

NEUE ENERGIEN 2020

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt im

April 2014

Projekttitle: Selbstentleerende
Kollektorsysteme zur Vermeidung von
Stagnationsproblemen in großen
solarthermischen Anlagen –
SolarDrain

Projektnummer: 829876

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Ausschreibung	4. Ausschreibung NEUE ENERGIEN 2020
Projektstart	TT/MM/JJJJ
Projektende	31.01.2014
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	01.05.2011
ProjektnehmerIn (Institution)	AEE – Institut für Nachhaltige Technologien (AEE INTEC)
AnsprechpartnerIn	Prok. Ing. Christian Fink
Postadresse	Feldgasse 19, 8200 Gleisdorf
Telefon	03112 / 5886-214
Fax	03112 / 5886-18
E-mail	c.fink@aee.at
Website	www.aee-intec.at

SELBSTENTLEERENDE KOLLEKTORSYSTEME ZUR VERMEIDUNG VON STAGNATIONSPROBLEMEN IN GROßEN SOLARTHERMISCHEN ANLAGEN – SOLARDRAIN

Autoren:

Prok. Ing. Christian Fink

Dipl.-Ing. Robert Hausner

Dipl.-Ing. Florian Altenburger

Dipl.-Ing.(FH) Alexander Kaiser

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien

Gleisdorf, April 2014

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Projektteam

Konsortialführer:

AEE - Institut für Nachhaltige Technologien

A-8200 Gleisdorf, Feldgasse 19

Tel.: +43-3112 5886-0

Fax: +43-3112 5886-18

E-Mail: office@aee.at



Projektpartner:

Sunlumo Technology GmbH

A-4320 Perg, Technologiepark 17

Tel.: +43- 7262 9396 -4000

Fax: +43- 7262 9396 -3003

E-Mail: robert.buchinger@sunlumo.at



ÖkoTech Produktionsgesellschaft für Umwelttechnik GmbH

A-8020 Graz, Puchstraße 85

Tel.: +43- 316 576077 -25

Fax: +43- 316 576077 -28

E-Mail: richard.riva@oekotech.biz



S.O.L.I.D. Gesellschaft für Solarinstallationen und Design GmbH

A-8020 Graz, Puchstraße 85

Tel.: +43- 316 292840 -0

Fax: +43- 316 292840 -28

E-Mail: s.putz@solid.at



Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Im Rahmen des gegenständlichen Projektes wurden zwei akademische Arbeiten unter wissenschaftlicher Betreuung durch die Projektverantwortlichen bei AEE INTEC und in enger Zusammenarbeit mit dem gesamten Projektkonsortium bzw. der jeweiligen universitären Einrichtung durchgeführt:

Masterarbeit von

Mario Baumgartner, BSc

Fachhochschul Studiengänge Burgenland GmbH,
Kernkompetenzbereich Energie- und Umweltmanagement



Bachelorarbeit von

Wolfgang Schwarz

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl Wirtschafts- und Betriebswissenschaften



Inhalt

Kurzfassung.....	9
Abstract	Fehler! Textmarke nicht definiert.
1 Einleitung.....	13
1.1 Problemstellung	13
1.2 Zielsetzung.....	14
1.3 Methodik.....	15
2 Literaturrecherche zu Drain-Backsystemen	17
2.1 Allgemeines zu Drain-Backsystemen.....	17
2.2 Übersicht und Kategorisierung über am Markt erhältliche Drain-Back Systeme.....	18
2.3 Teilentleerende Drain-Back Systeme.....	19
3 Recherche zu großen Kollektorflächen und Kollektor-hydrauliken.....	20
3.1 Montage- und Belegungsvarianten von thermischen Solarkollektoren.....	20
3.2 Ausführungsformen Dachintegration und Freiaufständigung	20
3.3 Grundtypen interner Kollektorhydraulik.....	21
3.4 Kollektorverschaltungen	22
3.5 Durchströmungsverteilung, Turbulenztemperaturen.....	25
4 Untersuchungen des Befüll- und Entleerverhaltens an der handelsüblichen Hydraulikeinheit DrainMaster	27
4.1 Konventionelles teilentleerendes System unter realen Bedingungen.....	27
5 Laborversuche an Plexiglasmodellen	31
5.1 Teilentleerendes System als Plexiglasmodell unter Laborbedingungen.....	31
5.2 Detaillierte messtechnische Analyse des Befüll- und Entleerverhaltens in Fallleitungen	33
5.3 Untersuchungen an parallelen Absorberharfen	35
6 Dimensionierungsansätze für kritische Komponenten in teilentleerenden Systemen.....	38
6.1 Geometrie und Volumen der Entleereinheit:.....	38
6.2 Bestimmung der Dimension des Fallrohres:	40
7 Betriebsanalysen unterschiedlicher Kollektorhydrauliken am Teststand der AEE INTEC in Verbindung mit einem teilentleerenden System	41
7.1 Definition der repräsentativen und interessanten Kollektor- bzw. Kollektorfeldverrohrungen.....	41
7.2 Konzepterstellung und Umsetzung eines Testaufbaus mit Messtechnik	45
7.3 Durchführung von Versuchsreihen am Laborsystem (25 m ²) bei AEE INTEC.....	49
7.4 Untersuchungsergebnisse der Laborversuchsreihen (25 m ²)	52

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

7.5	Vergleich zwischen Mäanderkollektor und Harfenkollektor bei gleichartigen Verschaltungsarten	55
7.6	Tabellarische Übersicht der Eigenschaften der Verschaltungsvarianten	57
7.7	Zusammenfassung der Ergebnisse der Laborversuchsreihen	58
8	Systemuntersuchungen an einer realen und repräsentativen solarthermischen Großanlage im Feld.....	60
8.1	Auswahl einer Feldanlage >100 m ² Kollektorfläche.....	60
8.2	Untersuchungen an der Feldanlage	64
9	Wärmeverluste durch den Entleerbehälter	70
9.1	Diskussion der Wärmeverluste	70
9.2	Wärmeverluste durch den Entleerbehälter	70
10	Diskussion des Pumpenstromaufwandes bei teilentleerenden Systemen	72
11	Skalierbarkeit des Systems.....	73
12	Kostenvergleich.....	74
13	Schlussfolgerungen.....	75
Anhang A		76
A. 1	Funktionsprinzip und Ausführungsformen von Drain-Backsystemen	76
A. 2	Anforderungen an Drain-Back Systeme und verschiedene Ausführungsformen	77
A. 3	Vorteile von Drain-Back Systemen	80
Nachteile von Drain-Back Systemen		80
A. 4	Marktübersicht Drain-Back Systeme	81
A. 5	Literaturverzeichnis zu Anhang A	85
A. 6	Quellenverzeichnis zu Anhang A	86
Anhang B		88
Messkonzepte zu den Laboruntersuchungen		88
B. 1	Konventionelles teilentleerendes System unter realen Bedingungen	88
Messaufbau.....		88
B. 2	Teilentleerendes System als Plexiglasmodell unter Laborbedingungen.....	91
Messaufbau.....		91
B. 3	Messkonzept Detailuntersuchungen Fallleitung.....	93
Messaufbau.....		93
B. 3	Literaturverzeichnis zu Anhang B	94
Anhang C		95
Durchführung von Versuchsreihen am Laborsystem (25 m ²)		95
C. 1	Messbeispiel 1, Verschaltungsvariante 1, Füll- und Entleerungsvorgang mit Stagnation	95

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

C. 2 Messbeispiel 2, Verschaltungsvariante 1, Details Füll-, Entleerungsvorgang, Stagnation	97
C. 3 Messbeispiel 3, Verschaltungsvariante 2, Füll- und Entleerungsvorgang mit Stagnation	100
C. 4 Messbeispiel 4, Verschaltungsvariante 2, Stagnationsvorgang.....	104
C. 5 Messbeispiel 5, Verschaltungsvariante 2, mehrere Stagnationsvorgänge	105
C. 6 Messbeispiel 6, Verschaltungsvariante 3, Füll- und Entleerungsvorgang mit Stagnation	106
C. 7 Messbeispiel 7, Verschaltungsvariante 4, Füll- und Entleerungsvorgang, Stagnation	109
C. 8 Messbeispiel 8, Verschaltungsvariante 5, Füll- und Entleerungsvorgang, Stagnation	112
C. 9 Messbeispiel 9, Verschaltungsvariante 6, Füll- und Entleerungsvorgang, Stagnation	116
C. 10 Gegenüberstellende Messdiagramme zur Einflussanalyse.....	120
Abhängigkeit des Füllvorgangs von der Strahlung, Variante 1	120
C. 11 Messdiagramme im Vergleich: Schaltungsvarianten 1 bis 3 – Mäanderkollektor	122
C. 12 Messdiagramme im Vergleich: Schaltungsvarianten 4 bis 6 – Harfenkollektor .	126
C. 13 Messdiagramme im Vergleich: Mäander Variante 1 und Harfen Variante 4	127
C. 14 Messdiagramme im Vergleich: Mäander Variante 2 und Harfen Variante 5	129
C. 15 Messdiagramme im Vergleich: Mäander Variante 3 und Harfen Variante 6	131
C. 16 Literaturverzeichnis zu Anhang C	132
C. 17 Quellennachweise zu Anhang C.....	133

Kurzfassung

Solarthermische Anlagen mit Kollektorflächen $> 100 \text{ m}^2$ gewinnen im Bereich der nachhaltigen Generierung von Wärme in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen sowohl national als auch international zunehmend an Bedeutung. Aus diesem Grund ist die Erreichung eines unproblematischen Stagnationsverhaltens von großem Interesse. Gerade bei der Minimierung der betriebsgebundenen Kosten (Wartungsarbeiten), der Maximierung der System- und Komponentenlebensdauer sowie der zuverlässigen Erfüllung von Ertragsgarantien ist ein unauffälliges Stagnationsverhalten ein entscheidender Aspekt.

Das Prinzip der Systemteilentleerung bietet einen möglichen Lösungsansatz. Im Wesentlichen basiert dieses Konzept auf einer Entleerung des Kollektorfeldes in einen Behälter direkt unterhalb der Kollektoren bei Stillstand der Pumpe. Bei diesem Vorgang kommt es zum Austausch der während des Betriebs im Behälter befindlichen Luft mit dem im Kollektor vorhandenen Wärmeträgermedium. Aufgrund der Schwerkraft fließt das Wärmeträgermedium über die Rücklaufleitung in den Behälter. Dadurch wird die im Behälter befindliche Systemluft verdrängt und die Kollektoren sowie die zwischen dem Behälter und den Kollektoren vorhandenen Leitungen über die Vorlaufleitung mit dieser Luft gefüllt. Ein wesentlicher Vorteil dieser Art des Drain-Backprinzips besteht darin, dass es sich um ein geschlossenes System handelt und somit kein kontinuierlicher Sauerstoffeintrag in das System erfolgt. Weiters sind sämtliche Bereiche unterhalb des Behälters stets mit Wärmeträgermedium gefüllt und es kann daher die Rohrführung für diesen Bereich flexibel gestaltet werden. Durch die Montage des Behälters direkt unterhalb der Kollektoren sind nur geringe Förderhöhen und daraus resultierend geringe Pumpenergien für den Füllvorgang der Kollektoren notwendig.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes (Projektteam: AEE INTEC, Sunlumo, Ökotech, S.O.L.I.D.) galt es, ein zuverlässiges Gesamtsystemkonzept für teilentleerende solarthermische Anlagen $>100 \text{ m}^2$ zu entwickeln. Dazu konnten in einem ersten Arbeitsschritt die wesentlichen, systemrelevanten Einflussparameter wie folgt identifiziert werden:

- Die Dimension des Fallrohres in Verbindung mit dem Füll- und Betriebsvolumenstrom und der Geometrie des Einströmrohres,
- die Dimension und Geometrie des Entleerbehälters in Verbindung mit der jeweiligen Anlagenkonstellation und der Druckentwicklung in Folge von Restflüssigkeit in den Kollektoren im Stagnationszustand und
- ein angepasstes Regelungskonzept (Befüllvolumenstrom und Betriebsvolumenstrom).

Insbesondere die Charakterisierung der sich im Falle einer Systementleerung oder Systembefüllung einstellenden Zweiphasenströmung (Fluid und Luft) in Abhängigkeit von der Fallrohrdimension, der Einlaufgeometrie, dem Volumenstrom, dem Wärmeträger und der Fluidtemperatur erwies sich als komplex. Anhand einer Vielzahl von experimentellen Untersuchungen wurden Zusammenhänge hergestellt, die einerseits die einfache Bestimmung des notwendigen Befüllvolumenstroms für die Entlüftung des Systems und ein vollständig gefülltes Fallrohr, und andererseits die einfache Bestimmung des notwendigen Betriebsvolumenstroms, der diese Leitung gerade noch gefüllt hält, ermöglichen. Dabei wird die Stromaufnahme der Primärkreispumpe durch Drehzahlregelung minimiert. Neben dem Fallrohrdurchmesser zeigten sich die Einlaufgeometrie des Fallrohres in den Entleerbehälter und der Wärmeträger als weitere sensitive Größen. Eine doppelte Umlenkung des Fallrohres um jeweils 90° erwies sich als günstig. Die Fluidtemperatur hingegen beeinflusste die Höhe der Volumenströme nur unwesentlich, zeigte aber einen Einfluss auf die Dauer von Füll- und Entleervorgängen. Die Befüll- und Entleerzeit war bei höheren Temperaturen deutlich kürzer.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Zur Bestimmung des Volumens des Entleerbehälters und der Druckentwicklung wurde ein Berechnungstool entwickelt, das die Aufnahme der Anlagenvolumina oberhalb des Behälters, die Flüssigkeitsdehnung in Folge eines Temperaturanstiegs im Betrieb sowie die Druckentwicklung in Folge von Verdampfung von Restflüssigkeitsmengen im Kollektor (Stagnationsfall) berücksichtigt.

Eine Validierung der oben genannten Erkenntnisse und Dimensionierungswerkzeuge erfolgte mittels detaillierter messtechnischer Untersuchungen an sechs verschiedenen 25 m² großen Flachkollektorfeldern. Dabei wurden Standardgroßflächenkollektoren mit zwei verschiedenen internen Hydrauliken und sechs verschiedenen Kollektorfeldhydrauliken im Labor von AEE INTEC untersucht. Ein zentraler Schwerpunkt lag dabei auf der Bestimmung des Einflusses der unterschiedlichen Hydrauliken auf den verbleibenden Restflüssigkeitsanteil im Kollektor und dem in Folge von Stagnation (Dampfbildung) entstehenden Druckanstieg im System. Deutlich wurde dabei, dass grundsätzlich sowohl die Hydraulik von Einzelkollektoren als auch die Feldhydraulik einen zentralen Einfluss auf das generelle Funktionsprinzip und die Restflüssigkeitsmenge haben. Die verwendeten Standardkollektoren zeigten zwar ein grundsätzlich günstiges Entleerverhalten, interne Flüssigkeitssäcke (Sammler, Kollektorverbinder, durchhängende Absorberrohre, etc.) führten aber trotzdem zu Restflüssigkeitsmengen, die bei gegebener Dimensionierung des Entleerbehälters je nach Art der Kollektorfeldhydraulik eine Druckerhöhung um etwa 1,0 bis 1,9 bar im Stagnationsfall zur Folge hatten. Der normale Betriebsdruck lag dabei im Bereich von etwa 0,8 bis 1,5 bar auf Kollektorebene. Trotz der grundsätzlich sehr guten Ergebnisse, könnten konsequent für dieses Funktionsprinzip entwickelte Kollektoren mit optimiertem Entleerverhalten noch günstigere Resultate erzielen. Nicht zuletzt erscheint dieses Prinzip auch hinsichtlich des Potenzials, Frostschutzmittel durch reines Wasser zu ersetzen, sehr interessant und würde neben dem unproblematischen Stagnationsverhalten einen weiteren entscheidenden Vorteil bieten.

Schließlich wurde basierend auf den erzielten Erkenntnissen eine reale Anlage zur Einspeisung in ein Mikronetz mit 100 m² Kollektorfläche nach dem Funktionsprinzip teilentleerender Systeme geplant und umgesetzt. Der Entleerbehälter wurde dabei mit 210 Litern festgelegt. Da die Anlage ein Gewerbegebiet mit Wärme versorgt, besteht im Sommer eine reduzierte Abnahme, wodurch immer wieder Stagnationszustände auftreten. Deshalb kann das Konzept eines teilentleerenden Systems in diesem Fall gut getestet werden. Die Anlage wurde von AEE INTEC im Sommer 2013 messtechnisch begleitet und detailliert analysiert. Die Resultate zeigten ein äußerst zufriedenstellendes Betriebsverhalten mit unproblematischen Füll- und Entleervorgängen und unproblematischem Stagnationsverhalten. Eine wärmetechnische Analyse ergab, dass entgegen der ursprünglichen Erwartung durch den Einsatz eines gut gedämmten Entleerbehälters geringere Gesamtwärmeverluste als bei einem vergleichbaren Standardsystem auftreten. Ebenso zeigt der elektrische Aufwand für den Pumpenstrom bei entsprechender Regelung keine signifikanten Nachteile gegenüber einem Standardsystem.

Die Ergebnisse des gegenständlichen Projektes haben gezeigt, dass das entwickelte Prinzip eines teilentleerenden Systems nicht nur bei Kleinanlagen, sondern auch bei großen solarthermischen Anlagen gut eingesetzt werden kann und zu einem unproblematischen Stagnationsverhalten mit geringer Systembelastung führt. Gleichzeitig konnten spezielle Dimensionierungsansätze für die kritischen Komponenten entwickelt, erprobt und validiert und viele systemrelevante Erkenntnisse generiert werden.

Abstract

In the field of sustainable generation of heat in different fields of application – national as international – solar thermal systems with collector areas $> 100 \text{ m}^2$ become increasingly more important. For this reason is the attainment of uncomplicated stagnation behavior a main interest. Besides the minimization of operation costs (maintenance work), maximization of system- and components endurance plus the reliable performance of income guarantees an unremarkable stagnation behavior is a main aspect.

A potential approach offers the technique of a partly drained system. Basically this concept bases upon a full drain down of the collector field, by stagnation of the pump, in a tank directly below the collectors. Meanwhile this process it comes to an exchange of the air in the tank with the heat transfer medium in the collector. Due to the force of gravity the heat transfer medium flows across the return pipe to the tank. Thereby the system air in the tank gets replaced and the tank plus the pipes between the collectors get filled with the air of the volume flow pipe. A main benefit of this drain-back technique is that it is a closed system and therefore no continuous oxygenation to the system happens. Additional, the range below the tank is filled with heat transfer medium and the pipe routing can be designed flexible. By the installation of the tank, directly below the collectors, low delivery heights and resultantly low pump energies for the filling cycle are necessary.

In the frame of this research project (project team: AEE INTEC, Sunlumo, Ökotech, S.O.L.I.D.) the main aim was to develop a reliable system for partly drained solar thermal systems $> 100 \text{ m}^2$. For that purpose in a first step the essential, system relevant influencing factors could be identified:

- The dimension of the downpipe in connection with the fill- and operation flow rate and the geometry of the inflow pipe in the drain tank,
- The dimension and geometry of the drain tank in connection with the particular system unit and the pressure movement as a result of remained liquid in the collector in a possible plant stagnation and
- An adapted control concept (filling flow rate and operation flow rate).

Particularly, the characterization was complex in the case of a drain down system with two flow phases (fluid and air) in dependence of the dimension of the down pipe (flow line), the inlet geometry, the flow rate in the primary circuit, the heat transfer medium and the fluid temperature. On the basis of plural experimentally analysis correlations were made, which allow on the one hand the simple definition of the necessary filling flow rate for the deaeratin of the system and a completely full filled downpipe, and on the other hand the simple definition of the necessary operation flow rate, which keep the pipe filled. At the same time, the power input of the primary circle pump gets minimized through speed regulation. It was shown that besides the down pipe diameter and the inlet geometry of the down pipe into the drain tank the heat transfer medium is a further sensitive dimension. A double redirection of the downpipe of 90° was convenient. The fluid temperature influenced the height of volume flow rate insignificantly but indicated the influence of the duration of fill in and drain down procedure. The fill in and the drain down time were significantly shorter by higher temperatures.

To determine the volume of a drain tank and the pressure development a calculation tool was developed. This tool reflects the assimilation of the construction volume above the tank, the

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

liquid extension as a result of the temperature increase in operation as well as considers the pressure development as a result of the evaporation of the remaining liquid in the collector during a possible plant stagnation.

A validation of the former named results and dimension tools was done by detailed measurements at six different 25 m² large flat plate collector fields. At the laboratory of AEE INTEC two standardized large flat plate collectors with two different internal hydraulics (harp and meander) and six different collector field hydraulics were analyzed. The focus was to determine the influence of the different hydraulics on the remained liquid in the collector and as a result of the stagnation (steam creation) the pressure increase in the system. Significantly was, that basically the hydraulic of single collectors as well as the area hydraulic have a central influence on the general functional principle and the remained rest liquid amount. The used standard collectors indicated a convenient drain down procedure but the internal liquids (header pipes, connection pipes between collectors, sag absorber pipes, etc.) lead anyway to remained rest liquid amounts. This resulted in pressure increase of 1,0 to 1,9 bar in case of stagnation and a fixed dimension of the drain tank depending on the type of collector field hydraulic. The usual operation pressure in the collector level was of 0,8 till 1,5 bar. Despite the basically very good results especially developed collectors for this functional principle - with a further optimized drain down behavior - could achieve quite better results. Furthermore, this principle seems in consideration of the potential, to replace the glycol mixture with pure water, very interesting and would have a further important advantage besides the stagnation behavior.

Finally, based on the achieved knowledge a real solar thermal plant connected to a heat micro grid with 100 m² collector area - with the function principle of partly drained systems - was planned and implemented. The drain tank was determined by 210 liters. The facility supplies an industrial area with heat - with reduced heat demand in summer – whereby often stagnation conditions occur. The solar thermal plant defined as partly drained down system was measured and analyzed in Detail by AEE INTEC in summer 2013. The results indicate a content operating behavior with unproblematic fill in and drain down cases with an unproblematic stagnation behavior. A thermo technical analyze indicated that against the primary expectations lower total heat losses can occur as by a comparable standard system. Furthermore, the electrical effort for the pump power by suitable control strategies indicates no significantly disadvantages compared to a standard system.

The achievements of the certain project have indicated that the developed principle of a partly drained down system can not only be implemented by small plants as well as by large solar thermal plants and leads to an unproblematic stagnation behavior with low system pressure. Also, special dimension approaches for the critical components could be developed, proved and validated, respectively many system relevant achievements could be generated.

1 Einleitung

Solarthermische Anlagen mit Kollektorflächen >100 m² gewinnen im Bereich der nachhaltigen Generierung von Wärme in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen (Geschoßwohnbau, Sport- und Freizeitanwendungen, Integration in Wärmenetze, Prozessintegrationen, Integration in Dienstleistungsgebäude, etc.) national als auch international zunehmend an Bedeutung. Angesichts des riesigen Marktpotenzials und der guten Positionierung österreichischer Unternehmen in diesem Bereich, ist es unbedingt erforderlich, verstärkt technologisches Grundlagenwissen in diesem Bereich aufzubauen.

Eine wichtige technologische Fragestellung bei großen solarthermischen Anlagen liegt in der Erreichung eines unproblematischen Stagnationsverhaltens. Gerade ein unauffälliges Verhalten im Betriebszustand der Stagnation ist ein entscheidender Aspekt bei der Minimierung betriebsgebundener Kosten (Wartungsarbeiten), der Maximierung der System- und Komponentenlebensdauer sowie der zuverlässigen Erfüllung von Ertragsgarantien.

Die Häufigkeit des Auftretens von Stagnationszuständen kann durch die Dimensionierung der wesentlichen Eckdaten (Kollektorfläche und Speichervolumen im Verhältnis zum Wärmeverbrauch) in der Planung zwar beeinflusst werden, aber es kann bei keiner Anwendung ausgeschlossen werden, dass Stagnation (Anlagendefekte, Stromausfall, etc.) auftritt. Zusätzlich entwickeln sich die angestrebten solaren Deckungsgrade in den klassischen Anwendungen (z. Bsp. im Geschoßwohnbau) aufgrund der Ausführung als Kombisysteme (Solare Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung) nach oben und bewirken damit automatisch längere Stagnationszeiten in den Sommermonaten. Auch andere Anwendungen, wie beispielsweise die Integration von Solarwärme in Prozesse, bringen einerseits Zeiten wo Einstrahlung vorherrscht, aber andererseits keine Wärmelasten vorliegen (z. Bsp. Wochenenden, Betriebsferien, Umstellungen von Produktionslinien, etc.), mit sich. Aus diesen Gründen müssen solarthermische Anlagen dem Zustand der Anlagenstagnation standhalten, ohne dass dies zu Schäden, Ausfällen oder einer Reduktion der erwarteten Lebensdauer führt.

Diese Rahmenbedingungen erfordern dringend Lösungen, dass Anlagenstagnation bei großen solarthermischen Anlagen zu einem normalen unauffälligen Betriebszustand wird.

Konnten hier bei Anwendungen im Bereich der Einfamilienhäuser schon zahlreiche Erfahrungen gewonnen werden, die zur Entwicklung von entsprechenden technischen Lösungen führten, so existieren im Bereich von großen solarthermischen Anwendungen keine zufriedenstellenden Lösungsansätze.

1.1 Problemstellung

Einen interessanten Ansatz zur Lösung des Stagnationsproblems auch für größere Kollektorflächen bietet das bisher nur in Kleinanlagen (solare Warmwasserbereitung in Einfamilienhäusern) angewandte Prinzip einer Systemteilentleerung. Das Konzept basiert auf einer Entleerung der Kollektoren bei Stillstand der Umwälzpumpe in einen Behälter direkt unterhalb der Kollektoren. Dabei kommt es zu einem Austausch der während der Normalbetriebszeit im Behälter befindlichen Luft mit dem im Kollektor vorhandenen Wärmeträgermedium. Kann der Kollektor vollständig entleert werden, wird dadurch sichergestellt, dass es zu keiner übermäßigen Dampfbildung im Kollektor und somit zu keinen negativen Auswirkungen auf die Systemfunktion bzw. die Lebensdauer der Systemkomponenten bzw. des Wärmeträgermediums kommt. Voraussetzung hierfür ist eine entsprechende interne Kollektorhydraulik, die eine möglichst weitgehend vollständige Entleerung ermöglicht.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Der Vorteil im Vergleich zu üblichen Drain-Back Anlagen, bei denen in der Regel der Auffangbehälter etwa in Höhe des Speichers liegt oder in diesen integriert ist, ist darin begründet, dass die restlichen Anlagenbereiche (vom Auffangbehälter bis zum Speicher) gefüllt bleiben und dadurch die Rohrführung unterhalb des Aufnahmebehälters flexibel (auf und ab) erfolgen kann. Des Weiteren bleibt bei der Anlagenbefüllung für die Pumpe nur eine kleine Förderhöhe zu überwinden, was einerseits kleinere Pumpenleistungen bedeutet und andererseits einen schnellen, zuverlässigen und selbsttätigen Füll- und Entlüftungsprozess ermöglicht. Einen weiteren Vorteil bietet die Ausführung als quasi geschlossenes System. Dadurch erfolgt kein Luftaustausch mit der Atmosphäre und wegen des im System vorhandenen Luftvolumens kann auf ein Membranausdehnungsgefäß verzichtet werden.

Diese Vorteile basieren auf einer speziellen Hydraulik in der Entleer-, Befüll-, und Entgasungseinheit (Auffangbehälter). Diese übernimmt neben dem wechselweisen Aufnehmen von Luft und Wärmeträgermedium die selbsttätige „Belüftung“ des Kollektors im Entleerungsfall sowie die vollständige Abscheidung von Luft im Normalbetrieb.

Aufgrund der bisher größtenteils experimentell erfolgten Entwicklung dieses nur in einer Größe kommerziell erhältlichen Entleer-, Befüll-, und Entgasungseinheit für Kleinanlagen (der Handelsname dieses patentierten Produkts lautet „DrainMaster“), sind wesentliche physikalische Zusammenhänge zur Funktionsweise bisher nicht bekannt und ein einfaches „up-scale“ auf große Anlagen ist aktuell nicht möglich.

Das gegenständliche Projektvorhaben zielt auf die grundlegende Entwicklung eines funktionellen Systemkonzeptes, das aufbauend auf dem beschriebenen Prinzip, die Umsetzung eines teilentleerenden Systems in großen solarthermischen Anlagen (>100 m²) bei gleichzeitiger Erreichung eines unproblematischen Stagnationsverhaltens ermöglicht. Dabei soll mittels experimenteller Messaufbauten grundlegend neues Basiswissen zum Prinzip teilentleerender Systeme erarbeitet werden und in mathematisch-physikalischer Form dargestellt werden.

Basierend auf diesen Wissensgrundlagen wird eine Berechnungsmethode entwickelt, die eine Bestimmung der wesentlichen Größen und Geometrien einer für in teilentleerenden Systemen notwendigen Hydraulikeinheit (übernimmt die Funktionen Entleerung-, Befüllung- und Entgasung) für variable Anlagengrößen (somit auch für große solarthermische Anlagen) fundiert ermöglicht.

Weiters liefert das im gegenständlichen Projektvorhaben erarbeitete Grundlagenwissen die Basis für die Ausgestaltung eines funktionellen Gesamtsystems, das beispielsweise auch energetische Vor- und Nachteile teilentleerender Systeme im Vergleich zu konventionellen Systemtechniken behandelt.

Anschließend an Laboruntersuchungen sollen Messungen an mit unterschiedlicher Hydraulik ausgestatteten Kollektorfeldern mittlerer Größe und Untersuchungen an einer größeren Feldanlage das erarbeitete Grundlagenwissen erhärten und die Praxistauglichkeit dieses Prinzips nachweisen.

Diese so erarbeiteten Grundlagen können in weiterer Folge die Basis für die Entwicklung von kommerziell verwertbaren Komponenten (kompakte Entleer-, Befüll-, und Entgasungseinheiten) sowie von vollständigen Systemlösungen sein, die beispielsweise in weiteren Projekten der „Industriellen Forschung“ erarbeitet werden könnten.

1.2 Zielsetzung

Das gegenständliche Projektvorhaben zielt auf die grundlegende Entwicklung eines funktionellen Systemkonzeptes, das aufbauend auf dem beschriebenen Prinzip (bei

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Kleinanlagen), die Umsetzung eines teilentleerenden Systems in großen solarthermischen Anlagen (>100 m²) ermöglicht. Neben dem messtechnisch unterstützten Aufbau einer grundsätzlichen Wissensbasis zu teilentleerenden Systemen, ist die Entwicklung einer fundierten Berechnungsmethode, welche die wesentlichen Funktionen (Entleerung, Befüllung und Entgasung) in theoretisch-physikalischen Zusammenhängen beschreibt und in Abhängigkeit von relevanten Parametern (Größe des Kollektorfeldes, Volumenstrom, Temperatur, Medium, etc.) die Bestimmung der Geometrien der funktionellen Komponenten erlaubt, ein zentraler Bestandteil des Projektes.

Nachfolgend werden die wesentlichen Projektziele dargestellt:

- Bestimmung der physikalischen Zusammenhänge der Funktionsweise eines teilentleerenden Systems in Klein- und Großanlagen im Detail.
- Eine validierte mathematisch-physikalische Berechnungsmethode ermöglicht die flexible Bestimmung (in Abhängigkeit der Anlagengröße) der Geometrien und Größen funktioneller Komponenten der Hydraulikeinheit (Entleerung, Befüllung, Entgasung)
- Grundsätzliche Aussagen zu einem möglichen Gesamtsystemkonzept unter Berücksichtigung systemtechnischer Aspekte (Druckentwicklung im Stagnationsfall als Funktion der tatsächlichen Entleerbarkeit von Kollektorfeldern, Pumpendimensionierung, Einfluss des Wärmeträgers, Regelung, gezielte Leistungsregelung durch bewusstes Zu- und Wegschalten einzelner Kollektorfelder, etc.) sind möglich.
- Grundsätzliche energetische Aussagen über Vor- bzw. Nachteile teilentleerender Systeme im Vergleich zu konventionellen Systemkonzepten (Wärmeverluste aufgrund der teilweisen Durchströmung des Auffangbehälters im Normalbetrieb, Auswirkungen der insbesondere bei wechselhafter Einstrahlung häufigeren Füll- bzw. Entleervorgänge auf den Ertrag, Einfluss der Leistungsaufnahme der Pumpe, etc.) können getätigt werden.
- Grundsätzliche Erkenntnisse hinsichtlich Kostenauswirkungen wurden erarbeitet.

Damit werden die Grundlagen geschaffen, ein gesichert unproblematisches Stagnationsverhalten bei großen solarthermischen Anlagen zu erreichen, die Zuverlässigkeit sowie die Ertragssicherheit der Technologie weiter zu verbessern, eine rasche Markteinführung großer Solaranlagen zu unterstützen und die Technologieführerschaft österreichischer Solarunternehmen zu stärken.

Gelingt es die definierten Projektziele zu erreichen, können die erarbeiteten Grundlagen in weiterer Folge die Basis für die Entwicklung von kommerziell verwertbaren Komponenten (kompakte Entleer-, Befüll-, und Entgasungseinheiten) sowie vollständigen Systemlösungen sein, die beispielsweise in zukünftigen Projekten der „Industriellen Forschung“ erarbeitet werden könnten.

1.3 Methodik

Ein grundsätzliches, jedoch nicht sehr detailliertes Verständnis über die Funktionsweise des bestehenden teilentleerenden Konzepts ist vorhanden (der Handelsname dieses patentierten Produkts lautet „DrainMaster“). Aufbauend darauf gliedert sich die Vorgehensweise der Untersuchungen in folgende Schritte:

- In einem ersten Schritt wird eine umfangreiche Literaturrecherche zu entleerenden bzw. teilentleerenden Systemen durchgeführt.
- In einem zweiten Schritt werden sowohl theoretisch-physikalische Untersuchungen als auch Laboruntersuchungen an speziell gestalteten Funktionsmustern durchgeführt,

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
FFG

wodurch kritische Funktionen und die Einsatzgrenzen der Hydraulikeinheit DrainMaster aufgezeigt werden.

- Im dritten Arbeitsschritt soll das grundlegende Wissen zu einem möglichen „up-scale“ der Hydraulikeinheit geschaffen werden. Hierfür wird versucht, die entscheidenden Aspekte in physikalische Zusammenhänge zu bringen und eine Berechnungsmethode zu entwickeln.
- Des Weiteren erfolgen messtechnische Untersuchungen an quasi realen Systemen am Versuchsstand der AEE INTEC. Diesbezüglich werden unterschiedliche Kollektorhydrauliken mit einer Fläche von $\sim 25 \text{ m}^2$ auf das Befüll-, Entleer- und Entgasungsverhalten untersucht.
- Um diese Systemtechnik in großen solarthermischen Anlagen zu testen, erfolgt der Einbau einer neu entwickelten Hydraulikeinheit in ein reales System mit einer Kollektorfläche $\sim > 100 \text{ m}^2$.

2 Literaturrecherche zu Drain-Backsystemen

Im europäischen Raum gibt es eine Vielzahl von Anbietern von Drain-Back Systemen. Für die Recherche konnten 30 Produktdatenblätter von Herstellern und 5 Veröffentlichungen zu Grundlagen herangezogen werden. Die Hersteller der Systeme stammen aus Australien, Norwegen, Belgien, Frankreich, Spanien, Deutschland, Italien, Großbritannien, der USA, Schweiz und den Niederlanden.

2.1 Allgemeines zu Drain-Backsystemen

Generell stellen Drain-Back Systeme eine mögliche Alternative zu herkömmlichen, geschlossenen Solarsystemen dar. Gerade bei großen solarthermischen Anlagen kann es in den Sommermonaten zu Stagnationszuständen kommen. Dabei hat der Speicher seine Maximaltemperatur erreicht, es ist aber weiterhin Strahlungsangebot vorhanden. Bei konventionellen Systemen kann es in diesem Zustand, je nach Kollektorhydraulik, zu hohen Temperaturbelastungen von Systemkomponenten fernab des Kollektors kommen.

Bei einem Drain-Back System ist immer ein definiertes Luftvolumen im System vorhanden. Im Stillstand der Anlage befindet sich diese Luft in den Kollektoren und in den Verbindungsleitungen zwischen Kollektoren und Drain-Back Behälter. Ist genügend Solarstrahlung vorhanden und es kann Energie in den Speicher eingebracht werden, wird die Solarpumpe eingeschaltet. Diese fördert das Wärmeträgermedium in die Kollektoren und Verbindungsleitungen, wodurch die darin enthaltene Luft verdrängt wird und sich im Drain-Back Behälter sammelt. Schaltet die Pumpe ab, fließt das Wärmeträgermedium selbstständig über die Rücklaufleitung in den Drain-Back Behälter, wo es die darin vorhandene Luft verdrängt und die Kollektoren sowie die Verbindungsleitung wieder mit Luft füllt. Sollte die Maximaltemperatur des Speichers erreicht werden und damit die Pumpe abschalten (Stagnation) und weiters noch genügend Solarstrahlung vorhanden sein, können lediglich geringe Restflüssigkeitsmengen verdampfen, die in der Regel zu keinen kritischen erhöhten Temperaturbelastungen führen werden. Voraussetzung für ein funktionierendes Drain-Back System ist allerdings ein selbständig entleerender Kollektor. Sind Drain-Back Anlagen zur Atmosphäre hin offen, können auch keine kritischen Druckbelastungen auftreten.

Hinsichtlich der beschriebenen Betriebszustände ist die Verwendung eines Druckausdehnungsgefäßes nicht erforderlich. Ein wichtiger Punkt für den ordnungsgemäßen Betrieb eines Drain-Back Systems ist der Wegfall von Rückschlagklappen, damit das System selbständig entleeren kann.

Generell gilt für jedes Drain-Back System, dass die Verbindungsleitung zwischen Kollektoren und Drain-Back Behälter mit einem Gefälle verlegt werden müssen, damit diese auch selbständig entleert werden können und sich keine Wassertaschen bilden.

Bei einer Montage des Drain-Back Behälters im frostsicheren Bereich ist es möglich, Wasser als Wärmeträger zu verwenden. Befindet sich der Behälter allerdings im Freien, muss das System vor dem Einfrieren geschützt werden, weshalb der Einsatz eines Glykol-Gemisches von Nöten ist.

Detailliertere Informationen zum grundlegenden Funktionsprinzip von Drain-Back Systemen können dem Anhang A entnommen werden.

2.2 Übersicht und Kategorisierung über am Markt erhältliche Drain-Back Systeme

Im Anschluss an die durchgeführte Literaturrecherche hinsichtlich der Systemtechnik von Drain-Back Anlagen erfolgte eine ausführliche Recherche von erhältlichen Systemen auf dem Markt. Im Zuge dieser Recherche konnten 24 Hersteller mit insgesamt 30 verschiedenen Produkten ausfindig gemacht werden, welche sozusagen den „Stand der Technik“ von Drain-Back Systemen repräsentieren.

Aufgrund der Vielzahl von Drain-Back Systemen konnte eine Kategorisierung hinsichtlich der Ausführungsformen durchgeführt werden. Drain-Back Systeme können somit in folgende Kategorien eingeteilt werden:

- Geschlossene Systeme
 - Teilentleerende Systeme (Entleerung in speziell angeordneten Drain-Back Behälter)
 - Vollständig entleerende Systeme
 - Entleerung in überdimensionierten Wärmetauscher
 - Drain-Back Behälter im Vorlauf
 - Drain-Back Behälter im Rücklauf
 - Drain-Back Behälter im Speicher
- Offene Systeme
 - Entleerung in eigenen Drain-Back Behälter
 - Entleerung direkt in Speicher

Generell werden Drain-Back Systeme bereits mit Kollektorflächen ab etwa 2 m² angeboten. Der Großteil der Systeme ist für eine reine Warmwasserbereitung ausgelegt und auf Kollektorflächen bis rund 10 m² begrenzt. Nur wenige Systeme sind für den Betrieb als Heizungsunterstützung geeignet und sind mit Kollektorflächen von etwa 16 m² realisierbar. Lediglich vier Systeme sind für Kollektorflächen >20 m² geeignet.

Geschlossene Systeme werden aus Metall ausgeführt und sind für Betriebsdrücke bis 3 bar geeignet. Im Gegensatz zu offenen Systemen benötigen sie ein Sicherheitsventil, welches bei einem maximalen Anlagendruck (üblicherweise bei 6 bar) anspricht. Geschlossene Systeme sind unempfindlicher gegenüber Korrosion, da nach einer gewissen Zeit der Sauerstoff im System verbraucht wird und ein zusätzlicher Sauerstoffeintrag nach Verschließen der Anlage nur in geringem Ausmaß möglich ist. In geschlossenen Systemen dürfen zur Gewährleistung der Drain-Back Funktion keine automatischen Entlüftungsventile eingebaut werden.

Bei offenen Drain-Back Systemen, welche in Verbindung mit der Atmosphäre stehen, kommt es hingegen ständig zu einem frischen Sauerstoffeintrag in das System. Aus diesem Grund sollten sämtliche Einbauteile und Rohrleitungen aus möglichst korrosionsfreien Materialien bestehen. Der Anlagendruck in offenen Systemen entspricht maximal etwa dem statischen Druck der Flüssigkeitssäule, weshalb keine besonderen Sicherheitsvorkehrungen wie bspw. Druckausdehnungsgefäß oder Sicherheitsventil notwendig sind. Offene Systeme verwenden in der Regel das Wärmeträgermedium Wasser. Dies hat einerseits bessere Wärmeübertragungseigenschaften und andererseits ist der Betrieb aufgrund geringerer Pumpenleistung (Zähigkeit des Mediums) günstiger als mit einem Wasser-Glykol Gemisch.

Details zu recherchierten Systemtechniken sind dem Anhang A zu entnehmen.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

2.3 Teilentleerende Drain-Back Systeme

Aufgrund der folgenden messtechnischen Untersuchungen des Prinzips eines teilentleerenden Systems wird die Funktionsweise dieses Systems kurz erläutert.

Das Funktionsprinzip teilentleerender Systeme wird anhand der Hydraulikeinheit „DrainMaster“ erläutert und ist der Abbildung 1 zu entnehmen. Ist die Solaranlage im Ruhezustand, befindet sich der gesamte Wärmeträger im DrainMaster und die Luft zum Großteil im Kollektorfeld. Bei Sonneneinstrahlung und Energiebedarf des Speichers, schaltet die Regelung die Umwälzpumpe automatisch ein und befördert das aus dem DrainMaster stammende Wärmeträgermittel über den Wärmetauscher in das Kollektorfeld. Zur gleichen Zeit wird die Luft aus dem Kollektorfeld in den DrainMaster gedrückt. Im Anlagenbetrieb ist das Wärmeträgermedium einer permanenten Entgasung im DrainMaster unterworfen. Ist der Speicher vollständig aufgeheizt, wird die Umwälzpumpe abgestellt und das Kollektorfeld entleert. Die Solarflüssigkeit sammelt sich wiederum im DrainMaster und verdrängt dessen Luftpolster über die Vorlauf-Verbindungsleitung in das Kollektorfeld.

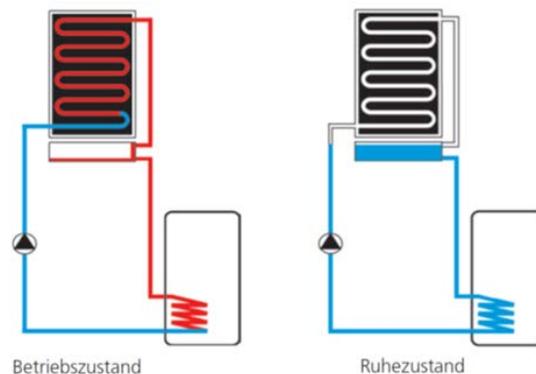


Abbildung 1: Funktionsprinzip des DrainMaster Systems (Quelle: Soltark)

3 Recherche zu großen Kollektorflächen und Kollektorhydrauliken

Basierend auf einer umfassenden Recherche zu unterschiedlichen internen Kollektorhydrauliken und damit verbundenen Kollektorverschaltungen wurde die nachfolgende Kategorisierung erstellt.

Die Kategorisierung wurde in folgende Punkte unterteilt:

- Montagevarianten von thermischen Solarkollektoren
- Grundtypen von kollektorinternen Hydrauliken
- Kollektorverschaltungen

3.1 Montage- und Belegungsvarianten von thermischen Solarkollektoren

Grundsätzlich können thermische Solarkollektoren in drei Gruppen der Montage- bzw. Belegungsart unterteilt werden:

- **Indachkollektoren (dachintegrierte Kollektoren)**

Thermische Solarkollektoren werden in ein bestehendes Dach mit einer Mindestneigung von ca. 20° integriert und ersetzen damit die gewöhnliche Dachdeckung (Ziegel, Blechdächer,...) und bilden die dichte Dachhaut.

- **Frei aufgeständerte Kollektoren**

Frei aufgeständerte Kollektoren können auf Flach- bzw. Pultdächern oder auf Schrägdächern über der dichten Dachhaut (parallel oder steiler geneigt) montiert werden. Ebenso kann das Kollektorfeld auch im Freigelände (Wiese, auf z.B. Betonfundamenten) aufgeständert sein.

- **Fassadenintegration**

Bei Fassadenkollektoren muss wiederum unterschieden werden zwischen hinterlüfteten und nicht hinterlüfteten Kollektoren. Generell findet eine Fassadenintegration von solarthermischen Großanlagen selten Anwendung.

3.2 Ausführungsformen Dachintegration und Freiaufständigung

Beispiele der aus der Recherche resultierenden häufigsten Montage- und Belegungsvarianten sind die Dachintegration und frei aufgeständerte Kollektoren auf Flachdächern bzw. auf Betonfundamenten im Freigelände, wie die nachfolgenden Abbildungen zeigen.



Abbildung 2: Dachintegration von Solarkollektoren mit 2 Reihen übereinander

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

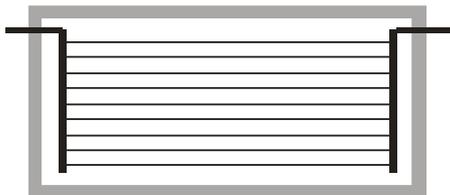


Abbildung 3: Ausführungsformen von frei aufgeständerten Kollektoren (Links: auf Flachdach mit Betonfundament, Mitte: auf Flachdach mit Stahlunterkonstruktion für Befestigung der Aufständerung, Rechts: im Freien aufgeständerte Kollektoren mit Betonfundament)

3.3 Grundtypen interner Kollektorhydraulik

Ein Drain-Backsystem stellt besondere Anforderungen an die interne Kollektorhydraulik. Generell kommen grundsätzlich drei Haupttypen in einer Vielzahl von solarthermischen Großanlagen zum Einsatz:

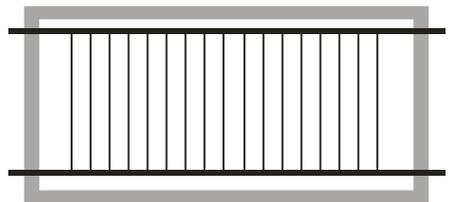
3.3.1 Harfe waagrecht:



Anschlüsse:	VL & RL seitlich
Absorberrohre:	waagrecht
Selbstentleerung:	nicht möglich
Besonderheit:	günstig für die Entlüftung von Kollektorfeldern

Der Einzelkollektor weist aufgrund der waagrecht angeordneten Harfenhydraulik einen eher geringen Druckverlust auf. Die Möglichkeit einer Selbstentleerung, welche für den Einsatz in einem Drain-Back System erforderlich ist, ist mit dieser Kollektorhydraulik nicht gegeben. Dies bewirkt auch ein ungünstiges Stagnationsverhalten im Anlagenstillstand.

3.3.2 Harfe senkrecht:



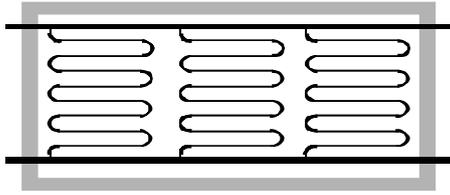
Anschlüsse:	VL & RL seitlich
Absorberrohre:	senkrecht
Selbstentleerung:	gut
Besonderheit:	Ausführung mit 4 Anschlüssen möglich

Der senkrechte Harfenabsorber weist aufgrund der parallelen Absorberrohre als Einzelkollektor einen geringen Druckverlust auf. Das Stagnationsverhalten des Einzelkollektors ist wegen des guten Entleerverhaltens gut. Deshalb ist er auch für Drain-Backanlagen gut geeignet. Dieser Kollektor ist mit 4 Anschlüssen versehen, deshalb ist er flexibel bei der Zusammenschaltung zu größeren Feldern.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

3.3.3 Mäander:



Anschlüsse:	VL & RL seitlich
Absorberrohre:	Mäander geformt
Selbstentleerung:	gut
Besonderheit:	Ausführung mit 4 Anschlüssen möglich

Wird die interne Kollektorhydraulik in Mäanderform ausgeführt, entstehen dadurch höhere Druckverluste als bei einer senkrechten bzw. waagrechten Harfenhydraulik. Mäanderabsorber sind für den Einsatz in einem Drain-Back System aufgrund ihrer guten Selbstentleerung geeignet. Dieser Kollektor ist mit 4 Anschlüssen versehen, deshalb ist er flexibel bei der Zusammenschaltung zu größeren Feldern.

3.4 Kollektorverschaltungen

Generell findet bei solaren Großanlagen die frei aufgeständerte Montage bzw. die Indachmontage am häufigsten Anwendung, während die Fassadenintegration von thermischen Solarkollektoren eher selten durchgeführt wird. Daraus leiten sich verschiedene Verschaltungsvarianten ab.

3.4.1 Serielle Verschaltung von Kollektoren

Eine Serienschaltung von Kollektoren mit Harfenhydraulik entspricht zwar dem Stand der Technik für große konventionelle solarthermische Anlagen (Abbildung 4), allerdings ist diese Verschaltungsart wegen mangelnder Selbstentleerungsfähigkeit für Drain-Backanlagen nicht geeignet. Generell sind bei dieser Kollektorhydraulik serielle Verschaltungen von bis zu etwa 150 m² in konventionellen Systemen möglich (in dänischen Großanlagen auch bis 300 m²). Obwohl der Einzelkollektor aufgrund der waagrechten Harfenhydraulik einen geringen Druckverlust aufweist, steigt durch die serielle Verschaltung in einem Kollektorfeld der Gesamtdruckverlust dementsprechend an. Durch die serielle Verschaltung kann von einer gleichmäßigen Strömungsverteilung im gesamten Kollektorfeld ausgegangen werden.

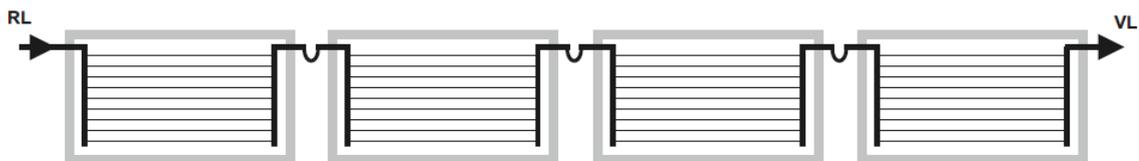


Abbildung 4: Serienschaltung von mehreren Kollektoren mit Harfenhydraulik

3.4.2 Parallele Verschaltung von Kollektoren

Werden Kollektoren mit Mäanderhydraulik (oder auch senkrechte Harfen) parallel verschaltet, ist die für Drain-Back notwendige selbständige Entleerung bei Stillstand der Anlage möglich (Abbildung 5). Durch entsprechende Dimensionierung von Mäanderrohr- und Sammelrohrdurchmesser im Vergleich zur Mäanderrohrlänge kann bei niedrigem Gesamtdruckverlust eine ausreichende Gleichmäßigkeit der Strömungsverteilung auch bei großen Feldern (bis 120 m²) erreicht werden.

Mit senkrechten Harfen können auf diese Weise keine größeren Felder erreicht werden. Senkrechte Harfen benötigen für große Felder eine gemischte Verschaltung (einige parallel geschaltete Harfen jeweils gruppenweise in Serie geschaltet).

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

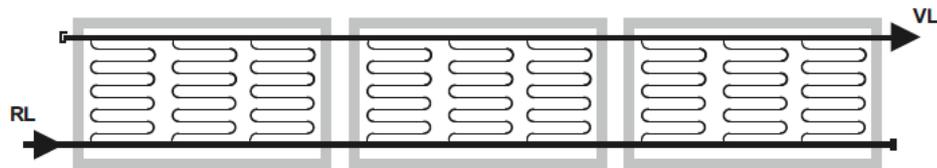


Abbildung 5: Parallelschaltung von mehreren Kollektoren mit Mäanderhydraulik

3.4.3 Verschaltung von Kollektoren für größere Kollektorfelder

Größere Kollektorfelder können durch Parallelschaltung von seriell verschalteten waagrecht Harfenkollektoren realisiert werden. Hierbei sind meist Strangreguliertventile für den hydraulischen Abgleich erforderlich (Abbildung 6).

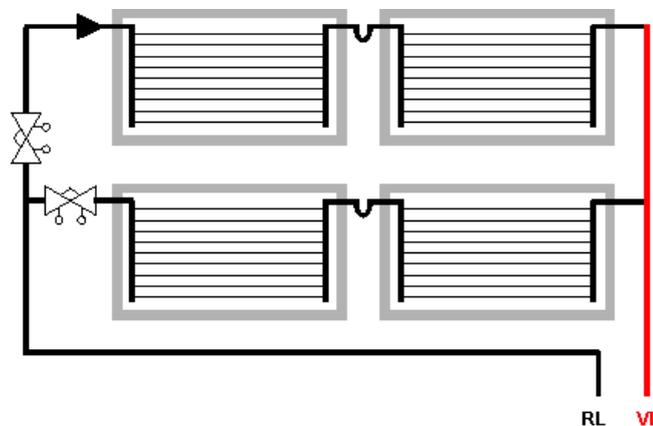


Abbildung 6: Parallelschaltung von mehreren seriellen Kollektorreihen mit Mäanderhydraulik

Bei großen Kollektorfeldern wird der Einsatz von Tichelmannverschaltungen (für Einzelfeld z. B. Abbildung 5 : Z-förmige Durchströmung von Rücklauf - RL zu Vorlauf - VL), die eine Vergleichmäßigung der Strömungsverteilung bringen, jedoch bei Feldverschaltungen große Rohrleitungslängen, hohe Investitionskosten und hohe Wärmeverluste bewirken, zusehends seltener.

Als Ausgleich bei nicht nach Tichelmann verschalteten Kollektorfeldern (U-förmige Verschaltungen Abbildung 6) werden geeignete Reguliertventile zum Abgleich der Durchströmung eingesetzt.

Eine mögliche parallele Verschaltung von senkrechten Harfenabsorbern bzw. Mäanderabsorbern (diese stehen auch symbolisch für ungleich gestaltete Teilfelder) mit Einsatz von Reguliertventilen ist z.B. Abbildung 7 zu entnehmen.

Allgemein bestehen keine Tendenzen ob High- oder Low Flow Verschaltungen zum Einsatz kommen. Abhängig vom Lieferanten werden zu 90% die im Lieferprogramm enthaltenen Kollektoren für beide Betriebsfälle eingesetzt. Im Regelfall wird bei der Ausführung bzw. Planung die Kollektorverschaltung auf die Betriebsweise des Solarsystems entsprechend umgesetzt.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

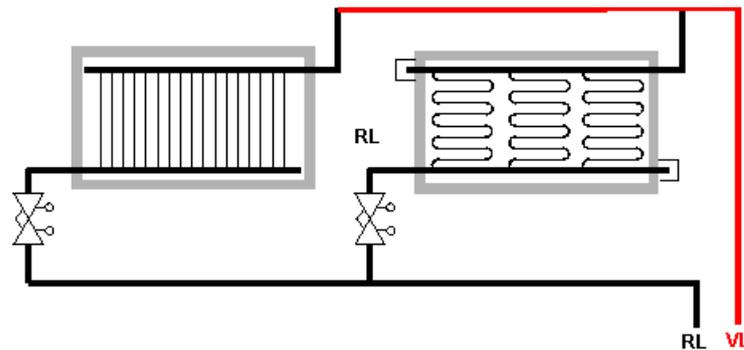


Abbildung 7: Parallelschaltung von Kollektoren mit senkrechten Harfenabsorber (links) bzw. Mäanderabsorber (rechts) mit Regulierventilen

3.4.4 Verschaltungsbeispiele für Harfenkollektoren

Ein Dachintegrationsbeispiel mit waagrechter Harfenhydraulik in Serien- und Parallelschaltung zeigt Abbildung 8.

