihrer zulässigen Maximaltemperaturen stark voneinander unterscheiden. Glykol-Wassermischungen können Temperaturen über 200°C auf Dauer nicht standhalten. Einerseits liegt der Dampfdruck von Ethylen- oder Propylenglykol, welches die Basis der meisten auf Glykol basierenden Medien ist, um ein Vielfaches über jenem der Thermoöle, andererseits kommt es bei höheren Temperaturen zu einer thermischen Zersetzung der Glykole, was mit einem Verlust ihrer wärmeleitenden und vielmals auch ihrer korrosionshemmenden Eigenschaften verbunden ist. Jedoch haben Glykole gegenüber Thermoölen einige entscheidende Vorteile: Sie sind physiologisch, ökologisch und sicherheitstechnisch wesentlich unbedenklicher und in den meisten Fällen deutlich billiger als Thermoöle. Des Weiteren können Konzentrate erworben und erst am Einsatzort mit Wasser gemischt werden, was eine Senkung der Transportkosten mit sich bringt. Der größte Vorteil liegt jedoch in den deutlich höheren Wärmeleitfähigkeiten und spezifischen Wärmekapazitäten. Letztere sind bei Glykol-Wassermischungen in etwa doppelt so hoch wie bei Thermoölen. Dies bedeutet, dass bei Verwendung eines Thermoöls der doppelte Massenstrom an Wärmeträgermedium benötigt wird, um dieselbe Wärmemenge zu übertragen. Dies führt zu höheren Druckverlusten in den Rohrleitungen und damit zu einem höheren Eigenverbrauch der Pumpen, was durch die oftmals höheren Viskositäten der Thermoöle noch verstärkt werden kann. Aus diesen Gründen wurde entschieden, ein auf Glykol basierendes Wärmeträgermedium zu verwenden und damit die maximale Betriebstemperatur auf 170-200°C festzulegen. Dies ist für den Betrieb einer einstufigen Absorptionskältemaschine in jedem Fall ausreichend, der mögliche Einsatz eines zweistufigen Absorptionskälteprozesses kann auf Basis der Ergebnisse des Testbetriebes simuliert und evaluiert werden.

## Aufbau des Systemversuches bestehend aus Solarkollektor, intelligentem Lastmanagement und ORC

### Schichtspeicher

Da sich aus den durchgeführten Berechnungen kein Kollektormodell identifizieren ließ, das bei den zu erwartenden Betriebstemperaturen in allen Punkten (Jahresgesamtleistung, Leistung im Winter bzw. Sommer, Flächenbedarf, Preis, etc.) eindeutig die besten Ergebnisse lieferte, wurden im Zuge des Versuchsaufbaus drei verschiedene Referenzkollektorfelder installiert, um unterschiedliche Verschaltungen auf verschiedenen Temperaturniveaus zu testen. Der für das Lastmanagement

notwendige thermische Pufferspeicher wurde, in Form von zwei Schichtspeichern mit jeweils ca. 2,5m<sup>3</sup> Inhalt realisiert. Die Schichtspeicher hatten jeweils vier Eingängen und vier Ausgängen die gezielte Entnahme und Rückführung von Strömen unterschiedlicher Temperaturen ermöglichen. Wie wichtig eine geeignete Beschickung des Schichtspeichers ist, kann sehr klar durch eine Beladungssimulation - im Berechnungsbeispiel ausgehend von einer Starttemperatur von 50°C - gezeigt werden. Wird der Schichtspeicher möglichst ohne Durchmischung beschickt und der Rücklauf immer vom unteren Ausgang (niedrigste Temperatur) entnommen, so kann der Speicher bei temperaturkonstantem Zulauf (im Beispiel 120°C) wesentlich rascher beheizt werden. In Abbildung 2.3 ist eine solche zonale Simulation, die im Rahmen des Projektes mit TRNSYS durchgeführt wurde, dargestellt. Der Schichtspeicher wurde durch ein zonales Modell mit 9 Zonen vereinfachend ins Modell implementiert. Die zeitabhängigen Temperaturverläufe der mittleren Speichertemperatur sind den zonalen Zeit-Temperaturverläufen gegenüber gestellt.



**Abbildung 2.3: Design des Schichtspeichers (links) mit den 9 Temperaturschichten**

### Solare Einstrahlung

Um die Leistung der Kollektoren im Jahresverlauf ermitteln zu können, ist eine Messung der Globalstrahlung notwendig. Dies ist die gesamte auf eine Fläche einfallende Strahlung, die sich aus Direkt- und Diffusstrahlung zusammensetzt. Die im Testversuch untersuchten Vakuumröhren-Kollektoren können sowohl Direkt- als auch Diffusstrahlung nutzen. Ihre Leistung kann somit auf die Globalstrahlung, die auf die jeweilige Fläche auftrifft, bezogen werden. Die Globalstrahlung wird mittels Pyranometer gemessen. Das Messprinzip beruht auf dem thermo-elektrischen Effekt, der aufgrund des Temperaturanstiegs der beschichteten Sensoroberfläche bei Sonneneinstrahlung zustande kommt.

Konzentrierende Kollektoren (Parabolrinnen- oder Fresnelkollektoren) können im Vergleich lediglich die Direktstrahlung nutzen, da nur parallele Strahlen in den Brennpunkt reflektiert werden, in dem sich der Absorber befindet. Obwohl im Testversuch keine konzentrierenden Kollektoren untersucht wurden, wurde zusätzlich zum Pyranometer ein Pyrheliometer zur Messung der Direktstrahlung installiert, damit die zu erwartende Leistung von Parabolrinnen- und Fresnelkollektoren zumindest rechnerisch für den dortigen Standort ermittelt und mit dem Output der Vakuumröhren-Kollektoren zukünftig verglichen werden könnte.

