

---

# ABSCHLUSSBERICHT

---

Gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) von Mai 2018 – Dezember 2020 (32 Monate) unter Akz DBU34368

Entwicklung einer mit erneuerbarer Energie betriebenen Verdampfungsanlage zur dezentralen Aufbereitung von Kühlschmierstoff

Projektleitung:  
Herr Sebastian Junker

Projektmitarbeiter:  
Herr Daniel Epp  
Herr Andrej Banahov  
Herr Michael Wolff  
Herr Thomas Bucher  
Herr Christian Epp

---

# ABSCHLUSSBERICHT

---

Gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) von Mai 2018 – Dezember 2020 (32 Monate) unter Akz DBU34368


Entwicklung einer mit erneuerbarer Energie betriebenen Verdampfungsanlage zur dezentralen Aufbereitung von Kühlschmierstoff

Projektleitung:  
Herr Sebastian Junker

Projektmitarbeiter:  
Herr Daniel Epp  
Herr Andrej Banahov  
Herr Michael Wolff  
Herr Thomas Bucher  
Herr Christian Epp

30. DEZEMBER 2020

DEUTSCHE BUNDESSTIFTUNG UMWELT  
EPP Industrietechnik e.K, Baumeister-Bufler-Str. 6, 88171 Weiler-Simmerberg

06/02		<b>Projektkennblatt</b> der <b>Deutschen Bundesstiftung Umwelt</b>			
Az	<b>DBU34368</b>	Referat		Fördersumme	<b>EUR 200.000,00</b>
<b>Antragstitel</b>		<b>Entwicklung einer mit erneuerbarer Energie betriebenen Verdampfungsanlage zur dezentralen Aufbereitung von Kühlschmierstoff</b>			
<b>Stichworte</b>					
	Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
	<b>32 Monate</b>	<b>01.05.2018</b>			
	Zwischenberichte	24.01.2019	18.09.2019		
<b>Bewilligungsempfänger</b>	EPP Industrietechnik e.K Baumeister-Bufler-Str. 6 88171 Weiler-Simmerberg			Tel	08387-392988-13
				Fax	08387-392988-18
				Projektleitung	Sebastian Junker
			Bearbeiter	Alexander Epp	
<b>Kooperationspartner</b>	keinen				
<b>Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens</b>					
<p>Die bislang angewandte Technologie der chemischen Aufbereitung ist mit einem hohen Personalaufwand und hohem Chemikalieneinsatz verbunden. Durch den Chemikalieneinsatz sind weitere Filtrationsverfahren, Ultrafiltration und Umkehrosmose erforderlich, welche die Nutzung und die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens in Frage stellt.</p> <p>Bei Vakuumverdampfungsanlagen ist für den Betrieb der Pumpensysteme und die Kompression von Gasen sehr energieintensiv. Für dieses System ist ein kontinuierlicher Betrieb wichtig, da beim Anlauf der Anlage das System aufgeheizt werden muss, um den effizienten Betrieb zu ermöglichen. Je kleiner dieses Anlagensystem ist, desto ineffizienter wird dies.</p> <p>Die Entwicklung eines lokalen, unter instationären Bedingungen effizienten, atmosphärisch arbeitenden KSS-Aufbereitungssystem, was auf Grund von Vorgaben vollkommen autark über erneuerbare Energien betrieben werden kann, ist Zielsetzung der Entwicklung.</p> <p>Hierzu soll ein dreifacher mit Thermoöl und Wasser betriebener Thermo-Kreislauf mit doppelter Energierückgewinnung entwickelt werden, mit dem sich eine genaue Temperaturführung erreichen lässt. Zentrale Innovationsidee ist die Nutzung erneuerbarer thermischer Energie zum Betreiben des Destillationsvorganges. Die Einbindung der thermischen Energie aus Solarkollektoren steht dabei unter der besonderen Anforderung des engen Temperaturbereiches mit dem die Verdampfung betrieben werden soll. Die Entwicklung eines dreistufigen Steuerungskreislaufes, sowie einer intelligenten Regelung ist hierzu notwendig, um einen hohen Durchsatz und eine hohe Energieausbeute zu erzielen. Für dieses System sollte eine intelligente Steuerung mit Berücksichtigung der Massenträgheit entwickelt werden. Auf Grund des Problems, dass die verbleibenden Ölrückstände natürlich aufkonzentriert werden und daher entsprechend hoch-viskos werden, muss eine Beschichtung der Heizplatten entwickelt werden, die unter leichter Schrägstellung ein Anbacken des Destillats verhindert.</p> <p>Die Anlage soll sowohl im natürlichen Konvektionsbereich als auch mittels erzwungener Konvektion arbeiten. Dieser Ansatz ermöglicht einerseits die energieeffiziente rein wärmegetriebene Betriebsweise, als auch eine mittels Ventilatoren beschleunigten Betriebsweise zur Erzielung sehr hoher Durchsatzraten. Die Anordnung der Heizplatten, deren Anbringung einen geringen Strömungswiderstand bieten soll, soll eine optimale Energieausnutzung und Aufkonzentrierung des KSS ermöglichen.</p>					

## **Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

Innerhalb des geplanten Forschungsprojekts wurde die Verdampfung des Wassergehalts, des Abfall-Kühlschmierstoff aus mechanischem Fertigungsprozess, mittels eines durch erneuerbare Solarenergie beheizten Heizplattensystem und in einer autarken Anlage, mit verschiedenen Kreislaufsystemen und in Eigenkonstruktion und eigener Fertigung hergestellten Kunststoffbehältern entwickelt und untersucht. Durch den Zukauf von Solarmodule unterschiedlicher Technologien, PV-Modulen, Sensoren, Pumpensystem und Messsystemen wurden über den Entwicklungszeitraum verschiedene Anlagensysteme hergestellt und erprobt. Final wurde das System der Verdampfung durch Heizplattentechnologie, durch den Einsatz einer Edelstahl-Wärmetauscher-Heizspirale ersetzt und die Anlage umkonstruiert und umgebaut.

## **Ergebnisse und Diskussion**

- Die Verdampfungsplattenvariante mit Strömungskanälen, welche durch mechanisch gefertigte Verwindung (trapezförmige Mediumflußblockaden) zur Verlangsamung der Flußgeschwindigkeit des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch dienen, konnten wegen des erheblichem Reinigungsaufwand und Einsatz von Chemikalien nicht verwendet werden.
- Der Einsatz eines Rührwerksystems, zur Aufbereitung des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch war zu Energieaufwändig und wurde durch das Luftzufuhrsystem mit Membranpumpe ersetzt.
- Mit den durchgeführten Versuchsreihen des Anlagenbetrieb mit plangeschliffenen, beschichteten Verdampferplatten, musste auf Grund des zeitlichen Aufwands des Mediuermwärmens durch die Heizplatten, auch bei geschlossenem Zirkulationskreislauf des zu erheizenden Mediums und ohne Dauerbetrieb des Heizkreislaufs ein nicht wirtschaftlicher Betrieb der Anlage realisiert werden.
- Mit möglicher Anlagenerweiterung um ein Energiespeichersystem, der durch die mit dem Solarmodul gewonnenen Energie, für einen nächtlichen Anlagenbetrieb, wäre der Anlagenbetrieb zwar energieeffizienter, doch die Kosten der Anlage durch den Wärmespeicher wären erheblich höher und somit ist die Anlageninvestition für den Betrieb einer Kleinanlage unwirtschaftlich.
- Ein weiteres Problem bzw. Zusatzaufwand des Anlagenbetriebs mit Verdampferplatten ist die Reinigung der Platten, was mit einsetzender Verdampfung des Wassers nicht mehr über den Mediumfluß durch Selbstreinigung erfolgt und somit mit Chemikalieneinsatz notwendig wäre.
- Mit finalem Status der Entwicklungsarbeiten der Anlage mit direkter Kühlschmierstoffwärmerung durch die Edelstahl-Wärmetauscher-Heizspirale, wäre diese Anlage erheblich wirkungsvoller und energieeffizienter als die investitionsintensivere und zur Betreibung energieaufwändigere Anlage mit Betrieb durch das Verdampferplattensystem. Durch das Abschalten der Anlage mit Heizspirale, über den Zeitraum des Abkühlens des Heizkreislauf, sowie das damit verbundene abkühlen des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch, ist das mit Betriebswiederaufnahme verbundene Hochfahren der Anlage energieaufwändig. Der erforderliche Reinigungsaufwand der Anlage und die Zeit des Anlagenstillstands machen diese Anlage für den Kleinanlagenbedarf ebenfalls unwirtschaftlich.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Durch das bislang nicht zum Erfolg geführte Entwicklungsergebnis, wurde auf öffentlichkeitsarbeiten oder/und Präsentationen der Anlage verzichtet.

## **Fazit**

Mit dem effektivsten Verfahren und dem Einsatz der Heizspirale, wie im Bericht der finalen Versuchsreihe beschrieben, wurde bei durchgängigem Anlagenbetrieb über den Zeitraum von 4 Wochen, eine Wasserverdampfung aus dem Abfall-Kühlschmierstoffgemisch von 30 cm Höhe, durch das Ultraschallhöhenmessgerät gemessen. Dies entspricht einem Volumen von ca. 85 l. Bei einer Gesamtfüllmenge von 250 l Abfall-Kühlschmierstoffgemisch entspricht dies einem Wasserverlust von 34 %. In Anbetracht des zu geringen Verdampfungsvolumen über einen „längeren“ Zeitraum des Anlagenbetriebs, sowie des zusätzlichen Aufwands der Anlagenreinigung sehen wir dieses Verfahren für den Betrieb kleinerer Anlagen als nicht wirtschaftlich und nicht effektiv.

