

Smirro GmbH

**Entwicklung von Anlagen zur Nutzung solarer Prozesswärme  
mittels standardisierter Konzepte auf Basis des  
Parabolrinnenkollektors „Smirro“  
am Beispiel eines Textilbetriebes**

**Akronym: „Soltex“**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,  
gefördert unter dem Aktenzeichen 29724 – 24/2 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)

von

Smirro GmbH  
Fuhrmannstraße 9  
72351 Geislingen

Michael Zirkel  
Telefon: +49 (0) 7428 9418 770  
Fax: +49 (0) 7428 9418 780  
E-Mail: [info@smirro.com](mailto:info@smirro.com)



Datum: 15.09.2014

<b>Projektkennblatt</b>			
der <b>Deutschen Bundesstiftung Umwelt</b>			
Az	29724 – 24/2	Referat	Fördersumme
<b>Antragstitel</b>	<b>Entwicklung von Anlagen zur Nutzung solarer Prozesswärme mittels standardisierter Konzepte auf Basis des Parabolrinnenkollektors „Smirro“ am Beispiel eines Textilbetriebes</b>		
<b>Stichworte</b>	Solare Prozesswärme, konzentrierende Solarthermie, Parabolrinne		
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>2 Jahre</b>	<b>13.03.2012</b>	<b>13.03.2014</b>	<b>8</b>
Zwischenberichte	3		
<b>Bewilligungsempfänger</b>	Smirro GmbH	Tel.:	07428 9418 770
	Fuhrmannstraße 9	Fax:	07428 9418 780
	72351 Geislingen	Projektleitung	Reiner Stauss
		Bearbeiter	Michael Zirkel
<b>Kooperationspartner</b>	Carl Meiser GmbH & Co.KG Textilausrüstung   Technische Textilien Stadionstrasse 75 72461 Albstadt-Tailfingen Tel.: 07432 980 5 0 Fax: 07432 980 5 31		
<p><b>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</b></p> <p>Das vorrangige Projektziel ist die Verbreitung der konzentrierenden Solarthermie (Parabolrinne) im Bereich der industriellen Prozesswärme. Um dies zu erreichen wurden Variationen und Anlagenkonzepte für industrielle Anwendungen erarbeitet und anschließend mit Hilfe von Simulationsstudien ausgewertet. Im Zentrum stand die Realisierung einer Demonstrationsanlage mit Parabolrinnen bei dem Textilunternehmen der Carl Meiser GmbH &amp; Co.KG, deren endgültige Konzeption durch vorangegangene Studien zustande kam. Entsprechend der Auswertungen durch das ITW wurde die Anlage optimiert. Die Erfahrungen beim Aufbau als auch beim Betrieb der Demonstrationsanlage sollen künftig zur Entwicklung von Anlagenkonzepten für andere industrielle Prozesse dienen.</p> <p><b>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</b></p> <p>Bevor die Demonstrationsanlage aufgebaut werden konnte, musste vorerst der Ist-Zustand des vorhandenen Wärmenetzwerks beim Textilunternehmen aufgenommen werden. Danach war es möglich die Planung der Integration der Prozesswärme mittels Parabolrinnen beim Textilunternehmen vorzunehmen. Hierzu wurden mehrere Möglichkeiten berechnet und simuliert, wonach die prozesstechnisch beste Möglichkeit umgesetzt wurde. Diese umfasste die Einspeisung der generierten Prozesswärme in das bestehende Wärmenetzwerk des Textilbetriebes indem auf den vorhandenen 70 m<sup>3</sup> Pufferspeicher gefahren wurde. Nach Festlegung der Integration fand die mechanische und hydraulische Umsetzung der Demonstrationsanlage beim Textilunternehmen statt. Vorab waren statische Berechnungen notwendig um die zulässige Dachlast nicht zu überschreiten. Nach Fertigstellung wurde die Anlage auf ihre Leistungsfähigkeit vom ITW messtechnisch überwacht, wonach Optimierungen vorgenommen werden konnten. Diese Optimierung beinhaltete das Ersetzen des Wärmeübertragers und Anpassung der Parameter der Steuerung der Anlage.</p>			
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • <a href="http://www.dbu.de">http://www.dbu.de</a>			

### **Ergebnisse und Diskussion**

Die technische Umsetzung der Demonstrationsanlage beim Textilunternehmen brachte neue Erkenntnisse bez. des Aufbaus einer Parabolrinnenanlage und deren Integration in ein bestehendes Wärmenetzwerk. Zuvor mussten die einzelnen Komponenten der Parabolrinne optimiert werden, so dass sie den Anforderungen Stand hielten. Dies beinhaltete u.a. die reparaturfreundliche und verwindungssteife Verbindungstechnik zwischen den einzelnen Modulen, hydraulische Durchströmung und das Steuerungskonzept die sich in ihren jeweiligen Details als Aufwändig herausstellten. Die Lösungen die Verbindungstechnik über eine neukonstruierte Achsaufnahme zu bewerkstelligen, welche teilbar ist und dadurch das Auswechseln von einzelnen Kollektoren zulässt, erwies sich als vorteilhaft. Auch ist es mit dieser Verbindungstechnik möglich nachträgliche Feinjustierungen zur Ausrichtung der Kollektoren durchzuführen. Die Durchströmung der Parabolrinnenanlage wurde durch eine intelligente Verlegung der Rohrleitung mittels des Tichelmannprinzips umgesetzt. Des Weiteren wurde die Steuerung der Anlage über eine Eigenentwicklung bewerkstelligt, die es erlaubt nachträglich Änderungen der Parameter vorzunehmen. Eine Marktrecherche zur hydraulischen Verbindung zwischen dem ständig in Bewegung stehendem Absorberrohr zur statisch festen Verrohrung der Anlage, erbrachte die Lösung mit der Verwendung des nun eingesetzten Flexschlauches. Ebenfalls war die Simulationsstudie ein wichtiges Mittel um die beste Möglichkeit zu ermitteln wie die Demonstrationsanlage langfristig in das bestehende Wärmenetzwerk integriert werden kann. So war in der Simulation eine Energieeinsparung fossiler Energieträger von etwa 39,6 MWh/a möglich. Das Monitoring der Anlage über einen längeren Zeitraum wird zeigen ob die Simulationsergebnisse mit den realen Werten bestätigt werden können. Dies ist bisher noch nicht gelungen, da die Messdaten nach der Optimierung der Anlage (Oktober 2013) zum Abgabezeitpunkt des Berichts noch kein komplettes Jahr aufgezeichnet wurden. Der Aufbau der Demonstrationsanlage brachten wesentliche Erkenntnisse, die es bei zukünftigen Projekten mit solarthermischen Anlagen zu berücksichtigen gilt. So müssen vorab weitreichende Planungen vorgenommen werden um einen reibungslosen Ablauf des Aufbaus Vorort zu gewährleisten. Zu berücksichtigen gilt es ebenfalls Rahmenbedingungen, wie beispielsweise Wetter und Gebäudehöhe (Unfallgefahr durch Schneefall und Einsatz eines Krans). Ebenfalls konnten zum ersten Mal Erfahrungen mit Reflexion, ausgelöst durch die Demonstrationsanlage, gesammelt werden. Darüber hinaus zeigte das Monitoring der Anlage die Unzulänglichkeiten des vorerst verwendeten Wärmeübertragers. Dieser wurde letztendlich getauscht, wonach die Demonstrationsanlage bedeutend wesentlich höhere Leistungsdaten erzielte.

### **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Einreichung der Projektzusammenfassung zur Vorstellung des Projekts bei der die „IEA SHC Konferenz“ in Peking/China vom 13. bis 14. Oktober 2014

### **Fazit**

Durch das DBU geförderte Projekt mit dem Ziel der Verbreitung von konzentrierender Solarthermie mittels Parabolrinnenkollektoren, konnte gezeigt werden, dass eine Integration in ein bestehendes Wärmenetzwerk möglich ist. Die Integration einer Demonstrationsanlage auf dem Gebäude eines Textilbetriebes war deshalb ein wichtiger Schritt diese Technologie weiter voranzutreiben. Die Anlage läuft derzeit überaus zufriedenstellend, so dass mit Absprache mit dem Kooperationspartner auch über den Bewilligungszeitraum hinaus die Demonstrationsanlage weiter betrieben werden soll. Somit wird nachhaltig Prozesswärme mittels regenerativen Energien für den Textilbetrieb bereitgestellt.

## Interne Projektbewertung durch den Bewilligungsempfänger

### Bewertung der Projektergebnisse (kritische Betrachtung):

Das Projekt gefördert von der DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt) in Zusammenarbeit mit dem Industriepartner Carl Meiser GmbH & Co.KG und dem ITW der Universität in Stuttgart, ist als positiv zu betrachten. Die Projektziele der verschiedenen Partner wurden eingehalten und die Demonstrationsanlage mit dem Einsatz des Parabolrinnenkollektor „Smirro“ zur Erzeugung industrieller Prozesswärme konnte umgesetzt werden.

Dieses Projekt hat durch die einzelnen Phasen, im Speziellen durch die Inbetriebnahme weitreichende Erkenntnisse erbracht. Erstens wurden diverse Anlagenkonzepte erarbeitet und simuliert. Später wurde die Anlage ausgeführt, die den Anforderungen, speziell den Anforderungen vom Industriepartner, entsprach. Diese Anforderung beinhaltete, dass vorhandene Dampfnetz nicht zu beeinträchtigen

In der Aufbauphase mussten sicherheitsrelevante und technische Rahmenbedingungen eingehalten werden. Dies umfasste bspw. die zulässige Dach- und Windlasten des Gebäudes.

Die gemachten Erfahrungen dieser umgesetzten Anlage wird künftig eine große Hilfe für spätere Anlagenkonzepte mit dem Parabolrinnenkollektor „Smirro“ und dem Umgang mit einem Hochtemperaturwärmenetzwerk sein.

### Soll-Ist-Vergleich der Projektkosten:

Projektkosten	Plan	IST
Bruttoarbeitsentgelt	72.780,00 €	110.069,08 €
Gemeinkosten 120%	87.336,00 €	132.082,90 €
Sachkosten	47.500,00 €	43.031,41 €
Reisekosten	2.677,00 €	36,00 €
Fremdleistungen	57.000,00 €	26.704,20 €
<b>Summe</b>	<b>267.293,00 €</b>	<b>311.923,59 €</b>

Da die messtechnische Untersuchung der Anlage vom ITW Stuttgart noch läuft wird gegen Ende des Jahres 2014 ein weiterer Betrag von 12.100,80 € zur Zahlung fällig. Diese Kosten sind im obenstehenden Soll-Ist Vergleich noch nicht aufgeführt.

**Darlegung der im Bewilligungsschreiben formulierten Bewilligungsaufgaben:**

Der Bewilligungszeitraum von 24 Monaten ab März 2012 wurde eingehalten. Zwar war es nicht möglich die Montagearbeiten direkt ab März 2012 zu beginnen, weil vorab die Planungstätigkeit vorgenommen werden musste. Dies beinhaltete die Berechnung der Statik der Aufständigung, die Planung der Integration in das bestehende Wärmenetzwerk und die weitreichenden Materialbestellungen. Der Baubeginn verschob sich aufgrund der Wetterlage (Schneefall) auf März 2013. Der Zeitraum aufgrund der schlechten Wetterlage wurde genutzt um Vorarbeiten zur Montage vorzunehmen. Der weitere Verlauf des Projekts beinhaltete die Vermessung der Anlage vom ITW in Stuttgart, welches weit über den Bewilligungszeitraum bis Mitte Oktober 2014 stattfinden wird. Darüber hinaus ist geplant die Anlage die nächsten Jahre weiter zu vermessen um nachhaltige Erkenntnisse bez. der Leistungsfähigkeit der installierten Parabolrinnenanlage zu gewinnen.

Die Bewilligungsaufgabe bez. der energetisch und ökonomischen Bewertung der installierten Anlage wurde vorgenommen und ist im Abschlussbericht übersichtlich dargestellt (siehe S.25/26)

Gemäß der Förderleitlinie der DBU wurden die Verfahrensbestimmungen eingehalten, wonach die entstandenen Ausgaben regelmäßig der DBU als Zwischennachweis vorgelegt wurden. Dies beinhaltete ebenfalls die Vorlage der entsprechenden Zeitnachweise der am Projekt beteiligten Mitarbeiter. Ebenfalls wurde in diesem Zusammenhang der eigentliche Projektverlauf dokumentiert und an die DBU gemeldet.

Die Bewilligungsaufgabe zur Erhebung eines Benutzungsentgelts für die Nutzung der generierten solarthermischen Energie wurde vom Kooperationspartner nicht verlangt, weshalb das Nutzungsrecht unentgeltlich stattfand.

Zusammengefasst wurden die im Bewilligungsschreiben formulierten Bewilligungsaufgaben im vollen Umfang erfüllt.

Datum	Stempel und Unterschrift des Bewilligungsempfängers
-------	-----------------------------------------------------

## Inhaltsverzeichnis

<b>Projektkennblatt</b> .....	<b>I</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>IX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>X</b>
<b>Nomenklatur</b> .....	<b>XI</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1 Projektvorstellung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Technische und wissenschaftliche Ziele von „Soltex“ .....	3
1.2 Stand der Technik von solarthermischen Anlagen .....	4
<b>2 Projektablauf</b> .....	<b>5</b>
2.1 AP1 Optimierung des Kollektors .....	5
2.2 AP2 Verbesserung Flexschlauch .....	12
2.3 AP3 Simulationsstudie [5] .....	14
2.3.1 Rahmenbedingungen zur Simulationsstudie .....	15
2.3.2 Anlagenkonzept 1 .....	16
2.3.3 Anlagenkonzept 2 .....	17
2.3.4 Anlagenkonzept 3 .....	18
2.3.5 Anlagenkonzept 4 .....	19
2.3.6 Anlagenkonzept 5 .....	20
2.3.7 Zusammenfassung der Simulationsergebnisse .....	21
2.3.8 Beschreibung des realisierten Anlagenkonzepts .....	23
2.3.9 Beschreibung der Regelungsstrategie .....	26
2.3.10 Variation der Regelungsstrategie .....	27
2.3.11 Zusammenfassung des Arbeitspaketes .....	28
2.4 AP4 Planung und Bau .....	29
2.5 AP5 Monitoring .....	37
2.6 AP6 Optimierung .....	42
2.7 AP7 Softwaretool zur vereinfachten Anlagenauslegung .....	48
2.8 AP8 Projektmanagement und Berichterstellung .....	48
<b>3 Projektfazit</b> .....	<b>50</b>
<b>Literatur</b> .....	<b>52</b>
<b>Anhang A: Wetterdaten für den Standort Albstadt-Tailfingen</b> .....	<b>53</b>

**Anhang B: Simulationsergebnisse ..... 54**  
**Anhang C: Technische Daten Wärmeübertrager ..... 59**

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Elektrischer und thermischer Energieverbrauch (EU-27) [1] [2].....	2
Abbildung 2: Achsaufnahme.....	6
Abbildung 3: Gestapelte Parabolrinnen.....	7
Abbildung 4: Navigationsbereich der Visualisierung.....	8
Abbildung 5: Haltewinkel des optischen Sensors.....	9
Abbildung 6: Anbringung des optischen Sensors am Parabolrinnenstrang.....	10
Abbildung 7: Absorber-Muffe.....	11
Abbildung 8: Verbaute Absorber-Muffe.....	11
Abbildung 9: Montierter Flexschlauch.....	13
Abbildung 10: Vereinfachtes Hydraulikschema der Anlage im Ist-Zustand.....	15
Abbildung 11: Vereinfachtes Hydraulikschema Anlagenkonzept 1.....	17
Abbildung 12: Vereinfachtes Hydraulikschema Anlagenkonzept 2.....	18
Abbildung 13: Vereinfachtes Hydraulikschema Anlagenkonzept 3.....	19
Abbildung 14: Vereinfachtes Hydraulikschema Anlagenkonzept 4.....	20
Abbildung 15: Vereinfachtes Hydraulikschema Anlagenkonzept 5.....	21
Abbildung 16: Vereinfachtes Hydraulikschema des realisierten Anlagenkonzeptes.....	21
Abbildung 17: Installiertes Kollektorfeld beim Textilunternehmen.....	23
Abbildung 18: Vereinfachtes Hydraulikschema des realisierten Anlagenkonzeptes... ..	24
Abbildung 19: Aufstellbereich der Demonstrationsanlage.....	29
Abbildung 20: 3D-Planungsmodell der Demonstrationsanlage.....	30
Abbildung 21: Aufstellbereich der Demonstrationsanlage Detailansicht.....	30
Abbildung 22: Installation Grundträger.....	31
Abbildung 23: Installation der Unterkonstruktion.....	32
Abbildung 24: Installation Unterkonstruktion mit Lager.....	32
Abbildung 25: Kreuzverbund der Unterkonstruktion.....	33
Abbildung 26: Verbaute Parabolrinnen und Absorberrohr.....	34
Abbildung 27: Wärmeübertrager.....	34
Abbildung 28: Fertiggestellte Parabolrinnenanlage I.....	35
Abbildung 29: Fertiggestellte Parabolrinnenanlage II.....	36
Abbildung 30: Verbauter Temperaturfühler.....	37
Abbildung 31: Verbauter Volumenstrommesser.....	38



Abbildung 32: Verbauter Pyranometer .....	38
Abbildung 33: Messdaten Solarstrahlung .....	39
Abbildung 34: Temperaturen Kollektorstrang 1 .....	40
Abbildung 35: Kollektorleistung .....	40
Abbildung 36: Energiemengen Kollektorfeld/-strang.....	41
Abbildung 37: Bild aus Sicht gegenüberliegendes Gebäude.....	42
Abbildung 38: Blendbleche.....	43
Abbildung 39: Globalstrahlung vom 01.08.2013.....	44
Abbildung 40: Gesamtleistung des Kollektorfeldes vom 01.08.2013.....	44
Abbildung 41: Temperaturabfuhr vom Wärmeübertrager alt .....	45
Abbildung 42: Wärmeübertrager neu.....	45
Abbildung 43: Globalstrahlung am 19.10.2013.....	46
Abbildung 44: Gesamtleistung des Kollektorfeldes vom 19.10.2013.....	46
Abbildung 45: Temperaturabfuhr vom Wärmeübertrager neu .....	46
Abbildung 46: Angeschraubter Wegsensor .....	47

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Absorberrohre.....	10
Tabelle 2: Angenommene Kollektorkennwerte der Parabolrinne „Smirro“ .....	16
Tabelle 3: Übersicht der Simulationsergebnisse.....	22
Tabelle 4: Basisdaten der Anlage (Herstellerangaben) .....	25
Tabelle 5: Ökol. und wirtschaftl. Betrachtung zu Primärenergieträgern.....	25
Tabelle 6: Ökol. und wirtschaftl. Betrachtung auf Gesamtlaufzeit von 25 Jahre .....	26
Tabelle 7: Übersicht der Simulationsergebnisse.....	28
Tabelle 8: Wetterdaten für den Standort Albstadt-Tailfingen .....	53
Tabelle 9: Simulationsergebnisse für Anlagenkonzept 1 .....	54
Tabelle 10: Simulationsergebnisse für Anlagenkonzept 2 .....	55
Tabelle 11: Simulationsergebnisse für Anlagenkonzept 3 .....	56
Tabelle 12: Simulationsergebnisse für Anlagenkonzept 4 .....	57
Tabelle 13: Simulationsergebnisse für Anlagenkonzept 5 .....	58

## Abkürzungsverzeichnis

DBU	Deutschen Bundesstiftung Umwelt
ITW	Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
TRNSYS	Transient System Simulation Program
TZS	Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen

## Nomenklatur

Bezeichnung	Einheit	Bedeutung
$a_1$	W/m <sup>2</sup> K	Wärmedurchgangskoeffizient bei $\vartheta_m - \vartheta_{amb} = 0$
$a_2$	W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>	Temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient
$COP_{el}$	-	Elektrische Leistungszahl der Solaranlage
$C_{eff}$	J/m <sup>2</sup> K	Effektive Wärmekapazität des Kollektors
$\Delta E_{el}$	kWh	Mehraufwand elektrische Energie
$H_{beam}$	kWh/m <sup>2</sup>	Strahlungssumme der direkten Bestrahlungsstärke (pro Monat bzw. Jahr)
$H_{beam, tilt}$	kWh/m <sup>2</sup>	Strahlungssumme der direkten Bestrahlungsstärke in Kollektorebene (pro Monat bzw. Jahr)
$H_{dfu}$	kWh/m <sup>2</sup>	Strahlungssumme der diffusen Bestrahlungsstärke (pro Monat bzw. Jahr)
$H_{dfu, tilt}$	kWh/m <sup>2</sup>	Strahlungssumme der diffusen Bestrahlungsstärke in Kollektorebene (pro Monat bzw. Jahr)
$H_{hem}$	kWh/m <sup>2</sup>	Strahlungssumme der hemisphärische Bestrahlungsstärke in Kollektorebene (pro Monat bzw. Jahr)
$H_{glob}$	kWh/m <sup>2</sup>	Strahlungssumme der hemisphärische Bestrahlungsstärke auf der Horizontalen (pro Monat bzw. Jahr)
$K_d$	-	Einfallskorrekturvermögen der diffusen Bestrahlungsstärke
$K_b(\theta)$	-	Einfallskorrekturvermögen der direkten Bestrahlungsstärke
$PER_{sav}$	kWh	Primärenergetische Einsparung
$\Delta PER_{sav}$	%	Mehr-Primärenergieeinsparung
$Q_{coll}$	kWh	Wärmemenge des Kollektorfelds
$Q_{cond}$	kWh	Wärmemenge zur Speisewassererwärmung des Dampfkessels
$Q_{steam}$	kWh	Wärmemenge zur Erzeugung von Dampf

$Q_{store}$	kWh	Wärmemenge die dem Speicher zugeführt wird
$\Delta Q_{store}$	%	Mehrertrag an Wärmemenge die dem Speicher zugeführt wird
$\vartheta_{amb}$	°C	Umgebungstemperatur
$\eta_0$	-	Konversionsfaktor

## Zusammenfassung

Dieser Abschlussbericht fasst alle wesentlichen Aufgabenschritte und Resultate zusammen, welche in Verbindung mit dem Projekt „Soltex“ gemacht wurden. Das Akronym „Soltex“ steht hierbei für den Einsatz von konzentrierender Solarthermie bei einem Textilunternehmen.