Das Messprinzip des Pyrheliometers ist dasselbe wie jenes des Pyranometers, jedoch ist der Sensor von einer Abschattung umgeben und misst nur das direkt einfallende Sonnenlicht. Das Pyrheliometer muss daher immer direkt in die Sonne gerichtet sein und somit über den Tages- und Jahresverlauf



nachgeführt werden. Dies geschieht mit einem Tracker, der nach präzisiertem Logarithmus dem Stand der Sonne folgt.

Pyranometer und Pyrheliometer, sowie Tracker, Steuerungsrechner und Datenlogger wurden dem Projektteam von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) zur Verfügung gestellt, welche die generierten Daten auch täglich auf Plausibilität überprüft. Der Sonnenstand wurde von der zur Verfügung gestellten Software aus den Standort-Koordinaten in Leiben (Breitengrad: 48°14'27", Längengrad: 15°16'36", Seehöhe: 279m) berechnet.

Die Verschaltung der Gesamtanlage wurde sehr flexibel implementiert, sodass es beispielsweise möglich ist, sowohl Kollektorfelder als auch Speicher einzeln, parallel und in Serie zu durchströmen. Somit ist es möglich, verschiedene Betriebszustände zu simulieren und Erkenntnisse aus Vorteilen bestimmter Schaltungsvarianten zu erlangen. Alle für den Betrieb wesentlichen Prozessventile weisen elektrische Antriebe auf und sind zentral mit dem Schaltschrank und einer SPS verbunden.

Das Kollektorfeld wurde in Leiben auf zwei Streifenfundamenten in exakter Südrichtung aufgestellt, wobei der Fundamentabstand so gewählt wurde, dass Abschattungsverluste nahezu auszuschließen sind. In Tabelle 2.2 sind die technischen Daten der Kollektorfelder aufgelistet, in Abbildung 2.4 ist die örtliche Positionierung der einzelnen Kollektoren dargestellt.

**Tabelle 2.2: Daten der eingesetzten Kollektorfelder am Standort Leiben**

Anbieter		MEA Solar	Sieger Solar	Sieger Solar
Typ		MEA Power 12	Sunstar HP65-30	DF 120-6
Art		CPC Vacuum Tube	Heatpipe Vacuum Tube	Direkt-Flow Vacuum Tube
Land		AUT	D	D
Produktinformationen:		MEA Power 12	Sieger Solar HP65-30	Sieger Solar DF 120-6
T <sub>max</sub>	°C	295	150	140
p <sub>max</sub>	bar	10ü	6	6
WT - Inhalt/Modul	L	1,6	1,4	1,7
Absorberfläche/Modul	m <sup>2</sup>		2,972	1,609
Apertur/Modul	m <sup>2</sup>	2	3,175	1,684
Bruttofl/Modul	m <sup>2</sup>	2,28	4,261	2,446
Bruttolänge/Modul	m	1,64	1,98	2,825
Bruttobreite/Modul	m	1,39	2,152	0,866
Gewicht/Modul	kg	37	86	55
Absorberneigung β	°	45	40	30
Kollektorneigung	°	45	40	0
Kollektorausrichtung α	°	0	0	0
Anzahl Module		8	3	3
WT - Inhalt	L	12,8	4,2	5,1
Absorberfläche	m <sup>2</sup>		8,916	4,827
Aperturfläche	m <sup>2</sup>	16	9,525	5,052
Kollektorfläche	m <sup>2</sup>	18,24	12,783	7,338
Grundfläche exkl. Schatten	m <sup>2</sup>	12,90	9,79	7,34

Durch die interne Neigung der im Vakuumrohr an die Sammelleitung angebrachten Bleche des liegend montierten Vakuum-Röhrenkollektors ergeben sich gute Solar-Wirkungsgrade bei geringen Abschattungsverlusten. Die horizontale Anordnung ist besonders für die Flachdachmontage bei windexponierten Lagen, höheren Gebäuden etc. von Vorteil.



Abbildung 2.4: Örtliche Anordnung der am Standort Leiben aufgebauten Kollektorfelder