## **Inhalt**

- Zusammenfassung.....	5
Kurzfassung des Berichts mit wichtigsten Entwicklungsetappen.....	5
- Einleitung.....	6
Ausgangssituation und Zusammenfassung des Entwicklungsvorhabens.....	6
- Bericht.....	8
- Entwicklung Heizplattensysteme.....	8
- Versuchsreihen der Mediumerhitzung und Verdampfung.....	9
- Versuchsreihen des Mediumfluss über die Heizplatten.....	9
- Verdampfungsversuchsanlage mit Mediumdurchfluß durch Solarmodul ohne Pumpensysteme.....	10
- Verdampfungsversuchsanlage mit Speicherbehälter und Aufbereitung durch Rührwerkssystem, sowie Pumpensystemen zum Mediumflussförderung...11	
- Verdampfungsversuchsanlage mit direkter Mediumerhitzung und Solar-Vakuumröhrentechnologie, sowie Membranpumpensystem.....	12
- Aufbau komplettes Prototypenanlagensystem mit Verdampfungsplatten.....	13
- Versuchsreihen mit Verdampfungsplattensystem.....	15
- Anlagenumbau auf Verdampfung mit Heizspiralsystem.....	16
- Versuchsreihen mit Heizspiralsystem.....	17

## **Zusammenfassung**

Der Fokus der durchgeführten Entwicklungsarbeiten lag im ersten Abschnitt auf der Konstruktion und Entwicklung des Systems der Heizplatten aus verschiedenen Werkstoffen und Beschichtungen, sowie des Vorrichtungskonzepts zur Justierung des Neigungswinkels für die Flussregulierung des Mediums. Nach verschiedenen konstruiert und gefertigten Heizplatten wurde eine Plattenkonstruktion gewählt, welches aus einem Plattengehäuse und Deckel bestand, bei dem das Medium zum Beheizen der Heizplatte durch das Gehäuseunterteil strömt und das Kühlschmierstoffmedium über die beschichtete und beheizte Oberfläche des Oberteils der Platte floß.

Mit verschiedenen Teilanlagenkonstruktionen und Entwicklungen wurden Versuchsreihen durchgeführt, welche Aufschluss über die Effektivität und Wirtschaftlichkeit des Solarthermischen Kreislaufs des Erhitzens von Wasser, bzw. Wasserglykologemisch ergaben. Mit diesen sollten Erkenntnisse für einen gleichbleibenden und konstanten Mediumfluß, innerhalb des Heizkreislaufs ermittelt werden, sowie zum Ziel der konstanten Temperatursteuerung des Heizsystems der Heizplatten führen. Durch den Einsatz des Solarmoduls mit Vakuumtechnik durch Röhrenkollektoren sowie dem Einsatz eines Zirkulationspumpensystems konnte die Konstanz der Temperaturregulierung im Heizkreislauf erzielt werden. Die Steuerung des Heizkreislaufs konnte durch den Einsatz von mehreren Sensoren sowie der Datenerfassung durchgeführt werden. Mit der Konstruktion des Sammelbehälters und dem Einsatz eines Luftzufuhrsystems und einem Rührwerk konnte die Aufbereitung und das Vermeiden von Bakterienbildung realisiert werden, da der Einsatz des Rührwerkssystems jedoch sehr energieaufwändig war, wurde dieses System durch den Einsatz eines Membranpumpensystem mit Luftzufuhr ersetzt. Durch die Anordnung der Luftzufuhr wurde die Zirkulation des Mediums im Sammelbehälter sowie die Mediaufbereitung gewährleistet. Nach Durchgeführten Versuchsreihen der Teilanlagentypen wurde die Versuchsanlage mit dem System der Heizplatten konstruiert und gebaut. Die Versuchsreihen mit dem Ziel der wirtschaftlichen und effektiven Verdampfung des Wasseranteils des Kühlschmierstoffgemisch, durch Erhitzen über den Durchflußkreislauf des Kühlschmierstoffgemisch über die Heizplatten, führte jedoch zu keinen zufriedenstellenden und wirtschaftlichen Ergebnissen. Da über die zuvor durchgeführten Versuchsreihen der Teilanlagen, mit dem Einsatz einer Heizspirale positive Ergebnisse des Verdampfungsprozess erzielt wurden, wurde die Anlage umkonstruiert und auf den Einsatz der Mediumverdampfung einer Heizspirale mit Verbindung zum Heizkreislauf des Solarmoduls umgebaut. Da auch mit dieser Anlage über die finale Versuchsreihe, über einen Zeitraum von 4 Wochen, bei einer Ausgangslage von 250 Liter nur ein Verdampfen

von 85 Liter erzielt werden konnte, was einem Anteil von 34 % entspricht, wurde der Anlagentyp mit Betrieb durch erneuerbare Energie, sowohl mit dem Einsatz des Systems der Heizplattenverdampfung, als auch der direkten Verdampfung durch das System der Heizspirale als nicht wirtschaftlich definiert werden.

### **Einleitung**

Die bislang angewandte Technologie der chemischen Aufbereitung ist mit einem hohen Personalaufwand und hohem Chemikalieneinsatz verbunden. Durch den Chemikalieneinsatz sind weitere Filtrationsverfahren, Ultrafiltration und Umkehrosmose erforderlich, welche die Nutzung und die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens in Frage stellt.

Eine weitere angewandte Technologie ist die der Vakuumverdampfungsanlagen, welche für den Betrieb der Pumpensysteme und der Kompression von Gasen sehr energieintensiv ist. Für dieses System ist ein kontinuierlicher Betrieb wichtig, da beim Anlauf der Anlage das System aufgeheizt werden muss, um den effizienten Betrieb zu ermöglichen. Je kleiner dieses Anlagensystem ist, desto ineffizienter wird dies.

Die Entwicklung eines lokalen, unter instationären Bedingungen effizienten, atmosphärisch arbeitenden KSS-Aufbereitungssystem, was auf Grund von Vorgaben vollkommen autark über erneuerbare Energien betrieben werden kann, ist Zielsetzung der Entwicklung.

Hierzu soll ein dreifacher mit Thermoöl und Wasser betriebener Thermo-Kreislauf mit doppelter Energierückgewinnung entwickelt werden, mit dem sich eine genaue Temperaturführung erreichen lässt. Zentrale Innovationsidee ist die Nutzung erneuerbarer thermischer Energie zum Betreiben des Destillationsvorganges. Die Einbindung der thermischen Energie aus Solarkollektoren steht dabei unter der besonderen Anforderung des engen Temperaturbereiches mit dem die Verdampfung betrieben werden soll. Die Entwicklung eines dreistufigen Steuerungskreislaufes, sowie einer intelligenten Regelung ist hierzu notwendig, um einen hohen Durchsatz und eine hohe Energieausbeute zu erzielen. Für dieses System sollte eine intelligente Steuerung mit Berücksichtigung der Massenträgheit entwickelt werden. Auf Grund des Problems, dass die verbleibenden Ölrückstände natürlich aufkonzentriert werden und daher entsprechend hoch-viskos werden, muss eine Beschichtung der Heizplatten entwickelt werden, die unter leichter Schrägstellung ein Anbacken des Destillats verhindert.

Die Anlage soll sowohl im natürlichen Konvektionsbereich als auch mittels erzwungener Konvektion arbeiten. Dieser Ansatz ermöglicht einerseits die energieeffiziente rein wärmegetriebene Betriebsweise, als auch eine mittels Ventilatoren beschleunigten Betriebsweise zur Erzielung sehr hoher Durchsatzraten. Die Anordnung der Heizplatten, deren Anbringung einen geringen Strömungswiderstand bieten soll, soll eine optimale Energieausnutzung und Aufkonzentrierung des KSS ermöglichen.

Die Aufgabenstellung der Entwicklung des Heizplattensystems liegt somit in der Konstruktion, der Oberflächenbeschichtung und des Heizsystems der Platten. Um eine gleichmäßige Temperaturverteilung an der Oberfläche zu erreichen, sollen die Platten aus massivem Metall gefertigt werden und mit Kapillarbohrungen versehen werden, welche auch die verlustarme Durchströmung positiv beeinflussen würden. Ggf. könnte hier noch eine thermische hochleitende Oberflächenbeschichtung aufgebracht werden. Auch soll untersucht werden, ob der Einsatz und eine Fertigung aus Kunststoff in Frage kommen könnte. Die genaue Verteilung (z.B. Abstand von Oberfläche, Durchmesser, Abstand, Wandrauigkeit, etc.) muss entwickelt werden. Einen weiteren Einfluss auf den kontrollierten Ablauf des Mediums hat auch die Dosierung des Kühlschmierstoffkonzentrats, welcher über eine Art Beregnungsanlage realisiert werden könnte. Dabei soll die Dosiermenge auch als zusätzliche Stellgröße in der Anlagensteuerung verwendet werden. Zur Erreichung der abperlenden Oberflächeneigenschaften soll eine Beschichtung eingesetzt werden. Hierfür ist aktuell eine galvanische Flüssig- oder elektrostatische Pulverbeschichtung durch Teflon oder Keramik geplant. Gleichzeitig weisen derartige Beschichtungen zwar eine hohe Temperaturbeständigkeit, jedoch schlechte Temperaturleitfähigkeit auf, so dass hierdurch die Temperaturführung an der Oberfläche träger und damit komplexer ausfällt. Die Beschichtung muss daher so dünn wie möglich gestaltet werden. Hierzu soll auch untersucht werden, welche Auswirkungen die Oberflächenrauigkeit des Plattenmaterials auf die Beschichtung bzw. deren Wirkung haben kann. Wir gehen aktuell davon aus, dass eine gewisse Rauigkeit im Bereich von  $R_z = 1$  einen Abperleffekt bis zu einer Destillatkonzentration von rund 80-90 % unterstützen sollte, wobei der genaue Traganteil je nach Oberflächenbehandlungsverfahren im Rahmen des Projektes zu erforschen ist. Da die Regel- und Stellgröße des Systems die Oberflächentemperatur der Verdampfungsplatten ist, soll ein Temperatursensor in diesen integriert werden, dessen optimale Position anhand von thermischen FEM-Simulationen bestimmt werden

soll. Für die Heizplatte werden zusätzlich folgende Versuche erforderlich, um die den geeigneten Werkstoff und optimale Oberflächenbeschaffenheit zu entwickeln.