Im Rahmen des Projekts wurde eine Demonstrationsanlage mit Parabolrinnenkollektoren der Smirro GmbH mit Sitz in Binsdorf bei dem Textilunternehmen Carl Meiser GmbH & Co. KG mit Sitz in Tailfingen errichtet. Die Förderung des Projekts wurde durch die DBU mit dem Aktenzeichen 29724 - 24/2 vorgenommen. Unterstützt wurde das Projekt durch das Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS) des Instituts für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) in Stuttgart.

Im Zusammenhang mit der Demonstrationsanlage sollte das vorrangige Projektziel eine Verbreitung der konzentrierenden Solarthermie im Bereich der industriellen Prozesswärme sein. Da es sich bei der Demonstrationsanlage mit Parabolrinnen nicht um ein standardisiertes Produkt handelte, war es notwendig Entwicklungen am Produkt vorzunehmen um die Technik dahingehend zu optimieren, dass ein künftiger Aufbau von Parabolrinnenanlagen im Wesentlichen standardisiert und verbessert werden. Hierbei wurden u.a. Optimierungen am Kollektor, an der Gesamtanlage und an der Steuerung vorgenommen, welche den Weg zur Umsetzung für künftige Großanlagen ebnet.

Das Ergebnis des Projekts zeigt, dass der Einsatz von konzentrierender Solarthermie mittels Parabolrinnen bei einem Textilunternehmen Möglichkeiten bietet, die Wärmeengewinnung zur Unterstützung des Produktionsprozesses durch regenerative Energiesysteme bereitzustellen. Unter diesem Hintergrund wird die Anlage auch nach der Projektlaufzeit weiter betrieben, um nachhaltig den Produktionsprozess des Textilunternehmens zu unterstützen.

# 1 Projektvorstellung

Die Firma Carl Meiser GmbH & Co. KG, mit Sitz in Tailfingen, ist auf dem Gebiet der Textilausrüstung tätig. Für die jeweiligen Prozesse im Bereich von Färben, Bleichen, Waschen etc. werden große Mengen an Wärme benötigt. Diese wird durch ein Dampfnetz bereitgestellt und mit einem Ölbrenner kontinuierlich betrieben. Das Unternehmen war bereit, seine geeignete Dachfläche zur Verfügung zu stellen, um die Wärmegenerierung durch Parabolrinnenkollektoren zu unterstützen.

In Zusammenarbeit mit dem Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS), des Instituts für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart, hat die Smirro GmbH diese Parabolrinnenanlage realisiert. Das vorrangige Projektziel hierbei war die Technologie zu optimieren. Um dies zu erreichen sollten mögliche Variationen und Anlagenkonzepte für industrielle Anwendungen erarbeitet und anschließend mit Hilfe von Simulationsstudien ausgewertet werden. Im Zentrum stand die Realisierung der Parabolrinnenanlage auf dem Industriegebäude, deren endgültige Konzeption durch vorangegangene Studien zustande kam. Ein umfassendes Monitoring sollte die Effizienz und die Optimierungsmöglichkeiten während der ersten Betriebsphase erfassen. Entsprechend der Auswertung wurde die Anlage optimiert. Die gewonnenen Erfahrungen dienten anschließend zur Entwicklung von Anlagenkonzepten.

Als umweltrelevante Ziele waren die Reduzierung von Heizöl bei der Firma Carl Meiser GmbH & Co. KG um bis zu 10% und einer entsprechenden Reduzierung des Kohlendioxidausstoßes. Der zu erwartende Nutzen für Umwelt und Klima bestand zusätzlich darin, dass nach Ablauf des Projekts eine Referenzanlage mit den entsprechenden Leistungsdaten vorzuweisen. Dies ist für Interessenten ein sehr wichtiges Argument, welches sich positiv auf die Entscheidungsfindung von potentiellen Kunden auswirken kann und der Smirro GmbH einen deutlich einfacheren Zugang zum Markt verschaffen kann. Durch eine Etablierung von Parabolrinnenkollektoren bei der Bereitstellung von Prozesswärme, kann langfristig der Einsatz fossiler Brennstoffe reduziert werden.

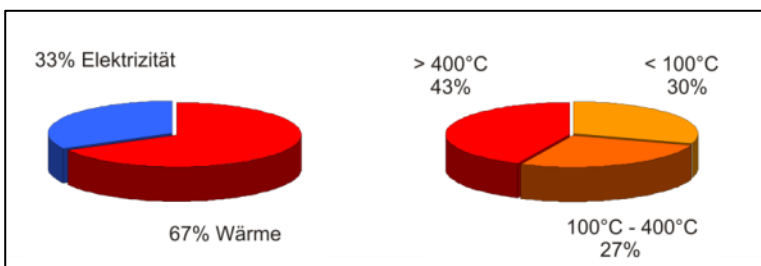
Die Smirro Parabolrinnen eigneten sich besonders für dieses Projekt, da sie kostengünstig herzustellen und flexibel in der Handhabung sind. Dies kommt vor allem dadurch, dass die Kollektoren nicht geschweißt werden, sondern durch Nieten und Kleben direkt vor Ort aufgebaut werden können.

Das Testzentrum für Solaranlagen, das Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, begleitet das Projekt wissenschaftlich und unterstützt mit seinem Fachwissen. Verschiedene Aufgaben, wie beispielsweise das Simulationstool, hat das ITW übernommen.

Fehlende Referenzanlagen und eine noch nicht ausgereifte Technik halten potentielle Kunden ab, das Produkt Smirro für die Gewinnung von solarer Prozesswärme einzusetzen. Das Ziel des Projekts ist es eine Parabolrinnenanlage direkt in einen vorhandenen industriellen Prozess einzubinden und deren Effizienz zu vermessen. Dadurch sollen wichtige Informationen und Erkenntnisse über das Produkt gewonnen werden und eine Weiterentwicklung vorangetrieben werden. Eine bessere Marktpositionierung der Firma Smirro GmbH war ein Hauptziel des Projekts „Soltex“. Es wird erwartet, dass durch eine Veröffentlichung der Projektergebnisse, das öffentliche Bewusstsein für diese Technologie wächst und das Interesse von Seiten der Industrie an der solaren Prozesswärmeerzeugung steigt.

Im Wärmesektor, auf den fast 60 % des deutschen Endenergieverbrauchs entfallen, kommt dem verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien eine besondere Rolle zu. Hier kann insbesondere die Solarthermie einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz und zur Ressourcenschonung leisten. Um diesen Beitrag zur Realisierung einer möglichst flächendeckenden Integration erneuerbarer Energien in die Energieversorgung unserer Gesellschaft weiter auszubauen, ist es notwendig neue Anwendungsgebiete der Solarthermie zu erschließen und voranzutreiben.

Ein bereits identifiziertes neues Anwendungsgebiet ist die Bereitstellung von solarer Wärme für industrielle Prozesse. Welches Potential sich dahinter verbirgt verdeutlicht Abbildung 1.



**Abbildung 1: Elektrischer und thermischer Energieverbrauch (EU-27) [1] [2]**



Das Energiekonzept der Bundesregierung vom September 2010 sieht vor, dass der Bruttoendenergieverbrauch der erneuerbaren Energien einen Anteil bis 2050 von 60% erreicht. Die Anwendung von solarthermischen Anlagen kann hier eine wichtige Rolle spielen. Vor Allem bei der relativ jungen Anwendung der solaren Prozesswärme gibt es enormes Potenzial, den Einsatz von fossilen Energieträgern zu reduzieren. Übereinstimmung mit Zielen aus dem 6. Energieforschungsprogramm und „Soltex“:

- Effizienzsteigerung und Kostensenkung durch Weiterentwicklung des Parabolrinnenkollektors „Smirro“
- Solarisierung eines Wärmenetzes
- Auslegungs- und Simulationstool
- Entwicklung systemtechnischer Konzepte zur Einspeisung von Solarwärme in Industrieprozesse
- Wegbereitung für schnellere Marktdurchdringung

### **1.1 Technische und wissenschaftliche Ziele von „Soltex“**

Um die Markteinführung und Verbreitung der solaren Prozesswärmeerzeugung zu beschleunigen werden Pilot- und Demonstrationsanlagen benötigt, welche außerdem wissenschaftlich begleitet, untersucht und ggf. optimiert werden. Dadurch können wichtige und notwendige Erkenntnisse im Bereich der Auslegung, Planung, Installation, sowie Betriebserfahrungen gewonnen, Optimierungs- und Kostensenkungspotenziale aufgezeigt und Aussagen über die Wirtschaftlichkeit getroffen werden.

In dem diesem Forschungs- und Entwicklungsprojekt bei einem mittelständischen Textilunternehmen wurden zum ersten Mal die „Smirro“ Parabolrinnen in einen bestehenden industriellen Fertigungsprozess eingebunden. Schon im Vorfeld war es wichtig durch geeignete Simulationen festzulegen an welcher Stelle des bestehenden Wärmenetzes die Integration am effektivsten ist. Die Einbindung wurde mit Standardkomponenten vorgenommen. Dabei wird nunmehr der größtmögliche Anteil von Solarenergie genutzt und der laufende Industrieprozess wurde nicht gefährdet. Zusätzlich wurde ein Installationskonzept ausgearbeitet, dass sowohl montagefreundlich, als auch wartungsfreundlich ist. Für den laufenden Betrieb war es sehr wichtig eine übergeordnete Steuerung zu implementieren, die für die Kommunikation zwischen dem vorhandenem System und dem ergänzendem solaren System verantwortlich sein sollte.

Im laufenden Betrieb ist das kontinuierliche Erfassen und Aufzeichnen der Daten von großer Bedeutung. Anhand dieser Daten und einer wissenschaftlichen Auswertung derselben ist es möglich, das Kostensenkungspotenzial zu beurteilen und eine Amortisationszeit der Investition festzulegen. Mit einer solchen Dokumentation lassen sich die Bedingungen ermitteln, unter denen es sich heute schon lohnt Parabolrinnen als ergänzende Energiequelle für Prozesswärme einzusetzen.

Nach der Integration der solarthermisch erzeugten Energie ist es wichtig die Effizienz der Anlage zu ermitteln, um auf dieser Basis Aussagen zur Wirtschaftlichkeit treffen zu können. Des Weiteren werden die für eine solche Situation geeignete Steuerungs- und Installationskomponenten ermittelt. Auf Basis dieser Ergebnisse können künftig standardisierte Angebote für zukünftige Interessenten ausgearbeitet werden.

## **1.2 Stand der Technik von solarthermischen Anlagen**

In Europa (EU-27) werden etwa 67% des industriellen Endenergieverbrauchs in Form von thermischer Energie benötigt. Dies entspricht ca. 19% des gesamten europäischen Endenergieverbrauchs [3]. Im Jahr 2007 betrug dieser Prozesswärmebedarf allein in Deutschland ca. 1609 PJ [2]. Ein wesentlicher Teil entfällt dabei auf den Temperaturbereich bis 250°C.

Laut Abschätzungen der European Solar Thermal Technology Platform (ESTTP) und des „IEA Solar Heating and Cooling Programme“ (IEA SHC) beträgt das Potential für solare Prozesswärme inklusive Mitteltemperatur-Anwendungen bis 250 °C in Deutschland etwa 50 PJ pro Jahr. Das Leistungspotenzial wird für die deutsche Industrie auf etwa 25 GWth geschätzt [4]. Die wesentlichen Einsatzgebiete für solare Prozesswärme liegen in der Lebensmittel-, Getränke-, Textil- und Zellstoffindustrie, sowie der Galvanik in metallverarbeitenden Betrieben und der chemischen Industrie, weshalb für diese Sektoren Anreize geschaffen werden müssen sich für eine Parabolrinnenanlage zu entscheiden.

## 2 Projektablauf

Die Aufgaben um die Parabolrinnenanlage bei der Fa. Meiser zu installieren, wurden in Arbeitspakete untergliedert. Die Umsetzung dieser werden im Folgenden dargestellt und erläutert.

### 2.1 AP1 Optimierung des Kollektors

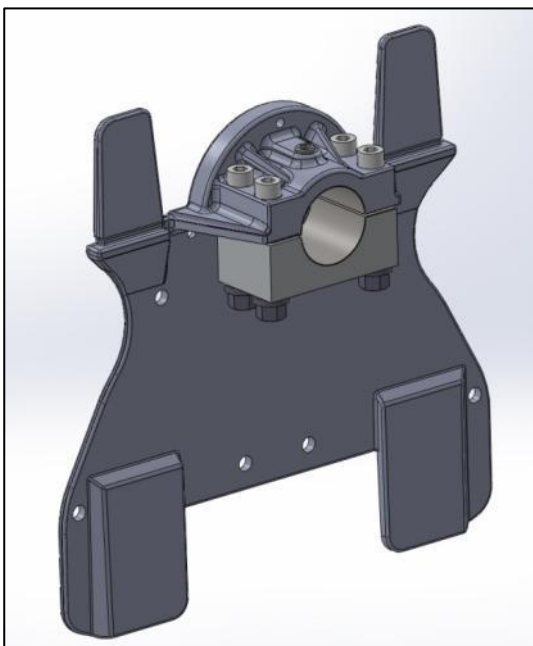
In der bestehenden Pilotanlage haben sich der Kollektor und auch die Kombination von maximal 10 Kollektoren bewährt. Allerdings konnten einige Schwachpunkte ermittelt werden, deren Optimierung für den Aufbau weiterer und größerer Anlagen eminent wichtig ist und die im Vorfeld des Projekts gelöst werden müssen:

1. Die Sicherstellung einer gleichmäßigen hydraulischen Durchströmung durch eine entsprechende Kombination von Parallel- und Reihenschaltung einzelner Kollektormodule.
2. Eine reparaturfreundliche Verbindungstechnik zwischen den einzelnen Kollektoren, so dass jeder einzelne Kollektor ausgewechselt werden kann ohne weitere Bauteile berücksichtigen zu müssen.
3. Ein geeignetes Steuerungskonzept für die zuverlässige Kombination des bestehenden Systems mit dem zu installierenden Kollektorfeld. Der laufende Industrieprozess darf dabei keinerlei Einschränkung erleiden.
4. Eine kostengünstige Visualisierung für Fernwartung und Schnittstellen für die notwendigen Eingriffsmöglichkeiten.
5. Eine Verbindungstechnik zwischen den einzelnen Kollektoren, die sowohl verwindungssteif ist, als auch eine nachträgliche Positionskorrektur ermöglicht.
6. Eine Positionierung und Befestigungstechnik des optischen Sensors, die eine schnelle und genaue Ausrichtung ermöglicht.
7. Eine Optimierung im Bereich des Wärmeübergangs zwischen Absorberrohr und Medium und der Durchflussregulierung.
8. Für die Halterung der Glashüllrohre soll eine Lösung ausgearbeitet werden, bei der ein größtmöglicher Schutz der Rohre vorhanden ist und die unterschiedlichen Längenausdehnungen kompensiert werden.

**Zu 1:** Die Sicherstellung der gleichmäßigen hydraulischen Durchströmung der Kombination von Reihen- und Serienschaltungen gelang bei der Anlage durch Anwendung des Tichelmann-Systems. Hierbei sind die Leitungslängen von Vor- und Rücklaufleitungen eines hydraulischen Systems gleich lang. Somit wird gewährleistet, dass die Laufwege des Wärmeträgers innerhalb der Leitung immer denselben Weg in der Leitung zurücklegt, die Geschwindigkeiten des Mediums daher in allen Rohrleitungen identisch ist. Andere Systeme erwiesen sich nicht als zielführend.

**Zu 2:** Die Verbindungstechnik stellte sich als große Herausforderung dar. Da es galt eine technisch optimale Lösung unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen Aspekten zu entwickeln. Die technischen Herausforderungen der Verbindungstechnik waren hohe Drehmomentübertragung zwischen den Kollektoren, Korrosionsbeständigkeit, Stapelbarkeit der Parabolrinnen, Montage- und Demontagefreundlichkeit.

Diese Anforderungen wurden mit folgender Achsaufnahme realisiert (siehe Abbildung 2).



**Abbildung 2: Achsaufnahme**

Die hohe Drehmomentübertragung (ca. 1100 Nm) konnte durch eine Klemmverbindung mit V2A-Blechen und Aluminiumhalbschalen realisiert werden. Da als Material Aluminiumlegierungen und V2A zum Einsatz kommen besteht keine Korrosionsgefahr. Die

Stapelbarkeit dieser Achsaufnahme wird durch ein Zapfensystem gewährleistet, wonach es nun möglich ist mehrere Parabolrinnen (bis zu neun Stück) für den Transport aufeinander zu stapeln (siehe Abbildung 3).



**Abbildung 3: Gestapelte Parabolrinnen**

Die Montage- und Demontagefreundlichkeit wird durch die Halbschalentechnik gewährleistet. Diese Technik ermöglicht es einzelne Kollektoren aus einem Strang zu entnehmen, ohne dass dabei alle Parabolrinnen eines Stranges entnommen werden müssen.

**Zu 3:** Die Parabolrinnenanlage wurde in das bestehende Wärmenetzwerk integriert, so dass keinerlei Beeinträchtigung für den bestehenden Industrieprozess erfolgte. Die Planung und Umsetzung wird ausführlich in Kapitel 2.4 dargestellt.

**Zu 4:** Die Visualisierung wurde im Haus realisiert. Mit dieser ist es nun möglich direkt auf die Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) der Anlage mittels PC aufzuschalten. Ebenfalls ist es hierbei möglich Anpassungen/Parametrierungen an der Anlage vorzunehmen.

Zum Navigieren zwischen den verschiedenen Visualisierungsseiten, steht der Navigationsbereich im oberen Bildschirmbereich zur Verfügung (siehe Abbildung 4).

**Übersicht** 16.07.13 17:58

Übersicht	Optionen	Umwelt Parameter	Pumpe / WT	Nachführung	Anlagenparameter	Meldungen
-----------	----------	------------------	------------	-------------	------------------	-----------

Kollektorfeld		
Volumenstrom	529.3	l/h
Massenstrom	1597.0	kg/h
Systemdruck	0.0	bar

Umwelt		
Windgeschwindigkeit	7.8	km/h
Windgeschwindigkeit	2.2	m/s
Einstrahlung Global Sensor	448.4	W/m²
Ausstemperatur	34.9	°C

Pumpen		
Freigabe an Waerm.Rueck.Gew.	OFF	
Waermebedarf von Waerm.Rueck.Gew.	ON	
Ventil Waermetauscher	0.0	%
Pumpe Kollektorfeld	ON	

Temperaturen		
Temperatur Vorlauf	61.5	°C
Ruecklauftemperatur	63.0	°C
Strang 1 Temperatur Out	62.4	°C
Strang 2 Temperatur Out	62.9	°C
Strang 3 Temperatur Out	61.4	°C
Temp. Speisewasser Vor.	54.8	°C
Temp. Speisewasser Rueck.	54.7	°C

Aktuelles Datum und Uhrzeit

Navigationsbuttons

Aktuelle Seite

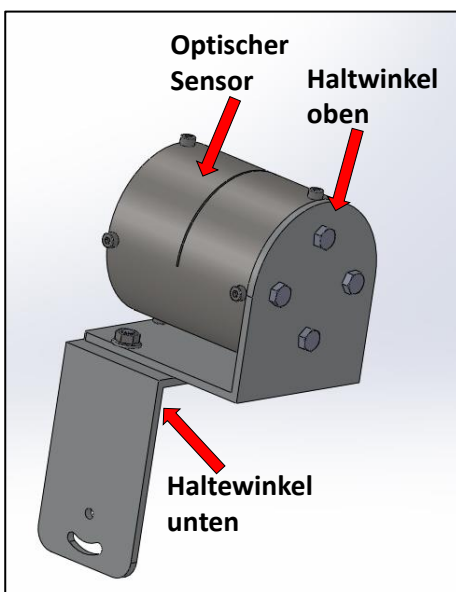
**Abbildung 4: Navigationsbereich der Visualisierung**

Im Navigationsbereich, kann jede Seite der Visualisierung über einen entsprechenden Button angewählt werden. Im linken Rand des Navigationsbereiches befindet sich ein Textfeld, welches Aufschluss über die aktuell angewählte Seite der Visualisierung gibt. Am rechten Rand des Navigationsbereiches sind Datum und aktuelle Uhrzeit zu finden. Es können folgenden Seiten ausgewählt werden:

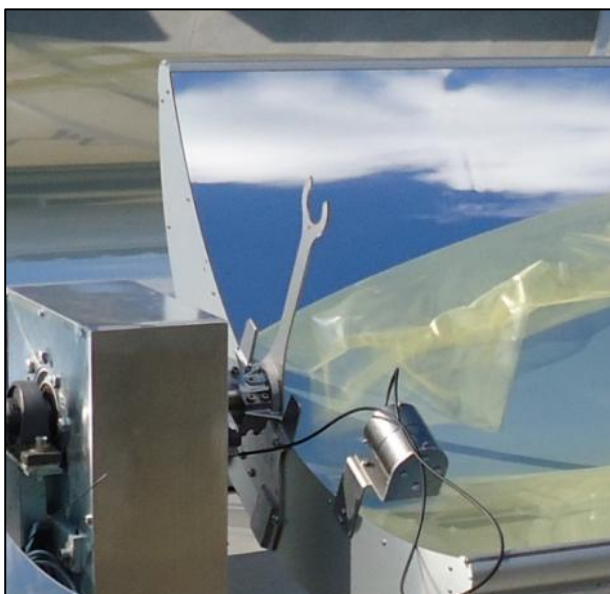
- Übersicht
- Optionen
- Umweltparameter
- Pumpe / WT
- Nachführung
- Anlagenparameter
- Meldungen

**Zu 5:** Die Verwindungssteifigkeit bzw. hohe Drehmomentübertragung wurde mit der Achsaufnahme (vgl. „zu 2“) beschrieben. Ebenfalls ist es hier möglich jede einzelne Parabolrinne nachträglich zu positionieren um eine optimale Nachführung jeder einzelnen Parabolrinne zu gewährleisten.