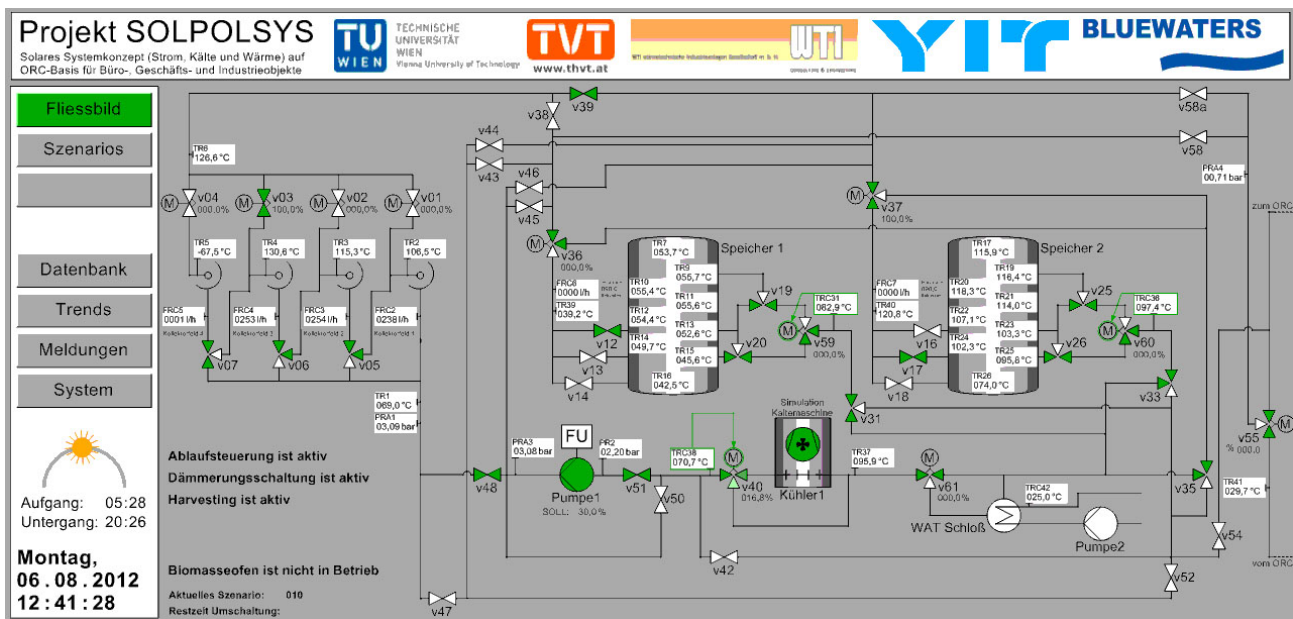


Abbildung 2.5: Prozessvisualisierung der Regelung und Datenerfassung der Versuchsanlage

Die Prozessvisualisierung erlaubt die vollständige Versuchssteuerung und Datenerfassung bequem von einer Maske aus. Ausgehend von einem zentralen Fließbild kann auf alle Armaturen sowie die Pumpen zugegriffen werden. Es wurden insgesamt über 50 verschiedene Betriebsszenarien implementiert, die bequem über einen Szenariomanager ausgewählt werden können und innerhalb von 180s nach der Auswahl durch Schalten der entsprechenden Ventile, Regler und Pumpen aktiviert werden können. Zusätzlich wurde eine stromsparende Dämmerungsschaltung unter Berücksichtigung des Sonnenaufgangs und -untergangs implementiert, um die Umwälzpumpe nur tagsüber zu aktivieren. Im Menu "System" können verschiedene Regelkreise aktiviert oder

deaktiviert werden und die PID-Reglerparameter gesetzt werden. Insbesondere von Bedeutung sind Temperaturbegrenzer für den Zulauf der Kollektoren, die Aktivierung der Vorkühlung sowie das Speichermanagement und das Zulaufmanagement zu nennen.

## Versuchsprogramm „Systemversuch“ bestehend aus Solarkollektor, intelligentem Lastmanagement und ORC, Monitoring, Adaptierung des Versuchsaufbaus

Die Versuchsanlage in Leiben ermöglicht verschiedene Versuchsszenarien wie den Wärmespeicherbetrieb, die Speicherentladung über Kühler (=Simulation der Absorptionskältemaschine oder des ORC) und die Wärmeabgabe in ein Nahwärmesystem ("Schlossheizung"). Verschiedene dieser Szenarien wurden ausgetestet und betrieben. Im Folgenden werden beispielhaft für einen Versuchstag mit "Solarharvesting" - d.h. die an den Solarkollektoren anfallende Wärme wird möglichst vollständig in die Speicher geladen - die erhaltenen Versuchsdaten für jedes einzelne Kollektorfeld sowie für die Gesamtanlage im Verhältnis zur Sonneneinstrahlung (aufgeteilt in Globalstrahlung und Direktstrahlung) dargestellt. Als Datum wurde der 21.Juni 2012 ausgewählt. An diesem Tag war Schönwetter mit hohem Direktstrahlungsanteil.

Um zunächst einen Überblick über den Jahresverlauf der Sonneneinstrahlung am Standort zu erhalten, ist in der Abbildung 2.6 die Globalstrahlung und die Direktstrahlung am Standort Leiben für das abgelaufene Jahr seit Mitte 2011 dargestellt. Die Messungen wurden am Standort gemeinsam mit der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien (ZAMG) durchgeführt und von der ZAMG überprüft und freigegeben. Sehr schön erkennbar sind die Maxima bei etwa  $800 \text{ W/m}^2$  in den Sommermonaten mit durchschnittlichen Leistungen von etwa  $500 \text{ W/m}^2$  über bis zu 10 Stunden pro Tag, während in den Wintermonaten diese Werte lediglich ca.  $250 \text{ W/m}^2$  (Maximum) und  $100 \text{ W/m}^2$  durchschnittlich über etwa 4 bis 5 Stunden pro Tag betragen.

Die Temperaturen bzw. die erreichten Wärmeleistungen (Serienschaltung der Kollektoren, Volumenstrom ca.  $250 \text{ L/h}$ ) sind für einen Kollektor der Globalstrahlung gegenüber gestellt und in den Abbildung 2.7 dargestellt. Die erreichbaren Wirkungsgrade liegen zum Teil deutlich über 50%, wie aus den Kurvenverläufen interpretierbar ist.