Durch die Energiezufuhr aus Solarenergie ist die Anlage stark von den Wetterbedingungen abhängig. Um eine hohe Produktivität zu erzielen ist jedoch eine lange gleichmäßige Wärmezufuhr notwendig. Für die Erzielung und Nutzung der Differenzen aus Anforderungen und Verfügbarkeit der Energie, soll ein neuartiges Wärmesteuerungssystem bestehend aus drei Flüssigkeitskreisläufen und Energierückgewinnungsmaßnahmen an mehreren Schnittstellen entwickelt werden. Den ersten Kreislauf stellt die Solaranlage mit Pufferspeicher dar. Der zweite Kreislauf ist der Verdampferkreislauf und kann notfalls über einen Kühlkreislauf mit hoher Dynamik abgeregelt werden. Die exakte notwendige Temperatur für den Verdampfungsprozess wird im Verdampferkreislauf bereitgestellt. Das notwendige Temperaturlevel soll aus dem Heizkreislauf und dem Pufferspeicher entnommen werden, und dem Verdampferkreislauf über einen Wärmetauscher zugeführt werden. Ist jedoch im Sommer, die anfallende Kühlschmierstoffmenge gering und die Wärmeproduktion hoch, überhitzt der Solarkreislauf und das notwendige Temperaturlevel kann nur über die Rückkühlung erreicht werden. Dadurch lässt sich auch die Solaranlage bei Stillstand vor Überhitzung schützen. Bei geringer Solarenergieproduktion ist eine effiziente Nutzung dieser Energie notwendig. Hier soll der Kühlkreislauf nicht eingesetzt werden und die komplette erzeugte Energie wird genutzt. Jeder Kreislauf soll mit einer Pumpe versehen werden. Für Vorlauf des Solarkreislaufes und Abfluss des Speichers soll eine Temperaturüberwachung werden. Ebenso sollen die Eingangstemperatur und Ausgangstemperatur des Solarkreislaufs erfasst werden. Der Verdampferkreislauf wird ebenfalls von Ein- und Ausgangstemperatursensoren überwacht.

Die Abfallmulsionen soll in einem Zwischenspeicher vorgelagert und aufbereitet werden, bevor die flüssigen Phasen im Verdampfungsprozess an den Heizplatten getrennt werden. Ein Behälter soll der Zwischenspeicherung der zum Teil aggressiven Kühlschmierstoffe dienen, denen er über lange Zeit ausgesetzt sein wird. Entsprechend hochwertig müssen die verwendeten Materialien ausgelegt werden, um eine chemische Zersetzung des Behälters zu vermeiden. Es soll ein Behälter entwickelt werden, der eine lange Lebensdauer verspricht, einen geringen Verschmutzungsgrad aufweist und leicht zu reinigen ist. Ein geeigneter Werkstoff soll ausgelegt werden, welcher diesen Anforderungen gerecht wird und dessen Materialkostenaufwand eine wirtschaftliche Serienfertigung ermöglicht. Angedacht ist für den Behälterbau hochwertiger Kunststoff, da dieser eine hohe chemische Beständigkeit besitzt. In Zusammenhang mit dem Speicherbehälter soll die Zuführung des Kühlschmierstoffgemisch in den Verdampfungsraum, die Rückpumpung des Konzentrats, für den Fall dass die gewünscht Konzentration noch nicht erreicht wurde entwickelt werden. Die Konzentrat Abführung sowie das Überwachungssystem für den verbrauchten Kühlschmierstoff soll ebenfalls überprüft werden. Das Kühlschmierstoffhandling soll als 2-Kreislaufprozess entwickelt werden, bei dem sich ein geschlossener Kreislauf bilden lässt, falls die Konzentration des verbrauchten KSS noch nicht ausreichend hoch ist. Mit der Entwicklung der Sensorikanordnung wird das Ziel verfolgt, einerseits die gelagerte Abfall-Kühlschmierstoffkonzentration zu überwachen und mit einem Rührwerk, bzw. Neutralisationsanlage ein Umkippen zu verhindern.

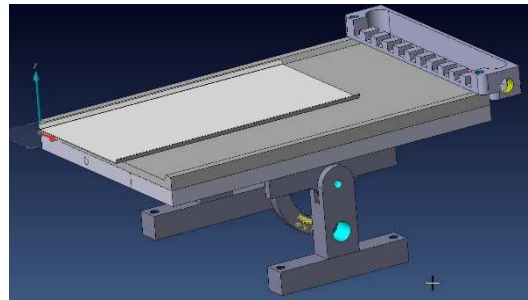
### Entwicklung des konvektiven Verdampfungsraumes

Innerhalb der Verdampfungsraumes sollen die Verdampfungsplatten so angeordnet werden, dass eine möglichst große Verdampfungsoberfläche entsteht und die Flüssigkeit möglichst langen Kontakt mit den Verdampfungsplatten hat. Dazu ist eine Kaskadenanordnung der Verdampfungsplatten geplant, bei der das von oben herabfließende Kühlschmierstoffgemisch über mehrere übereinander angeordnete Verdampfungsplatten fließt. Hier muss genauer untersucht werden, wie die Neigung der Verdampfungsplatten ausgelegt werden kann. Ziel ist es, dass die Platten möglichst flach angeordnet sind, um die Verweildauer der Kühlschmierstoffgemisch auf diesen Platten so hoch wie möglich zu halten. Die Neigung muss jedoch ausreichend hoch sein, damit sich kein Schmutz auf den Platten ansammelt. Die Verdampfungsplatten-Kaskaden soll als Module ausgelegt werden, damit eine einfache Skalierung der Oberfläche und somit der Verdampfungsleistung möglich ist. Die Verdampfungsplatten sollen in Reihe in den Wärmekreislauf eingebracht werden, um eine optimale Energienutzung zu erreichen. Bei gewünschtem hohem Durchsatz ist zu erwarten, dass die erzeugt natürliche Konvektion nicht mehr ausreicht, dass der Stofftransport die angestrebte Rate erreicht. Dazu sollen Lüfter in die Verbindungskanäle zwischen den beiden Kammern integriert werden. Die Lüfter stellen eine weitere Stellgröße dar, um die Temperaturführung in den Verdampfungsplatten und im Kondensator indirekt zu beeinflussen. Aufgrund der vermuteten höheren Betriebstemperatur (90°C), kann die Gas-Belastung durch flüchtige Kohlenwasserstoffe, Sulfat, Fluide oder andere flüchtige Stoffe eine wesentlich andere Zusammensetzung und höhere Konzentration aufweisen (stark von Kühlschmierstoffkonzentrat abhängig). Dementsprechend sollen umweltschonende Filtermaßnahmen eingesetzt werden, die während des Betriebes oder bei Öffnung der Anlage diese Gase zersetzen oder ausfiltern. Dazu sollen langlebige auf Aktivkohle basierende Filter mit extrem geringem Strömungswiderstand eingesetzt werden. Insgesamt soll das System aus drei