**Zu 6:** Der Sonnensensor bzw. die Ausrichtung des Lichtspalts legt die finale Positionierung des Parabolrinnenstranges fest. Deshalb ist es von großer Bedeutung, dass die Halterung dieses Sensors verstellbar bleibt. Dies gelang über die Realisierung zweier Winkel, die zueinander über Langlöcher justiert werden und dadurch einen hohen Einstellbereich gewährleisten (siehe Abbildung 5 und Abbildung 6).



**Abbildung 5: Haltewinkel des optischen Sensors**



**Abbildung 6: Anbringung des optischen Sensors am Parabolrinnenstrang**

Mit dieser technischen Lösung ist eine Ausrichtung des Lichtspalts optimal zum Parabolrinnenstrang und zu den einzelnen Kollektoren möglich.

**Zu 7:** Der Wärmeübergang zwischen Absorberrohr und dem Wärmeträgermedium wurden folgende Absorberrohre getestet:

**Tabelle 1: Übersicht Absorberrohre**

Bezeichnung	$\alpha$	$\epsilon$
Absorberrohr Ø35mm Beschichtung: schwarzchrom	95%	70%
Absorberrohr Ø35mm Beschichtung: kobaltblau	91%	8-20%
Absorberrohr Ø35mm Beschichtung: selektiv	95%	15%

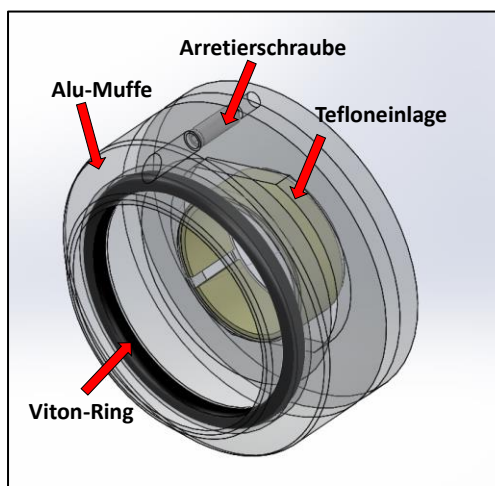
Aufgrund der sehr guten Alpha- und Epsilon-Werte wurde die Entscheidung getroffen die selektive Beschichtung bei den Absorberrohren einzusetzen und bei der Anlage zu verbauen.

Die Durchflussregulierung wird mittels der SPS automatisch vorgenommen. Dabei wird bei hoher Temperatur am Absorberrohr bzw. hoher Sonneneinstrahlung der Volumenstrom



erhöht, so dass die gewonnene Wärmeenergie direkt an den Wärmetauscher und somit an den Pufferspeicher abgegeben wird. Dadurch erfolgt eine dynamische Anpassung der Volumenströme innerhalb des Absorbers und ein bestmöglicher Wärmeübergang zwischen Absorberrohr und Wärmeträgermedium.

**Zu 8:** Die Halterung der Glashüllrohre wurde eine Muffe (vgl. Abbildung 7 und Abbildung 8) entwickelt, welche einen ungewollten Wärmeübergang zwischen Absorberrohr und Glashüllrohr verhindert und das Glashüllrohr fixiert ohne dieses in seiner Längenausdehnung/-schrumpfung zu behindern.



**Abbildung 7: Absorber-Muffe**



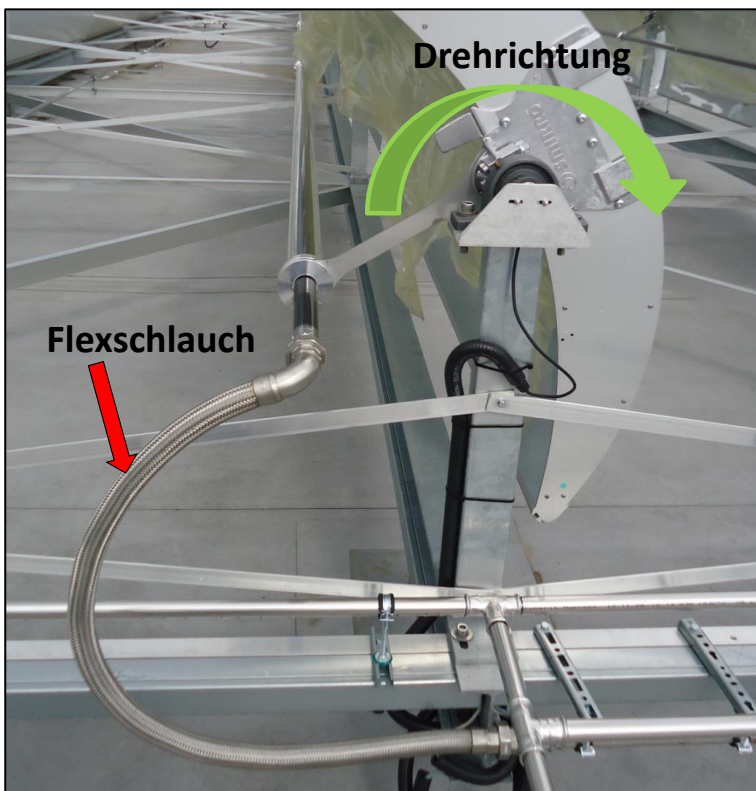
**Abbildung 8: Verbaute Absorber-Muffe**

Der eingesetzte Viton-Ring nimmt hierbei nicht nur die radiale Ausdehnung des Glashüllrohres auf sondern lagert das Glashüllrohr schwimmend, so dass dieses sich unbehindert in der Länge ausdehnen kann. Die verwendete Tefloneinlage verhindert den Wärmeübergang zwischen dem Absorberrohr und der Absorber-Muffe. Die ungewollten Wärmeverluste werden dadurch nahezu komplett unterdrückt.

## 2.2 AP2 Verbesserung Flexschlauch

Der Verbindungsschlauch bzw. Flexschlauch zwischen Absorberrohr der Parabolrinne und der fest installierten Rohrleitung der Anlage war Bestandteil der Untersuchung. Bei dieser Verbindung muss ein flexibler Schlauch eingesetzt werden, weil die Parabolrinnen täglich dem Sonnenverlauf folgen und daher die Verbindung zwischen den Absorberrohren und den Rohrleitungen beweglich sein müssen. Die Bewegung ist geringfügig, jedoch unter andauernder täglicher Bewegung kann es zur hohen Beanspruchung des Schlauches kommen. Da bei der Parabolrinnenanlage Temperaturen bis zu 250 °C möglich sind, muss ebenfalls die Eigenschaft der Temperaturbeständigkeit von diesem Schlauch abgedeckt werden. Weiterhin ist diese Verbindung mit einem flexiblen Schlauch von enormer Wichtigkeit da es zur Beeinflussung des Strömungsverhaltens innerhalb des Schlauches kommen kann und dadurch die Leistungsanforderung für die eingesetzte Pumpe stark variieren kann. Sollte die Rohrreibungszahl innerhalb des Flexschlauches sehr hoch sein, so steigt ebenfalls die benötigte Menge an Energie zur Überwindung dieser Reibungszahl und dementsprechend die Kosten für die leistungsfähigeren Pumpen. Ziel war es daher sein eine möglichst wirtschaftliche Lösung für den Flexschlauch anzustreben, welche die Kombination zwischen hoher Belastbarkeit, geringer Reibungszahl und möglichst geringer Kosten vereint.

Nach einer aufwändigen Marktrecherche nach möglichen flexiblen Schläuchen fiel die Entscheidung auf einen flexiblen Schlauch, welcher Temperatur-, Druckschwankungen und Bewegungen widersteht, ohne dabei Beeinträchtigungen bezüglich der Dichtigkeit zu erfahren (vgl. Abbildung 9).



**Abbildung 9: Montierter Flexschlauch**

Der Flexschlauch muss an den jeweiligen Enden der Parabolrinnenstränge angebracht werden, um eine Verbindung zwischen Absorberrohr und Verrohrung der Anlage herbeizuführen. Dieser Flexschlauch hat 1-Zoll-Anschlüsse an den jeweiligen Enden. Die Anschlüsse können auch in anderen Ausführungen bereitgestellt werden. Darüber hinaus sind die jeweiligen Anschlüsse 3-teilig, so dass diese radial optimal ausgerichtet werden können, ohne dass zu viel Spannung auf den Schlauch, die Verrohrung und das Absorberrohr der Anlage erfolgt. Weiterhin besteht der Flexschlauch aus einem Wellschlauch im Innern, welcher durch ein Stahlgeflecht überaus widerstandsfähig gegenüber Druckschwankungen des durchfließenden Mediums ist. Da der Flexschlauch lediglich in radialer Richtung belastet wird, ist eine hohe Dauerfestigkeit dieses Schlauches gewährleistet. Besonders hervorzuheben ist die schnelle Lieferfähigkeit des Flexschlauches, was die technische Eignung des Schlauches für den Einsatz an Großanlagen nochmals befürwortet.

## 2.3 AP3 Simulationsstudie [5]

Anhand dieser Studie wurde festgelegt, welches Anlagenkonzept für das Textilunternehmen zu bevorzugen war und letztendlich umgesetzt werden sollte. Als Randbedingungen mussten hierzu unter anderem Standorte, Wetterdaten (vgl. Anhang A: Wetterdaten für den Standort Albstadt-Tailfingen) und Lastprofile definiert werden. Des Weiteren musste für die Bewertung eine Referenzanlage mit konventioneller Technologie definiert werden. Als Bewertungsgrößen wurden primär der solare Deckungsgrad und die Primärenergieeinsparung, aber auch die wirtschaftliche Amortisationszeit betrachtet. Des Weiteren wurde durch eine Parametervariation (z. B. Kollektorfläche, Kollektorausrichtung, Speichervolumen) die geplante Demonstrationsanlage (vgl. Kapitel 2.4) detailliert spezifiziert.

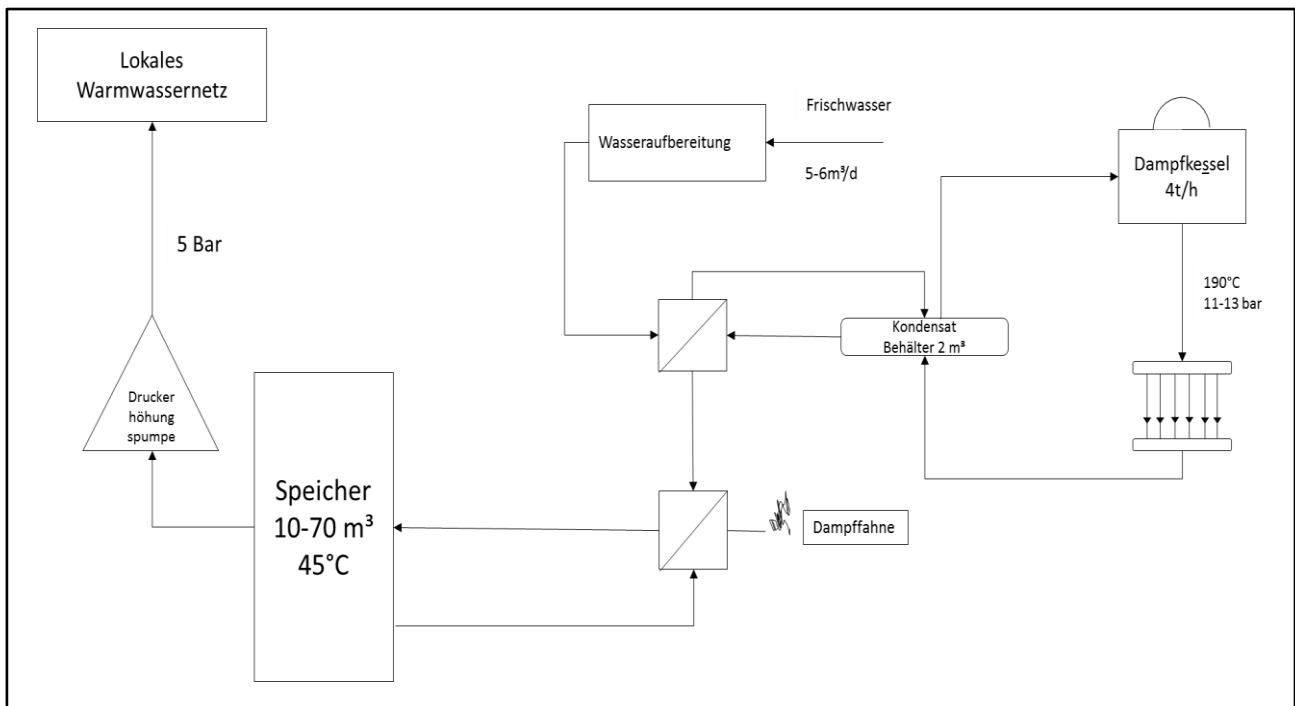
Weiterhin wurde in der Simulation das Verhalten weiterer Komponenten und Wechselwirkungen bei unterschiedlichen Verschaltungen und Systemintegrationen untersucht. Damit wurden verschiedene Betriebsweisen simuliert und mit realen Bedingungen verglichen und bewertet.

Dieses Arbeitspaket wurde als Unterauftrag an das Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen am ITW der Universität Stuttgart als universitäre Forschungseinrichtung vergeben. Das TZS verfügt über einschlägige und langjährige Erfahrungen in Bereich der Simulation von thermischen Solaranlagen.

Im Rahmen des Projekttreffens am 22.06.2012 in Albstadt-Tailfingen wurden für die Einbindung eines insgesamt 100 m<sup>2</sup> großen Parabolrinnenkollektorfeldes in die bestehende Anlage, insgesamt fünf verschiedene hydraulische Anlagenkonzepte identifiziert und in das Simulationsprogramm TRNSYS<sup>1</sup> implementiert. Abbildung 10 zeigt das vereinfachte Anlagenschema der Anlage im Ist-Zustand.

---

<sup>1</sup> TRNSYS, 2004. A Transient System Simulation Program, Version 16. University of Wisconsin. Verfügbar unter: <<http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>>.



**Abbildung 10: Vereinfachtes Hydraulikschema der Anlage im Ist-Zustand**

Ein ölbefuerter Dampfessel mit einer Dampfleistung von 4 t/h erzeugt Satttdampf mit einer Temperatur von 190 °C. Zum einen wird der Satttdampf verwendet um die in den verschiedenen Prozessen benötigte Wärme bereitzustellen. Zum anderen wird auch ein Teil des Satttdampfes in einzelnen Prozessen direkt benötigt bzw. verbraucht. Der Rücklauf des Dampfnetzes wird in einem offenen Kondensatbehälter kondensiert. Ein Teil der Energie der aus dem Kondensatbehälter austretenden Dampffahne wird verwendet um das aufbereitete Frischwasser (ca. 3-5 m³/d) vor Eintritt in den Kondensatbehälter zu erwärmen. Zusätzlich wird ein weiterer Teil der in der Dampffahne enthaltenen Energie in den Speicher eingespeist. Bei dem Speicher handelt es sich um einen Warmwasserspeicher, welcher prozessbedingt ein variables Füllvolumen (10 - 70 m³) besitzt. Dieser Warmwasserspeicher speist ein lokales Warmwassernetz dank zwei Druckerhöhungspumpen auf ca. 5 bar. Das so eingespeiste Warmwasser wird in verschiedenen Produktionsanlagen abgerufen.

### 2.3.1 Rahmenbedingungen zur Simulationsstudie

Zur Generierung von verlässlichen Werten aus der Simulation mussten vorerst Rahmenbedingungen wie beispielsweise die Fläche des Parabolrinnenkollektorfeldes (mit

Ost-West ausgerichteter Kollektorachse) festgelegt werden. Diese beträgt insgesamt 100 m<sup>2</sup>. Die Kollektorkennwerte wurden abgeschätzt (vgl. Tabelle 2), da die Kollektorkennwerte des Parabolrinnenkollektor „Smirro“ zum Zeitpunkt der Simulationen nicht vorlagen.

**Tabelle 2: Angenommene Kollektorkennwerte der Parabolrinne „Smirro“**

$\eta_0$ [ $\eta_0$ ] = 1	$K_d$ [ $K_d$ ] = 1	$a_1$ [ $a_1$ ] = W/m <sup>2</sup> K	$a_2$ [ $a_2$ ] = W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>		$C_{eff}$ [ $C_{eff}$ ] = J/m <sup>2</sup> K	
0,682	0,043	0,176	0,004		9.770	
<b>Einfallswinkel <math>\theta</math></b>	<b>0°</b>	<b>20°</b>	<b>40°</b>	<b>50°</b>	<b>60°</b>	<b>70°</b>
$K_b(\theta)$	1,00	0,99	0,94	0,89	0,79	0,64

Als Massenstrom wurden 50 kg/(h\*m<sup>2</sup>) angesetzt. Für alle Anlagenkonzepte wurden als Rohrleitungslängen jeweils 50 m im Vor- und Rücklauf mit einem Rohrrinnendurchmesser von 50 mm und einem Wärmeverlustkoeffizienten von 1,5 W/(m<sup>2</sup>\*K) angesetzt.

Nachfolgend werden die 5 identifizierten Anlagenkonzepte kurz erläutert und die Ergebnisse der Simulationen dargestellt. Bei den Simulationsergebnissen handelt es sich um theoretische Maximalwerte. In Anhang B: Simulationsergebnisse sind die detaillierten Simulationsergebnisse aufgeführt.

### 2.3.2 Anlagenkonzept 1

Bei diesem Anlagenkonzept (vgl. Abbildung 11) wird die von den Parabolrinnenkollektoren bereitgestellte Wärmemenge direkt in den Speicher eingespeist.