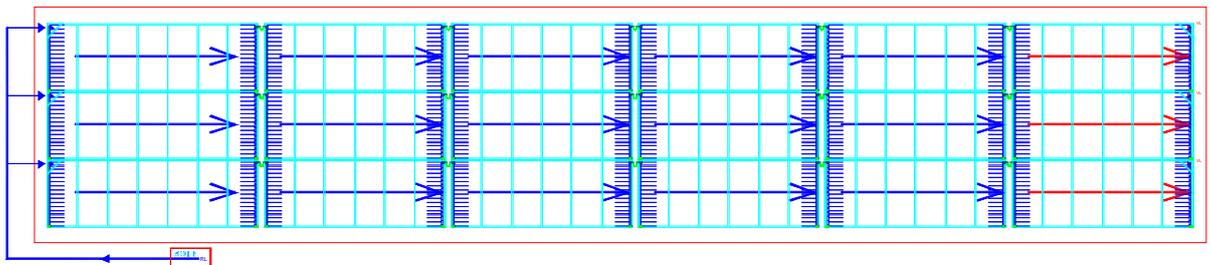


Abbildung 8: Schematische Darstellung einer Serien- und Parallelschaltung von mehreren Kollektoren übereinander mit waagrechter Harfenhydraulik (Dachintegration)

Auch senkrechte Harfen eignen sich für die Realisierung großer solarthermischer Anlagen (Abbildung 9). Ein hydraulischer Abgleich der parallelen Teilfelder (nicht – Tichelmann) mittels Regulierventilen und eine Begrenzung der maximal möglichen Zahl paralleler Kollektoren (Herstellerangaben) innerhalb eines Teilfelds (Tichelmann) ist notwendig. Prinzipiell ist diese in Abbildung 9 gezeigte Verschaltungsart auch für Mäanderkollektoren üblich. Es können dann wesentlich größere Kollektorteilfelder realisiert werden, da größere Flächen in den in sich parallel geschalteten Teilfeldern möglich sind.

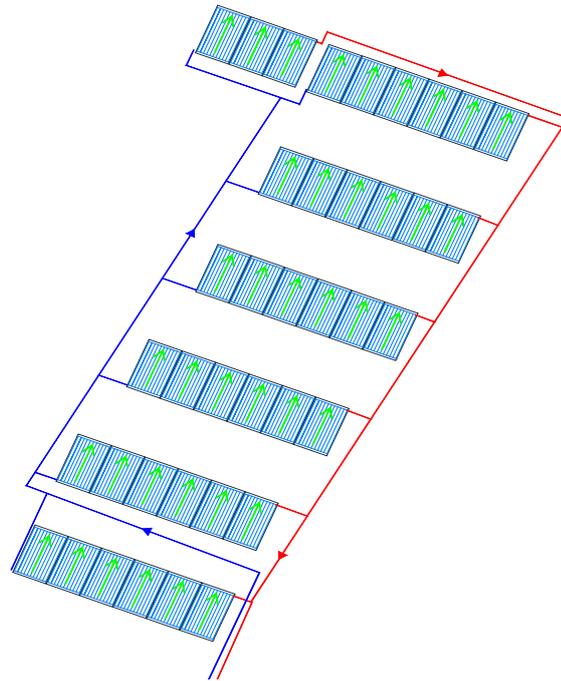


Abbildung 9: Schematische Darstellung der seriellen und parallelen Verschaltung von Kollektoren mit senkrechter Harfenhydraulik einer großen solarthermischen Anlage (frei aufgeständerte Kollektoren)

3.5 Durchströmungsverteilung, Turbulenztemperaturen

Ein wesentlicher Aspekt bei der Planung eines Kollektorfeldes stellt das Erreichen einer möglichst gleichmäßigen **Strömungsverteilung** innerhalb der parallel geschalteten hydraulischen Elemente dar. Diese Elemente können nun parallele Absorberrohre, parallele Kollektoren oder parallele Teilfelder sein. Ziel ist es in allen diesen parallelen Elementen möglichst gleiche Temperaturerhöhungen beim Durchlauf des Mediums zu erreichen. Dies erfolgt unter den Aspekten eines optimalen Gesamtwirkungsgrades (höhere Temperaturen in Teilbereichen geben dort niedrigere Wirkungsgrade), einer Sicherheit gegenüber partieller Stagnation (niedrigere spezifische Durchflüsse in Teilbereichen ergeben dort höhere Temperaturen, die je nach den Druckverhältnissen zum Sieden führen könnten) und niedriger Druckverluste (in Teilbereichen höhere Durchflüsse bedeuten auch für das gesamte Feld höhere Druckverluste und damit Pumpenenergieaufwand). Diese Aspekte werden in der Regel bei der Planung von Standardkollektorfeldern so weit als möglich berücksichtigt. Sie müssen auch bei den gegenständlichen Kollektorfeldern für Drain-Backanlagen zur Anwendung kommen, wobei zusätzlich möglichst vollständige Entleerbarkeit und Entlüftbarkeit zusätzlich zu berücksichtigen sind. Die zulässigen Toleranzen bei der Gleichmäßigkeit der Durchströmungsverteilung sind derzeit Gegenstand eines weiteren Forschungsprojektes (AEE INTEC, 2010) und treffen sowohl bei Standardanlagen als auch bei Drain-Backanlagen im Normalbetrieb zu und müssen in beiden Fällen gleich berücksichtigt werden.

Da die Viskosität des Wärmeträgermediums sehr stark von der Temperatur des Mediums abhängt und der Kollektorwirkungsgrad bei turbulenter Strömung im Absorberrohr günstiger ist, ist es das Bestreben, durch entsprechende Auslegung der Hydraulik, schon bei möglichst niedrigeren Arbeitstemperaturen turbulente Strömung zu erreichen. Der Umschlagbereich bei Temperaturänderung von laminarer auf turbulente Strömung heißt **Turbulenztemperatur**. Diese sollte möglichst niedrig sein um im gesamten Arbeitsbereich günstige

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
FFG

Kollektorwirkungsgrade zu erreichen. Dieser Aspekt trifft wieder in gleicher Weise sowohl für Standardanlagen als auch für Drain-Backanlagen zu.

Generell sind beide Kriterien leichter mit Mäanderkollektoren als mit Harfenkollektoren zu erreichen.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

4 Untersuchungen des Befüll- und Entleerverhaltens an der handelsüblichen Hydraulikeinheit DrainMaster

Zu Beginn dieser Arbeiten wurde die konventionelle Hydraulikeinheit DrainMaster an einem realen System am Teststand der AEE INTEC detailliert untersucht. Im Anschluss an diese Untersuchungen wurde ein Versuchsaufbau mit transparenter Hydraulikeinheit im Labor erstellt. Diese Untersuchungen waren deshalb von Bedeutung, da bei diesem Versuchsaufbau das Strömungsverhalten im DrainMaster und in der Falleitung zusätzlich zu den aufgezeichneten Messdaten auch visuell beobachtet werden konnte. Somit konnten Effekte, welche am Teststand des konventionellen Systems messtechnisch nicht zu erfassen waren, visualisiert werden.

4.1 Konventionelles teilentleerendes System unter realen Bedingungen

Für diese Untersuchungen wurde vom Projektpartner Sunlumo die konventionelle Hydraulikeinheit DrainMaster zur Verfügung gestellt. Am Labordach der AEE INTEC (Teststand) wurde diese zusammen mit einem gut entleerenden Kollektor (von Sunlumo zur Verfügung gestellt) aufgebaut. Dadurch war es möglich, die Einsatzgrenzen des DrainMaster zu bestimmen. Des Weiteren waren die Ziele dieser Untersuchungen das Stagnationsverhalten sowie die Befüll- und Entleervorgänge bei unterschiedlichen Systemtemperaturen zu bestimmen. Der für diese Untersuchungen notwendige Messaufbau und die verwendete Sensorik ist nachfolgender Abbildung zu entnehmen.

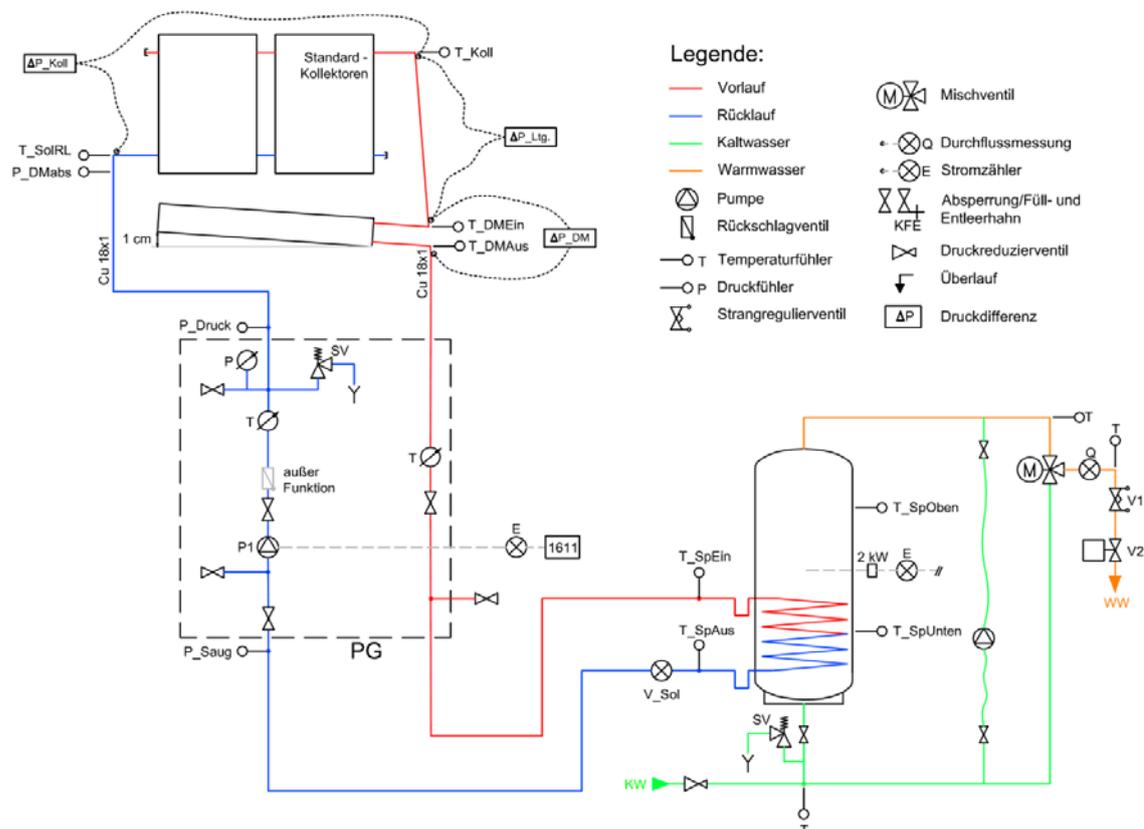


Abbildung 10: schematische Darstellung des Versuchsaufbaus für das konventionelle Drain-Back System

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Weitere Details zum Versuchsaufbau finden sich in Anhang B. 1 Konventionelles teilentleerendes System unter realen Bedingungen.

Beispiele der durchgeführten Messungen sind im Folgenden dargestellt.

4.1.1 Befüllvorgang

In der Abbildung 11 sind Befüllvorgänge bei unterschiedlichen Systemtemperaturen (37 bis 67 °C) dargestellt.

Dargestellt sind Durchflussmengen und Druckdifferenzen. Ein stabiler Durchfluss ist nach vollständiger Verdrängung der Luft aus dem Kollektor und der anschließenden Fallleitung (Vorlaufabschnitt zwischen Kollektor und DrainMaster) erreicht. Hier erreicht auch der Druckverlust niedrige stabile Werte. Die Zeitdauer vom Einschalten der Pumpe bis zu diesem Zeitpunkt wurde als Befüllzeit ausgewertet.

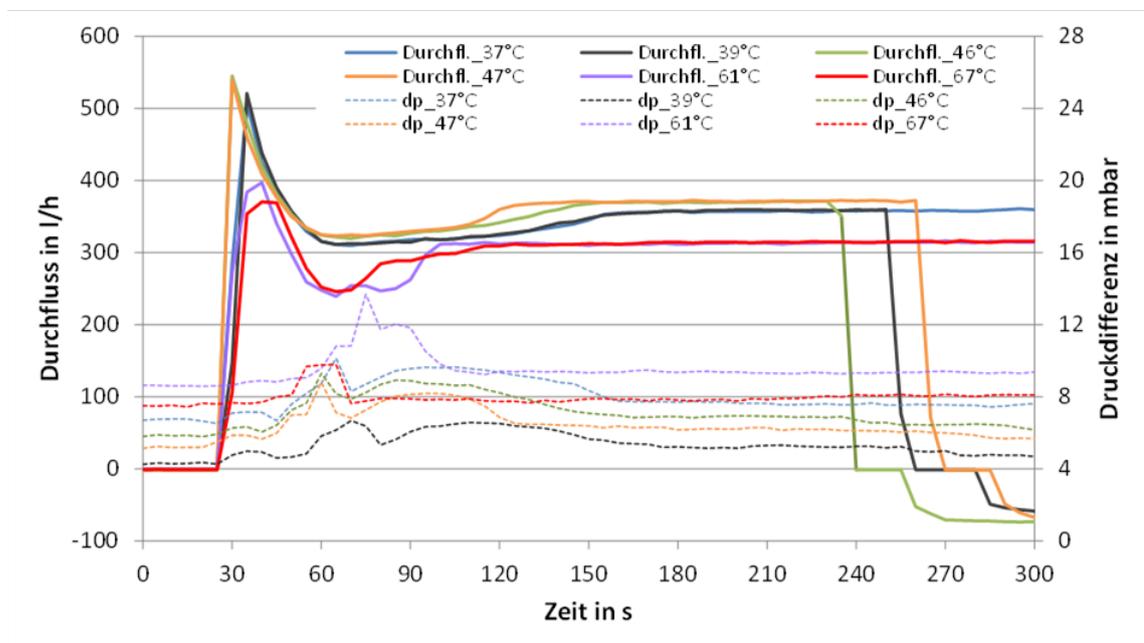


Abbildung 11: Befüllvorgänge des konventionellen teilentleerenden Systems bei unterschiedlichen Systemtemperaturen

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

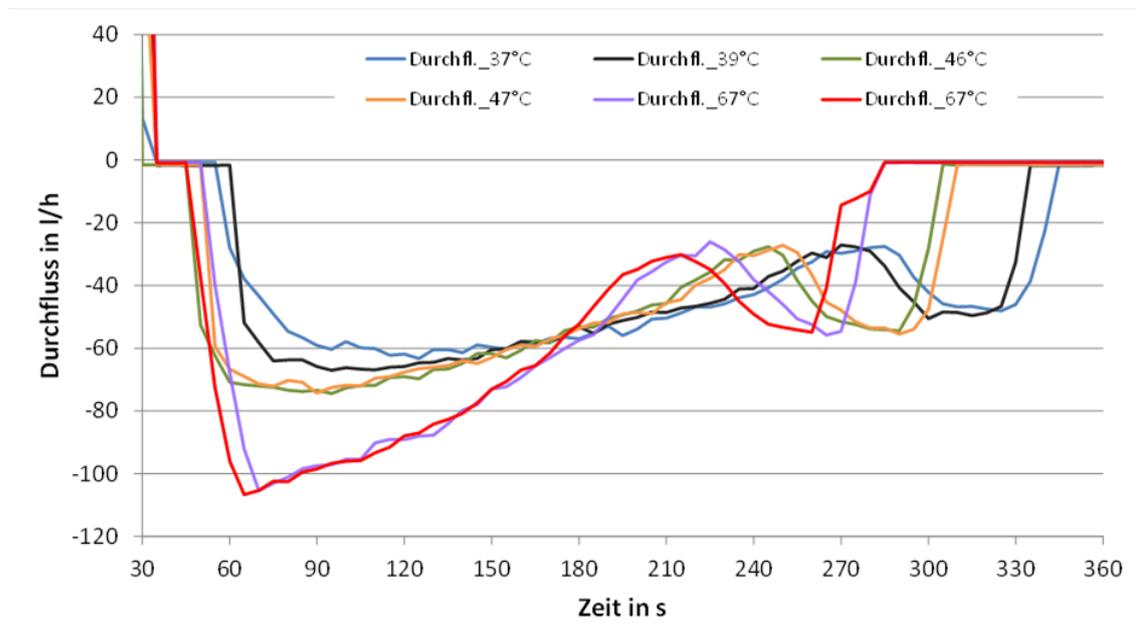


Abbildung 12: Entleervorgänge des konventionellen Systems bei unterschiedlichen Systemtemperaturen

Generell ist bei den Befüllvorgängen eine Abhängigkeit von der Temperatur festzustellen. Sind bereits höhere Systemtemperaturen vorhanden, wird beim Befüllen die Luft schneller aus den Kollektoren und der Falleitung verdrängt. Dadurch erreicht das System schneller die eingestellte Durchflussmenge.

Eine rasche Verdrängung der Luft beim Befüllvorgang ist anzustreben. Die vollständige Verdrängung der Luft ist erfolgt, wenn eine konstante Durchflussmenge (Durchfl.) und Druckdifferenz (dp) vorliegt. Ist eine Systemtemperatur von 67 °C vorhanden, dauert der Befüllvorgang bei einem Solldurchfluss von 300 l/h etwa 90 s während bei niedrigeren Temperaturen von 37 °C rund 130 s notwendig sind. Eine wichtige Erkenntnis ist auch, dass die Befüllung bei niedrigeren Temperaturen trotz höher eingestelltem Solldurchfluss (360 l/h) länger dauert.

4.1.2 Entleervorgang

Wie Abbildung 12 zeigt, konnte auch beim Entleervorgang ein Einfluss der Systemtemperatur beobachtet werden. Liegen hohe Systemtemperaturen vor, geht die Entleerung wesentlich schneller von statten als bei tieferen Temperaturen. Nach Abschalten der Pumpe ist der Entleervorgang bei einer Temperatur von 67 °C rund 60 s schneller abgeschlossen als bei einer Systemtemperatur von 37 °C. Ebenfalls ist ersichtlich, dass sich bei höheren Systemtemperaturen eine deutlich höhere Durchflussmenge bei der Selbstentleerung ergibt als bei niedrigen Temperaturen.

4.1.3 Stagnationsvorgang

In der Abbildung 13 sind zwei Stagnationszustände sowie eine Befüllung aus dem Stagnationszustand dargestellt. Kurz vor 11 Uhr erfolgte bei einer Einstrahlung auf die Kollektorebene von rund 950 W/m² die manuelle Abschaltung der Pumpe. Zu erkennen ist, dass ein Druckanstieg ($p\text{-DM}_{\text{abs}}$) von bis zu 3 bar zu verzeichnen ist. Dieser Druck wird in unmittelbarer Nähe des DrainMaster gemessen. Um ca. 12 Uhr konnte das System ohne Probleme aus dem Stagnationszustand befüllt werden. Nach wenigen Minuten wurde die

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

definierte Durchflussmenge von 300 l/h erreicht und der Anlagendruck in der Nähe des DrainMaster ist ebenfalls abgesunken. Der wesentliche Vorteil dieses Systems besteht darin, dass eine Befüllung aus dem Stagnationszustand jederzeit und ohne Probleme möglich ist, allerdings muss der Absorber für Temperaturschocks dieser Art geeignet sein.

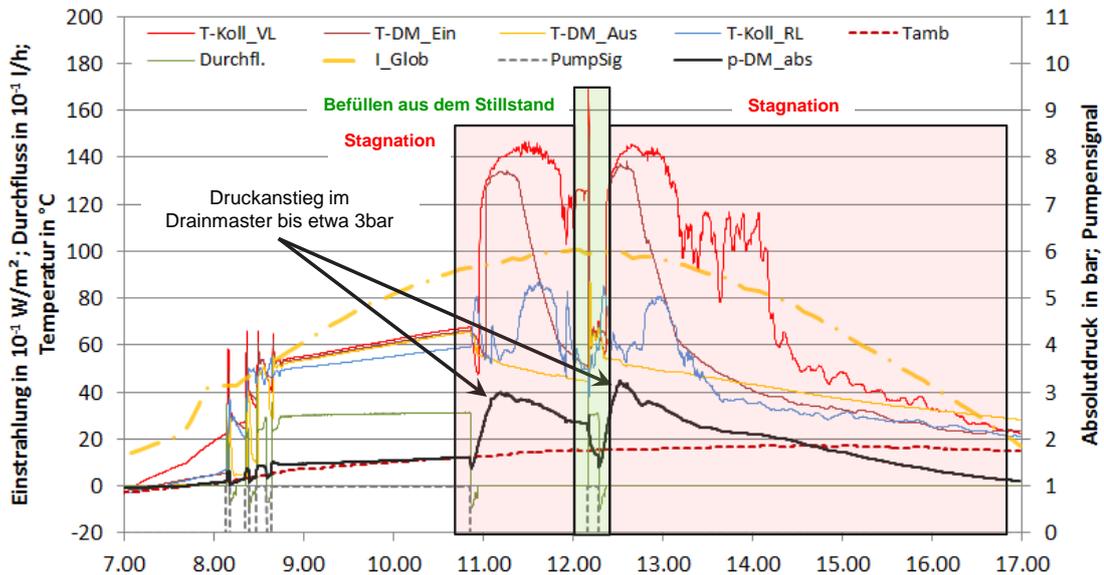


Abbildung 13: Stagnationszustände des konventionellen Systems sowie ein Befüllvorgang aus dem Stillstand

4.1.4 Thermische Verluste des DrainMasters und Pumpenstromaufwand

Zur Bestimmung der thermischen Verluste der Hydraulikeinheit DrainMaster war es erforderlich, die Ein- und Austrittstemperatur in unmittelbarer Nähe der Hydraulikeinheit und die entsprechende Durchflussmenge zu messen.

Bei der handelsüblichen Bauform des DrainMaster liegen die thermischen Verluste bei rund 5 W/K. Um die Auswirkungen einer zusätzlichen Dämmung zu untersuchen, wurde der DrainMaster mit einer Armaflex-Isolierung (2 cm) versehen. Durch das Anbringen dieser zusätzlichen Dämmstärke von 2 cm konnten die thermischen Verluste des DrainMaster auf rund 3 W/K reduziert werden (siehe auch Kapitel 9.1).

Eine Analyse des Bedarfs an elektrischer Energie der Förderpumpe erfolgt in Kapitel 10.

4.1.5 Einsatzgrenzen des DrainMasters

Der kommerziell erhältliche DrainMaster® kann in seiner gegebenen Dimensionierung für kleine bis mittlere Solaranlagen eingesetzt werden. Die Grenzen liegen dabei einerseits in seinem vorgegebenen Volumen, das jedoch mit einem Erweiterungsmodul vergrößert werden kann, andererseits vor allem in der Dimension seiner Rohranschlüsse und seines internen Entgasungsmoduls, die nur begrenzte, für Großanlagen nicht zutreffende Durchflussmengen erlauben.

5 Laborversuche an Plexiglasmodellen

Um zusätzliche Erkenntnisse zu Strömungsvorgängen an kritischen Stellen im System zu gewinnen, erfolgten parallel zu den Versuchsdurchführungen am konventionellen System unter realen Bedingungen zwei weitere Untersuchungsdetailierungen:

- Eine detaillierte Betrachtung des Befüll- und Entleervorgangs in einer Plexiglasvariante des handelsüblichen DrainMaster Systems und der zugehörigen Falleitung
- Das Verhalten der Befüll- und Entleervorgänge an Plexiglas-Falleitungen unterschiedlicher Durchmesser

5.1 Teilentleeres System als Plexiglasmodell unter Laborbedingungen

Die von Sunlumo gefertigte transparente Ausführung des DrainMaster erlaubt die visuelle Beobachtung der Strömungsvorgänge in der Entleereinheit und dem Fallrohr. Der Versuchsaufbau und die Versuchsdurchführung sind im Anhang B. 2 Teilentleeres System als Plexiglasmodell unter Laborbedingungen dargestellt. Es wurden jedoch anstelle eines konventionellen Solarkollektors lediglich Absorberrohre nach dem Prinzip eines Harfenabsorbers mit transparentem oberem Sammelrohr eingesetzt.

Ziel dieser Untersuchung war die Ermittlung jener Durchflussmengen, welche für eine vollständige Befüllung des Systems notwendig sind, bzw. bei welchem Durchfluss ein Strömungsabriss auftritt und somit Luft in die Kollektoren wieder vordringt. Messbeispiele für die Befüllung sind in der Abbildung 14 und für einen Strömungsabriss in Abbildung 15 gezeigt. Die Messungen erfolgten mit Wasser.

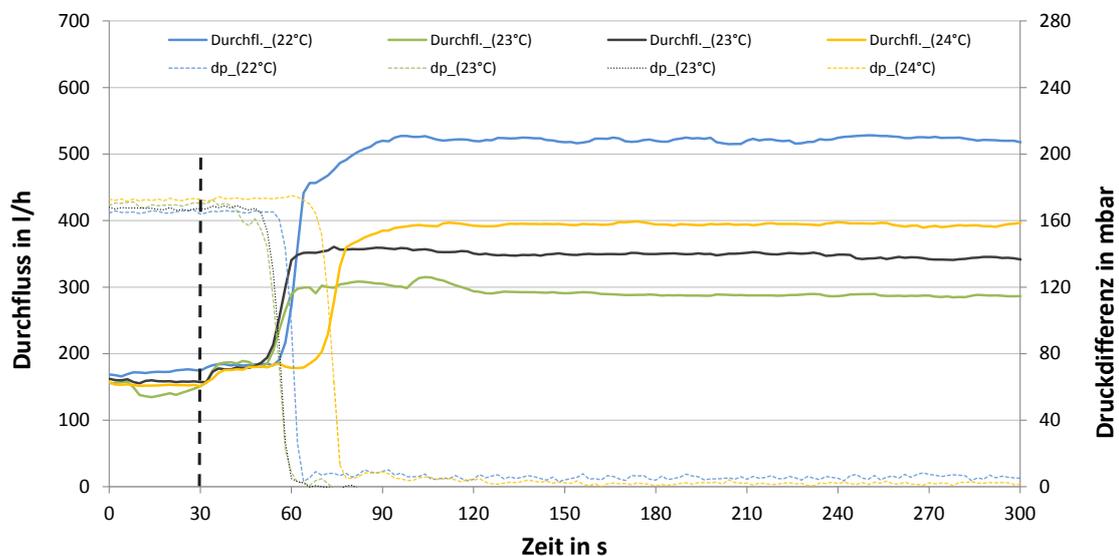


Abbildung 14: Notwendige Durchflussmengen um das System vollständig zu befüllen

5.1.1 Befüllung

Zum Zeitpunkt 30 s wurde jeweils die letzte einer Serie von Durchflusserhöhungen durchgeführt (Abbildung 14). Nach jeder dieser Erhöhungen wurde abgewartet, ob eine Befüllung der Falleitung mit dem eingestellten Durchfluss möglich ist. Ersichtlich ist, dass bei allen Versuchen ab einem Durchfluss von etwa 180 l/h das System nach rund 60 s vollständig mit Medium gefüllt ist und keine Luft mehr in der Harfe bzw. der Falleitung verbleibt. Zu Beginn der Befüllung muss die Pumpe die gesamte geodätische Höhe (~2 m) überwinden. Erst

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

wenn die Saugwirkung der Falleitung einsetzt, beginnt der Differenzdruck (dp) abzufallen, wodurch der Durchfluss bis zu einem etwa stabilen Wert ansteigt.

5.1.2 Strömungsabriss

Für die Bestimmung der Durchflussmenge, bei welcher wieder Luft in die Harfe bzw. Falleitung vordringen kann, wurde der Durchfluss schrittweise reduziert. Mit der verwendeten Messtechnik, konnten kleinere Durchflussmengen als 10 l/h nicht mehr gemessen werden, es werden dann Werte von 0 angezeigt. In der Abbildung 15 sind die Ergebnisse zweier Versuche dargestellt. Die Messungen lassen annehmen, dass die Durchflussmenge, die zu einem Strömungsabriss führt, etwa bei 10 l/h liegt. Bei diesem Durchfluss beginnen erste Luftblasen entgegen der Strömungsrichtung vom Belüftungsloch im DrainMaster in die Falleitung einzudringen. Bei etwa 15 l/h ist der Durchfluss noch stabil.

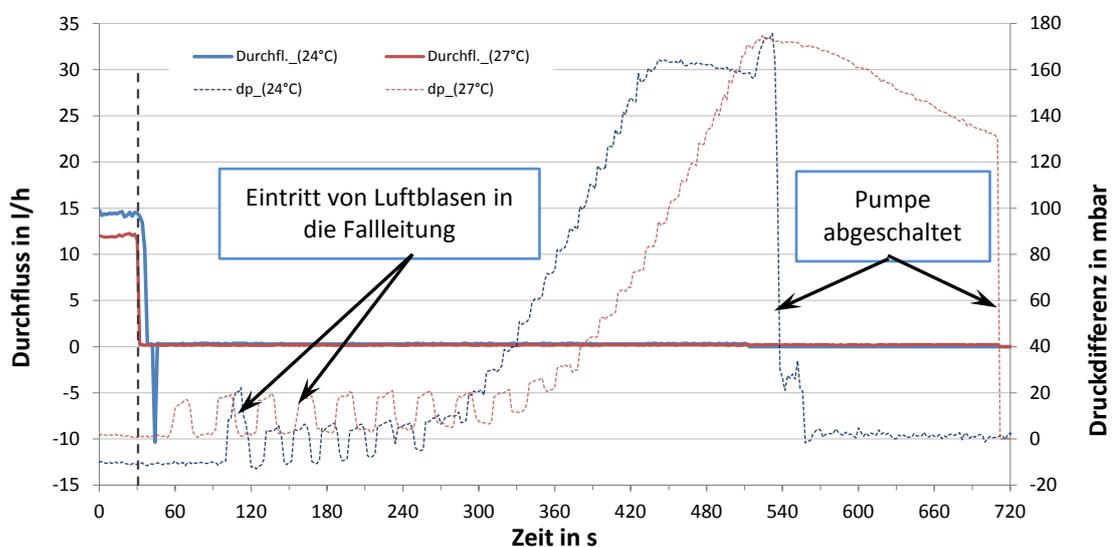


Abbildung 15: Mögliche Durchflussmenge bis Luft wieder in die Falleitung bzw. Harfe vordringen kann

Bei beiden Versuchen konnte der Effekt beobachtet werden, dass zu Beginn nur einzelne Luftblasen in die Falleitung vordringen konnten. Der Eintritt dieser Luftblasen ist durch einen kurzzeitigen Anstieg der Druckdifferenz zu erkennen. Treten Luftblasen erst einmal in die Falleitung ein, steigen diese aufgrund des Dichteunterschiedes auf und sammeln sich am obersten Punkt im System (Sammelleitung der Harfe). Je mehr Luft in die Falleitung vordringen kann, desto mehr geodätische Höhe muss die Pumpe überwinden. Aufgrund dessen, dass bei diesen Versuchen die Pumpe noch in Betrieb war, dauerte es rund 8-10 min bis das System vollständig mit Luft gefüllt war. Würde man die Pumpe ausschalten, entleert das System wesentlich schneller und der Entleervorgang wäre nach rund 90 s abgeschlossen.

Diese Untersuchungen waren vor allem für die Ermittlung der Einsatzgrenzen des DrainMaster relevant. Mit diesen Untersuchungen konnte überprüft werden, ob der Betrieb dieses Systems für Low-Flow Anlagen (5-20 l/m²h) möglich ist. Bei dieser Betriebsform liegen kleine Durchflussmengen vor, weshalb sichergestellt werden muss, dass keine Luft in der Falleitung aufsteigen kann und sich im oberen Bereich zu sammeln beginnt.

5.1.3 Entgasung im Drainmaster

Die Entgasung des Solarkreises ist ein wesentliches Kriterium für dessen einwandfreie Funktion. Im gegenständlichen Systemprinzip ist die Flüssigkeit im Drainmaster ständig im Kontakt mit Luft. Es muss daher eine einwandfreie Abscheidung von Gasblasen innerhalb des

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Drainmasters erfolgen und es darf auch kein Mitreißen von Gasblasen aus dem Luftbereich erfolgen. Im Plexiglasmodell konnte diese Funktion optisch beobachtet werden. Innerhalb der vom Hersteller spezifizierten Einsatzgrenzen ist durch die spezielle Ausführung des Einlaufrohres bzw. der Entgasungseinheit diese Funktion gewährleistet.

5.2 Detaillierte messtechnische Analyse des Befüll- und Entleerverhaltens in Falleleitungen

Hier wurde das Verhalten der Befüll- und Entleervorgänge an Plexiglas-Falleleitungen unterschiedlicher Durchmesser untersucht. Das Messkonzept dazu ist im Anhang B. 3 Messkonzept Detailuntersuchungen Falleitung zu ersehen. Ziel der Untersuchungen war es, einen funktionalen Zusammenhang zwischen Fallrohrdurchmesser und Befüll- bzw. Strömungsabriss- Durchflussmengen zu ermitteln. Die Versuche wurden mit Wasser und einem Glykol-Wasser Gemisch (Tyfocor LS) mit senkrecht angeordneten Fallrohren durchgeführt. Bei einer Versuchsserie wurde die Falleitung zusätzlich auch realitätsnah unter einem Winkel von 45° montiert. Das Messprinzip ist mit dem der vorhergehenden Versuche vergleichbar.

Für diese Untersuchungen wurden folgende Rohrdurchmesser verwendet:

- Plexiglas 15x2 mm (Wasser, senkrecht)
- Plexiglas 20x2 mm (Wasser, senkrecht und 45°)
- Plexiglas 25x2 mm (Wasser und Glykol-Wasser Gemisch Tyfocor LS, senkrecht)
- Kupfer 28x1 mm (Wasser, senkrecht)
- Kupfer 35x1,5 mm (Wasser, senkrecht)

Beim DrainMaster ist die Auslaufgeometrie mit einem sehr spitzen Winkel (~225°) ausgeführt. Aus diesem Grund wurde der Einfluss von unterschiedlichen Auslaufgeometrien an den Falleleitungen untersucht. Hierfür wurde einerseits ein 90° Bogen und andererseits ein Doppelbogen (2x 90° Bogen) verwendet.

Zur Erhöhung der statistischen Sicherheit wurden die Messungen für die unterschiedlichen Betriebspunkte mehrfach durchgeführt.

Deutlich zu erkennen ist, dass sich durch den Einsatz von Tyfocor LS die Durchflussmengen für die vollständige Verdrängung der Luft (Befüllung) erheblich reduzieren. Dieser Effekt ist auf die höhere Zähigkeit (Viskosität) des Glykol-Gemisches zurückzuführen. Neben dem Wärmeträgermedium haben auch die unterschiedlichen Auslaufgeometrien einen Einfluss auf den Befüll- und Entleervorgang. Durch die Verwendung eines Doppelbogens (2x90° Bogen), wird beim 25x2 mm Rohr der notwendige Durchfluss zum Befüllen von 850 l/h auf 520 l/h reduziert und beim Entleeren von 140 l/h auf 160 l/h erhöht.

5.2.1 Befüllung

Die Durchflussmengen, welche für Befüllvorgänge der unterschiedlichen Rohrdurchmesser und Auslaufgeometrien (90° Bogen, 2x90° Bogen) mindestens notwendig sind, können der Abbildung 16 entnommen werden. Die Streuung der Einzelmessungen ist aus den Balken für die minimalen (schraffiert) und maximalen (gefüllt) Durchflussmengen erkenntlich, die Mittelwerte sind ebenfalls eingezeichnet.

Deutlich zu erkennen ist, dass sich durch den Einsatz von Tyfocor LS die Durchflussmengen für die vollständige Verdrängung der Luft (Befüllung) erheblich reduzieren. Dieser Effekt ist auf die höhere Viskosität des Glykol-Wasser-Gemisches zurückzuführen. Neben dem Wärmeträgermedium haben auch die unterschiedlichen Auslaufgeometrien einen Einfluss auf den Befüll- und Entleervorgang. Durch die Verwendung eines Doppelbogens (2x90° Bogen), wird

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

beim 25x2 mm Rohr der notwendige Durchfluss zum Befüllen von 850 l/h auf 520 l/h reduziert und beim Entleeren von 140 l/h auf 160 l/h erhöht.

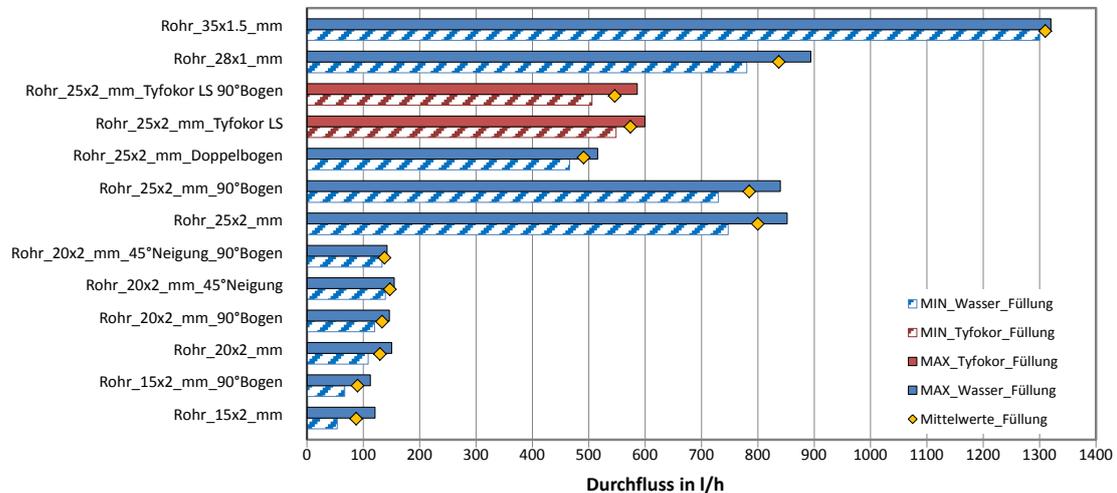


Abbildung 16: Notwendige Durchflussmengen für den Befüllvorgang der Fallleitungen mit unterschiedlichen Durchmessern und unterschiedlichen Auslaufgeometrien

5.2.2 Strömungsabriss

Die Durchflussmengen, welche für das Aufrechterhalten eines vollständig gefüllten Zustandes für die unterschiedlichen Rohrdurchmesser und Auslaufgeometrien (90° Bogen, 2x90° Bogen) der Fallleitung gerade nicht mehr ausreichen und Luft beginnt wieder in die Fallleitung einzudringen, sind der Abbildung 17 zu entnehmen.

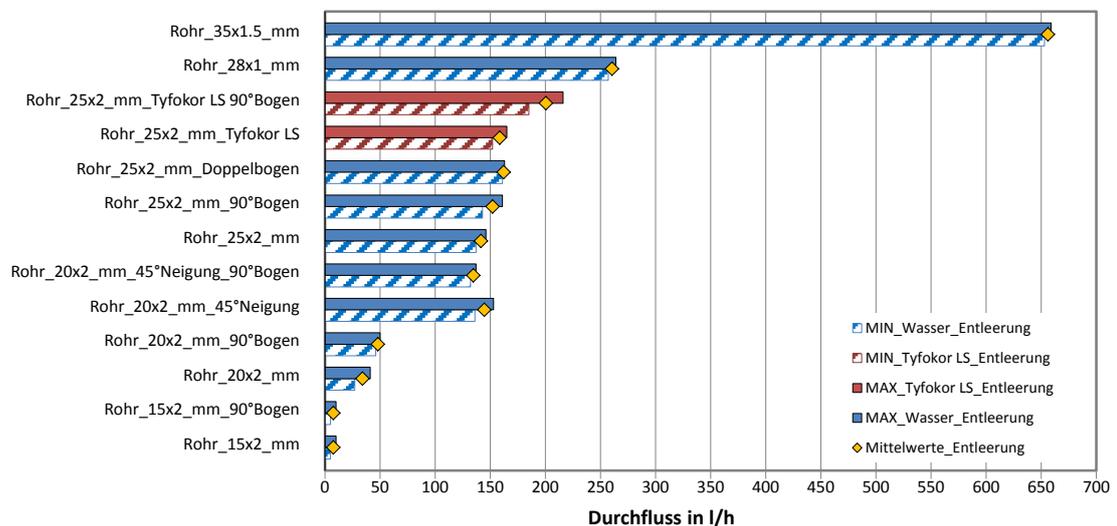


Abbildung 17: Durchflussmengen, bei denen ein Abriss der Strömung auftritt und Luft bei unterschiedlichen Auslaufgeometrien in der Fallleitung aufsteigen kann

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

5.3 Untersuchungen an parallelen Absorberharfen

Von besonderem Interesse war es, Untersuchungen an über eine einzige Entleereinheit parallel geschaltete und über eine einzige Pumpe betriebene Kollektorteilfelder durchzuführen. Einerseits kommen insbesondere in der Praxis von solarthermischen Großanlagen häufig hydraulisch parallel geschaltete Kollektorfelder vor. Andererseits könnten bei der Parallelschaltung Probleme beim Befüllen (unvollständiges Füllen in einzelnen parallelen Kreisen) auftreten.

Bei diesen Versuchen wurden drei parallele Absorber (Harfen) über eine zentrale Pumpe mit Medium beaufschlagt. Hinsichtlich Befüll- und Entleersystem kamen hier zwei unterschiedliche Ansätze zum Einsatz. Zum einen für jede Kollektorharfe eine eigene Entleereinheit im Vorlauf sowie zum anderen eine gemeinsame Entleereinheit mit drei parallelen Hydraulikanschlüssen.

5.3.1 Je eine eigene Entleereinheit je Kollektorteilfeld

Abbildung 23 und Abbildung 19 zeigen hierzu den Aufbau der Parallelschaltung mit je einer transparenten Entleereinheit (Konzept „DrainMaster“, gefertigt vom Projektpartner Sunlumo) je Kollektorteilfeld.

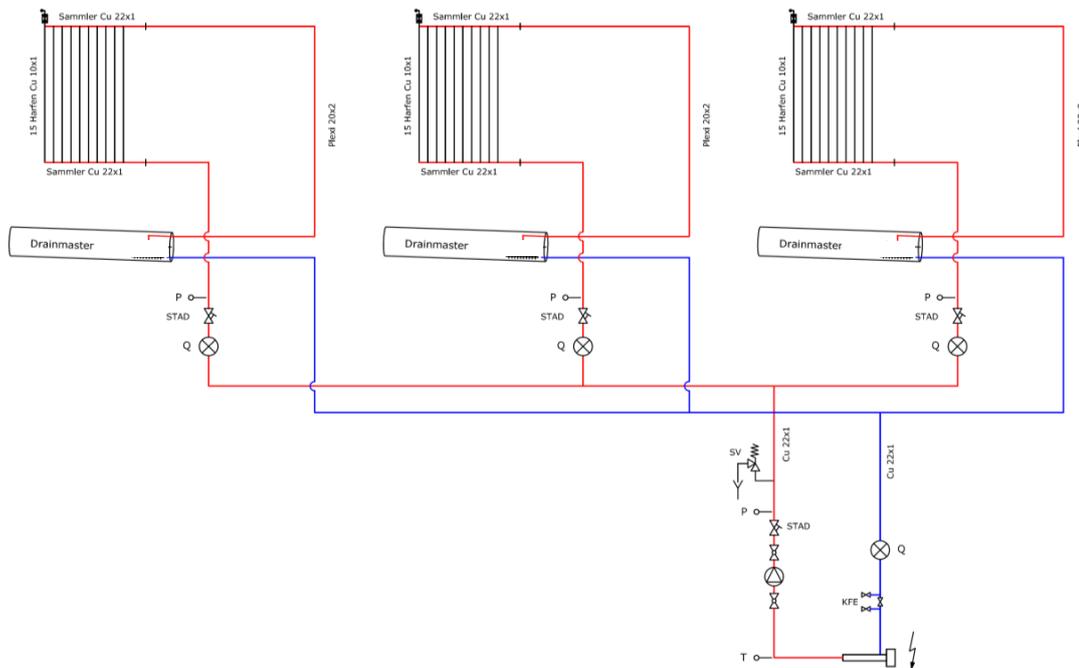


Abbildung 18: Schematischer Versuchsaufbau der drei parallelen Harfenabsorber mit je einer eigenen transparenten Hydraulikeinheit (DrainMaster) zur Untersuchung des Füll- und Entleerverhaltens in einem geschlossenen System

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

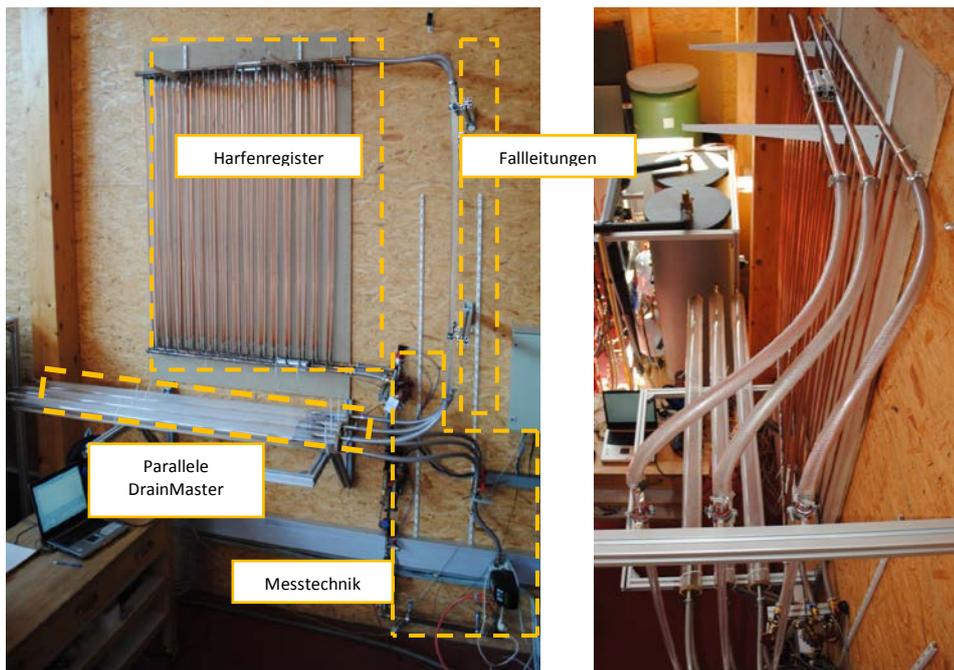


Abbildung 19: Versuchsaufbau der parallelen Harfenabsorber mit je einer eigenen transparenten Hydraulikeinheit (Konzept „DrainMaster“) im Labor der AEE INTEC (links: Frontansicht, rechts: Seitenansicht)

Hinsichtlich einer vollständigen Befüllung aller drei parallelen Teilstränge zeigte sich der vorherrschende Differenzdruck über die einzelnen parallelen Stränge als sensitive Größe. Beispielhaft ist hierzu in Abbildung 20 ein erfolgreicher Befüllvorgang mit jeweils gleichen Einstellwerten der Strangreguliertventile aller drei parallelen Gruppen dargestellt. Deutlich kann erkannt werden, dass die Absorberfallrohre zeitversetzt hintereinander gefüllt werden. Nach dem Einschalten der Pumpe wird nach etwa 28 Sekunden das hintere Fallrohr gefüllt. Weitere 2 bis 3 Sekunden später füllt sich das vordere und nochmals 2 bis 3 Sekunden später füllt sich das mittlere Fallrohr.

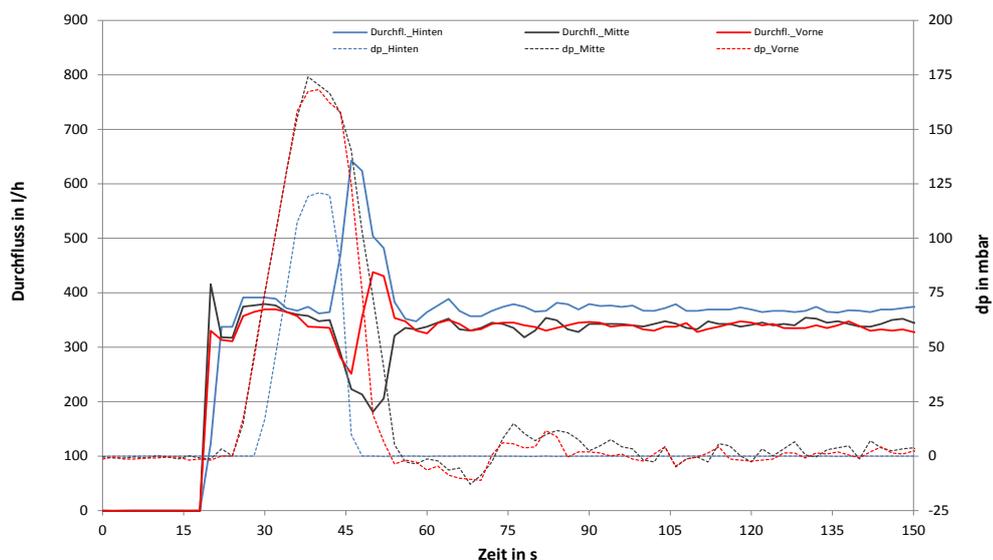


Abbildung 20: Beispielhafte Darstellung eines Befüllvorganges mit definiert eingestellten Druckverlusten an den Strangreguliertventilen (Stellung der drei Strangreguliertventile 2,5/2,5/2,5)

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
FFG

Das Ergebnis dieser Untersuchungen mit unterschiedlich eingestellten Strömungswiderständen an den Strangregulierventilen ist, dass unterschiedliche Druckverluste über die parallelen Stränge einen zentralen Einfluss auf den Befüllvorgang haben und sie aus diesem Grund für eine gesicherte, vollständige Befüllung hydraulisch abgeglichen werden müssen.

Eine gesicherte Befüllung kann nur dann erfolgen, wenn nach dem Befüllen eines ersten Teilstranges und dem damit erfolgten Absinken des Gesamtdruckverlustes (Saugwirkung des bereits gefüllten Fallrohres), der an den weiteren Teilkreisen (mit noch nicht gefülltem Fallrohr) dadurch anstehende nun abgesunkene Antriebsdruck ausreicht um in diesen Kreisen die zur Befüllung ausreichenden Füllmengen zu erzielen. Das kann offensichtlich nur bei vergleichsweise hohen und abgeglichenen Druckverlusten in den Teilkreisen erfolgen.

6 Dimensionierungsansätze für kritische Komponenten in teilentleerenden Systemen

Die bisher generierten Erkenntnisse bildeten die Basis für die Erstellung von Dimensionierungswerkzeugen betreffend die kritischen Komponenten in teilentleerenden Systemen. Neben Geometrie und Volumen der Entleereinheit zählt hierzu insbesondere die Dimension des Fallrohres. Die nunmehr vorliegende Wissensbasis ermöglichte für beide Komponenten die Entwicklung eines Dimensionierungsansatzes.

6.1 Geometrie und Volumen der Entleereinheit:

Die detaillierte Kenntnis über Gesamtsystemvolumen, Teilvolumenabschnitte, Betriebstemperaturen, Beschaffenheit des Wärmeträgermediums, Kenntnis über die Restflüssigkeitsmenge im Kollektor im entleerten Zustand (Druckentwicklung im Falle von Stagnation), Luftvolumen im System, Erhöhung der Lufttemperatur im Stagnationszustand, maximaler Betriebsdruck, etc. ermöglicht in Verbindung mit der Anwendung der allgemeinen Gasgleichung die Bestimmung des Gefäßvolumens. Unter Berücksichtigung von speziellen Aspekten betreffend Entgasungsverhalten und entsprechenden Sicherheitszuschlägen kann die Geometrie des Behälters und auch die Anschlusshydraulik festgelegt werden. Dazu wurden verschiedene Bauformen dieses Behälters diskutiert und auch hinsichtlich Anwendbarkeit für Großanlagen in der Praxis bewertet. Abbildung 21 zeigt hierzu das Ein- und Ausgabebblatt eines hierfür speziell entwickelten Excel-Tools.

In diesem Tool wird die Druckentwicklung entsprechend der Geometrie der Anlage (Kollektorzvolumen, Rohrvolumina, Volumen des Drain-Back Behälters), der Ausdehnung des Wärmeträgermediums mit der Temperatur, der Temperaturentwicklung der Gasfüllung, jedoch ohne Dampfentwicklung, gerechnet. Letztere hängt stark vom individuellen Entleerverhalten des Kollektors und dessen Einbaulage ab und kann damit nicht allgemein berücksichtigt werden, Messungen dazu siehe 8.2.4.

Sowohl die Dimensionierung der Entleereinheit für die Labortests mit den drei repräsentativen Kollektortypen als auch die Dimensionierung der Entleereinheit für die 100 m² Feldmessaanlage erfolgte unter Verwendung des gegenständlichen Berechnungswerkzeuges.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

DIMENSIONIERUNG DRAIN-BACK BEHÄLTER		
Eingabefelder sind gelb unterlegt		
Anlagenvolumen oberhalb Drain-Back Behälter		
Kollektor Inhalt je m ²	-	0,67
Kollektorfläche	m ²	25
Kollektorinhalt	l	16,8
Verbindungsleitungen bis DB-Behälter Innendurchmesser	mm	20
Verbindungsleitungen bis DB-Behälter Länge	m	8
Verbindungsleitungen Volumen	l	2,5
Sicherheit Volumsberechnung	%	5%
Auffangvolumen inkl Sicherheit	l	20,2
Reserveinhalt DB-Behälter	l	10
Gesamter Anlageninhalt		
Anlageninhalt oberhalb Drain-Back Behälter	l	20,2
Reserveinhalt Flüssigkeit im DB-Behälter	l	10,0
Inhalt Wärmetauscher	l	24
Inhalt weitere Komponenten	l	1,5
Verbindungsleitungen unter DB-Behälter Innendurchmesser	mm	16
Verbindungsleitungen unter DB-Behälter Länge	m	30
Verbindungsleitungen Volumen	l	6,0
Gesamtinhalt	l	110,9
Gesamter Anlageninhalt Medium kalt	l	61,8
Gesamter Anlageninhalt Luft kalt	l	49,1
maximaler Flüssigkeitsinhalt im DB-Behälter		
Auffangvolumen + Reserveinhalt	l	30,2
gewählter Ausdehnungskoeffizient je nach Medium	-	1,053
zusätzliches Volumen durch Erwärmung	l	3,3
maximaler Flüssigkeitsinhalt DB-Behälter		33,5
Berechnung des Druckanstieges durch Ausdehnung der Flüssigkeit und Erwärmung des Gasinhalts. Ein eventuell notwendiger Überdruck zur Vermeidung von Siedevorgängen im Kollektor, wenn er wesentlich höher als der Entleerbehälter montiert ist, ist zu berücksichtigen.		
Zustand beim Füllen und Verschließen der Anlage		
Anlagendruck auf Höhe Entleerbehälter	bar abs	2
Temperatur DB+Behälter, Flüssigkeit	°C	20
Gasvolumen (DB-Behälter + Kollektor + Leitungen)	l	49,1
Stagnationszustand 1 Gas und Flüssigkeit auf 95 °C, kein Dampf		
Temperatur DB+Behälter, Flüssigkeit	°C	95
Gasvolumen (DB-Behälter + Kollektor + Leitungen)	l	45,8
Anlagendruck bei Erwärmung auf 95°C, wenn kein Dampf	bar abs	2,69
Stagnationszustand 2 Flüssigkeit auf 95 °C, Luft auf 150 °C, kein Dampf		
Temperatur DB+Behälter, Flüssigkeit	°C	150
Gasvolumen (DB-Behälter + Kollektor + Leitungen)	l	45,8
Anlagendruck bei Erwärmung auf 95°C, wenn kein Dampf	bar abs	3,09

Geometrie DB-Behälter:		
Innendurchmesser	m	0,3
Höhe	m	0,85
Volumen	l	60,1

Volumenausdehnung von Flüssigkeiten		
Erwärmung von 20 auf 95 °C		
	Koeffizient	
Wasser		1,038
Propylenglykol 30%		1,046
Propylenglykol 40%		1,049
Tyfocon LS		1,053

Die Druckerhöhung durch Dampfentwicklung kann auf diese Weise nicht errechnet werden, da die Restflüssigkeitsmenge, die zur Verdampfung gelangt, sehr vom individuellen Entleerungsverhalten der Kollektortype abhängt. Eine entsprechende Volumsreserve muss eingeplant werden.