Thermoöl-Kreisläufen, einem Kühlschmierstoff-Kreislauf und einem Luftkreislauf bestehen. Für alle fluidischen Kreisläufe sollen Durchflussmesser und Temperatursensoren integriert werden, deren Werte dem System somit als Regel- und Messgrößen zur Verfügung stehen. Als weiterer Regel-Parameter soll auch der Durchfluss an verbrauchtem Kühlschmierstoff zur Verfügung stehen. Bei dem Luftströmungskreislauf kann höchstens indirekt auf den Luftdurchfluss durch die Reglerdrehzahl geschlossen werden. Dieser kann höchstens indirekt durch Temperaturänderungen in den Verdampfungsplatten oder im Kondensator geschlossen werden. Bei diesem System besteht die Herausforderung die exakte Temperaturregelung der Verdampfungsplatten zu sichern, dabei die thermischen Trägheiten des Systems zu berücksichtigen und die gegenseitige Beeinflussung der Regel- und Messgrößen der verschiedenen Kreisläufe in der Regelung ausreichend wiederzugeben. Beim Betrieb soll durch eine bedarfsgerechte Drehzahlsteuerung die benötigte elektrische Hilfsleistung minimiert werden. Für das Kühlschmierstoffgemisch müssen Regelstrategien entworfen werden, um ein Rückpumpen vorkonzentrierten Kühlschmierstoffes zu vermeiden. Dazu soll dieser Wert in ein zu entwickelndes Vorhersagemodell eingebunden werden und sich durch ein Durchflussventil steuern lassen. Die Konzentrationsbestimmung des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch soll mittels Konzentratmessung erfolgen. Alle vorgenommenen Regelungen wirken sich mit einer Verzögerung auf die Verdampferplattentemperatur sowie die Kühlschmierstoff-Konzentration aus. Da das System skalierbar ausgelegt werden soll, kann keine allgemeingültige Regelung mit festgelegten Regelparametern entworfen werden. Final soll die Anlage hinsichtlich der zuvor bestimmten und ausgelegten Leistungswerte verifiziert werden. Dabei steht insbesondere die Erprobung der Anlage in unterschiedlichen Lastpunkten im Vordergrund, die den Mehrwert der Anlage darstellt. Dabei soll auch insbesondere die Selbstkalibrierungsalgorithmen erprobt werden, der zu einer wirtschaftlichen Skalierbarkeit der Anlage notwendig ist. Anhand dieser Versuchsergebnisse sollen die Regelalgorithmen hinsichtlich der Regelstabilität und Berücksichtigung der thermischen Trägheit des Systems optimiert werden. Für die Einzelkomponenten sollen ebenfalls anhand der Versuchsergebnisse und Erfahrung aus dem Betrieb Optimierungsmaßnahmen entwickelt werden

### **Hauptteil**

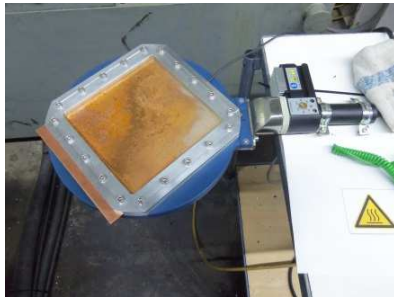
Mit der Konstruktion und Erstellung von Fertigungszeichnungen für die Herstellung von Heizplatten aus verschiedenen Werkstoffen, wurde der Projektbereich für die Versuchsreihen der Werkstofftests gestartet. Hierzu wurden durch unser CAT/CAM-System Zeichnungsdaten erstellt und Fräsprogramme für die Fertigung der Bauteile geschrieben. Ebenfalls wurden in diesem Projektbereich Konstruktionszeichnungen der Versuchsvorrichtungen für das Aufspannen der Heizplatten und deren Möglichkeit zum Schwenken und Fixieren erstellt. Durch das Konzipieren des schwenkbaren Haltearms wurde die Durchfluss- und Verweildauer des Mediums auf der Heizplatte, zur Verdunstung versucht zu ermitteln. In der mechanischen Fertigung wurden nach konstruierten Zeichnungen und Bearbeitungsprogrammen sowohl die Vorrichtungsbauteile gefertigt, als auch erste Heizplatten mit Abmessung 200 x 200 x 10 mm aus verschiedenen Werkstoffen angefertigt.



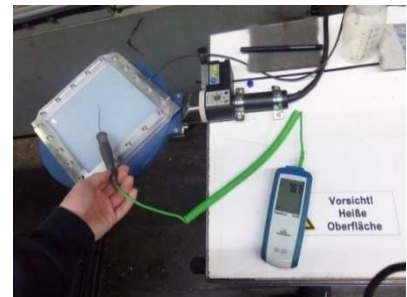
*Halte-/Fixiervorrichtung mit Neigetechnik*



Mit der ersten Versuchsreihe, welche mit direkter Beheizung der Heizplatten an zwei Punkten durch Heizpatronen durchgeführt wurden, mussten wir Temperaturschwankungen im Medium, bei leichtem Mediumfluß von bis zu 25°C feststellen. Diese Temperaturschwankungen konnten wir mit vollflächiger, elektrischer Beheizung der Heizplatten auf Schwankungen von 3°C reduzieren. Mit statischem Mediumverbleib konnten



bei einer Solltemperatur von 92°C über eine Verdampfungszeit von 55 Minuten eine Verdampfung von 88,64 % erreicht werden. Dabei wurden 220 ml Kühlschmierstoff zugeführt und 195 ml Wasser wurde verdunstet. Diese Versuche wurden jedoch noch in offenem Raum, bei Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit von 60 – 65 %

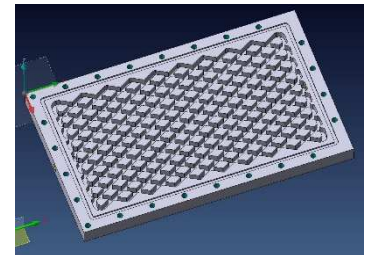


durchgeführt. Weitere Versuchsreihen wurden unter selben Voraussetzungen mit fließendem Medium durchgeführt. Die Heizplatte wurde mit einem Neigungswinkel von 3,33 % (ca. 1.8°) gesenkt. Hierbei wies der Mediumfluß wieder hohe Temperaturschwankungen von 56 – 92°C auf. Zur Erreichung einer Verdampfung von 88,64 % des Mediums, war unter diesen Versuchsbedingungen eine Verweilzeit des Mediums auf der beheizten Platte von 5,5 Stunden erforderlich. Die Konstruktion der Heizplatten wurde auf Grund der gesammelten Erkenntnisse und der erzielten Ergebnisse nochmals überarbeitet. Für weitere Versuchsreihen wurden zwei weitere Varianten von Heizplatten gefertigt. In 1. Variante wurden Tieflochbohrungen mit



1. Variante:  
Tieflochgebohrte Platte

gleichbleibendem Lochabstand von 60 mm in das Plattenmaterial gebohrt. Somit wurden 7 Nuten für die Strömungskanäle, bzw. für die Leitung des Heizkreislauf in die Verdampfungsplatten gefräst. In 2. Variante wurde eine Heizplatte gefräst, in welcher rautenförmige Erhebungen stehen gelassen wurden. Durch diese Erhebungen sollte die Durchflußgeschwindigkeit des Mediums reduziert werden, um eine längere Kontaktzeit des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch zu erreichen. In die Unterseite dieser Platte wurden Nuten für die Montage von Heizrohren gefräst, durch welche im Anlagenversuch das Wasserglykolegemisch zum Erhitzen der Verdampfungsplatten fließen sollte. Die Nutbreite und Tiefe für die Heizrohre wurde mit 10,1 mm gefräst. Diese Plattenvariante wurde auf der Unterseite mit einem Deckel, gefertigt, um die Heizungsrohre in den Nuten druck und Mediumdicht zu fixieren.



2. Plattenvariante mit Strömungskanälen

Bei den mit beiden Plattenvarianten durchgeführten Versuchsreihen konnte festgestellt werden, dass die 1. Variante der Verdampfungsplatte den Vorteil der geringeren Haftung der nicht verdampften Abfall-Kühlschmierstoffs zeigte, jedoch den Nachteil des schnellen Mediumfluß aufwies, was den Prozess des Erhitzens des Mediums erheblich verlängerte. Mit der 2. Plattenvariante mit Strömungskanälen konnte die Flußgeschwindigkeit des Mediums erheblich reduziert werden, durch die rautenförmigen Erhebungen wurde die Verdampfungsplatte durch das nicht verdampfte Medium erheblich verschmutzt. Die 2. Plattenvariante musste auf Grund des Verunreinigungsgrad und dem erheblichen Reinigungsaufwand nach durchgeführten Versuchsreihen als nicht anlagentauglich eingestuft werden.

Bei unseren Versuchsreihen ohne Oberflächenbeschichtung der Heizplatten aus verschiedensten Werkstoffen wurden alle Versuche mit Plattenmaterial aus den Werkstoffen Alu (AlMg3), Stahl (S355J2), VA (1.4301), Messing (2.0321) und einem Kunststoff (PA6 mit Alumosilikat) durchgeführt. Die oben ausgeführten Messwerte basieren auf den Ergebnissen der Testreihen mit der Heizplatte aus VA 1.4301 ohne Oberflächenbeschichtung. Dieser Werkstoff zeigte ohne weitere Oberflächenvorbehandlungen die effektivsten Ergebnisse. Da sich die Rückstände des nicht verdunsteten Mediums auf den Heizplatten ablagert und sich mit den offenporigen Oberflächen der Werkstoffe verbunden hatte, was einen erheblichen Reinigungsaufwand mit Bedarf und Einsatz chemischer Reinigungsmittel verbunden war, wurden alle Verdampfungsplatten der verschiedenen Werkstoffe, mit planer Oberfläche durch galvanische Prozesse (eloxieren, verzinken, verzinnen, vernickeln, chromatieren) für Folgeversuchsreihen beschichtet. In Vorbearbeitung wurden diese Platten noch nach Anforderung der jeweiligen Beschichtung, auf einen Ra von 0,1 – 0,6 oberflächen geschliffen, um eine möglichst geringe Oberflächenrauheit auch nach der Beschichtung zu erzielen, welche das Abperlen des nicht verdunsteten Restkühlschmierstoffs zur Folge haben und somit eine Ablagerung der Rückstände minimieren sollte.