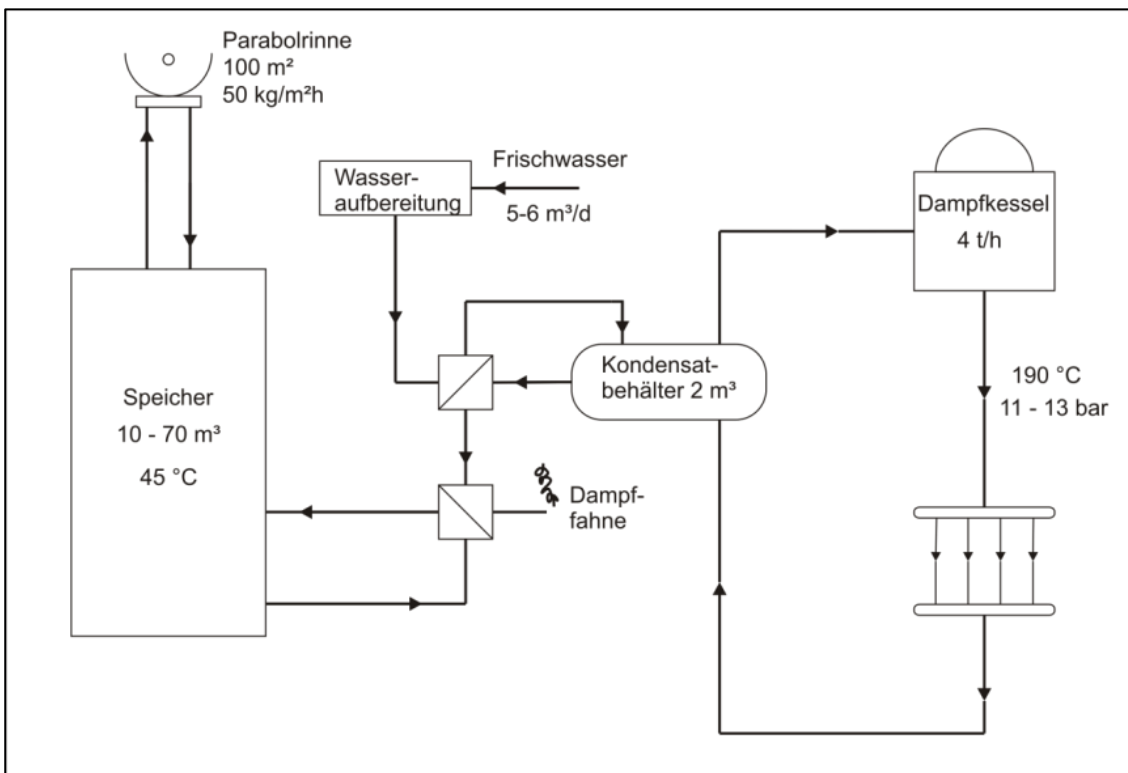


Abbildung 11: Vereinfachtes Hydraulikschema Anlagenkonzept 1

Es wurde die Annahme getroffen, dass die Speichertemperatur konstant ist, woraus eine konstante Kollektorvorlauftemperatur resultiert. Des Weiteren wurde nicht zwischen Werktagen (Produktionsbetrieb) und Wochenenden (kein Produktionsbetrieb) unterschieden.

Bei einer konstanten Kollektorvorlauftemperatur von 45 °C beträgt bei diesem Anlagenkonzept und den getroffenen Annahmen der Kollektorertrag ca. 47,8 MWh/a und die in den Speicher eingespeiste Wärmemenge ca. 44,3 MWh/a.

### 2.3.3 Anlagenkonzept 2

Beim Anlagenkonzept 2 (vgl. Abbildung 12) wird das aus dem Kondensatbehälter kommenden Speisewasser des Dampfkessels werktags (Mo.-Fr.) solar erwärmt. Bei einer konstanten Kollektorvorlauftemperatur von 95 °C beträgt bei diesem Anlagenkonzept der Kollektorertrag ca. 27,9 MWh/a und die in das Speisewasser eingespeiste Wärmemenge ca. 21,8 MWh/a.

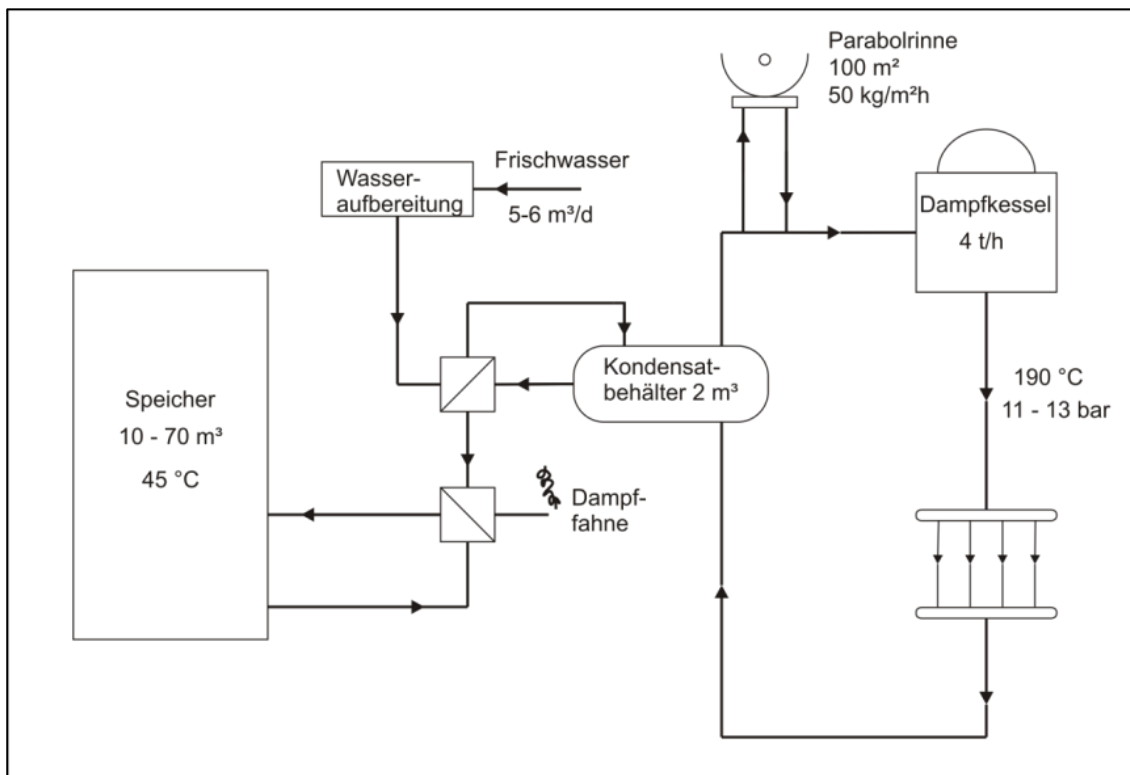


Abbildung 12: Vereinfachtes Hydraulikschema Anlagenkonzept 2

### 2.3.4 Anlagenkonzept 3

Bei Anlagenkonzept 3 (vgl. Abbildung 13) wird das aus dem Kondensatbehälter kommende Speisewasser des Dampfkessels werktags (Mo.-Fr.) solar erwärmt. Die angenommene Kollektorvorlauftemperatur beträgt dabei 95 °C. An Wochenenden (Sa.-So.) wird die von den Parabolrinnenkollektoren bereitgestellte Wärme in den Speicher eingespeist. Die Kollektorvorlauftemperatur beträgt hier 45 °C. Bei diesem Anlagenkonzept beträgt der jährliche Kollektorertrag ca. 42,5 MWh/a. Für die Speiswassererwärmung werden ca. 22,1 MWh/a bereitgestellt und in Speicher ca. 13,5 MWh/a eingespeist.



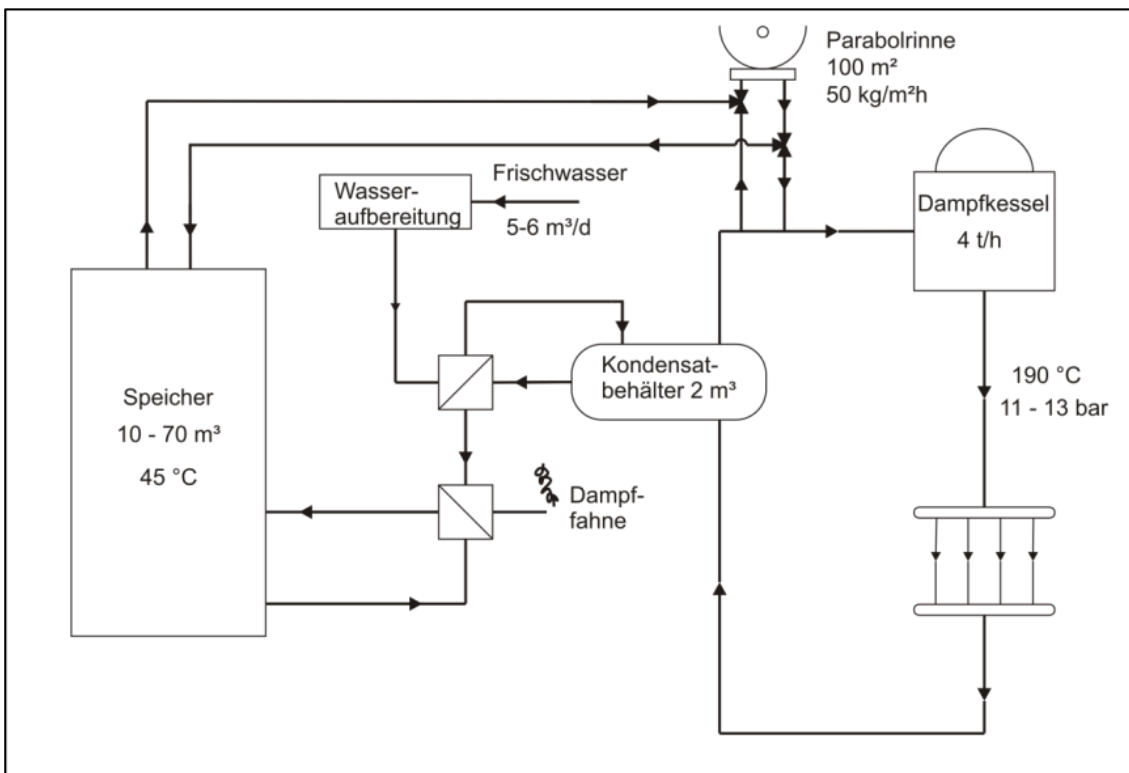


Abbildung 13: Vereinfachtes Hydraulikschema Anlagenkonzept 3

### 2.3.5 Anlagenkonzept 4

Mit dem Anlagenkonzept 4 (vgl. Abbildung 14) wird mit der solar bereitgestellten Energie werktags (Mo.-Fr.) Dampf erzeugt. Die solare Dampferzeugung erfolgt im Batch-Betrieb, d.h. es wird nur Dampf erzeugt, wenn die solar bereitgestellte Wärme ausreichend ist um Dampf mit vorgegeben Spezifikationen (Sattdampf bei 190 °C) zu erzeugen. Der jährliche Kollektorertrag liegt bei ca. 20,5 MWh/a. Für die Dampferzeugung können ca. 13,7 MWh/a bereitgestellt werden.

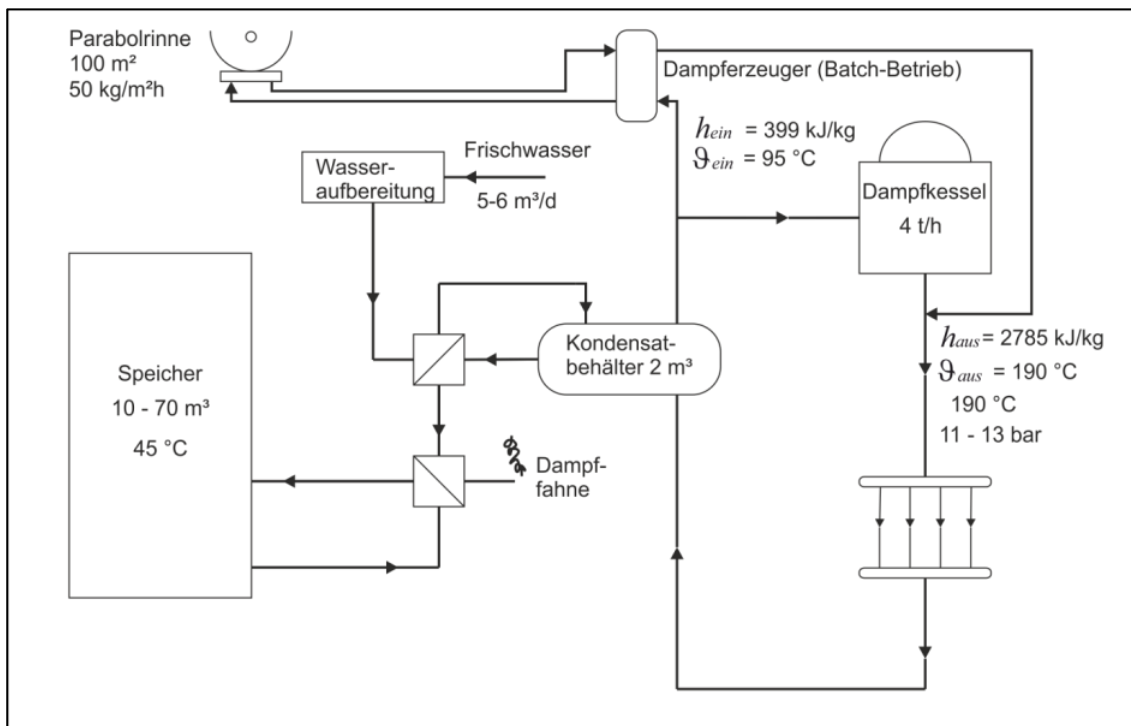


Abbildung 14: Vereinfachtes Hydraulikschemata Anlagenkonzept 4

### 2.3.6 Anlagenkonzept 5

Anlagenkonzept 5 (vgl. Abbildung 15) unterscheidet sich von Anlagenkonzept 4 dadurch, dass zusätzlich an den Wochenenden (Sa.-So.) die von den Kollektoren bereitgestellte Wärme in den Speicher eingespeist wird. Die Kollektorvorlauftemperatur beträgt dabei 45 °C. Bei Anlagenkonzept 5 beträgt der jährliche Kollektorsertrag ca. 35,1 MWh/a. Es werden ca. 13,8 MWh/a für die Dampferzeugung bereitgestellt und ca. 13,7 MWh/a in den Speicher eingespeist.

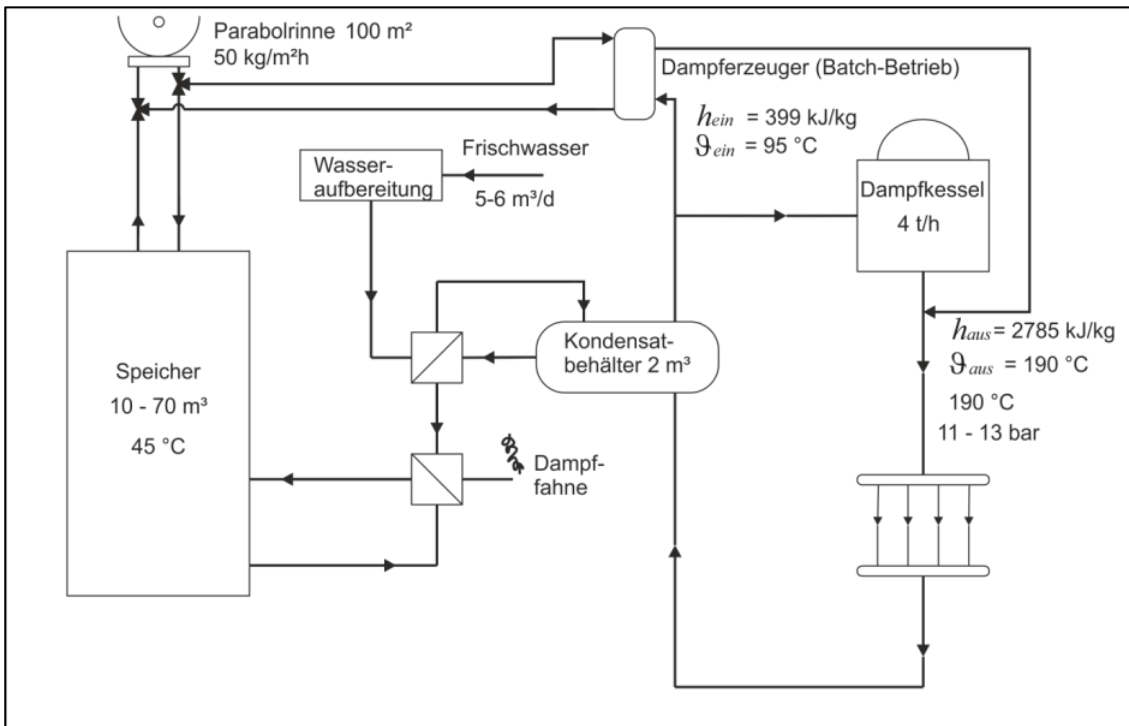


Abbildung 15: Vereinfachtes Hydraulikschema Anlagenkonzept 5

### 2.3.7 Zusammenfassung der Simulationsergebnisse

In Abbildung 16 ist das Vereinfachte Hydraulikschema des umgesetzten Anlagenkonzeptes dank der Simulationsergebnisse dargestellt.

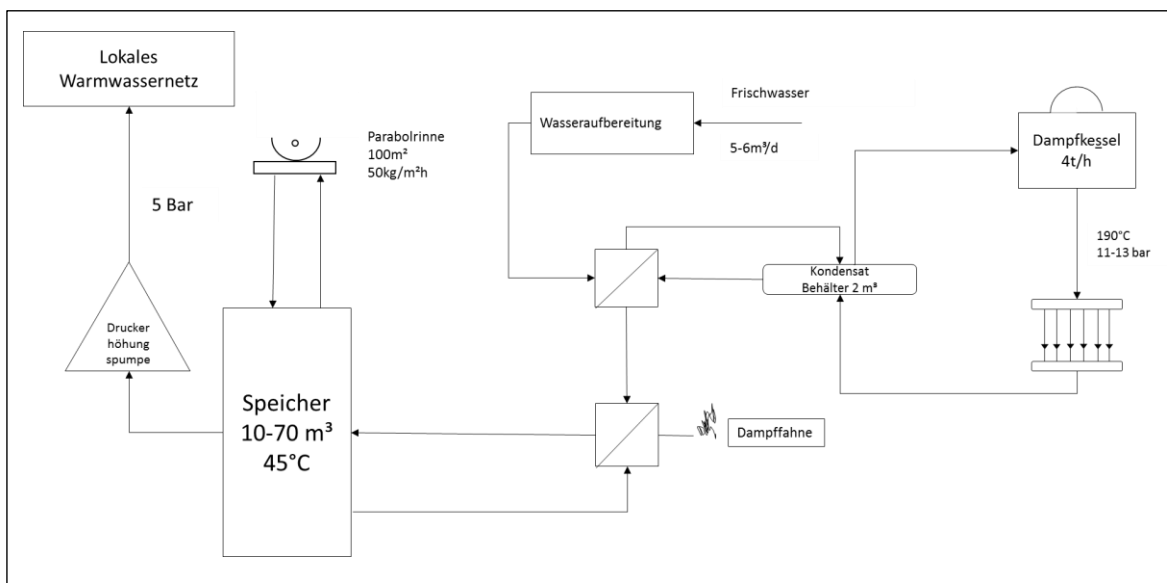


Abbildung 16: Vereinfachtes Hydraulikschema des realisierten Anlagenkonzeptes

In Tabelle 3 sind zusammenfassend die Simulationsergebnisse für die untersuchten Anlagenkonzepte ersichtlich.

**Tabelle 3: Übersicht der Simulationsergebnisse**

	Anlagen- konzept 1	Anlagen- konzept 2	Anlagen- konzept 3	Anlagen- konzept 4	Anlagen- konzept 5
Insgesamt bereitgestellte Wärmemenge in MWh/a	44,3	21,8	35,6	13,7	27,5

Beim Anlagenkonzept 1 ist die vom Kollektorfeld bereitgestellte Wärmemenge mit ca. 44,3 MWh/a am höchsten. Da prozessbedingt die maximale Speichertemperatur in der Realität nur 45 °C betragen darf, ist in der Realität gegenüber der Simulation mit Einbußen bei der bereitgestellten Wärmemenge zu rechnen, falls keine kontinuierliche Wärmeabnahme aus dem Speicher sichergestellt werden kann. Außerdem resultiert bei diesem Anlagenkonzept ein Betrieb der Parabolrinnenkollektoren bei einem verhältnismäßig geringen und für diese Kollektorart untypischen Temperaturniveau.

Bei den Anlagenkonzepten 4 und 5 können rund 13,7 MWh/a bzw. 27,5 MWh/a bereitgestellt werden. Da zum Zeitpunkt der Simulationsstudie für den Parabolrinnenkollektor „Smirro“ keine Kollektorkennwerte zur Verfügung standen und somit für die Simulation Kollektorkennwerte angenommen werden mussten, ist nicht sichergestellt, dass diese Erträge erreicht werden. Des Weiteren wird der für die Realisierung dieser Anlagenkonzepte erforderliche Aufwand im Vergleich zu den anderen Anlagenkonzepten als deutlich höher angesehen.

Es können insgesamt ca. 35,6 MWh/a Wärme mit dem Anlagenkonzept 3 bereitgestellt werden. Unter den gegebenen Randbedingungen wurde die Realisierung von Anlagenkonzept 3 empfohlen. Bei diesem Anlagenkonzept werden die Parabolrinnenkollektoren werktags während des Produktionsbetriebs bei einem Temperaturniveau von über 100 °C betrieben. Des Weiteren kann im Gegensatz zum Anlagenkonzept 2 (21,8 MWh/a) an den Wochenenden bereitgestellte Wärme in den Speicher eingespeist werden.

Nach Festlegung eines finalen Anlagenkonzeptes und der Bereitstellung weiterer Daten konnte das gewählte Anlagenkonzept mit einem höheren Detaillierungsgrad simuliert werden. Dabei konnte davon ausgegangen werden, dass sich die Erträge aufgrund des höheren Detaillierungsgrads (z.B. Einbindung über Wärmeübertrager, Frostschutzschaltung, etc.) ggf. reduzieren.