Abbildung 21: Ein- und Ausgabeblatt des Excel- Dimensionierungstools zur Auslegung des Behältervolumens (beispielhaft für einen Testaufbau mit 25 m² Kollektorfläche und zwei Speicher mit jeweils zwei innenliegenden Wärmetauschern am Labor der AEE INTEC)

Wie den Voruntersuchungen zu entnehmen ist, haben sich Einströmgeometrien in den Entleerungsbehälter in Form eines Doppelbogens (2 x 90°) mit über den Bögen liegender Belüftungsbohrung bewährt. Weiters sollte das Ende des Rohres im Betrieb in das Medium eingetaucht sein. Abbildung 22 zeigt hierzu den Entleerbehälter, der in den Laboruntersuchungen mit den jeweils 25 m² großen Kollektorfeldern zum Einsatz kam.



Abbildung 22: Darstellung der in den Labortests in Verbindung mit den 25 m² großen Kollektorflächen eingesetzten Entleereinheit inkl. hydraulischer Anschlüsse und Messtechnikdetails.

6.2 Bestimmung der Dimension des Fallrohres:

Basierend auf den oben beschriebenen experimentellen Untersuchungen zu Fallrohrdimensionen in Verbindung mit Einströmgeometrien in den Entleerungsbehälter und weiteren ergänzenden Messungen konnte ein allgemein gültiges Dimensionierungsdiagramm für den Fallrohrdurchmesser in Abhängigkeit vom zur gesicherten Befüllung des Fallrohres notwendigen Massenstrom (benötigter Fülldurchfluss) und des minimal möglichen Massenstroms zur Aufrechterhaltung des Anlagenbetriebs (minimal möglicher Durchfluss im Betrieb) entwickelt werden - Abbildung 23. Dieses Dimensionierungsdiagramm gilt nur für Fallleitungen, an denen sich ein 2x90° Bogen am Ende des Rohraustrittes befindet und deren Auslauföffnung unterhalb eines Flüssigkeitsspiegels liegt (geschlossenes System).

Dieser Dimensionierungsansatz wurde für die Dimensionierung der Fallleitungen und der Massenströme für die Labortests mit den drei repräsentativen Kollektortypen der folgenden Untersuchungen (25 m² Kollektorfläche) und auch für die 100 m² Feldmessaanlage verwendet.

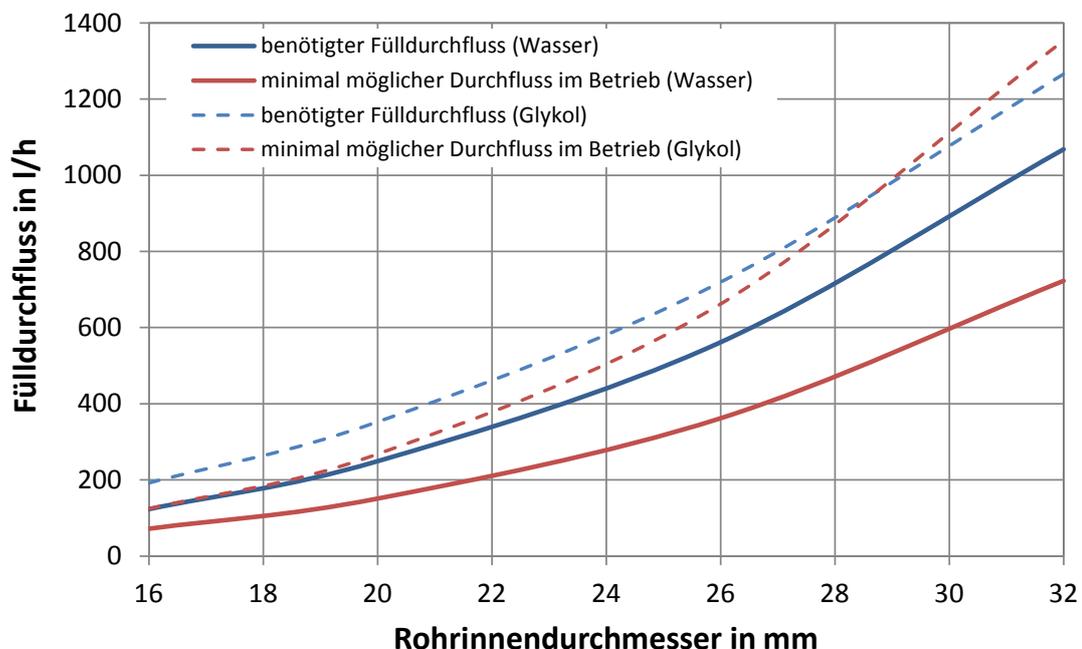


Abbildung 23: Dimensionierung des Fallrohrdurchmessers in Abhängigkeit vom Fülldurchfluss und minimal möglicher Durchfluss im Betrieb (durchgezogene Linien stehen für Wärmeträger Wasser, strichlierte Linien für Wasser-Frostschutzgemisch 60/40)

7 Betriebsanalysen unterschiedlicher Kollektorhydrauliken am Teststand der AEE INTEC in Verbindung mit einem teilentleerenden System

Es erfolgte der Aufbau eines Testsystems und Durchführung von Betriebsanalysen zweier repräsentativer Kollektorhydrauliken (eingesetzt in sechs unterschiedlichen Schaltungsverbänden zu je 25 m²) in Verbindung mit einem vollständigen teilentleerenden System am Prüfstand der AEE INTEC. Das Ziel war die Bestimmung des Einflusses von unterschiedlichen Kollektor- und Kollektorfeldhydrauliken auf das Befüll- und Entleerverhalten und auch der im Kollektor verbleibenden Restflüssigkeitsmenge und die daraus resultierende Druckentwicklung im Stagnationszustand. Ein weiteres Ziel war die Validierung der definierten Berechnungsmethoden für Fallrohrdurchmesser und Geometrie der Entleereinheit.

Zu diesem Zweck wurden sechs repräsentative Kollektorfeldhydrauliken (aufgebaut aus zwei grundsätzlich unterschiedlichen Absorbergeometrien) mit jeweils 25 m² Kollektorfläche definiert. Dabei sollte auch geprüft werden, inwieweit die in den bisherigen Laborversuchen gewonnenen Ergebnisse auf reale Solarsysteme unter Einstrahlung übertragbar sind.

Nachfolgend sind hierzu die wesentlichen Einfluss- sowie Variationsparameter zusammengefasst:

- Auswirkungen der Einstrahlungsintensität (auf Zeitdauer der Vorgänge und Druckentwicklung)
- Auswirkungen der Starttemperaturen im System und in der Entleereinheit (auf Zeitdauer der Vorgänge und Druckentwicklung)
- Auswirkungen des (Erst-) Füllvolumens auf die Druckentwicklung bei Stagnation
- Auswirkung von Restflüssigkeitsanteilen (Vollständigkeit der Entleerung) auf die Druckentwicklung bei Stagnation
- Verhalten bei überlagerten Füll- bzw. Entleervorgängen (Betriebszustandsänderungen, obwohl noch kein stationärer Zustand erreicht wurde)

7.1 Definition der repräsentativen und interessanten Kollektor- bzw. Kollektorfeldverrohrungen

7.1.1 Kollektorfeldverschaltungen

Zwei interne Kollektorhydrauliken (Mäander- und Harfenabsorber) wurden festgelegt und daraus sechs repräsentative Kollektorfeldverschaltungen zu jeweils 25 m² Kollektorfläche gebildet. Ausgang für diese Festlegung bildeten großanlagenspezifische Produkte (zwei Großflächenkollektoren zu je 12,5 m²), großanlagenspezifische Schaltungen (Serien- und Parallelschaltungen) sowie Aspekte der Entleerbarkeit. Bei Kollektortyp 1 handelt es sich um einen Kollektor mit Mäanderabsorber und horizontalen Sammelrohren. Die mit diesem Kollektor definierten Verschaltungen sind in Abbildung 24, Abbildung 25 und Abbildung 26 zusammengefasst.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

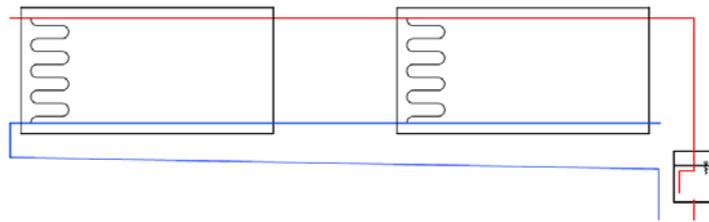


Abbildung 24: Verschaltung 1 - zwei Großflächenkollektoren mit Mäanderabsorber über ein durchgehendes Vorlauf- und Rücklaufsammelrohr verbunden (Nutzung von drei hydraulischen Anschlüssen je Kollektor)

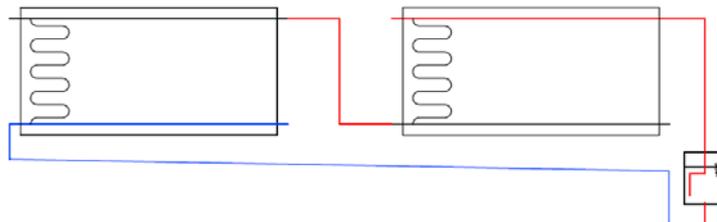


Abbildung 25: Verschaltung 2 - zwei Großflächenkollektoren mit Mäanderabsorber über eine Verbindung zwischen „Austritt Kollektor 1“ und „Eintritt Kollektor 2“ in Serie verbunden (Nutzung von nur zwei hydraulischen Anschlüssen je Kollektor)

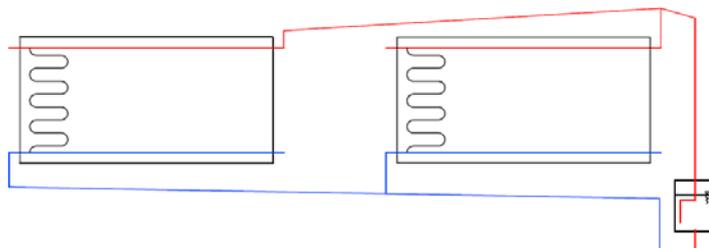


Abbildung 26: Verschaltung 3 - zwei Großflächenkollektoren mit Mäanderabsorber mit getrennten parallelen Anschlüssen über einen gemeinsamen Hochpunkt verbunden (Nutzung von nur zwei hydraulischen Anschlüssen je Kollektor)

Bei Kollektortyp 2 handelt es sich um einen Kollektor mit horizontalen Absorberrohren und vertikalen Sammelrohren (horizontaler Harfenabsorber). Die mit diesem Kollektor definierten Verschaltungen sind in Abbildung 27, Abbildung 28 und Abbildung 29 zusammengefasst.

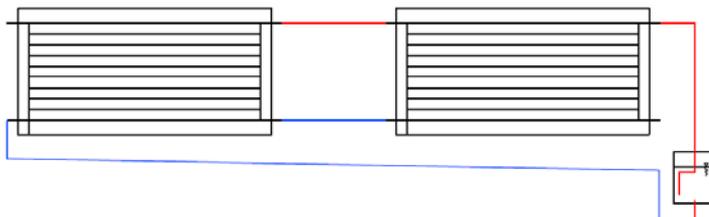


Abbildung 27: Verschaltung 4 - zwei Großflächenkollektoren mit horizontalem Harfenabsorber seriell über unterem und oberem Kollektoranschluss verbunden (Nutzung von drei hydraulischen Anschlüssen je Kollektor)

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

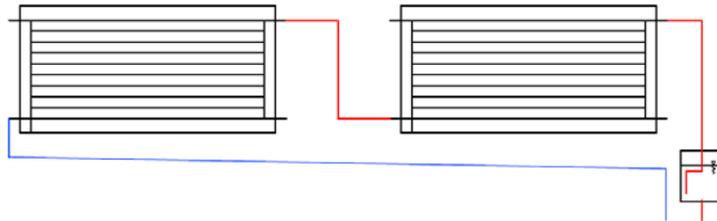


Abbildung 28: Verschaltung 5 - zwei Großflächenkollektoren mit horizontalem Harfenabsorber über eine Verbindung zwischen „Austritt Kollektor 1“ und „Eintritt Kollektor 2“ in Serie verbunden (Nutzung von nur zwei hydraulischen Anschlüssen je Kollektor)

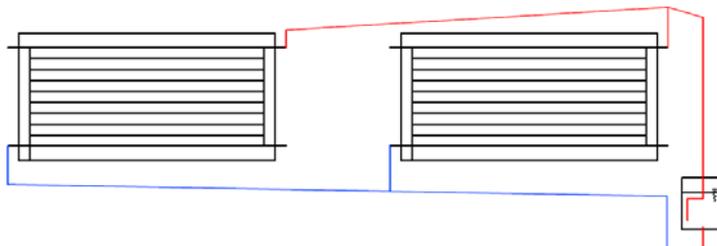


Abbildung 29: Verschaltung 6 - zwei Großflächenkollektoren mit horizontalem Harfenabsorber und getrennten parallelen Anschlüssen über einen gemeinsamen Hochpunkt verbunden (Nutzung von nur zwei hydraulischen Anschlüssen je Kollektor)

7.1.2 Interne Kollektorschaltungen - Mäander und Harfe

Bei den Kollektoren kamen Sonderbauformen eines Großflächenkollektortyps der Firma Ökotech zum Einsatz. Die Kollektoren sind mit 4 Anschlüssen ausgestattet um unterschiedliche Verschaltungsvarianten realisieren zu können.

Eine Maßskizze des Absorbers des **Mäanderkollektors** (Sonderausführung) ist in Abbildung 30 dargestellt. Für die Sammelrohre kam Cu 22x1 und für die Absorberrohre Cu 10x1 zum Einsatz. Das selektiv beschichtete Absorberblech (Cu 0,2 mm) ist mittels Ultraschall auf den Absorberrohren verschweißt. Sechs Absorberteilfelder sind in einem Großflächengehäuse untergebracht.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

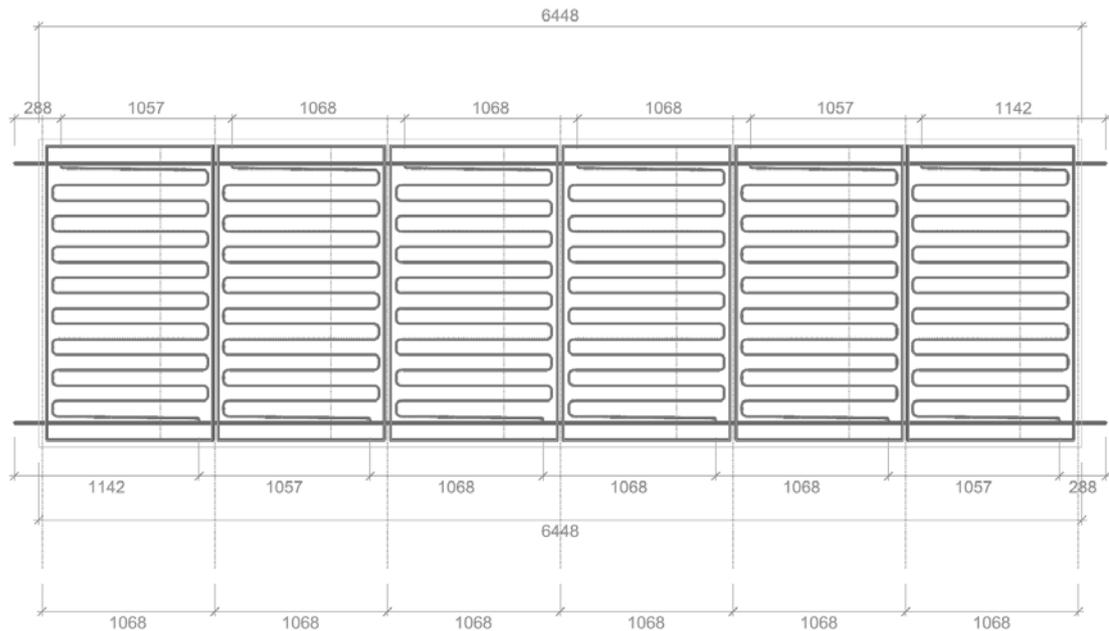


Abbildung 30: Maßskizze des Absorbers des Mäanderkollektors

Eine schematische Skizze des Absorbers des **Harfenkollektors** ist in Abbildung 31 dargestellt. Für die Sammelrohre kam Cu 28x1 zum Einsatz. Als Absorber kamen 16 Absorberstreifen (Sunstrip) der Firma Teknoterm (selektiv beschichtetes Alublech mit eingepresstem etwa trapezförmigem Cu-Rohr), wie sie auch beim Standardprodukt von Ökotech verwendet werden, zum Einsatz. Die Streifenlänge ist auf die gesamte Gehäuselänge ausgelegt. Um ein gutes Entleerungs- und Entlüftungsverhalten zu gewährleisten, mussten die Sammelrohranschlüsse, wie in Abbildung 32 gezeigt, ausgeführt werden. Durch die gleichen Höhen (Sonderausführung) von Kollektoranschlussrohr und unterstem bzw. oberstem Absorberrohr werden einerseits Flüssigkeitssäcke und andererseits Luft einschließen bei einer Serienschaltung solcher Kollektoren vermieden.

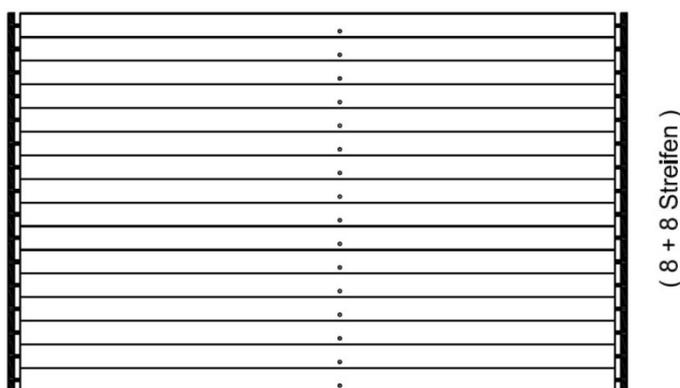


Abbildung 31: Schematische Skizze des Absorbers des Harfenkollektors

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
FFG

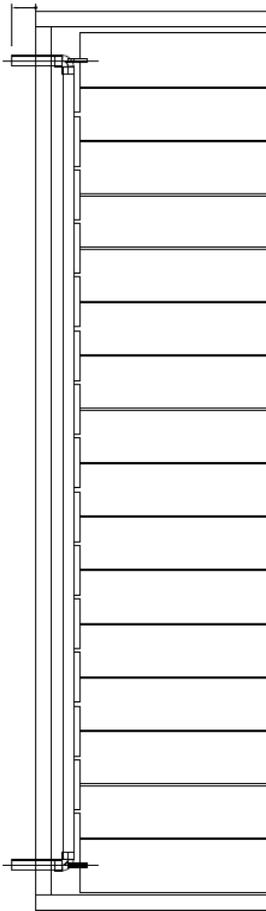


Abbildung 32: Anschlussdetails der Sammelrohranschlüsse des Absorbers des Harfenkollektors. Anschlussrohre und oberstes bzw. unterstes Absorberrohr jeweils auf gleicher Achsenhöhe.

7.2 Konzepterstellung und Umsetzung eines Testaufbaus mit Messtechnik

Für eine realitätsnahe Abbildung und für die Herstellung flexibler Ausgangszustände (Systemtemperaturen) zu unterschiedlichen Tageszeiten und unterschiedlichen Einstrahlungen, galt es ein vollständiges System mit Wärmesenke (2 Stück 300 l Speicher in Verbindung mit einem Kühlsystem), zusätzlicher Wärmequelle (Strom) und entsprechender Regelung aufzubauen. Neben dem hydraulischen und dem regelungstechnischen Versuchsaufbau erfolgte die Erstellung und der Aufbau des Messkonzeptes, welches neben der Erfassung der relevanten Systemtemperaturen und dem Volumenstrom im Primärkreis auch die Erfassung von Drücken (Absolut- und Differenzdrücke an/über Kollektorfeld, Fallrohr, Entleereinheit, Pumpe) sowie den Füllstand des Entleerbehälters hochaufgelöst (in 5 Sekunden Schritten) ermöglicht. Details zum Versuchsaufbau inkl. Messtechnik können dem Hydraulikschema in Abbildung 33 entnommen werden.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

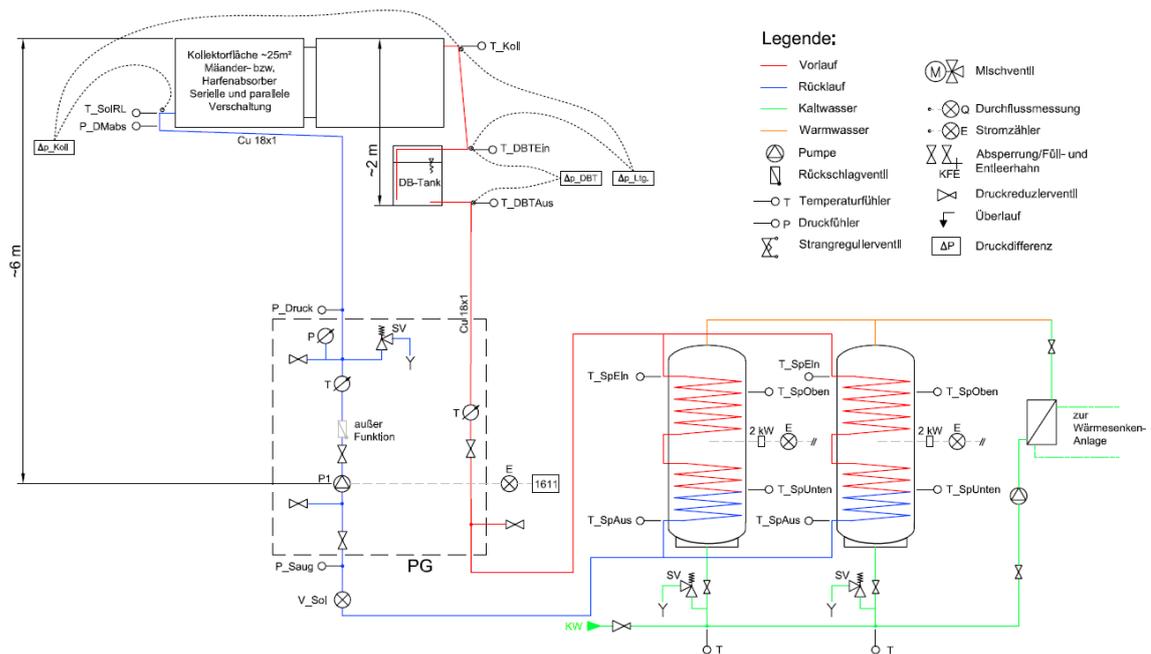


Abbildung 33: Versuchsaufbau und Messkonzept zum Laborsystem mit 25 m² Kollektorfläche (2 Großflächenkollektoren), Entleereinheit und Wärmesenke (2x300l Speicher in Verbindung mit Rückkühlung)

Durch die Teilentleerung des Systems, d. h. nur das Kollektorfeld wird bei Pumpenstillstand entleert (durch die Position des Entleerbehälters), ist für den Befüllvorgang nur diese wirksame geodätische Höhe (Höhendifferenz zwischen Kollektorober- und Unterkante ca. 2 m) zu überwinden und nicht die gesamte Höhendifferenz des Systems (ca. 6 m). Das wirkt sich auf die Pumpendimensionierung aus. Die Regelung erlaubt einen stufenlosen Betrieb der Pumpe, einen Automatikbetrieb nach Temperaturdifferenzregelung sowie eine gesteigerte Pumpendrehzahl für den Füllbetrieb. Mit den Dimensionierungsansätzen für die Entleereinheit (Volumen, Geometrien) und den Fallrohrdurchmesser konnten die kritischen Komponenten festgelegt werden. Dabei beträgt der Fallrohrdurchmesser 20 mm (Innendurchmesser) und der Inhalt des Entleerbehälters beträgt 60 l (Durchmesser 300 mm x 900 mm Länge, siehe Abbildung 22 und Abbildung 34). Der Behälter wurde für einen maximal zulässigen Betriebsdruck von 6 bar (Prüfdruck 9 bar) und eine max. Betriebstemperatur von 95°C ausgelegt. Als Behältermaterial wurde Edelstahl gewählt. Eine Wärmedämmung aus Kautschuk wurde nach ersten Testversuchen am Prüfstand vor Ort aufgebracht.



Abbildung 34: Ansicht der in den Labortests in Verbindung mit den 25 m² großen Kollektorflächen eingesetzten Entleereinheit (ungedämmt und gedämmt) mit Füllstandssensor (rot)

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Ansichten zum fertigen Versuchsaufbau sind in Abbildung 35 (Prüfstand am Labordach) und Abbildung 36 (Systemhydraulik) gezeigt.



Abbildung 35: Ansicht des 25 m² großen Kollektorfeldes - und des Entleerbehälters (Verschaltung 1, Mäanderabsorber) am Prüfstand von AEE INTEC

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

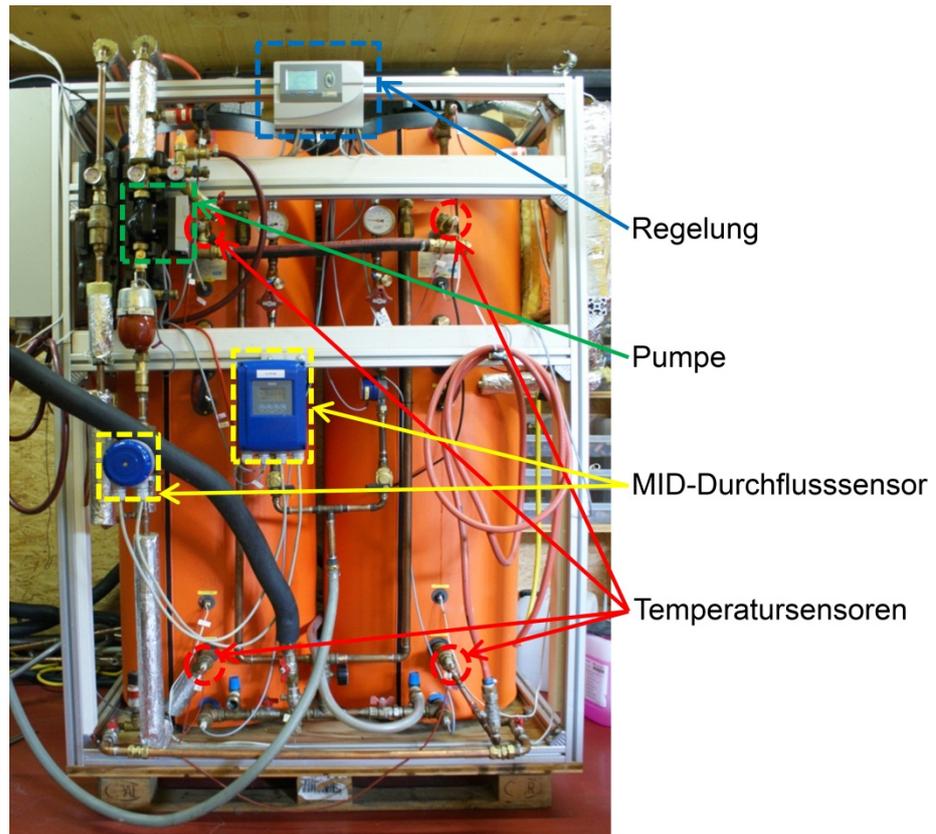


Abbildung 36: Ansicht der Systemhydraulik, der 2 x 300 l Speichereinheit und messtechnischer Komponenten im Versuchslabor von AEE INTEC

7.2.1 Dimensionierung der Falleitung

Die erarbeiteten Dimensionierungsrichtlinien (Kapitel 6.2) ergaben für den Versuchsaufbau bei den für den Normalbetrieb nötigen Durchflussmengen eine Rohrdimension Cu 22x1 für die Falleitung (Abbildung 37). Die beiden 90° Umlenkbögen innerhalb des Gefäßes begünstigen den Füllvorgang (Abbildung 22). Diese Leitung besitzt noch innerhalb des Gefäßes eine Bohrung, die einerseits den Start der Entleerung ermöglicht, andererseits jedoch bei Normaldurchfluss die Strömung kaum beeinflusst.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

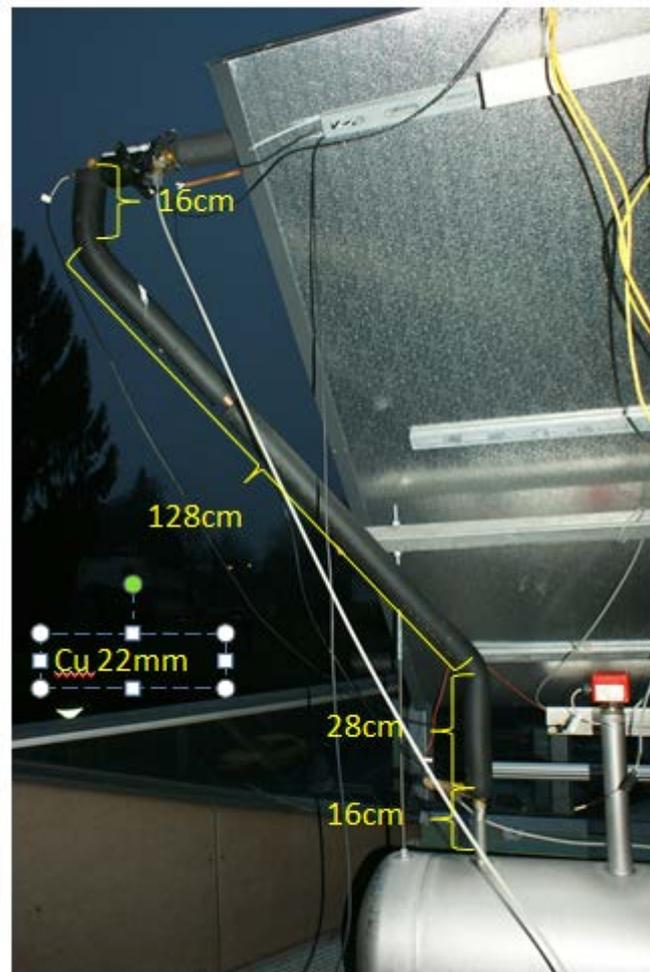
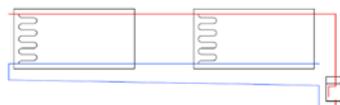


Abbildung 37: Ausführung der Falleitung

7.3 Durchführung von Versuchsreihen am Laborsystem (25 m²) bei AEE INTEC

Beispielhaft für die große Zahl der für die unterschiedlichen Systeme durchgeführten Messungen sind für die Kollektorfeldhydraulik Verschaltung 1 in den folgenden Abbildungen einige Messungen gezeigt.



Mäanderkollektorvariante 1

Weitere Messungen zu den Verschaltungsvarianten 2 bis 6 sind dem Anhang C zu entnehmen.

In Abbildung 38 ist beispielhaft ein **Füllvorgang** im Automatikbetrieb und bei Strahlungsintensitäten von 800 bis 900 Watt dargestellt. Nachdem die Kolleortemperatur über die untere Speichertemperatur angestiegen ist, schaltet die Pumpe mit maximaler Drehzahl ein (10:12:45, vertikale grüne Linie). Um 10:13:00 ist der maximale Durchfluss (630 l/h) erreicht. Danach fällt dieser mit zunehmender Füllung der Rücklaufleitung und des Kollektors wieder leicht ab. Um 10:15:00 ist der Kollektor gefüllt, bis dahin hat der Füllstand im Entleerbehälter kontinuierlich abgenommen und das Befüllen und Entlüften der Fallrohrleitung

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

findet statt wie am steilen Anstieg des Differenzdruckes der Falleitung (gelber Verlauf) zu erkennen ist. Dabei steigt der Durchfluss durch die unterstützende (saugende) Wirkung der Falleitung an und erreicht wieder nahezu konstant 630 l/h.

Um 10:15:30 ist der Füllvorgang der Falleitung abgeschlossen und ab diesem Zeitpunkt kann man von einem hydraulisch stationären Betriebszustand sprechen, da die Anlage vollständig gefüllt und entlüftet ist (vertikale rote Linie). Zehn Minuten nach dem Start der Pumpe wird diese im Automatikbetrieb auf die verminderte Drehzahl für den Dauerbetrieb (notwendiger Dimensionierungs-Volumenstrom, mindestens damit die Falleitung gefüllt bleibt) gestellt (vertikale blaue Linie). Der Durchfluss beträgt dann 500 l/h. Die Differenzdrücke am Kollektor und an der Falleitung zeigen, dass rund 130 Sekunden nach dem Pumpenstart der Kollektor gefüllt ist und nach weiteren rund 35 Sekunden die Falleitung. Der gesamte Füllvorgang dauert somit rund 165 Sekunden. Etwa 15 Minuten nach Pumpenstart haben auch die Temperaturen stabile Werte erreicht.

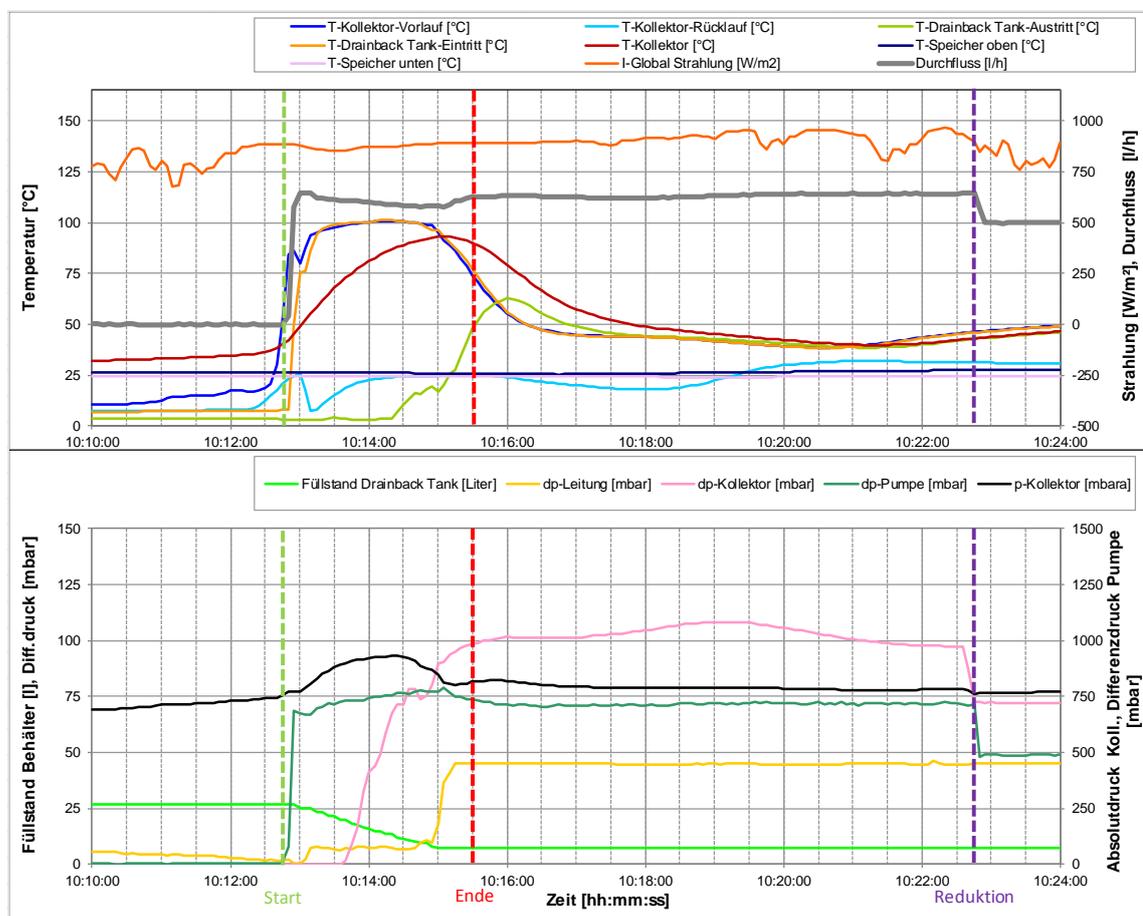


Abbildung 38: Beispielhafte Messung zu einem Befüllvorgang zum Verschaltungsbeispiel 1 (parallele Mäanderabsorber mit direkt verbundenen Vorlauf- und Rücklaufsammelrohren)

Abbildung 39 zeigt einen repräsentativen **Entleervorgang** bei durchschnittlichen Strahlungsleistungen von rund 600 W/m². Die Solaranlage wurde an diesem Tag im Automatikbetrieb betrieben und die Pumpe hat sich um 15:09:00 ausgeschaltet. Der Entleervorgang setzt dabei unmittelbar ein. Der dabei erzielte Durchfluss erreicht 15 Sekunden nach dem Start seinen höchsten negativen Wert mit -255 l/h und sinkt anschließend kontinuierlich bis 15:16:00 auf -100 l/h. Um 15:17:30 ist der Entleervorgang beendet (vertikale rote Linie). Dementsprechend steigt der Füllstand im Entleerbehälter mit sinkender Geschwindigkeit

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

kontinuierlich von 8 auf 28 l an. Am Verlauf der Differenzdrücke ist zu erkennen, dass die Fallleitung bereits nach etwa 10 Sekunden entleert ist. Der Verlauf des Differenzdruckes an der Pumpe erklärt sich aus dem Reibungsdruckverlust, der nun in umgekehrter Richtung durch die Pumpe strömenden Flüssigkeit. Die Kollektorrücklauftemperatur steigt von anfangs 75 °C auf etwa 85 °C an (im Kollektor bereits erwärmte Flüssigkeit). Da die Solarstrahlungsleistung vom Startzeitpunkt des Entleervorganges kontinuierlich absinkt, kommt es zu keiner Verdampfung von Restflüssigkeit im Kollektor (deutlich ersichtlich am praktisch konstant verlaufenden Systemdruck von 1,25 bar absolut). Der gesamte Entleervorgang benötigte unter diesen Rahmenbedingungen etwa 8 Minuten und 30 Sekunden und verlief grundsätzlich wie erwartet unproblematisch.

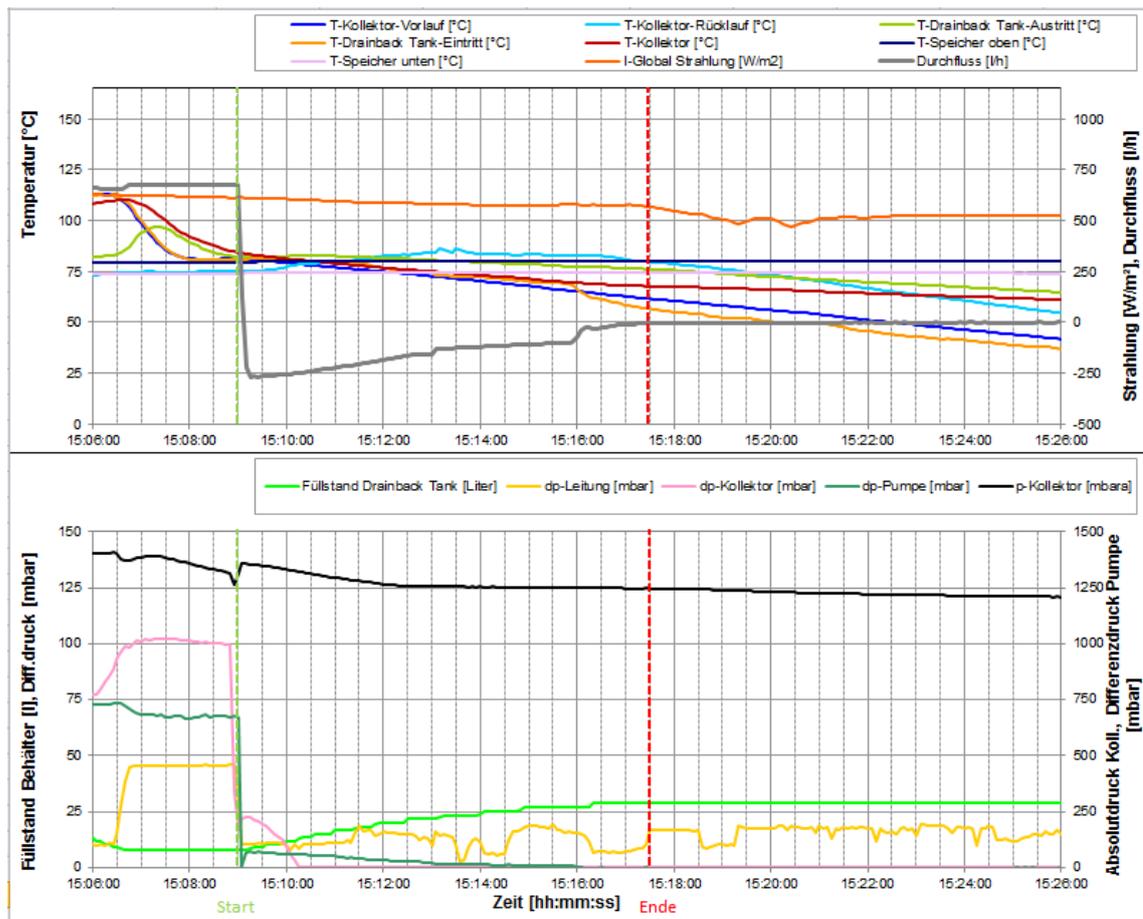


Abbildung 39: Beispielhafte Messung zu einem Entleervorgang zugehörig zum Verschaltungs-beispiel 1 ohne merkbare Dampfentwicklung (parallele Mäanderabsorber mit direkt verbundenen Vorlauf- und Rücklaufsammlerohren)

In Abbildung 40 ist ein weiterer **Entleervorgang**, diesmal aber mit anschließendem **Stagnationszustand** bei hoher Strahlungsleistung (etwa 1000 W/m²) dargestellt. Die grundsätzlichen Abläufe sind bis zum Ende des Entleervorganges prinzipiell gleich wie vorhin beschrieben (Abbildung 39). Aufgrund der hohen Strahlungsleistung steigen Temperaturen und Druck dann allerdings kontinuierlich an. Als maximaler Druck wurden 2,5 bar (absolut) bei einer Temperatur von 133 °C erreicht. Es besteht noch ausreichend Sicherheitsreserve bis zum Ansprechen des Sicherheitsventils (6 bar).

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

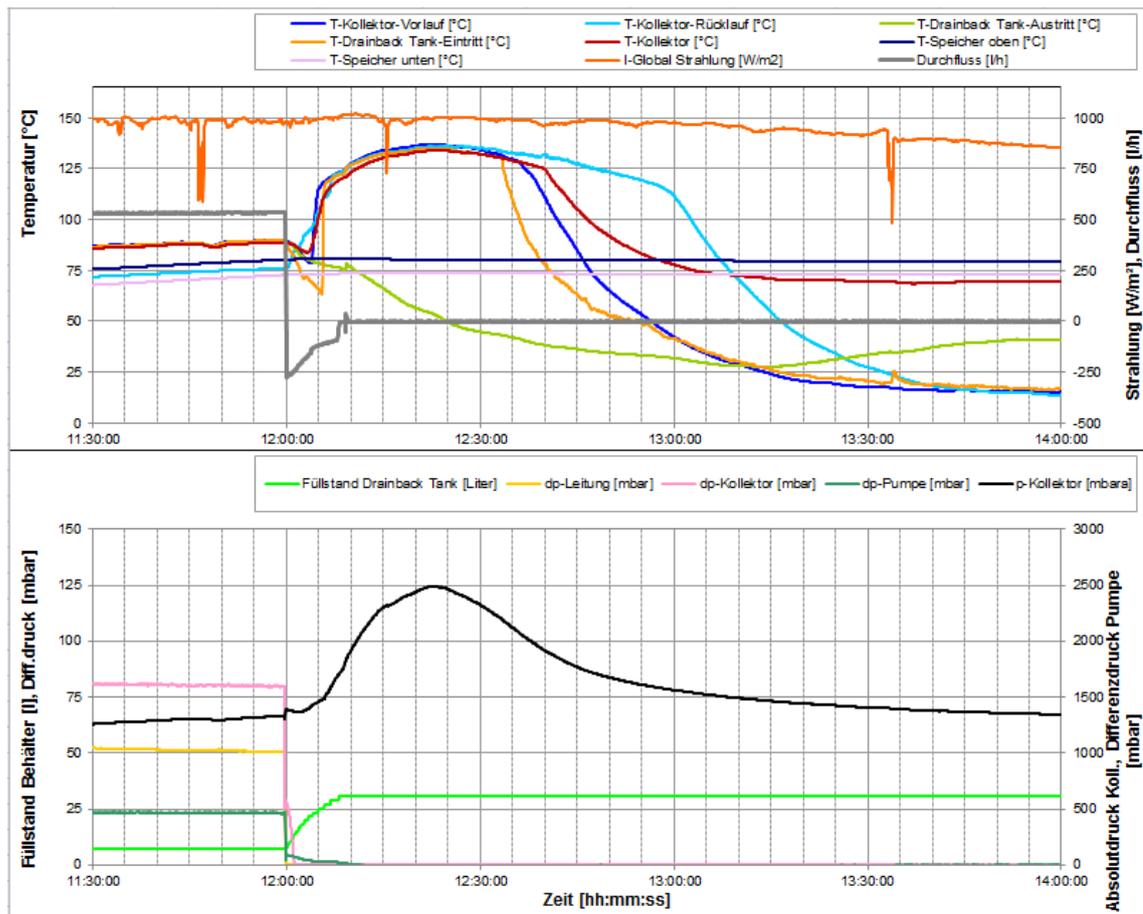


Abbildung 40: Beispielhafte Messung zu einem Entleervorgang mit anschließendem Stagnationszustand mit deutlicher Dampfentwicklung zugehörig zum Verschaltungsbeispiel 1 (parallele Mäanderabsorber mit direkt verbundenen Vorlauf- und Rücklaufsammelrohren)

7.4 Untersuchungsergebnisse der Laborversuchsreihen (25 m²)

7.4.1 Einflussanalyse

Anhand der Verschaltungsvariante 1 (Parallelschaltung des Mäanderkollektors), bei der umfangreiche Messungen während der strahlungsarmen Wintermonate gemacht werden konnten, wurden die Einflüsse der Rücklauftemperatur (Speichertemperatur), der Strahlungsleistung und des Druckes auf das Füll-, Entleerungs- und Stagnationsverhalten ermittelt. Die Messergebnisse sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

7.4.1.1 Füllvorgang

Die Abhängigkeit der Füllzeit von der Temperatur im Speicher zeigt Abbildung 41. Es wurde unterschieden nach erstem Füllvorgang und weiteren Füllvorgängen je Tag. Man erkennt, dass die Füllzeit deutlich mit steigender Temperatur abnimmt. Das kann durch sinkende Viskosität des Wärmeträgermediums (Tyfocor LS - Propylenglykol-Wasser Mischung) erklärt werden.

Der Unterschied in den Füllzeiten der 1. Füllvorgänge und der aller anderen Füllvorgänge ist temperaturbedingt. Im ersten Umlauf des Wärmeträgermediums ist überwiegend abgekühltes höherviskoses Medium in den Rohrleitungen. Bei weiteren Füllvorgängen sind das Medium und die Rohrleitungen bereits erwärmt und die Füllzeiten nehmen demnach ab.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

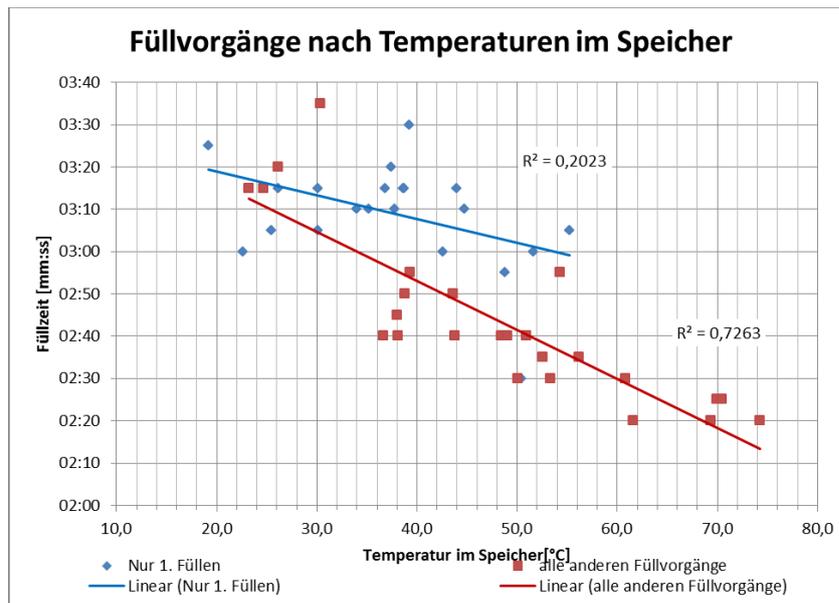


Abbildung 41: Abhängigkeit der Füllzeit von der Speicher- (Rücklauf-)Temperatur für die Verschaltungsvariante 1

7.4.1.2 Entleervorgang

Die Auswertung der Abhängigkeit der Entleerungszeit von der Rücklauftemperatur zeigt keinen statistisch gesicherten Zusammenhang. Die Abhängigkeit der Entleerungszeit von der Strahlungsleistung ist gering (Abbildung 42), die Entleerungszeit nimmt nur gering mit der Strahlungsleistung zu. Letzteres kann dadurch verursacht sein, dass mit steigender Strahlungsleistung die Trocknung des Kollektors zunehmend vollständiger ausfällt und dies auch noch später zu einem Füllstandsanstieg führt. Es gibt auch keine wesentlichen Unterschiede zwischen ersten und weiteren Füll-/Entleervorgängen.

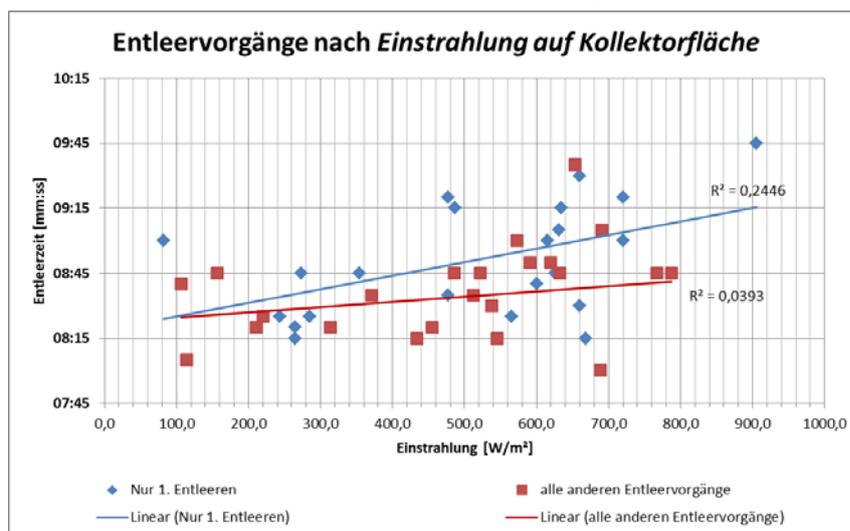


Abbildung 42: Abhängigkeit der Entleerungszeit von der Strahlungsleistung für die Verschaltungsvariante 1

Aufgrund der geringen bzw. unwesentlichen Abhängigkeiten von den Parametern Strahlungsleistung und Rücklauftemperatur kann angenommen werden, dass sich diese auch

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

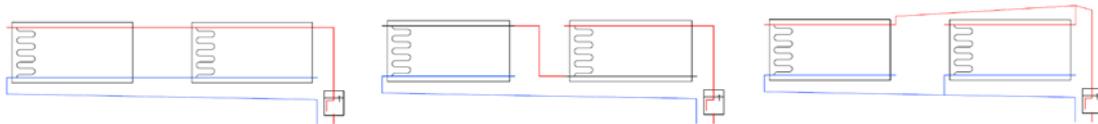
in ähnlicher Weise für die übrigen Verschaltungsvarianten verhalten und somit die Anzahl der Messversuche erheblich reduziert werden konnten.

Gegenüberstellende Messdiagramme zu diesen Einflussanalysen sind in Anhang C. 10 dargestellt.

7.4.2 Vergleich Schaltungsvarianten 1 bis 3 - Mäanderkollektor

Bei den vergleichenden Darstellungen der Schaltungsvarianten wurden Messdaten ausgewählt, bei denen die solare Strahlung im Mittel vergleichbare Größe hatte.

In Anhang C. 11 sind Messdiagramme für die Varianten 1 bis 3 gegenüber gestellt.



Mäanderkollektorvarianten 1 bis 3

7.4.2.1 Vergleich der Füllvorgänge der Varianten 1 bis 3

Generell ist die Variante 1 am schnellsten stabil befüllt. Sie zeigt auch keine durch Luftblasen verursachten, länger andauernden Durchflussschwankungen, wie die beiden anderen Varianten. Die Varianten 2 und 3 sind nur durch die länger dauernde vollständige Entlüftung benachteiligt. Die Entleerungsgeschwindigkeiten des Entleerbehälters sind gleich groß. Mit steigender Rücklauftemperatur nimmt die Zeitdauer der durch Luftblasen verursachten Durchflussschwankungen ab.

7.4.2.2 Vergleich der Entleerungsvorgänge der Varianten 1 bis 3

Der Vergleich der Entleerungsvorgänge zeigt, dass diese nicht, bis nur sehr wenig von der Rücklauftemperatur abhängen. Große Unterschiede im Entleerverhalten ergeben sich jedoch für die Verschaltungsvarianten. Variante 1 erreicht am Ende des Entleerungsvorganges einen Entleerbehälter-Füllstand von etwa 29 l, Variante 3 von etwa 23 l und Variante 2 von etwa 20 bis 21,5 l. Bei den beiden letzten Varianten ist damit noch eine größere Menge Restflüssigkeit in den Sammel- und auch Absorberrohren.

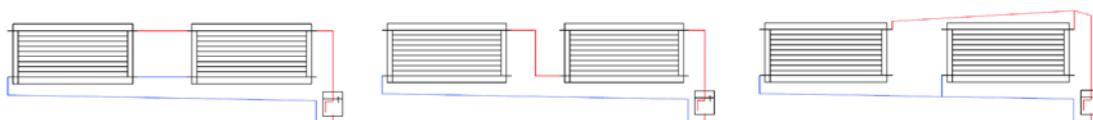
7.4.2.3 Vergleich der Stagnationsvorgänge der Varianten 1 bis 3

Bedingt durch die unterschiedlichen Restflüssigkeitsmengen nach der Entleerung ist die Druckentwicklung deutlich unterschiedlich. Die gut entleerende Variante 1 (höchster Entleerbehälter-Füllstand) hat das geringste Druckmaximum, die am schlechtesten entleerende Variante 2 das höchste Druckmaximum. Bei dieser sind auch kurzfristige Rückströmungen über die Rücklaufleitung in den Kollektor 1 zu beobachten.

