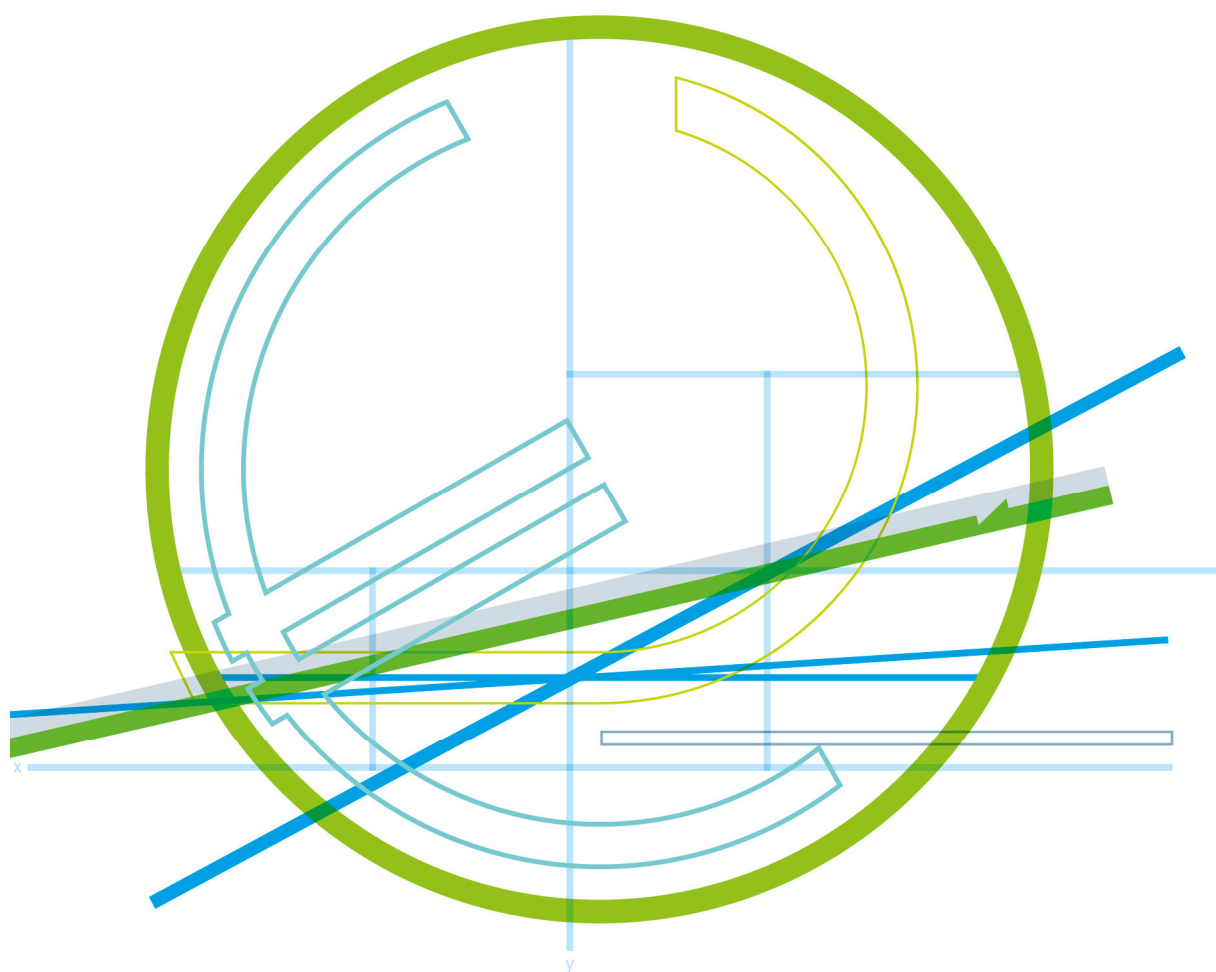


NexGen

Gaswärmepumpen der nächsten Generation



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Neue Energien 2020“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

NexGen

Gaswärmepumpen der nächsten Generation

AutorInnen:

J. Emhofer¹,

A. Höger², C. Strohmaier²,

R. Wechsler³, und R. Rieberer³

¹ AIT Austrian Institute of Technology, Energy Department, Giefinggasse 2, A-1210 Wien

² E-Sorp GmbH, Sportplatzweg 18, A-6336 Langkampfen

³ TU Graz, Institut für Wärmetechnik, Inffeldgasse 25/B, A-8010 Graz

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	4
2	Einleitung	5
3	Inhaltliche Darstellung	6
3.1	Thermodynamische Simulationen	6
3.2	Entwicklung der Kernkomponenten Generator und Absorber	6
3.3	Funktionsmuster Gesamtprozess (Alpha-Anlage).....	6
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	13
4.1	Thermodynamische Simulationen	13
4.2	Funktionsmuster Gesamtprozess (Alpha-Anlage).....	13
4.3	Publikationen.....	17
5	Ausblick und Empfehlungen.....	18
6	Anhang	19
7	Kontaktdaten.....	21

2 Einleitung

Im Zuge des Projekts NexGen wurde untersucht, in wieweit GAX-Prozesse in gasbetriebenen Absorptionswärmepumpen (G-AWP) für den kleinen Leistungsbereich ($\approx 18\text{kW}$) eingesetzt werden können und welche Prozessmodifikationen dafür notwendig sind. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen dazu, in mittlerer Frist hoch effiziente Gas-Absorptionswärmepumpen zu entwickeln. Derartige Systeme verfügen über eine sehr hohe Effizienz (ca. 170% im Vergleich zu Gas-Brennwertgeräten) und stellen somit eine attraktive zukünftige Alternativtechnologie zur heutigen Brennwerttechnik dar.

Eine Schlüsselkomponente der G-AWP war der Generator, dessen Performance für die ganze Maschine maßgebend ist. Aus diesem Grund wurde diese Komponente im Projekt einer genaueren Untersuchung unterzogen. Zudem wurde das System mit einer Leistungsmodulation ausgestattet, um die G-AWP für Heizungsanwendungen im kleinen Leistungsbereich sinnvoll und effizient betreiben zu können. Nachdem sich bei einer Leistungsmodulation die fundamentalen physikalischen Prozesse (Strömungszustände, Stoff- und Wärmeübergangsprozesse) sehr stark verändern können, musste dafür die Natur dieser Prozesse in einem sehr weiten Betriebsbereich verstanden werden, bevor ein Konzept bzw. eine Regelungsstrategie für eine solche Maschine entwickelt werden konnte.

Um die Fragen, nach einer konkurrenzfähigen Anwendung der G-AWP im niedrigen Leistungsbereich, zu klären, wurden verschiedene GAX-Zyklus Konfigurationen simuliert. Die meistversprechenden Konzepte von GAX-Generatoren wurden anschließend gefertigt und hinsichtlich ihrer Charakteristiken experimentell untersucht. Danach wurde ein Funktionsmuster einer GAX Absorptionswärmepumpe samt Regelkonzept (Alpha-Anlage) gebaut, und auf einem eigens dafür entwickelten Prüfstand hinsichtlich Energieeffizienz und Stabilität des Regelalgorithmus analysiert. Am Projektende wurde das Funktionsmuster (Alpha-Anlage) zusätzlich einer Prüfung nach der geltenden Norm bei optimierten Betriebsparametern unterzogen.