### 2.3.8 Beschreibung des realisierten Anlagenkonzeptes

Als finales Anlagenkonzept wurde vom Eigentümer der Firma Carl Meiser GmbH & Co.KG eine leicht modifizierte Variante von Anlagenkonzept 1 (vgl. Kapitel 2.3.2) gewählt.

Für die Realisierung wurde auf der Dachfläche des Firmengebäudes der Firma Carl Meiser GmbH & Co.KG ein Kollektorfeld mit insgesamt 30 Parabolrinnenkollektoren „Smirro“ mit Ost-West ausgerichteter Kollektorachse errichtet. Die Parabolrinnenkollektoren sind in drei parallelen Strängen zu je 10 Kollektoren verschaltet. Die Aperturfläche beträgt ca. 100 m<sup>2</sup>. Das Wärmeträgermedium in diesem Kreis ist eine Spezial-Wärmeübertragerflüssigkeit für Solaranlagen (Tyforcor<sup>®</sup> LS). Abbildung 17 zeigt eine Teilansicht des installierten Kollektorfelds (siehe ebenfalls Kapitel 2.4).

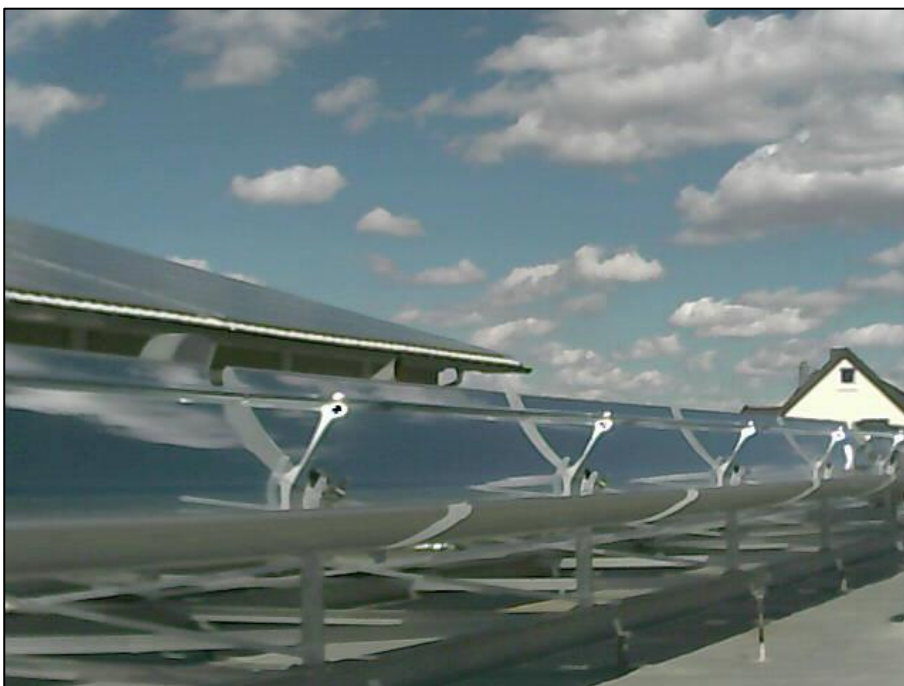
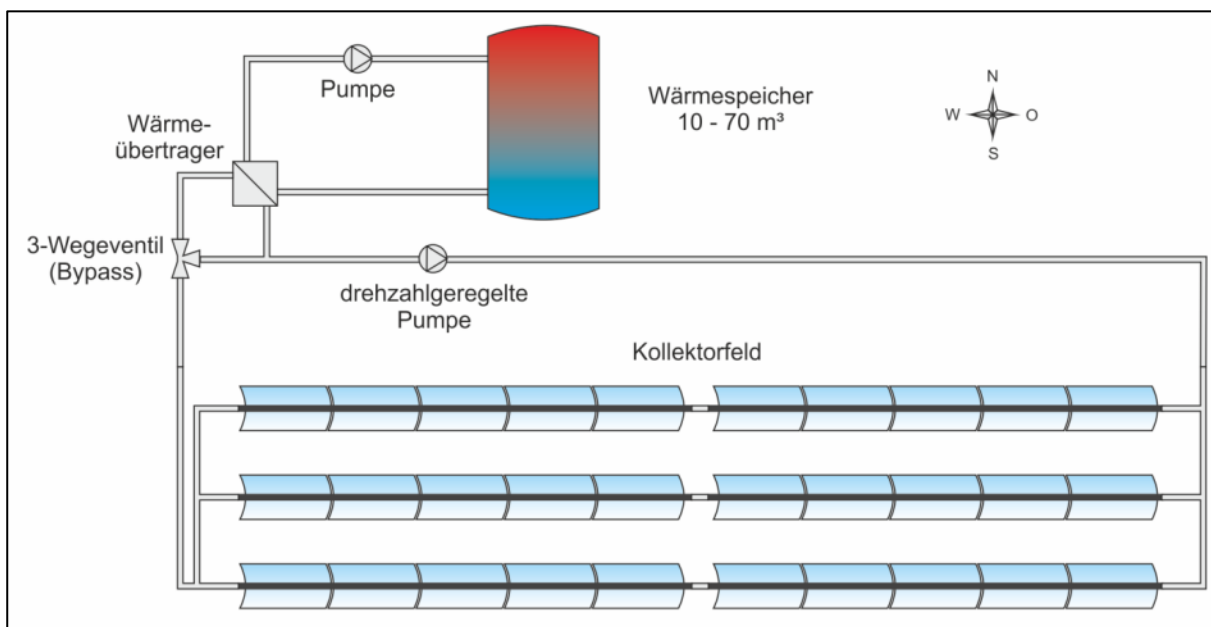


Abbildung 17: Installiertes Kollektorfeld beim Textilunternehmen

Die von den Parabolrinnenkollektoren gelieferte Wärme wird über einen Wärmeübertrager an den Speicherbeladekreis übertragen (Wärmeübertrager-Betrieb). Der Speicherbeladekreis belädt den Wärmespeicher, bei welchem das Füllvolumen prozessbedingt zwischen 10 m<sup>3</sup> und 70 m<sup>3</sup> variieren kann. Das Wärmeträgermedium im Speicherbeladekreis ist Wasser. Durch ein 3-Wegeventil, welches im Kollektorkreis direkt vor dem Wärmeübertrager installiert ist wurde ein Bypass realisiert, wodurch es auch möglich ist das Kollektorfeld im Kreis zu betreiben (Bypass-Betrieb). Abbildung 18 zeigt ein vereinfachtes Hydraulikschema des realisierten Anlagenkonzepts.



**Abbildung 18: Vereinfachtes Hydraulikschema des realisierten Anlagenkonzepts**

Tabelle 4 enthält zusammenfassend die wichtigsten Basisdaten der Anlage.

**Tabelle 4: Basisdaten der Anlage (Herstellerangaben)**

Kollektorfeld	Hersteller	Smirro GmbH
	Typ	Parabolrinnenkollektor „Smirro“
	Aperturfläche	ca. 100 m <sup>2</sup>
	Ausrichtung Kollektorachse	Ost-West
	Rohrleitungsdurchmesser	DN 25
	Rohrleitungslänge Vorlauf	80 m
	Rohrleitungslänge Rücklauf	40 m
	Wärmedämmung	Armaflex HT 19 mm, ummantelt
Wärmeübertrager	Hersteller	Reflex Winkelmann GmbH
	Typ	Longtherm Wärmeübertrager rhc 40/50
	Wärmeübertragungsfläche	1,68 m <sup>2</sup>
	k-Wert	4669 W/(m <sup>2</sup> K)
	Wärmeträgermedium Primärseite	Tyfocor <sup>®</sup> LS
	Wärmeträgermedium Sekundärseite	Wasser
Speicher	Füllvolumen, variabel	10 m <sup>3</sup> - 70 m <sup>3</sup> (prozessbedingt)

Dank des Monitoring des ITW konnten wir eine ,ökologische und wirtschaftlichen Betrachtung vorgenommen werden.

Die gesamte Nutzungsdauer der Anlage ist auf 25 Jahre kalkuliert. Die von der Anlage zu erwartende generierten Wärmemenge beträgt 34.000 kWh pro Jahr. Dabei liegt der Stromverbrauch bei 1300kWh pro Jahr. Die laufenden Kosten der Anlage belaufen sich auf 1806,07€ pro Jahr bei einer betrachteten Laufzeit von 25 Jahren.

In der nachfolgenden Tabelle sind übersichtlich die Einsparungen pro Jahr in Relation zu den Primärenergieträgern dargestellt.

**Tabelle 5: Ökol. und wirtschaftl. Betrachtung zu Primärenergieträgern**

	<b>Gas</b>	<b>Öl</b>	<b>Pellets</b>
<b>Eingesparte Energiemenge (kWh/a)</b>	40 000	40 000	40 000
<b>Eingesparte Primärenergiemenge</b>	3 488,28 m <sup>3</sup> /a	3 738,32 Liter/a	8 000,00 kg/a
<b>Eingesparte Kosten (€/a)</b>	1 725,55	2 138,20	2 795,70
<b>Annuitätischer Gewinn (€)</b>	-80,52	332,13	989,62

Der annuitätischer Gewinn ist die Differenz zwischen den jährlichen Kosten der Anlage und der eingesparten Kosten der Anlage in Relation zu den unterschiedlichen Primärenergieträgern. Dadurch ist es möglich die Wirtschaftlichkeit der Anlage in Relation zu den anderen Energieträgern zu kalkulieren. Die Parabolrinnenanlage ist interessant gegenüber den Energieträgern Öl und Pellets, da die Durchschnittspreise über den jährlichen Kosten der Anlage liegen (siehe Tabelle 6).

**Tabelle 6: Ökol. und wirtschaftl. Betrachtung auf Gesamtlaufzeit von 25 Jahre**

	<b>Gas</b>	<b>Öl</b>	<b>Pellets</b>
<b>Eingesparte Energiemenge (kWh)</b>	1 000 000	1 000 000	1 000 000
<b>Eingesparte Primärenergiemenge</b>	87 207m <sup>3</sup>	93 458 Liter	200 000kg
<b>Eingesparte Kosten (€)</b>	43 131,25	53 455	69 892,5
<b>Gewinn Global (€)</b>	-2013	8 303,25	24 740,50

### 2.3.9 Beschreibung der Regelungsstrategie

Nachfolgend sind die wichtigsten Parameter und Freigabekriterien der implementierten Regelungsstrategie der realisierten Anlage aufgeführt.

#### **Kriterien für die Freigabe des Kollektorkreises (Einschalten Kollektorkreispumpe):**

- Windgeschwindigkeit < 50 km/h
- Hemisphärische Bestrahlungsstärke (horizontal) → 380 W/m<sup>2</sup> für mindestens 10 min
- Fluidtemperatur am Austritt Absorberrohr < 120 °C

#### **Kriterien für den Freigabeentzug des Kollektorkreises (Ausschalten der Kollektorkreispumpe):**

- Windgeschwindigkeit > 50 km/h für länger als 30 s
- Hemisphärische Bestrahlungsstärke (horizontal) < 340 W/m<sup>2</sup> für länger als 10 min
- Fluidtemperatur am Austritt Absorberrohr > 120 °C



### **Kriterien für Freigabe Wärmeübertrager-Betrieb (Einschalten Pumpe Wärmeübertragerkreis):**

- Kollektoraustrittstemperatur  $> 65 \text{ °C}$
- Sobald die Anlage im Wärmeübertrager-Betrieb ist, schaltet die Pumpe im Speicherbeladekreis ein.

### **Kriterien für Defocus-Betrieb (Überhitzungsschutz):**

- Fluidtemperatur am Austritt Absorberrohr  $> 130 \text{ °C}$

### **Parameter für variablen Volumenstrom im Kollektorkreis:**

- Minimaler Volumenstrom (1.800 l/h) bei Kollektoraustrittstemperatur  $\leq 30 \text{ °C}$
- Maximaler Volumenstrom (2.400 l/h) bei Kollektoraustrittstemperatur  $\geq 120 \text{ °C}$
- Drehzahlgeregelte Pumpe mit linearem Verlauf zwischen minimalen und maximalen Volumenstrom

## **2.3.10 Variation der Regelungsstrategie**

Im Rahmen der durchgeführten Simulationsstudie wurde auch die Regelungsstrategie der Anlage variiert. Ziel war hierbei Optimierungspotenziale im Hinblick auf den Kollektorertrag bzw. auf die an den Speicherbeladekreis übertragene Wärmemenge aufzudecken. Es wurden insgesamt 40 Simulationen mit unterschiedlichen Regelungsstrategien durchgeführt. Diese Strategien begrenzten sich vor Allem auf die Freigabe der Nachführung der Parabolrinnenanlage ab einer gewissen Einstrahlungsstärke (Kollektorkreis<sub>Ein</sub>), den Entzug der Nachführung (Kollektorkreis<sub>Aus</sub>) bei einer entsprechenden Einstrahlung und die Umschaltung des Wärmeübertrager-Betrieb (Wärmeüb.-Level) ab einem festgelegten Temperaturlevel. Die Einstrahlungsstärke musste hierbei immer mindestens 10 Minuten aufrechterhalten werden bevor eine Freigabe bzw. ein Entzug der Nachführung der Parabolrinnenanlage erfolgte.

Nachfolgende Tabelle 7 fasst drei essentielle Simulationsergebnisse der realisierten Anlage mit der Referenzregelungsstrategie (hier als Ref<sub>sol</sub> bezeichnet) zusammen.

**Tabelle 7: Übersicht der Simulationsergebnisse**

	<b>Kollektor- kreis<sub>Ein</sub></b> [W/m <sup>2</sup> ]	<b>Kollektor- kreis<sub>Aus</sub></b> [W/m <sup>2</sup> ]	<b>Wärmeüb.- Level</b> [°C]	<b>Q<sub>store</sub></b> [kWh]	<b>PER<sub>sav</sub></b> [kWh]	<b>COP<sub>el</sub></b> [1]	<b>ΔPER<sub>sav</sub></b> [%]	<b>ΔQ<sub>store</sub></b> [%]	<b>ΔE<sub>el</sub></b> [kWh]
Ref <sub>sol</sub>				33.274	39.642	25,3	-	-	-
<b>Var. A</b>	<b>&gt;200</b>	<b>&lt;160</b>	<b>&gt;45</b>	<b>40.185</b>	<b>46.370</b>	<b>18,5</b>	<b>17,0</b>	<b>20,8</b>	<b>853</b>
Var. B	>200 (nachgeführt)	<180 (nachgeführt)	>45	41.280	47.676	18,7	20,3	24,1	895
<b>Var. C</b>	>200 (45° Richtung Süden)	<180 (45° Richtung Süden)	>45	<b>40.873</b>	<b>47.332</b>	<b>19,1</b>	<b>19,4</b>	<b>23,0</b>	<b>825</b>

Für eine Optimierung der Regelungsstrategie bieten sich vor allem Variante A oder Variante C an, da hier der Aufwand einer entsprechenden Implementierung sehr gering ist. Gewählt wurde eine dynamische Regelungsstrategie der Anlage, wobei die Werte je nach Jahreszeit geringfügig angepasst werden.

### 2.3.11 Zusammenfassung des Arbeitspaketes

Im Rahmen des DBU-Projektes „Soltex“ wurde eine Simulationsstudie zur Nutzung solarer Prozesswärme unter Verwendung des Parabolrinnenkollektors „Smirro“ am Beispiel eines Textilbetriebes durchgeführt. In einem ersten Schritt wurden hierfür 5 verschiedene hydraulische Anlagenkonzepte untersucht. Nach der Festlegung und der Realisierung des finalen Anlagenkonzeptes wurde dieses mit Hilfe einer detaillierten Anlagensimulation mit dem Simulationsprogramm TRNSYS untersucht. Die Anlagensimulation ergab, dass mit der realisierten Anlage ca. 33,3 MWh/a Wärmeenergie in den Speicher eingespeist werden können. Bezogen auf eine konventionelle Referenzanlage kann eine Primärenergieeinsparung von 39,6 MWh/a erzielt werden.

Durch weiterführende Untersuchungen konnten verschiedene Optimierungsmöglichkeiten der Regelungsstrategie der Anlage identifiziert werden. Hauptaugenmerk lag dabei auf Optimierungsmöglichkeiten, welche ohne großen Aufwand direkt in die realisierte Anlage implementiert werden können. Durch die vorgeschlagene Optimierungen der Regelungsstrategie kann die in den Speicher eingespeiste Wärmemenge um 20-25 %

erhöht werden, was einer Mehr-Primärenergieeinsparungen im Bereich von 16 bis 20 % entspricht.

## 2.4 AP4 Planung und Bau

Auf Basis von Energie- und Prozessanalysen und den Ergebnissen der AP 2 und AP 3 wurden konkrete Konzepte zur Auslegung der Demonstrationsanlage erstellt. Zudem wurde der letztendliche Aufstellbereich, welche eine Fläche von ca. 330 m<sup>2</sup> (vgl. Abbildung 19) umfasst, bei der Carl Meiser GmbH & Co.KG festgelegt.



Abbildung 19: Aufstellbereich der Demonstrationsanlage

Anschließend wurde das aussichtsreichste Konzept bezüglich thermische Integration der Wärmeenergie berücksichtigt. Parallel dazu fand die mechanische Planung der Demonstrationsanlage statt, wonach die Realisierung gem. Grafik in Abbildung 20 und Abbildung 21 auf dem Gebäude des mittelständischen Textilunternehmens, Carl Meiser GmbH & Co.KG in Tailfingen errichtet werden konnte.

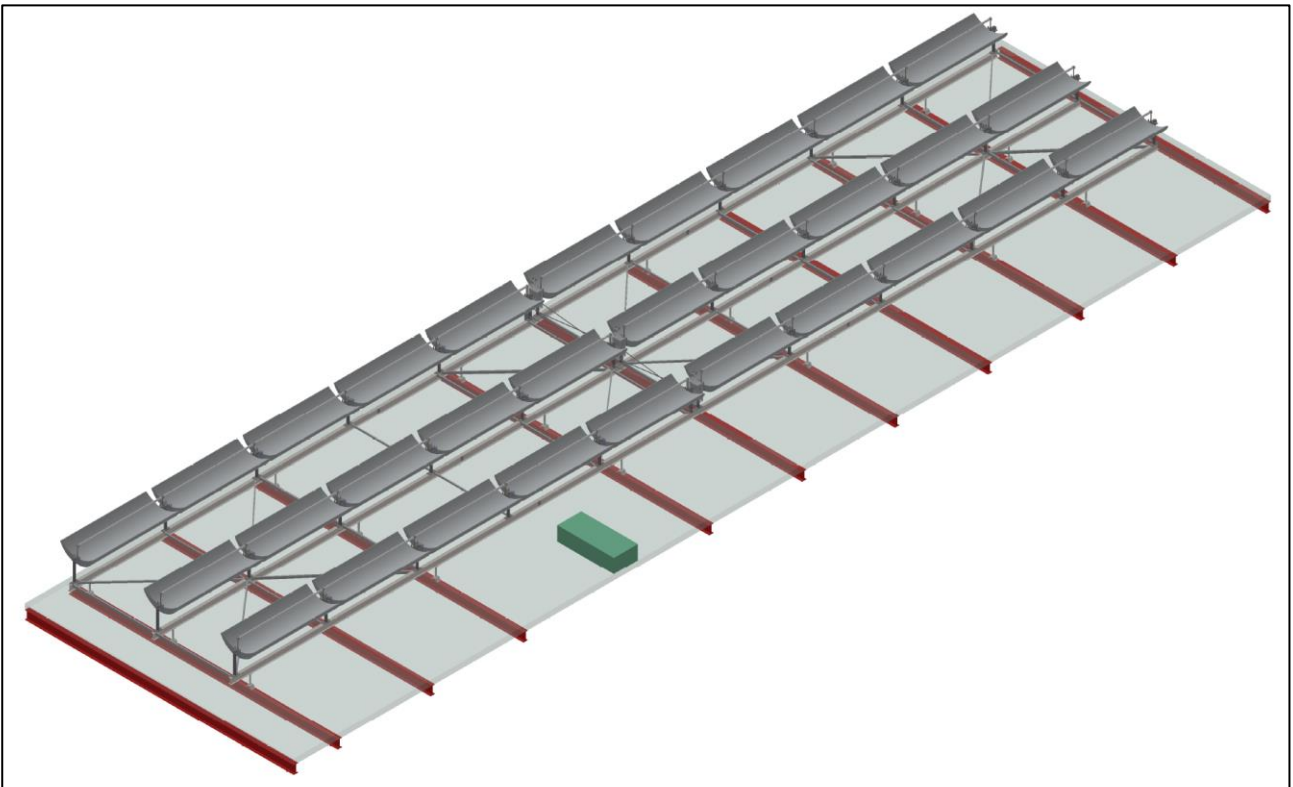


Abbildung 20: 3D-Planungsmodell der Demonstrationsanlage

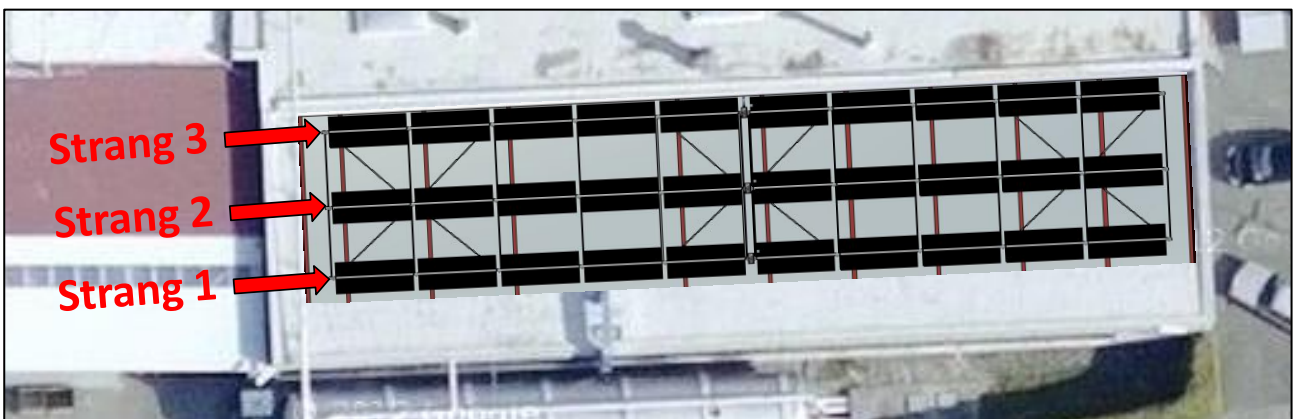


Abbildung 21: Aufstellbereich der Demonstrationsanlage Detailansicht

Die Konzeption sah vor drei Parabolrinnenstränge mit jeweils zehn Parabolrinnen, also insgesamt 30 Parabolrinnen einzusetzen. Der Einsatz von weiteren Parabolrinnensträngen bzw. Parabolrinnen war aus platzgründen leider nicht möglich, was in dem oberen 3D-Modell ersichtlich ist. Ein engeres Zusammenziehen und die Integration eines weiteren Stranges hätte eine erhebliche Verschattung der anderen Stränge zugeführt.