Zunächst wurden die Versuchsreihen auf der selben Basis durchgeführt, mit denen die letzten Versuche der unbeschichteten Heizplatten durchgeführt wurden. Luftfeuchtigkeit bei 60 – 65 °C und statische Ausrichtung der neu konstruierten Heizplatten und nicht fließendem Medium. Die Menge des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch wurde durch die Heizplattenkonstruktion auf 280 ml erhöht. Bei einer Verweilzeit von 55 Minuten das Abfall-Kühlschmierstoffgemisch und einer Isttemperatur von 92° konnte eine verdunstete Wassermenge mit 249,9 ml erreicht werden. Dies sind 89,25 % des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch. Den Höchstwert der Verdunstung konnten wir mit der chemisch vernickelten Messingheizplatte erreichen.

Weitere Verdampfungsversuche wurden nach Konstruktion und Fertigung des Kunststoffbehälter zum Speicher und zur Aufbereitung des Kühlschmierstoffgemisch und dem zweiten Kunststoffbehälter dem Verdampfungsraum mit Mediumkreislauf durchgeführt.



1. Versuchsanlage für Wasserverdampfungstest

Zunächst wurde ein quadratischer Kunststoffbehälter aus Polypropylen angefertigt, mit welchem der Fluss des Mediums, im ersten Versuchsfall von Wasser, mit der Erwärmung durch Solarenergie und das Verdunsten des Mediums ohne Einsatz zusätzlichen Energieaufwands getestet wurde. Die Versuchsanlage bestand aus einem rechteckigen Sammelbehälter mit in einem Deckel der sich nach hinten um 8° neigt. Er war seitlich geschlossen und am Deckel an der Vorder- und Rückseite an den Seiten der Steigung geöffnet. Grund der Öffnung war der Ablauf des Wasserdampfes. Die Wasserperlen des Dampfes laufen an der Deckelunterseite ab und wurde in einem Auffangbehälter gesammelt. Die Funktionsweise des Kreislaufs war wie folgt. Das ca. 20 – 22°C kalte Wasser aus dem Wassertank sinkt durch ein Ablaufrohr in das unterhalb des Sammelbehälters angeordnete Solarmodul. Durch die Erwärmung des Wassers im Solarmodul, stieg das erhitzte Wasser über das Zulaufrohr zurück in den Wassersammelbehälter und erwärmt somit den Inhalt des Wassertanks. Durch den physikalischen Prozess sinkt das kalte, bzw. kältere Wasser nach unten in das Solarmodul und steigt als erhitztes Wasser zurück in den Wassertank. Da der Wasserfluss bei angleichen der Wassertemperatur im Sammelbehälter an die Temperatur des erwärmten Wassers aus dem Solarmodul langsamer floss, war ein zusätzlicher Einsatz von Pumpen erforderlich, um den Wirkungsgrad zu erhöhen.



Mediumdurchfluß

Es wurde eine zweite Versuchsanlage konstruiert, welche aus zwei gesonderten Behältern bestand. Die Behälterauslegungen und Berechnungen wurden auf Basis eines basischen Mediums, durch die Software Rita ermittelt. Mit Behälterkonstruktionen und angefertigten technischen Zeichnungen wurde ein zylinderförmigen Rundbehälter und ein quadratischer Behälter aus Polypropylen-Plattenmaterial gefertigt. Das Plattenmaterial wurde nach Zeichnungsvorgaben zugeschnitten und mit Handschweißgeräten und dem Zusatz



eines PP-Schweißdrahtes, sowie durch den Spiegelbank von Wegener geschweißt. In den Kunststoffbehälter für den Speicher des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch wurde ein Rührwerk zur Aufbereitung des Mediums verbaut. Weiter wurden erforderliche Zu- und Ablaufleitungen für den Durchlauf des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch, sowie für die Luftzufuhr angebracht. Die Luftzufuhr und das Rührwerk dienen der kontinuierlichen Aufbereitung des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch. Mit längerem Ruhen des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch würde sich ein Ölfilm an der Oberfläche des Mediums bilden, was das Verdampfen des Wassers aus dem Kühlschmierstoffgemisch erheblich beeinträchtigen würde. Weiter wird mit dem Umwälzen des Kühlschmierstoffgemisch und der Luftzufuhr die Bildung von Verunreinigung und nicht gewünschten Bakterien vermieden. Sowohl das Rührwerk als auch die Pumpensysteme wurden durch gewonnene Energie zweier Photovoltaikmodule be-

trieben. Bei dieser Anlage wurde der Abfall-Kühlschmierstoff-Sammelbehälter unter den Auffangbehälter montiert und mit Ab- und Zuleitungen versehen. Sowohl das Solar-Modul für die Erhitzung des Mediums aus dem Sammel-/Verdampfungsbehälter, als auch die PV-Module wurden auf dem Auffangbehälter montiert. Alle Mediumkreisläufe wurden durch den Einsatz von Pumpensystemen unterstützt. Mit dieser Anlage konnte bezüglich des Mediumfluss bereits ein erhöhter Wirkungsgrad erreicht werden. Jedoch konnte das Solar-Modul auf Grund der planen Montage auf dem Auffangbehälter noch nicht den optimalen und effektiven Wirkungsgrad leisten. Der Durchfluss des Mediums durch das Solar-



Der Durchfluss des Mediums durch das Solar-Modul konnte bei dieser Anlage auf gleichbleibendem Niveau gehalten werden, was einen effizienteren Energieeinsatz zur Folge hatte. Das Einsetzen des Verdunstens des Wasseranteils konnte mit dieser Anlage, in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur, der Luftfeuchtigkeit im Verdampfungsbehälter, bei einer Temperatur von 30 – 40°C erreicht werden. Durch die zu 70 % offene Deckelkonstruktion des Verdampfungsbehälter, konnte das verdunstete Wasser (Destillat) aus dem Verdampfungsbehälter entweichen. Zunächst wurde auf ein Auffangen und Sammeln des verdampften Wassers verzichtet.

Durch den erheblich erhöhten Energiebedarf mit dem Einsatz des Rührwerks zur konstanten Aufbereitung des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch und der Pumpen in den Mediumkreisläufen, konnte die benötigte Energie nicht ausreichend durch die Energiegewinnung der PV-Module erreicht werden. Der Zusätzlichen Energiebedarf musste durch den Hausstrom ergänzt werden.

Mit Konstruktion und Behälterberechnungen einer dritten Anlage wurde das direkte Erhitzen des Kühlschmierstoffkonzentrats durch eine im Sammelbehälter angeordnete Heizspirale durchgeführt. Diese Anlage sollte die gewonnenen Erkenntnisse der bisherigen Versuchsreihen für einen energieeffizienteren Einsatz der Solarenergie erreichen und gleichzeitig die Thematik des Energiespeichers der überschüssig gewonnenen Energie, für den Nachtbetrieb und die Zeiträume schlechter Witterung erweitern. Diese Anlage



Solarmodul mit Vakuumtechnik durch Röhrenkollektoren

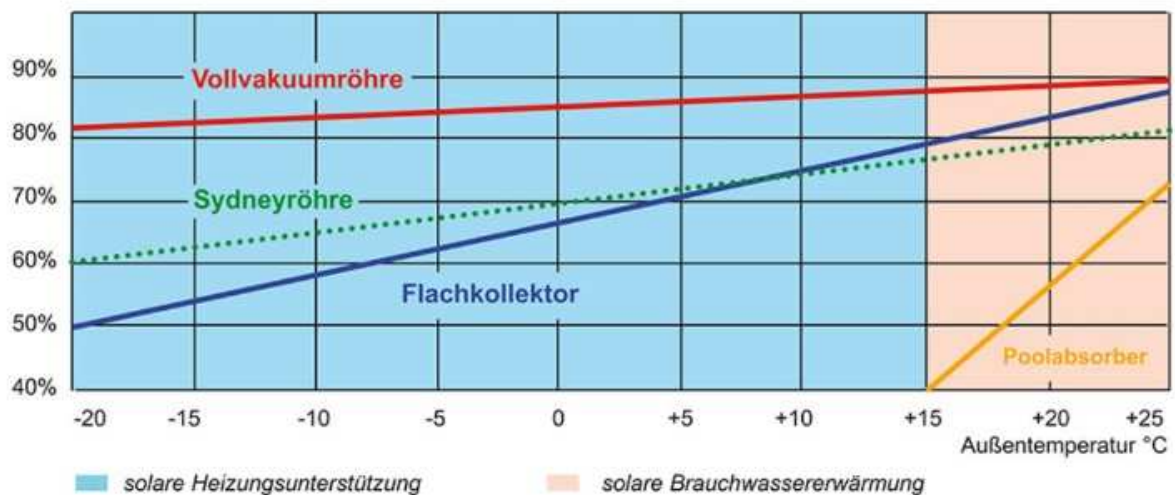
bestand aus einem doppelwandigen zylinderförmigen Polypropylen-Sammelbehälter, welcher durch eine 100 mm starke Isolierung gegen die Einflüsse der Umgebungstemperatur geschützt, sowie der Wärmeverlust des Mediums minimieren sollte. Dieser wurde mit einem Volumen von 769,00 l (Ø70 cm, Höhe 2.000 cm) mit Zu- und Ablaufleitungen konstruiert und gefertigt. Die Deckelkonstruktion war wie in vorheriger Anlage zu 70 % geöffnet. Auf dem Sammelbehälter ist eine ebenfalls aus Polypropylen gefertigte Vorrichtung, für den Aufbau und die Montage des neuen Solarmoduls mit Vakuumtechnik durch Röhrenkollektoren.