Das Projekt behandelte primärprioritär den Schwerpunkt 3.3 „Erneuerbare Energieträger“, Subschwerpunkt: 3.3.4 „Sonstige Erneuerbare Energieträger & Umwandlungstechnologien“ innerhalb der 5. Ausschreibung Neue Energien 2020.

3 Inhaltliche Darstellung

3.1 Thermodynamische Simulationen

Aufbauend auf einer detaillierten Literaturrecherche hinsichtlich möglicher Prozessvarianten des GAX-Prozesses wurden diese mittels thermodynamischer Simulationen untersucht und die Umsetzungsstrategien diskutiert. Ein von E-Sorp vorgeschlagener Prozess, bei dem die reiche Lösung nach dem kältesten Abschnitt am Absorber über den warmen Teil des Absorbers vorgewärmt wird, bevor sie in den Generator eintritt, wurde in Folge mit anderen Absorptionswärmepumpen-Prozessen verglichen. Dabei konnte gezeigt werden, dass die „E-Sorp-Schaltung“, im Vergleich zur einstufigen Absorptionswärmepumpe (AWP) bzw. zum „klassischen“ GAX-Prozess, Verbesserungen bringt. Zudem konnten die Massenströme der Lösung für die verschiedenen Leistungen abgeschätzt werden. Dieser Schritt war wichtig für eine spätere Implementierung der Regelung. Für das bestgeeignete Konzept wurden schlussendlich die GAX- Komponenten wärmetechnisch ausgelegt und konstruiert.

3.2 Entwicklung der Kernkomponenten Generator und Absorber

Im Rahmen des Projekts wurde ein Generator entwickelt, der einige Besonderheiten gegenüber früheren Generatorgenerationen aufweist:

- Die internen Strömungsverhältnisse wurden für kleinere Leistungen (5-18 kW) angepasst.
- Der Dephlegmator wurde in das Generatorgehäuse integriert.
- Die gesamte Baugröße wurde deutlich verkleinert.
- Die Brennkammer wurde zur Vermeidung von Hotspots optimiert.
- Neue Hochleistungskeramiken wurden in der Brennkammer verbaut.
- Hohe Generatöraustrittstemperaturen von 160°C-180°C konnten ermöglicht werden.
- Schwierigkeiten der Dichtheit, die bei früheren Modellen auftraten wurden gelöst.

Von einzelnen Kernkomponenten, wie dem Generator, wurden mehrere Varianten gebaut, welche in Voruntersuchungen charakterisiert wurden. Dadurch konnten wichtige Erfahrungswerte gewonnen werden, welche schließlich zu dem im Gesamtprozess verbauten optimierten Generator führten.

3.3 Funktionsmuster Gesamtprozess (Alpha-Anlage)

Aufbau der Alpha-Anlage

Abbildung 1 zeigt eine schematische Übersicht über den untersuchten Absorptionskreislauf. Zusätzlich werden die externen Kreisläufe (Wärmesenke/-quelle) sowie die verbaute Messtechnik dargestellt. Reiche Lösung (RSO) mit einer relativ hohen Ammoniakkonzentration tritt am Zustandspunkt 7 in den Generator (GEN) ein. Dort wird die Lösung teilweise verdampft, wobei Ammoniakdampf mit geringen Wasseranteilen entsteht. Die hierfür benötigte Wärme wird vor allem durch das heiße Verbrennungsgas bereitgestellt. Verbrennungsseitig ist dem Generator ein Abgaswärmetauscher (Flue HX)

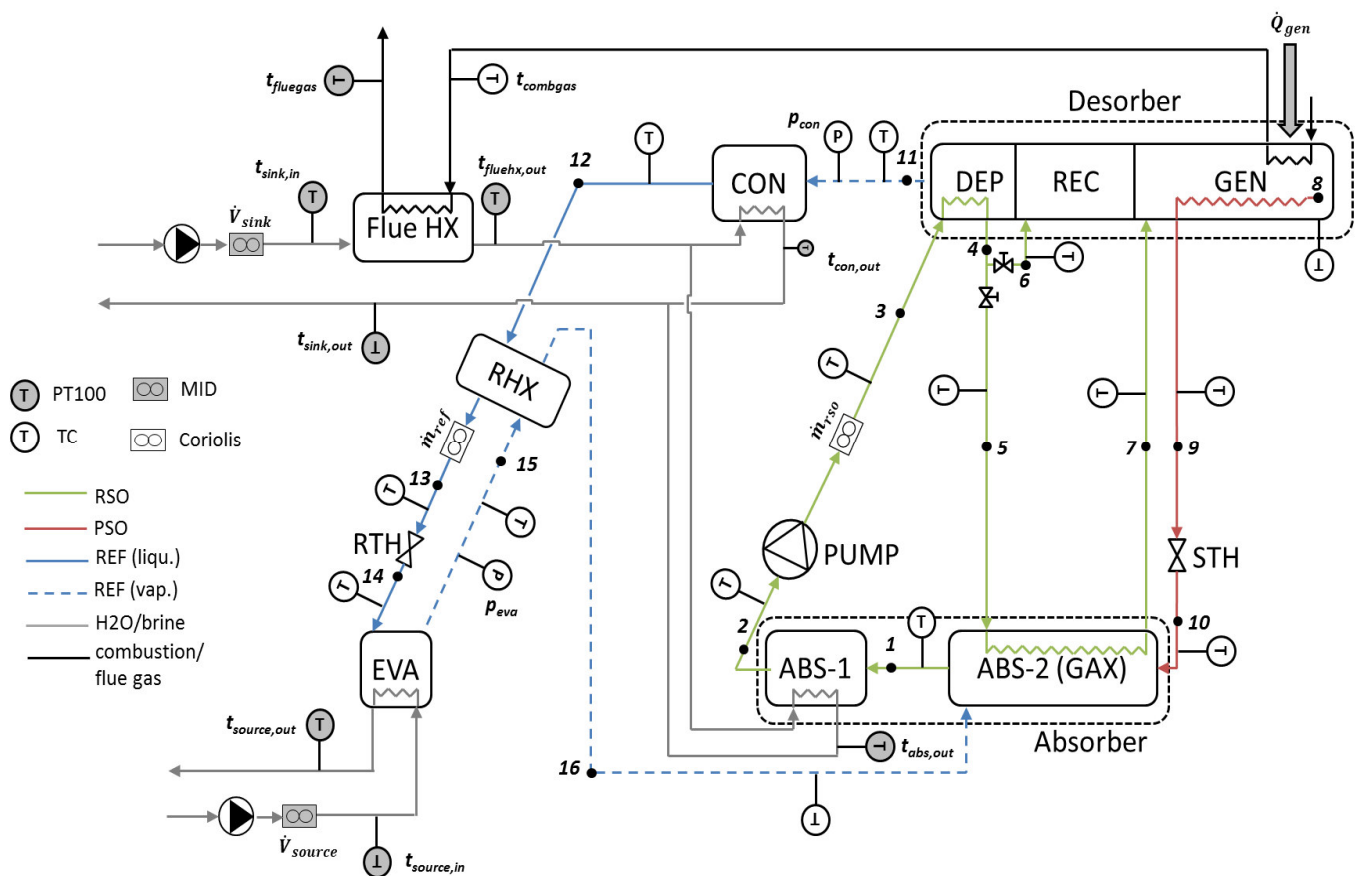


Abbildung 1: Messschema der Alpha-Anlage

nachgeschaltet, in dem das Abgas weiter abgekühlt und Wasserdampf auskondensiert wird. Der Dampf strömt ausgehend vom Generator aufwärts in die Rektifikationskolonne (REC), in der er in engen Kontakt mit herunterfließender Lösung (Rücklauf) gebracht wird. Dabei kommt es zu einem intensiven Wärme- und Stoffaustausch zwischen der Dampf- und der Flüssigphase und in der Folge zu einer Ammoniakanreicherung und Abkühlung des Dampfes auf seinem Weg nach oben.