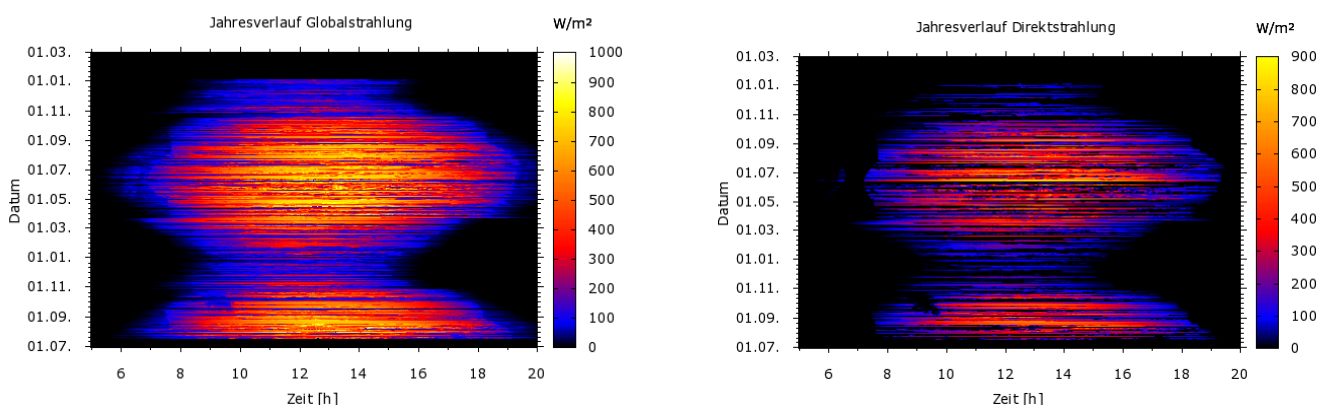
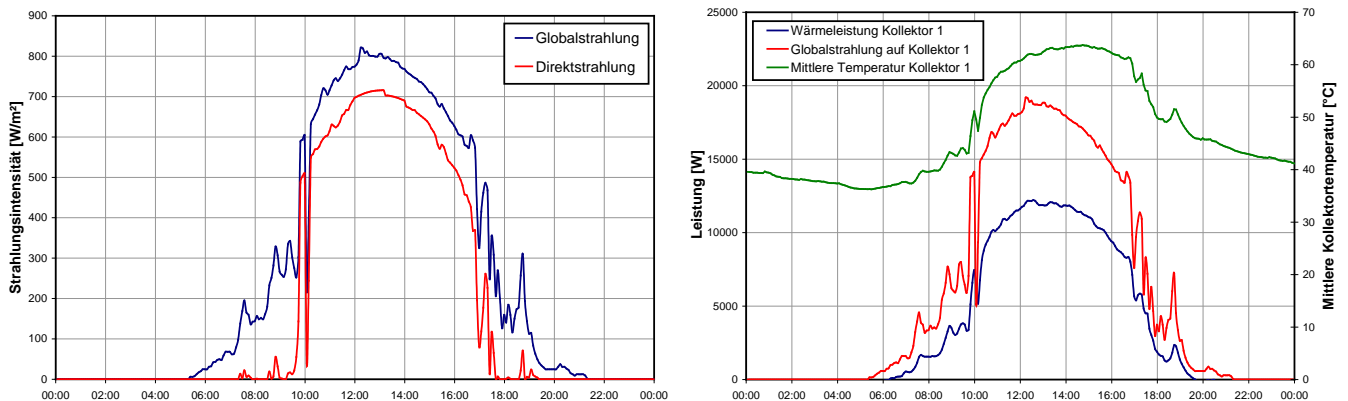


Abbildung 2.6: Jahresverlauf der Globalstrahlung (links) und Direktstrahlung (rechts) für den Standort Leiben/NÖ im Jahr 2011/2012



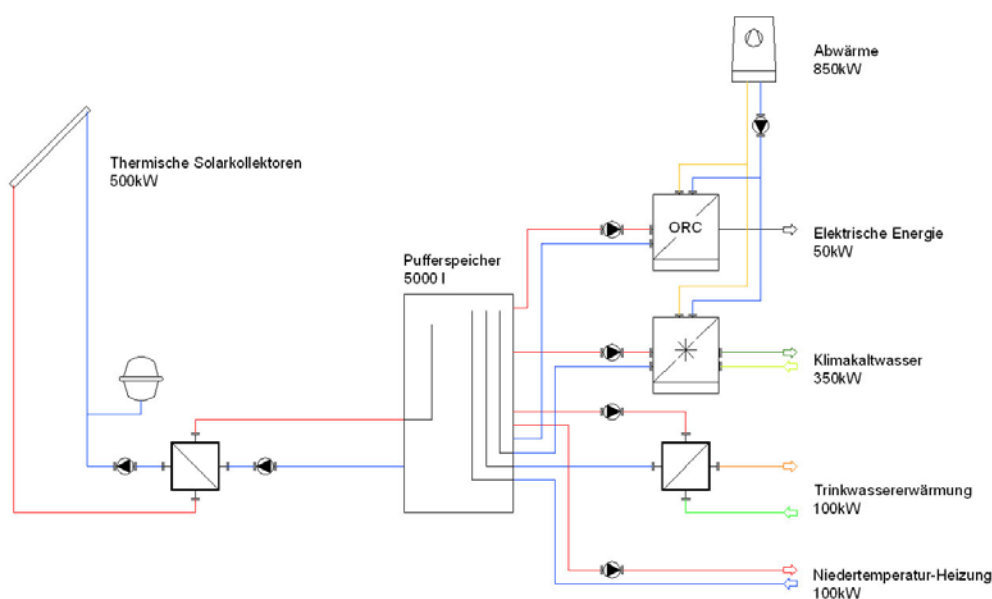
**Abbildung 2.7:** Links: Direkt- und Globalstrahlung auf die horizontale Bodenfläche in Leiben am 21.06.2012; Rechts: Wärmeleistung des Kollektorfelds, Globalstrahlung auf die Kollektorgrundfläche inklusive Schatten und mittlere Kollektortemperatur (Kollektorfeld 1)