Mit der Vakuumtechnik wird auch bei niedrigeren Temperaturen und in den Jahreszeiten mit geringeren Sonnenstunden eine höhere Leistung erzielt. Der Platzbedarf dieser Anlage ist geringer um die benötigte Wärme zu erzeugen. Aus unterer Auswertung ist der Vergleich des Wirkungsgrades der neu eingesetzten Vakuumröhrentechnologie zum zuvor eingesetzten Poolabsorber ersichtlich.

### Wirkungsgrade von Solarkollektoren

Nachfolgende Grafik zeigt die prinzipiellen Eigenschaften von verschiedenen Kollektortypen im realen Betriebszustand an. Die Vollvakuumröhre hat die Nase vorn.

Wirkungsgrad von solarthermischen Kollektoren bei realen Betriebsbedingungen  
Vorlauftemperatur=50°  
außer Poolabsorber



Wirkungsgradvergleich Solarkollektoren

Das Solarmodul ist mit dem Kreislauf der Heizspirale verbunden, welche im unteren Drittel des Sammelbehälters angeordnet ist. Die Heizspirale ist mit Wasserglykolgemisch gefüllt. Dieses Wasserglykolgemisch befand sich durch den Einsatz einer Zirkulationspumpe in stetigem Kreislauf und Fluß. Auch bei dieser Anlage wurden zwei PV-Module zur Energiegewinnung für den Betrieb der Pumpensysteme, sowie der zusätzlich in die Systeme eingebauten 5 Sensoren eingebaut.

Die Sensoren wurden am Solareingang und Ausgang für die Temperaturmessung installiert. Ein Sensor misst die Temperatur im Medium. Die Aufzeichnung der Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre im Sammelbehälter wurden erfasst. Das Verdampfungsvolumen des Wasseranteils des Kühlschmierstoffgemisch wurde durch Ultraschallhöhenmessgerät im Behälter gemessen und aufgezeichnet. Durch die aufgezeichneten Werte wurde das Pumpensystem für den optimalen Durchfluss des durch Solar erhitzten Wasserglykologemisch reguliert. 2 weitere Sensoren sind mit den Fühlern des Messgeräts verbunden und erfassen die Daten des



Leitwerts, für die Prüfung des Ölgehalts und den Leitwert des Abfall-Kühlschmierstoffgemischs. Die Messwerte der Sensoren des Messgeräts wurden über das System und die App (Engbird) aufgenommen und am PC oder Handy überwacht. Alle durch die Sensoren aufgezeichneten Daten wurden durch Excel tabellarisch aufgezeichnet und ausgewertet. Das energieaufwändige System der Aufbereitung des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch zur Vermeidung der ungewünschten Bakterienbildung und das stetige Mischen des Konzentrats durch ein Rührwerk, wurde durch das System einer Membranpumpe mit Luftverteiler zur Mediumzirkulation und Blasenbildung ersetzt. Das System der Membranpumpe ist erheblich Energieeffizienter. Da für den Energiespeicher der im Anlagenbetrieb überschüssig gewonnenen Energie ein weiteres kostenintensives System erforderlich wäre, wurde vom Energiespeicher Abstand genommen.

Mit allen gesammelten Erkenntnissen wurde die Prototypenanlage konstruiert und die Behälter ausgelegt. Der zylinderförmige Kühlschmierstoffsammelbehälter aus 12 mm starkem Polypropylen-Plattenmaterial wurde mit einem Ø 70 cm und Höhe 200 cm (769 l Volumen) gefertigt und neben dem Zu- und Ablauf durch Kugelhahn mit dem Anschluss des Membranpumpensystem zur Wasseraufbereitung und Zirkulation ausgestattet. Die Luftzufuhr durch die Membranpumpe war am Grund des Behälters durch ein Luftverteilersystem positioniert, um die Zirkulation des gesamten Volumens des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch zu erreichen. Das Pumpensystem wurde für einen Dauerbetrieb ausgelegt, um die dauerhafte Aufbereitung und die konstante Konzentrationsqualität zu erreichen. Der Ölgehalt wurde stetig durch einen Refraktometer geprüft. Bei ruhendem Abfall-Kühlschmierstoffgemisch im Sammelbehälter würde der Ölanteil des Mediums nach oben steigen. Die vom Grund des Behälters aufsteigenden Sauerstoffbläschen sorgen durch die Luftzufuhr für den Wassertransport und somit für die kontinuierliche Vermischung des Öl-Wassergemisch. Der Ablauf des Kühlschmierstoff in den Verdampfungsbehälter wird durch ein Ablaufrohr über einen Kugelhahn reguliert. Der Verdampfungsbehälter mit Abmessung Ø 60 cm und Höhe 150 cm (424 l Volumen), wurde aus 15 mm starkem Polypropylen-Plattenmaterial zylinderförmig gefertigt. Der Doppelwandige Behälter wurde mit einer 100 mm starke Isolierung gedämmt, um Einflüsse der Umgebungstemperatur zu reduzieren und das Medium bei konstanter

Temperatur zu halten. Im Behälter wurde ein Rohrlüfter installiert um die gesättigte Luft die sich durch das Verdampfen des Wassergehalts bildet ab zu saugen. Ungesättigte Luft konnte durch das Absaugen somit schneller nachfließen. Mit der Absaugung der gesättigten Luft konnte Verdampfungsprozess optimieren werden. Auf Grund des nicht geschlossenen Verdampfungsraums wurden der Einfluss der Umgebungsatmosphäre auf den Verdampfungseffekt ebenfalls festgestellt. Somit wurde bei niedrigerer Luftfeuchtigkeit eine schnellere Verdampfung, auch bei geringerer Temperatur des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch erreicht werden. Im unteren Bereich des Behälters ist eine Trichterform eingeschweißt. Über diesen Trichter wurde das nicht verdunstete, ölhaltige, zähflüssige Medium durch eine Pumpe abgepumpt. Die Konzentration des erhitzten ölige Rückstandsmedium wird aus dem Ablaufrohr durch Refraktometer ermittelt. Bei Messung eines Ölgehalts von < 85 % erfolgte ein Rücklauf durch einpumpen des Mediums in den Zuleitungslauf des Verdampfungsraum. Das Rückstandsmedium wurde noch in erwärmten Zustand abgepumpt. Bei höherer Temperatur fließt das Medium ohne chemischen Zusatz leichter ab. Der Deckel des Verdampfungsbehälter ist über einen Durchmesser von 40 cm offen. Somit kann der Wasserdampf aus dem Behälter entweichen. Stichpunktartige Proben des Wasserdampfes zeigten einen Leitwert 30 – 80µS/ cm.



Erläuterung Luftzufuhr durch Membranpumpe

Temperatur zu halten. Im Behälter wurde ein Rohrlüfter installiert um die gesättigte Luft die sich durch das Verdampfen des Wassergehalts bildet ab zu saugen. Ungesättigte Luft konnte durch das Absaugen somit schneller nachfließen. Mit der Absaugung der gesättigten Luft konnte Verdampfungsprozess optimieren werden. Auf Grund des nicht geschlossenen Verdampfungsraums wurden der Einfluss der Umgebungsatmosphäre auf den Verdampfungseffekt ebenfalls festgestellt. Somit wurde bei niedrigerer Luftfeuchtigkeit eine schnellere Verdampfung, auch bei geringerer Temperatur des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch erreicht werden. Im unteren Bereich des Behälters ist eine Trichterform eingeschweißt. Über diesen Trichter wurde das nicht verdunstete, ölhaltige, zähflüssige Medium durch eine Pumpe abgepumpt. Die Konzentration des erhitzten ölige Rückstandsmedium wird aus dem Ablaufrohr durch Refraktometer ermittelt. Bei Messung eines Ölgehalts von < 85 % erfolgte ein Rücklauf durch einpumpen des Mediums in den Zuleitungslauf des Verdampfungsraum. Das Rückstandsmedium wurde noch in erwärmten Zustand abgepumpt. Bei höherer Temperatur fließt das Medium ohne chemischen Zusatz leichter ab. Der Deckel des Verdampfungsbehälter ist über einen Durchmesser von 40 cm offen. Somit kann der Wasserdampf aus dem Behälter entweichen. Stichpunktartige Proben des Wasserdampfes zeigten einen Leitwert 30 – 80µS/ cm.

Das durch das Solarmodul erhitzte Wasserglykolgemisch wird durch eine Zirkulationspumpe in den Heizkreislauf der Verdampfungsplatten gepumpt. Das in den Kreislauf integrierte Ausdehnungsgefäß sorgt für den Abfluß überschüssigen Drucks im Solarkreislauf, um eine Beschädigung der Anlage zu verhindern. Auf das ursprünglich geplante, gesonderten Wärmespeichersystem wurde auf Grund des Kostenaufwands und eines eigens erforderlichen Systems verzichtet. Die Anlage wurde im Anlagenbereich des Verdampfungskreislauf über den Zeitraum des Vorhaltens der notwendigen Energie betrieben und mit Temperaturabfall unter ca. 25 – 30 °C abgeschaltet. Eine Aktivierung des Verdampfungskreislaufs erfolgte mit entsprechendem Temperaturanstieg im Solarkeislauf, durch das Einsetzen der Zirkulationspumpe. In Abhängigkeit von der Witterung, bzw. der UV-Einstrahlung, konnte die Anlage trotz fehlender Energiegewinnung des Solarmoduls, durch den langsamen Temperaturabfall im Kreislauf, auch bei Dunkelheit mit sinkender Effektivität weiterarbeiten. Durch eine Steuerungseinheit erfolgt der Durchfluß des Wasserglykolgemisch mit einer Temperatur von maximal 62 - 63°C in den Durchflusskreislauf der Verdampfungsplatten.