Um den erforderlichen Rücklauf zu erzeugen, wird der Dampf im Dephlegmator (DEP) teilweise kondensiert. Dabei kommt es zu einer weiteren Erhöhung der Ammoniakkonzentration des verbleibenden Dampfes. Schließlich verlässt das dampfförmige Kältemittel (REF) den Desorber am Zustandspunkt 11, wobei im Dampf noch ein Wasseranteil im Bereich einiger Zehntel-Prozent enthalten ist. Das Kältemittel wird im Kondensator (CON) unter Abgabe von Wärme an das Heizungswasser verflüssigt und schließlich im Kältemittelwärmeübertrager (RHX) unterkühlt. Nachdem es in der Kältemitteldrossel (RTH) entspannt wird, tritt es in den Verdampfer (EVA) ein und wird dort unter Wärmeaufnahme von der wärmequellenseitigen Sole zu einem großen Teil verdampft. Im nachgeschalteten Kältemittelwärmetauscher werden verbleibende Tröpfchen verdampft und das Kältemittel gegebenenfalls überhitzt. Schließlich wird das Kältemittel im Absorber von der armen Lösung (PSO), die nach der Austreibung im Desorber übrig bleibt und von dort über die Lösungsdrossel (STH) in den Absorber gelangt, absorbiert. Die entstehende reiche Lösung wird mittels der Pumpe (PUMP) auf Kondensationsdruck gebracht, in verschiedenen internen Wärmeübertragern vorgewärmt und tritt schließlich in den Generator ein, wodurch der Kreislauf geschlossen wird.

Der GAX-Effekt wird bei dieser Schaltung dadurch erreicht, dass die reiche Lösung vor dem Eintritt in den Generator im GAX-Absorber (ABS-2) mittels Absorptionswärme vorgewärmt und je nach Betriebsbedingungen (ausreichend große Temperaturüberlappung von Desorption und Absorption) bereits teilweise verdampft wird. Es wird also indirekt Wärme vom Absorber in den Generator übertragen, wobei im Gegensatz zu einem geschlossenen GAX-Kreislauf auf eine zusätzliche Pumpe verzichtet werden kann. Folglich kann im Generator mehr Dampf bezogen auf die von außen zugeführte Wärme ausgetrieben werden und die Effizienz der Wärmepumpe steigt gegenüber einem herkömmlichen Kreislauf. Die Absorption findet in zwei Komponenten statt: Im GAX-Absorber (relativ hohe Temperaturen) und im (heizungs-) wassergekühlten Absorber (ABS-1, relativ niedrige Temperaturen). Weitere interne Wärmerückgewinnungsstrategien im Lösungskreislauf umfassen eine Lösungsrückführung im Generator sowie die Kühlung des Dephlegmators mittels reicher Lösung.

Neben der Güte der internen Wärmerückgewinnung hat die Kältemittelreinheit einen entscheidenden Einfluss auf die Effizienz von Ammoniak/Wasser-Absorptionswärmepumpen. Bei der hier betrachteten Schaltung besteht die Möglichkeit, reiche Lösung nach der Kühlung des Dephlegmators abzuzweigen und über einen Bypass (Zustandspunkt 6) direkt in die Rektifikationskolonne einzubringen. Diese Lösung wirkt als zusätzlicher Rücklauf und erhöht somit die Kältemittelreinheit, was wiederum einen positiven Einfluss auf die Effizienz des Gesamtsystems hat. Der Anteil an reicher Lösung, der durch den Bypass fließt, kann allerdings nicht mehr für die interne Wärmerückgewinnung im GAX-Absorber genutzt werden und dieser Effekt wirkt sich negativ auf die Effizienz aus. Die Ermittlung eines geeigneten Verhältnisses zwischen dem Massenstrom durch den Bypass und dem gesamten Massenstrom der reichen Lösung (Bypass-Massenstromverhältnis) stellt also ein Optimierungsproblem mit dem Ziel der Maximierung der Effizienz dar. Im oben dargestellten Prüfstandsaufbau konnte das Bypass-Massenstromverhältnis mittels zweier Nadelventile an den Zustandspunkten 5 und 6 variiert werden, wobei sein Wert mithilfe der Ventilkennlinien abgeschätzt wurde.

Fertigung der Alpha-Anlage

Ausgehend von den bisher betrachteten Hauptkomponenten der Absorptionswärmepumpe (Generator und Absorber) wurden bei E-Sorp weitere Kernkomponenten des Absorptionsprozesses entwickelt und dimensioniert. Dies umfasst u.a. ein Set aus Plattenwärmetauschern, welches mit einem spezialisierten Unternehmen für Plattenwärmetauscher aus Edelstahl gefertigt wurde. Der Einsatz von Plattenwärmetauschern bringt den Vorteil mit sich, dass die G-AWP, durch die hohe Leistungsdichte, sehr kompakt gestaltet werden kann. Die Lösungsmittelpumpe stellt ebenso eine Kernkomponente im Kältekreislauf dar, da sie in gewöhnlichen Absorptionsprozessen eine der wenigen beweglichen Teile im Prozess ist. Diese wurde als Kolbenmembranpumpe ausgeführt. Auf Grund der geplanten modulierenden Bauweise der G-AWP kommen im Absorptionsprozess der Fa. E-Sorp elektrisch gesteuerte Ventile hinzu, durch deren Ansteuerung eine Modulation des Prozesses erwirkt werden kann. Diese Ventile müssen durch die hohe angestrebte Standzeit von z.B. >10 Jahren hohe Anforderungen bzgl. der Langlebigkeit erfüllen.