Aufgrund des lang anhaltenden Winters bzw. der niedrigen Temperaturen und der damit verbundenen erhöhten Rutsch-/Unfallgefahr auf dem Dach der Fa. Meiser, konnten die Aufbauarbeiten erst ab Mitte März 2013 aufgenommen werden.

Der erste Aufbau vor Ort begann daher in der KW 11 2013. Hierbei wurden vorerst die Grundträger (IPE 200) auf vorhandene Dachanker aufgebracht (siehe Abbildung 22).



**Abbildung 22: Installation Grundträger**

Nach dem diese Grundträger installiert wurden, konnten die dafür entwickelte Unterkonstruktion der Parabolrinnen abgebohrt und auf die Grundträger aufgeschraubt werden (vgl. Abbildung 23). Zusätzlich wurden die Grundträger über Querverbindungen stabilisiert. Diese Installation musste mit einer erhöhten Maßhaltigkeit erfolgen, da ansonsten die Nachführung der Parabolrinnen im Brennpunkt nicht gewährleistet werden konnte.



**Abbildung 23: Installation der Unterkonstruktion**

Zur weiteren Stabilisierung der Konstruktion untereinander wurden in KW 12 Kreuzverbindungen in der horizontalen Ebene angebracht. Weiterhin wurden die Lager auf die Unterkonstruktion montiert (vgl. Abbildung 24).



**Abbildung 24: Installation Unterkonstruktion mit Lager**

Da sich nach dieser Installation herausstellte, dass die Aufständerung durch ein stark vibrierendes Aggregat im Textilbetrieb in Schwingung geriet, musste eine Lösung erarbeitet werden um dieses Schwingen an der Aufständerung zu unterbinden. Die Lösung war ein Kreuzverbund, welcher entsprechend ausgelegt werden musste um den statischen und dynamischen Anforderungen zu genügen. Darüber hinaus durfte die Konstruktion nicht zu schwer ausfallen um die Tragfähigkeit des Flachdaches nicht überzustrapazieren. Daher wurde in KW 14 bis 16 ein vorab ausgelegter Kreuzverbund aus Alu-Profil installiert (vgl. Abbildung 25).



**Abbildung 25: Kreuzverbund der Unterkonstruktion**

Dieser Kreuzverbund musste so angebracht werden, dass die Maßhaltigkeit der Aufständerung gewährleistet werden konnte, was sich als überaus zeitintensiv gestaltete. Nach erneuter Überprüfung der Maßhaltigkeit der Unterkonstruktion konnten schlussendlich der Antrieb und die Parabolrinnen in KW 19 bis 22 verbaut werden. Ebenso war es nach Verschweißen der Absorberrohre möglich diese einzusetzen (siehe Abbildung 26).



**Abbildung 26: Verbaute Parabolrinnen und Absorberrohr**

Parallel wurde vom Installateur des Textilbetriebes Meiser die hydraulische Anbindung der Parabolrinnenanlage vorgenommen. Dies schloss die hydraulische Integration der Sensoren als auch des Wärmeübertragers mit ein (vgl. Abbildung 27).



**Abbildung 27: Wärmeübertrager**



Nachdem die Sensoren hydraulisch in die Anlage eingebunden wurden, konnten diese in KW 23 bis 26 mit der SPS verkabelt werden. Diese Verkabelung mit der verwendeten Steuerung und Sensorik gestaltete sich ebenfalls als aufwändiger als ursprünglich geplant. Ein Grund hierfür lag in der nicht optimal anzubringenden Sensorik, die aus bautechnischen Gründen im und am Gebäude schwierig anzubringen war. Gebäudedurchgänge waren zudem nur mit erheblichem Aufwand realisierbar. Diese Durchgänge mussten nach Verkabelung fachgerecht verdichtet werden und durften keine Beschädigungen am Gebäude verursachen.



**Abbildung 28: Fertiggestellte Parabolrinnenanlage I**

Die Anlage wurde in ihren Grundfunktionen in KW 26 fertiggestellt (siehe Abbildung 29), wonach erste Tests mit der Nachführung und der SPS möglich waren.



**Abbildung 29: Fertiggestellte Parabolrinnenanlage II**

Das Ziel der Integration und des Aufbaus der Anlage wurde komplett umgesetzt. Jedoch war der Personal- und Materialaufwand höher als geplant. Dies war vor Allem auf die örtlichen Gegebenheiten und die verwendete Aufdachaufständerung zurückzuführen. Bisherige Aufdachaufständerungen wurden mittels einer freien Aufständerung montiert, welche anschließend mit Steinen beschwert wurde, um das Verschieben durch Windlasten zu vermeiden. Bei Fa. Meiser wurde eine gänzlich neue Aufdachaufständerung eingesetzt, welche eine statisch feste Verbindung mit dem Gebäude eingeht. Vor allem durch mögliche hohe Schneelasten (Schneelastzone 2) in diesem Gebiet, durfte die Dachlast nicht zu hoch ausfallen, da ansonsten mögliche statische Beeinträchtigungen für das Gebäude möglich gewesen wären.

Ebenfalls war ein kritischer Punkt die Ausrichtung der Aufständerung möglichst exakt auszuführen. Dies war notwendig um die Drehachse der Kollektoren in einer Ebene zu installieren. Wäre dies nicht erfolgt, so wären einerseits die Parabolrinnen beim Einhängen auf die Achse tordiert und ggf. zerstört worden, andererseits hätte dies zu einer enormen Nacharbeit geführt.

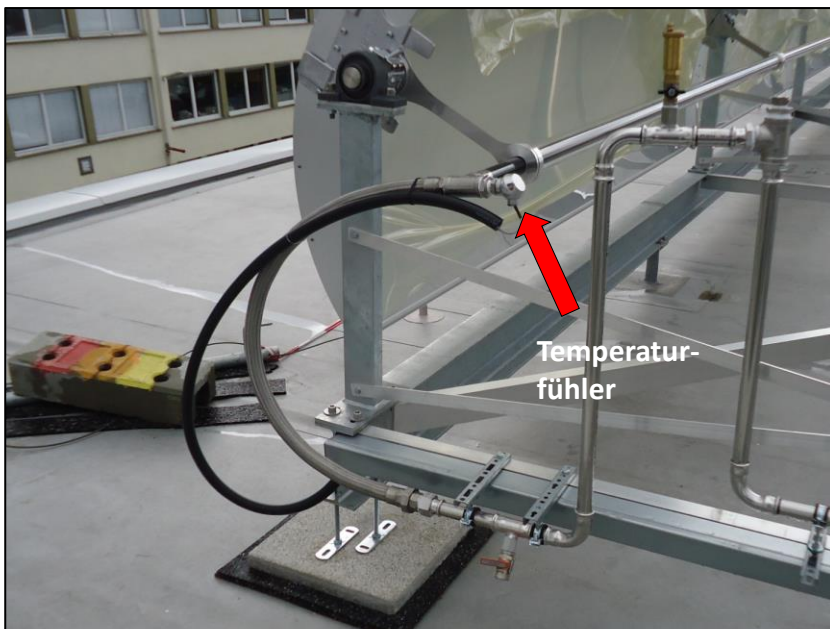
Das Resultat der Arbeiten war eine überaus stabile Konstruktion die seit ihrer Errichtung keine wesentlichen statischen Beeinträchtigungen für das Gebäude darstellt. Ebenso wird die Funktionsweise der Nachführung optimal durch die Aufständerung unterstützt, weshalb sich der hohe Zeitaufwand, der in den Aufbau investiert wurde, bisher auszahlt hat.

## 2.5 AP5 Monitoring

Für die Anlagenüberwachung und die detaillierte messtechnische Untersuchung der Demonstrationsanlage unter realen Betriebsbedingungen war es erforderlich umfangreiche Messtechnik zu installieren. Hierbei war geplant das Monitoring der Demonstrationsanlage an das TZS am ITW der Universität Stuttgart als universitäre Forschungseinrichtung zu vergeben. Das TZS verfügt im Bereich der messtechnischen Untersuchung von Demonstrationsanlagen über einschlägige und langjährige Erfahrungen. Somit war eine wissenschaftliche Begleitung und Auswertung der Messergebnisse möglich.

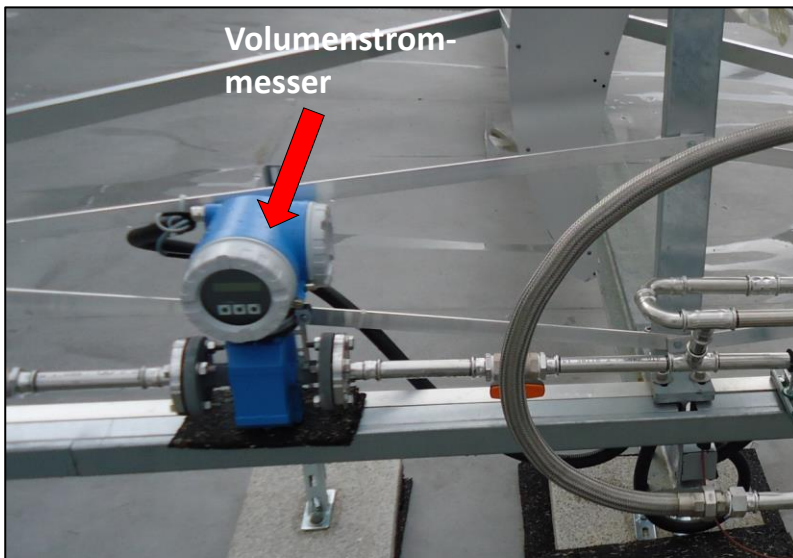
Um eine messtechnische Untersuchung der Anlage vorzunehmen wurden vorerst vom ITW mehrere Sensoren angebracht. Dies geschah teilweise parallel zum Aufbau der Anlage, weil diese in die Rohrleitungssysteme integriert werden mussten.

Es fand primär eine Vermessung des Stranges 1 statt, weshalb hauptsächlich dieser Strang mit Sensoren versehen wurde. Unter anderem wurden am Absorberrohreingang und Absorberrohrausgang Temperaturfühler im Rohr angebracht (vgl. Abbildung 30).



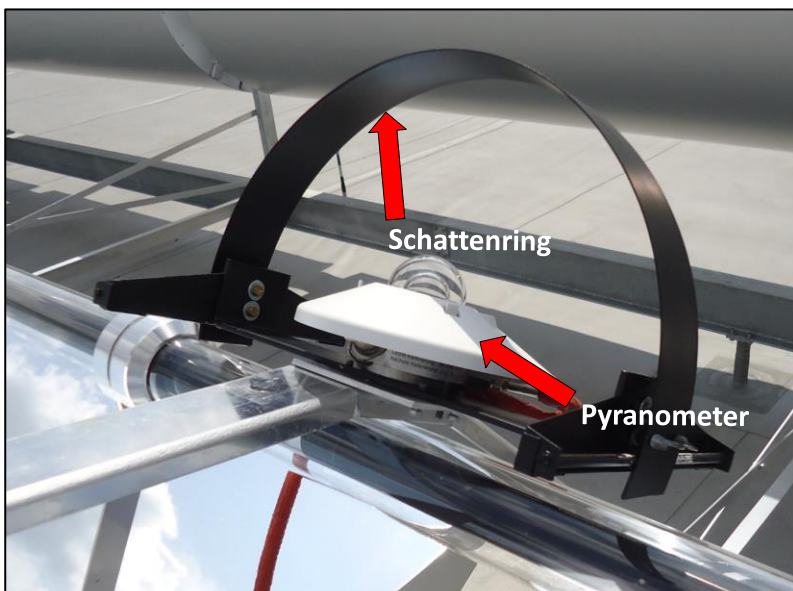
**Abbildung 30: Verbauter Temperaturfühler**

Ebenfalls wurde ein Volumenstrommesser (Abbildung 31) zur Ermittlung der Leistung des Stranges integriert.



**Abbildung 31: Verbauter Volumenstrommesser**

Zur Gegenüberstellung von Einstrahlung in Relation der Ausbeuteten Leistung wurden zwei Pyranometer (vgl. Abbildung 32) in horizontaler Achse zum Parabolrinnenstrang angebracht.



**Abbildung 32: Verbauter Pyranometer**

Ein Pyranometer ist dabei mit einem Schattenring versehen. Das andere ist dem Sonnenlicht direkt ausgesetzt, weshalb es möglich ist die Direktstrahlung der Sonne zu ermitteln.

Neben der Anbringung der Messmittel am Strang 1 wurden weitere Sensoren angebracht um die Gesamtleistungsfähigkeit aller drei Stränge zur ermitteln.

Nach Integration dieser Messmittel bzw. Sensoren war es möglich die Leistungsfähigkeit der Anlage zur ermitteln. Ein Auszug der Messdaten wird im Folgenden exemplarisch vom 29.10.2013 dargestellt.

In Abbildung 33 zeigt die durch die Pyranometer aufgezeichnete Einstrahlung der Global-, Diffus- und Direktstrahlung. Der Strahlungsabfall um ca. 11:20 Uhr ist auf die kurzzeitige Verschattung des Sensors zurückzuführen.

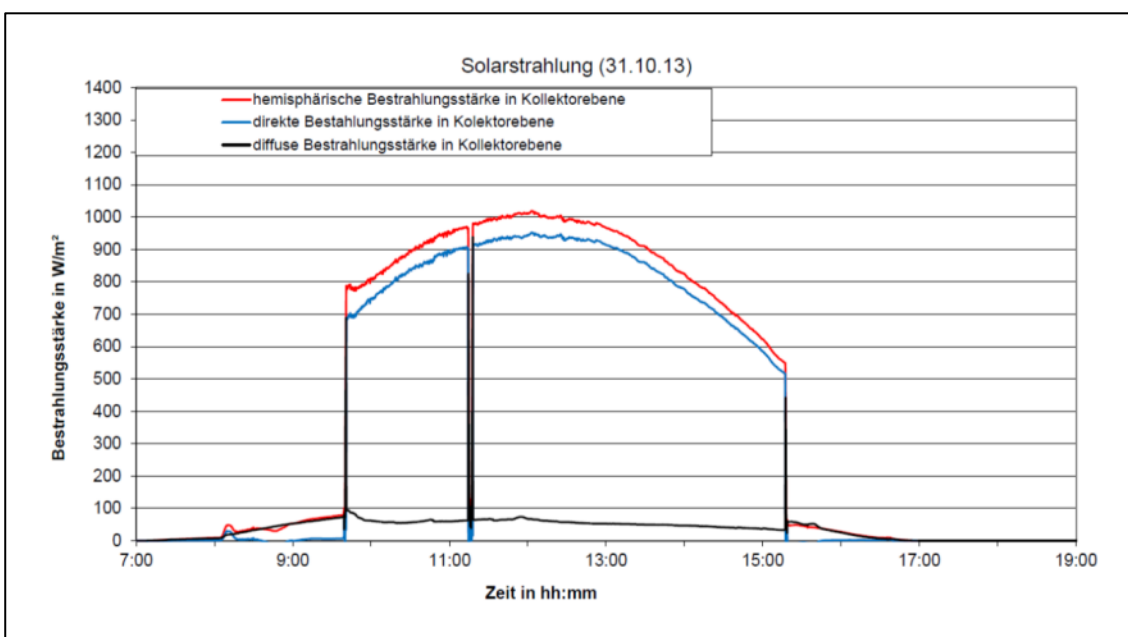


Abbildung 33: Messdaten Solarstrahlung

Abbildung 34 zeigt die Temperaturverläufe und Volumenströme des vom ITW vermessenen Stranges 1.

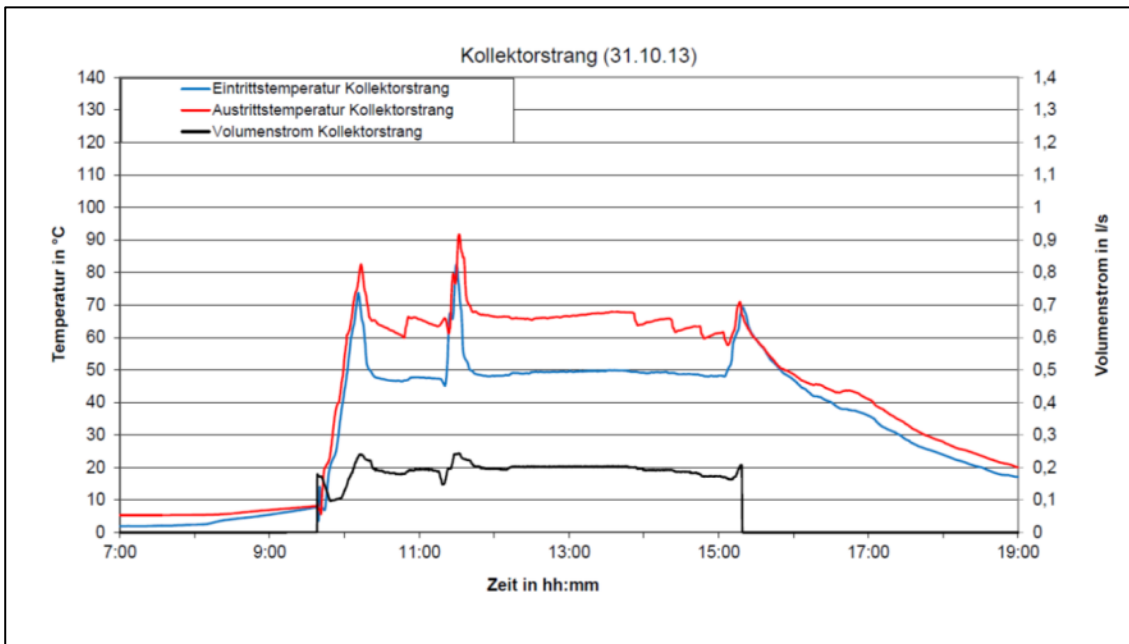


Abbildung 34: Temperaturen Kollektorstrang 1

In Abbildung 35 werden die Leistungen des Stranges 1 als auch die Gesamtleistung des Kollektorfelds dargestellt.

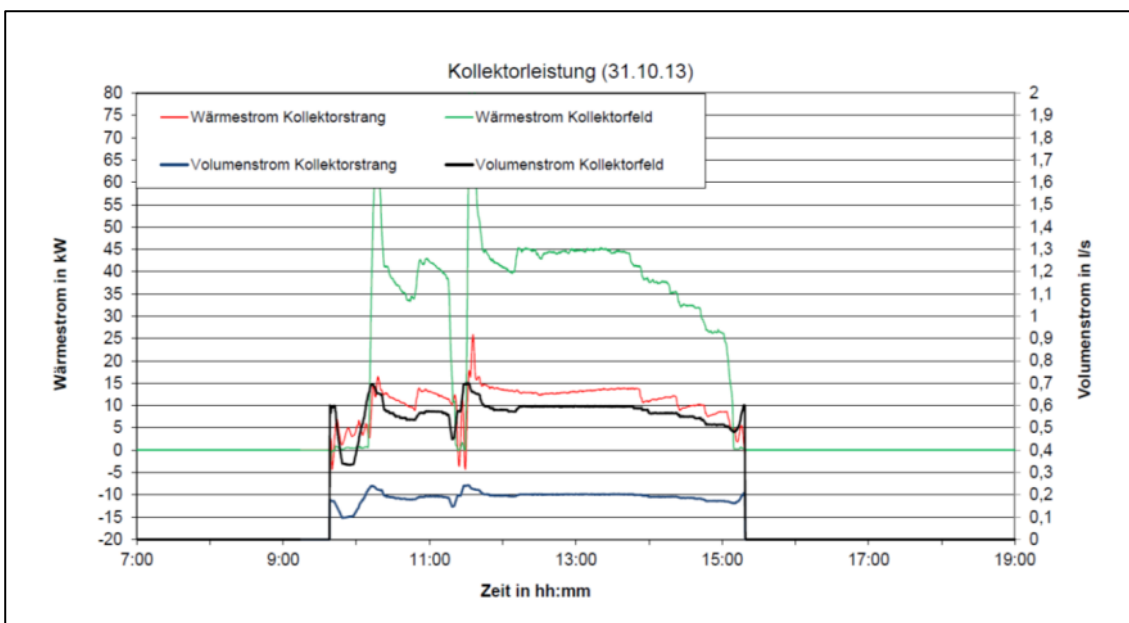


Abbildung 35: Kollektorleistung

In Abbildung 36 werden die Energiemengen des Stranges 1 als auch die Gesamtenergiemenge des Kollektorfelds kumuliert dargestellt.