## Integrierte Systemkonzepte für ausgewählte Büro-, Geschäfts- u. Industrieobjekte

### Ökonomische und ökologische Analyse des Systemkonzeptes

Es wurde das Systemkonzept analysiert und die jeweilige erzeugte Kälteenergie, Wärmeenergie sowie Strommenge bei unterschiedlichen Betriebsweisen berechnet. Aus diesen Werten wurden die Energiekosteneinsparung gegenüber einem herkömmlichen System sowie die entsprechende CO<sub>2</sub>-Einsparung ermittelt. Eine dynamische Amortisationsrechnung gibt Aufschluss über die Wirtschaftlichkeit dieses Systems.

Als Basis wurde eine erforderliche Kälteleistung von 350kW angenommen. Damit kann z.B. ein 3-geschoßiger Bürobau mit einer Grundfläche von 2300m<sup>2</sup> bei einer erforderlichen Kälteleistung von ca. 50 W/m<sup>2</sup>gekühlt werden.



**Abbildung 2.8:** Allgemeines Schema eines typischen Systemkonzeptes basierend auf einer Kollektorfeldleistung von 500 kW (4h Dauerleistung Sommer) mit ORC, Kälte- und Wärmeabgabe

Die Regelung des Volumenstroms erfolgt über die festgelegte Vor- und Rücklauftemperatur des Kollektorfelds, unter Berücksichtigung eines minimalen Apertur-spezifischen Volumenstroms von 3 L/hm<sup>2</sup>.

Abhängig von der Jahreszeit werden zwei unterschiedliche Betriebsweisen angenommen:

- Kühlperiode (1. April – 30. September): Ströme mit Temperaturen zwischen 80 und 110°C werden der Kältemaschine zugeführt, Ströme außerhalb dieses Temperaturfensters betreiben den ORC. Ströme mit Temperaturen über 160°C werden vor Eintritt in den Verdampfer des ORC auf 160°C abgekühlt, die daraus gewonnene Wärme wird zu Heizzwecken abgeführt. Zusätzlich kann die Energie des Kühlwassers aus dem Kondensator des ORC zu Heizzwecken genutzt werden, wenn dessen Temperatur über 50°C beträgt.
- Heizperiode (1. Oktober – 31. März): Die Kältemaschine wird nicht betrieben. Die gesamte Wärme des Solarfeldes wird dem ORC zugeführt. Ströme mit Temperaturen über 160°C werden vor Eintritt in den Verdampfer des ORC auf 160°C abgekühlt, die daraus gewonnene Wärme wird zu Heizzwecken abgeführt. Zusätzlich kann die Energie des Kühlwassers aus dem Kondensator des ORC zu Heizzwecken genutzt werden, wenn dessen Temperatur über 50°C beträgt.

#### Solarkollektorfeld

- Typ: direkt durchströmter Vakuumröhrenkollektor
- optischer Wirkungsgrad: 0,804
- Linearer Wärmeverlustkoeffizient: 1,36 W/m<sup>2</sup>K<sup>2</sup>
- Quadratischer Wärmeverlustkoeffizient: 0,0022 W/m<sup>2</sup>K<sup>2</sup>
- Aufstellwinkel: 44°
- Aperturfläche: 2000m<sup>2</sup>
- Wärmeträgervolumen (Kollektoren, Speicher, Rohrleitung): 7,1m<sup>3</sup>
- Wärmeträgerdichte: 1012kg/m<sup>3</sup>

#### Absorptionskältemaschine

- COP : 0,7
- Maximale Vorlauftemperatur (heiß): 110°C
- Minimale Rücklauftemperatur (heiß): 80°C
- Maximale Temperaturdifferenz zwischen Vor-und Rücklauf (heiß): 20°C

#### ORC

- Arbeitsmedium: HFC-245fa
- COP: abhängig von den Temperaturen im Verdampfer und Kondensator (<0,2)
- Maximale Temperatur des Arbeitsmediums: 150°C
- Mechanischer Wirkungsgrad des Generators: 0,7
- Kondensation des Arbeitsmediums bei 50°C

Die Investitionskosten der Anlage von ca. 890.000€ enthalten die Mehrpreise gegenüber der herkömmlichen Anlage (Solaranlage, ORC, teurere Kältemaschine, zusätzlicher Kühlturm wegen erhöhter Rückkühlleistung, Pumpen, Verrohrung...).

Die Kostenersparnis ergibt sich aus

- den Stromkosten für die jährlich erzeugte elektrische Energie des ORC bei Bezug aus dem Stromnetz
- den Stromkosten bei Betrieb einer Kompressionskältemaschine für die Bereitstellung der von der Absorptionskältemaschine jährlich erzeugten Kühlenergie
- den Kosten für Erdgas bei Bereitstellung der jährlich anfallenden Restwärme mittels Gaskessel.