Das Groblayout wurde mit den Geometrien dieser Komponenten erstellt. Basierend auf einschlägigen Normen und mit Hilfe von Kältemittelexperten wurde ein Konzept für die Sicherheitstechnische Ausstattung einer Absorptionswärmepumpe geschaffen, wodurch sich das Anlagenschema, um weitere

Armaturen und Komponenten erweitert hat. Im Hinblick auf die Eignung als Seriengerät war man in dieser Projektphase bemüht, so wenig als möglich bzw. nur so viel wie unbedingt nötig an Komponenten einzusetzen, um folgenden Anforderungen zu genügen:

- Normative Anforderungen
- Sicherheitstechnische Aspekte / Betriebssicherheit
- Modulierender Betriebsbereich
- Hohe Effizienz im Voll- und Teillastbereich

Regelung

Für den Betrieb und die Regelung einer Absorptionswärmepumpe bedarf es diverser Druck und Temperaturfühler. In der Absorptionswärmepumpe wurde vorerst eine Vielzahl an Messfühlern installiert, um ausreichende Prozesskenntnisse zu gewinnen. Die Maschine wurde anfangs im Handbetrieb gesteuert, um die Dynamik und die Funktionalität des Prozesses kennenzulernen. Es stellte sich als schwierig heraus, aus der Literatur bekannte Regelstrategien auf die modulierende Betriebsweise zu übertragen. Eine wichtige Aufgabe innerhalb des Projekts war es deshalb, herauszufinden welche Messgrößen für die Regelung relevant waren und welche vernachlässigt werden konnten.

Die Regelung nahm für die Schaffung der modulierenden Betriebsweise Einfluss auf folgende Komponenten:

- Heizungspumpe: Bestimmt die geforderte Spreizung an der Wärmesenke.
- Solepumpe: Bestimmt die geforderte Spreizung am Verdampfer der Alpha Anlage.
- Lösungsmittelpumpe: Bestimmt die Menge an reicher Lösung die in den Generator rückgeführt wird.
- Brennergebläse: Bestimmt den Gaseintrag in den Generator und wird in einem Leistungsbereich von ca. 2 kW bis 12,5kW moduliert.
- Elektrische Ventile im Kältekreis: zur Regelung der benötigten Kältemittelmengen und Lösungsmittelmenge.

Bypass-Ventilstellungen

In den Monaten der Inbetriebnahme wurden unterschiedlichste Ventilstellungen getestet. Dabei wurde festgestellt, dass die Stellungen einen großen Einfluss auf die Funktionalität der AWP im breiten Spektrum der unterschiedlichen Betriebspunkte aufweist. Zielsetzung bei E-Sorp war es eine Ventilstellung zu finden bei der die AWP zuverlässig im gesamten Betriebsfeld eine höchstmögliche Effizienz erreicht. Eine definierte Ventilstellung wurde gefunden welche für Systemtests an der TU Graz eingestellt wurden („Werkseinstellung E-Sorp“).

Die fertiggestellte Alpha-Anlage ist in Abbildung 2 zu sehen.

Systemmessungen

Das Funktionsmuster (Alpha-Anlage) wurde mit umfangreicher Messtechnik an der TU Graz ausgestattet (vergl. mit Abb. 1). Die Massenströme der reichen Lösung und des Kältemittels wurden an den Zustandspunkten 3 und 13 mit Coriolis-Massenströmern gemessen.



Abbildung 2: Fertige Alpha-Anlage vor dem Versand.

Ein Foto des Prüfstandsbaus mit eingebautem Massenströmer für die reiche Lösung ist in Abbildung 3 zu sehen. Mittels einer Massenbilanz über den GAX-Absorber konnte aus den zwei gemessenen Massenströmen der Massenstrom der armen Lösung berechnet werden. Zur Messung der „internen“ Temperaturen (Zustandspunkte 1-16) wurden Anlegefühler (Thermoelemente) verwendet. Die Messung der Volumenströme der quellenseitigen Sole und des senkenseitigen Wassers wurde mittels MIDs durchgeführt. Ferner wurden mit nass eingebauten Widerstandsthermometern (PT100) die Ein- und Austrittstemperaturen aller Komponenten auf der Quellen- (EVA) und Senkenseite (FLUEHX, CON, ABS-1) gemessen. Zusammen mit der ebenfalls gemessenen Senkenaustrittstemperatur (Mischtemperatur von Absorber- und Kondensatoraustritt) konnten somit die Einzelleistungen aller drei senkenseitigen Komponenten sowie die senken- und quellenseitige Gesamtleistung bestimmt werden. Die Messgenauigkeit aller Temperaturfühler (Thermoelemente, PT100) wurde durch Kalibrierung und Justierung mittels Ausgleichskurven für den jeweils relevanten Temperaturbereich erhöht. Je nach Temperaturbereich wurde hierfür ein mit Wasser, Wasser-Glykol-Gemisch oder Thermoöl gefülltes Becken verwendet. Am Zustandspunkt 11 bzw. 15 wurden der Kondensations- bzw. Verdampfungsdruck gemessen. Die Brennerleistung wurde aus dem gemessenen Volumenstrom, Druck und der Temperatur des zugeführten Brenngases sowie dem vom Gasversorger angegebenen Heizwert berechnet. Die Ammoniak-Konzentrationen der armen Lösung und des Kältemittels wurden unter der Annahme von gesättigter Lösung am Generatorfuß (Zustandspunkt 8) und gesättigtem Dampf am Dephlegmatoraustritt (Zustandspunkt 11) aus den an diesen Stellen gemessenen Temperaturen und dem Kondensationsdruck berechnet. Die hierfür benötigten Stoffdaten wurden mittels der in der Software Engineering Equation Solver (EES V9.699) vorimplementierten Routine „NH₃H₂O“ bestimmt. Eine Ammoniak-Massenbilanz über den GAX-Absorber erlaubte schließlich die Berechnung der Konzentration der reichen Lösung.