7.4.3 Vergleich Schaltungsvarianten 4 bis 6 - Harfenkollektor

Bei den vergleichenden Darstellungen der Schaltungsvarianten wurden Messdaten ausgewählt, bei denen die solare Strahlung im Mittel etwa vergleichbare Größe hatte.

In Anhang C. 12 sind Messdiagramme für die Varianten 4 bis 6 gegenüber gestellt.



Harfenkollektorvarianten 4 bis 6

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

7.4.3.1 Vergleich der Füllvorgänge der Varianten 4 bis 6

Variante 4 und 6 sind am schnellsten stabil befüllt. Variante 5 zeigt eine geringere Entleerungsgeschwindigkeit des Entleerbehälters und wahrscheinlich auch eine längere Entlüftungsdauer.

7.4.3.2 Vergleich der Entleerungsvorgänge der Varianten 4 bis 6

Variante 5 entleert am schlechtesten - Variante 4 und 6 entleeren besser.

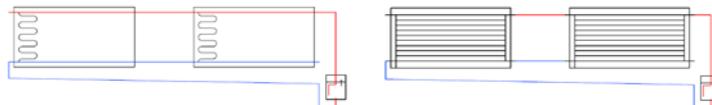
7.4.3.3 Vergleich der Stagnationsvorgänge der Varianten 4 bis 6

Variante 5 zeigt gegenüber den Varianten 4 und 6 ein deutlich ungünstigeres Stagnationsverhalten mit höherer Druckentwicklung und länger andauernden unvollständigen Entleerungsabläufen. Die Varianten 4 und 6 waren im Stagnationsverhalten hingegen etwa gleichwertig und günstig.

7.5 Vergleich zwischen Mäanderkollektor und Harfenkollektor bei gleichartigen Verschaltungsarten

7.5.1 Vergleich zwischen Verschaltung 1 und 4

In den folgenden Gegenüberstellungen werden beim Mäanderkollektor die reine Parallelschaltung mit dem Harfenkollektor mit oben und unten verbundenen Sammelleitungen verglichen.



Mäanderkollektor Variante 1 – Harfenkollektor Variante 4

7.5.1.1 Füllvorgang - Vergleich Verschaltung 1 und 4

Die Füllvorgänge erfolgen sehr rasch und unterscheiden sich nur wenig, wobei die Harfe etwas längere Füllzeit benötigt. Der Durchfluss ist in beiden Fällen sehr rasch stabil, es treten keine länger dauernden Entlüftungsphasen auf.

7.5.1.2 Entleerungsvorgang - Vergleich Verschaltung 1 und 4

Beide Entleerungsvorgänge sind sehr unterschiedlich. Die Mäanderkollektoren entleeren wesentlich besser und benötigen dafür jedoch eine längere Zeit. Die Harfenkollektoren unterbrechen den Entleerungsvorgang bei einem niedrigen Füllstand im Entleerbehälter bereits nach kurzer Zeit. Die anfängliche Entleerungsgeschwindigkeit ist bei beiden Typen gleich.

7.5.1.3 Stagnationsvorgang - Vergleich Verschaltung 1 und 4

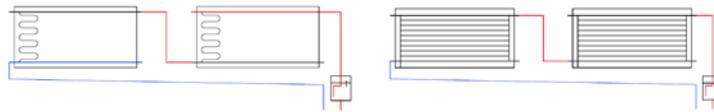
Die Stagnationsvorgänge erfolgen mit unterschiedlicher Druckentwicklung. Der unvollständiger entleerende Harfenkollektor erreicht einen höheren Maximaldruck und der Stagnationsvorgang dauert länger.

7.5.2 Vergleich zwischen Verschaltung 2 und 5

In den folgenden Gegenüberstellungen werden die Serienschaltungen der Mäanderkollektoren und der Harfenkollektoren miteinander verglichen.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



Mäanderkollektor Variante 2 – Harfenkollektor Variante 5

7.5.2.1 Füllvorgang - Vergleich Verschaltung 2 und 5

Die Fallleitung des Harfenkollektors füllt sich wesentlich später; trotzdem stabilisiert sich der Durchfluss rascher.

7.5.2.2 Entleerungsvorgang - Vergleich Verschaltung 2 und 5

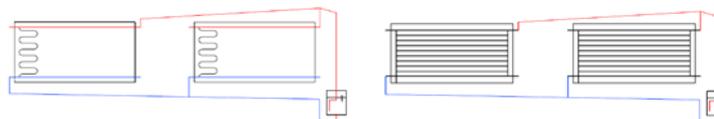
Beide Entleerungsvorgänge erfolgen unvollständig und unterschiedlich. Die Harfen entleeren sehr unvollständig in einer relativ kurzen Zeit. Die Mäander entleeren gering günstiger in wesentlich längerer Zeit.

7.5.2.3 Stagnationsvorgang - Vergleich Verschaltung 2 und 5

Beide Stagnationsvorgänge erfolgen mit unterschiedlicher Druckentwicklung. Der Mäanderkollektor entleert vollständiger, hat ein niedrigeres Druckmaximum und hat einen kürzeren Stagnationsverlauf (alles verursacht durch geringere Restflüssigkeitsmengen). Beide Varianten zeigen deutlich Rückströmungen vom Entleerbehälter zum Kollektor während Stagnation.

7.5.3 Vergleich zwischen Verschaltung 3 und 6

In den folgenden Gegenüberstellungen werden parallel geschaltete Kollektoren mit gemeinsamem Hochpunkt miteinander verglichen.



Mäanderkollektor Variante 3 – Harfenkollektor Variante 6

7.5.3.1 Füllvorgang - Vergleich Verschaltung 3 und 6

Beide Füllvorgänge erfolgen relativ rasch, wobei jedoch die Mäanderkollektoren länger dauernde Durchflussschwankungen (Entlüftung?) zeigen, obwohl die Fallleitung rascher gefüllt war als bei den Harfen.

7.5.3.2 Entleerungsvorgang - Vergleich Verschaltung 3 und 6

Die Entleerungsvorgänge erfolgen nur gering unterschiedlich. Die Mäanderkollektoren entleeren langsamer aber vollständiger als die Harfenkollektoren.

7.5.3.3 Stagnationsvorgang - Vergleich Verschaltung 3 und 6

Beide Stagnationsvorgänge sind als etwa gleich zu beurteilen.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

7.6 Tabellarische Übersicht der Eigenschaften der Verschaltungsvarianten

Tabelle 1: Allgemeine Gegenüberstellung der Eigenschaften der Verschaltungsvarianten in Bezug auf Füllen, Entleeren und Stagnation.

Variante	Mäander			Harfe		
	1	2	3	4	5	6
	parallel geschaltet	In Serie geschaltet	parallel mit Hochpunkt	seriell oben u. unten verbunden	in Serie geschaltet	parallel mit Hochpunkt
Füllvorgang						
Füllzeit	gering	sehr hoch	mittel/hoch	gering	mittel	gering
Entlüftung der Verschaltung bis sich Durchfluss vollständig stabilisiert	gut	schlecht	mittel	gut	mittel	gut
Entleerungsvorgang						
Entleerung ohne Strahlung	sehr gut	mittel/schlecht (unvollständig [60%])	gut/mittel (unvollständig [70%])	mittel/schlecht (unvollständig [60%])	schlecht (unvollständig [35%])	mittel/schlecht (unvollständig [60%])
Entleerungszeit und Vollständigkeit (bei mittlerer bis hoher Strahlung)	mittel (vollständig)	hoch (und unvollständig [65%])	mittel (aber unvollständig [80%])	gering (aber unvollständig [65%])	gering (aber unvollständig [40%])	gering (aber unvollständig [65%])
Vollständigkeit Entleerung bei hoher Strahlung (vor Stagnation)	sehr schnell und vollständig	Mittelschnell, aber vollständig	schnell und vollständig	langsam/mittel aber vollständig	langsam und unvollständig	sehr schnell/schnell und vollständig
Stagnationsvorgang						
Druckentwicklung (bei Strahlung = 910 -950W/m ²)	gering	mittel	mittel	mittel	sehr hoch	gering/mittel
Rückströmung, Pendeln*)	nein	ja	nein	nein	ja	nein
Allgemeine Eignung für teilentleerendes Drain-Backsystem						
	sehr gut geeignet	wenig geeignet	geeignet	geeignet	wenig geeignet	geeignet

*) Rückströmung (Pendeln der Strömung) wird verursacht durch nicht vollständige Entleerung von konkurrierenden Flüssigkeitssäulen (Rohrstrecken), wie sie bei der Serienschaltung auftreten können. Das Fallrohr 1 und Sammelrohr 2 wird nicht vollständig entleert, es besteht keine durchgehende Verbindung für Luft bzw. Dampf von Kollektoreintritt zu Kollektoraustritt.

Generell ist die Entleerung des Harfenkollektors benachteiligt durch folgende geometrische Unterschiede zum Mäanderkollektor:

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

- Trapezförmige Ausformung der Strömungskanäle. In den dadurch gebildeten keilförmigen Teilbereichen des Querschnitts wird eine größere Menge des höherviskosen Wärmeträgermediums haften bleiben.
- Längere horizontal verlaufende Rohrstrecken die eher zum Durchhängen neigen, als die kürzeren horizontalen Rohrstrecken des Mäanders.

Ein Harfenkollektor mit runden Rohrquerschnitten könnte deshalb etwas bessere Ergebnisse liefern als der hier verwendete.

7.7 Zusammenfassung der Ergebnisse der Laborversuchsreihen

Sechs unterschiedliche Verschaltungsvarianten von Kollektoren wurden experimentell auf ihre **Eignung für ein teilentleerendes geschlossenes Großflächensolarsystem** untersucht. Dabei wurde ein Mäanderkollektortyp einem Harfenkollektortyp mit horizontalen Absorberrohren gegenübergestellt, wie sie derzeit bei konventionellen Großanlagen überwiegend gebräuchlich sind. Beide Typen erwiesen sich als geeignet, wenn einige Kriterien bei der Konzeption der Verschaltung eingehalten werden.

Die Verschaltungsvarianten waren:

Mäanderkollektor:

- Parallelschaltung
- Serienschaltung mit zwischenliegendem Fallrohr
- Parallelschaltung mit gemeinsamem Hochpunkt

Harfenkollektor mit horizontalen Absorberrohren:

- Serienschaltung über oben und unten verbundenem Sammelrohr
- Serienschaltung mit zwischenliegendem Fallrohr
- Parallelschaltung mit gemeinsamem Hochpunkt

Folgende wesentliche Ergebnisse wurden aus den Messungen gewonnen:

- Grundsätzlich muss durch Schwerkraft eine Entleerungsmöglichkeit in Richtung Kollektoreintritt (Rücklaufleitung) gegeben sein. Das bedingt horizontale oder durchwegs in Richtung Rücklaufleitung fallende Rohrleitungsführung ohne zwischenliegende „Flüssigkeitssäcke“.
- Damit entfallen rein serielle Verschaltungen mit zwischenliegenden Fallrohren. Diese bringen zwar bei konventionellen Anlagen noch günstiges Stagnationsverhalten, verhindern aber bei Drain-Backsystemen ein vollständiges Entleeren wenn das Strahlungsangebot zu nieder ist.
- Mäanderkollektoren erweisen sich als etwas günstiger als Harfen mit langen horizontalen Absorberrohren, da erstere auf Fehlansrichtungen beim Einbau (Einbautoleranzen) weniger kritisch reagieren.
- Runde Absorberrohrquerschnitte sind etwas günstiger als trapezförmige, da das höherviskose Wärmeträgermedium leichter und schneller abfließen kann.
- Die reine Parallelschaltung von Mäanderkollektoren über deren obere und untere Sammelrohre zeigt die kürzesten Füll- und Entleerungszeiten, sehr kurze

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
FFG

Entlüftungszeiten, sehr geringe Restflüssigkeitsmengen und damit nur niedrige Druckentwicklung im Stagnationsfall, die auch schneller wieder abklingt. Diese Parallelschaltung setzt aber bei horizontaler Sammelleitungsführung niedrige Einbautoleranzen voraus; leicht in Richtung Rücklauf führendes Gefälle ist günstig.

- Die Serienschaltung von Harfen mit horizontalen Absorberrohren über deren oben und unten verbundene Sammelrohre zeigt ebenfalls günstiges Verhalten. Diese Serienschaltung setzt aber bei horizontaler Absorberrohrführung niedrige Einbautoleranzen voraus, leicht in Richtung Rücklauf führendes Gefälle ist günstig. Ebenso günstig ist, wenn das unterste bzw. oberste Absorberrohr in gleicher Höhe wie die Sammelrohrverbindung zum anschließenden Kollektor verläuft.
- Eine Parallelschaltung von Mäander- oder Harfenkollektoren mit individuellen Anspeisungsrohren aus der Rücklaufleitung und individuellen Leitungen zu einem gemeinsamen Hochpunkt am Vorlauf ist ebenfalls günstig, hat jedoch gegenüber der reinen Parallelschaltung von Mäanderkollektoren etwas ungünstigeres Verhalten, wie z.B. längere Entlüftungszeiten und höhere Druckentwicklung im Stagnationsfall. Diese Verschaltungsart erlaubt aber größere Fertigungstoleranzen bei der Aufständering.
- Die in Kapitel 6 definierten Dimensionierungsansätze für das Volumen des Entleerbehälters und die Dimension des Fallrohres konnten mittels der gegenständlich am Laborversuchsaufbau durchgeführten Messreihen bestätigt werden.

8 Systemuntersuchungen an einer realen und repräsentativen solarthermischen Großanlage im Feld

8.1 Auswahl einer Feldanlage >100 m² Kollektorfläche

Die in den bisherigen Arbeiten gewonnenen Erkenntnisse sollten in einer realen Anlage umgesetzt und messtechnisch begleitet werden. Folgende Aspekte mussten bei der Auswahl der Demoanlage berücksichtigt werden:

- Kollektor und auch das gesamte Kollektorfeld muss selbstentleerend sein
- Leitungen zwischen Kollektoren und Drain-Back Behälter müssen fallend verlegt werden
- Der Entleerbehälter muss tiefer situiert sein als die Kollektoren
- Einsatz geeigneter leistungsstarker Pumpen, welche die geodätische Höhe beim Befüllen überwinden können.

Des Weiteren war freier Zugriff auf die ausgewählte Anlage notwendig, um entsprechende Versuche durchführen zu können und es musste auch die Möglichkeit bestehen, bereits in der Planungsphase mitwirken zu können, um sämtliche Details bezüglich der Ausführung als teilentleerendes System berücksichtigen zu können. Hierbei galt es vor allem folgende Punkte zu beachten:

- Umsetzungsplan des in Frage kommenden Projektes im Vergleich mit dem Projektzeitplan
- Welche Kollektorhydraulik wird verwendet und wo befinden sich die Kollektoranschlüsse? (entscheidend für die Selbstentleerung des Kollektors)
- Wie erfolgt die Verschaltung der einzelnen Kollektoren?
- Wie sind die baulichen Gegebenheiten des Gebäudes?
 - Platzbedarf für Drain-Back Behälter
 - Wie kann die Rohrführung zu den Kollektoren bzw. zum Technikraum erfolgen
- Geografische Lage der Demoanlage im Großraum von Graz, damit eine bestmögliche Betreuung der Anlage und auch der Versuchsdurchführungen ohne großen Reiseaufwand für das Projektteam gewährleistet werden kann

Aus einer Mehrzahl recherchierter Möglichkeiten Messungen an einer realen großen Feldanlage durchzuführen, konnte zuletzt die im Folgenden beschriebene Anlage ausgewählt und realisiert werden.

Das Installationsunternehmen Roth plante konkret in seiner Filiale südlich von Gleisdorf die Errichtung einer 100 m² großen Kollektoranlage. Die Anordnung war auf dem Flachdach eines Hackgutlagerraumes und einer Heizzentrale geplant (siehe Abbildung 43). Die Solaranlage speist dabei in einen Pufferspeicher in der Heizzentrale und von dort aus in ein Nahwärmenetz, über welches das Installationsunternehmen selbst und auch der restliche Gewerbepark mit Wärme versorgt werden. Neben den guten technischen Rahmenbedingungen erwies sich auch der Umsetzungszeitplan (März 2013) als sehr günstig. Da die Anlage in den Sommermonaten

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

eher einen geringen Wärmeverbrauch aufweist, zeigte auch der Anlagenerrichter großes Interesse am technischen Konzept teilentleerender Systeme.



Abbildung 43: Ansicht der Heizzentrale (rechts) und des Hackgutlagerraumes (links) – die Heizzentrale zur Versorgung eines Gewerbeparks wird vom Installationsbetrieb Roth 3 km südlich von Gleisdorf betrieben

Die Systemhydraulik und das messtechnische Konzept können Abbildung 44 entnommen werden.

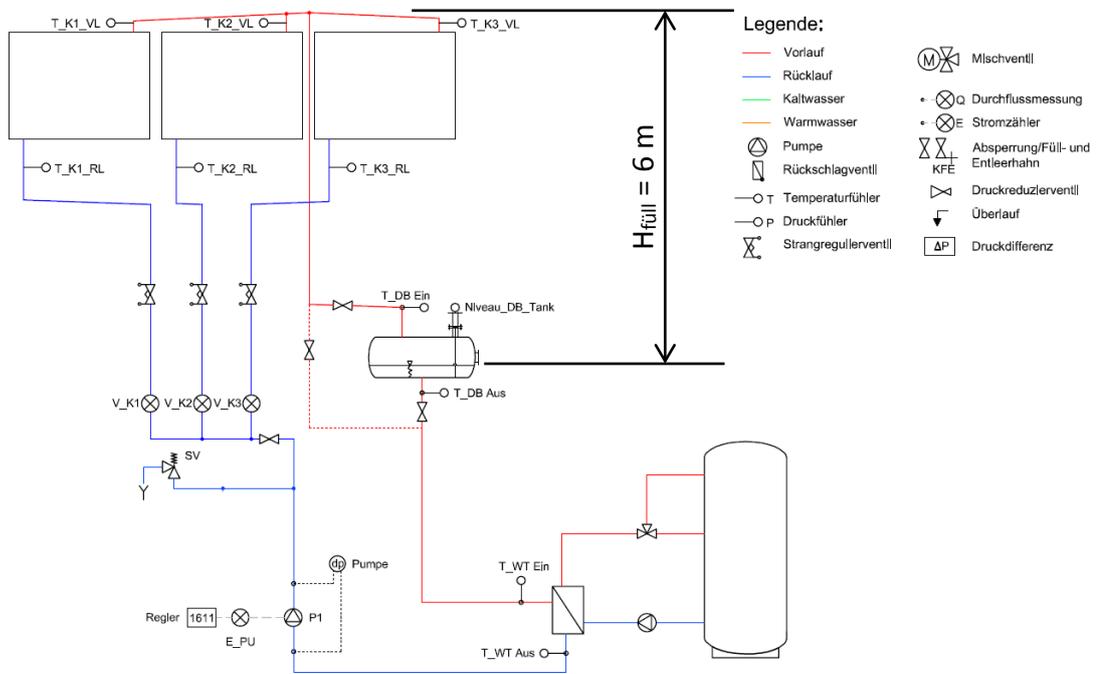


Abbildung 44: Schema des teilentleerenden Systems inkl. notwendiger Messtechnik

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Das Kollektorfeld mit insgesamt 100 m² Bruttokollektorfläche wurde hydraulisch in drei parallele Gruppen mit je zwei in Serie geschalteten Großflächenkollektoren geteilt (Abbildung 45). Damit handelt es sich bei dieser Verschaltung um eine Kombination der Verschaltungsvarianten 4 und 6 aus den Labortests. Die hydraulische Detailplanung der Einzelkollektoren und des Kollektorfeldes erfolgte strikt nach den Gesichtspunkten teilentleerer Systeme und erforderte die intensive Abstimmung zwischen Errichter/Betreiber und dem Projektkonsortium. Um eine Aussage über das Entleerverhalten der einzelnen parallelen Gruppen zu erhalten, wurden Volumenstromzähler in den Anspeiseleitungen montiert. Da Volumenstromzähler nach dem Prinzip der magnetisch-induktiven Wirkungsweise verwendet wurden, mussten die Zählpunkte zu jedem Zeitpunkt mit Wärmeträger gefüllt sein, was eine Anordnung unterhalb des Entleerbehälters erforderlich machte.

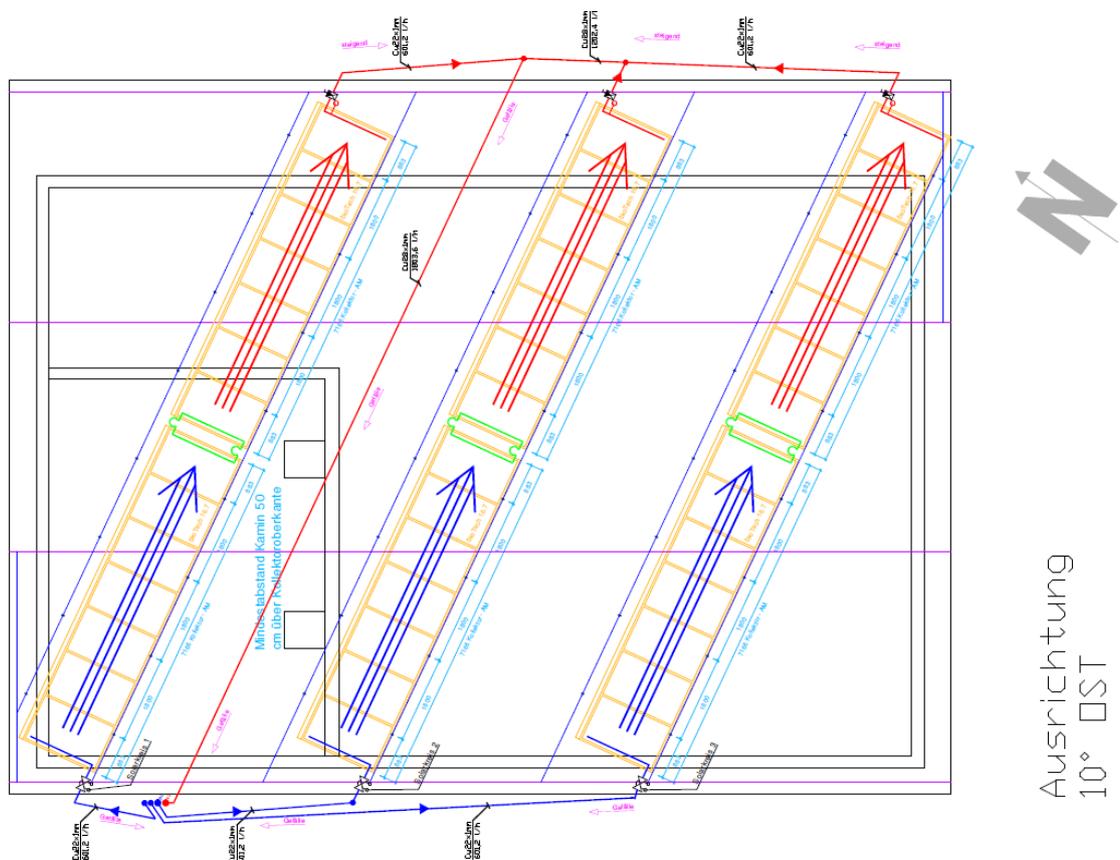


Abbildung 45: Darstellung der Kollektorfeldverschaltung der 100 m² großen Anlage – Parallelschaltung von drei Gruppen, die aus je zwei in Serie geschalteten Großflächen-Harfenkollektoren bestehen und nach den Gesetzmäßigkeiten teilentleerer Systeme geplant wurden

Die Dimensionierung des Entleerbehälters entsprechend der bisher erarbeiteten Erkenntnisse ergab einen Inhalt von 210 Liter (Durchmesser 500 mm; Länge Mantel 1000 mm). Er wurde mit entsprechenden Anschlüssen für messtechnische Zwecke ausgestattet (Abbildung 46). Da er im Technikraum unterhalb der Decke montiert werden musste, ergab sich eine Füllhöhe von 6m die von der Solarkreispumpe zusätzlich überwunden werden muss.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



Abbildung 46: 3D-Darstellung der Konstruktion des Entleerbehälters (links) für die Feldanlage mit Anschlüssen für den Solarkreis (oben zentral, unten rechts, der Messtechnik (oben und unten rechts) und eine Möglichkeit zur Erweiterung des Ausdehnungsvolumens (Flansch oben links). Einbausituation des gedämmten Behälters (rechts).

Die Fallrohrdimension wurde entsprechend der erforderlichen Volumenstromverhältnisse (Füllvolumenstrom 2.100 l/h; Betriebsvolumenstrom 1.800 l/h) dabei mit einem Kupferrohr von 26 mm Innendurchmesser (DN 25) auf Basis des Dimensionierungsdiagramms (Abbildung 23) festgelegt.

Die Pumpendimensionierung (drehzahlregelte Pumpe) erfolgte entsprechend der Erfordernisse hinsichtlich geodätischer und reibungsdruckspezifischer Rahmenbedingungen in enger Abstimmung mit dem Anlagenerrichter, ebenso die Festlegung des speziellen Regelungskonzeptes.

Abbildung 47 zeigt die installierte Kollektoranlage mit Schaltungsdetails im Bereich der Kollektorverbindungen.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG



Abbildung 47: Installierte 100 m² Feldanlage bei Fa. Roth mit Schaltungsdetails im Bereich der Kollektorverbindungen.

8.2 Untersuchungen an der Feldanlage

Umfangreiche Messungen an verschiedenen Betriebszuständen der Feldanlage wurden im Zeitraum Mai bis September 2013 durchgeführt und zeigten die prinzipielle Funktionsfähigkeit des teilentleerenden Systems auch für große Systeme. Allerdings bedarf es auch einer entsprechenden Unterweisung des Servicepersonals, da doch wesentliche Unterschiede zu einer konventionellen Anlage bestehen (siehe 8.2.5)

8.2.1 Messungen Füllvorgang

In Abbildung 48 ist ein Beispiel eines Füllvorganges mit niedriger und konstanter Pumpeneinstellung (70%, Förderdruck 0,75 bar) dargestellt. Man erkennt, dass die Füllung der drei Teilzweige gering zeitversetzt zueinander erfolgt. Die Entleerung des Drain-Backtanks bis zum unteren Niveau dauert etwa 4 min, die Entlüftung des gemeinsamen Fallrohres erfolgt gleichförmig und dauert etwa 1,5 min, dann werden stabile Durchflüsse (je Zweig 600 l/h) in den Teilzweigen erreicht. Bei diesen Versuchen wurde vorerst probeweise darauf verzichtet

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

zum Systemstart eine höhere Pumpenleistung zu wählen. Es kam die für den Normalbetrieb notwendige Einstellung zum Einsatz. Der Füllvorgang verläuft trotz dieser niedrigen Pumpeneinstellung, die allerdings ausreichte den Füll-Höhenunterschied (6m) zu überwinden, problemlos. Da sich in diesem Anwendungsfall diese Einstellung bewährt hat, kam sie auch weiterhin dauernd zum Einsatz.

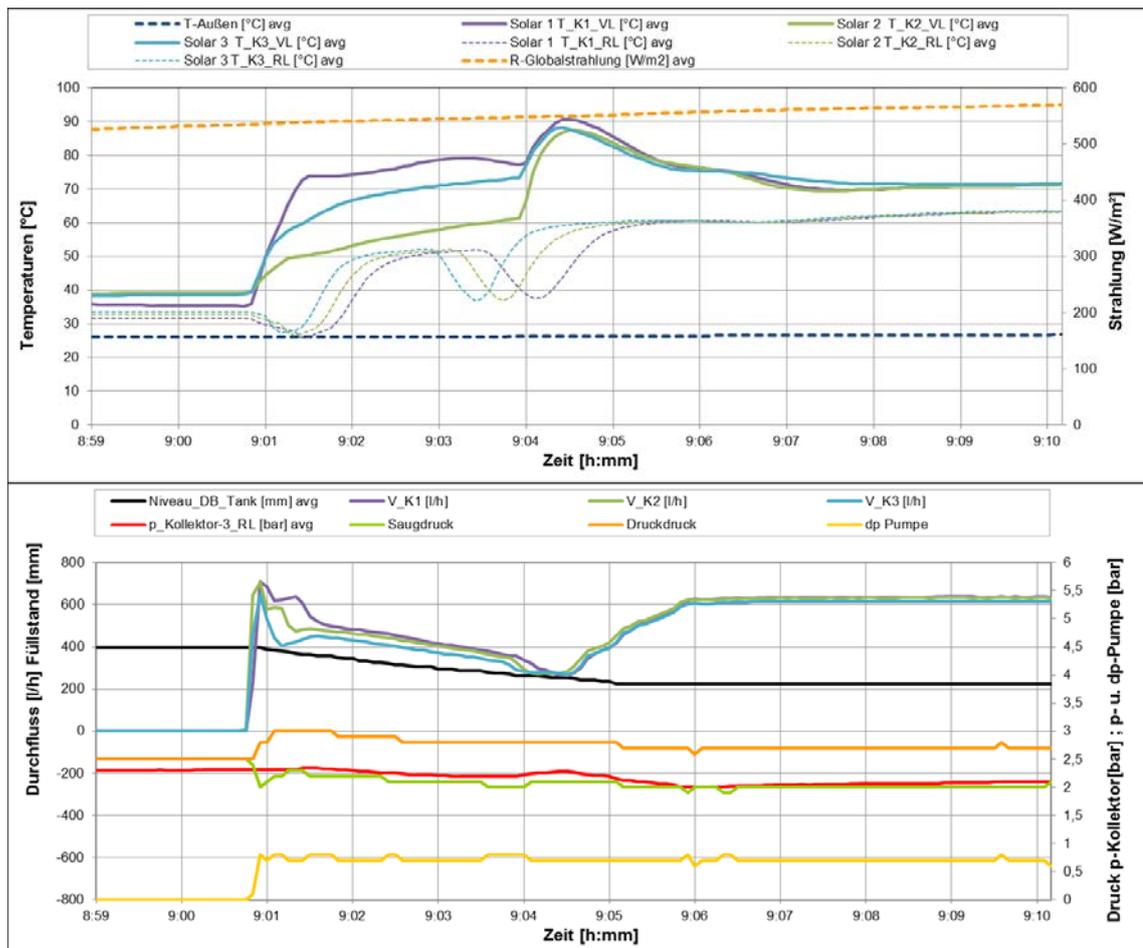


Abbildung 48: Messdiagramme eines Füllvorganges der Feldanlage. Oben Strahlung und Temperaturen, unten Durchfluss, Füllstand und (Differenz-) Drücke.

8.2.2 Messungen Entleervorgang

In Abbildung 49 ist ein Beispiel eines Entleervorgangs aus dem Normalbetrieb bei niedriger Pumpeneinstellung (70%, Förderdruck 0,75 bar) dargestellt. Man erkennt, dass die Entleerung bei allen Zweigen gleichzeitig und stark mit hohen negativen Durchflussmengen (bis 700 l/h) erfolgt und der Entleervorgang nach etwa 4,5 min abgeschlossen ist. Das Strahlungsniveau war hier zu niedrig um Dampfentwicklung zu bewirken.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

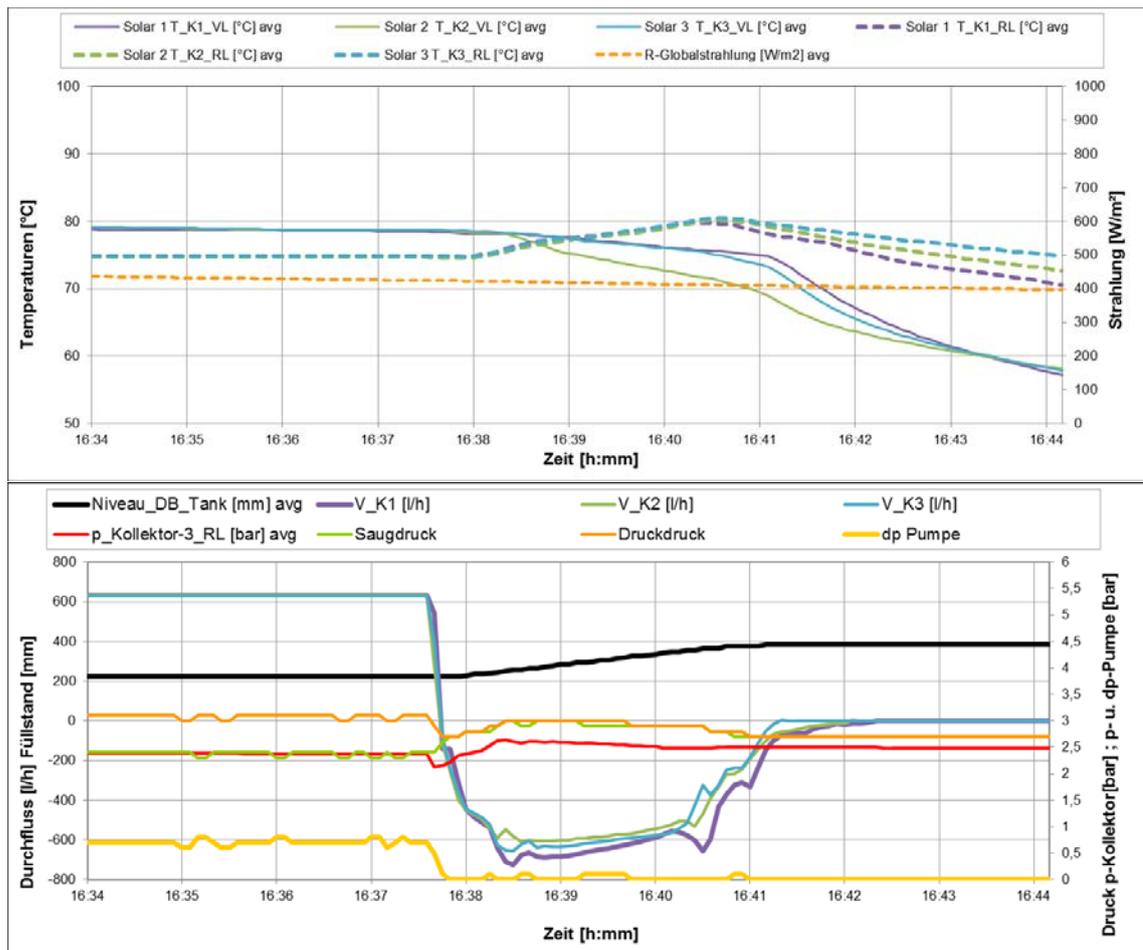


Abbildung 49: Messdiagramme eines Entleervorganges der Feldanlage. Oben Strahlung und Temperaturen, unten Durchfluss, Füllstand und (Differenz-) Drücke.

8.2.3 Messungen wechselhafter Tag

Aufeinanderfolgende Füll- und Entleervorgänge durch wechselnde Strahlung sind in Abbildung 50 zu sehen. Diese verlaufen jeweils einwandfrei. Temperaturen bis etwa 110 °C treten bei den Kollektoren auf, verursacht durch späte Reaktion des Reglers (Position des Temperatur-Messfühlers nicht optimal).

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

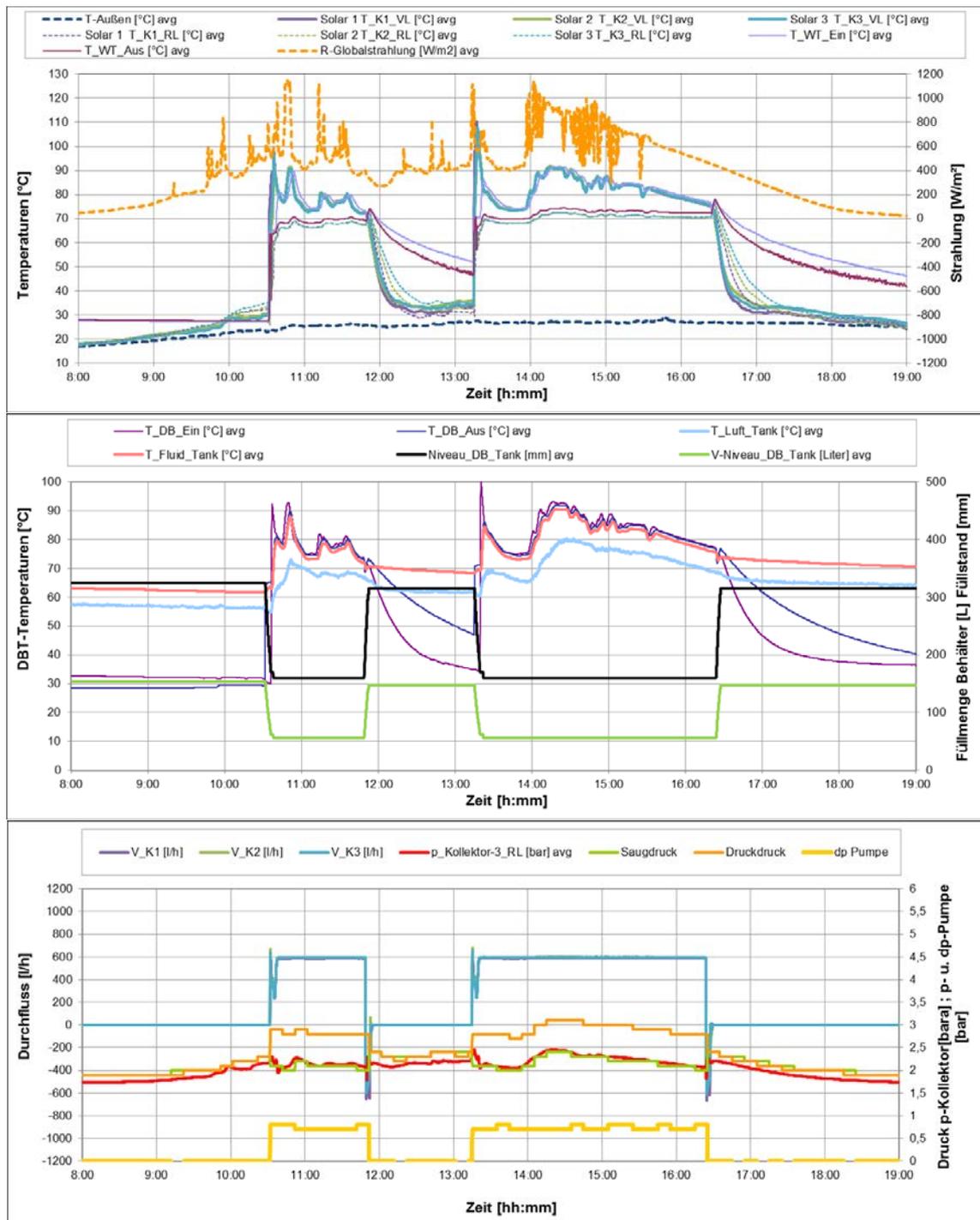


Abbildung 50: Messdiagramme aufeinanderfolgender Füll- und Entleervorgänge der Feldanlage. Oben Strahlung und Temperaturen, Mitte Temperaturen und Füllstand am Entleerbehälter, unten Durchfluss, Füllstand und (Differenz-) Drücke

8.2.4 Messungen Stagnationsvorgang

Zwei Stagnationsvorgänge mit unterschiedlichem Ausgangsfüllstand (41 l entleert / 135 l gefüllt, gegenüber 93 l entleert / 187 l gefüllt) im Entleerbehälter sind in Abbildung 51 gezeigt. Die Stagnationsvorgänge verlaufen problemlos und auch ein Wiedereinschalten aus der Stagnation ist erfolgreich. Man erkennt, dass ein höherer Ausgangsfüllstand zu höheren Druckspitzen (bis 4,3 bar) führt, da das Ausdehnungsvolumen zur Aufnahme des

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Zusatzvolumens der Dampfentwicklung kleiner wird. Eine sorgfältige Planung entsprechend den in 6.1 gegebenen Richtlinien ist deshalb notwendig.

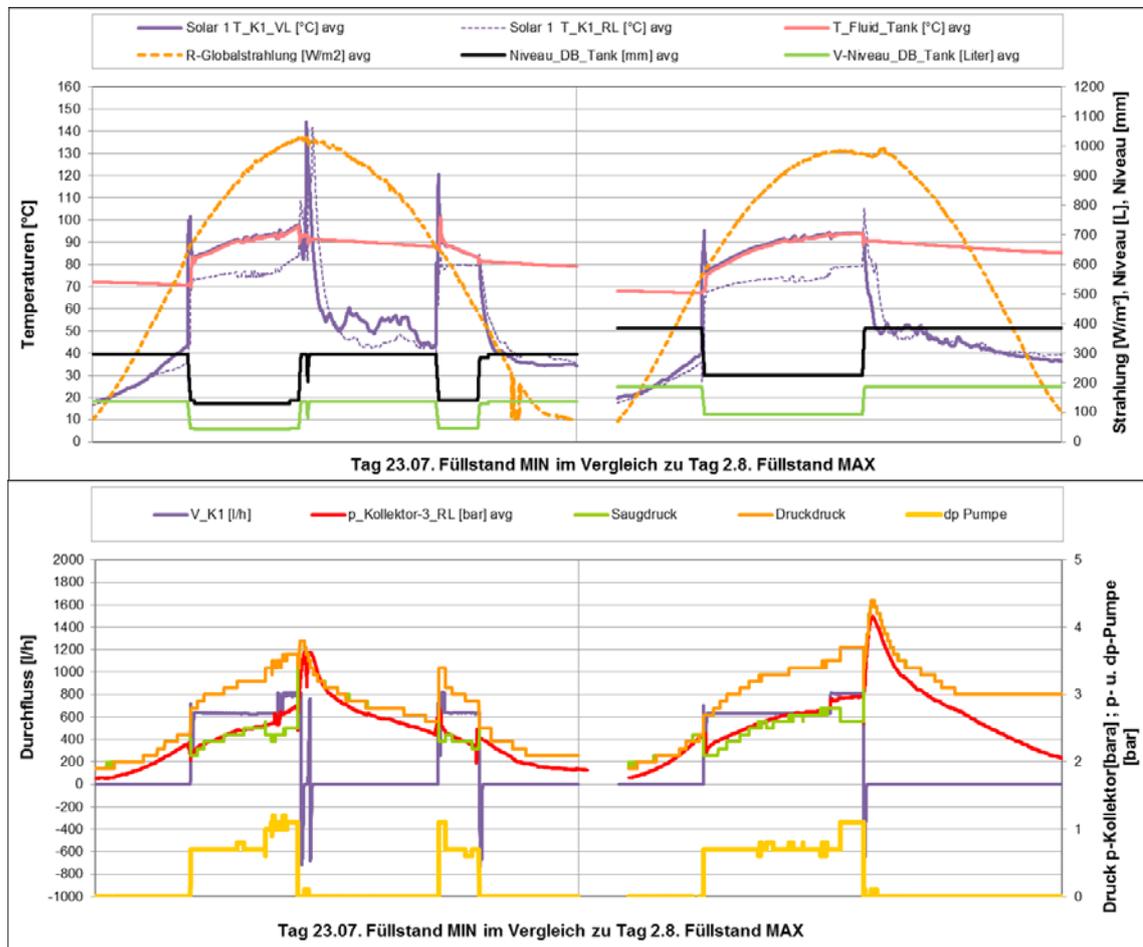


Abbildung 51: Messdiagramme zweier Stagnationsvorgänge der Feldanlage bei unterschiedlichem Ausgangsfüllstand des Entleerbehälters. Oben Strahlung, Füllstände und Temperaturen, unten Durchfluss und (Differenz-) Drücke

8.2.5 Aufgetretene Probleme durch Fehlbedienungen bzw. Fehleinstellungen

Folgende Probleme konnten beobachtet und behoben werden:

- Eine anfänglich undichte Stelle im Solarkreis führte zu Verlust an Füllgas und damit zu Druckverlust. Nicht ausreichend eingewiesenes Personal hat dies mehrmals durch Nachfüllen von Flüssigkeit auszugleichen versucht, mit dem Ergebnis, dass letztlich zu wenig Ausdehnungsvolumen zur Verfügung stand. Das führte im Stagnationsfall zum Ansprechen des Sicherheitsventils mit Flüssigkeitsaustritt in den Auffangbehälter. Nach Abdichtung und korrekter Wiederbefüllung funktionierte das System dauerhaft.
- Durch eine fehlerhafte Reglereinstellung kam es zu einem Weiterlaufen der Primärkreispumpe obwohl die Sekundärkreispumpe wegen Erreichen der maximalen Speichertemperatur bereits abgeschaltet hatte. Das führte letztlich zu einer Erhitzung einer großen Menge Mediums (wesentlich mehr als die übliche Restflüssigkeitsmenge im Stagnationsfall) im Kollektor über den Siedepunkt und einem Ansprechen des Sicherheitsventils. Die Reglereinstellung wurde korrigiert.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
FFG

- Eine Abstimmung der Druckverhältnisse mit den Einsatzgrenzen bezüglich Kavitation in der Pumpe ist notwendig um den saugseitig zulässigen Minimaldruck auch bei hohen Temperaturen und großen Durchflussraten (größere Reibungsdruckverluste zwischen Entleerbehälter bis zur Saugseite) nicht zu unterschreiten. Bei der im gegenständlichen Fall gewählten Pumpe beträgt der saugseitige Minimaldruck zur Kavitationsvermeidung laut Herstellerangaben z. B. 0,9 - 1,3 - 1,9 bar @ 75 – 95 – 110 °C.

9 Wärmeverluste durch den Entleerbehälter

9.1 Diskussion der Wärmeverluste

Der Entleerbehälter, der im Verlaufe der Vorlaufleitung installiert ist, bringt Wärmeverluste während des Normalbetriebes und während der Pumpenstillstandszeiten an die Umgebung, da er dann mit warmem Medium gefüllt ist. Die Temperatur dieses Mediums, das über den Wärmetauscher in den Entleerbehälter fließt, ist je nach Art des Wärmetauschers (intern oder extern) niedriger als die Kollektortemperatur. Dieses dann in den Stillstandszeiten abgekühlte Medium durchfließt beim Wiederanlauf des Solarkreises den Wärmetauscher und gibt damit den Wärmeverlust an den Speicher weiter. Der Wiederanlauf erfolgt erst nachdem der **leere Kollektor** durch Strahlung wieder auf Arbeitstemperatur (über der Speichertemperatur) ist.

Im Gegensatz dazu bleibt bei **Standardanlagen** der Kollektor gefüllt und dieser kühlt bei vergleichbarem Mediumsvolumen in Stillstandszeiten ab (mit wesentlich höherem UA-Wert als der Entleerbehälter). Beim Wiederanlauf des Solarkreises ist das im Kollektor befindliche Medium bereits auf Arbeitstemperatur, es erfolgt keine Weitergabe des Wärmeverlustes an den Speicher. Der Wiederanlauf erfolgt, nachdem der **gefüllte Kollektor** auf Arbeitstemperatur ist und damit **deutlich später** als beim Drain-Backsystem.

Im Vergleich der Systeme ergibt sich also bei den **Wärmeverlusten während des Stillstandes** des Solarkreises (nachts oder in Zeiten mit wechselnder Bewölkung) netto ein Vorteil für die Drain-Backanlage, da der gut gedämmte Entleerbehälter geringere Verluste als der Kollektor hat.

Bei den **Wärmeverlusten während der Laufzeiten** des Systems ist es umgekehrt. Der Entleerbehälter in der Vorlaufleitung mit relativ großer Oberfläche, die innen gesamt immer auf Vorlauftemperatur ist (durch verdampfendes Medium), bewirkt zusätzliche Verluste.

9.2 Wärmeverluste durch den Entleerbehälter

Der **Wärmeverlustfaktor UA des Entleerbehälters** wurde auf zwei verschiedene Weisen bestimmt:

Erstens rechnerisch aus der Speicherdämmung und Oberfläche und zweitens durch Messung aus der Abkühlung des Entleerbehälters über Nacht (Abbildung 52). Die erste Methode gibt einen UA-Wert von 1,8 W/K, ohne jedoch zusätzliche Verluste durch Rohranschlüsse und zusätzliche ungedämmte Flansche zu berücksichtigen. Die zweite Methode, die auch diese Zusatzverluste erfasst, gibt einen **UA-Wert von 2,4 W/K**. Im Folgenden wurde mit dem zweiten Wert weitergerechnet.

Die damit aus den Messdaten ermittelten **Gesamtverluste des Entleerbehälters** während eines Messmonats (August 2013) sind den Energiegewinnen am Wärmetauscher, die über diesen an den Speicher übertragen werden, in Abbildung 53 gegenüber gestellt. Diese **Gesamtverluste** (88 kWh) betragen **4,0 % des Gewinnes** (2203 kWh).

In diesem Zeitraum trat sehr häufig Stagnation wegen mangelnden Wärmebedarfs auf, sodass der Gewinn deutlich unter der möglichen Leistungsfähigkeit der Anlage blieb. Einer Gesamtpumpenlaufzeit von 117 h stehen Stagnationszeiten wegen mangelndem Wärmebedarfs von ca. 55 h gegenüber. Alle diese Stagnationsvorgänge, auch inklusive Wiederinbetriebnahme während hoher Strahlung verliefen unauffällig.

Wie oben dargelegt, enthalten die Gesamtverluste sowohl die **Laufzeitverluste** als auch die **Stillstandsverluste**. Die **Verluste während der Pumpenlaufzeit betragen 0,68 % (15 kWh) des Gewinns und die Stillstandsverluste damit 3,3 % (73 kWh, Abbildung 53) des Gewinns**. Da

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

diese Stillstandsverluste aber deutlich geringer sein sollten, als bei Standardsystemen, letztere hier aber nicht beziffert werden können, kann in Summe kein diesbezüglicher Nachteil für Drain-Backsysteme dieser Art gegenüber Standardsystemen abgeleitet werden. Diese günstigen Aussagen gelten jedoch nur für einen gut gedämmten Entleerbehälter.

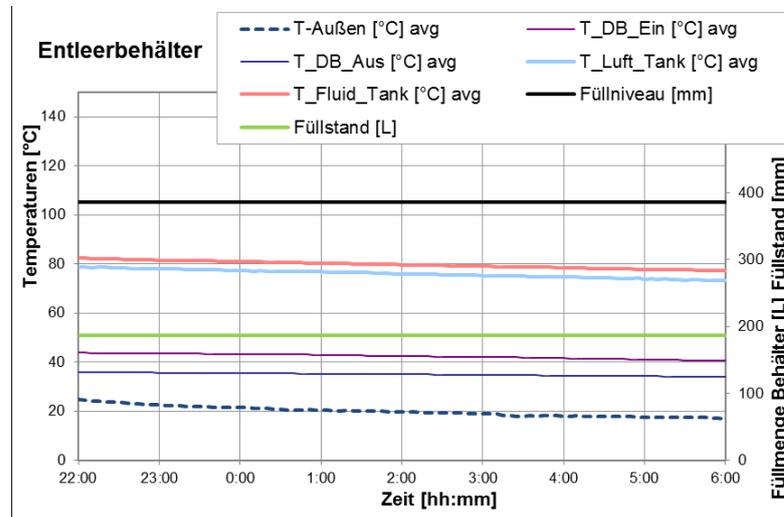


Abbildung 52: Messdiagramm des nächtlichen Abkühlvorganges des Entleerbehälters.

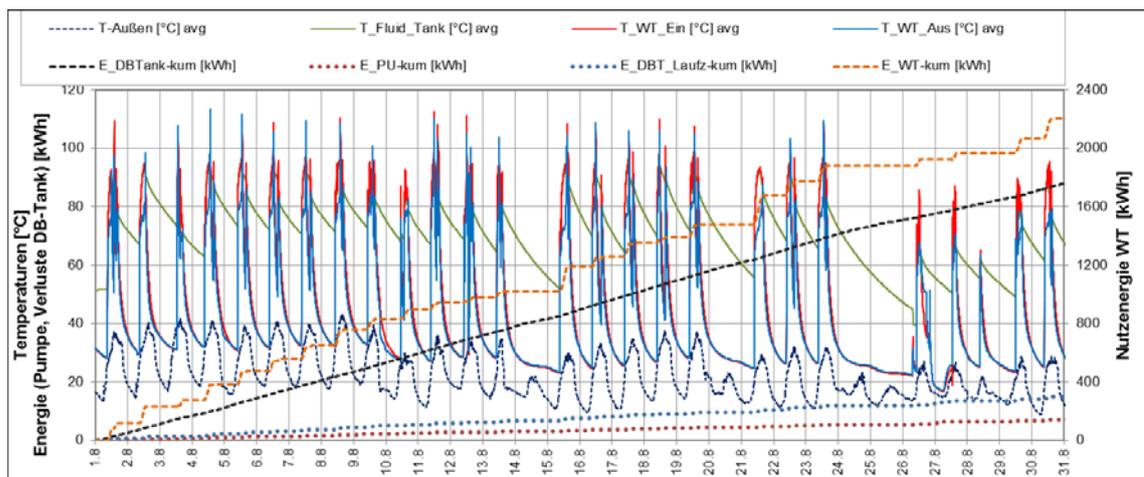


Abbildung 53: Wärmeverluste des Entleerbehälters gesamt, während Pumpenlaufzeit und Pumpenstromaufwand.

10 Diskussion des Pumpenstromaufwandes bei teilentleerenden Systemen

Es kam in der Feldanlage für den Solarkreis eine Hocheffizienzpumpe (Type Grundfoß MAGNA3 32-120 F 50Hz) mit einer maximalen Förderhöhe von 12 m WS und einer maximalen Fördermenge von 18 m³/h zum Einsatz. Der Verbrauch an elektrischer Energie für die Solarkreispumpe wurde messtechnisch erfasst (Abbildung 53, E_PU-kum). Sie enthält sowohl den Energieverbrauch während der Laufzeit der Pumpe als auch den während der Pumpenstillstandszeiten auftretenden Standby-Verbrauch der Pumpenelektronik.

Der aus den Messdaten ermittelte, sehr niedrige Verbrauch an elektrischer Energie für die Solarkreispumpe während eines Messmonats (7,3 kWh im August 2013, Pumpenlaufzeit: 117 h) beträgt bezogen auf den thermischen Gewinn am Wärmetauscher 0,33 %, das entspricht einer Arbeitszahl von 300 für den Monat August.

11 Skalierbarkeit des Systems

Eine Skalierbarkeit des Systemdesigns ist prinzipiell im Rahmen der durch die Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse möglich. Diese erlauben es, Regeln für die Skalierbarkeit auf große Kollektorfelder zu erstellen. Folgende Gesichtspunkte sind zu beachten:

- Das Hydraulikschema sollte nach dem in Abbildung 44 gezeigten Prinzip gestaltet sein. Die notwendigen sicherheitstechnischen Komponenten des Primärkreises beschränken sich auf
 - Entleerbehälter und SicherheitsventilEs entfallen damit gegenüber Standardsystemen
 - Druckhalteeinrichtung (Ausdehnungsgefäß) und Rückflussverhinderer
- Der Entleerbehälter sollte möglichst hoch, knapp unter dem Kollektorniveau angeordnet sein. Er und das Fallrohr sollten nach den Richtlinien nach Kapitel 6 dimensioniert sein, wobei die Rohrdimensions- und Durchflussgrenzen des Fallrohres nach Abbildung 23 zu beachten sind.
- Anlagenfüllmengen und Druckverhältnisse sollten nach den Richtlinien nach Kapitel 6 festgelegt werden. Minimale Kollektordrücke sind unter dem Aspekt der Vermeidung partieller Stagnation festzulegen.
- Kollektoren müssen in erster Linie nach dem Kriterium einer sehr guten Entleerbarkeit ausgewählt werden.
- Die Leitungsführung sowohl der Rücklauf- als auch der Vorlaufleitung vom Kollektorfeld bis zum Niveau des Entleerbehälters muss eine einwandfreie Entleerung durch Schwerkraft aller oberhalb des Entleerbehälters liegenden Systemkomponenten gewährleisten.
- Die Zusammenschaltung der Kollektoren zu Teilfeldern muss sowohl eine gute Entleerbarkeit als auch eine gute Strömungsverteilung berücksichtigen - siehe auch Tabelle 1 . Gleiches gilt auch für die Zusammenschaltung von Teilfeldern zu größeren Einheiten.
- Wasser anstelle des Wärmeträgers Wasser-Glykol kann nur verwendet werden, wenn der Entleerbehälter und die weitere Rohrleitung in Richtung Wärmetauscher an frostgeschützter Stelle montiert ist.
- Bei der Auswahl der Solarkreispumpe ist zu berücksichtigen, dass zum Füllen und Entgasen des Systems eine um die Höhendifferenz zwischen Entleerbehälter und oberer Kollektorkante höhere Pumpenleistung möglich sein muss.
- Die Pumpenregelung muss es ermöglichen für die Füllvorgänge eine höhere Pumpenleistung anzuwählen.