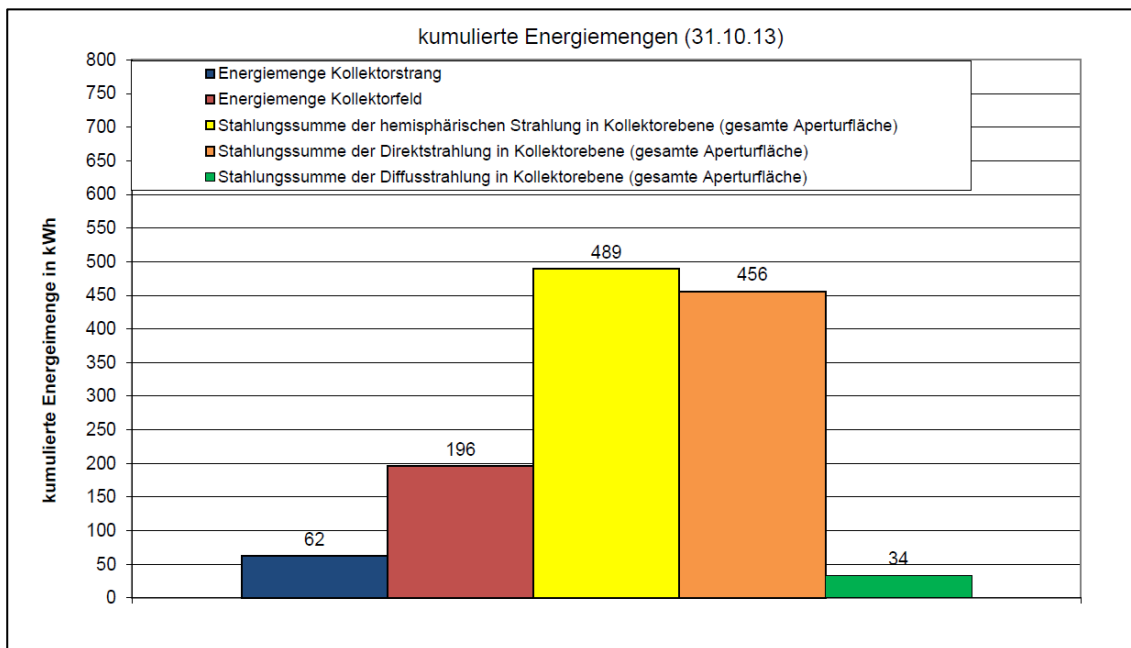


Abbildung 36: Energiemengen Kollektorfeld/-strang

Hierbei konnte ein Wirkungsgrad der Energieausbeute von nahezu 43 %, bei einer Gegenüberstellung von der gemessenen Direktstrahlung zur umgesetzten Energiemenge des Kollektorfeldes erzielt werden.

Ein weiteres Monitoring durch das ITW findet weiterhin statt, so dass eine laufende Auswertung der Anlage und ebenfalls Optimierungen vorgenommen werden können.

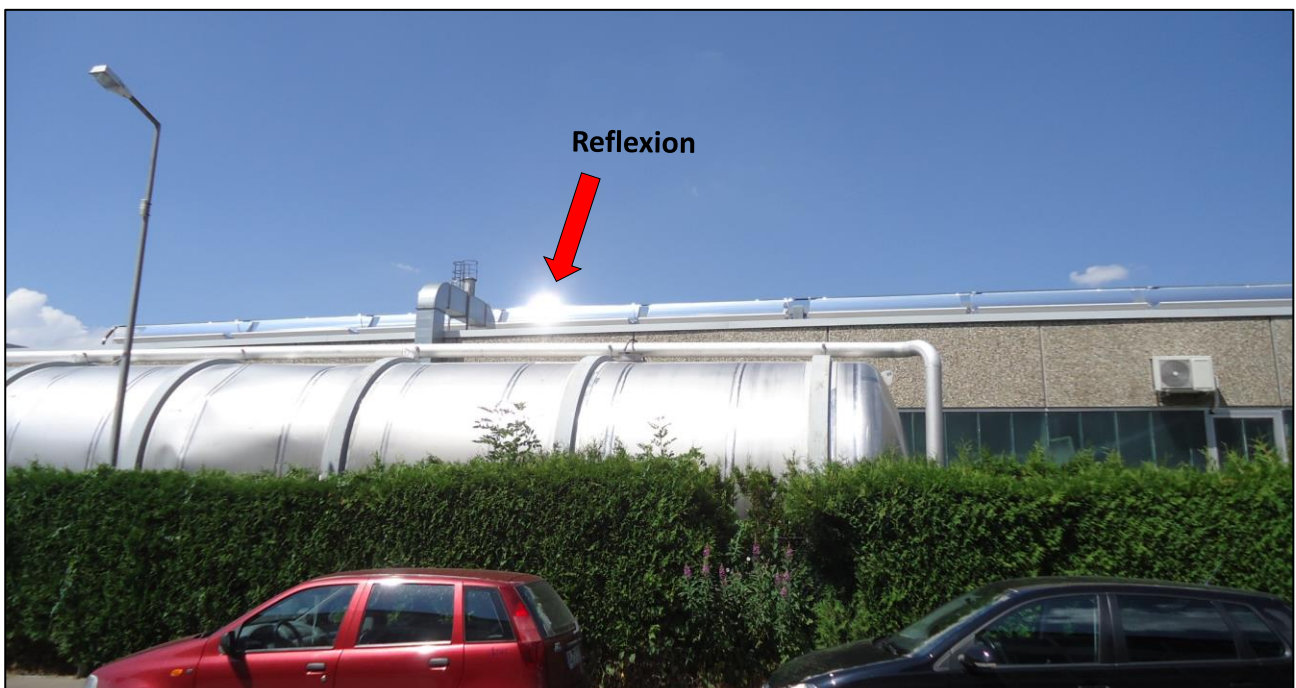
## 2.6 AP6 Optimierung

Auf Basis der Betriebserfahrungen und der gewonnenen Messergebnisse sollte eine Optimierung der Anlage erfolgen. Dies beinhaltete im Wesentlichen folgende Punkte die in diesem Zusammenhang verbessert wurden:

- Einbau von Blendblechen
- Tausch des Wärmeübertragers
- Anpassung der SPS bzw. deren Parameter
- Sensortausch

### Einbau von Blendblechen

Der südlich gelegene Industriebetrieb in Relation zur Fa. Meiser beklagte sich über starke Reflexion der Sonnenstrahlen von der Demonstrationsanlage, weshalb dieser tagsüber bei schönem Wetter die Fenster verdunkeln musste. Der Grund hierfür war die Bündelung der Sonnenstrahlen und Reflexion dieser auf den Industriebetrieb (vgl. Abbildung 37).



**Abbildung 37: Bild aus Sicht gegenüberliegendes Gebäude**

Um diese Reflexion zu reduzieren bzw. vollständig einzudämmen wurden einseitig Blendbleche (siehe Abbildung 38) an den Parabolrinnen angebracht.





**Abbildung 38: Blendbleche**

Nach Anbringung diese Blendbleche war die Reflexion der Sonnenstrahlen gänzlich unterbunden und das gegenüberliegende Industrieunternehmen musste seine Räume nicht mehr abdunkeln.

### **Tausch des Wärmeübertragers**

Als die Parabolrinnenanlage in Betrieb ging, wurde festgestellt, dass die Wärmeenergie nicht effizient genug auf den Pufferspeicher übertragen werden konnte. Dies konnte anhand der ersten Messdaten ermittelt werden. Exemplarisch sind im Folgenden die Messdaten vom 01.08.2013 dargestellt.

Abbildung 39 zeigt, dass am 01.08.2013 ein überaus sonniger Tag mit einer hohen Globalstrahlung mit einer Maximalleistung von knapp  $900 \text{ W/m}^2$  vorlag. Auch sind zusätzlich die Gesamttemperaturen des Kollektorfeldes dargestellt, wobei zu erkennen ist, dass die Maximaltemperatur  $120 \text{ °C}$  beträgt.

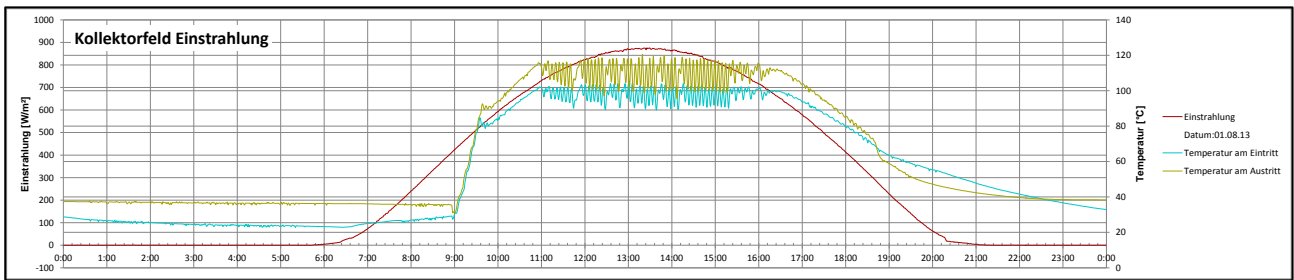


Abbildung 39: Globalstrahlung vom 01.08.2013

In Abbildung 40 ist die Gesamtleistung des Kollektorfeldes dargestellt.

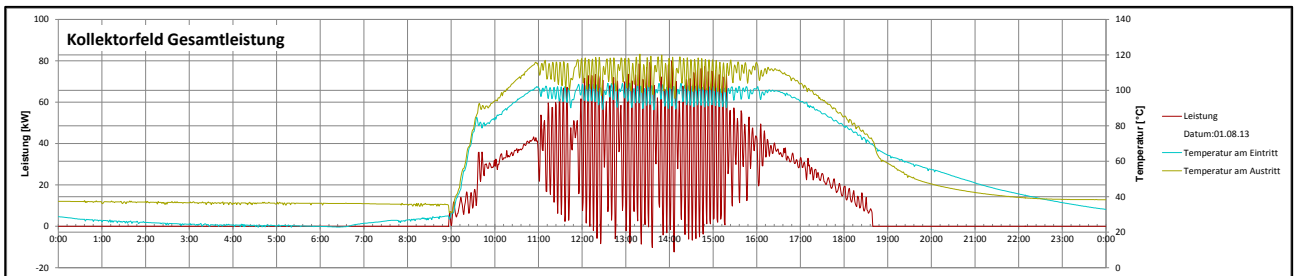
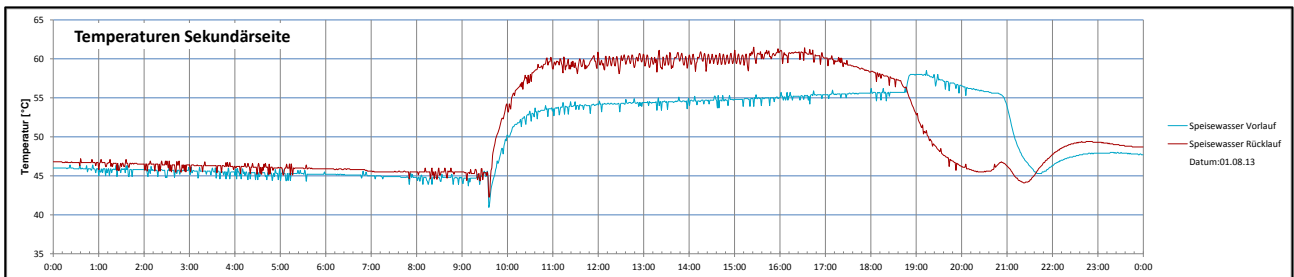


Abbildung 40: Gesamtleistung des Kollektorfeldes vom 01.08.2013

Es ist erkenntlich, dass ab ca. 11 bis 16 Uhr bis die Leistung des Kollektorfeldes schwankt. Der Grund hierfür ist die Überhitzung der Absorberrohre mit annähernd 120 °C (vgl. Kapitel 0), weshalb die Parabolrinnen in den Defokusbetrieb führen bis die Rohre auf ca. 100 °C abgekühlt waren. Dies erfolgte laufend indem das Absorberrohr auf 120 °C überhitzte, die Parabolrinnen gingen in den Defokusbetrieb bis die Rohre abgekühlt waren, anschließend abermals in den Fokusbetrieb und das Ganze wiederholte sich von vorne. Das Potential der Anlage konnte also nicht voll ausgeschöpft werden, da die Wärmeenergie nicht abgeführt werden konnte und deshalb die Absorberrohre ständig überhitzten. Letztendlich konnte die Gesamtleistung der Anlage von ca. 55 kW<sub>peak</sub> nicht gehalten werden.

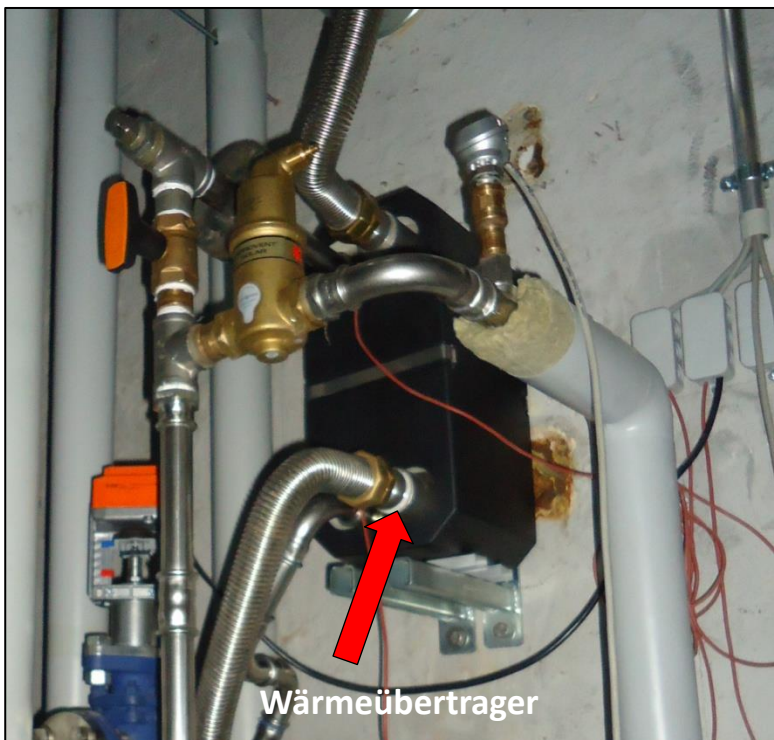
Nach Beobachtung dieses Sachverhalts an sonnigen Tagen, wurde der vorhandene Wärmeübertrager (vgl. Abbildung 27) als nicht effizient identifiziert, was vor Allem auf die geringfügige Temperaturabfuhr von nur 5 K (siehe Abbildung 41) erkenntlich war. Leider waren von diesem Wärmeübertrager keine technischen Daten vorhanden weshalb die Leistung dieser Komponente bei der Auslegung nicht exakt berechnet werden konnte und nur auf Erfahrungswerte verwiesen werden konnte.



**Abbildung 41: Temperaturabfuhr vom Wärmeübertrager alt**

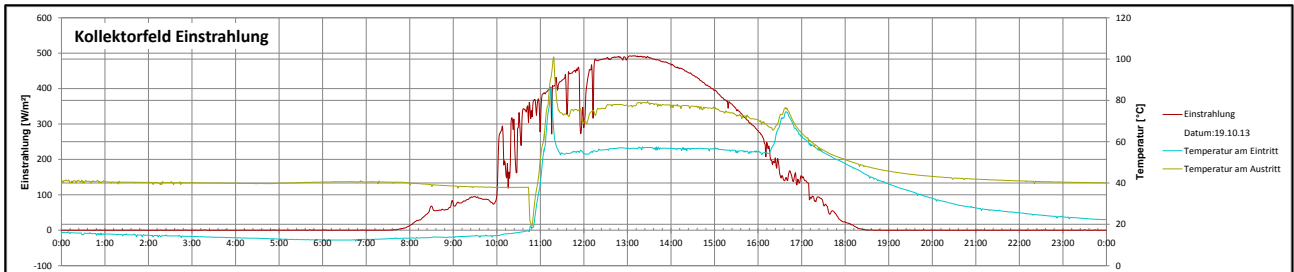
Nach Suche nach einem Hersteller von Wärmeübertrager und Besprechung mit diesem, konnte ein Wärmeübertrager (siehe Datenblatt im Anhang C: Technische Daten Wärmeübertrager) ermittelt werden. Dieser wurde anschließend bestellt und in die Anlage bei der Fa. Meiser integriert.

Nach dem Einbau des Wärmeübertragers (siehe Abbildung 42) verhielt sich die Leistung bzw. Energieausbeute der Anlage bedeutend besser.



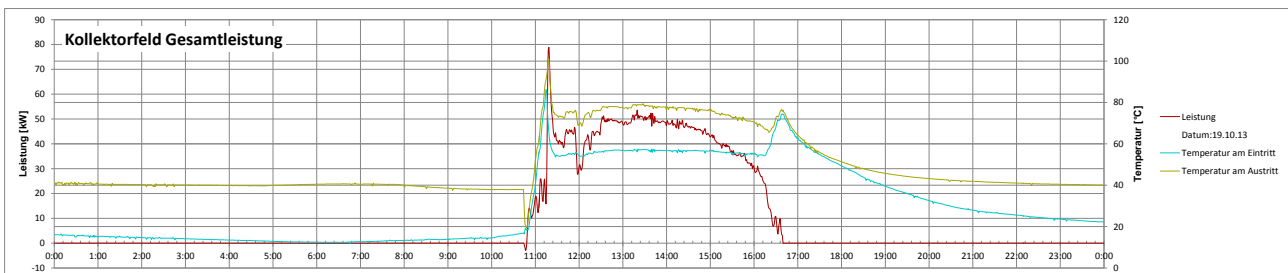
**Abbildung 42: Wärmeübertrager neu**

Exemplarisch werden die Daten vom 19.10.2013 erörtert, welche zwar morgens bzw. bis ca. 12 Uhr leichte Bewölkung aufwies. Ab 12 Uhr jedoch ebenfalls wie am 01.08.2013 ein sehr sonnenreicher Tag war (vgl. Abbildung 43).

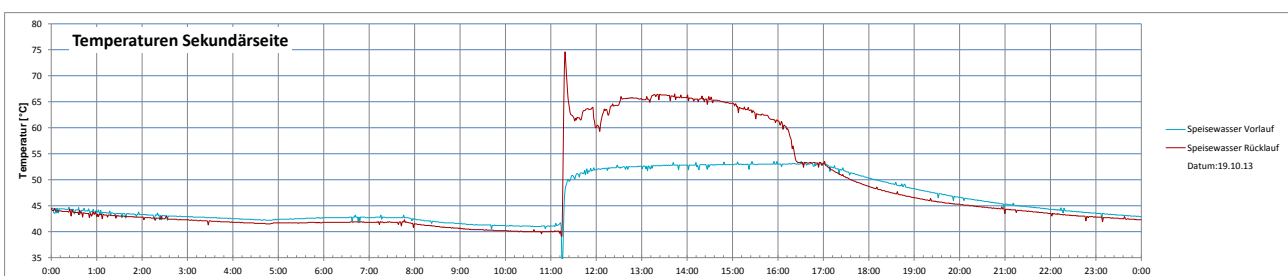


**Abbildung 43: Globalstrahlung am 19.10.2013**

Die Einstrahlung betrug lediglich 500 W/m<sup>2</sup>. Eine Gegenüberstellung der Werte ist jedoch möglich, weil die Kollektorgesamtleistung von ca. 50 kW<sub>peak</sub> (vgl. Abbildung 44) und die abgeführte maximale Temperaturdifferenz von 14 K (vgl. Abbildung 45) erreicht wurden.