#### Annahmen

- Strompreis: 0,165 €/kWh
- Leistungszahl der Kompressionskältemaschine: 3
- COP des Gaskessels: 0,9
- Gaspreis: 0,037 €/kWh
- Zinsfuß: 5%
- Jährliche Strompreiserhöhung: 10%
- Betriebskosten für Nebenaggregate: 2.500€

Zur ökologischen Analyse wird die CO<sub>2</sub>-Ersparnis im Vergleich zum herkömmlichen System berechnet. CO<sub>2</sub>-Äquivalente, die bei der Herstellung der Anlage und der Referenzprozesse anfallen, wurden nicht berücksichtigt.

Die CO<sub>2</sub>-Ersparnis ergibt sich aus:

- den CO<sub>2</sub>-Äquivalenten des benötigten Netzstroms für die Bereitstellung derselben Menge elektrischer Energie, die mittels ORC jährlich erzeugt wird
- den CO<sub>2</sub>-Äquivalenten des benötigten Netzstroms bei Betrieb einer Kompressionskältemaschine für die Bereitstellung der von der Absorptionskältemaschine jährlich erzeugten Kühlenergie
- den CO<sub>2</sub>-Äquivalenten für Erdgas bei Bereitstellung der jährlich anfallenden Restwärme mittels Gaskessel.

#### Annahmen

- CO<sub>2</sub>-Äquivalente Strom: 195 g/kWh
- Leistungszahl der Kompressionskältemaschine: 3
- COP des Gaskessels: 0,9
- CO<sub>2</sub>-Äquivalente Erdgas: 202 g/kWh

### **Ergebnisse Kühlleistungsmaximierung**

Ein maximaler Ertrag an Kühlenergie ergibt sich bei einer Vorlauftemperatur des Kollektorfelds von 90°C und einer Rücklauftemperatur von 80°C. Dabei wird während der Kühlperiode der ausschließliche Betrieb der Kältemaschine ermöglicht, während die mittlere Temperatur des Wärmeträgermediums im Solarkreislauf und damit dessen Wärmeverluste möglichst gering gehalten werden. Der dabei erzielte Jahresoutput liegt bei 756MWh/a Kühlenergie, 15MWh/a nutzbarer elektrischer Energie sowie 268MWh/a Heizwärme. Elektrische Energie und Wärme werden dabei ausschließlich während der Heizperiode erzeugt. Diese Berechnung ergibt eine jährliche Ersparnis von 55.000€ und 112t CO<sub>2</sub>. Der dabei erzielte monatliche Ertrag aus Heiz-, Kühl- und elektrischer Energie ist in Abbildung 2.9 ersichtlich. Unter Berücksichtigung der Betriebskosten für Nebenaggregate ergibt sich eine dynamische Amortisationszeit von 11,7 Jahren.

## Monatlicher Energieertrag

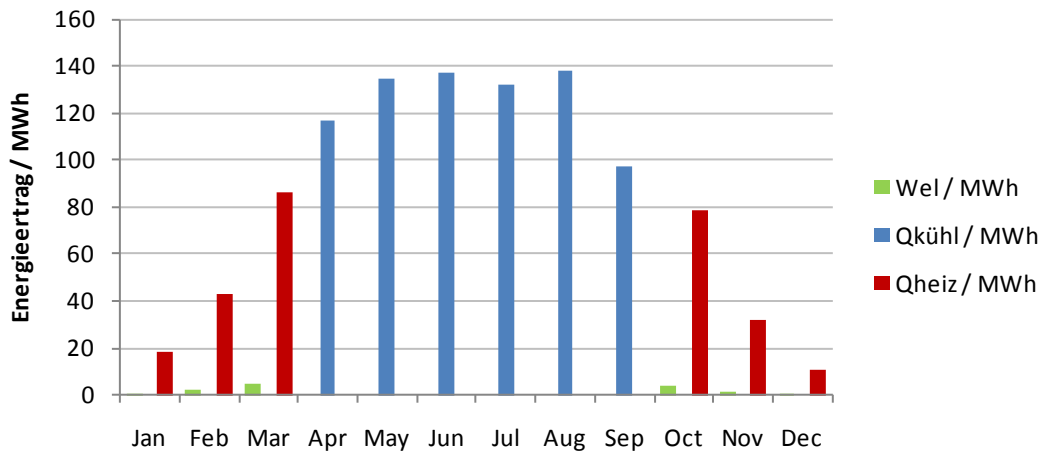


Abbildung 2.9: Monatlicher Energieertrag bei einer Vor- bzw. Rücklauftemperatur des Kollektorfelds von 90° bzw. 80°C für eine Kühlperiode von April bis Sept. und eine Heizperiode von Oktober bis März

### Ergebnisse Reduzierter Kühlbedarf mit sommerlicher Wärmenutzung

Bei weniger Kühlbedarf kann die Betriebsweise geändert werden und die nicht benötigte solare Wärme auch während der Kühlperiode verstromt und die Abwärme des ORC genutzt werden. Ein Beispiel wäre eine Vorlauftemperatur des Kollektorfelds von 100°C und eine Rücklauftemperatur von 60°C. Der dabei erzielte Jahresoutput liegt bei 380MWh/a Kühlenergie, 40MWh/a nutzbarer elektrischer Energie sowie 833MWh/a nutzbarer Restwärme. Unter der Annahme, dass die gesamte Restwärme zu Heizzwecken oder für die Brauchwassererwärmung genutzt werden kann, ergibt sich eine jährliche Ersparnis von 62.000€ und 220t CO<sub>2</sub>. Der dabei erzielte monatliche Ertrag aus Heiz-, Kühl- und elektrischer Energie ist in Abbildung 2.10 ersichtlich. Unter Berücksichtigung der Betriebskosten für Nebenaggregate ergibt sich eine dynamische Amortisationszeit von 10,5 Jahren.