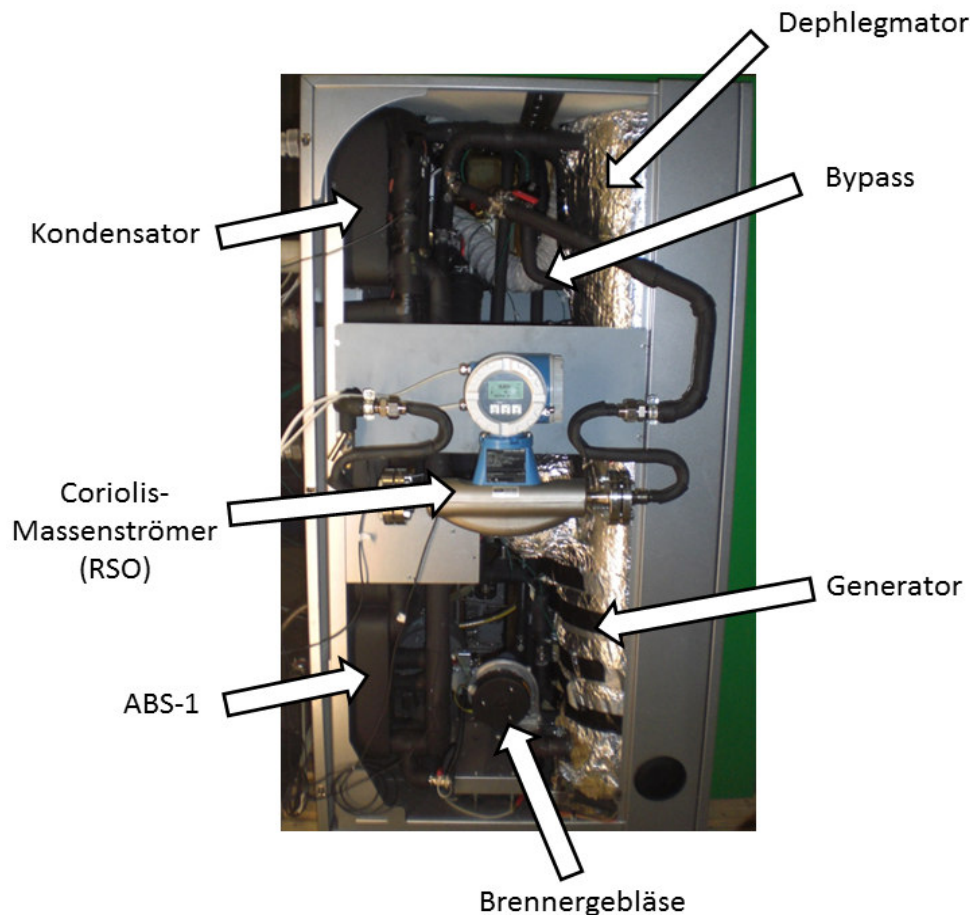


Abbildung 3: Foto des Prüfstandsbaus an der TU Graz

Normmessungen nach der prEN12309

Die Alpha-Anlage wurde nach den Systemmessungen an der TU Graz in einer Klimakammer des AITs aufgebaut, um Messpunkte nach der geltenden Norm (prEN12309) zu vermessen. Dabei wurden Messserien sowohl bei den Werkseinstellungen von E-Sorp als auch bei geänderten Bypass-Ventilstellungen, nach Empfehlung der TU Graz, durchgeführt. Da die Schallthematik zunehmend an Bedeutung im Bereich der Wärmepumpen gewinnt, wurden ergänzend Schallmessungen am Gerät vorgenommen. Normmessungen nach der prEN12309-6:2012 wurden bei niedriger und hoher Senktemperatur für Sole/Wasser-Geräte durchgeführt. Bei 100% Leistung liegen die niedrige und hohe Senktemperatur laut Norm bei einer Austrittstemperatur (Vorlauf) von 35°C bzw. 55°C. Die entsprechenden normgerechten Betriebszustände sind in Tabelle 2 und Tabelle 3 aufgelistet. Nach den ersten beiden Messserien wurden die Ventileinstellungen des Bypass und des GAX-Kreislaufs entsprechend der Ergebnisse aus den Systemmessungen an der TU Graz umgestellt. Danach wurden die Normmessungen bei niedriger Senktemperatur wiederholt. Ein Foto der Alpha-Anlage in der Klimakammer am AIT ist in Abbildung 4 abgebildet.

Tabelle 1: Anwendung bei niedriger Temperatur (lt. prEN12309-6:2012)

Leistung in % der maximalen Leistung	Eintrittstemperatur Sole (Quelle) in °C	Austrittstemperatur Wasser (Senke) in °C
15	0	24 ⁴
35	0	27
54	0	30
88	0	34
100	0	35

Tabelle 2: Anwendung bei hoher Temperatur (lt. prEN12309-6:2012)

Leistung in % der maximalen Leistung	Eintrittstemperatur Sole (Quelle) in °C	Austrittstemperatur Wasser (Senke) in °C
15	0	30 ⁵
35	0	36
54	0	42
88	0	52 ⁶
100	0	55



Abbildung 4: Alpha-Anlage während der Normmessungen in einer der Klimakammern am AIT. Im Vordergrund befinden sich die Coriolos-Massenstromsensoren zur Erfassung der Nutzer- und Quellenseitigen Massenströme.

⁴ Da die Maschine bei dieser Temperatur in den Taktbetrieb umschaltete wurde die Temperatur auf 25°C erhöht.

⁵ Da die Maschine bei dieser Temperatur in den Taktbetrieb umschaltete wurde die Temperatur auf 32°C erhöht.

⁶ Dieser Messpunkt wurde im Projekt irrtümlicherweise bei 54°C vermessen. Für die Berechnung der saisonalen Kennzahlen wurde der Messpunkt dennoch als mit 52°C vermessen angenommen.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.1 Thermodynamische Simulationen

Konzeptentwicklung und die Erstellung von Variantenvorschlägen:

Die Simulationsergebnisse des Vergleichs vom E-Sorp AWP-Prozess mit einer konventionellen AWP in ASPEN Plus haben gezeigt, dass:

1. die Leistungszahl des E-Sorp Prozesses ohne Bypass bei allen Temperaturhüben (30/-5°C, 45/-5°C, 30/+2°C und 45 / +2°C) größer als jene einer konventionellen NH_3 / H_2O AWP ist (ca. 2-8% Punkte);
2. eine weitere Erhöhung der Leistungszahl um ca. 1-3% im Betrieb mit Bypass erreicht werden kann (5% und 10%) ;
3. für die untersuchten Randbedingungen das Verhältnis der Leistung des GAX-Wärmetauschers zur Generatorleistung zwischen 0,10-0,35 (bei 30/-5°C und 30/+2°C) und zwischen 0-0,20 (bei 45/-5°C und 45/+2°C) liegt.

Der „klassische“ GAX-Prozess ist für die untersuchten großen Temperaturhübe sowohl im Vergleich mit einer einstufigen AWP, als auch mit dem E-Sorp Prozess nicht konkurrenzfähig.

4.2 Funktionsmuster Gesamtprozess (Alpha-Anlage)

Systemmessungen

Insgesamt wurden 91 verschiedene stationäre Betriebspunkte, die jeweils durch unterschiedliche Kombinationen von Einflussfaktoren gemäß Tabelle 3 gekennzeichnet sind, angefahren. Die Brennerleistung sowie die Temperaturspreizungen auf der Wärmesenken bzw -quellenseite konnten über das Regelungssystem der Wärmepumpe, welches die Drehzahlen des Brennergebläses und der externen Umwälzpumpen entsprechend anpasste, direkt eingestellt werden. Die Eintrittstemperatur des senkenseitigen Wassers sowie der quellenseitigen Sole wurde durch externe Konditionierung auf den gewünschten Wert gebracht.

Die Betriebsgrenzen ergaben sich einerseits aus der minimal (3,5 kW) und maximal (12,5 kW) möglichen Brennerleistung und andererseits aus dem quellen- und senkenseitig möglichen Temperaturbereich. Senkenseitig war dieser nach oben durch den maximal zulässigen

Tabelle3: Betriebsbedingungen der Systemmessungen

Varierte Größe	Bereich bzw. Stufen
Brennerleistung (unterer Heizwert) [kW]	3,5 ... 12,5
Ein-/Austrittstemperatur Wärmesenke [°C]	30/35, 35/45, 45/50
Ein-/Austrittstemperatur Wärmequelle [°C]	-5/-8, +2/-1, +6/+3
Bypass-Massenstromverhältnis [-]	0,0 ... 0,9 ⁷

⁷ Mittels Ventilkennlinien abgeschätzt.