12 Kostenvergleich

Ein exakter Kostenvergleich ist derzeit nur unsicher möglich.

Bei den teilentleerenden Systemen entfallen Investitions- und Installationskosten für ein Ausdehnungsgefäß bzw. eine Druckhalteeinrichtung und einen Rückflussverhinderer.

Dem stehen die entsprechenden Kosten für den Entleerbehälter und möglicherweise auch für eine leistungsfähigere Solarkreispumpe gegenüber. Die Kosten für den Entleerbehälter sind derzeit nicht bezifferbar, da die hier im gegenständlichen Projekt eingesetzten Gefäße Sonderanfertigungen waren, mit zusätzlichen, später in der Praxis nicht notwendigen Einbauten für Messsysteme. Eine leistungsfähigere Solarkreispumpe wird auch nur in selteneren Fällen nötig sein, da, wie der Feldversuch gezeigt hat, Füllvorgänge dauerhaft auch mit der Standard – Pumpendimensionierung bzw. -einstellung erfolgreich sein können.

Die Wartungs- bzw. Reparaturkosten können bei dieser Art der Drain-Backanlagen vergleichsweise durchaus günstiger sein, da diese weniger Verschleißteile enthalten (z. B. Membran eines Ausdehnungsgefäßes).

Es entfallen auch die bei Standardsystemen selten aber doch auftretenden Wiederbefüllarbeiten nach Stagnationsvorgängen mit Wärmeträgerverlust.

Die laufenden Betriebskosten im Vergleich betreffen lediglich den Stromverbrauch der Solarkreispumpe, der sich praktisch nicht von demjenigen einer Standardanlage unterscheiden wird (siehe Kapitel 10).

13 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse des gegenständlichen Projektes haben gezeigt, dass das entwickelte Prinzip eines teilentleerenden Systems nicht nur bei Kleinanlagen, sondern auch bei großen solarthermischen Anlagen gut und erfolgreich eingesetzt werden kann und zu einem unproblematischen Stagnationsverhalten mit geringer Systembelastung und auch betrieblichen Vorteilen gegenüber einem Standardsystem führen kann.

Diese Vorteile gegenüber einem vergleichbaren Standardsystem sind:

- Unproblematisches Stagnationsverhalten ohne Zusatzmaßnahmen (z.B. Stagnationskühler)
- Praktisch keine Leistungseinbußen im Normalbetriebszustand
- Deutlich geringere Stillstandsverluste bei gut gedämmtem Entleerbehälter beim Abschalten und Wiederanfahren des Solarkreises. Dem stehen höhere Betriebsverluste gegenüber. Es sollte bei guter Ausführung der Dämmung des Entleerbehälters netto inklusive der Verluste im Normalbetrieb ein Vorteil für die Drain-Backanlage bleiben.
- Bei entsprechenden Gegebenheiten auch ohne Frostschutz betreibbar
- Leistungsregelung durch Abschalten bzw. Zuschalten von Teilfeldern ist möglich, wenn diese mit eigenen Entleerbehältern ausgestattet sind.
- Meist reichen die gleichen Pumpen wie sie bei einer vergleichbaren Standardanlage zum Einsatz kommen würden
- Pumpenstromaufwand ist mit dem von Standardanlagen vergleichbar
- Entfall von in Standardsystemen üblichen Systemkomponenten, wie Ausdehnungsgefäß oder Druckhalteeinrichtungen, Rückflussverhinderer und von Maßnahmen zur Stagnationsbeherrschung wie z.B. Luftkühler (bei größeren Anlagen auch Entfall von Stromaufwand für dessen Betrieb)
- Günstigere Investitions- Wartungs- und Reparaturkosten sind möglich

Dem stehen folgende Nachteile gegenüber

- Es sind nur Kollektoren mit sehr gutem Entleerungsverhalten verwendbar
- Beachtung von speziellen Regeln zur Rohrführung bei der Installation
- Drain-Backbehälter, Pumpe und Wärmetauscher müssen tiefer als das Kollektorfeld installiert sein
- Gering höhere Wärmeverluste im Normalbetriebs durch den Entleerbehälter
- Spezielle Schulung des Installations- und Servicepersonals ist notwendig
- Aufwändigere Füllprozedur mit Einstellung der Füllmengen

Anhang A

A. 1 Funktionsprinzip und Ausführungsformen von Drain-Backsystemen

Der Begriff „Drain-Back“ bedeutet so viel wie Rückentleerung. Gemeint ist in dieser Hinsicht die Entleerung des mit Wärmeträger gefüllten Kollektors in ein spezielles Drain-Back Gefäß, das zur Aufnahme dieses Volumens dient. Das Drain Back Volumen kann als Teil eines Wärmespeichers, als externer Drain-Back-Behälter oder in einen überdimensionierten Wärmespeicher integriert sein.

Das grundsätzliche Prinzip eines Drain-Back-Systems mit externem Drain-Back Behälter ist in Abbildung 54 ersichtlich. Thermische Solaranlagen die nach diesem Prinzip arbeiten, entleeren bei Anlagenstillstand, also bei Erreichung einer maximalen Speichertemperatur oder fehlendem Solarstrahlungsangebot automatisch das Kollektorfeld. Durch das Abschalten der Pumpe fließt infolge der Schwerkraft der Wärmeträger rückwärts über die Rücklaufrohrleitungen in einen eigens dafür vorgesehenen Drain-Back Behälter, welcher mit dem Medium Luft gefüllt ist. Dadurch wird die vorhandene Luft im Drain-Back Behälter durch das Rückfließen des Wärmeträgermediums verdrängt und in das Kollektorfeld gedrückt. Dieser Prozess geht solange vonstatten, bis beide Rohrleitungen denselben Flüssigkeitsstand aufweisen bzw. der Kollektorkreislauf oberhalb des Drain-Back Behälters entleert ist. Kann nach einem Stillstand der Anlage wieder Energie in den Speicher eingebracht werden bzw. liegt genügend Strahlungsangebot vor, schaltet die Regelung den Solarkreis ein und es wird die Flüssigkeit aus dem Drain-Back Behälter in die Kollektoren befördert. Dadurch wird die vorhandene Luft aus den Kollektoren und den Leitungen in den Drain-Back Behälter gedrückt.

Das temperatursensible Wärmeträgermedium wird dadurch vor einer vollständigen Verdampfung der Solarflüssigkeit geschützt. Geringe Restflüssigkeitsmengen können dennoch im Kollektor verdampfen, welche allerdings bei einer erneuten Inbetriebnahme rasch in den Rohrleitungen verflüssigt werden.

Der Drain-Back Behälter kann innerhalb des Gebäudes oder außerhalb direkt unter dem Kollektorfeld montiert werden. Letzteres erfordert in unseren Breiten wegen der Frostgefahr die Verwendung eines Wasser-Glykol Gemisches als Wärmeträger.

Drain-Back-Systeme können sowohl zur Trinkwassererwärmung als auch in Solaranlagen zur Heizungsunterstützung eingesetzt werden. Der Solarkreislauf kann dabei geschlossen oder offen zur Atmosphäre sein. Offene Systeme unterliegen einem ständigen Sauerstoffeintrag, weshalb alle Systemkomponenten aus korrosionsfreien Materialien bestehen müssen. Geschlossene Systeme sind aus Metall ausgeführt und benötigen im Gegensatz zu offenen Systemen aufgrund des höheren Anlagendruckes ein Sicherheitsventil (Weiss et al., 2003).

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

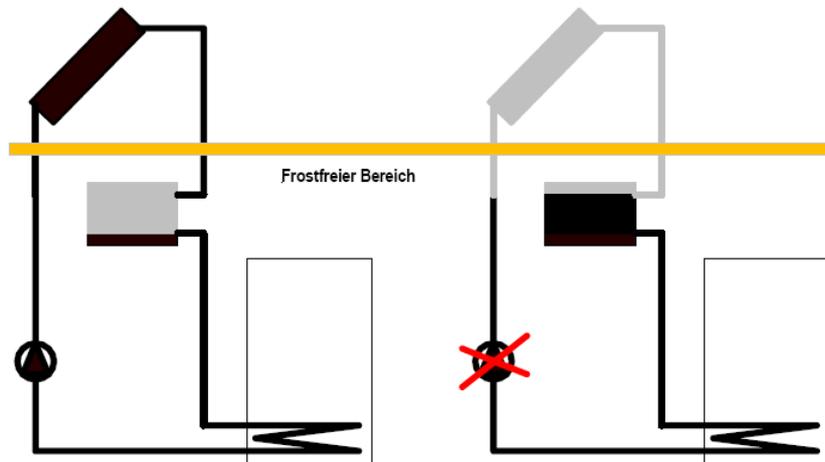


Abbildung 54: Schematische Darstellung eines Drain-Back Systems bei der Verwendung von Wasser als Wärmeträger im Solarkreis (Engeler et al., 2006)

A. 2 Anforderungen an Drain-Back Systeme und verschiedene Ausführungsformen

Nach Weiss et al. (2003) und Ramlow et al. (2010) erfordert die Umsetzung von Drain-Back Anlagen für einen ordnungsgemäßen Betrieb, ein umfassendes und gut geplantes Systemkonzept. Hierbei müssen bestimmte Kriterien und Voraussetzungen in Bezug auf Leitungsverlegung und Art der verwendeten Kollektoren, etc. eingehalten werden. Die Ausführung gestaltet sich gegenüber konventionellen solarthermischen Anlagen als anspruchsvoller und bedarf konsequenter Umsetzung und speziell geschultem Personal.

Ein besonderes Augenmerk ist dabei auf die Verlegung der Rohrleitungen zu legen, da falsch montierte Rohrleitungen das vollständige Entleeren der Sonnenkollektoren und Rohrleitungen verhindert. Deshalb müssen Rohrleitungen vom höchsten Punkt der Anlage bis hin zum Drain-Back Behälter fallend verlegt sein. Abbildung 55 zeigt beispielhaft die korrekte Leitungsführung vom Kollektor zum Drain-Back Behälter.

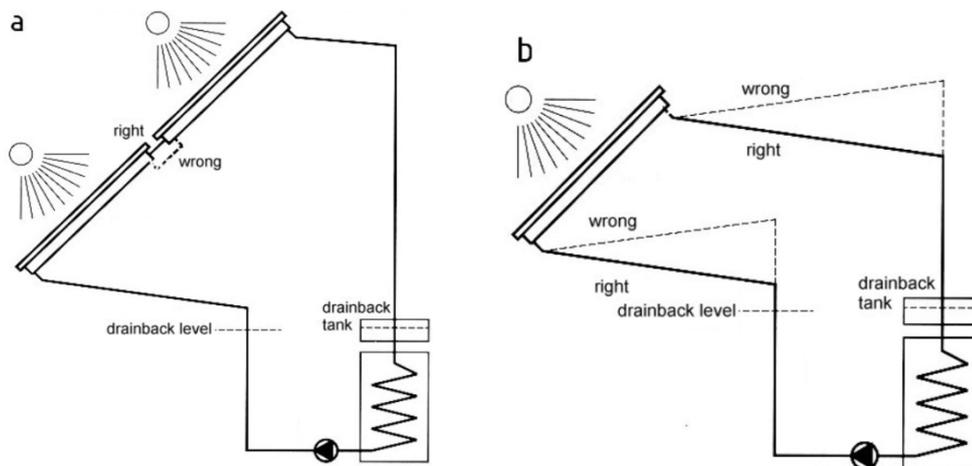


Abbildung 55: Leitungsführung bei in Serie geschalteten Kollektoren (Weiss et al., 2003)

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Das Rohrgefälle der Sammelleitungen sollte Werte zwischen 15 und 30 mm aufweisen, mindestens aber 10 mm je 1 m Rohrlänge betragen. Durch das Rohrgefälle wird sichergestellt, dass sich keine Flüssigkeitssäcke bilden können. In Abbildung 55 (Bild b) ist ersichtlich, dass die Verbindungen und Fittinge zwischen den Kollektoren ebenso ein Gefälle aufweisen müssen. Dies ist besonders bei in Reihe geschalteten Kollektoren, die übereinander montiert werden, zu beachten. Nicht jeder Kollektoranschluss ist für die Verwendung in Drain-Back Anlagen geeignet. Der Kollektoranschluss bei in Reihe geschalteten Kollektoren darf sich nicht auf der Rückseite befinden (Abbildung 55 Bild a).

Bei parallel verschalteten Kollektoren (Abbildung 56) ist die Art des Anschlusses entscheidend für die Verlegung der Vor- und Rücklaufleitung. Befinden sich die Anschlüsse der Kollektoren oberhalb und unterhalb (Bild a), müssen die einzelnen Vorlaufleitungen (flow) oberhalb der Kollektoren zusammengeführt werden um eine vollständige Entleerung der einzelnen Kollektoren sicherzustellen. Die Verbindung stellt dann den höchsten Punkt der Anlage dar. Sind die Kollektoranschlüsse auf der Rückseite, ist eine andere Verlegung der Rohrleitungen notwendig (Bild b). Die Sammelleitungen (Vor- und Rücklaufleitung) sind vom Kollektor weg fallend zu verlegen. Damit parallel verschaltete Kollektoren ohne Probleme gefüllt werden können, sind in der Regel Volumenströme zwischen 40 und 80 l/m²h erforderlich (Weiss et al., 2003).

Die Vor- und Rücklaufleitung sind ausreichend groß zu bemessen, sodass ihr hydraulischer Widerstand geringer ist, als der hydraulische Widerstand des Kollektors. In Hinblick auf eine einwandfrei funktionierende Belüftung bzw. Entlüftung des Kollektorfeldes, ist vor allem die Querschnittdimensionierung der Vorlaufleitung ein wichtiges Kriterium. Der Querschnitt der Vorlaufleitung ist kleiner zu wählen, als jener der Rücklaufleitung, da über die Vorlaufleitung die Entlüftung des Kollektorfeldes erfolgt.

Nur bei geringen Durchmessern und somit folglich hohen Geschwindigkeiten wird die Luft in der Systemanlaufphase vollständig aus dieser Leitung durch das Wärmeträgermedium verdrängt. Durch die vollständige Entlüftung wird im Anlagenbetrieb sichergestellt, dass die notwendige Pumpenleistung gering bleibt. Auf der anderen Seite sollte der Durchmesser aber auch nicht zu klein bemessen sein. Der Befüllvorgang der Kollektoren mit Luft würde sich in diesem Fall aufgrund des hydraulischen Widerstandes der Vorlaufleitung, als schwieriger erweisen und mehr Zeit in Anspruch nehmen. In dieser Zeit könnte bei hoher solarer Einstrahlungsintensität der Wärmeträger verdampfen und einen erhöhten Druckanstieg im Solarkreis bewirken. Des Weiteren könnte durch die enorme Volumenänderung Dampf bis weit in den Drain-Back Behälter vordringen.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

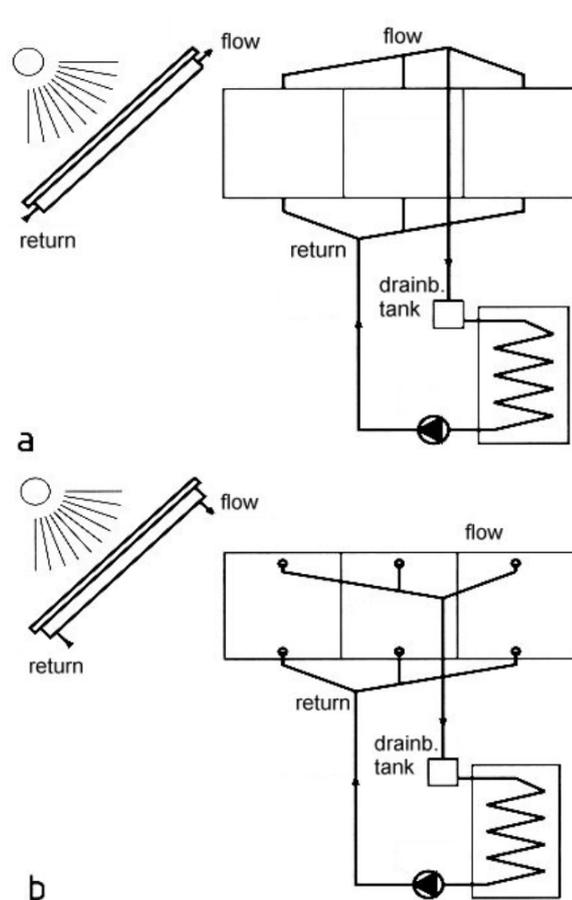


Abbildung 56: Leitungsführung bei parallel geschalteten Kollektoren (Weiss et al., 2003)

Dadurch, dass in Drain-Back Anlagen ständig eine gewisse Luftmenge im System vorhanden ist, sind auch gewisse Anforderungen an die verwendeten Materialien zu stellen. In geschlossenen Systemen werden in der Regel keine Korrosionsprobleme auftreten, da nach einer gewissen Zeit der Sauerstoff in der Anlage verbraucht ist. Bei großen geschlossenen Drain-Back Anlagen rückt die Korrosionsproblematik in den Vordergrund, da sich bis zum Verbrauch des Sauerstoffes größere Mengen an Korrosionsprodukten (Fe-Oxide) ablagern und Verstopfungen im Kollektor hervorrufen können. Durch die Verwendung spezieller Filter kann dies verhindert werden. In offenen Drain-Back Systemen, bei denen ständig neuer Sauerstoff dem System zugeführt wird, müssen alle Anlagenteile vor Korrosion geschützt sein. Neben Kupfer, Messing oder rostfreiem Edelstahl kommen auch temperaturbeständige Kunststoffe zum Einsatz.

Wenn als Wärmeträger Wasser eingesetzt wird, muss der Drain-Back Behälter im frostsicheren Bereich situiert sein (siehe Abbildung 54). Je geringer die Höhendifferenz zwischen Drain-Back Behälter und Kollektorfeld ist, desto kleinere Förderhöhen der Pumpen werden benötigt, wodurch sich auch die elektrische Stromaufnahme der Pumpe reduziert. Zum Befüllen des Kollektorfeldes und sämtlicher Leitungen bis zum Drain-Back Behälter muss die Pumpe die gesamte statische Höhe überwinden. Mit zunehmender Befüllung auch der Vorlaufleitung reduziert sich die Förderhöhe der Pumpe bis schließlich nur noch der Strömungswiderstand des Systems überwunden werden muss. Für die Befüllung benötigen Drain-Back Systeme daher leistungsfähigere Pumpen als konventionelle Systeme (Weiss et al., 2003).

Die im Betrieb eingeschlossene Luft im Drain-Back Behälter dient als Ausdehnungsvolumen, um die Volumenvergrößerung des Wärmeträgers infolge des Temperaturanstiegs

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

aufzunehmen. Bei diesem Vorgang steigt der Druck im System geringfügig an. Des Weiteren dient das Luftvolumen dazu, um auch den Druckanstieg beim Verdampfen von Restflüssigkeitsmengen während des Entleervorgangs auszugleichen.

A. 3 Vorteile von Drain-Back Systemen

Ein wesentlicher Vorteil von Drain-Back Systemen gegenüber konventionellen Systemen ist das Verhalten im Stagnationsfall. Während beim Drain-Back System das komplette Kollektorfeld inkl. Verbindungsleitungen zum Drain-Back Behälter entleert werden und dadurch nur geringe Mengen an Restflüssigkeit verdampfen können, findet bei konventionellen Systemen eine deutlich höhere Volumenänderung infolge von Verdampfung statt. Dies kann soweit führen, dass Dampf bis hin zur Pumpengruppe und zum Ausdehnungsgefäß vordringt und Materialschäden mit sich bringt.

Des Weiteren kann bei einem Drain-Back System auch Wasser als Wärmeträger verwendet werden, wenn sich der Drain-Back Behälter im frostsicheren Bereich befindet. Dadurch können nicht nur die Investitionskosten reduziert werden, es liegen auch bessere Wärmeübertragungseigenschaften vor. Wasser als Wärmeträger hat zudem den Vorteil, dass es keinem Alterungsprozess unterliegt und bei hohen Temperaturen nicht degradiert. Befindet sich allerdings der Drain-Back Behälter im Freien, ist ein Wasser-Glykol-Gemisch zu verwenden.

Zudem bedingen Drain-Back Systeme in der Regel niedrigere Anlagendrücke als konventionelle Systeme, was die Lebensdauer der einzelnen Anlagenkomponenten durch geringere Belastungen erhöht und letztendlich zu einer Minimierung der betriebsgebundenen Kosten (Wartungskosten) führt. Typische Komponenten wie Ausdehnungsgefäß und Rückschlagklappe sowie Sicherheitsventile sind bei offenen Drain-Back nicht von Nöten (Weiss et al., 2003).

Zusammenfassend können folgende Vorteile festgehalten werden:

- Keine fortschreitende Dampfbildung bei Anlagenstillstand → keine ungünstige Stagnationsproblematik und folglich geringere thermische Belastungen der einzelnen Systemkomponenten
- Keine Frostgefahr, da sich in den Kollektoren nur dann Wärmeträger befindet, wenn diese ein entsprechend hohes Temperaturniveau aufweisen
- Wasser als Wärmeträger ist kostengünstiger, altert nicht und stellt keine Gefahr für die Umwelt dar.
- Niedrige Anlagendrücke im Kollektorkreis
- Es sind keine Ausdehnungsgefäße, Rückschlagklappen und bei offenen Systemen auch kein Sicherheitsventil und Entlüftungsventile notwendig, wodurch der Anlagenaufbau vereinfacht wird.

Nachteile von Drain-Back Systemen

Eine Limitation von Drain-Back Systemen stellt der Aufstellungsort für das Kollektorfeld dar. Das Kollektorfeld muss über dem Drain-Back Behälter positioniert werden, wodurch die Möglichkeit einer Freiaufstellung in Bodennähe nicht gegeben ist. Hinsichtlich der

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Kollektorwahl wird man ebenfalls in der Entscheidungsfreiheit eingeschränkt. Nicht jeder Kollektortyp ist für den Einsatz in einem Drain-Back System geeignet (Ramlow et al., 2010).

Die Ausführung der Kollektorhydraulik und die Verbindungsleitungen stellen hinsichtlich der Montage eine Herausforderung dar. Sämtliche Leitungen zwischen Kollektorfeld und Drain-Back Behälter müssen fallend verlegt werden, um eine sorgfältige Entleerung gewährleisten zu können. Ist dies nicht der Fall und Wärmeträgermedium kann sich im Kollektor bzw. in den Verbindungsleitungen bzw. Formstücken sammeln, kann es im Stillstand bei hoher Solarstrahlung zu einer erhöhten Dampfbildung kommen und folglich einen starken Druckanstieg im Solarkreis verursachen. Dieser Aspekt bedeutet, dass für die Installation solcher Systeme sorgfältig geschultes Personal notwendig ist (Delzer et al., 2000)

Ein weiterer wichtiger Punkt den es bei Drain-Back Systemen zu beachten gilt, ist die Auswahl einer geeigneten Pumpe. Nicht jede Pumpe ist für den Einsatz in einem solchen System geeignet. Es müssen leistungsstarke Pumpen mit entsprechender Förderhöhe sein, da beim Befüllen des Systems die gesamte geodätische Höhe (Drain-Back Behälter bis Kollektorfeld) zu überwinden ist. Mit zunehmender Verdrängung der Luft reduziert sich die notwendige Förderhöhe der Pumpe aufgrund der saugenden Wirkung der Falleitung zum Drain-Back Behälter. Heizungspumpen können in einem solchen System ebenfalls verwendet werden, allerdings ist in bestimmten Betriebspunkten, in denen ein geringer Volumenstrom benötigt wird, mit einem deutlich reduzierten Wirkungsgrad der Pumpe zu rechnen. Die Überwindung der geodätischen Höhe bei jedem Befüllvorgang, verursacht zusätzlich eine Erhöhung der notwendigen Pumpenergie (Scheuren, 2008; Weiss et al., 2003).

Nachfolgend sind die wesentlichen Nachteile zusammengefasst:

- Einschränkung in der Kollektorauswahl und dessen Aufstellungsort
- speziell geschultes Personal und erhöhter Installationsaufwand
- leistungsfähigere Pumpen für den Befüllvorgang → höherer Energiebedarf notwendig

A. 4 Marktübersicht Drain-Back Systeme

Im Folgenden werden Funktionsprinzipien unterschiedlicher kommerziell erhältlicher Drain-Back Systeme entsprechend der Kategorisierung nach Abschnitt 2.2 gezeigt (Baumgartner, 2012).

Teilentleerendes System

Dieses System wird in dieser Arbeit ausführlich besprochen, es wird hier deshalb nur der Vollständigkeit halber gezeigt. Es ist nur ein kommerzielles Produkt bekannt.

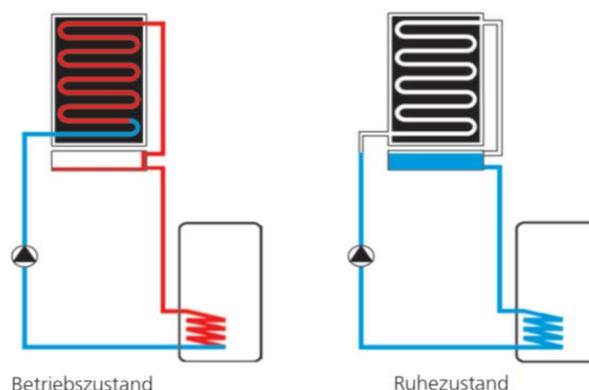


Abbildung 57: Funktionsprinzip teilentleerender Systeme (Soltark, 2011)

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Vollständig entleerende Systeme

Entleerung in überdimensionierten Wärmetauscher (Abbildung 58)

Nach diesem Prinzip sind 10 verschiedene Produkte bekannt. Einen wesentlichen Vorteil bietet der Wegfall eines externen Behälters, wodurch das System sehr kompakt gehalten wird. Vorzugsweise finden diese Systeme dort Anwendung wo wenig Platzangebot vorhanden ist. Aufgrund der Tatsache, dass sich das Rücklaufvolumen im speicherintegrierten Wärmetauscher befindet werden die thermischen Verluste an das Speichermedium abgegeben. Bei einem externen Drain-Back Behälter würden diese an die Umgebung verloren gehen. Als Nachteil kann die begrenzte Größe des Rücklaufvolumens gesehen werden, wodurch diese Systeme nicht für größere Leistungsbereiche verwendet werden können.

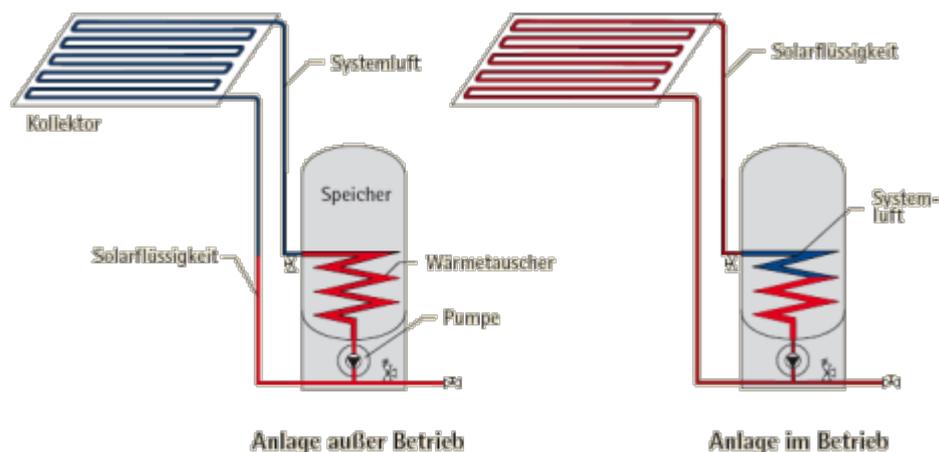


Abbildung 58: Funktionsprinzip der Entleerung in überdimensionierte Wärmetauscher (Wagner & Co, 2011)

Drain-Back Behälter im Vorlauf (Abbildung 59)

Nach diesem Prinzip sind 7 verschiedene Produkte bekannt. Der Vorteil solcher externen Einheiten besteht darin, dass sie sich in der Regel für größere Systeme miteinander verschalten lassen. Um die statische Höhe zwischen Drain-Back Behälter und Kollektoren zu minimieren, ist eine Montage nahe dem Kollektorfeld möglich. Allerdings sollte der Behälter im frostsicheren Bereich montiert werden. Als Nachteil ergeben sich aufgrund des zusätzlichen Volumens auf der heißen Systemseite höhere Wärmeverluste als bei Systemen wo der Drain-Back Behälter im Speicher oder im Rücklauf angeordnet ist.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

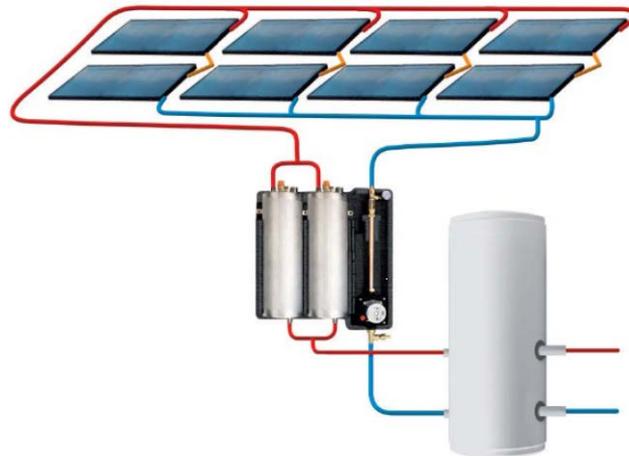


Abbildung 59: Funktionsprinzip Drain-Back Behälter im Vorlauf (Orkli, 2011)

Drain-Back Behälter im Rücklauf (Abbildung 60)

Nach diesem Prinzip ist ein Produkt bekannt. Ein wesentlicher Vorteil dieses System besteht in den geringen Wärmeverlusten gegenüber der Systemvariante mit Drain-Back Behälter im Vorlauf. Als Nachteil könnte sich die Anordnung der Pumpe erweisen. Aufgrund der Einbringung des Mediums in der Nähe des Saugstutzens kann im Falle eines zu geringen Füllstandes bzw. dem Ausfall der Füllstandskontrolle Luft mitgerissen werden und Probleme im Betrieb verursachen.

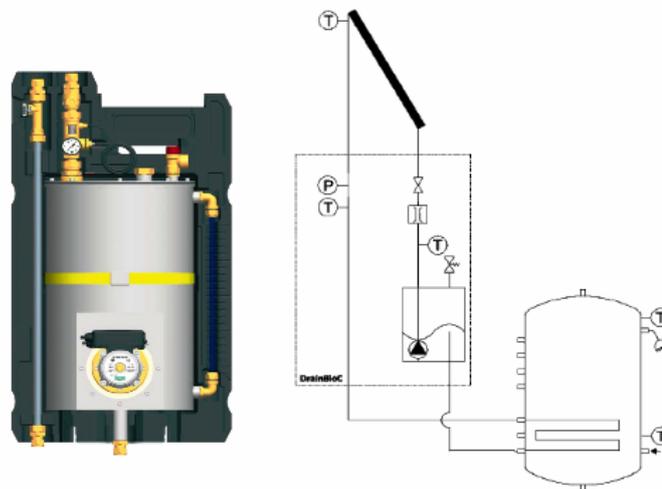


Abbildung 60: Schnittbild und Funktionsweise wenn Drain-Back Behälter im Rücklauf angebracht ist (PAW, 2011)

Drain-Back Behälter im Speicher integriert (Abbildung 61)

Nach diesem Prinzip sind 2 verschiedene Produkte bekannt. Durch die Anordnung des Drain-Back Behälters im Speicher werden die thermischen Verluste nicht wie bei anderen Systemen an die Umgebung abgegeben, sondern dem Wärmespeicher zugeführt. Durch diesen Effekt wird auch die Effizienz des Gesamtsystems verbessert.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

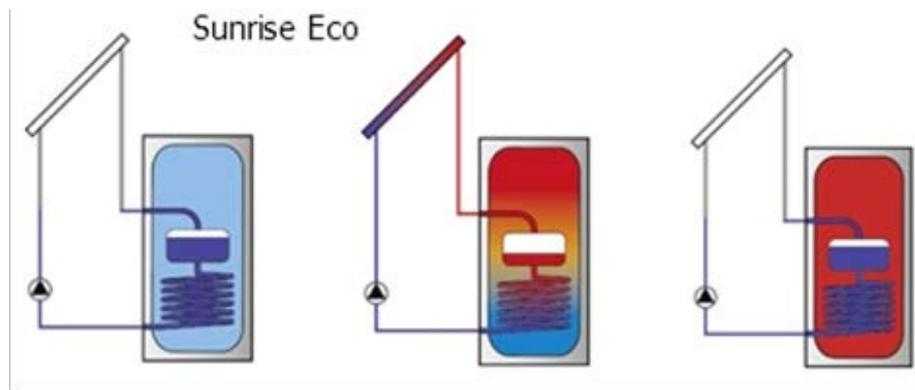


Abbildung 61: Funktionsprinzip Drain-Back Behälter im Speicher integriert (Helvetic Energy, 2011)

Offene Systeme

Entleerung in eigenen Drain-Back Behälter (Abbildung 62)

Nach diesem Prinzip sind 4 verschiedene Produkte bekannt. Das beispielhaft gezeigte System besitzt einen externen Wärmetauscher und damit getrennte Solar- und Ladekreise und ist in größeren Varianten auch für teilsolare Raumheizung geeignet. Der Vorteil einer solchen Systemkonfiguration liegt in der besseren Wärmeübertragung durch den externen Wärmetauscher. Ebenfalls können durch den externen Wärmetauscher auf der Sekundärseite Schichtladeeinrichtungen verwendet werden. Durch Schichtladeeinrichtungen kann das System sensibler auf unterschiedliche Strahlungsintensitäten und daraus resultierende abwechselnde Temperaturniveaus reagieren. Ein weiterer Vorteil eines solchen Systems ist die Reduzierung des Gewichts durch die Verwendung von Kunststoffkollektoren und den aus Kunststoff gefertigten Drain-Back Behälter. Als Nachteil dieses Systems kann der Einsatz einer zweiten Pumpe (Sekundärkreis) gesehen werden. Durch die Verwendung des Wärmetauschers ist zwar eine Schichtung im Speicher möglich, dieser verursacht jedoch zusätzliche Verluste und auch durch die zweite Pumpe entsteht ein höherer Energieeinsatz.

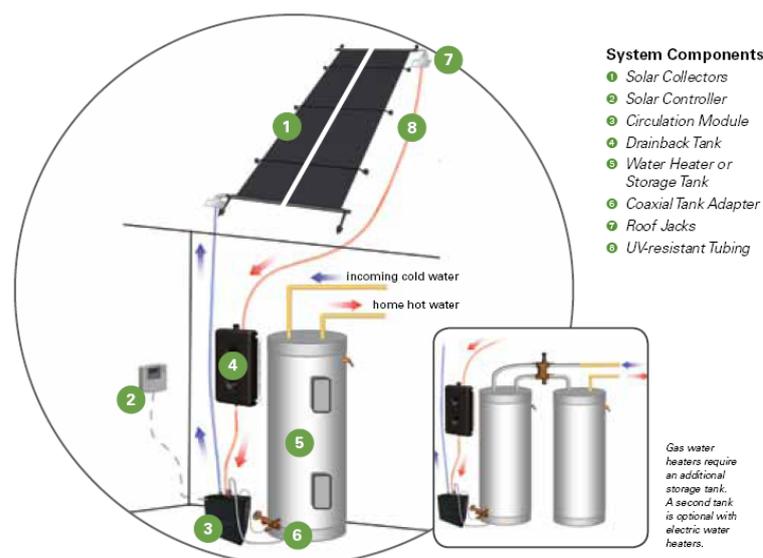


Abbildung 62: Funktionsprinzip Offenes System, Entleerung in eigene Drain-Back Einheit (Fafco, 2011)

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Entleerung direkt in drucklosen Speicher (Abbildung 63)

Nach diesem Prinzip sind 5 verschiedene Produkte bekannt. Generell liegen die Vorteile der beiden gezeigten Systeme in der z.T. einfachen Bauweise und dem hohen Grad an Vorfertigung, wodurch sich die Fehleranfälligkeit bei der Installation reduziert.

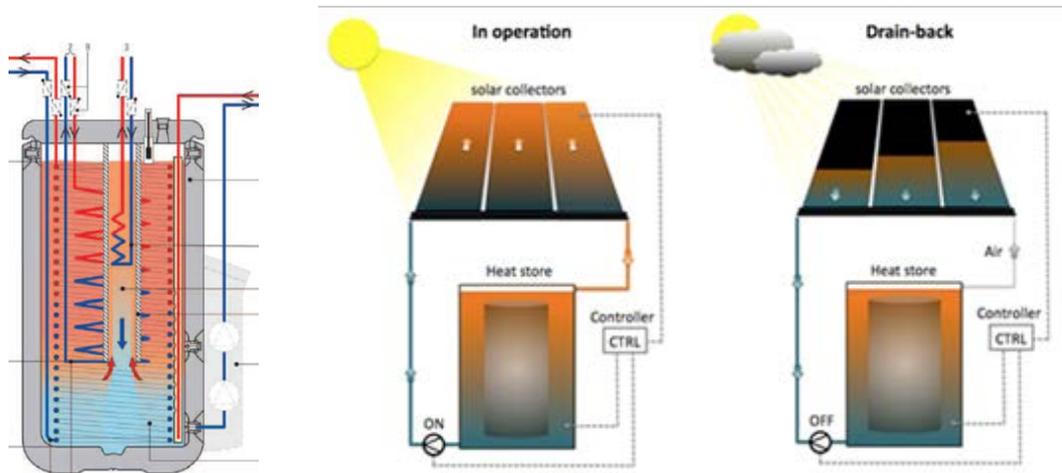


Abbildung 63: Funktionsprinzip Entleerung direkt in Speicher (links: Drain-Back Speicher mit integrierten Wärmetauschern – kleine Kollektorflächen (Rotex, 2011); rechts: Tank im Tank Systemkonzept – große Kollektorflächen (Aventa, 2011)

A. 5 Literaturverzeichnis zu Anhang A

Baumgartner. M., 2012

Baumgartner M., Messtechnisch unterstützte experimentelle Untersuchungen an einem teilentleerenden Solarsystem, Masterarbeit an der Fachhochschul Studiengänge Burgenland GmbH, Kernkompetenzbereich Energie- und Umweltmanagement, Pinkafeld 2012

Berner J., 2008

Berner J., Marktübersicht Drain-Back-Systeme, Leer und Sicher, Zeitschrift Sonne, Wind & Wärme, Ausgabe 14, 2008

Berner J., 2010

Berner J., Drainback Systeme, Sicher vor zu viel Sonne, Zeitschrift Sonne, Wind & Wärme, Ausgabe 1, 2010

Berner J., 2011

Berner J., Drain-Back Systems, Water in the box, Zeitschrift Sun & Wind Energy, Ausgabe 9, 2011

Delzer et al., 2000

Delzer T., Fischbach M., Luchterhand J., Remmers K., Schnauss M.: Sonnenwärme für den Hausgebrauch, Ein Ratgeber für Auswahl und Kauf der eigenen Solaranlage, Solarpraxis, Berlin, 2000

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Engeler et al., 2006

Engeler L., Salerno B.: SOLMAT – Frostschutzfreie Wassererwärmung, Bundesamt für Energie, Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Schweiz, September 2006

Hausner et al., 2003

Hausner R., Fink C., Wagner W., Riva R., Hilerns F.: Entwicklung von thermischen Solarsystemen mit unproblematischen Stagnationsverhalten, Endbericht, Haus der Zukunft, Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften, Bundesministerium für Verkehr Innovation und Technologie, Februar 2003

Ramlow et al., 2010

Ramlow B., Nusz B.: Solar Water Heating – A comprehensive Guide to Solar water and Space Heating Systems, Revised and Expanded Edition, New Society Publisher, Canada, 2010

Scheuren, 2008

Scheuren J.: Untersuchungen zum Stagnationsverhalten solarthermischer Analgen, Dissertation, Fachbereich Maschinenbau, Universität Kassel, 2008

Weiss et al., 2003

Weiss W., Streicher W., Suter J-M., Kovacs P., Vajen K., Jordan U., Letz T., Bales C., Bengt P., Drück H., Visser H., Jaehnig D.: Solar Heating Systems for Houses - A Design Handbook for Solar Combisystems, James & James Ltd. London, 2003

A. 6 Quellenverzeichnis zu Anhang A

Aventa, 2011

Aventa AS: The Aventa Solar Concept,
<http://aventa.frifugl.net/eng/Solar-Energy/The-AventaSolar-concept>, abgerufen am 13.10.2011 um 23:15 Uhr

Fafco, 2011

Fafco Incorporated, USA, Datasheet, Fafco 200 Series
http://www.fafco.com/files/FAFCO_200%20series_data%20sheet.pdf, abgerufen am 12.10.2011 um 11:46 Uhr

Helvetic Energy, 2011

Helvetic Energy GmbH, Schweiz, Produktflyer Sunrise Eco
<http://www.helvetic-energy.ch/doc/prospekte/SunriseEcoDE.pdf>, abgerufen am 14.10.2011 um 13:05 Uhr

PAW, 2011

PAW GmbH & Co. KG, Deutschland: Produktflyer DrainBloC,
http://www.paw.eu/de/service/documents/PAW_DrainBloC_D.pdf, abgerufen am 13.10.2011 um 15:37 Uhr

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
FFG

Rotex, 2011

Rotex Heating Systems GmbH, Deutschland, Produktflyer Rotex Solaris
http://de.rotex-heating.com/fileadmin/prospekte/de/Prospekte-Produkte/Prospekt_Solaris.pdf, abgerufen am 12.10.2011 um 9:28 Uhr

Orkli, 2011

Orkli, S. Coop, Niederlande, Manual Drain-Unit
<http://www.orkli.com/pdf/MANUAL%20drain%20unit.pdf>, abgerufen am 13.10.2011 um 16:20 Uhr

Soltark, 2011

Soltark UG, Deutschland, Produktflyer DrainMaster
http://soltark.de/Bilder/PDF/Flyer/DM_d_0810.pdf, abgerufen am 13.10.2011 um 15:42 Uhr

Wagner & Co, 2011

Wagner & Co Solartechnik GmbH, Produktflyer Secusol
http://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=wagner%20secusol&source=web&cd=3&sqi=2&ved=0CCoQFjAC&url=http%3A%2F%2Fdownloadcenter.wagner-solar.com%2Fdownload.php%3Fc_download%3D653%26c_event%3Ddownload&ei=sYDCTrOIdKyk4ASp2synDQ&usg=AFQjCNGZsGOjDiyQ_DYuk-aYC7DEIVYcpA&cad=rja, abgerufen am 13.10.2011 um 17:46 Uhr

AEE INTEC, 2010

PARASOL, Hydraulikdesign von parallelen Kollektormodulen in solarthermischen Großanlagen, laufendes Forschungsprojekt, Klima- und Energiefonds des Bundes, Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft, 2010

Anhang B

Messkonzepte zu den Laboruntersuchungen

B. 1 Konventionelles teilentleerendes System unter realen Bedingungen

Messaufbau

Der Messaufbau des konventionellen teilentleerenden Systems ist in Abbildung 64, Abbildung 65 und Abbildung 66 zu sehen (Baumgartner, 2012).

Das teilentleerende Drain-Back System ist mit einem DrainMaster ausgestattet, welcher ein Fassungsvermögen von 10 l aufweist. Dieser ist unterhalb der Kollektoren mit 1 cm Gefälle über die Gesamtlänge montiert, sodass eine ordnungsgemäße Entleerung gewährleistet wird. Bei den Kollektoren handelt es sich um 2 Stk. Flachkollektoren FKA 207 V der Firma Soltark mit einer Bruttofläche von je 2,85 m² (Aperturfläche 2,52 m²), welche parallel betrieben werden. Die Kollektorhydraulik ist als waagrechte Harfe ausgeführt, wodurch bei korrekter Aufstellung eine gute Selbstentleerung möglich ist.

Sämtliche Armaturen wie Sicherheitsventil (6 bar), Manometer, Thermometer, Füll- und Entleerhahn, Absperrventile, Rückschlagklappen und die entsprechende Pumpe sind in einer kompakten Pumpengruppe (PG) vormontiert. Dennoch sind zusätzliche Armaturen installiert, um die vorhandene Messtechnik im Falle eines Defekts ohne komplettes Ablassen des Wärmeträgers im System tauschen zu können.

Für die Abnahme des Solarertrages dient ein 300 l Warmwasserspeicher mit innenliegendem Rohrbündelwärmetauscher. Ein weiterer Wärmetauscher befindet sich im oberen Bereich des Speichers, welcher für eine eventuelle Nachheizung genutzt werden könnte. Für eine zusätzliche Aufheizung des Speicherwassers kann die vorhandene E-Patrone mit einer elektrischen Leistung von 3 kW herangezogen werden. Dadurch ist es möglich, dass Speicherwasser auf eine definierte Temperatur zu konditionieren, um den Einfluss unterschiedlicher Speichertemperaturen auf das Systemverhalten zu bekommen.

Diesbezüglich ist auch ein hydraulischer Bypass des Speichers realisiert. Über eine externe Pumpe kann aus dem oberen Bereich des Speichers warmes Wasser entnommen und dem unteren Bereich zugeführt werden. Dadurch wird eine Konditionierung jenes Bereichs im Speicher möglich, in dem der Wärmetauscher des Solarkreises positioniert ist. Für das Systemverhalten ist gerade dieser Bereich von großer Bedeutung. Des Weiteren ist es durch einen Kaltwasseranschluss möglich den Speicher wieder zu kühlen, da keine geregelte Abnahme des warmen Speicherwasser verwendet wird. Ohne diesen Anschluss würde der Speicher lediglich infolge seiner thermischen Verluste an Temperatur verlieren.

Generell wird dieses System gleich wie ein herkömmliches Solarsystem betrieben. Die Regelung der Pumpe (Wilo Stratos Para 15/1-7) erfolgt über die Kollektortemperatur (T_{Koll}) und die untere Speichertemperatur ($T_{SpUnten}$). Ist aufgrund solarer Einstrahlung die Kollektortemperatur um 7 K größer als die untere Speichertemperatur, schaltet die Pumpe ein. Erst wenn diese Temperaturdifferenz unter 3 K abfällt schaltet die Pumpe wieder aus. Diese Art der Regelung entspricht einer einfachen 2-Punkt Regelung. Aufgrund der Konfiguration als solare Warmwasserbereitung wird das System bei den ersten Versuchsreihen mit einem spezifischen Durchfluss von $\sim 70 \text{ l/m}^2\text{h}$ mit dem Medium Tyfocor LS betrieben.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
FFG



Abbildung 64: Aufbau Kollektoren und DrainMaster am Teststand der AEE INTEC

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
FFG

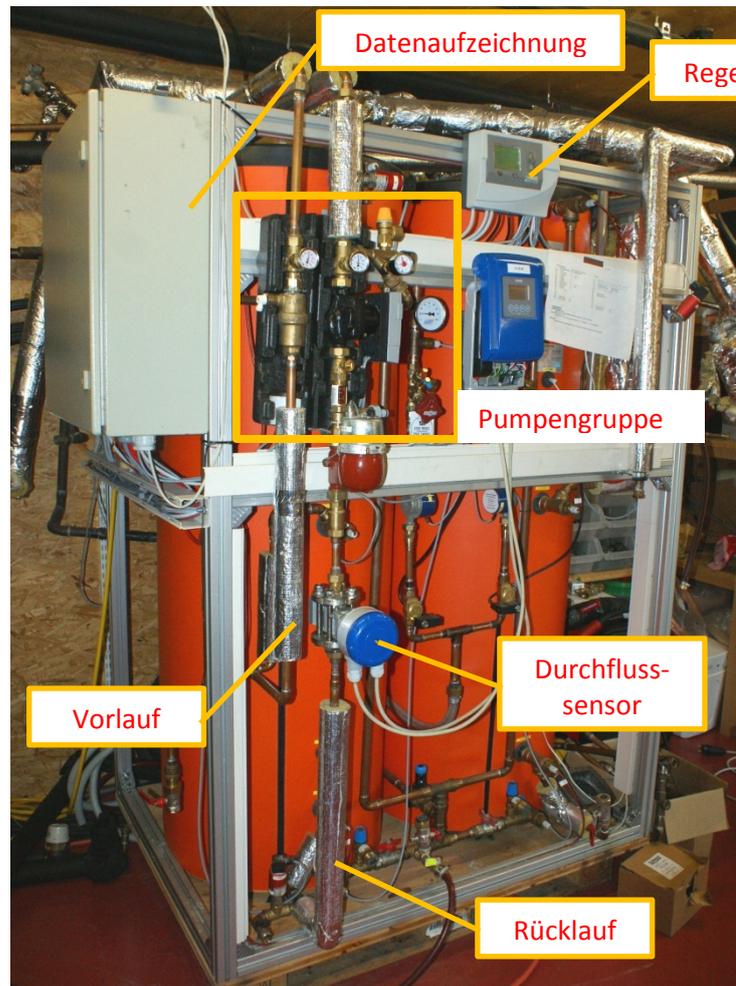


Abbildung 65: Brauchwasserspeicher (linker Speicher für das untersuchte System) inklusive Regelung, Messsystem und Datenaufzeichnung am Teststand der AEE INTEC

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

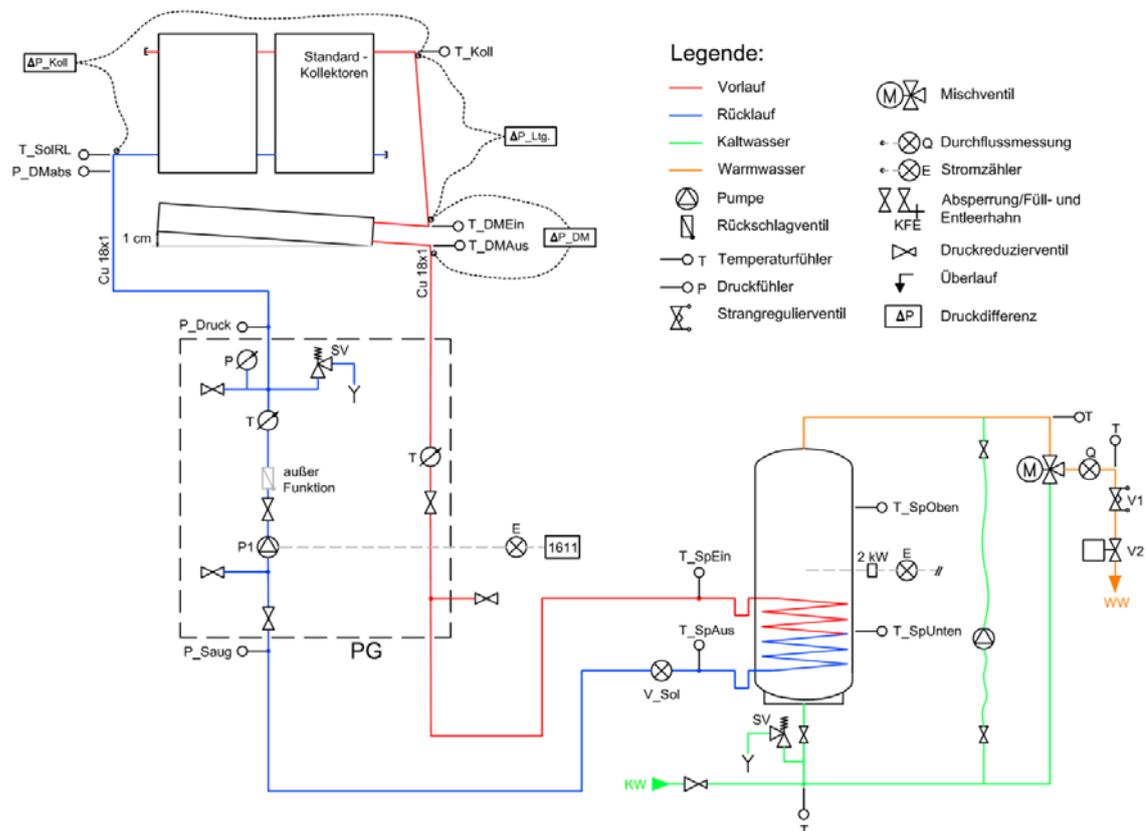


Abbildung 66: schematische Darstellung des Versuchsaufbaus für das konventionelle Drain-Back System

B. 2 Teilentleerendes System als Plexiglasmodell unter Laborbedingungen

Messaufbau

Entleereinheit und Fallrohr wurden aus Plexiglas nachgebildet um Strömungsvorgänge optisch beobachten zu können (Abbildung 67). Bei diesem Aufbau handelt es sich um ein geschlossenes System, welches aus einem Kupferabsorber, einer transparenten Falleitung und einem transparenten teilentleerenden Drain-Back Behälter besteht. Bei diesem handelt es sich um eine maßstabsgetreue Nachbildung der konventionellen Entleereinheit DrainMaster. Dieser ist wie bei einem realen System mit einer Neigung von ca. 1 cm montiert, damit von der Ablaufleitung keine Luft angesaugt werden kann. Um möglichst reale Strömungsverhältnisse bewerkstelligen zu können, ist die Kupferharfe einem realen Kollektor nachempfunden, jedoch ohne Absorber, Rahmen, Glas, etc., da diese keinerlei Einfluss auf die Strömungsverteilung in der Harfe haben. Des Weiteren ist die Falleitung in Plexiglas ausgeführt, um sämtliche physikalischen Effekte beim Befüll- und Entleervorgang visuell beobachten zu können. Der Harfenabsorber besteht aus 15 Kupferharfen mit einem Durchmesser von jeweils 10x1 mm. Während die obere Sammelleitung aus 20x2 mm Plexiglas ausgeführt ist, wird bei der unteren Sammelleitung der Harfe ein 22x1 mm Kupferrohr verwendet. Für die Falleitung wird ein Plexiglasrohr mit einem Durchmesser von 20x2 mm herangezogen. Sowohl das Einlaufrohr als auch das Auslaufrohr des DrainMaster ist aus Edelstahl gefertigt und weist eine Dimension von 22x1,5 mm auf. Die geodätische Höhe zwischen Einlaufrohr des DrainMaster und Austritt aus der Harfe muss gleich sein mit jener eines realen Systems, um aussagekräftige und

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

repräsentative Ergebnisse gewährleisten zu können. Bei dem vorliegenden Versuchsaufbau beträgt dieser Höhenunterschied etwa 2 m.

In der nachfolgenden Abbildung sind die Einbauten sowie die Positionen des Ein- und Auslaufrohres gezeigt. Wie daraus hervor geht, ist im Inneren des DrainMaster ein Ausgleichsbehälter angebracht. Dieser sorgt in sich für ein konstantes Flüssigkeitsniveau, weshalb durch den Austritt aus dem Einlaufrohr keine zusätzlichen Luftbläschen verursacht werden und somit eine gute Entgasung des Wärmeträgermediums gewährleistet wird. Im Betrieb wird Medium von der Pumpe in die Harfe befördert, fließt durch die Falleitung und wird über das Einlaufrohr in den DrainMaster eingebracht. Im DrainMaster fließt das Medium in den Ausgleichsbehälter, welcher überläuft und das Medium über das Auslaufrohr zurück zur Pumpe transportiert, wo der Kreislauf von neuem beginnt.