## Monatlicher Energieertrag

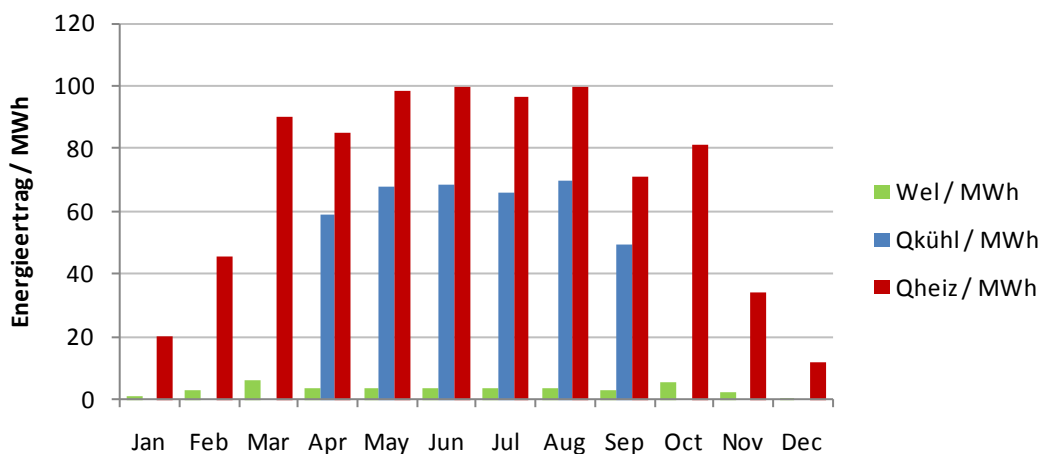


Abbildung 2.10: Monatlicher Energieertrag bei einer Vor- bzw. Rücklauftemperatur des Kollektorfelds von 100° bzw. 60°C für eine Kühlperiode von April bis September und eine Heizperiode von Oktober bis März

Wie in der Analyse gezeigt, hängen die zu erreichenden Erträge bzw. CO<sub>2</sub>-Einsparungen vom jeweiligen Bedarf an Kälte, Strom bzw. Wärme ab. Der wesentliche Vorteil dieses Systems liegt in der Flexibilität die gesamte anfallende Solarwärme nutzen zu können ohne großvolumige Speicher (Jahresspeicher) zu benötigen. Falls kein Kälte- oder Wärmebedarf vorhanden ist wird die Sonnenenergie zur Stromproduktion genutzt.

Trotz der deutlich höheren Investitionskosten im Vergleich zu herkömmlichen Systemen (Kompressionskältemaschine und Gaskessel) sind Amortisationszeiten von 10 Jahren und selbst in ungünstigeren Fällen von 15 Jahren erreichbar – und dies ohne Berücksichtigung irgendwelcher Förderungen beziehungsweise erhöhter Stromeinspeisetarife. Dabei werden Einsparungen von bis zu 220t CO<sub>2</sub> pro Jahr erreicht.

Vergleicht man dazu eine Photovoltaikanlage, ist für eine Einsparung derselben Menge CO<sub>2</sub> ein deutlich höherer Flächenbedarf erforderlich (1kW<sub>p</sub> erzeugt ca. 1000kWh Strom pro Jahr bei einem Flächenbedarf von ca. 8m<sup>2</sup>, d.h. 125kWh/m<sup>2</sup>. Selbst für eine Einsparung von 98t CO<sub>2</sub> ist, bei einem CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 195g/kWh, eine Stromproduktion von 502.500kWh und somit eine Fläche von ca. 4000m<sup>2</sup> erforderlich. D.h. es wird für eine Photovoltaikanlage die doppelte Fläche benötigt, um dieselbe CO<sub>2</sub> Einsparung zu erzielen.

Weitere Potentiale zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit sind vorhanden, wurden in dieser Berechnung aber nicht berücksichtigt. Das wäre zum Beispiel die Nutzung der Kühlwärme zur Zulufterwärmung in Lüftungsgeräten in der Übergangszeit, oder die Reduktion der Investitionskosten durch gemeinsame Nutzung der Kühler für ORC und Kältemaschine und Entwicklung einer modulartigen Bauweise.

Um die im Aktionsplan "Erneuerbare Energien 2011" geforderten Einsparungen von 24PJ in Wärme- und Kälteversorgung zu erreichen und zusätzlich die Versorgungssicherheit zu erhöhen, ist der Ausbau Solarer Kühlung und Stromproduktion unerlässlich. Das in diesem Projekt verwendete Anlagensystem ist in der Lage dazu, einen wesentlichen Beitrag zu leisten.