Kondensationsdruck (23 bar) begrenzt, wobei das Regelungssystem die Wärmepumpe bei einer Überschreitung dieses Drucks automatisch abschaltete. Entsprechend diesem maximalen Drucks lag die maximal mögliche Senkeneintrittstemperatur bei etwa 50 °C. Da es allerdings bei der externen Konditionierung des senkenseitigen Wassers zu Überschwingern bei der Temperatur kommen konnte, wurde die tatsächliche maximale Senkeneintrittstemperatur auf einen etwas geringeren Wert von 45 °C festgelegt um Störungen zu vermeiden. Nach unten war die Senkeneintrittstemperatur aufgrund der Rückkühlung mittels eines Trockenkühlturms durch die jeweils herrschende Außentemperatur begrenzt und wurde für die Systemmessungen an der TU Graz auf 30 °C festgelegt.

Innerhalb dieser Betriebsgrenzen erlaubte die implementierte Regelungsstrategie einen stabilen stationären Betrieb der Wärmepumpe bei allen 91 betrachteten Betriebspunkten. Ebenso waren instationäre Vorgänge wie das Hoch- und Herunterfahren des Wärmepumpenprozesses sowie der Wechsel zwischen verschiedenen Betriebspunkten problemlos möglich.

Aus den Messwerten wurde zur Beurteilung der Effizienz der Gas Utilization Efficiency (GUE) gemäß prEN 12309-4 berechnet. Dieser ist definiert als das Verhältnis der Heizleistung (Summe der Leistungen des Kondensators $\dot{Q}_{con}$, wassergekühlten Absorbers $\dot{Q}_{abs,1}$ und Abgaswärmeübertragers $\dot{Q}_{fluehx}$) einerseits und der Brennerleistung bezogen auf den (unteren) Heizwert $\dot{Q}_{fuel,Hi}$ andererseits.

$$GUE_{Hi} = \frac{\dot{Q}_{con} + \dot{Q}_{abs,1} + \dot{Q}_{fluehx}}{\dot{Q}_{fuel,Hi}}$$

Die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Effizienz sind die Temperaturen der Wärmequelle und –senke. Im Allgemeinen steigt die Effizienz von Absorptionswärmepumpen mit steigender Quellentemperatur, während sie mit steigender Senkentemperatur sinkt. In Abbildung 5 (links) ist der GUE in Abhängigkeit vom Temperaturhub, welcher als Differenz der Senken- und Quelleneintrittstemperatur definiert ist, dargestellt.

Der GUE liegt je nach Betriebsbedingungen zwischen ca. 1,3 und 1,7 und sinkt erwartungsgemäß mit steigendem Temperaturhub. Modulierende Wärmepumpen arbeiten die meiste Zeit im Jahr in Teillast, insbesondere wenn sie in monovalenten Heizungssystemen eingesetzt werden. Der Grund hierfür ist, dass die maximale Leistung entsprechend der tiefsten zu erwartenden Außentemperatur

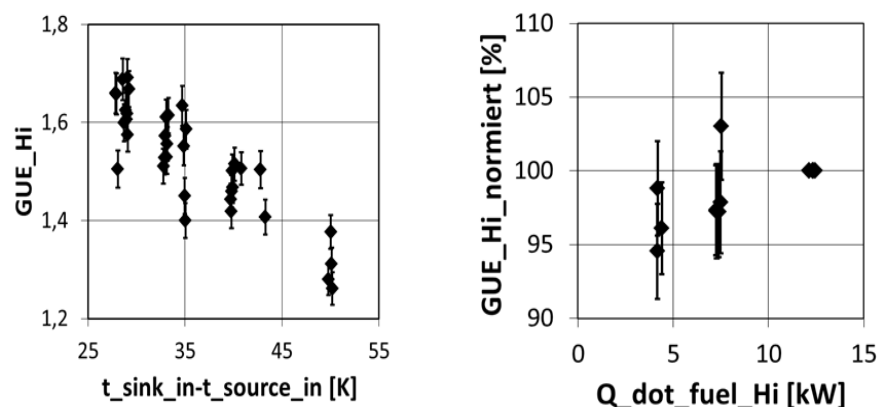


Abbildung 5: Gemessener GUE in Abhängigkeit vom Temperaturhub (links) und normierter GUE (bezogen auf den GUE bei maximaler Brennerleistung) in Abhängigkeit von der Brennerleistung (rechts). Die Fehlerbalken repräsentieren auf die Messunsicherheiten.

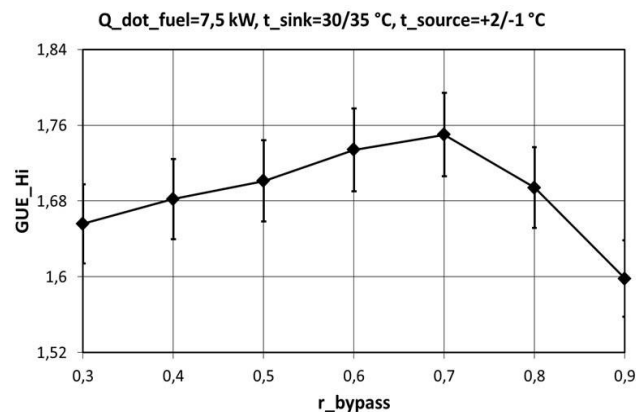


Abbildung 6: Verlauf des GUE bei variiertem Bypass-Massenstromverhältnis.

(Normaußentemperatur) gewählt werden muss um jederzeit die Komfortanforderungen des Endnutzers zu erfüllen. Somit sind solche Wärmepumpen für die meisten auftretenden Außentemperaturen überdimensioniert. Daher ist die Effizienz bei Teillast entscheidend für saisonale Effizienzkennwerte. Zur Beurteilung der Teillasteffizienz wurde daher ein normierter GUE definiert. Dieser ist das Verhältnis des gemessenen GUE zum GUE bei maximaler Brennerleistung und ansonsten gleichen Betriebsbedingungen. Abbildung 5 (rechts) zeigt den normierten GUE in Abhängigkeit von der Brennerleistung. Bei maximaler Leistung (12,5 kW) ist der normierte GUE per Definition 100 %, während er bei kleineren Leistungen leicht abfällt. Allerdings sinkt der GUE bei Teillast nie unter ca. 95 % seines Wertes bei maximaler Brennerleistung.

Wie oben beschrieben, konnte das Bypass-Massenstromverhältnis mittels zweier Nadelventilen variiert werden. Eine Erhöhung des Bypass-Massenstromverhältnis führt einerseits zu einer erhöhten Kältemittelreinheit und andererseits zu einer verringerten Leistung des GAX-Absorbers. Im Rahmen der Systemmessungen wurde das Bypass-Massenstromverhältnis durch Verändern der Ventilstellungen variiert und die daraus resultierende Änderung des GUE beobachtet. Abbildung 6 zeigt den experimentell ermittelten GUE für einen bestimmten Betriebspunkt als Funktion des abgeschätzten Bypass-Massenstromverhältnisses. Bei weiteren Betriebspunkten wurde ein Maximum des GUE bei ähnlichen Bypass-Massenstromverhältnissen gefunden. Daher wurden für die folgenden Normmessungen am AIT die Ventilstellungen entsprechend diesem optimierten Bypass-Massenstromverhältnis geändert (im Folgenden: „Ventileinstellung TU Graz“).

Normmessungen nach der prEN12309-06:2012

Abbildung 8 zeigt einen Vergleich der Wirkungsgrade der Gasnutzung (GUE_h) und der Hilfsenergien (AEF_h) in Abhängigkeit der Leistung bei der niedrigen Senken-Temperatur (vergl. mit Tabelle 1).