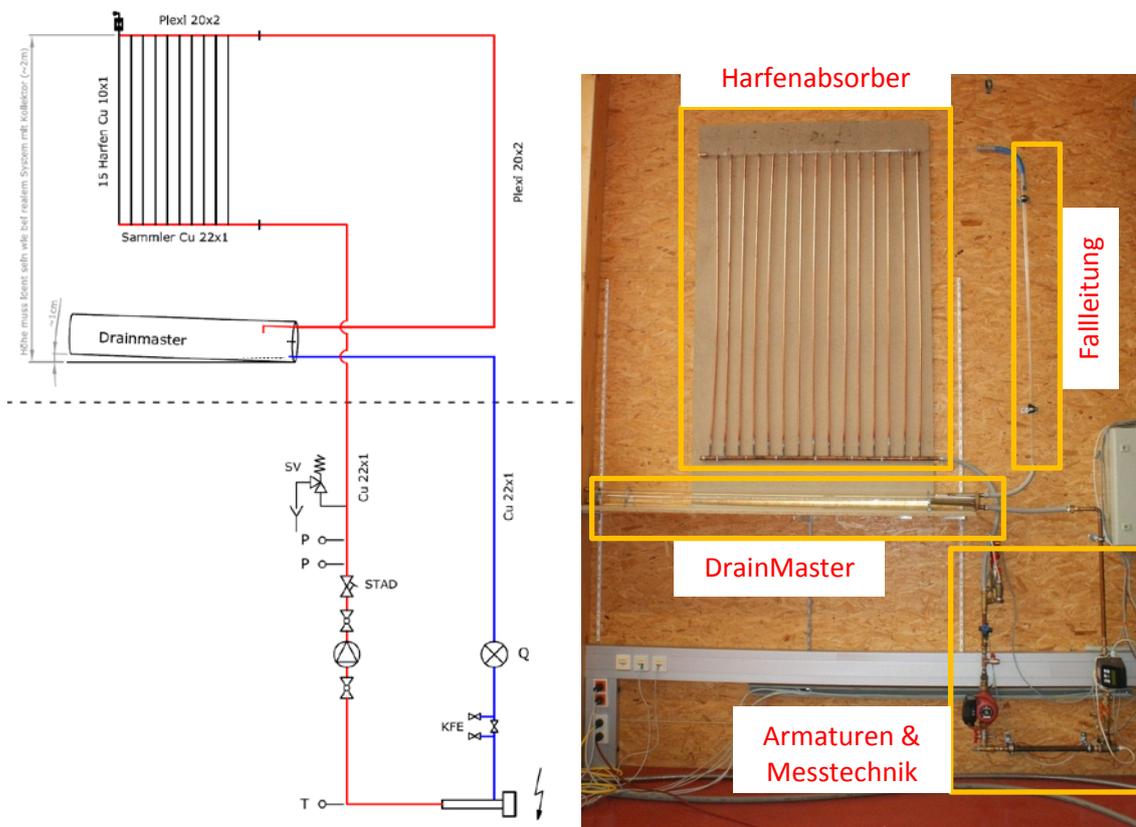


Abbildung 67: Schematischer Aufbau (links) und Versuchsaufbau (rechts) zur Untersuchung des Füll- und Entleerverhaltens in einem geschlossenen System (Baumgartner, 2012).

Die Versuchsdurchführungen erfolgten (gleich wie jene bei den Falleitungen im folgenden Kapitel) beginnend bei niedrigen Werten, die noch keine Luftverdrängung bewirkten, durch schrittweise Erhöhung des Durchflusses. Wird nach einer längeren Wartezeit (5-10 min) noch keine Änderung wahrgenommen (Verdrängung der Luft aus der Falleitung bzw. der Harfe), erfolgt eine manuelle Erhöhung des Durchflusses. Bevor sich die Harfe bzw. Falleitung mit Medium füllt, muss von der Pumpe die gesamte geodätische Höhe überwunden werden. Erst beim Umschlagspunkt, wo Luft aus der Harfe und der Falleitung verdrängt wird, beginnt sich durch die Saugwirkung der Falleitung die geodätische Höhe zu reduzieren, weshalb der Durchfluss stetig zunimmt. Diese Zunahme des Durchflusses bzw. Abnahme der geodätischen Höhe findet solange statt, bis die gesamte Luft aus der Harfe und der Falleitung verdrängt ist. Dieser stationäre Zustand bleibt für einige Minuten unverändert. Anschließend wird der

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Durchfluss wieder manuell reduziert, um jenen Durchfluss zu bestimmen, bei welchem Luft in die Falleitung bzw. Harfe wieder von unten eindringen kann.

B. 3 Messkonzept Detailuntersuchungen Falleitung

Wie die Versuche am Plexiglasmodell gezeigt haben, waren Detailuntersuchungen an Falleitungen hinsichtlich der Befüllung und Entleerung notwendig, da es nahezu keine Literatur bzw. Publikationen hinsichtlich dieser Thematik gibt. Ziel dieser Untersuchungen war es, für unterschiedliche Rohrdurchmesser jene Durchflussmengen zu bestimmen, bei welchen die gesamte Luft aus den Falleitungen verdrängt wird (Befüllvorgang) bzw. ab welchem minimalem Durchfluss nach kompletter Füllung wieder Luft in das System eindringen kann (Entleervorgang). Daraus sollten funktionale Zusammenhänge ermittelt werden (Baumgartner, 2012).

Messaufbau

Der Messaufbau ist aus Abbildung 68 ersichtlich. Es wurde Wasser bzw. ein Glykol-Gemisch (Tyfokor LS) mittels einer Pumpe auf eine bestimmte geodätische Höhe befördert, um anschließend in der aus Plexiglas ausgeführten Falleitung in einen Vorratsbehälter zu strömen. Um den Durchfluss für den jeweiligen Versuch entsprechend einstellen zu können, diente ein Strangreguliertventil. Des Weiteren war es mittels einer elektrischen Heizpatrone möglich, das Befüll- und Entleerverhalten bei diversen Temperaturniveaus zu untersuchen. Das System ist so aufgebaut, dass unterschiedliche Rohrdurchmesser untersucht werden können. Die Verwendung von Plexiglasrohren dient zum einen der visuellen Beurteilung des Strömungsprofils und zum anderen der Überprüfung von etwaigen Lufteinschlüssen in der Falleitung. Der Messvorgang erfolgt gleich wie im vorigen Kapitel bereits beschrieben.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

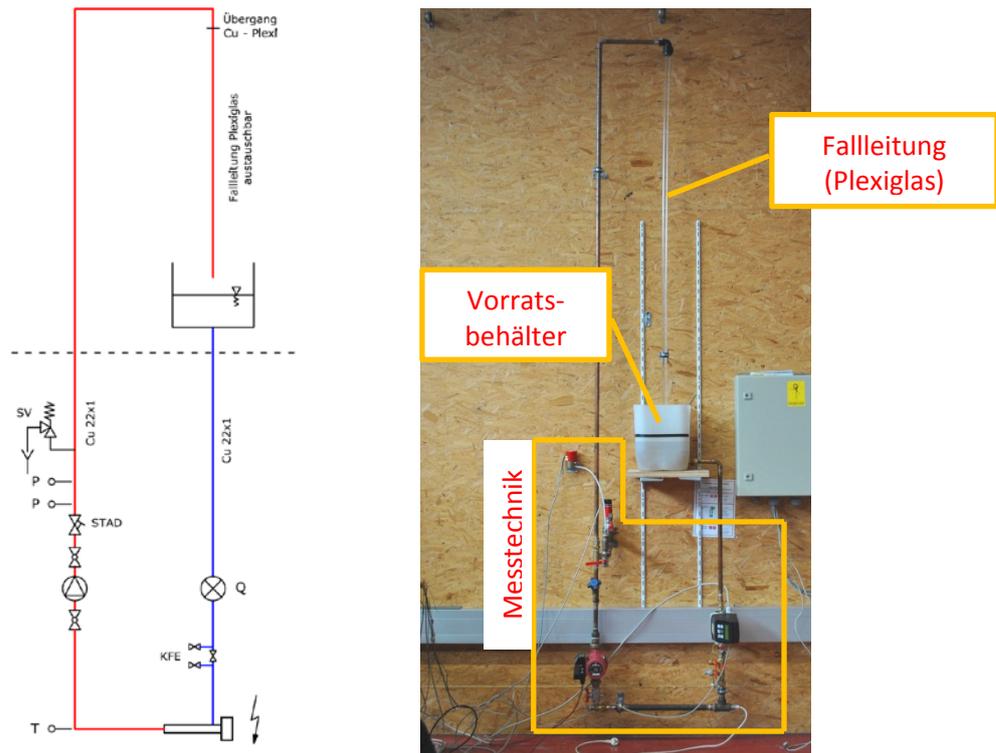


Abbildung 68: Schematischer Aufbau (links) und Versuchsaufbau (rechts) zur Untersuchung des Füll- und Entleerverhaltens in senkrechten Rohrleitungen (Fallleitungen)

B. 4 Literaturverzeichnis zu Anhang B

Baumgartner. M., 2012

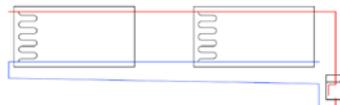
Baumgartner M., Messtechnisch unterstützte experimentelle Untersuchungen an einem teilentleerenden Solarsystem, Masterarbeit an der Fachhochschul Studiengänge Burgenland GmbH, Kernkompetenzbereich Energie- und Umweltmanagement, Pinkafeld 2012

Anhang C

Durchführung von Versuchsreihen am Laborsystem (25 m²)

Beispielhaft sind Messergebnisse für das Verschaltungsbeispiel 1 bereits in Kapitel 7.3 dargestellt worden. Hier werden für alle Verschaltungsbeispiele wesentliche Messungen gezeigt (Schwarz, 2013).

C. 1 Messbeispiel 1, Verschaltungsvariante 1, Füll- und Entleerungsvorgang mit Stagnation



Mäanderkollektorvariante 1

Beispielhaft werden hier anhand der **Parallelverschaltung des Mäanderkollektors (Variante 1)** das Auswerteverfahren und die Bewertung der Messungen erläutert. In Abbildung 69 ist ein Füll- und Entleerungsvorgang mit anschließender Stagnation bei mäßiger Strahlungsleistung (im Durchschnitt rund 800 W/m²) im Überblick gezeigt.

Im Folgenden werden nun Details für den Füll-, Entleerungs- und Stagnationsvorgang für die 6 Verschaltungsvarianten dargestellt.

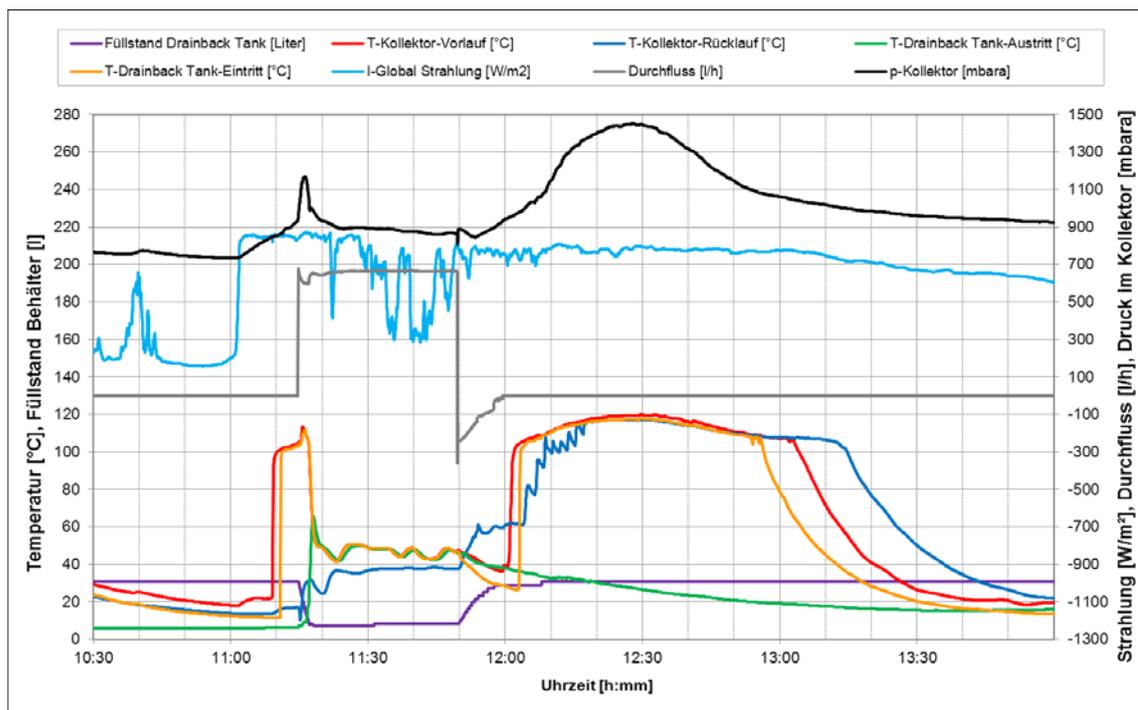


Abbildung 69: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 1 (direkt parallelverschaltete Mäanderkollektoren) mit Füll- und Entleerungsvorgang und anschließender Stagnation

Füllvorgang Verschaltungsvariante 1

Der Regler ist auf Handbetrieb gestellt. Mit Einsetzen der Solarstrahlung (11:01, bis maximal etwa 870 W/m²) beginnt der Druck zu steigen (kontinuierliche Erwärmung des Kollektors und seiner Luftfüllung). Die Kollektortemperatur erreicht am Austritt mit dem Einsetzen der Verdampfung von Flüssigkeitsresten, die noch in den Mäanderrohren sind, sehr rasch etwa

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

100 °C (11:10). Kurz darauf dringt der Dampf bis zum Entleerbehälter vor (11:11). Diese Temperaturen steigen bis 11:16 nur mehr langsam an (weiteres Verdampfen von Restflüssigkeit).

Die Pumpe wird im Handbetrieb eingeschaltet (11:15, maximale Drehzahl) und der Füllvorgang beginnt. Der Durchfluss setzt mit maximalem Wert (etwa 680 l/h) ein und sinkt anschließend leicht ab (Gegendruck der Flüssigkeitssäule bis Oberkante Kollektor, Minimum 600 l/h) um kurz darauf wieder bis zum stabilen Wert von 670 l/h anzusteigen (11:18, Saugwirkung des Fallrohres ist voll erreicht). In diesem Zeitraum sinkt der Füllstand im Entleerbehälter kontinuierlich und erreicht um 11:18 seinen Minimalstand. Eine kurze Druck- (etwa 1170 mbar_{abs}) und Temperaturspitze (etwa 113 °C) um 11:16 zeigen, dass der Kollektor, bevor er noch gefüllt wurde, bereits Temperaturen deutlich über etwa 110 °C hatte und dass kurzzeitig Dampfbildung auftritt (Siedetemperatur von Tyfocor LS bei 1170 mbar_{abs} ist 108°C). Um etwa 11:20 ist der Füllvorgang abgeschlossen und es ist ein stabiler Zustand erreicht. Die Temperaturen am Kollektorausstritt (etwa 40 – 50 °C) spiegeln in der Folge die Schwankungen der solaren Einstrahlung wider und der Druck erreicht stabil etwa 900 mbar_{abs}. Die Temperatur des Kollektorrücklaufs (im Ruhezustand etwa 15 °C) erreicht langsam die vom Speicher vorgegebene Temperatur von etwa 40 °C. Die Drehzahl der Pumpe bleibt im Handbetrieb auf ihrem Maximum.

Der gesamte Füllvorgang benötigte etwa 5 min bis zur Stabilisierung des Durchflusses (der Entleerbehälter war nach etwa 3 min entleert) und verlief problemlos, obwohl in einen leicht vorerhitzten Kollektor gefüllt wurde.

Entleerungsvorgang Verschaltungsvariante 1

Während des gesamten Entleerungsverlaufes betrug die Solarstrahlungsleistung im Mittel etwa 750 W/m² mit nur geringen Schwankungen.

Die Pumpe wurde um 11:49:30 abgestellt. Der Entleerungsvorgang startet unmittelbar, der Durchfluss erreicht mit -360 l/h seinen höchsten negativen Wert um unmittelbar darauf auf -270 l/h abzusinken. Von diesem Zeitpunkt an nimmt er kontinuierlich ab und erreicht den Wert 0 um 12:00. Dieser Vorgang spiegelt sich auch im Füllstand wider; mit Absinken der treibenden Kraft (Niveauunterschiede der Flüssigkeitssäulen in Vor- und Rücklauf) sinkt seine Anstiegsgeschwindigkeit. Der letzte Anstieg des Niveaus um 12:08 könnte durch Ausdampf- und Kondensationsvorgänge während des dann bereits gestarteten Stagnationsvorgangs verursacht sein, allerdings ist zu beachten, dass der Füllstandssensor nicht kontinuierlich misst (der Anstieg entspricht einer Auflösung von 1 Digit). Die Kollektorrücklauftemperatur steigt auf etwa 60 °C an (im Kollektor bereits erwärmte Flüssigkeit). Die Temperaturen an Kollektorausstritt und an beiden Entleerbehälteranschlüssen sinken vorerst durch Wärmeabgabe an die Umgebung ab.

Der gesamte Entleerungsvorgang benötigte etwa 10,5 min und verlief problemlos.

Stagnation Verschaltungsvariante 1

Bei hohen Strahlungsleistungen geht der Entleerungsvorgang unmittelbar in den Stagnationsvorgang über. Die Kollektortemperatur steigt sehr rasch bis zum Siedepunkt der Restflüssigkeit im Kollektor an (etwa 12:00), diese verdampft und bewirkt auch hohe Temperaturen zuerst an den austrittsseitigen Sensoren am Kollektorausstritt und Entleerbehältereintritt (12:04) später auch am Kollektoreintritt (12:17). Durch die Vermehrung der Gas- + Dampfphase im System steigen Druck und Siedetemperatur langsam an bis zu Maximalwerten von etwa 1450 mbar_{abs} bzw. 120 °C (12:27). Mit zunehmender Austrocknung der Kollektoren sinken diese Werte wieder und nach rund einer Stunde sinken die Werte der

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

außerhalb des Kollektor liegenden Temperatursensoren wieder unter die Siedetemperatur (12:55 – 13:12) und sinken rasch weiter in Richtung Umgebungstemperatur.

Der Stagnationsvorgang verläuft problemlos, allerdings mit deutlichem Druckanstieg durch Verdampfung der Restflüssigkeit.

C. 2 Messbeispiel 2, Verschaltungsvariante 1, Details Füll-, Entleerungsvorgang, Stagnation

Beispielhaft werden hier anhand der **Parallelverschaltung des Mäanderkollektors (Variante 1)** Details für das Füll- und Entleerungsverhalten mit **größerer Zeitauflösung** dargestellt, wobei bei dieser Messung der Solarregler auf „Automatik“ gestellt war.

Füllvorgang Verschaltungsvariante 1, Detail

In Abbildung 70 ist mit höherer Zeitauflösung ein Füllvorgang im Automatikbetrieb dargestellt. Nachdem die Kollektortemperatur ausreichend über die untere Speichertemperatur angestiegen ist, schaltet die Pumpe mit maximaler Drehzahl ein (10:12:50). Um 10:13:00 ist der maximale Durchfluss (630 l/h) erreicht, der mit zunehmender Füllung der Rücklaufleitung und des Kollektors dann leicht abzufallen beginnt. Der Pumpenförderdruck spiegelt dieses in inverser Weise deutlich wider. Die Kollektorvorlauftemperatur steigt bis 10:14:15 auf 101 °C an, bei einem Druck am Kollektor von 0,92 bar_{abs} (entspricht einer Siedetemperatur von 102 °C für Tyfocor LS). Die Druckentwicklung in diesem Zeitraum zeigt, dass im Kollektor Dampf entsteht. Um 10:15:15 ist die Fallleitung gefüllt, bis dahin hat der Füllstand im Entleerbehälter kontinuierlich abgenommen und der Durchfluss erreicht wieder nahezu konstant 630 l/h. 10 min nach dem Start der Pumpe wird diese auf die verminderte Drehzahl für den Dauerbetrieb gestellt; der Durchfluss beträgt dann 500 l/h. Etwa 15 min nach Pumpenstart haben auch die Temperaturen stabile Werte erreicht. Der Differenzdruck am Kollektor und an der Fallleitung zeigen, dass rund 50 sec nach dem Pumpenstart die Flüssigkeitssäule den Kollektor erreicht, der Kollektor nach weiteren etwa 1:30 min gefüllt ist und die Fallleitung nach weiteren rund 10 sec stabil gefüllt ist. Der gesamte Füllvorgang dauert somit rund 2:30 min.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

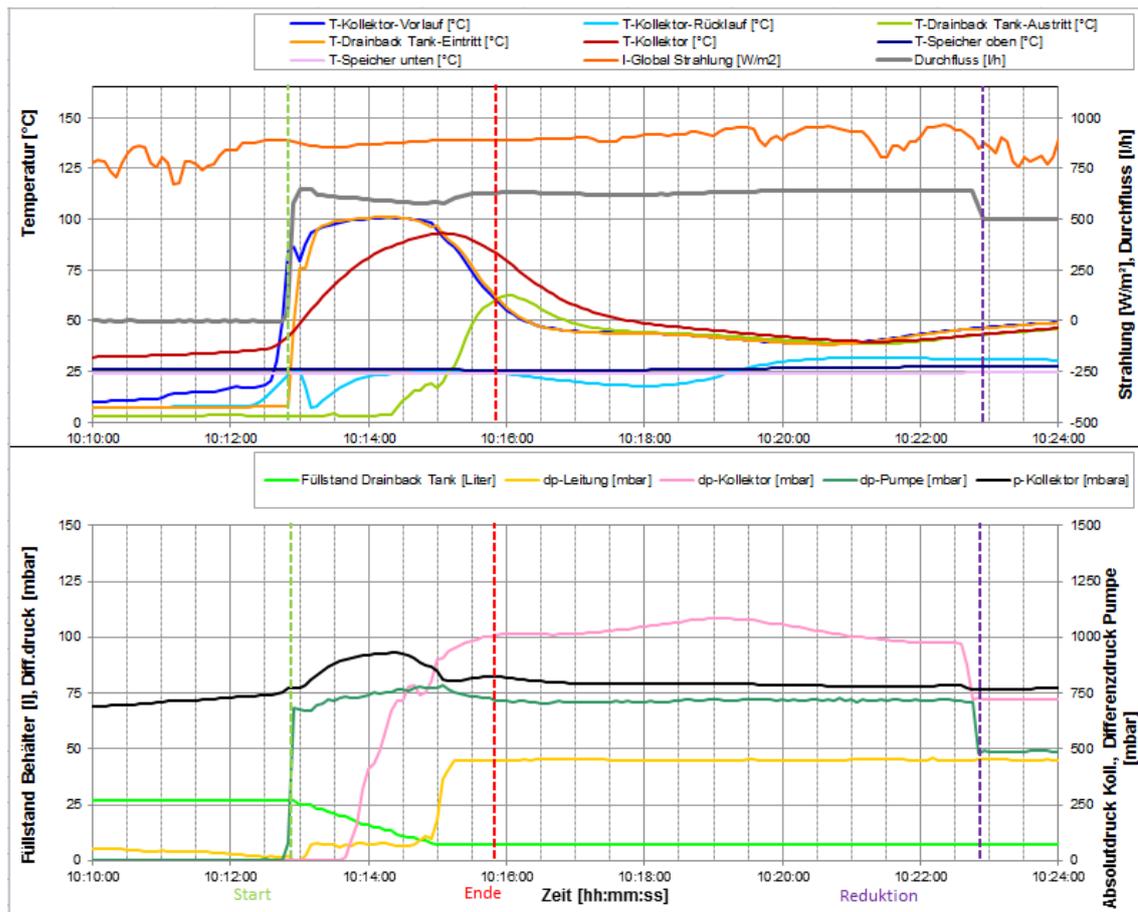


Abbildung 70: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 1 (direkt parallelverschaltete Mäanderkollektoren), Details des Füllvorgangs

Entleerungsvorgang Verschaltungsvariante 1, Detail

In Abbildung 71 ist mit höherer Zeitauflösung ein Entleerungsvorgang dargestellt.

Während des gesamten Entleerungsverlaufes betrug die Solarstrahlungsleistung im Mittel etwa 600 W/m^2 mit abnehmender Tendenz.

Die Pumpe wurde um 15:09:00 abgestellt. Der Entleerungsvorgang startet unmittelbar, der Durchfluss erreicht mit -255 l/h seinen höchsten negativen Wert um anschließend kontinuierlich bis 15:16:00 auf -100 l/h abzusinken; um 15:17:15 ist der Entleerungsvorgang beendet. Dementsprechend steigt der Füllstand mit sinkender Geschwindigkeit kontinuierlich von 8 auf 28 l an. An den Differenzdrücken ist zu erkennen, dass die Fallleitung bereits nach etwa 10 sec und der Kollektor nach etwa 1:15 min geleert sind. Der Verlauf des Differenzdruckes an der Pumpe erklärt sich aus dem Reibungsdruckverlust der nun in umgekehrter Richtung durch sie fließenden Flüssigkeit. Die Kollektorrücklauftemperatur steigt von anfangs $75 \text{ }^\circ\text{C}$ auf etwa $85 \text{ }^\circ\text{C}$ an (im Kollektor bereits erwärmte Flüssigkeit, der Kollektor ist nun leer). Da die Solarstrahlungsleistung absinkt kommt es zu keiner Verdampfung von Restflüssigkeit im Kollektor, der Druck bleibt bei etwa $1,25 \text{ bar}_{\text{abs}}$.

Der gesamte Entleerungsvorgang benötigte etwa 8:30 min und verlief problemlos.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

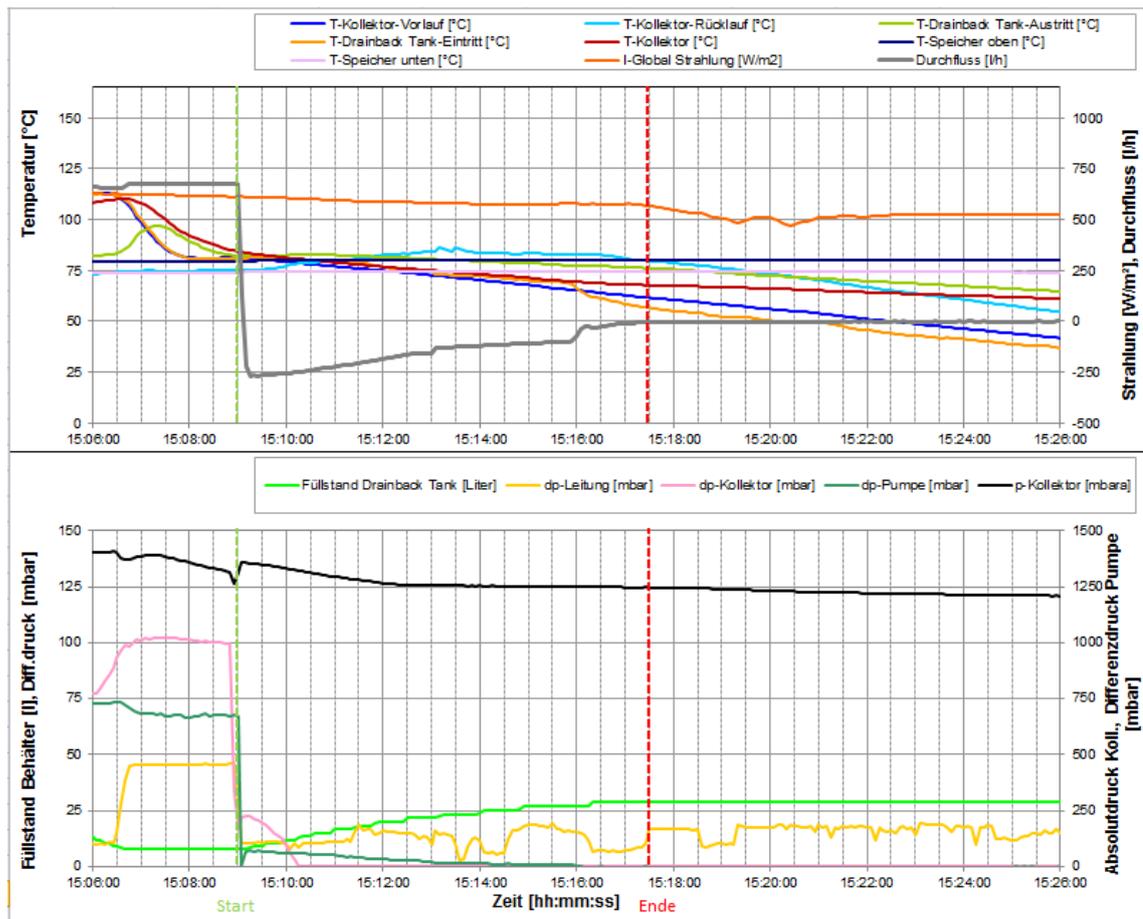


Abbildung 71: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 1 (direkt parallelverschaltete Mäanderkollektoren), Details des Entleerungsvorgangs

Stagnation Verschaltungsvariante 1, hohe Strahlungsleistung

In Abbildung 72 ist ein Entleerungsvorgang mit anschließender Stagnation bei hoher Strahlungsleistung (etwa 1000 W/m²) dargestellt.

Die Vorgänge sind bis zum Ende des Entleerungsvorganges prinzipiell gleich wie oben beschrieben (Abbildung 71), dann allerdings steigen Temperaturen und Druck kontinuierlich wegen der hohen Strahlungsleistung an. Als maximaler Druck werden 2,5 bar_{abs}, entsprechend einer Temperatur von 133 °C, erreicht.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

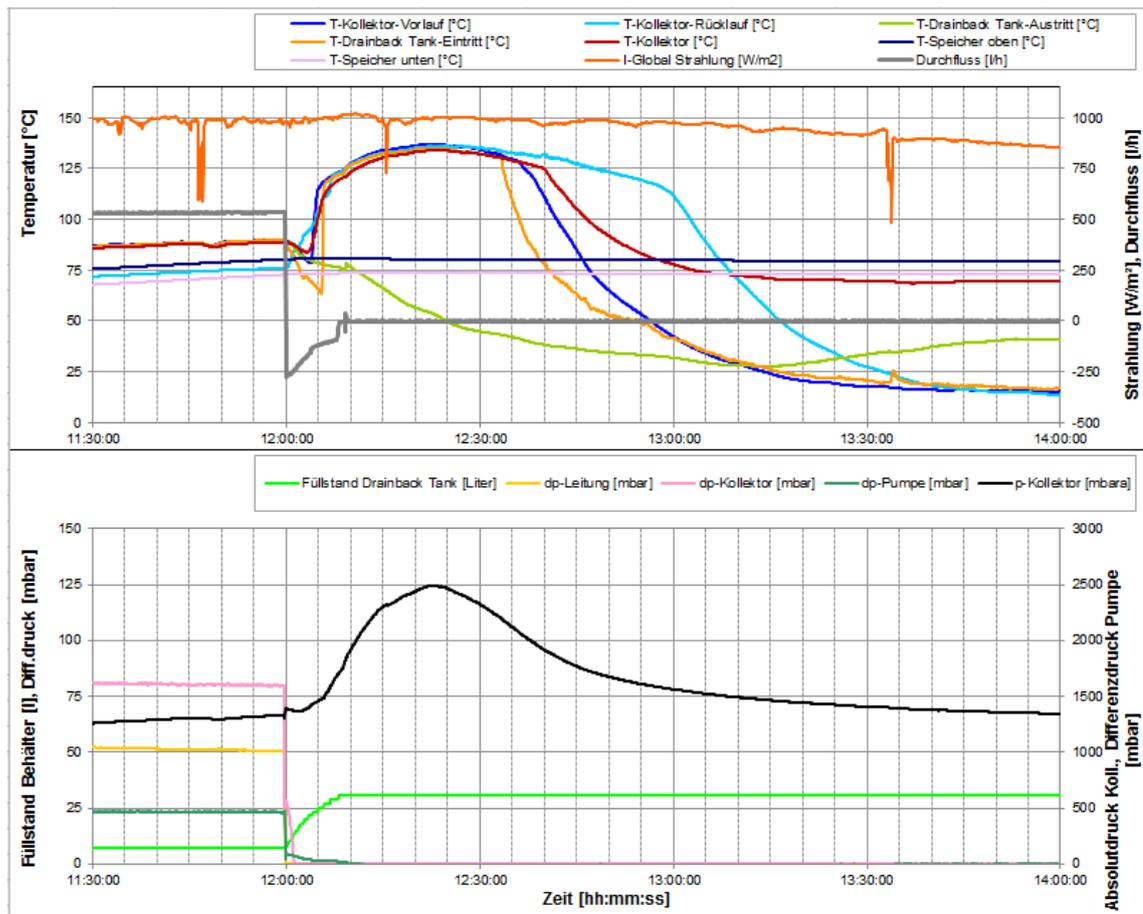
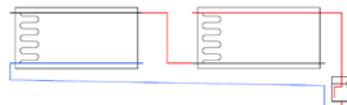


Abbildung 72: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 1 (direkt parallelverschaltete Mäanderkollektoren), Details eines Entleerungsvorgangs mit anschließender Stagnation bei hoher Strahlungsleistung

C. 3 Messbeispiel 3, Verschaltungsvariante 2, Füll- und Entleerungsvorgang mit Stagnation



Mäanderkollektorvariante 2

Beispielhaft werden hier für die **Serienschaltung des Mäanderkollektors (Variante 2)** Messungen gezeigt. In Abbildung 73 und Abbildung 74 werden ein Füll- und Entleerungsvorgang mit anschließender Stagnation bei hoher Strahlungsleistung (im Durchschnitt rund 1000 W/m^2) im Überblick gezeigt.

Füllvorgang Verschaltungsvariante 2

In Abbildung 73 ist mit höherer Zeitaufösung ein Füllvorgang der Serienschaltung des Mäanderkollektors dargestellt.

Die Pumpe wurde per Hand um 11:30:30 eingeschaltet, nachdem der Kollektorfühler eine Temperatur von etwa $105 \text{ }^\circ\text{C}$ erreicht hatte. Der Durchfluss erreicht sehr rasch seinen Maximalwert (680 l/h). Um 11:31 erreicht erster Dampf (150°C) den Kollektorvorlaufsensor und den Entleerbehältereintritt, gleichzeitig sinkt der Durchfluss deutlich auf etwa 450 l/h ab

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

um kurz nachher nach dem Füllen der Falleitung zwischen den Kollektoren wieder anzusteigen. Der erste Kollektor ist nun weitgehend gefüllt. Restluft dürfte sich noch im oberen Sammelrohr befinden, die erst im Laufe der nächsten Minuten weitertransportiert wird. Die Füllung des zweiten Kollektors schließt nahtlos an und ist um 11:32:50 zu einem Großteil abgeschlossen (siehe Füllstand). Allerdings verursachen noch in den oberen Sammelleitungen eingeschlossene Luftblasen, die erst langsam abtransportiert werden, Durchfluss- und Druckschwankungen; erst um etwa 11:37:30 sind sie weitgehend entfernt. Der Füllvorgang dauert etwa 3:20 min, bis zur vollständigen Entlüftung etwa 7 min.

Insgesamt verläuft der Füllvorgang der Variante 2 problemlos.

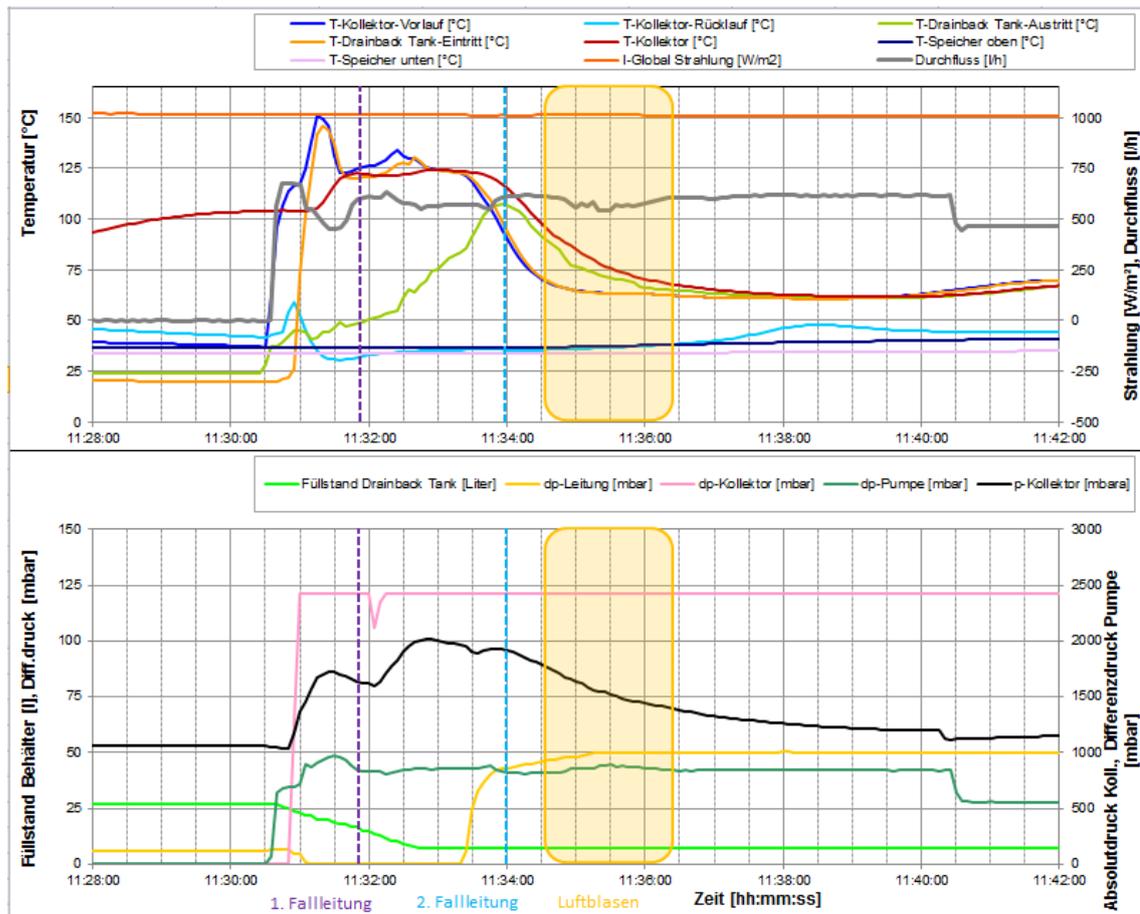


Abbildung 73: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 2 (Serienschaltung Mäanderkollektoren), Details eines Füllvorgangs

Entleerungsvorgang mit anschließender Stagnation, Verschaltungsvariante 2

In Abbildung 74 ist ein Entleerungsvorgang mit anschließender Stagnation und einem Strahlungseinbruch der Serienschaltung des Mäanderkollektors dargestellt. Details des Entleerungsvorganges, des Beginns des Stagnationsverlaufes und des Strahlungseinbruches sind in den Abbildung 75 und Abbildung 76 dargestellt.

Während des gesamten Entleerungs- und Stagnationsverlaufes betrug die Solarstrahlungsleistung im Mittel vorerst etwa 1000 W/m^2 mit leicht ansteigender Tendenz um dann später auf rund 250 W/m^2 einzubrechen.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Entleerungsvorgang:

Die Pumpe wurde um 11:40:40 abgestellt. Der Entleerungsvorgang startet unmittelbar, der Durchfluss erreicht nach einer kurzen Schwankung mit -500 l/h seinen höchsten negativen Wert, um darauf rasch auf etwa -200l/h und anschließend stark schwankend (zwischen rund -30 l/h und -150 l/h) bis 11:53:20 abzusinken; um 11:53:30 ist der Entleerungsvorgang mit einer kurzen positiven Spitze von etwa 50 l/h beendet. Der Füllstand steigt anfangs rasch, dann später mit sinkender Geschwindigkeit kontinuierlich von 8 auf 25 l an und erreicht nicht seinen Wert vor dem Füllvorgang (rund 28 l). Restflüssigkeit bleibt demnach im Kollektor in größerer Menge (etwa 2 bis 3 l) im Bereich des unteren Sammelrohrs des zweiten Kollektors liegen. Sie wird nicht mehr durch die erste Falleitung hochgesaugt. Die Kollektorrücklauftemperatur steigt von anfangs 50 °C auf etwa 85 °C an (im Kollektor bereits erwärmte Flüssigkeit, Kollektor ist nun leer).

Der gesamte Entleerungsvorgang benötigte etwa 13 min und führte zu **keiner vollständigen Entleerung**.

Stagnationsvorgang:

Rund 4 min nach Abschalten der Pumpe bewirkt das Einsetzen der Verdampfung von Restflüssigkeit nun weitere Anstiege der Rücklauf-, später auch der Vorlauf-, der Kollektor- und zuletzt auch der Entleerbehälter-Eintrittstemperatur auf Siedetemperatur (anfangs etwa 115 °C entsprechend einem Druck von 1,4 bar_{abs} am Maximum des Stagnationsvorganges 12:05:00 etwa 138 °C entsprechend 3,0 bar_{abs}). Trotz leicht steigender Strahlungsleistung sinken nun die Temperaturen von Vor-, Rücklauf und Entleerbehältereintritt ab. Dies ist verursacht durch Austrocknen der Mäanderrohre und damit geringerer Dampfleistung (der Dampf hat seinen Ursprung nun in kühleren Randbereichen des Kollektors - oben, unten). Es kommt zu einem geringen Rückfluss von Flüssigkeit aus dem Entleerbehälter (etwa 1- 2 l). Dies ist nur möglich, wenn die Verbindung der Vorlaufleitung zum Kollektor 1 blockiert ist – wahrscheinlich durch eine geringe Flüssigkeitssäule (Restflüssigkeit) im Kollektor 2 bzw. der Falleitung 1 / Sammelrohr 2 unten (diese war Kondensationsbereich).

Unterbrechung des Stagnationsvorgangs durch Strahlungseinbruch:

Um 13:00:00 erfolgte ein Einbruch der Strahlung durch eine Wolke mit später folgenden starken Schwankungen der Strahlung. Die Abkühlung der Luft und auch ein entsprechendes Kondensieren des Dampfanteiles im Kollektor bewirkt ein Ansaugen von Flüssigkeit aus dem Entleerbehälter (etwa 3 – 4 l) über den Rücklauf in den Kollektor 1 – die freie Verbindung über den Kollektor 2 zum Entleerbehälter ist nach wie vor durch Luft in der Falleitung 2 blockiert. Diese Blockade bleibt auch aufrecht im folgend dargestellten Messzeitraum bis 13:30:00 mit rasch wechselnder Strahlung.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

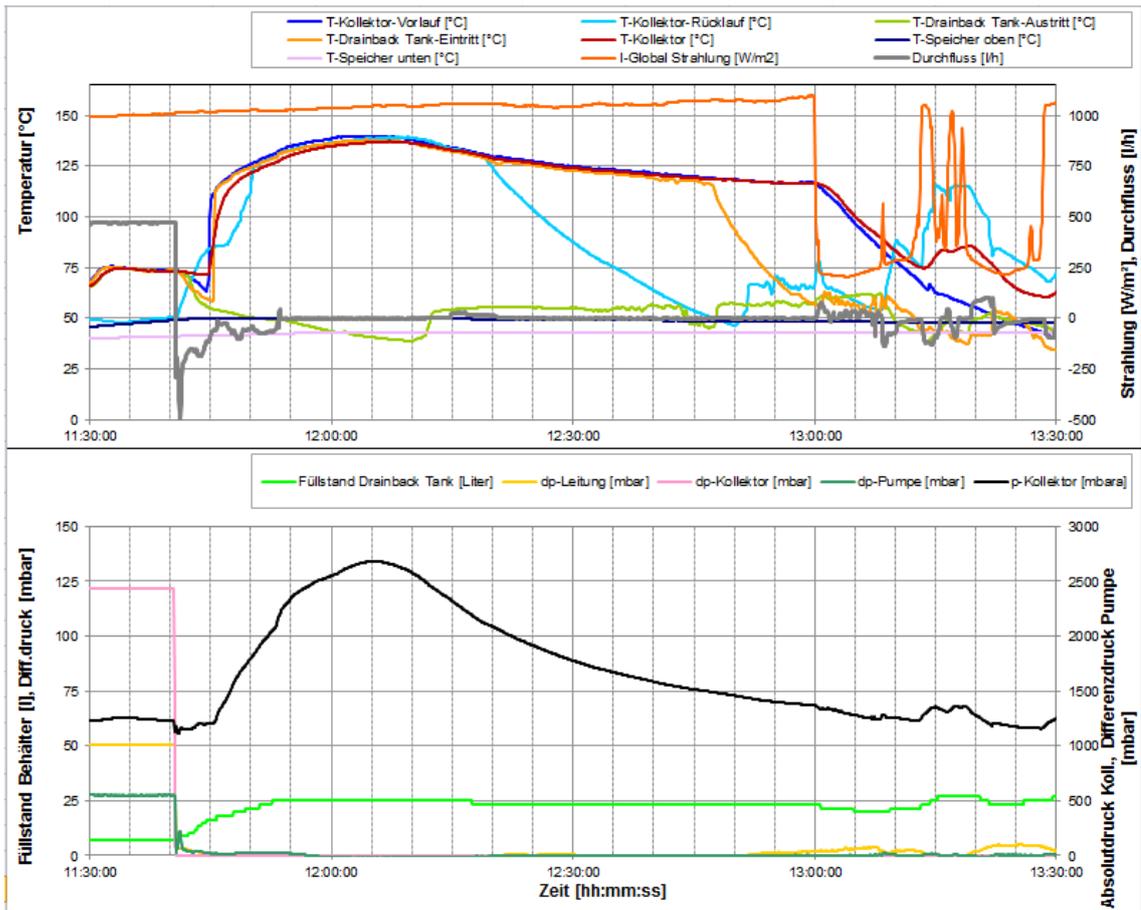


Abbildung 74: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 2 (Serienschaltung Mäanderkollektoren), Übersicht über einen Entleerungsvorgang mit anschließender Stagnation

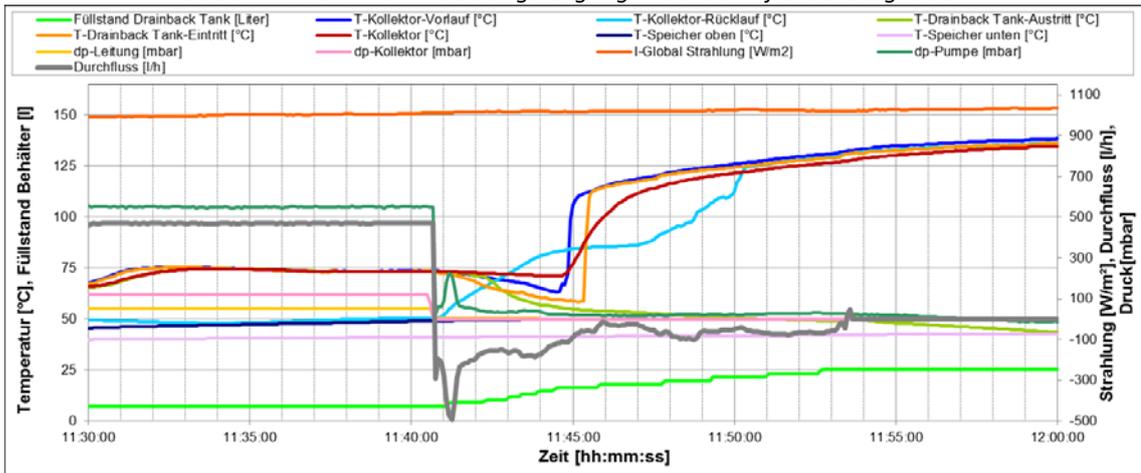


Abbildung 75: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 2 (Serienschaltung Mäanderkollektoren), Details aus Abbildung 74 über einen Entleerungsvorgang mit anschließender Stagnation

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

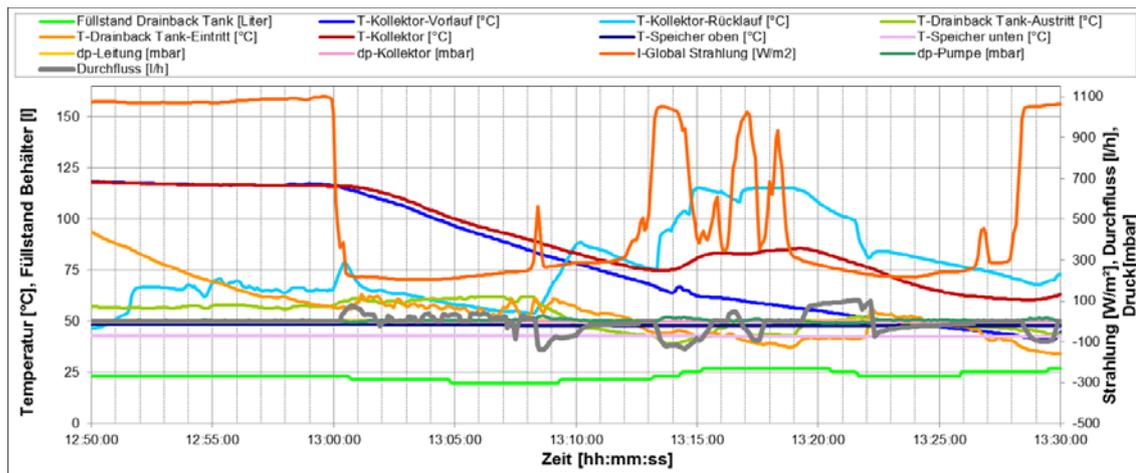


Abbildung 76: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 2 (Serienschaltung Mäanderkollektoren), Details aus Abbildung 74 über das Ende des Stagnationsvorgangs

C. 4 Messbeispiel 4, Verschaltungsvariante 2, Stagnationsvorgang

In Abbildung 77 ist ein Entleerungsvorgang mit längerer Stagnation ohne Strahlungseinbruch dargestellt.

Der Entleerungs- und Stagnationsvorgang verläuft in gleicher Weise wie im Messbeispiel 3 gezeigt. Es entstehen ähnliche Drücke und Temperaturen. Man erkennt, dass nach dem weitgehenden Austrocknen der Mäanderrohre des Kollektors (Sammelrohr 2 enthält nach wie vor Flüssigkeit – Schwankungen des Füllstandes) die Temperaturbelastung der Vorlaufleitung unter 100°C absinkt, obwohl die Strahlung unverändert hoch ist.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

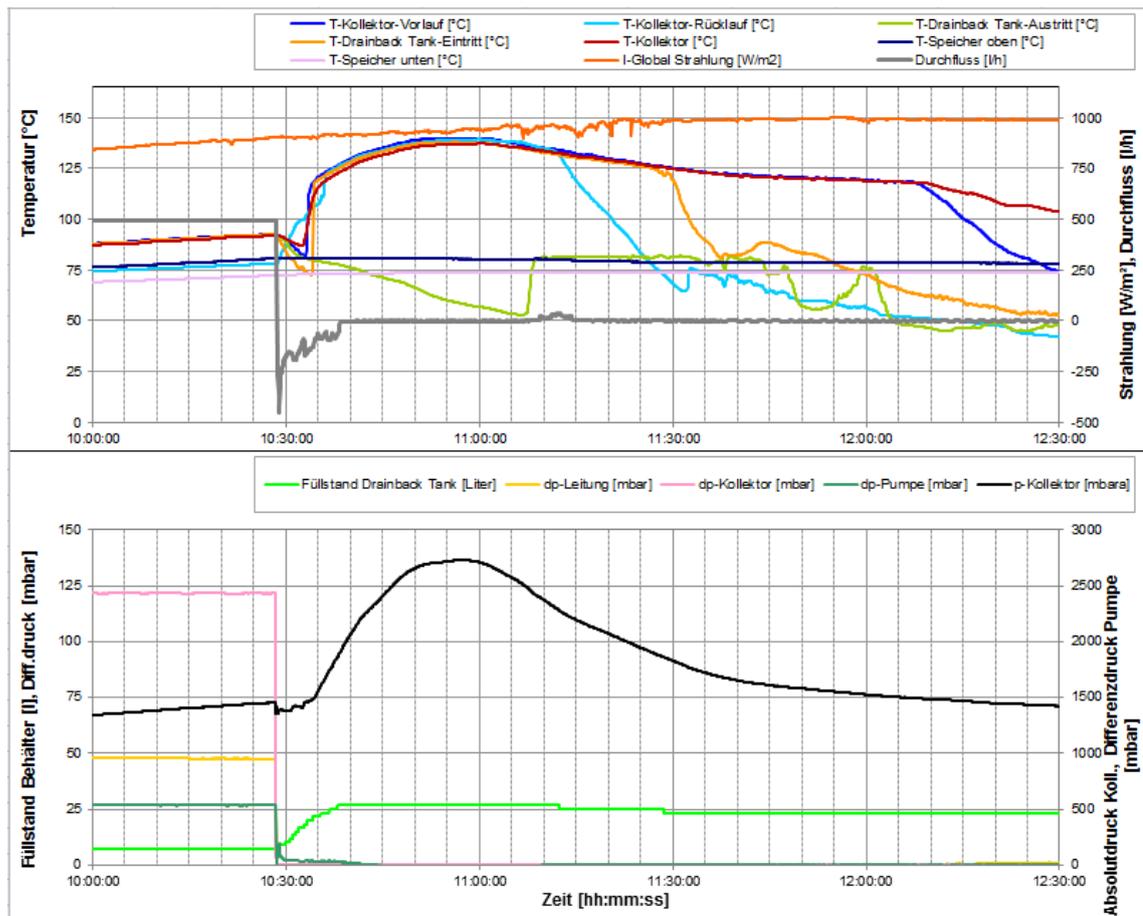


Abbildung 77: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 2 (Serienschaltung Mäanderkollektoren), Stagnationsvorgang bei nicht unterbrochener Strahlung

C. 5 Messbeispiel 5, Verschaltungsvariante 2, mehrere Stagnationsvorgänge

In Abbildung 78 sind mehrere Füll- und Entleerungsvorgänge mit Stagnation während eines Tages für die **Serienschaltung des Mäanderkollektors (Variante2)** dargestellt.

Auch hier ist erkenntlich, dass die Entleerung des Kollektors in keinem Fall vollständig ist (immer wieder positive Durchflussspitzen und sinkender Füllstand ohne dass die Pumpe anläuft). Sowohl während der Stagnationsvorgänge als auch beim Einschalten der Pumpe während eines abklingenden Stagnationsvorganges kommt es zu hohen Kollektordrücken bis zu 2,9 bar_{abs} (entsprechend 137 °C). Der Vollständigkeitsgrad der Entleerung hängt sehr stark vom Temperatur- bzw. Strahlungsniveau ab. Sie ist am unvollständigsten beim Entleerungsvorgang um 8:05 und deutlich vollständiger während der Stagnationsvorgänge.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

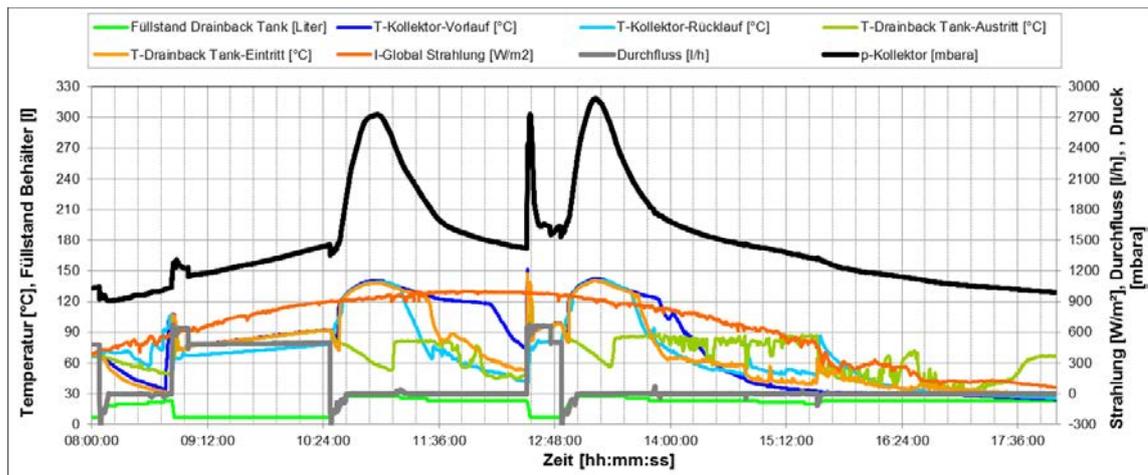
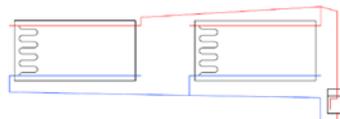


Abbildung 78: Messbeispiel zur Verschaltungvariante 2 (Serienschaltung Mäanderkollektoren), mehrere Stagnationsvorgänge unmittelbar hintereinander

C. 6 Messbeispiel 6, Verschaltungsvariante 3, Füll- und Entleerungsvorgang mit Stagnation



Mäanderkollektorvariante 3

Beispielhaft werden hier für die **Parallelschaltung des Mäanderkollektors mit gemeinsamem Hochpunkt (Variante 3)** Messungen gezeigt. In Abbildung 79 bis Abbildung 81 werden ein Füll-, ein Entleerungsvorgang und ein Entleerungsvorgang mit anschließender Stagnation bei hoher Strahlungsleistung gezeigt.