### 3 Ergebnisse, Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Das **SOLPOLSYS-Konzept hat klare Vorteile zu konventionellen solarthermischen Anlagen**, beispielsweise zur Warmwassergewinnung, **als auch Photovoltaik-Anlagen** mit der zunehmenden Problematik der Stromnetzüberlastung und den Erfordernissen des Netzausbaus. Die **Folgekosten eines überbordenden bzw. unkontrollierten Windstrom- und Photovoltaikstromausbaus** werden insbesondere in Deutschland bereits sehr stark sichtbar. Beim Vergleich von unterschiedlichen Produktionskonzepten erneuerbarer Energien werden heute diese - von jedem Stromkunden zu tragenden - Folgekosten für den Ausbau der Netzinfrastruktur und aufwendigen Speicherkonzepten in der Regel nicht berücksichtigt. Die solarthermische Integration von Konzepten zur Heizung/Kühlung/Warmwasser und geringem Stromanteil weist diese Problematik nicht auf.

Das Projektteam konnte in Gesprächen mit potentiellen Interessenten / Kunden eines solarthermischen Energiekonzeptes sehr positives Feedback feststellen. Grundsätzlich besteht sowohl Bedarf als auch erhebliches Potential für die im Projekt SOLPOLSYS entwickelten Ideen zur Systemintegration. Die **Investitionskosten sind insbesondere bei der nachträglichen Gebäudeintegration** durch zusätzliche bauliche Maßnahmen und Einschränkungen, was den Platzbedarf im Gebäude und die technischen Schnittstellen zur bestehenden Haustechnik (Heizung, Klimatisierung, Warmwasser, Strom) betrifft, aber auch die zum Teil ungünstige Dachflächenverfügbarkeit **relativ hoch**.



Das Projektteam empfiehlt daher eine Berücksichtigung solarthermischer Konzepte bereits bei der Gebäudeplanung von Büro- oder Industriegebäuden. Fördermaßnahmen könnten die Marktakzeptanz und Marktdurchdringung noch zusätzlich erhöhen.

Das Projektteam erkennt **Forschungs- und Entwicklungsbedarf insbesondere bei ORC-Technologien** (derzeit zu hohe spezifische Kosten und zu geringer Deckungsbeitrag für die ORC-Investition; zum Teil schlechtes Teillastverhalten; schlechte Nachnutzbarkeit der Abwärme). Auch der COP-Wert derzeit verfügbarer einstufiger Absorptionskältemaschinen (typisch 0,7) wäre durch flexible zweistufige Konzepte und verbessertes Teillastverhalten zu erhöhen. Auch hier sieht das Projektteam klaren F&E-Bedarf, der in zukünftigen Förderaktivitäten des Klima- und Energiefonds verstärkt Berücksichtigung finden könnte.

## 4 Ausblick

Laut der *Solar Heating and Cooling Roadmap 2012* der Internationalen Energieagentur wird die installierte solarthermische Kühlleistung im Jahre 2020 in OECD-Europa ca. 5GW betragen, 2030 auf 13GW und bis 2050 auf 28GW ansteigen. Inwieweit diese solaren Kühlanlagen auch mit ORC-Anlagen zur Stromerzeugung kombiniert werden, hängt von der künftigen Preisentwicklung von der derzeit relativ teuren ORC-Anlage sowie der elektrischen Energie (Einspeisetarife) ab.

YIT startet im Herbst 2012, aufbauend auf den Projektergebnissen ein konzernweites internes Entwicklungs- und Marketingprojekt um Solare Kühlung und Stromerzeugung an allen Niederlassungen europaweit anbieten zu können (der Konzern umfasst derzeit Firmen in 14 Ländern: Finnland, Schweden, Norwegen, Dänemark, Russland, Estland, Litauen, Lettland, Deutschland, Österreich, Polen, Rumänien, Tschechische Republik und Slowakei). Dieses YIT interne Projekt wird von YIT Austria GmbH geleitet.

An der Technischen Universität Wien wird das Monitoring der Versuchsanlage auch nach Projektende fortgesetzt, um weitere Szenarien zu erproben bzw. die im Projekt bereits angelegten Datensätze zu vervollständigen und zu ergänzen. Davon unabhängig wurde mit der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) vereinbart, die Aufzeichnung und Auswertung der Global- und Direktstrahlungsmessdaten bis auf Weiteres fortzusetzen, um die erforderlichen Bezugsdaten für den Solarwärmeertrag zu erhalten. Auf diese Weise wird die Versuchsanlage ideal nachgenützt. In einem weiteren internen Projekt wird zunächst im Rahmen einer Vertiefungsarbeit bzw. in der Folge im Rahmen einer Dissertation ein genaueres Simulationsmodell für den Standort Leiben in die Softwareumgebung TRNSYS implementiert.

WTI Anlagen GmbH wird insbesondere die Implementierung von ORC-Konzepten fortsetzen. WTI hat zwischenzeitlich 2011/12 bereits sehr erfolgreich eine ORC-Integration zur Wärmenutzung bei einer Biogasanlage integriert. Eine Kombination mit anderen Wärmequellen und Wärmenutzern, so wie sie auch im Projekt SOLPOLSYS angedacht waren, kann für WTI standortabhängig sehr sinnvoll erscheinen.

BLUEWATERS wird das KnowHow für Pre-Feasibility und Feasibility von Gebäude- und Industriestandorten nutzen und die Erkenntnisse in ihre Konzepte einfließen lassen.

## 5 Literaturverzeichnis

- International Energy Agency: Technology Roadmaps: Solar Heating and Cooling (2012), [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/2012\\_SolarHeatingCooling\\_Roadmap\\_FINAL\\_WEB-1.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/2012_SolarHeatingCooling_Roadmap_FINAL_WEB-1.pdf)
- SOLPOLSYS Endbericht-Tätigkeitsbericht; Neue Energien 2020; 12.2012