Der GUE_h wurde durch das Verhältnis der übertragenen Wärme auf der Wärmesenkenseite $\dot{Q}_{eh}$ (Nutzerseite) und der Brennerleistung $\dot{Q}_{gm}$ berechnet:

$$GUE_h = \frac{\dot{Q}_{eh}}{\dot{Q}_{gm}}$$

Die Brennerleistung $\dot{Q}_{gm}$ wurde ihrerseits aus dem Gasmassenstrom (reines Methan) und dessen Heizwert (H_i) berechnet.

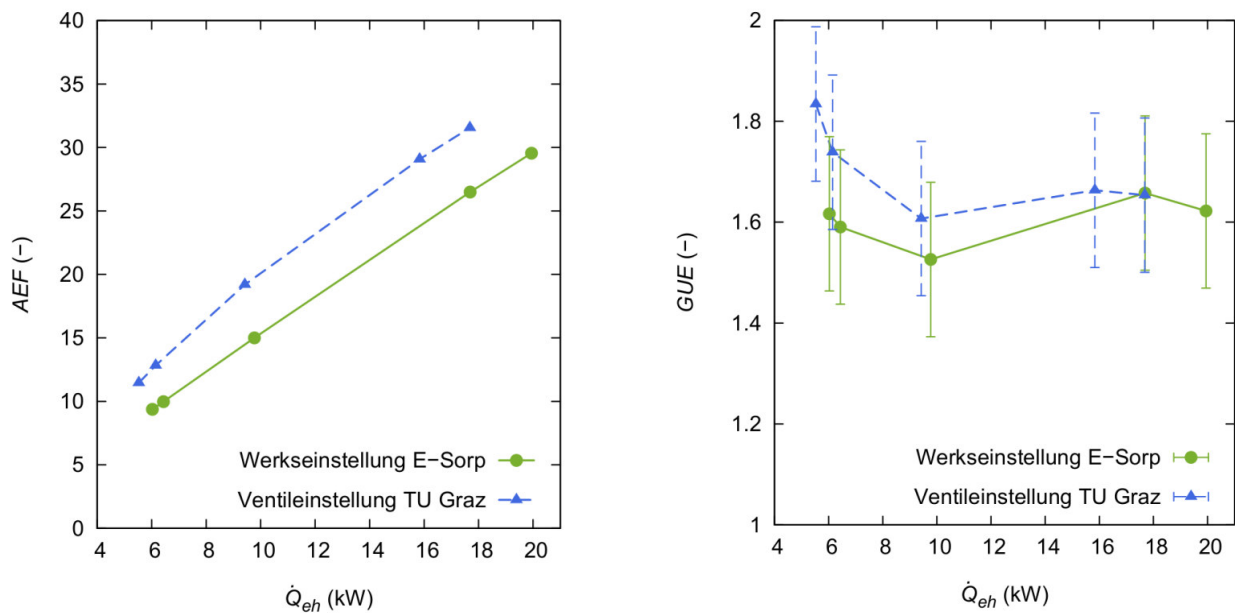


Abbildung 8: AEF (links) und GUE (rechts) in Abhängigkeit der Heizleistung bei Messungen nach der prEN12309. Die Sole-Eintrittstemperatur (Quelle) betrug 0°C während die Nutzer-seitige Ausgangstemperatur nach Tabelle 1 variierte. Die verschiedenen Heizleistungen ergaben sich bei den Messungen dadurch, dass bei der Messung mit den E-Sorp Werkseinstellungen (grüne, durchgezogene Linie) die Regelung die Maschine über den ausgelegten Bereich regelte und die maximale Leistung (100%) für diese Messung um 2 kW höher angenommen wurde als bei den Messungen bei den Ventileinstellungen der TU Graz (blaue, strichlierte Linie). Die niedrigste laut Norm zu messende Leistung von 15% der maximalen Leistung konnte bei beiden Einstellungen nicht erreicht werden.

Der Hilfsenergiefaktor wurde aus dem Verhältnis der übertragenen Wärme auf der Wärmesenkenseite $\dot{Q}_{eh}$ (Nutzerseite) und der aufgenommenen elektrischen Leistung der G-AWP (P_{eh}) berechnet.

$$AEF_h = \frac{\dot{Q}_{eh}}{P_{eh}}$$

Die saisonalen Wirkungsgrade der Gasnutzung ($SGUE_h$) und der saisonale Faktor der Hilfsenergien während des Heizbetriebs ($SAEF_{h,on}$) wurden mittels Summation der Energien für bestimmte Betriebsstunden (mittleres Klima, Referenzheizperiode A) bei verschiedenen Teillasten über ein Jahr berechnet. Die Teillastbedingungen wurden durch lineare Interpolation der 5 gemessenen Norm-Lastpunkte berechnet. Die Korrelation der Betriebsstunden mit den Teillasten wurde direkt aus der prEN12309-6 entnommen. Für eine detaillierte Beschreibung der Methode sei an dieser Stelle auf die Norm verwiesen. Als Ergebnis der Rechnung ergaben sich folgende Faktoren:

	$SGUE_h$	$SAEF_{h,on}$
Hohe Temperatur (E-Sorp Werkseinstellung)	1,52	24,8
Niedrige Temperatur (E-Sorp Werkseinstellung)	1,57	13,8
Niedrige Temperatur (TU Graz Ventileinstellung)	1,67	17,2

Aufgrund der an der TU Graz gefundenen optimierten Einstellungen konnte der $SGUE_h$ um 6 % gesteigert werden. Der $SAEF_{h,on}$ konnte um ganze 25% gesteigert werden.

Vernachlässigt man die Hilfsenergien von 1/10-1/30 der Heizleistung, benötigt die vermessene G-AWP weniger als 2/3 der Energie eines vergleichbaren Gas-Brennwertgeräts.

Schall-Normmessungen nach der ÖNORM EN ISO 9614-2

Während der Normmessungen am AIT wurde zusätzlich eine Schallmessung nach der ÖNORM EN ISO 9614-2 durchgeführt, da einer der Vorteile der G-AWPs deren niedrige Schallemissionen im Vergleich zu Kompressionsanlagen ist. Bei den Messungen konnte eine A-bewertete Schallleistung von

- **$L_{WA} = 45.3 \text{ dB(A)}$** mit einer Standardabweichung der Reproduzierbarkeit von **$\sigma_R \leq 1.5 \text{ dB}$**

gemessen werden. Mit der gemessenen Schalleistung liegt die Alpha-Anlage im Schallbereich von Kühlschränken und von sehr leisen Kompressionswärmepumpen.

Anzumerken sei, dass das Gehäuse der Alpha-Anlage bei den Schallmessungen nicht vollständig verschlossen werden konnte, da Zusatzrohre für die Messungen der TU Graz über die ursprünglichen Dimensionen hinaus verbaut waren. Aus diesem Grund ist ein noch niedrigerer Schallleistungswert für eine komplett geschlossene Anlage zu erwarten.