Füllvorgang Verschaltungsvariante 3

In Abbildung 79 ist mit höherer Zeitaufösung ein Füllvorgang der Verschaltungsvariante 3 des Mäanderkollektors dargestellt.

Der Verlauf des Füllvorganges ist ähnlich dem der Variante 1, allerdings dürfte das vollständige Entlüften der Kollektoren einige Zeit beanspruchen, da Durchflussschwankungen etwa 4 min bis nach Ende des Füllvorganges zu beobachten sind.

Insgesamt verläuft der Füllvorgang der Variante 3 problemlos.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

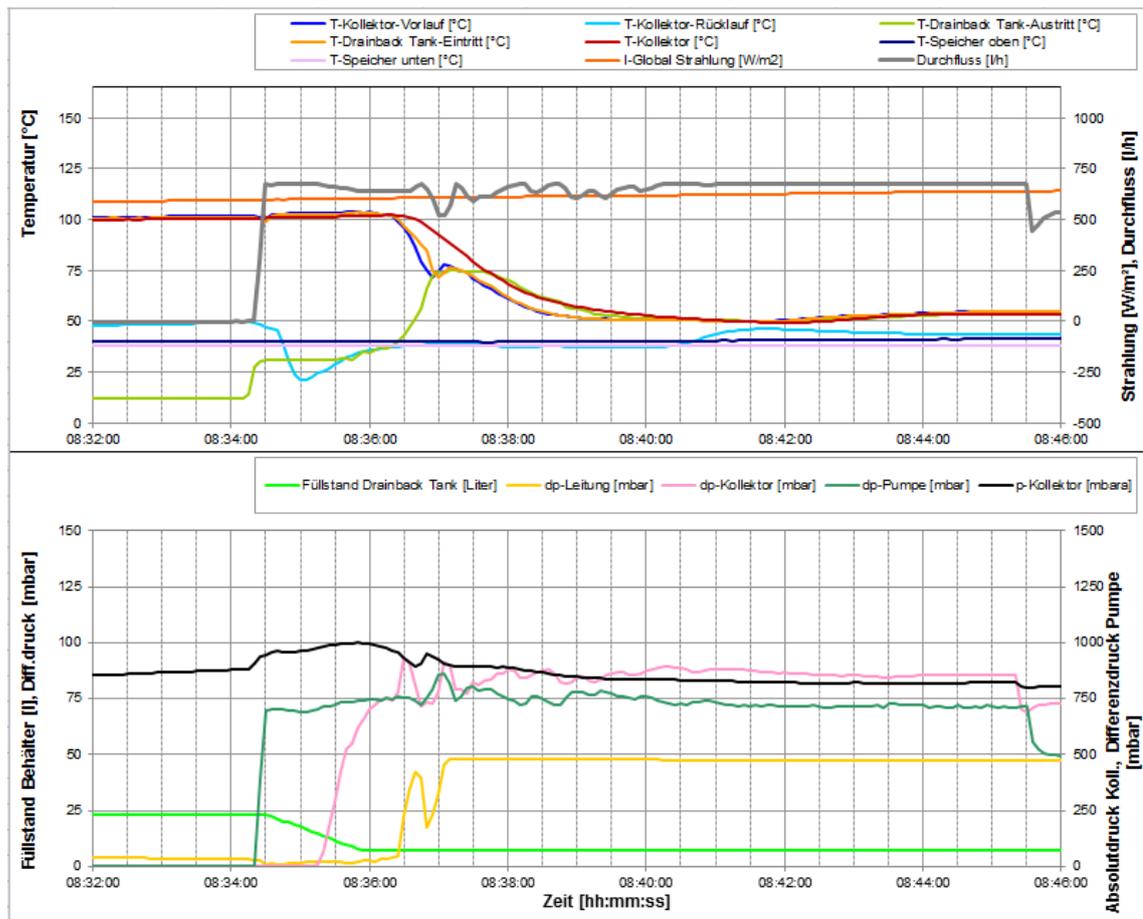


Abbildung 79: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 3 (Parallelschaltung Mäanderkollektoren mit gemeinsamen Hochpunkt), Füllvorgang

Entleerungsvorgang Verschaltungsvariante 3

In Abbildung 80 ist mit höherer Zeitaufösung ein Entleerungsvorgang der Verschaltungsvariante 3 des Mäanderkollektors dargestellt.

Der Verlauf des Entleerungsvorganges ist ähnlich dem der Variante 1. Interessant erscheint die Durchflussschwankung während der ersten Minute, die möglicherweise durch Pendelvorgänge zwischen den beiden parallel geschalteten Kollektoren verursacht sein könnte.

Der gesamte Entleerungsvorgang benötigte etwa 8 min.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

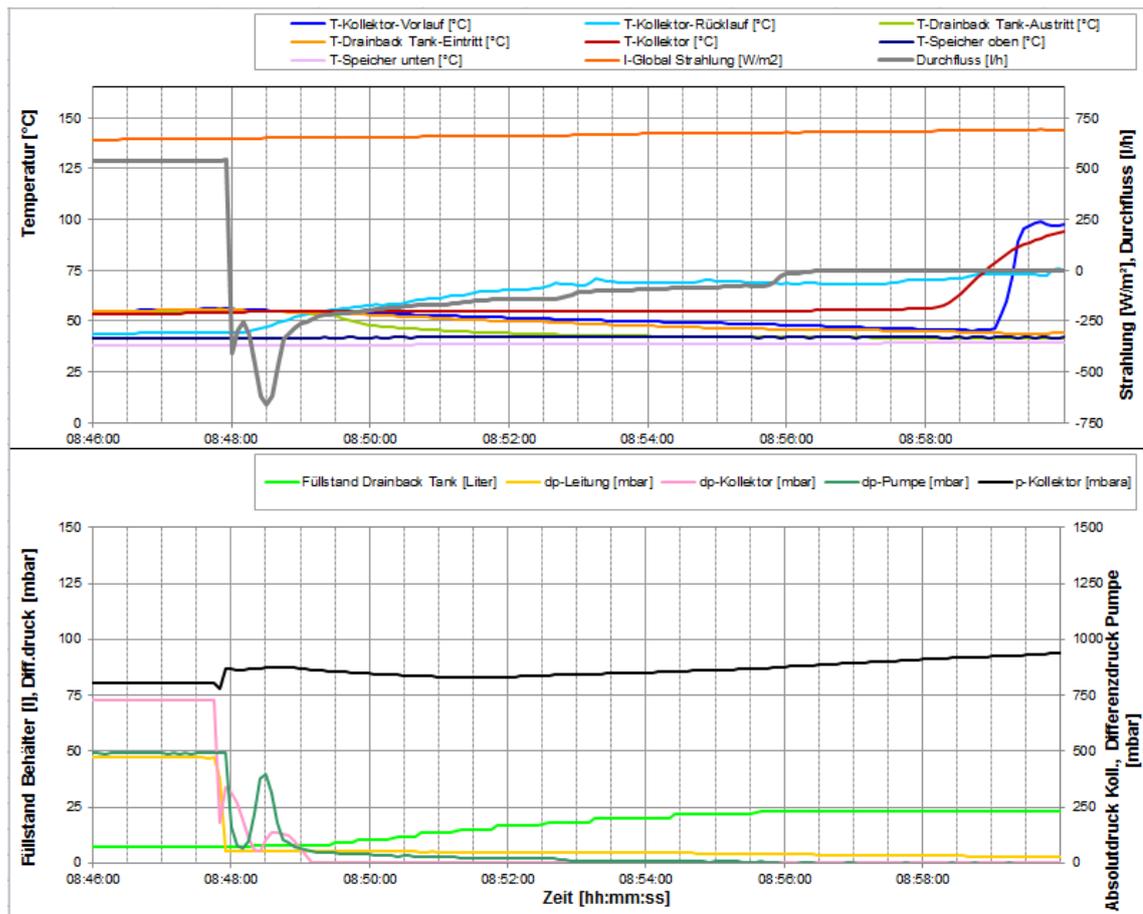


Abbildung 80: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 3 (Parallelschaltung Mäanderkollektoren mit gemeinsamem Hochpunkt), Entleerungsvorgang

Stagnation Verschaltungsvariante 3

In Abbildung 81 ist ein Stagnationsvorgang bei hoher Strahlungsleistung der Verschaltungsvariante 3 des Mäanderkollektors dargestellt.

Dieser verläuft ähnlich dem der Variante 1. Auffällig sind während der Abklingphase der Stagnation am Kollektorvorlauf und am Entleerbehältereintritt abnehmende Temperatur und Temperaturschwankungen, die zeigen, dass hier diese Messstellen kaum mehr mit Dampf belastet sind, hingegen der Kollektorrücklauf noch längere Zeit danach.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

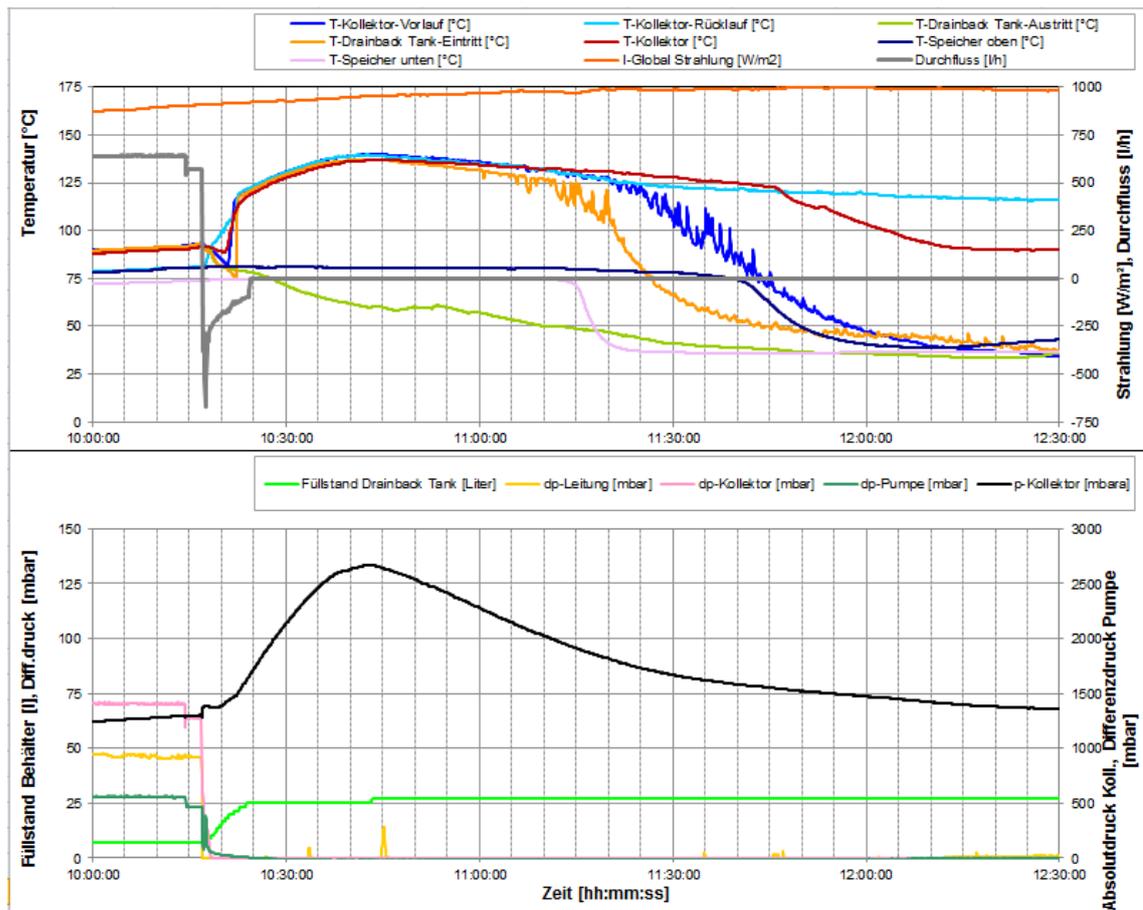
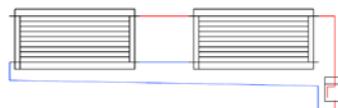


Abbildung 81: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 3 (Parallelschaltung Mäanderkollektoren mit gemeinsamem Hochpunkt), Stagnation

C. 7 Messbeispiel 7, Verschaltungsvariante 4, Füll- und Entleerungsvorgang, Stagnation



Harfenkollektorvariante 4

Füllvorgang Verschaltungsvariante 4

In Abbildung 82 ist mit höherer Zeitaufösung ein Füllvorgang der Verschaltungsvariante 4 des Harfenkollektors dargestellt.

Der Verlauf des Füllvorganges ist ähnlich dem der Variante 1. Der Füllvorgang verläuft mit geringerem Pumpenförderdruck bei etwa gleichem Durchfluss (etwa 680l/h maximal) als bei Variante 1 da der Harfenkollektor geringeren Strömungswiderstand als der Mäanderkollektor hat. Der Füllvorgang dauert etwa 2:30 min.

Insgesamt verläuft der Füllvorgang der Variante 4 problemlos.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

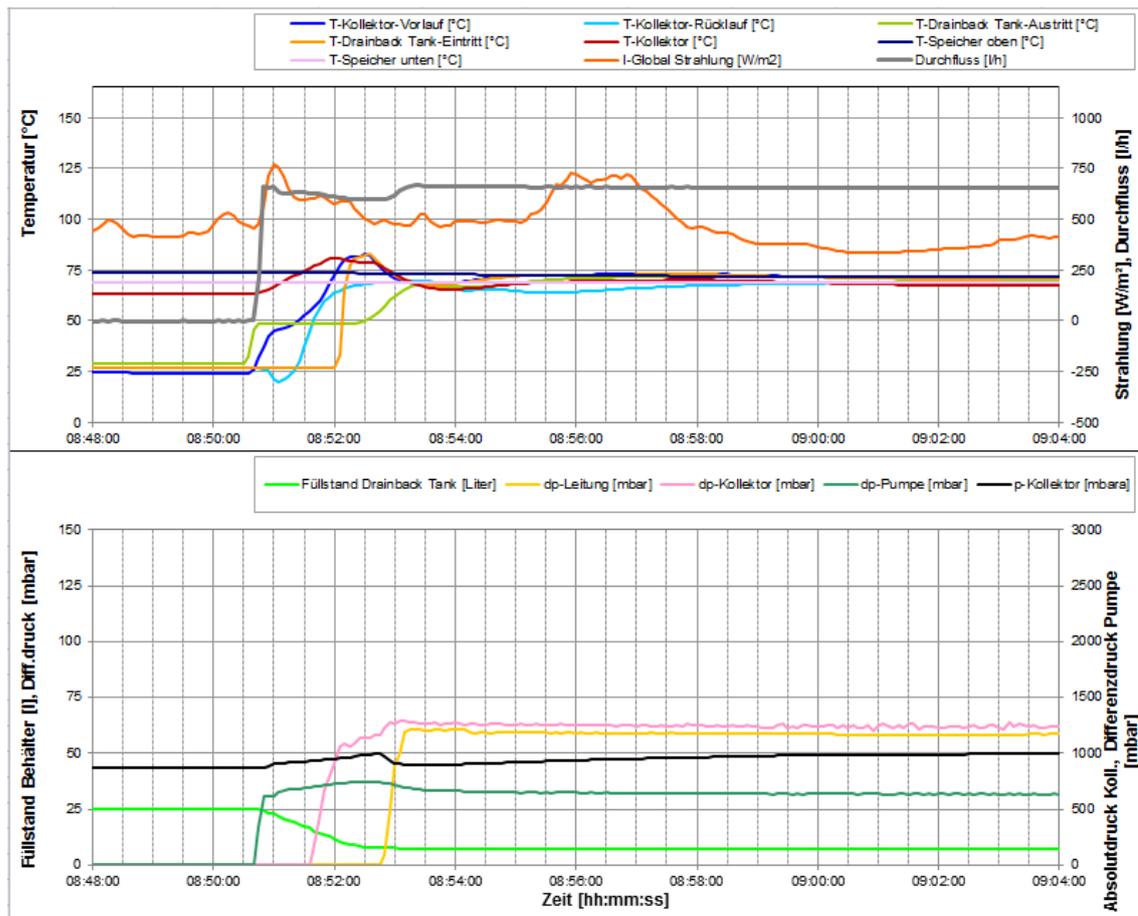


Abbildung 82: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 4 (Harfenkollektor mit seriell verbundenen Harfen, die Sammelleitungen sind oben und unten verbunden.), Füllvorgang

Entleerungsvorgang Verschaltungsvariante 4

In Abbildung 83 ist mit höherer Zeitauflösung ein Entleerungsvorgang der Verschaltungsvariante 4 des Harfenkollektors bei niedriger Strahlungsleistung (300-500W/m²) dargestellt.

Der Verlauf des Entleerungsvorganges ist ähnlich dem der Variante 1, allerdings bricht er nach etwa 3:40 min ab und es bleiben etwa 4 - 5 l Flüssigkeit im Kollektor, die nicht mehr durch Verdampfungsvorgänge ausgetrieben werden, da das Strahlungsangebot zu niedrig ist.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

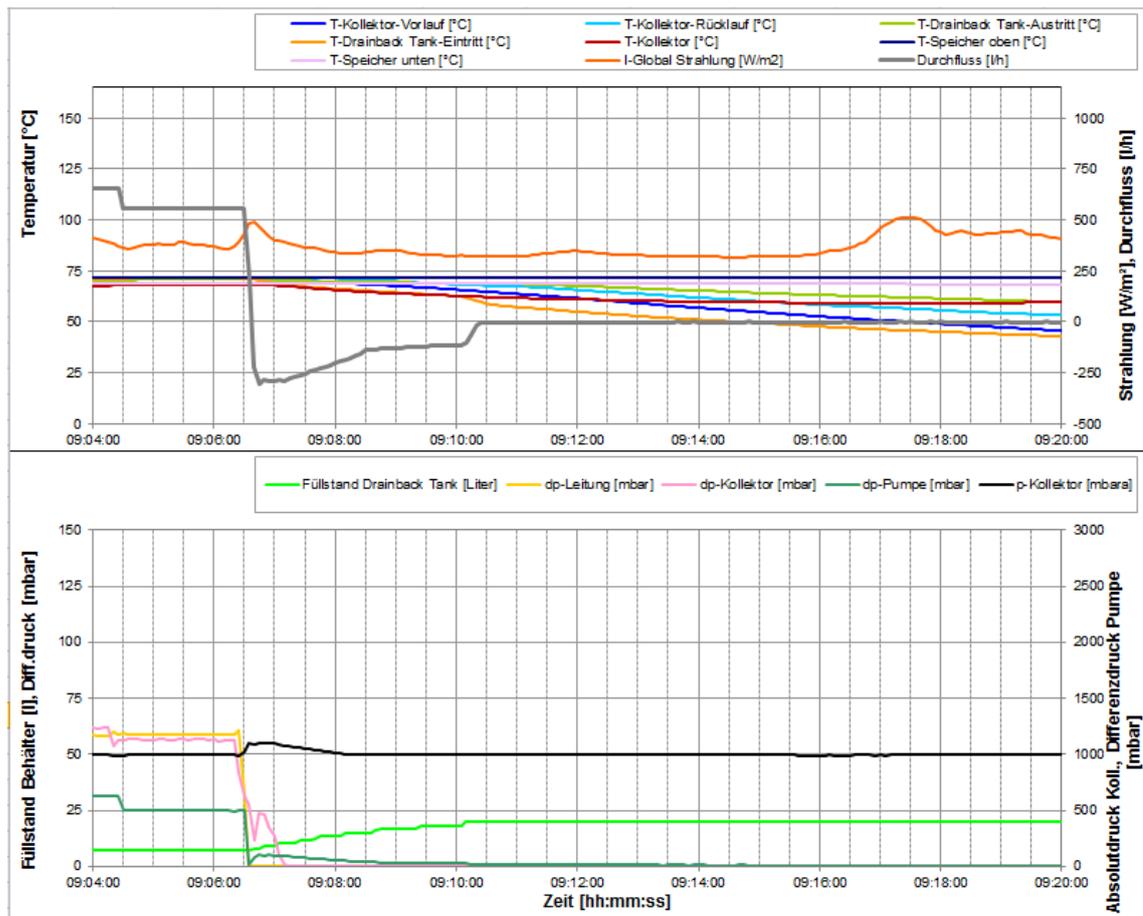


Abbildung 83: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 4 (Harfenkollektor mit seriell verbundenen Harfen, die Sammelleitungen sind oben und unten verbunden), Entleerungsvorgang bei sehr niedriger Strahlungsleistung

Stagnation Verschaltungsvariante 4

In Abbildung 84 ist ein Stagnationsvorgang bei hoher Strahlungsleistung (rund 915 W/m²) der Verschaltungsvariante 4 des Harfenkollektors dargestellt.

Dieser verläuft ähnlich dem der Variante 1. In der Entleerungsphase ist die Entleerung vollständiger (Füllstand etwa 25 l) als beim vorher dargestellten Versuch (sehr niedrige Strahlung, Füllstand etwa 20 l). Im Laufe des Stagnationsvorganges werden noch weitere rund 2 l Flüssigkeit durch Verdampfen aus dem Kollektor ausgetrieben. Der Kollektordruck erreicht 2,55 bar_{abs}, das entspricht einer Siedetemperatur von 132 °C.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

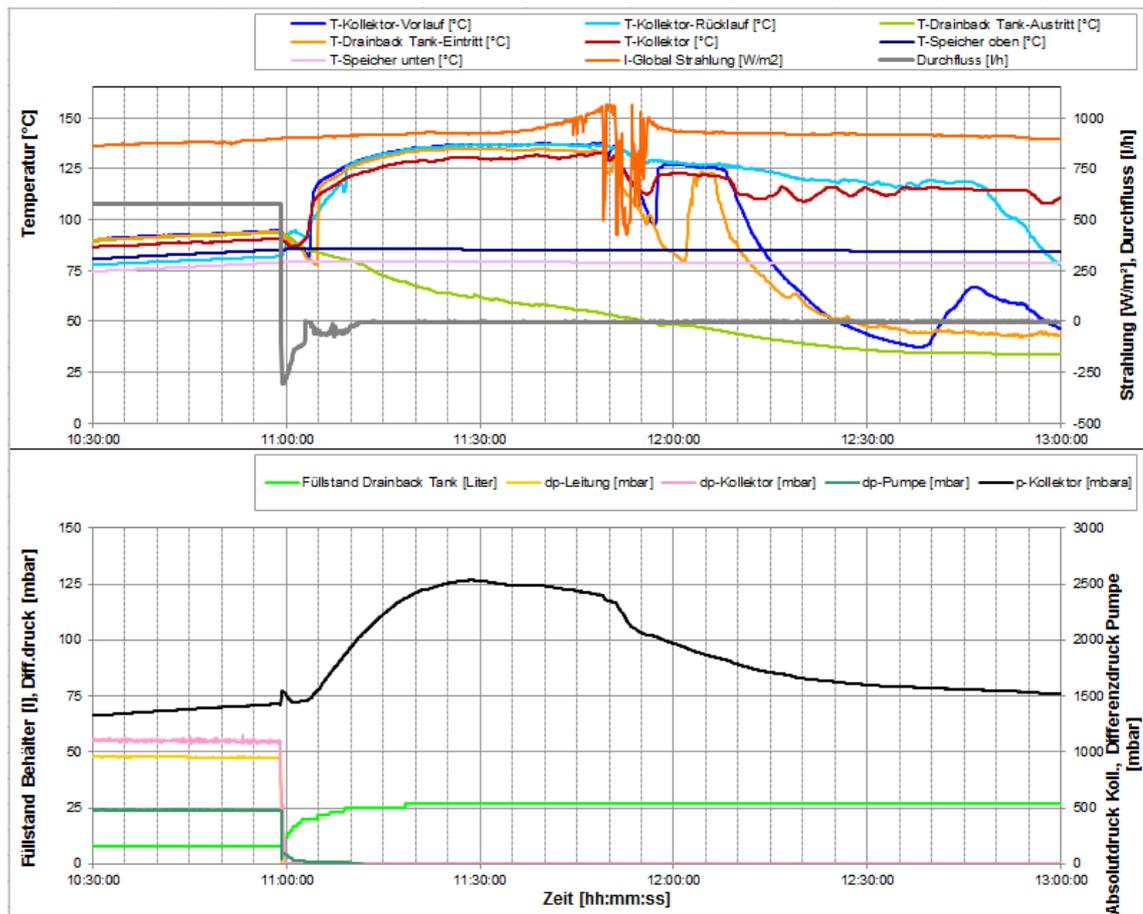
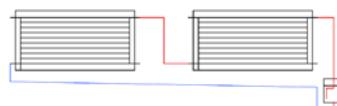


Abbildung 84: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 4 (Harfenkollektor mit seriell verbundenen Harfen, die Sammelleitungen sind oben und unten verbunden), Stagnation

C. 8 Messbeispiel 8, Verschaltungsvariante 5, Füll- und Entleerungsvorgang, Stagnation



Harfenkollektorvariante 5

Füllvorgang Verschaltungsvariante 5

In Abbildung 85 ist mit höherer Zeitaufösung ein Füllvorgang der Verschaltungsvariante 5 des Harfenkollektors bei sehr niedriger Strahlungsleistung ($<150\text{W/m}^2$) dargestellt.

Der Verlauf des Füllvorganges ist ähnlich dem der Variante 1. Der Füllvorgang verläuft mit geringerem Pumpenförderdruck bei etwa gleichem Durchfluss (etwa 650l/h maximal) als bei Variante 1. Der Füllvorgang dauert etwa $2:40\text{ min}$.

Insgesamt verläuft der Füllvorgang der Variante 5 problemlos.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

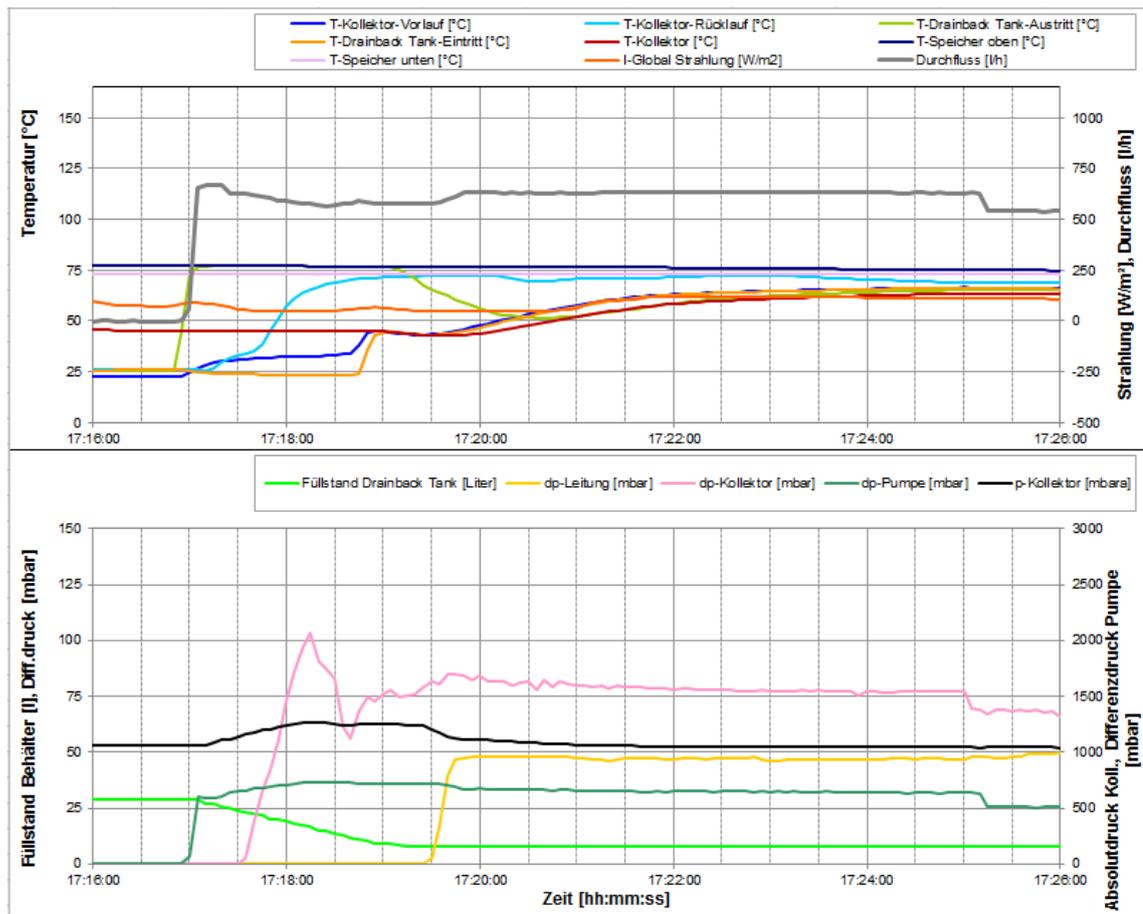


Abbildung 85: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 5 (Zwei in Serie geschaltete Harfenkollektoren), Füllvorgang

Entleerungsvorgang Verschaltungsvariante 5

In Abbildung 86 ist mit höherer Zeitauflösung ein Entleerungsvorgang der Verschaltungsvariante 5 des Harfenkollektors bei sehr niedriger Strahlungsleistung (<100W/m²) dargestellt.

Der Verlauf des Entleerungsvorganges ist ähnlich dem der Variante 1, allerdings bricht er nach etwa 2:00 min ab und es bleiben etwa 8-10 l Flüssigkeit im Kollektor.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

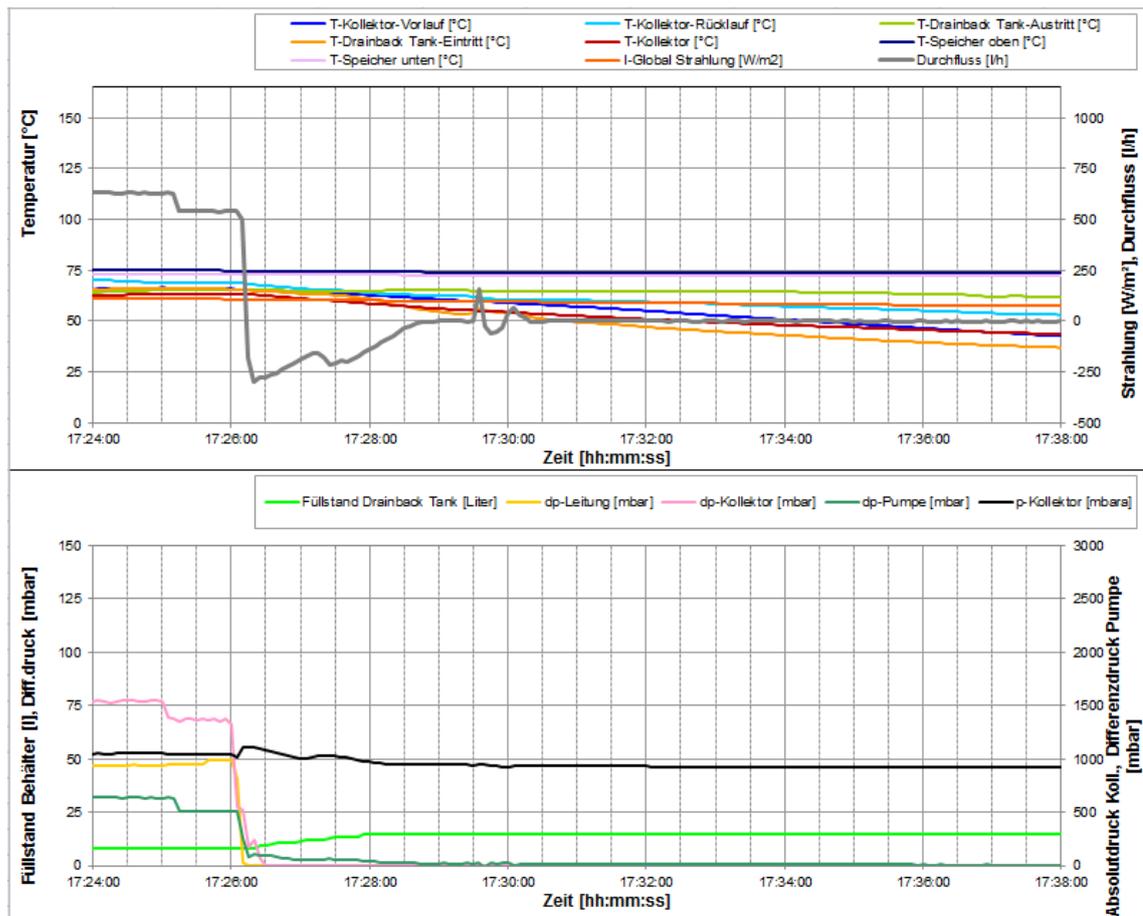


Abbildung 86: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 5 (Zwei in Serie geschaltete Harfenkollektoren), Entleerungsvorgang

Unvollständiger Entleerungsvorgang Verschaltungsvariante 5

In Abbildung 87 ist die Auswirkung des unvollständigen Entleerens der Variante 5 deutlich zu erkennen. Strahlungsschwankungen mit abwechselnden Verdampfungs- und Kondensationsvorgängen verursachen abwechselnd Teilentleerungs- und Füllvorgänge, die aus Niveauschwankungen im Entleerbehälter und Durchflussschwankungen zu erkennen sind.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

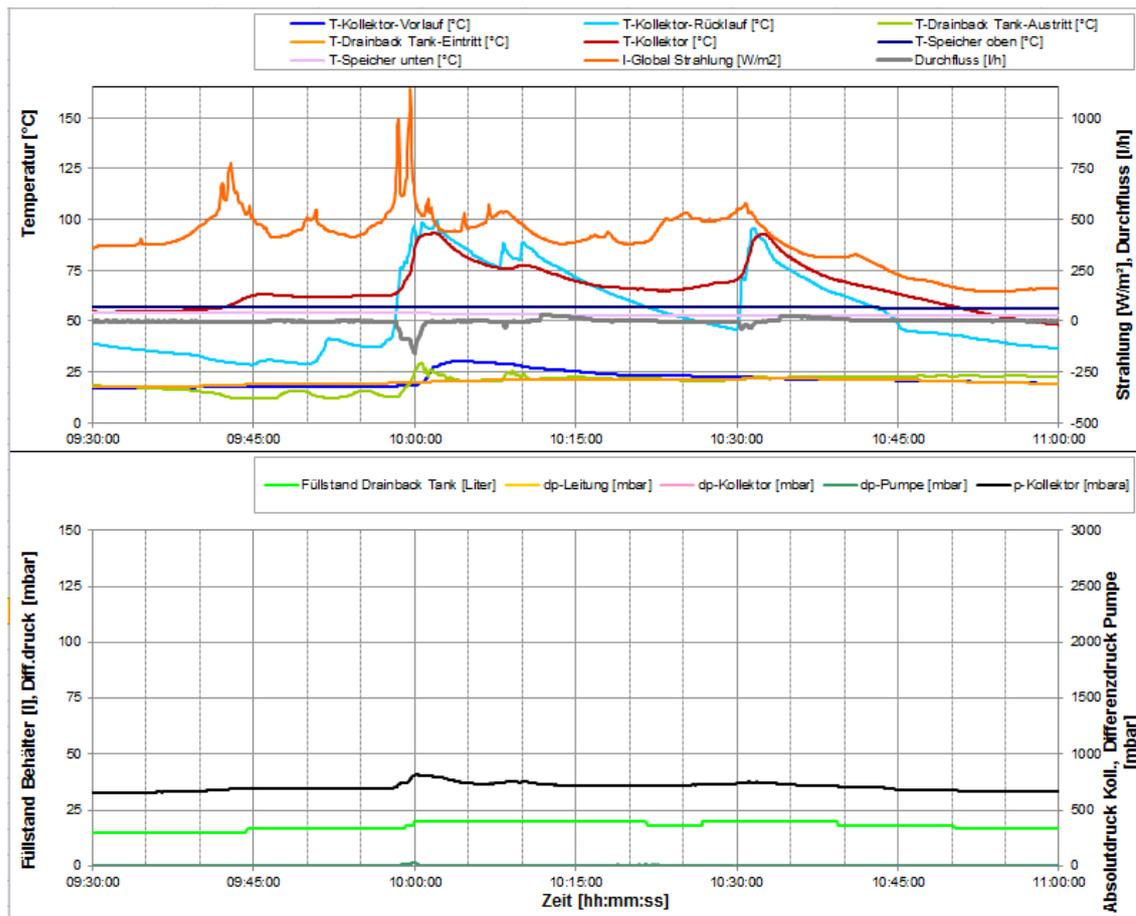


Abbildung 87: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 5 (Zwei in Serie geschaltete Harfenkollektoren), Unvollständiger Entleerungsvorgang

Stagnation Verschaltungsvariante 5

In Abbildung 88 ist ein Stagnationsvorgang bei hoher Strahlungsleistung (rund 900 auf 1000 W/m^2 ansteigend) der Verschaltungsvariante 5 des Harfenkollektors dargestellt. Dieser verläuft anfangs ähnlich dem der Variante 2. Die Entleerungsphase ist sehr unregelmäßig, ein Füllstand von vorerst rund 23 l wird erreicht, der in weiterer Folge (Temperaturen und Kollektordruck steigen an) durch geringe Rückströmung wieder etwas absinkt. Erst mit Erreichen eines maximalen Kollektordruckes (3,25 barabs, Siedepunkt 140 °C) kommt es zu einem weiteren Entleerungsschub (wahrscheinlich wird die Falleitung 1 am unteren Sammelrohranschluss mit Kondensat verschlossen, sodass dieses in den Kollektor 1 hinübergedrückt werden kann und abfließen kann), der Füllstand steigt auf rund 27 l. Der Kollektor trocknet nun weiter aus, sodass Druck und Temperatur an den Kollektoranschlüssen absinken.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

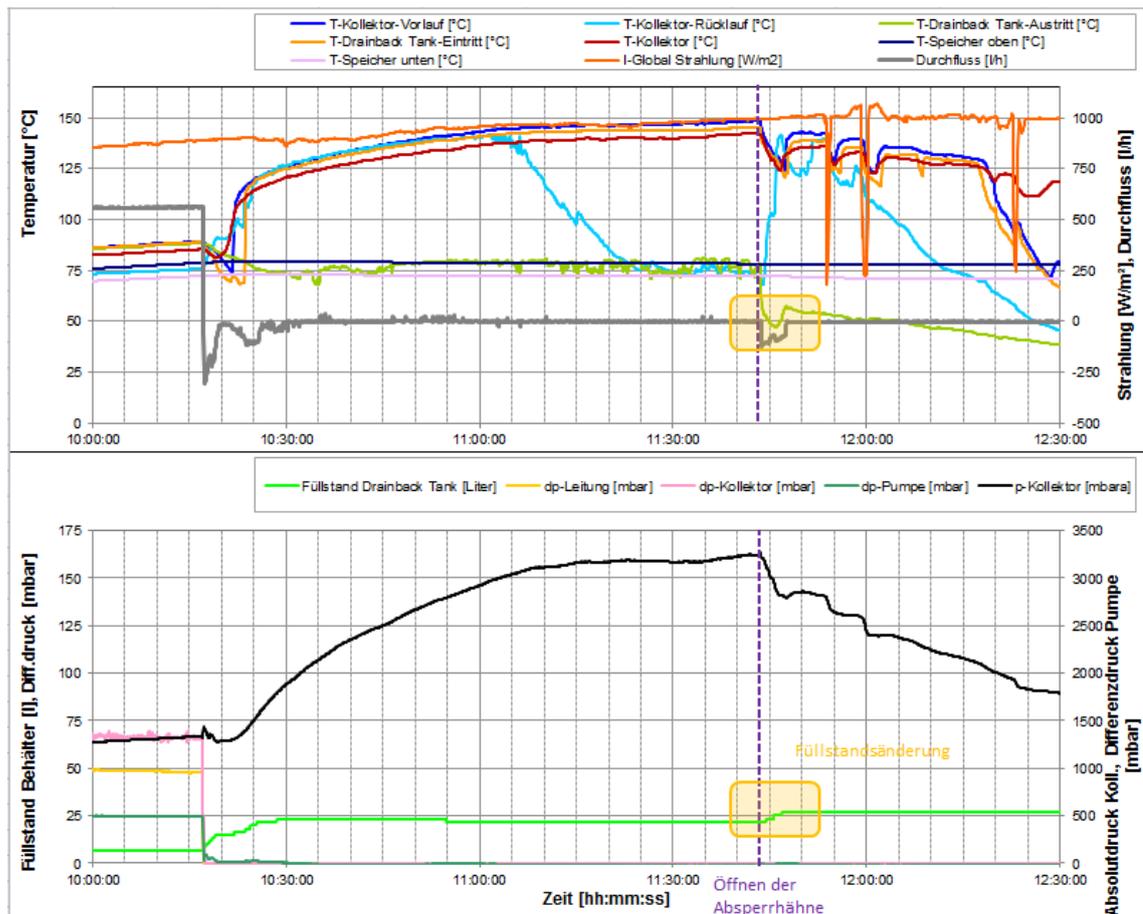
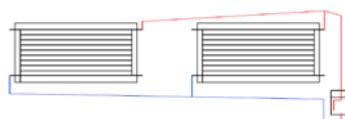


Abbildung 88: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 5 (Zwei in Serie geschaltete Harfenkollektoren), Stagnationsvorgang

C. 9 Messbeispiel 9, Verschaltungsvariante 6, Füll- und Entleerungsvorgang, Stagnation



Harfenkollektorvariante 6

Füllvorgang Verschaltungsvariante 6

In Abbildung 89 ist mit höherer Zeitauflösung ein Füllvorgang der Verschaltungsvariante 6 des Harfenkollektors bei sehr niedriger Strahlungsleistung ($<150\text{W/m}^2$) dargestellt.

Der Verlauf des Füllvorganges ist ähnlich dem der Variante 1. Der Füllvorgang verläuft mit geringerem Pumpenförderdruck bei etwa gleichem Durchfluss (etwa 680l/h maximal) als bei Variante 1. Der Füllvorgang dauert etwa 2:30 min.

Insgesamt verläuft der Füllvorgang der Variante 6 problemlos.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

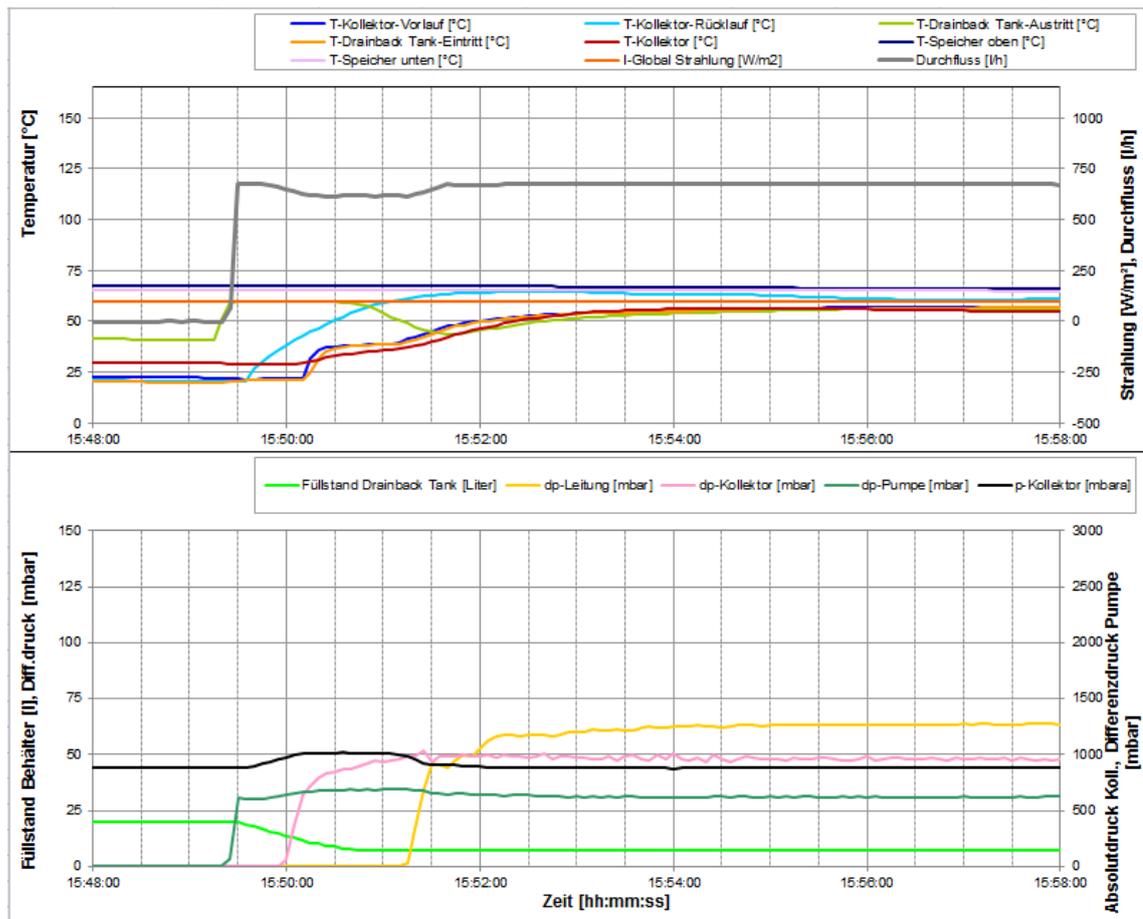


Abbildung 89: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 6 (Parallel geschaltete Harfenkollektoren mit gemeinsamem Hochpunkt in der Vorlaufleitung), Füllvorgang

Entleerungsvorgang Verschaltungsvariante 6

In Abbildung 90 ist mit höherer Zeitaufösung ein Entleerungsvorgang der Verschaltungsvariante 6 des Harfenkollektors bei sehr niedriger Strahlungsleistung (<100W/m²) dargestellt.

Der Verlauf des Entleerungsvorganges ist ähnlich dem der Variante 1, allerdings bricht er nach etwa 4:30 min ab und es bleiben etwa 5-7 l Flüssigkeit im Kollektor.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

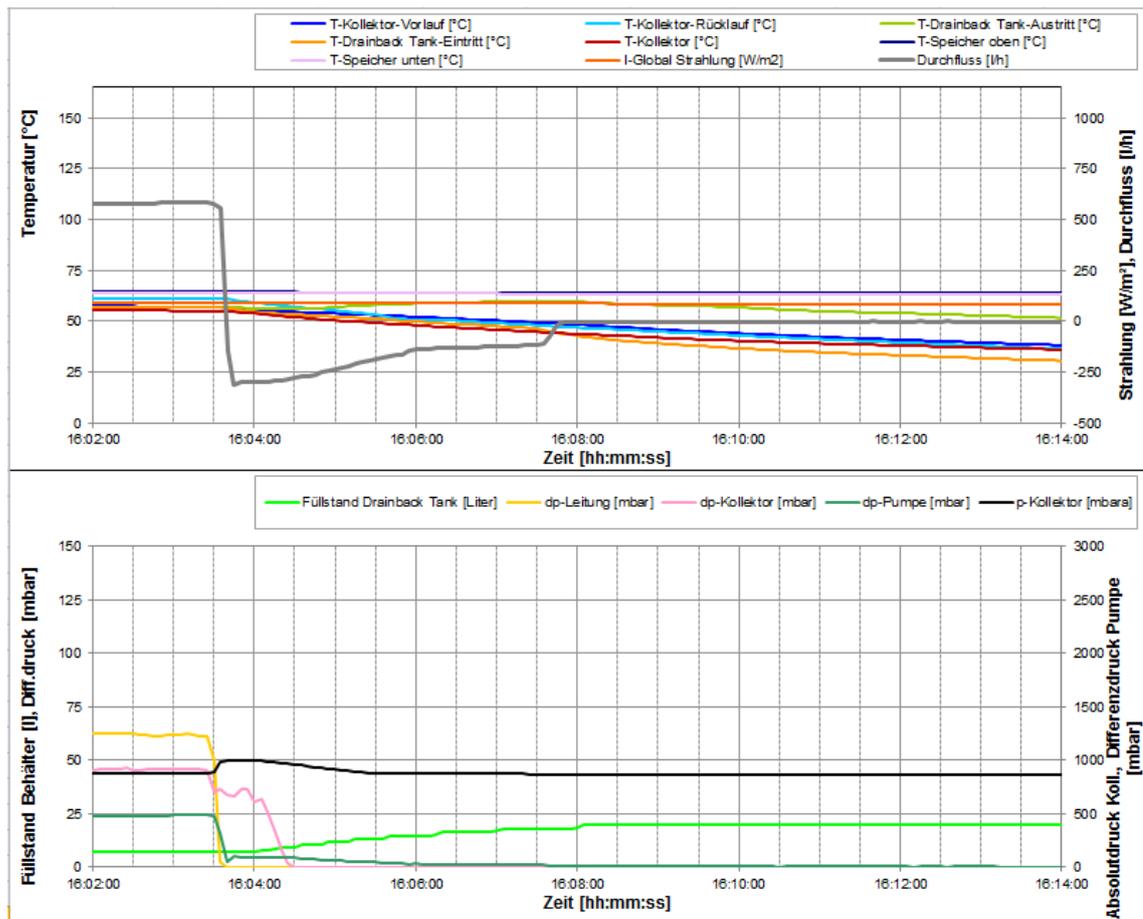


Abbildung 90: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 6 (Parallel geschaltete Harfenkollektoren mit gemeinsamem Hochpunkt in der Vorlaufleitung), Entleerungsvorgang

Stagnation Verschaltungsvariante 6

In Abbildung 91 ist ein Stagnationsvorgang bei hoher Strahlungsleistung (rund 900 bis 1000 W/m² schwankend) der Verschaltungsvariante 6 des Harfenkollektors dargestellt.

Dieser verläuft anfangs ähnlich dem der Variante 4. Die Entleerung erfolgt in 2 unmittelbar aufeinanderfolgenden Schüben und wird, gleich wie bei Variante 4, erst später durch Kondensat vollständig (27 l). Der maximal erreichte Druck von 2,7 bar_{abs} entspricht einer Siedetemperatur von 135 °C.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

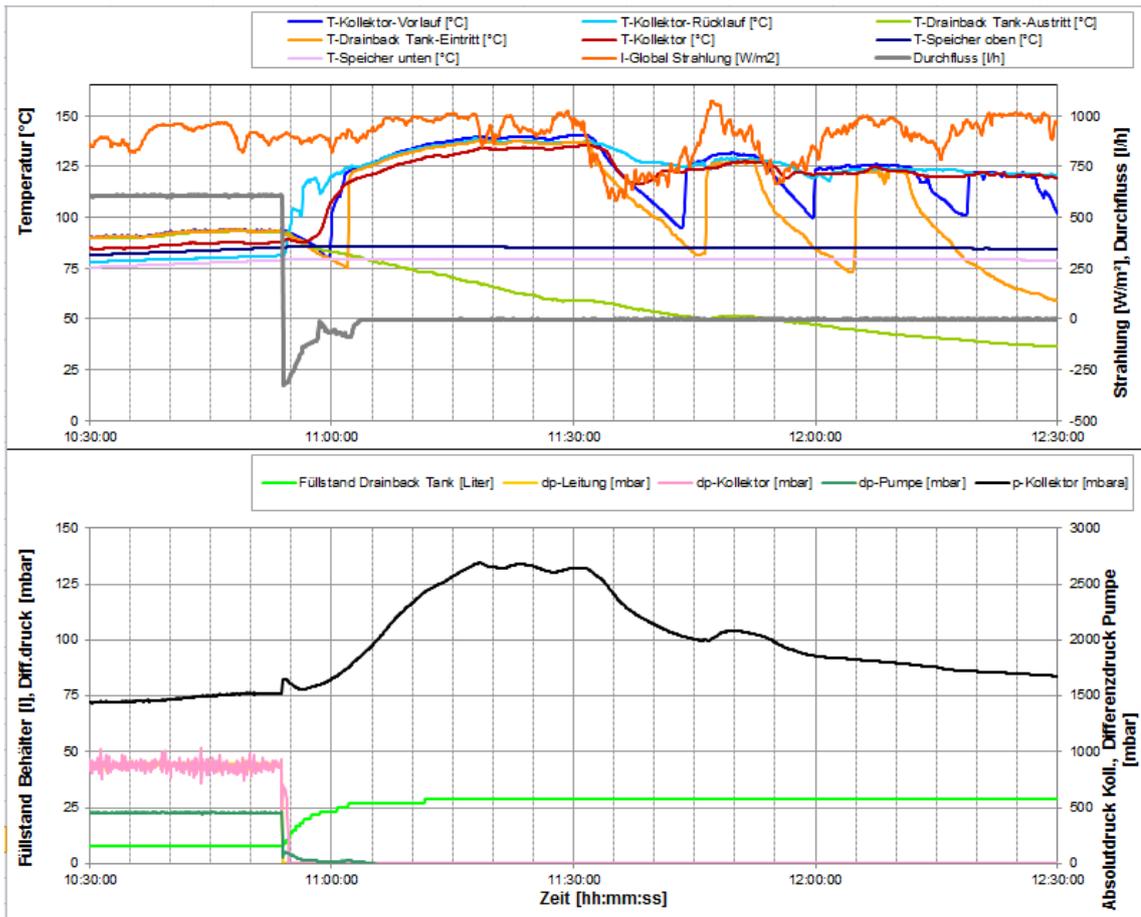


Abbildung 91: Messbeispiel zur Verschaltungsvariante 6 (Parallel geschaltete Harfenkollektoren mit gemeinsamem Hochpunkt in der Vorlaufleitung), Stagnationsvorgang

C. 10 Gegenüberstellende Messdiagramme zur Einflussanalyse

Abhängigkeit des Füllvorgangs von der Strahlung, Variante 1

In Abbildung 92 ist die Abhängigkeit des Füllvorganges von der Strahlung dargestellt. Obwohl das Absinken des Füllstandes gleich schnell ist, erfolgt die Füllung der Falleitung deutlich früher bei höherer Einstrahlung.