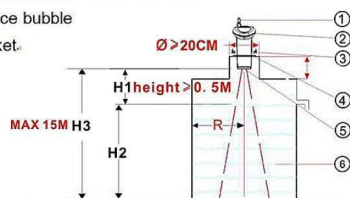
Ausdehnungsgefäß

Für die Kaskadenanordnung der Verdampfungsplatten wurden zunächst 5 Stück Halteauflegeplatten aus 15 mm starkem Polypropylenplatten mit 280 mm Breite und 430 mm Länge an der Wandung des Verdampfungsbehälter fixiert. Für die Versuchsreihen zur Wirksamkeitsprüfung der Verdampfungsplatten der unterschiedlichen Werkstoffe und unterschiedlichen Oberflächenbeschichtungen wurden diese Halteauflegerahmen durch Teleskopbolzen befestigt, um die Flussgeschwindigkeit und Verweildauer des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch auf den Verdampfungsplatten zu regulieren. Die beschichteten Verdampfungsplatten mit Abmessungen 300 mm Breite, 450 mm Länge und einer Stärke von 25 mm und den tieflochgebohrten Strömungskanälen wurden eingesetzt. Die Verdampfungsplatten sind über 4 Passstifte auf der PP-Halteauflegeplatte fixiert. In den Verdampfungsplatten wurde das Heizrohr aus Werkstoff PE-RT mit Ø 10 x 1,3 mm im Rohrabstand von 60 mm in die Strömungskanäle fixiert. Durch die gleichmäßige Anordnung des Heizrohrverlauf kann ein vollflächiges und gleichmäßiges beheizen der Verdampfungsplatte, sowie eine konstante Temperaturregelung erreicht werden. Die in der Anlage integrierten Sensoren sind in den Bereichen des Kreislaufes des Wasserglykolgemisch (Solarkreislauf), des Sammelbehälters (Überwachung des KSS im Lagertank), Ablauf des verdampften Wassers (Messung des Leitwerts + Ölgehalt), Ablauf des nicht verdampften Abfall-Medium (Messung des Leitwerts + Ölgehalt). Das Verdampfungsvolumen des Wasseranteils des Kühlschmierstoffgemisch wurde durch Ultraschallhöhenmessgerät im Verdampfungsbehälter gemessen.

### Set Up Sketch-

The following picture illustrates transmitter installation:-

1. Antenna
2. Balance bubble
3. Screw
4. Bracket
5. Sensor
6. Tank



Installationsanweisung Ultraschallhöhenmessgerät



Ultraschallhöhenmessgerät

Der Energiebedarf aller Sensoren, Pumpen und Messgeräte konnten zu 100 % durch PV-Kollektoren genutzt werden. Diese waren wie bei den vorherigen Anlagen, an der Vorrichtung des Solarmoduls angebracht. Die überschüssig erzeugt Energie wurde in ein Batteriesystem eingespeist und gespeichert. Im Nachtbetrieb wurde der Verdampfungsprozess mit geringerer Temperatur im Solarkreislauf als der Umgebungstemperatur ab geschaltet und lediglich das System der Membranpumpe zur stetigen Aufbereitung des Kühlschmierstoffgemisch wurde betrieben.

Über den Sammelbehälter wurde durch den Füllstandsdruck des Sammelbehälters, durch einen herkömmlichen 1/2 Zoll Schlauch das Abfall-Kühlschmierstoffgemisch in den Verdampfungsbehälter auf die erste Verdampfungsplatte geleitet. Die Temperatur der oberflächengeschliffenen und beschichteten Verdampfungsplatte betrug vor Kontakt mit dem 17 °C warmem Medium 62°C. Alle 5 Verdampfungsplatten waren mit 8° Neigung ausgerichtet. Dabei floß das Medium mit geringer Kontaktzeit über die Verdampfungsplatten. Durch die kurze Kontaktzeit und den Einsatz von nur 5 Verdampfungsplatten fand die Erwärmung des Mediums nur sehr langsam statt, weshalb kaum eine Erwärmung des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch, geschweige denn eine Verdampfung, bzw. ein Flüssigkeitsverlust festgestellt werden konnte und das Medium ohne nennenswerten Masseverlust in den Zuleitungslauf des Verdampfungsraums zurückgepumpt wurde. Des Weiteren musste festgestellt werden, dass mit dem Erhitzen der Verdampfungsplatten durch das Heizrohr aus Werkstoff PE-RT, durch welches das erhitzte Wasserglykologemisch floß, nicht die Effizienz erreicht wurde, als mit der Erwärmung der Verdampfungsplatten bei direktem Durchfluß und Kontakt mit dem Wasserglykologemisch. Aus diesem Grund wurde das System der ursprünglichen Verdampfungsplatte der ersten Versuchsreihen, in welcher die Mediumflußnuten gefräst und eine rautenförmige Erhebung stehen gelassen wurden, wieder aufgenommen. Jedoch wurden diese Platten an der Plattenunterseite mechanisch bearbeitet und die obere Kontaktfläche des Abfall-Kühlschmierstoff wurde wieder geschliffen und beschichtet. Die gefräste Unterseite wurde mit einem Deckel abgedichtet und mit Zu- und Ableitungen versehen. Das Wasserglykologemisch strömte somit direkt durch die Verdampfungsplatten und zeigten ein effizienteres Erhitzen der Platten. Diese geänderten Verdampfungsplatten wurden für nachfolgende Versuchsreihen eingesetzt. Weiter wurden zusätzliche 4 Halteauflegeplatten im Verdampfungsbehälter, sowie 4 Verdampfungsplatten installiert. Trotz der effizienteren Erhitzung der Verdampfungsplatten und des Strömens des Mediums über 9 Verdampfungsplatten konnte keine messbare Verbesserung bezüglich des Verdampfungseffekts erzielt werden.



Um die Verweilzeit des Mediums auf den Verdampfungsplatten zu erhöhen und somit das Erhitzen des Mediums zu beschleunigen, wurde die Neigung der Verdampfungsplatten auf 4° reduziert. Mit dem Ruhen zum Abkühlen des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch bildetet sich im Verdampfungsraum eine Ölschicht an der Oberfläche des Mediums, weshalb vor Beginn der weiteren Testreihe die Zirkulation durch die über die Membranpumpe erzeugte Luftzufuhr durch den Luftverteiler zugeführt werden musste, um die Vermengung des Kühlschmierstoffgemisch wieder zu erreichen. Durch die geringere Neigung und das Reduzieren der Flussgeschwindigkeit des Mediums, welche beim Durchlauf über die 9 Verdampfungsplatten bei ca. 0,5 – 0,7 m/s lag, konnte mit dem Zufluss des kalten Abfall-Kühlschmierstoffgemisch aus dem Sammelbehälter zunächst keine nennenswerte Erwärmung erreicht werden. Mit dem Erreichen von 100 l des Kühlschmierstoffgemisch im Verdampfungskreislauf, wurde die Zufuhr zusätzlichen Mediumvolumens gestoppt. Durch das Ausbleiben der Zufuhr zusätzlicher kälterer Mediummenge und der Zirkulation des sich stetig erwärmenden Mediums, konnte eine Beschleunigung der Erwärmung des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch erreicht werden. Ein Verdampfungseffekt setzte jedoch nur in geringem Volumen ein. Für einen finalen Versuch wurde die Füllmenge von 100 l wieder abgekühlt, die Membranpumpe und Luftzufuhr zur Zirkulation des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch wurde aktiviert und die Verdampfungsplatten noch auf eine Neigung von 2° ausgerichtet. Die Flussgeschwindigkeit wurde somit um ca. 20 % reduziert. Durch den reduzierten Mediumfluß konnte der Prozess des Erwärmens des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch etwas beschleunigt werden, jedoch bis das Medium eine Temperatur von 45°C erreichte, wurde die Zufuhr weiteren Mediums aus dem Sammelbehälter ausgesetzt. Erst mit dem Einsetzen des Verdampfungseffekts des Wasseranteils aus dem Abfall-Kühlschmierstoffgemisch wurde die Zufuhr „kalten“ Mediums bis zum Erreichen einer Verdampfungskreislaufmenge mit ca. 100 l aktiviert. Die Füllstandsmessung wurde durch Ultraschallhöhenmessgerät im Verdampfungsbehälter durchgeführt. Durch die mit 2° geringe Neigung der Verdampfungsplatten, musste mit Einsetzen des Verdunstens des Wasseranteils aus dem Kühlschmierstoffgemisch, eine Verunreinigung der Verdampfungsplatten durch Ablagerung eines Ölfilms realisiert werden. Neben der Verunreinigung der Verdampfungsplatten musste durch die ölige Isolierschicht eine geringere Temperatur an der Oberfläche der Verdampfungsplatten festgestellt werden. Die Reinigung der Verdampfungsplatten war mit zusätzlichem Aufwand verbunden.