**Abbildung 44: Gesamtleistung des Kollektorfelds vom 19.10.2013**



**Abbildung 45: Temperaturabfuhr vom Wärmeübertrager neu**

Das Resultat des Wärmeübertrager-Tausches hat sich bisher als richtige Entscheidung erwiesen, da seit der Verwendung des neuen Wärmeübertragers keine Überhitzung der Absorberrohre zu verzeichnen war. Die generierte Wärmeenergie der

Parabolrinnenanlage bisher problemlos mit dem neuen Wärmeübertrager abgeführt werden konnte.

### **Anpassung der SPS bzw. deren Parameter**

Während des Betriebes der Demonstrationsanlage war es notwendig an der SPS Einstellungen zu verändern, um den optimalen Betrieb der Anlage zu gewährleisten.

Die Messdaten der Parabolrinnenanlage wurden ständig ausgewertet, so dass mögliche unvorteilhafte Einstellungen an der Steuerung identifiziert werden konnten. Es stellte sich beispielweise heraus, dass die Einstellung für die Volumenströme als auch die Einstellung für die Startbedingungen (Einstrahlungswerte) zu verändern. Auch mussten geringfügige Veränderungen an den Temperaturbereichen vorgenommen werden. Aufgrund der programmierten SPS und deren variabel einstellbaren Parameter, gestaltete sich die Änderung der Parameter als relativ einfach.

### **Sensortausch**

Während des Betriebes der Demonstrationsanlage fiel die Nachführsteuerung des Stranges 1 aus. Nach Fehlersuche musste der Wegsensor (vgl. Abbildung 46) aufgrund eines Defektes ausgetauscht werden.



**Abbildung 46: Angeschraubter Wegsensor**

Der Defekt führte dazu, dass der Parabolrinnenstrang nicht auf seiner Endposition (Parabolrinnen leicht nach unten geneigt) stehen blieb, sondern weiter fuhr. Als Resultat des Weiterfahrens wurde ein Endschalter bzw. die Notabschaltung des Stranges ausgelöst und der Strang blieb stehen. Nach Austausch des Wegsensors funktionierte die Nachführung und das Anfahren der Endposition am Strang 1 abermals fehlerfrei.

## **2.7 AP7 Softwaretool zur vereinfachten Anlagenauslegung**

Das ursprünglich geplante Softwaretool als Fremdleistung blieb aufgrund des erheblichen Aufwands für AP4 Planung und Bau unberücksichtigt.

## **2.8 AP8 Projektmanagement und Berichterstellung**

Damit eine ordnungsgemäße und erfolgreiche Durchführung des Projektes gewährleistet werden konnte, wurden die real erreichten Projektziele und die bereits entstandenen Kosten in regelmäßigen Abständen mit der Projektplanung verglichen. Bei Bedarf wurden die notwendigen Korrekturmaßnahmen eingeleitet. Die Ergebnisse des Projektes wurden in diesem Zusammenhang mit dem vorliegenden Arbeitspaket im Abschlussbericht dokumentiert.

Bezüglich der installierten Parabolrinnenanlage, deren Nutzen, deren Erkenntnisse und deren Förderung wurden weitreichende Veröffentlichungen bzw. Verbreitungen vorangetrieben, die im Folgenden kurz erläutert werden.

Besuchergruppen die, die Anlage besichtigten waren u.a. eine Gruppe aus Italien im April 2014, eine australische Unternehmung im Juni 2014 und zuletzt eine Delegation aus Ungarn und der Slowakei im Juli 2014, welche vom DLR in Stuttgart und der Hochschule Ulm organisiert wurde.

Die Veröffentlichung findet ebenfalls durch Internetauftritte der involvierten Unternehmen statt. So zeigt die Smirro GmbH und die Carl Meiser GmbH & Co.KG auf ihren jeweiligen Webseiten eine kurze Zusammenfassung des Projekts auf (siehe <http://smirro.de/smirro/index.php/de/solare-konzepte/projekte/projekt-textilbetrieb> und <http://www.nopma.de/index.php?id=371>).

Auf dem 16. Wirtschaftsforum in Albstadt am 19.03.2014 wurde das Solarthermie-Projekt vorgestellt (siehe <http://www.zak.de/download/get/807/files/assets/basic-html/page7.html>). Auch wurde die Parabolrinnenanlage in der lokalen Presse präsentiert (siehe <http://m.schwarzwaelder-bote.de/inhalt.albstadt-spieglein-spieglein-ganz-oben.2577ca48-efa1-4d4a-8272-3cd9c8fedd2b.html>).

Des Weiteren wird das Projekt und deren Erkenntnisse auf der „International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry“ in China am 14.10.2014 durch den Projektpartner Herrn Frey (ITW) vorgestellt (siehe <https://cms.shc2014.org/program>). Zudem wird die Anlage auf der ersten Weltkarte für solare Prozesswärmekollektoren aufgeführt (vgl. <http://www.solrico.com/en/solar-market-research/current-projects/view-47.html>).

Des Weiteren wird das Projekt auf der internationalen Plattform von „SHIP Plants“ zusammenfassend dargestellt (siehe <http://ship-plants.info/projects/136>).

Sobald genauere Ergebnisse über ein laufendes Betriebsjahr vorliegen, wird dieses Solarthermie-Vorzeigeprojekt fortlaufend in der Fachliteratur veröffentlicht. Dies schließt ebenfalls die lokale Presse mit ein. Ebenfalls sind weitere Besichtigungen mit Besuchergruppen Vorort geplant und ausdrücklich durch die Partner erwünscht.

### 3 Projektfazit

Das Textilunternehmen Carl Meiser GmbH & Co. KG, mit Sitz in Tailfingen hat einen hohen Wärmebedarf für die im Textilbetrieb eingesetzten Prozesse. Daher war es naheliegend diesen Wärmebedarf zusätzlich durch ein regeneratives Energiesystem zu unterstützen. Das Textilunternehmen verfügte ebenfalls über eine ungenutzte Dachfläche, weshalb ein Einsatz von Solarkollektoren möglich war.

Zusammen mit dem TZS des ITW der Universität in Stuttgart sollten mehrere Variationen zu Aufbau und Integration der Prozesswärme beim Textilunternehmen geprüft werden. In diesem Kontext sollte ebenfalls eine Optimierung des Kollektors und seiner Komponenten erfolgen. Im Mittelpunkt stand jedoch der Aufbau einer Demonstrationsanlage bei einem Textilunternehmen um die Leistungsfähigkeit einer solchen Anlage aufzuzeigen. Ein durchgeführtes Monitoring durch das ITW in der ersten Betriebsphase, sollte zusätzlich die Effizienz und Optimierungspotential der Demonstrationsanlage aufdecken, wonach anschließend eine Verbesserung der Anlage vorgenommen werden konnte. Dies umfasste u.a. der Tausch des Wärmeübertragers, die Anbringung von Blendbleche und die Anpassung der Parameter zur Steuerung der Anlage.

Das Umweltrelevante Ziel zur Reduzierung des bisherigen Heizöleinsatzes ist derzeit noch nicht vollständig zu beantworten, da hierzu die Aufzeichnungszeitraum der Messdaten zu gering war. Nichts desto trotz ist mit dieser Anlage zur solarthermischen Unterstützung bestehender Wärmenetze ein wichtiger Meilenstein gesetzt worden, um auch andere mögliche Interessenten zum Bau einer solchen Anlage zu bewegen. Ein Zugang zum Markt zur Verbreitung für konzentrierende solarthermische Anlagen ist durch diese Anlage gewährleistet und wird ebenfalls weiterhin unterstützt.

Die Begleitung bei der Projektplanung, beim Aufbau und das Monitoring der Demonstrationsanlage durch das ITW der Universität Stuttgart zeigte sich für die Umsetzung eines solchen Projekts als überaus geeignet. Dies ist auf der Expertise des ITWs für solche oder ähnliche Anlage begründet, weshalb Schwachstellen der Anlage aufgedeckt und im Nachzug Optimierungen vorgenommen werden konnten.

Das durchgeführte Forschungs- und Entwicklungsprojekt gefördert durch das DBU zeigte, dass es möglich ist, eine Anlage mit dem Parabolrinnenkollektor „Smirro“ in ein bestehendes Prozesswärmenetzwerk bei einem mittelständischen Textilunternehmen zu integrieren. Auch konnten in diesem Zusammenhang wichtige Komponenten am



Parabolrinnenkollektor „Smirro“ überarbeitet und modifiziert werden, so dass eine Planung und die finale Umsetzung einer solchen Parabolrinnenanlage, als auch größerer Anlagen, künftig wesentlich einfacher gestaltet werden kann.

Wie sich die Marktdurchdringung für die konzentrierende Solarthermie mittels Parabolrinnen weiterentwickeln wird, werden die künftigen Monate und Jahre zeigen. Mit diesem Leuchtturmprojekt wurde ein wichtiger Schritt getan, die Wegbereitung für konzentrierende Solarthermie auch in Mitteleuropa voranzutreiben.

Zusammenfassend ist das Projektergebnis als positiv zu bewerten. Da nachhaltig eine Anlage mit konzentrierenden Kollektoren unterstützend in einen bestehenden Prozess bei einem mittelständischen Textilunternehmen integriert wurde. Ebenfalls wird das positive Ergebnis des Projekts unterstrichen, indem der Kooperationspartner die Parabolrinnenanlage auch nach der Projektlaufzeit weiterverwenden wird, dadurch seinen Fertigungsprozess unterstützt und somit weiterhin auf regenerative Energien setzt. Es sollten daher künftig für Unternehmen mit ähnlichem Bedarf für industrielle Prozesswärme Anreize geschaffen werden indem diese Unterstützung bei der Realisierung solcher Projekte erfahren.

## Literatur

- [1] B. Schmitt, C. Lauterbach, K. Vajen: Solare Prozesswärme – Stand der Technik und Perspektiven; VDI-Wissensforum Heizen und Kühlen mit der Sonne, Ludwigsburg, 06.-07.10.09
  
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Energiedaten – Nationale und internationale Entwicklung. BMWi, Referat III C 3, Version vom 07.09.2010; Im Internet verfügbar unter: <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Statistik-und-Prognosen/energiedaten.html>
  
- [3] S. Fischer: Solar thermal heat for industrial processes. Accelerated Dissimination of Solar Energy in India (ADSET), Kochi, Kerala, India: 04.-05.03.10
  
- [4] G. Stryi-Hipp, H. Drück et al.: Forschungsstrategie Niedertemperatur-Solarthermie 2030 für eine nachhaltige Wärme- und Kälteversorgung Deutschlands. Deutsche Solarthermie-Technologie Plattform (DSTTP), Berlin: Dezember 2010
  
- [5] ITW Stuttgart; Simulationsstudie zur Nutzung solarer Prozesswärme mit dem Parabolrinnenkollektor „Smirro“ am Beispiel eines Textilbetriebes; Bericht-Nr.: 13SIM155; Stuttgart: 07.02.2014

## Anhang A: Wetterdaten für den Standort Albstadt-Tailfingen

Die Wetterdaten wurden mit dem Programm Meteonorm für den Standort Albstadt-Tailfingen generiert. Die Kollektorfläche wird einachsrig (Ost-West ausgerichtete Kollektorachse) nachgeführt.

**Tabelle 8: Wetterdaten für den Standort Albstadt-Tailfingen**

	$H_{glob}$	$H_{beam}$	$H_{dfu}$	$H_{hem}$	$H_{beam,tilt}$	$H_{dfu,tilt}$	$\vartheta_{amb}$
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	°C
Jan	26,08	10,92	15,17	51,99	34,26	15,96	-1,1
Feb	44,1	17,52	26,58	68,24	39,17	26,63	0,1
Mar	82,4	37,16	45,26	109,26	60,7	45,46	3,4
Apr	121,28	66,23	55,08	139,27	82	54,99	7
May	151,39	75,99	75,42	154,49	79,15	73,79	11,3
Jun	159,44	81,96	77,5	157,72	81,1	75,3	14,6
Jul	168,16	88,34	79,82	167,98	88,22	78,22	16,8
Aug	143,48	71,82	71,74	156,44	82,57	71,81	16,1
Sep	96,62	49,64	47,01	119,83	70,14	46,9	13,3
Okt	58,05	22,24	35,85	85,59	46,52	36,15	8,7
Nov	29,78	9,41	20,4	49,53	27,33	20,26	3,4
Dez	20,98	6,81	14,18	40,51	24,87	14,13	0
Jahr	1.101,76	538,04	564,02	1.300,85	716,02	559,6	7,8

## Anhang B: Simulationsergebnisse

### Anlagenkonzept 1

Bei Anlagenkonzept 1 wurden die Vorlauftemperaturen des Kollektors im Bereich von 40 °C bis 45 °C variiert.

**Tabelle 9: Simulationsergebnisse für Anlagenkonzept 1**

Vorlauftemp.:	40 °C		41 °C		42 °C		43 °C		44 °C		45 °C	
	$Q_{coll}$	$Q_{store}$	$Q_{coll}$	$Q_{store}$	$Q_{coll}$	$Q_{store}$	$Q_{coll}$	$Q_{store}$	$Q_{coll}$	$Q_{store}$	$Q_{coll}$	$Q_{store}$
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Jan	2.258	2.008	2.252	1.995	2.246	1.983	2.238	1.970	2.232	1.958	2.227	1.945
Feb	2.595	2.318	2.587	2.302	2.578	2.287	2.570	2.272	2.563	2.257	2.554	2.242
Mar	4.095	3.787	4.084	3.766	4.072	3.745	4.060	3.731	4.051	3.711	4.039	3.690
Apr	5.526	5.245	5.514	5.222	5.500	5.199	5.488	5.177	5.476	5.155	5.463	5.132
Mai	5.348	5.081	5.335	5.057	5.321	5.034	5.308	5.011	5.295	4.987	5.282	4.963
Jun	5.508	5.274	5.495	5.251	5.481	5.226	5.469	5.206	5.457	5.182	5.444	5.161
Jul	6.028	5.821	6.016	5.799	6.003	5.774	5.989	5.750	5.974	5.724	5.964	5.701
Aug	5.659	5.433	5.648	5.409	5.634	5.384	5.622	5.359	5.605	5.332	5.594	5.308
Sep	4.822	4.608	4.812	4.588	4.800	4.567	4.790	4.547	4.780	4.527	4.767	4.506
Okt	3.166	2.900	3.155	2.880	3.148	2.863	3.137	2.843	3.127	2.824	3.117	2.804
Nov	1.801	1.552	1.794	1.538	1.787	1.524	1.781	1.511	1.774	1.501	1.770	1.490
Dez	1.622	1.399	1.617	1.389	1.612	1.379	1.608	1.368	1.602	1.356	1.596	1.346
<b>Jahr</b>	<b>48.427</b>	<b>45.425</b>	<b>48.308</b>	<b>45.196</b>	<b>48.184</b>	<b>44.965</b>	<b>48.061</b>	<b>44.745</b>	<b>47.936</b>	<b>44.514</b>	<b>47.816</b>	<b>44.288</b>

## Anlagenkonzept 2

Bei Anlagenkonzept 2 wurden die Vorlauftemperaturen des Kollektors im Bereich von 90 °C bis 95 °C variiert.

**Tabelle 10: Simulationsergebnisse für Anlagenkonzept 2**

Vorlauftemp.:	90		91		92		93		94		95	
	°C		°C		°C		°C		°C		°C	
	$Q_{coll}$	$Q_{cond}$	$Q_{coll}$	$Q_{cond}$	$Q_{coll}$	$Q_{cond}$	$Q_{coll}$	$Q_{cond}$	$Q_{coll}$	$Q_{cond}$	$Q_{coll}$	$Q_{cond}$
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Jan	1.794	1.378	1.790	1.379	1.784	1.368	1.776	1.356	1.768	1.347	1.762	1.335
Feb	1.087	670	1.081	658	1.074	652	1.068	641	1.062	631	1.055	620
Mar	1.500	983	1.490	968	1.480	952	1.471	937	1.461	921	1.451	905
Apr	3.136	2.598	3.124	2.579	3.113	2.561	3.100	2.542	3.088	2.523	3.075	2.504
Mai	3.149	2.607	3.137	2.591	3.125	2.571	3.112	2.552	3.100	2.534	3.086	2.516
Jun	3.864	3.372	3.851	3.352	3.839	3.334	3.827	3.315	3.814	3.296	3.802	3.277
Jul	4.285	3.738	4.270	3.716	4.255	3.695	4.240	3.671	4.224	3.648	4.208	3.623
Aug	3.492	2.898	3.476	2.875	3.461	2.854	3.447	2.832	3.432	2.810	3.417	2.787
Sep	2.229	1.818	2.220	1.804	2.211	1.790	2.202	1.775	2.194	1.761	2.183	1.746
Okt	1.954	1.462	1.945	1.447	1.934	1.431	1.925	1.416	1.916	1.401	1.906	1.385
Nov	1.191	738	1.184	726	1.177	715	1.171	704	1.163	694	1.157	693
Dez	788	463	784	455	779	451	774	443	770	435	767	428
<b>Jahr</b>	<b>28.467</b>	<b>22.725</b>	<b>28.352</b>	<b>22.552</b>	<b>28.231</b>	<b>22.374</b>	<b>28.112</b>	<b>22.185</b>	<b>27.994</b>	<b>21.999</b>	<b>27.870</b>	<b>21.818</b>

## Anlagenkonzept 3

Tabelle 11: Simulationsergebnisse für Anlagenkonzept 3

Vorlauftemp.:	95 °C	45°C	
	$Q_{coll}$	$Q_{cond}$	$Q_{store}$
	kWh	kWh	kWh
Jan	1.925	1.363	75
Feb	2.247	626	1.099
Mar	3.595	913	2.041
Apr	4.915	2.530	1.739
Mai	4.727	2.562	1.524
Jun	4.914	3.309	999
Jul	5.312	3.668	1.001
Aug	4.948	2.807	1.459
Sep	4.372	1.763	2.098
Okt	2.706	1.405	709
Nov	1.465	697	252
Dez	1.396	434	547
<b>Jahr</b>	<b>42.523</b>	<b>22.076</b>	<b>13.544</b>

## Anlagenkonzept 4

Spezifikationen für den zu erzeugenden Dampf:

Enthalpie ( $h''$ ) = 2785 kJ/kg (entspricht Sattedampf bei 190 °C)

**Tabelle 12: Simulationsergebnisse für Anlagenkonzept 4**

	$Q_{\text{coll}}$	$Q_{\text{steam}}$
	kWh	kWh
Jan	1.300	833
Feb	827	434
Mar	1.064	498
Apr	2.187	1.509
Mai	2.227	1.624
Jun	2.837	2.231
Jul	3.030	2.270
Aug	2.534	1.748
Sep	1.559	1.064
Okt	1.347	782
Nov	935	448
Dez	631	307
<b>Jahr</b>	<b>20.479</b>	<b>13.749</b>

## Anlagenkonzept 5

Spezifikationen für den zu erzeugenden Dampf :

Enthalpie ( $h''$ ) = 2785 kJ/kg (entspricht Sattedampf 190 °C)

**Tabelle 13: Simulationsergebnisse für Anlagenkonzept 5**

Vorlauftemp.:		45°C		
	$Q_{coll}$	$Q_{steam}$	$Q_{store}$	
	kWh	kWh	kWh	
Jan	1.457	834	77	
Feb	2.015	435	1.099	
Mar	3.202	498	2.042	
Apr	4.023	1.517	1.768	
Mai	3.857	1.625	1.572	
Jun	3.939	2.235	1.017	
Jul	4.125	2.272	1.045	
Aug	4.061	1.747	1.481	
Sep	3.744	1.069	2.114	
Okt	2.142	788	713	
Nov	1.241	446	252	
Dez	1.256	310	547	
<b>Jahr</b>	<b>35.060</b>	<b>13.776</b>	<b>13.726</b>	



## Anhang C: Technische Daten Wärmeübertrager

Angebots-Nr: 100479-1

vom 31.07.2013



### Technische Daten für longtherm Wärmeübertrager rhc 40/50

(Anlage zur Position 1 / A\_WÜ des Angebots 100479-1)

		Seite s1/s2	Seite s3/s4	
Schaltung		Parallel 1 * in Reihe 1		
Leistung	kW	60,0		
Medium		Ethylenglykol		Wasser
Konzentration	%	50		100
Volumenstrom	m <sup>3</sup> /h	3,9		5,3
Eintrittstemperatur	°C	130,0		60,0
Austrittstemperatur SOLL	°C	115,0		70,0
Delta tm ln	K		57,5	
Druckverlust SOLL	kPa	25,0		25,0
Druckverlust IST	kPa	10,8		17,9
K-Wert	W/m <sup>2</sup> *K		4668,57	
Spezifische Wärmekapazität	J/kg*K	3774,13		4185,37
Dichte	kg/m <sup>3</sup>	990,05		980,85
Wärmeleitfähigkeit	kJ/m*K*h	0,39		0,66
Viskosität	mPa*s	0,64		0,43
Wärmeübertragungsfläche IST/SOLL		m <sup>2</sup>	1,68	0,23
Flächenüberschuß		%	637,4	
Plattenanzahl		Stück	50	

#### Material

Platten	1.4404
Lot	99,9% Cu
Anschlüsse	1.4404

#### Abmessungen

Länge	L	148 mm
Breite	B	124 mm
Höhe	H	332 mm
Anschlüsse		4 x G 1