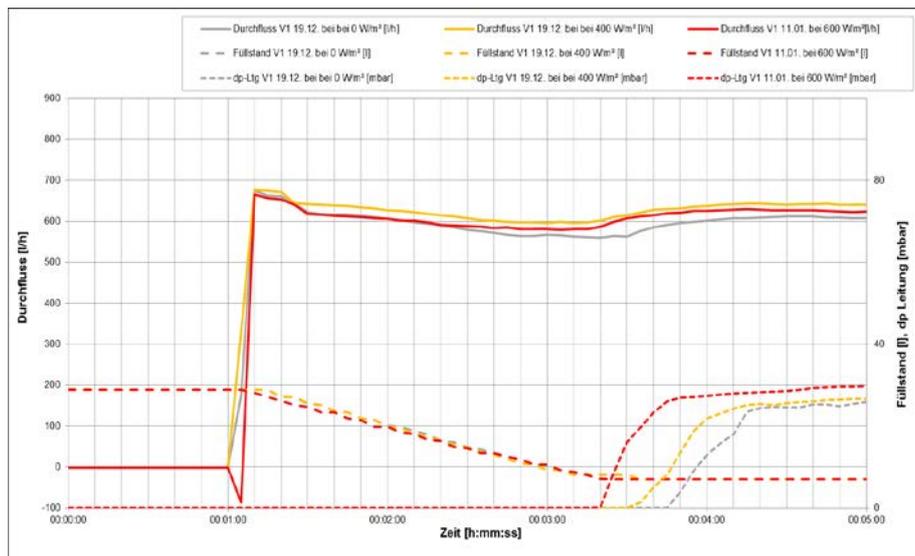


Abbildung 92: Abhängigkeit des Füllvorgangs von der Strahlung, Variante 1

Abhängigkeit des Füllvorgangs von der Rücklauftemperatur, Variante 1

In Abbildung 93 ist die Abhängigkeit des Füllvorganges von der Rücklauftemperatur dargestellt. Diese ist nur unbedeutend.

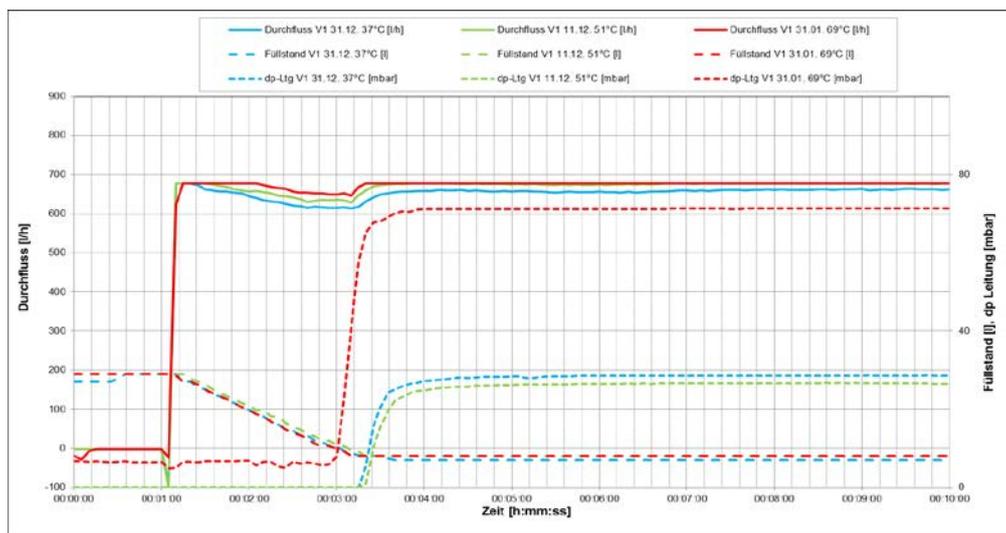


Abbildung 93: Abhängigkeit des Füllvorgangs von der Rücklauftemperatur, Variante 1

Abhängigkeit des Entleerungsvorgangs von der Rücklauftemperatur, Variante 1

In Abbildung 94 ist die Abhängigkeit des Entleerungsvorganges von der Rücklauftemperatur dargestellt. Bei diesen Versuchen wurde auf vergleichbare Strahlung geachtet. Der Entleerungsvorgang erfolgt deutlich schneller bei höheren Rücklauftemperaturen (geringere Viskosität).

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

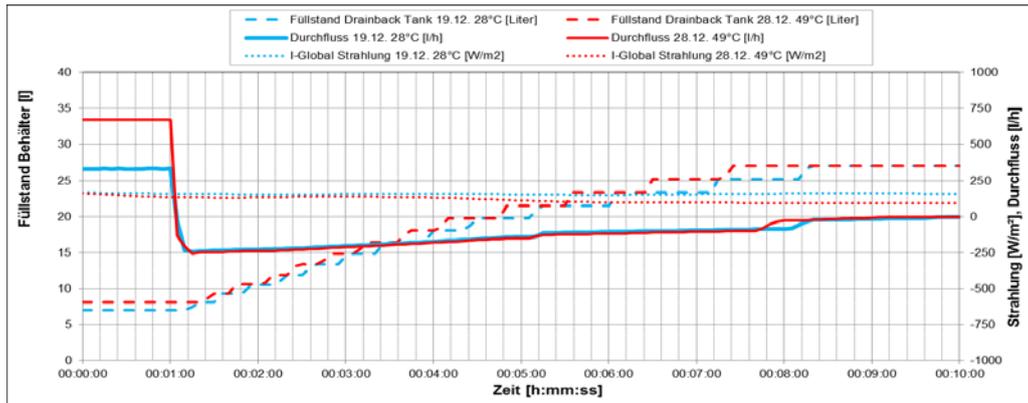


Abbildung 94: Abhängigkeit des Entleerungsvorganges von der Rücklauftemperatur, Variante 1

Abhängigkeit des Stagnationsvorganges von der Strahlung, Variante 1

In Abbildung 95 ist die Abhängigkeit des Entleerungsvorganges von der Strahlung dargestellt. Bei diesen Versuchen wurde auf gleichen Basisdruck geachtet. Die Entwicklung des Kollektordruckes ist sehr stark von der Strahlungsleistung abhängig.

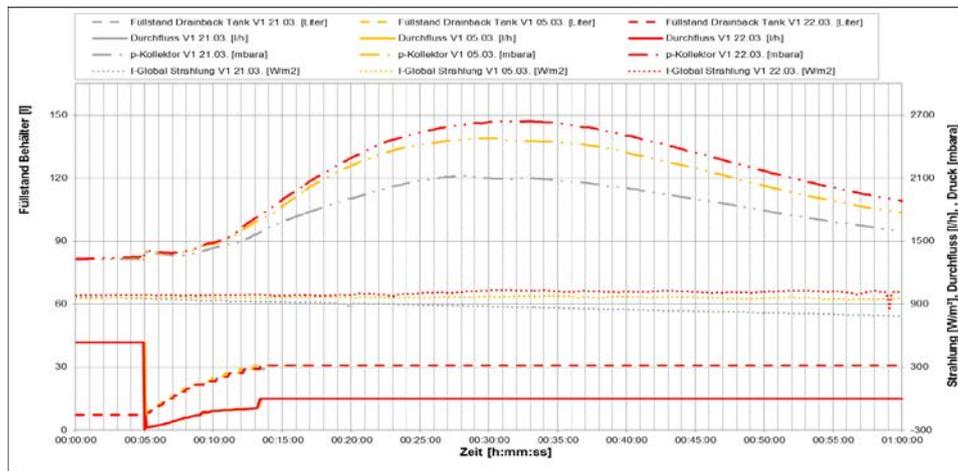


Abbildung 95: Abhängigkeit des Stagnationsvorganges von der Strahlung, Variante 1

Abhängigkeit des Stagnationsvorganges vom Basisdruck, Variante 1

In Abbildung 96 ist die Abhängigkeit des Entleerungsvorganges vom Basisdruck dargestellt. Die Entwicklung des Kollektordruckes ist sehr stark vom Basisdruck abhängig, die prozentuelle Steigerung des Druckes (von Basisdruck auf Druckmaximum) ist in beiden Fällen ähnlich.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

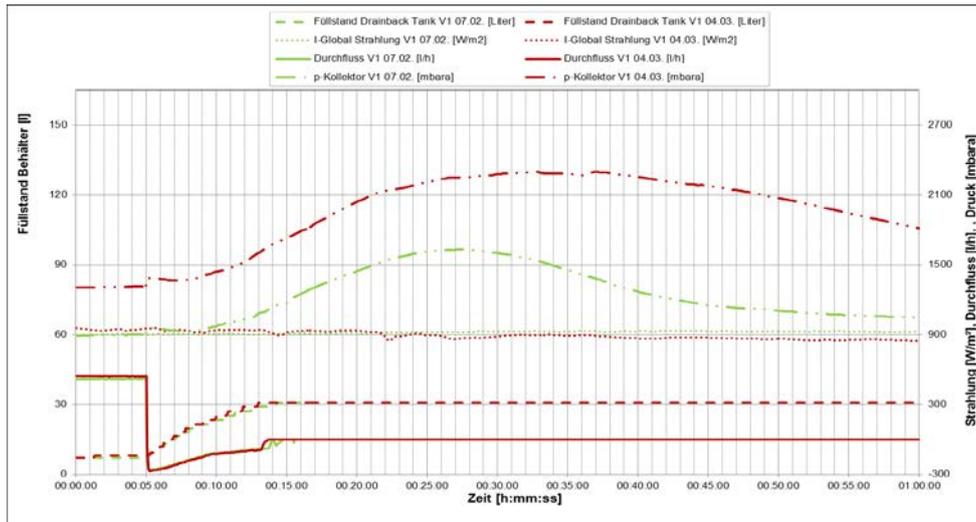


Abbildung 96: Abhängigkeit des Stagnationsvorgangs vom Basisdruck, Variante 1

Abhängigkeit des Entleerungsvorgangs von der Strahlung, Variante 2

Bei der schlecht entleerenden Verschaltungsvariante 2, bei der große Restflüssigkeitsmengen auftreten können, wurde die Abhängigkeit des Anstieges des Füllstandes von der Strahlungsleistung untersucht – Abbildung 97. Man erkennt, dass durch das Verdampfen der Restflüssigkeit am Beginn des Stagnationsvorganges das Entleeren deutlich begünstigt wird – der Füllstand steigt rascher und auf ein höheres Niveau an. Das Verdampfen in Kollektor 2 begünstigt damit das Überwinden des Fallrohres 1, das eine Entleerungsbarriere darstellt.

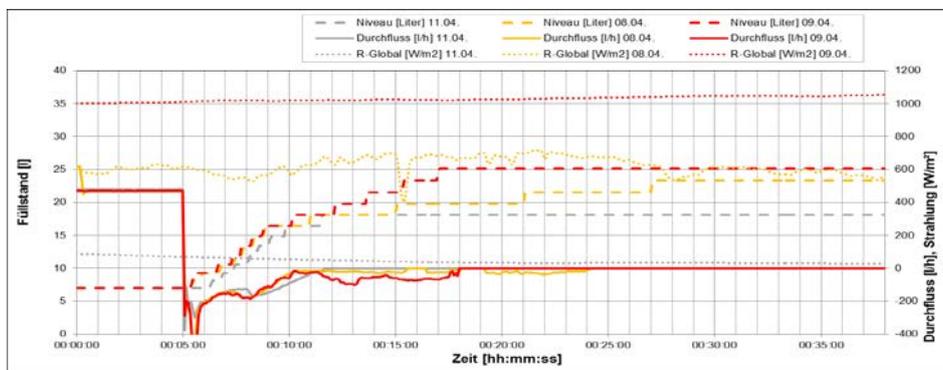
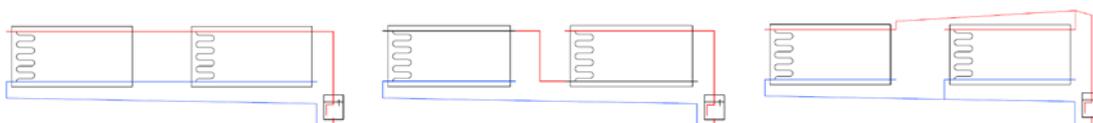


Abbildung 97: Abhängigkeit des Entleerungsvorgangs von der Strahlung, Variante 2

C. 11 Messdiagramme im Vergleich: Schaltungsvarianten 1 bis 3 – Mäanderkollektor



Verschaltungen 1 bis 3: Gegenüberstellung der Mäanderkollektorvarianten

Vergleich der Füllvorgänge der Varianten 1 bis 3

In Abbildung 98: Gegenüberstellung der Füllvorgänge der Mäanderkollektorvarianten, niedrige Rücklauftemperatur

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

bis Abbildung 100: Gegenüberstellung der Füllvorgänge der Mäanderkollektorvarianten, hohe Rücklauftemperatur

sind Füllvorgänge für unterschiedliche Kollektorrücklauftemperaturen (etwa 35 °C, 50 °C und 70 °C) die durch unterschiedliche Speichertemperaturen eingestellt wurden, dargestellt. Die Strahlung lag dabei im Mittel im Bereich von etwa 600 – 800 W/m².

Bei der Beurteilung der Füllzeit ist das Startniveau des Entleerbehälter zu berücksichtigen, das z. Teil wegen vorangehender unvollständiger Entleerung unterschiedlich sein kann.

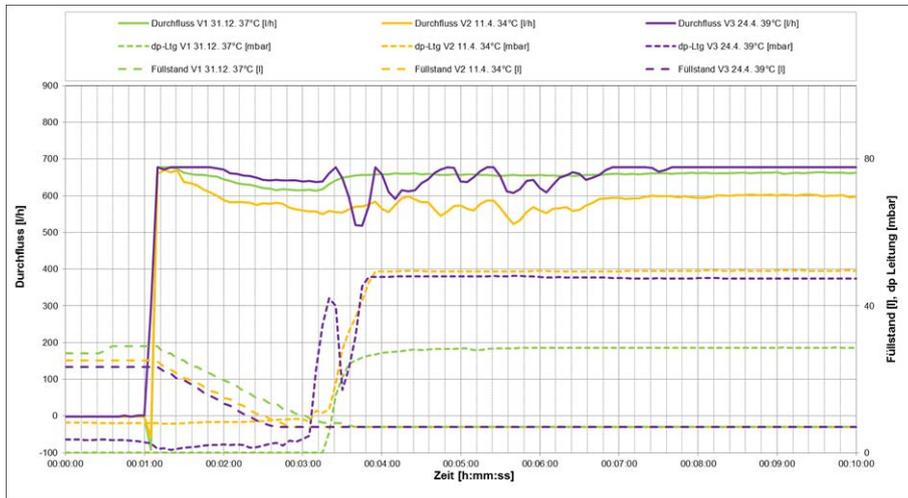


Abbildung 98: Gegenüberstellung der Füllvorgänge der Mäanderkollektorvarianten, niedrige Rücklauftemperatur

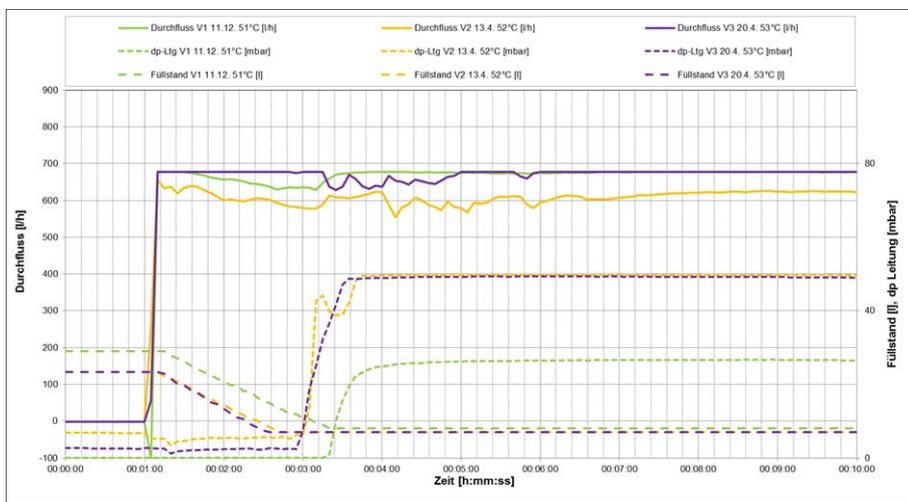


Abbildung 99: Gegenüberstellung der Füllvorgänge der Mäanderkollektorvarianten, mittlere Rücklauftemperatur

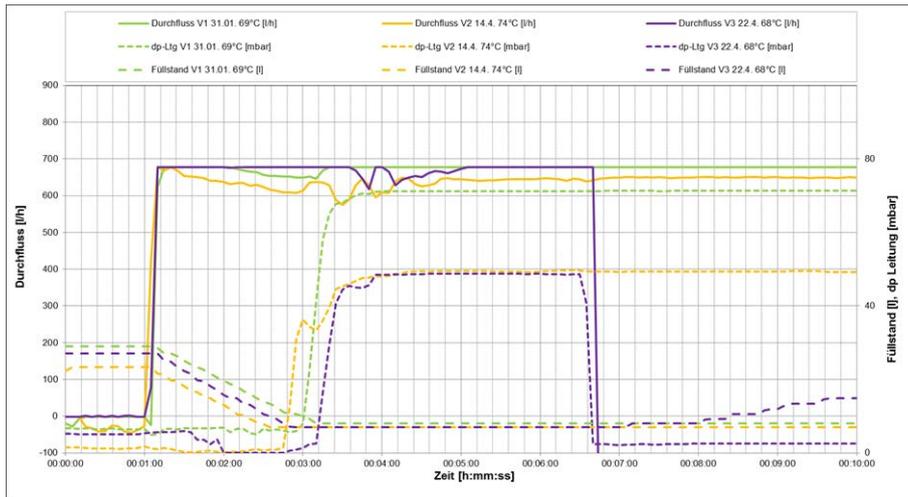


Abbildung 100: Gegenüberstellung der Füllvorgänge der Mäanderkollektorvarianten, hohe Rücklauf Temperatur

Vergleich der Entleerungsvorgänge der Varianten 1 bis 3

In Abbildung 101 bis Abbildung 103 sind Entleerungsvorgänge (ohne anschließende Stagnation) für unterschiedliche Kollektorrücklauftemperaturen (etwa 38 °C, 50 °C und 70 °C) die durch unterschiedliche Speichertemperaturen eingestellt wurden, dargestellt. Die Strahlung lag dabei im Mittel im Bereich von etwa 500 – 700 W/m².

Der Vergleich der Entleerungsvorgänge zeigt, dass diese nicht, bis nur sehr wenig von der Rücklauf Temperatur abhängen. Große Unterschiede ergeben sich jedoch für die Verschaltungsvarianten. Variante 1 erreicht am Ende des Entleerungsvorganges einen Entleerbehälter-Füllstand von etwa 29 l, Variante 3 von etwa 23 l und Variante 2 von etwa 20 bis 21,5 l. Bei den beiden letzten Varianten ist damit noch eine größere Menge Restflüssigkeit in den Sammel- und auch Absorberrohren.

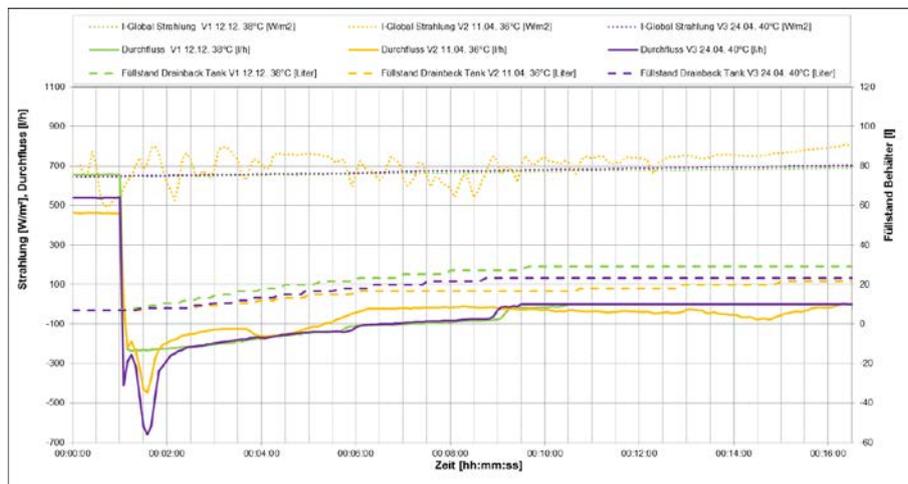


Abbildung 101: Gegenüberstellung der Entleerungsvorgänge der Mäanderkollektorvarianten, niedrige Rücklauf Temperatur

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

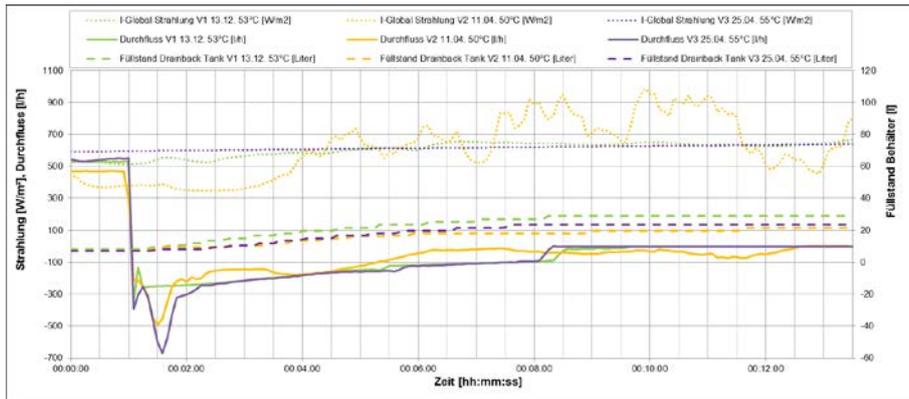


Abbildung 102: Gegenüberstellung der Entleerungsvorgänge der Mäanderkollektorvarianten, mittlere Rücklauftemperatur

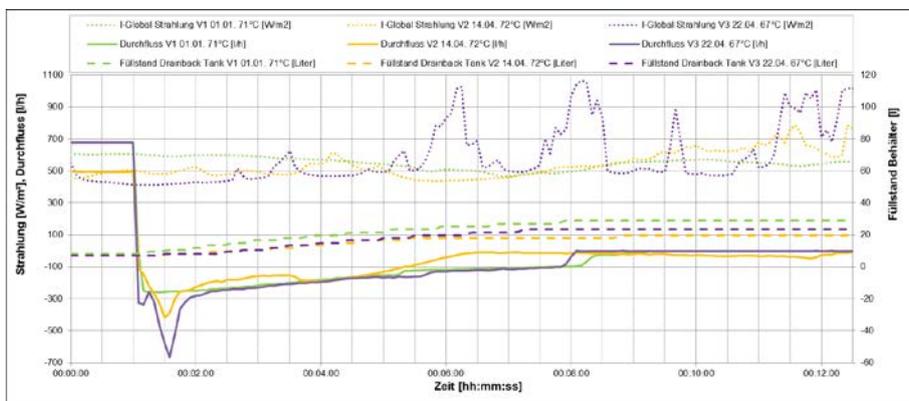


Abbildung 103: Gegenüberstellung der Entleerungsvorgänge der Mäanderkollektorvarianten, hohe Rücklauftemperatur

Vergleich der Stagnationsvorgänge der Varianten 1 bis 3

In der Abbildung 104 sind Stagnationsvorgänge dargestellt. Die Strahlung lag dabei im Mittel bei etwa 920 W/m². Es wurde darauf geachtet, dass die Basisdrücke (Druck am Start des Entleerungsvorgangs) ähnlich hoch sind und dass die Strahlung ab dem Start des Entleerens bis zum Druckmaximum vergleichbar bleibt (Der Einfluss der Strahlung und des Basisdrucks wird in der Einflussanalyse behandelt).

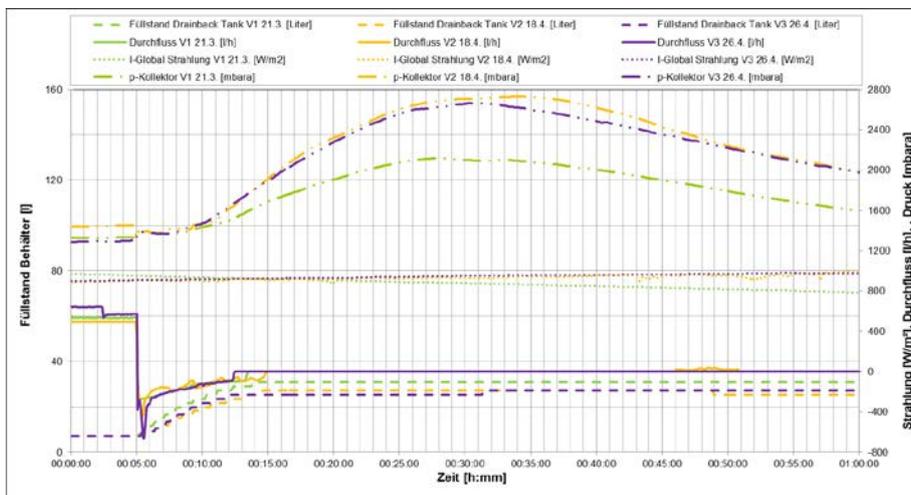
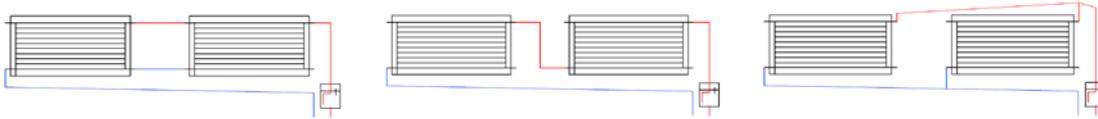


Abbildung 104: Gegenüberstellung der Stagnationsvorgänge der Mäanderkollektorvarianten

C. 12 Messdiagramme im Vergleich: Schaltungsvarianten 4 bis 6 – Harfenkollektor



Verschaltungen 4 bis 6: Gegenüberstellung der Harfenkollektorvarianten

Vergleich der Füllvorgänge der Varianten 4 bis 6

In Abbildung 105 sind Füllvorgänge dargestellt. Die Strahlung lag dabei im Mittel im Bereich von etwa 600 – 700 W/m². Bei der Beurteilung der Füllzeit ist das Startniveau des Entleerbehälters zu berücksichtigen, das z. Teil wegen vorangehender unvollständiger Entleerung unterschiedlich sein kann.

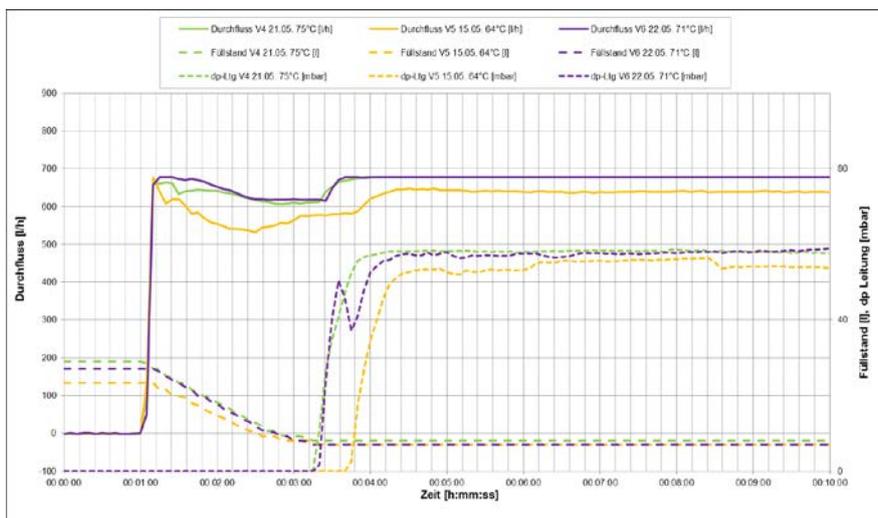


Abbildung 105: Gegenüberstellung der Füllvorgänge der Harfenkollektorvarianten

Vergleich der Entleerungsvorgänge der Varianten 4 bis 6

In Abbildung 106 sind Entleerungsvorgänge (ohne anschließende Stagnation) dargestellt. Die Strahlung lag dabei im Mittel im Bereich von etwa 470 – 620 W/m².

Bei diesem niedrigen Strahlungsniveau kommt es beim Entleerungsvorgang kaum zur Dampfentwicklung dementsprechend ist die Entleerung mehr oder weniger unvollständig. Variante 5 entleert am schlechtesten - Füllstand Entleerbehälter: 15 l, Variante 4 und 6 besser – Füllstände jeweils 20 l.

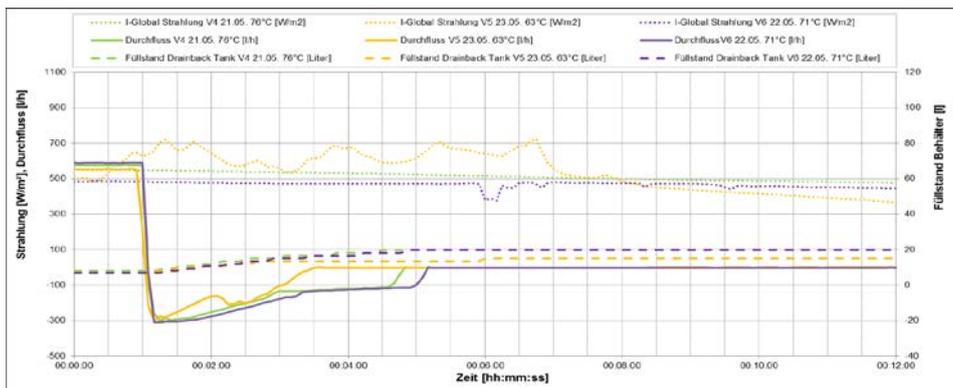


Abbildung 106: Gegenüberstellung der Entleerungsvorgänge der Harfenkollektorvarianten

Vergleich der Stagnationsvorgänge der Varianten 4 bis 6

In Abbildung 107 sind Stagnationsvorgänge dargestellt. Die Strahlung lag dabei im Mittel bei etwa 940 W/m².

Während die Varianten 4 und 6 sich ähnlich verhalten, ist Variante 5 deutlich anders. Bei den ersten beiden steigt der Füllstand im Entleerbehälter kontinuierlich und auch im Bereich der Verdampfung der Restflüssigkeit steigt er weiter sehr langsam (Kondensat der Restflüssigkeit). Variante 5 zeigt im Bereich der Stagnation einen schwankenden Füllstand im Entleerbehälter, korrespondierend mit entsprechenden positiven und negativen Strömungsvorgängen. Die Varianten 4 und 6 haben auch deutlich geringere Druckmaxima (2,5 bar_{abs} bzw. 2,7 bar_{abs}) als die Variante 5 (3,25 bar_{abs}), die bei diesem Versuch aus Sicherheitsgründen unmittelbar nach diesem Maximum manuell entlastet wurde. Strahlungseinbrüche, jeweils nach den Druckmaxima, führten auch bei den Varianten 4 und 6 zu Druckentlastungen.

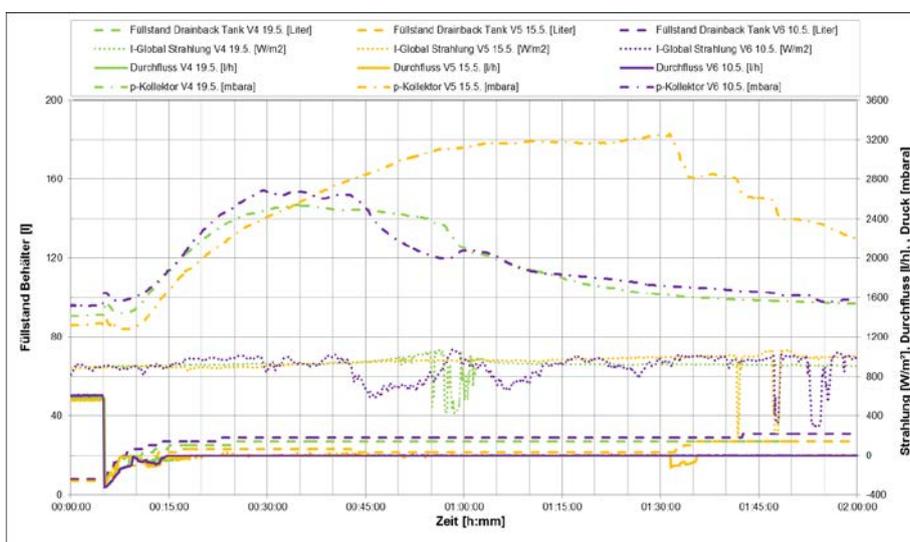
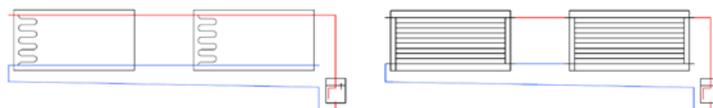


Abbildung 107: Gegenüberstellung der Stagnationsvorgänge der Harfenkollektorvarianten#

C. 13 Messdiagramme im Vergleich: Mäander Variante 1 und Harfen Variante 4

Der im Folgenden gezeigte Vergleich der beiden Kolleortypen erfolgt über gleichartige Verschaltungsarten (Mäanderkollektor - reine Parallelschaltung, Harfenkollektor - oben und unten verbundene Sammelleitungen).



Mäanderkollektor Variante 1 – Harfenkollektor Variante 4

Füllvorgang Vergleich Verschaltung 1 und 4

In der Abbildung 108 ist der Vergleich dieses Verschaltungstyps ersichtlich. Beide Füllvorgänge bei einem mittleren Strahlungsniveau (650 bis 700 W/m²) erfolgen sehr rasch und unterscheiden sich nur wenig, wobei die Harfe etwas längere Füllzeit benötigt. Der Durchfluss ist in beiden Fällen sehr rasch stabil, es treten keine länger dauernden Entlüftungsphasen auf.

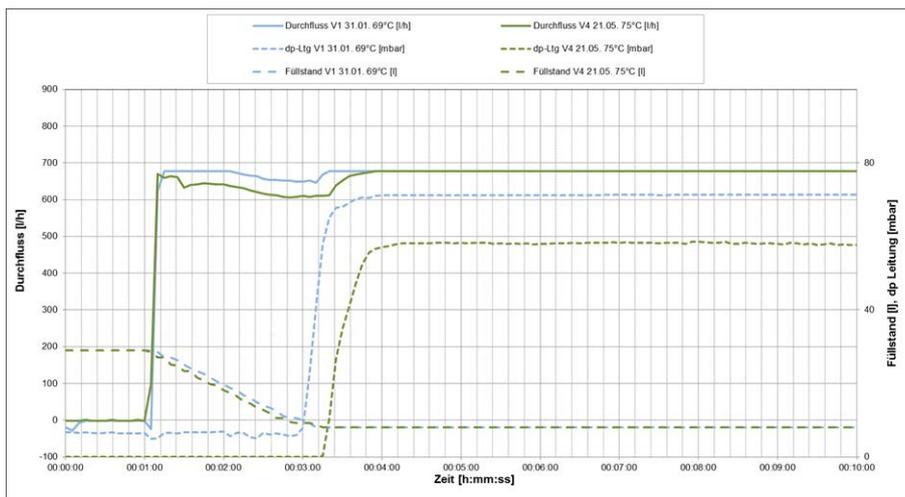


Abbildung 108: Gegenüberstellung der Füllvorgänge der Verschaltungen 1 (Mäanderkollektor, reine Parallelschaltung) und 4 (Harfenkollektor, oben und unten verbundenen Sammelleitungen)

Entleerungsvorgang Vergleich Verschaltung 1 und 4

In der Abbildung 109 ist der Vergleich dieses Verschaltungstyps ersichtlich. Beide Entleerungsvorgänge bei einem mäßigen Strahlungsniveau (540 W/m^2 , keine Dampfentwicklung zu Beginn) erfolgen sehr unterschiedlich. Die Mäanderkollektoren entleeren wesentlich besser, benötigen dafür jedoch eine längere Zeit. Die Harfenkollektoren unterbrechen den Entleerungsvorgang bei einem niedrigen Füllstand im Entleerbehälter bereits nach kurzer Zeit. Die anfängliche Entleerungsgeschwindigkeit ist bei beiden Typen gleich.

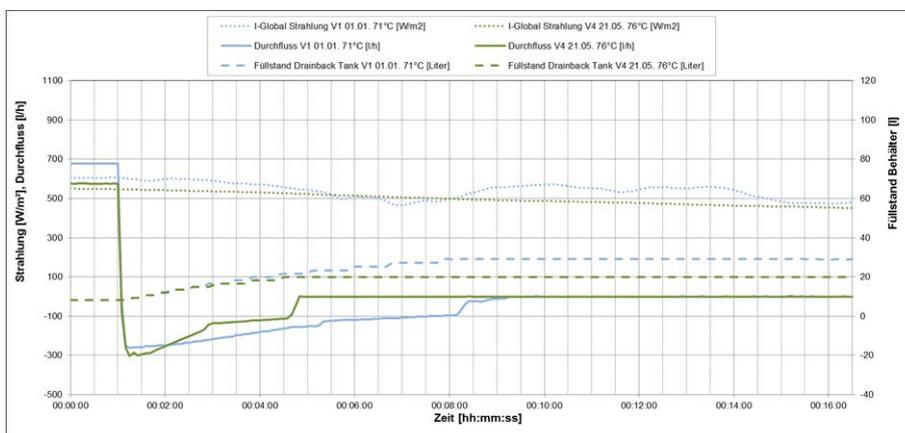


Abbildung 109: Gegenüberstellung der Entleerungsvorgänge der Verschaltungen 1 und 4

Stagnationsvorgang Vergleich Verschaltung 1 und 4

In der Abbildung 110 ist der Vergleich dieses Verschaltungstyps ersichtlich. Beide Stagnationsvorgänge bei gleichem Strahlungsniveau (915 W/m^2) erfolgen mit unterschiedlicher Druckentwicklung. Der unvollständiger entleerende Harfenkollektor erreicht einen höheren Maximaldruck und der Stagnationsvorgang dauert länger (allerdings bei konstanter Strahlung, während beim Mäander diese absinkt).

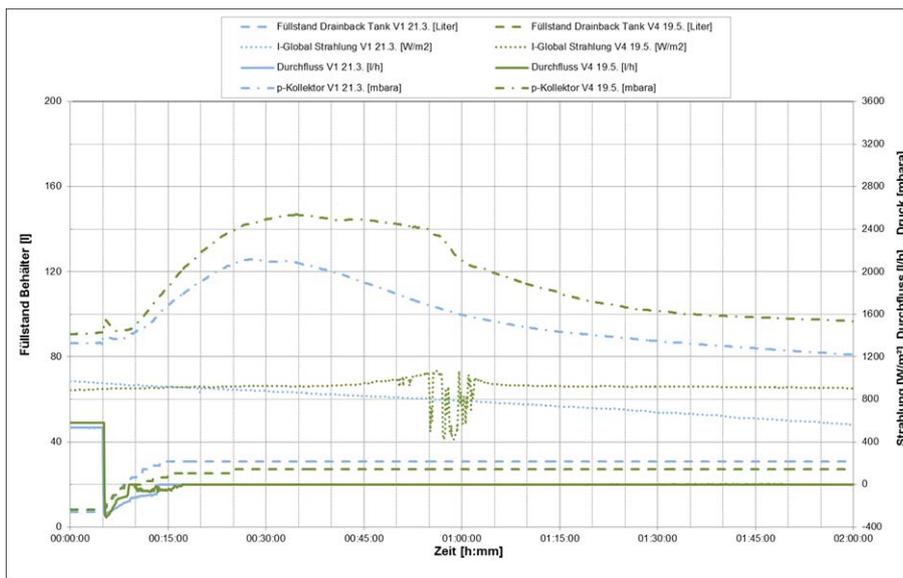
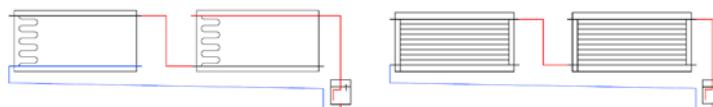


Abbildung 110: Gegenüberstellung der Stagnationsvorgänge der Verschaltungen 1 und 4

C. 14 Messdiagramme im Vergleich: Mäander Variante 2 und Harfen Variante 5

In den folgenden Gegenüberstellungen werden die Serienschaltungen der Mäanderkollektoren und der Harfenkollektoren miteinander verglichen.



Mäanderkollektor Variante 2 – Harfenkollektor Variante 5

Füllvorgang Vergleich Verschaltung 2 und 5

In der Abbildung 111 ist der Vergleich dieses Verschaltungstyps ersichtlich. Es standen nur Messungen bei etwas unterschiedlichem Strahlungsniveau zur Verfügung (600 bzw. 800 W/m²). Die Fallleitung hat sich beim Harfenkollektor trotz niedrigerem Strahlungsniveau wesentlich später gefüllt; trotzdem stabilisiert sich der Durchfluss rascher. Die länger dauernden Durchflussschwankungen bei den Mäanderkollektoren könnten auch auf Dampfentwicklung während der Füllphase hindeuten.

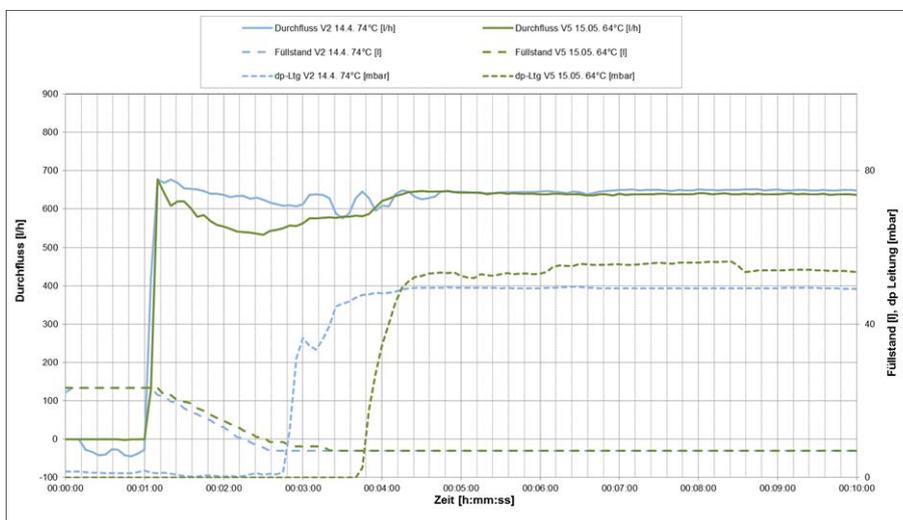


Abbildung 111: Gegenüberstellung der Füllvorgänge der Verschaltungen 2 und 5

Entleerungsvorgang Vergleich Verschaltung 2 und 5

In der Abbildung 112 ist der Vergleich dieses Verschaltungstyps ersichtlich. Beide Entleerungsvorgänge bei einem mittleren Strahlungsniveau (520 bzw. 620 W/m², keine Dampfentwicklung zu Beginn) erfolgen unvollständig und unterschiedlich. Die Harfen entleeren sehr unvollständig in einer relativ kurzen Zeit. Die Mäander entleeren gering günstiger in wesentlich längerer Zeit, allerdings wird bei dieser Messung der Entleerungsvorgang durch zuletzt ansteigende Strahlung (Dampfentwicklung) begünstigt.

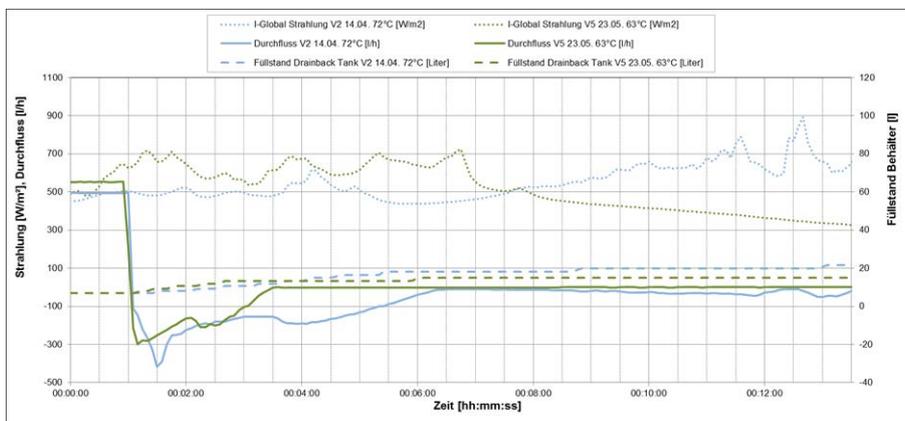


Abbildung 112: Gegenüberstellung der Entleerungsvorgänge der Verschaltungen 2 und 5

Stagnationsvorgang Vergleich Verschaltung 2 und 5

In der Abbildung 113 ist der Vergleich dieses Verschaltungstyps ersichtlich. Beide Stagnationsvorgänge bei beinahe exakt gleichem Strahlungsverlauf erfolgen mit unterschiedlicher Druckentwicklung. Der Mäanderkollektor entleert vollständiger, hat ein niedrigeres Druckmaximum und hat einen kürzeren Stagnationsverlauf (alles verursacht durch geringere Restflüssigkeitsmengen). Der abrupte Druckabfall beim Harfenkollektor nach 1:30 Std. wurde durch ein Öffnen von Ventilen aus Sicherheitsgründen verursacht. Beide Varianten zeigen deutlich Rückströmungen vom Entleerbehälter zum Kollektor während Stagnation.

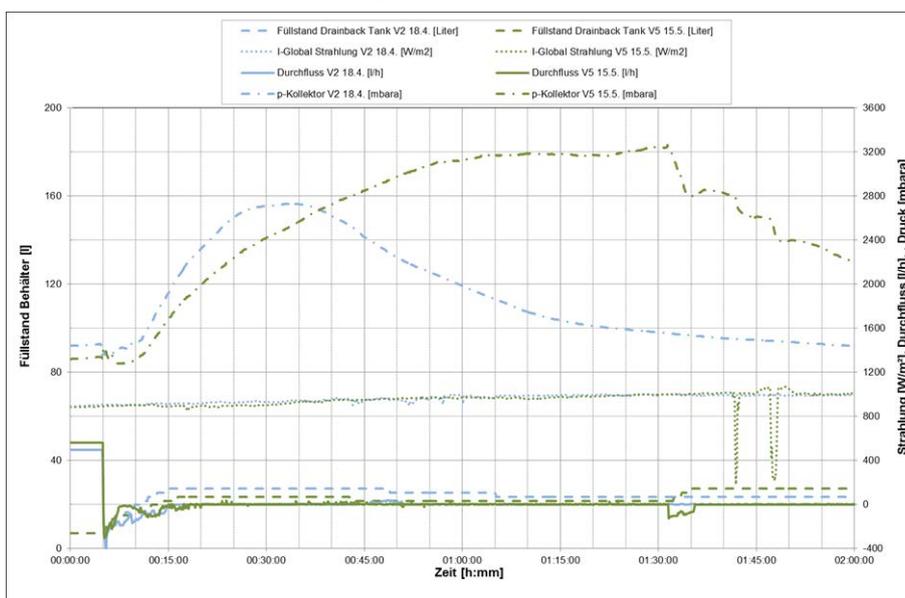
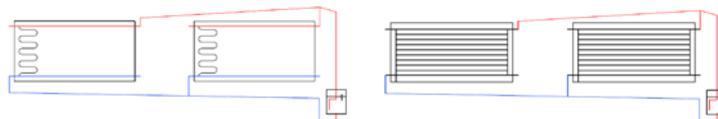


Abbildung 113: Gegenüberstellung der Stagnationsvorgänge der Verschaltungen 2 und 5

C. 15 Messdiagramme im Vergleich: Mäander Variante 3 und Harfen Variante 6

In den folgenden Gegenüberstellungen werden parallel geschaltete Kollektoren mit gemeinsamem Hochpunkt miteinander verglichen.



Mäanderkollektor Variante 3 – Harfenkollektor Variante 6

Füllvorgang Vergleich Verschaltung 3 und 6

In der Abbildung 114 ist der Vergleich dieses Verschaltungstyps ersichtlich. Beide Füllvorgänge bei einem höheren Strahlungsniveau (etwa 720 W/m^2) erfolgen relativ rasch, wobei jedoch die Mäanderkollektoren länger dauernde Durchflussschwankungen (Entlüftung?) zeigen, obwohl die Falleitung rascher gefüllt war als bei den Harfen. Der Durchflussabfall bei den Mäanderkollektoren nach 6:30 min ist durch einen eingeleiteten Entleerungsvorgang verursacht.

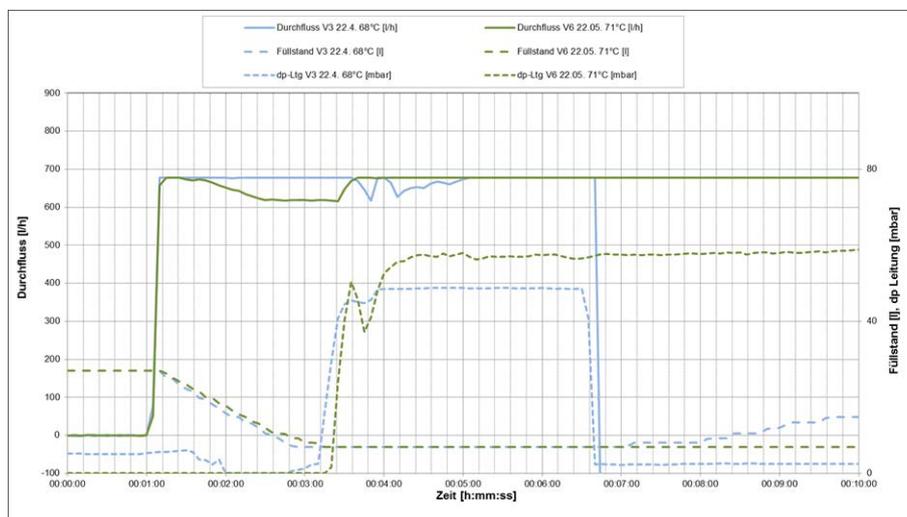


Abbildung 114: Gegenüberstellung der Füllvorgänge der Verschaltungen 3 und 6

Entleerungsvorgang Vergleich Verschaltung 3 und 6

In der Abbildung 115 ist der Vergleich dieses Verschaltungstyps ersichtlich. Die Entleerungsvorgänge bei einem mittleren Strahlungsniveau (etwa 500 W/m^2 , keine Dampfentwicklung zu Beginn) erfolgen unterschiedlich. Die Mäanderkollektoren entleeren langsamer aber vollständiger (auch mit verursacht durch kurze Strahlungsspitzen) als die Harfenkollektoren. Vergleicht man jedoch das Stagnationsverhalten im folgenden Punkt, ist anzunehmen, dass die hier gezeigten Unterschiede bei gleichen Strahlungsverhältnissen nicht mehr auftreten.

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

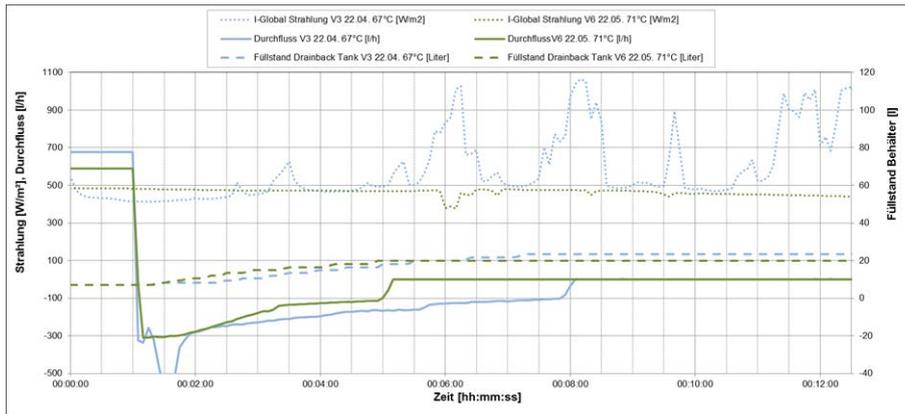


Abbildung 115: Gegenüberstellung der Entleerungsvorgänge der Verschaltungen 3 und 6

Stagnationsvorgang Vergleich Verschaltung 3 und 6

In der Abbildung 116 ist der Vergleich dieses Verschaltungstyps ersichtlich. Beide Stagnationsvorgänge bei fast gleichem Strahlungsverlauf erfolgen mit ähnlicher Druckentwicklung, allerdings startend von unterschiedlichem Basisdruck (gleichartige Messungen standen nicht zur Verfügung). Beide Stagnationsvorgänge sind als etwa gleich zu beurteilen.

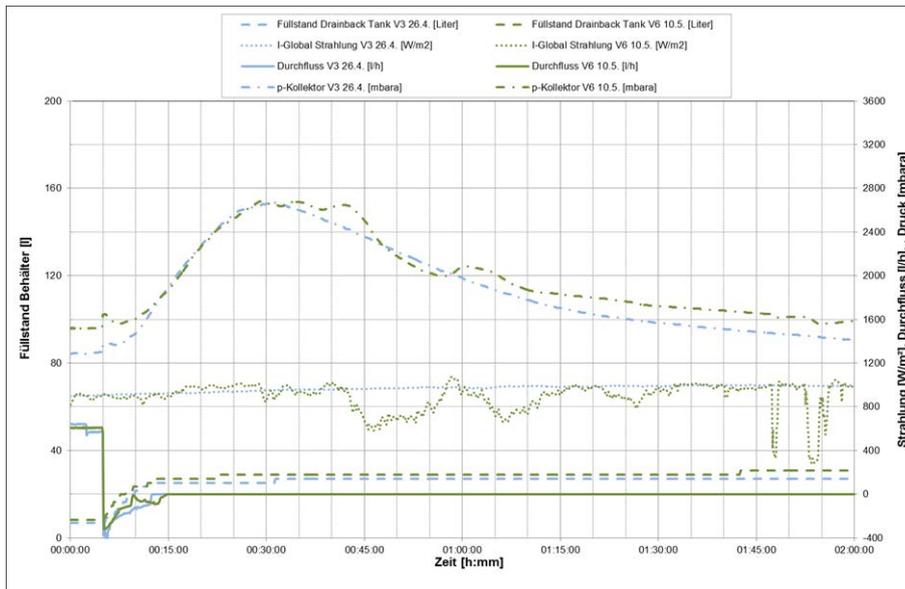


Abbildung 116: Gegenüberstellung der Stagnationsvorgänge der Verschaltungen 3 und 6

C. 16 Literaturverzeichnis zu Anhang C

Baumgartner, M. (2012): Messtechnisch unterstützte experimentelle Untersuchungen an einem teilentleerenden System. Diplomarbeit, Fachhochschulstudiengänge Burgenland GmbH, AEE INTEC Gleisdorf

Brandstetter, F.; Fink C.; Hackstock R.; Lazslo, G.; Riva, R.; Steffens, R. (2004): Ausbildungsskriptum – Solarwärme, Arsenal Research, 1. Auflage, Wien

Neue Energien 2020 - 4. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Hausner, R.; Fink, C. (2001): Endbericht zum Projekt Stagnation Technology for Thermal Solar Systems, AEE INTEC Gleisdorf

Hausner, R.; Fink, C.; Wagner, W.; Riva, R. (2003): Endbericht zum Projekt Entwicklung von thermischen Solarsystemen mit unproblematischem Stagnationsverhalten, AEE INTEC Gleisdorf

Hausner, R.; Kaiser, A. (2010): Untersuchungen an drucklosen solarthermischen Systemen mit Kunststoffkollektoren, AEE INTEC Gleisdorf

Scheuren, J. (2008): Untersuchungen zum Stagnationsverhalten solarthermischer Kollektorfelder. Dissertation, Universität Kassel

Viesmann Deutschland GmbH (2008): Planungshandbuch Solarthermie, Allendorf (Eder). 9449 414 D 11/2008

Wesselak, V.; Schabbach, T. (2009): Regenerative Energietechnik, Springer Verlag, Heidelberg. ISBN 978-3-540-95881-9

Zahoransky, R. (2009): Energietechnik – Systeme zur Energieumwandlung, Kompaktwissen für Studium und Beruf, Vieweg + Teubner, 4. Auflage. ISBN 978 – 3 – 8348 – 0488 – 4

Schwarz Wolfgang (2013): Selbstentleerende Solarsysteme bei Anlagen >100 m². Bakkalaureatsarbeit, Montanuniversität Leoben, AEE INTEC Gleisdorf

C. 17 Quellennachweise zu Anhang C

Zen International:

<http://www.zen-international.com/technology/solar-thermal-energy/drain-back-system/>, am 03.06.2013

cleantech energie:

<http://www.cleantechenergie.com/de/produkte/solarthermie.html>, am 03.06.2013