Mit den durchgeführten Versuchsreihen und der gewonnenen Erkenntnisse, sind wir zu dem Ergebnis gelangt, dass der Betrieb der Verdampferanlage mit dem Einsatz von Heizplatten, auf Grund des Zeitaufwands des Erwärmens des Mediums durch die Heizplatten, auch bei geschlossenem Zirkulationskreislauf des zu erhitzenden Mediums und ohne Dauerbetrieb des Heizkreislaufs nicht wirtschaftlich wird. Auch bei möglicher Anlagenerweiterung um einen Energiespeicher, der durch Solar gewonnenen Energie für einen nächtlichen Anlagenbetrieb, wäre der Anlagenbetrieb zwar energieeffizienter, doch wären die Kosten der Anlage durch den Wärmespeicher erheblich höher. Ein weiteres Problem bzw. Zusatzaufwand ist die Reinigung der Heizplatten. Was mit einsetzender Verdampfung des Wassers nicht mehr über den Mediumfluß durch Selbstreinigung erfolgt. Mit der Entscheidung des nicht zum Erfolg führenden System mit dem Einsatz der Verdampfung durch die Verdampfungsplatten und den gesonderten Behältersystem für die Sammlung und Aufbereitung des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch und des Heizkreislauf mit Verdampfungsbehälter, hatten wir auf den gewonnenen Erkenntnissen der verschiedenen Versuchsanlagen und Testreihen, einen Erfolg im Anlagensystem mit dem Einsatz der Heizspirale gesehen und hatten auf diesem System die Umkonstruktion und Montage der Prototypenanlage vorgenommen. Durch die permanente Kontakterhitzung des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch mit der Heizspirale, in einem Behältersystem hatten wir uns mit dem Effekt des Systems eines Wasserkochers, eine erhöhte Erfolgschance versprochen. Der Verdampfungsbehälter der letzten Prototypenanlage mit Abmessung Ø 60 cm und Höhe 150 cm (424 l Volumen), aus 15 mm starkem Polypropylen-Plattenmaterial wurde somit umgebaut. Die Isolierung des doppelwandigen Behälters mit 100 mm starker Isolierung wurde belassen. Die Heizplatten mit zugehörigen Vorrichtungen wurden entfernt. Ebenfalls wurde das Rücklaufzufuhrsystem der Anlage entfernt, da sich das Medium bis zur Verdampfung im Behälter befinden sollte. Das System der Membranpumpe und des Luftverteilers wurde in den



Luftverteiler mit Heizspirale

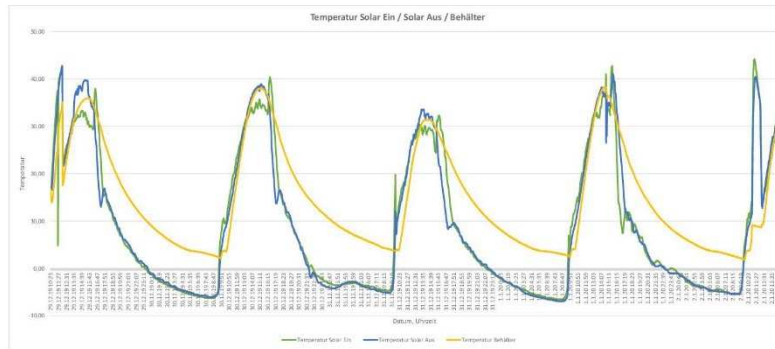
Behälter integriert. Das Solarmodul mit Vakuumtechnik durch Röhrenkollektoren wurde auf den Behälter montiert und der Solarkreislauf mit Wasserglykolgemisch, sowie der Heizkreislauf mit Zirkulationspumpe, zur Erhitzung des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch durch eine Edelstahl-Wärmetauscher-Heizspirale eingesetzt. Die Heizspirale wurde im unteren Bereich des Behälters eingesetzt, um den effektivsten Erhitzungseffekt des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch zu erzielen. Auch die zwei PV-Module zur Energiegewinnung für den Betrieb der Pumpensysteme sowie der Sensoren wurden integriert. Die Sensoren wurden am Mediumkreislauf des Wasserglykolgemisch des Solarein- und Ausgangs für die Temperaturmessung installiert. Ein Sensor misst die Temperatur des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch im Behälter. Die Aufzeichnung der Luftfeuchtigkeit der Atmosphäre im Sammelbehälter wurde dokumentiert. Das Verdampfungsvolumen des Wasseranteils des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch wurde mit Ultraschallhöhenmessgerät im Behälter gemessen und systemseitig erfasst. Durch die aufgezeichneten



Werte wurde das Zirkulationspumpensystem für den optimalen Durchfluss des durch Solar erhitzten Wasserglykolgemisch reguliert. Die Fühler des Messgeräts zur Erfassung des Leitwerts des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch, für die Prüfung des Ölgehalts und dem Leitwert wurden ebenfalls mit Sensoren verbunden. Die Messwerte der Sensoren des Messgeräts wurden wiederrum über das System und die App (Engbird) aufgenommen und konnten somit stetig am PC und Handy überwacht werden. Alle durch die Sensoren aufgezeichneten Daten wurden durch Excel tabellarisch aufgezeichnet und ausgewertet.







Temperaturverlauf Solar Ein-/Ausgang

Für den Versuch mit direkter Erhitzung des Kühlschmierstoffgemisch mit der Edelstahl-Wärmetauscher-Heizspirale, wurde der Verdampfungsbehälter mit 250 l befüllt und hatte zu Beginn der Testreihe ca. 17 °C. Durch die Membranpumpe mit Luftverteiler befand sich das Abfall-Kühlschmierstoffgemisch in stetiger Bewegung und in der Aufbereitung durch den Luftbläschentransport des Wasseranteils. Das Wasserglykolgemisch durchfloß durch den Betrieb der Zirkulationspumpe direkten das Solarmodul mit Vakuumtechnik die Röhrenkollektoren und wurde mit Austritt aus dem Solarmodul in der Heizkreislauf der Edelstahl-Wärmetauscher-Heizspirale befördert. Unter besten Voraussetzungen konnte im Kreislauf eine Temperatur des Wasserglykolgemisch mit 62°C erreicht werden. Das Erhitzen des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch durch den direkten und kontinuierlichen Kontakt mit der Heizspirale, wurde in einem um 55 – 60 % kürzeren Zeitaufwand, als mit dem zirkularen Mediendurchfluß und der kurzzeitigen Kontakt Erwärmung durch die Heizplatten erhitzt. Das Verdampfen des Wasseranteils des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch konnte somit, in Abhängigkeit der



aktive Heizspirale

Luftfeuchtigkeit der Umgebung bereits bei 10 – 15°C höheren Mediumtemperatur als der Umgebungstemperatur einsetzen. Durch den Einsatz des energieeffizienten Vakuumröhrenkollektor, konnte auch ohne Energiespeicher des erwärmten Wasserglykolgemisch, eine bei einsetzender Dämmerung und ohne weitere Erhitzung des Heizkreislauf, noch anhaltende Erwärmung, bzw. das Erhalten der erreichten höheren Temperatur das Abfall-Kühlschmierstoffgemisch erzielt werden. Somit wurde der Verdampfungsprozess auch über längere Zeit bei schlechterer Witterung, bzw. in die Nacht hinein erreicht werden. Eine genaue Definition der Betriebsdauer mit einsetzender Dämmerung, Dunkelheit oder fehlender UV-Einstrahlung konnte auf Grund verschiedener Einflussfaktoren, wie Luftfeuchtigkeit, Temperatur des Heizkreislaufs, Temperatur des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch, Ölgehalt des Mediums, usw. nicht ermittelt werden. Über den in den verschiedenen Versuchsphasen final durchgeführten Dauerbetrieb der Anlage, wurde über einen Zeitraum von 4 Wochen eine maximale Verdampfung von ca. 85 l Wasser gemessen. Bei einer Ausgangssituation des Behälterinhalt von 250 l Abfall-Kühlschmierstoff entspricht dies einem Wasserverlust von 34 %. Mit der Verdampfung des Wasseranteils, welcher durch den Mediumverlust des Behälterinhalts durch das Ultraschallhöhenmessgerät ermittelt wurde, stieg zwangsläufig der Ölgehalt des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch. Es bildet sich ein viskoses, zähflüssiges Medium, welches sich am Grund des Behälters, am Luftverteiler und an der Heizspirale ablagerte. Mit dem reinen Absaugen des nach dem Verdunsten des Wassergehalts rückständigen Mediums, konnte die rückständige Masse nicht vollständige vom Grund des Behälters, vom Luftverteiler und der Heizspirale entfernt werden. Gründe für die Reinigungsproblematik liegen in der Anordnung der Heizspirale und des Luftverteilers der Membranpumpe. Zur gründlichen Reinigung der Anlage wäre somit der Einsatz von Chemikalien über einen längeren Zeitraum erforderlich, in dem die Anlage nicht genutzt werden kann. Alternativ wäre die Demontage der Heizspirale und des Luftverteilers zur Reinigung notwendig.

Mit aktuellem Status der Entwicklungsarbeiten ist die Anlage mit direkter Abfall-Kühlschmierstoff erwärmung durch die Edelstahl-Wärmetauscher-Heizspirale erheblich wirkungsvoller und Energieeffizienter als die investitionsintensivere und zur Betreuung energieaufwändigere Anlage mit Betrieb durch das Heizplattensystem. Durch das Abschalten der Anlage mit Heizspirale, über den Zeitraum des Abkühlens des Heizkreislauf und das damit verbundenen abkühlen des Abfall-Kühlschmierstoffgemisch, ist das mit Betriebswiederaufnahme verbundene Hochfahren der Anlage energieaufwändig. Der erforderliche Reinigungsaufwand der Anlage und die Zeit des Anlagenstillstands machen diese Anlage für den Kleinanlagenbedarf unwirtschaftlich.