4.3 Publikationen

An Ergebnissen wurden bereits publiziert:

- Andreas Bangheri (E-Sorp) präsentierte beim OTTI-Fachforum (Tagungstitel: Luft-/Wasser Wärmepumpen im Gebäudebestand – Chancen und Risiken) am 12.02.2014 in Frankfurt am Main das Thema „Neuartige vollmodulierende Gasabsorptionswärmepumpen“.
- Das gesamte Projekt und dessen Ergebnisse wurden am 18.3.2015 bei einer Infoveranstaltung zum Thema „Gasabsorptionswärmepumpen der nächsten Generation“ bei E-Sorp präsentiert.
- Beim A3 Wirtschaftsverlag - Building Technologies / Solutions erschien ein Artikel von Andreas Bangheri (E-Sorp): „Gasabsorptions-Wärmepumpe. Ersatz für Gasheizung“ in der Ausgabe 11-12 2014; Seite 15.

Folgende Ergebnisse werden noch publiziert:

- Die Messungen am Funktionsmuster „Gesamtprozess“ (Alpha-Anlage) werden von Roman Wechsler (TU Graz) beim 24. International Congress of Refrigeration in Yokohama im August 2015 präsentiert.

Bei einer vom Projektkonsortium durchgeführten Informationsveranstaltung am 18.3.2015 wurden in Diskussionsrunden mit Vertretern von E-Sorp, der TU Graz, des AITs, von EVUs (z.B. Tigas), von Planern und Installateuren (z.B.: Fa. Stransky) und der Standortagentur Tirol unter anderem folgende Fragen diskutiert:

- 1) Wie sehen wir generell die Zukunftschancen der Technologie?
- 2) Wo sehen wir die größten Absatzmärkte?
- 3) Wie teuer darf eine 5-18 kW G-AWP im Vergleich zu einer Brennwertgastherme sein?
- 4) Was erwarten sich Installateure von einer G-AWP?
- 5) Wie können Anwender und Installateure besser über die Technologie informiert werden?

Die Ergebnisse aus den Diskussionen sind detailliert im Anhang im Abschnitt 0 auf S. 19 zusammengefasst.

5 Ausblick und Empfehlungen

Im Projekt NexGen wurde erfolgreich demonstriert, dass es möglich ist, eine modulierende Gasabsorptionswärmepumpe im kleinen Leistungsbereich zu entwickeln und zu konstruieren. In weiterer Folge muss es das Ziel sein, diese Maschine weiter zu optimieren. Mögliche Optimierungspotentiale könnten sein:

- Die Reduktion des elektrischen Energieverbrauchs
 - durch effizientere Lösungsmittelpumpen oder
 - durch Ersetzen der Pumpe mit einem Kältemitteldampf-angetriebenen, Lösungsmittelumlauf.
- Die Erhöhung der Zuverlässigkeit (Langlebigkeit) der einzelnen Bauteile.
- Der Einsatz von kostengünstigen Komponenten in Hinblick auf die Serienfertigung.
- Die gesamte Konstruktion bezüglich Wartungs- und Bedienungsfreundlichkeit zu optimieren.

Im Speziellen das Ersetzen der Lösungsmittelpumpe durch eine mit Kältemitteldampf angetriebene Lösungsmittelumlauf ist eine herausfordernde Forschungsfragestellung, die derzeit von E-Sorp, gemeinsam mit der TU Graz, in einem Forschungsprojekt (Doublepump, FFG Projektnummer 843842) behandelt wird.

Besonders interessant sind gasbetriebene Wärmepumpen (G-AWP) für das Segment der Gebäudesanierung. Dort wird die bereits vorhandenen Infrastruktur (Gasanschluss, Heizungsrohre, Heizkörper, etc.) oftmals beibehalten. Somit wird eine Substitutionstechnologie (Retrofit) für die bis heute vielfach eingesetzten Gaskessel benötigt. Da die bestehenden Heizungssysteme des alten Bestandes meist hohe Vor-/Rücklauftemperaturen benötigen, sollte bei zukünftigen F&E-Projekten der Fokus vor allem auf einer Effizienzsteigerung der G-AWP bei höheren Heizungswassertemperaturniveaus liegen.

6 Anhang

Ergebnisse aus den Diskussionen von der Infoveranstaltung am 18.3.2015

Im Rahmen der Veranstaltung wurden 5 Fragen mit den Teilnehmern diskutiert. Im Folgenden sind die Ergebnisse aus den Diskussionen zusammengefasst.

1) Wie sehen wir generell die Zukunftschancen der Technologie?

Eine Grundvoraussetzung für die Durchsetzung der Technologie ist, dass die von E-Sorp angestrebten Investitionskosten auch erreicht werden können, da die Investitionskosten als größte Hürde wahrgenommen werden.

Zudem wird die Zukunft der Technologie stark von Förderungen und dem Wissenstransfer zu allen Interessensvertretern abhängen. Neben einem finanziellen Aspekt ist die Tatsache, dass es für eine Technologie eine Förderung gibt, für den Kunden ein Hinweis dafür, dass es sich um eine innovative und Umweltressourcen-schonende Technologie handelt. Derzeit wird die Technologie von den Förderstellen fast nicht wahrgenommen, d.h.: hier müsste verstärkt Informations- und Aufklärungsarbeit, auch von Seiten der Gasindustrie, geleistet werden.

Ein sehr spezifischer Aspekt ist, dass sehr oft die thermischen COPs bei der Gas-AWP (ca. 1,2-1,8) mit den elektrischen COPs einer Kompressionswärmepumpe (ca. 4-5) verglichen werden, obwohl dieser Vergleich eigentlich nicht zulässig ist. Besser wäre es über die Primärenergiefaktoren korrigierte Werte zu vergleichen oder evtl. einen Gas-Wirkungsgrad anstelle des thermischen COPs einzuführen. Die Technologie könnte dann z.B.: als „neues Gas-Brennwertgerät“ mit 160% Wirkungsgrad auf den Markt gebracht werden. Der Marktdurchsetzung dienlich wird das EnergyLabel sein.

Ein weiterer Vorteil der Gas-AWP ist, dass sie ohne drastischen Einbruch der Effizienz auch bei höheren Temperaturen arbeiten kann und somit die Legionellenproblematik beim Warmwasser weniger stark ins Gewicht fällt, als dies bei Kompressionswärmepumpen der Fall ist.

Schwierigkeiten für die Technologie könnten in Zukunft dadurch entstehen, dass derzeit eine neue OIB Richtlinie erarbeitet wird, in dessen Entwurf ein Mindesteinsatz von 50% an erneuerbaren Energien bei Heizungen vorgeschrieben wird.

2) Wo sehen wir die größten Absatzmärkte?

Die größten Absatzmärkte werden

- im Sanierungsfall, wenn eine Gasleitung und die entsprechende Infrastruktur bereits vorhanden ist
- in größeren Neubauten, wie z.B.: in Mehrfamilienhäusern mit ca. 3-4 Wohnungen gesehen.

Aufgrund der Konkurrenz zu Kompressionswärmepumpen werden die Marktchancen in Regionen mit hohen Strompreisen und jahresbezogenen Grenzwerten für Förderungen (wie z.B.: Deutschland) höher eingeschätzt als in Regionen wo dies nicht der Fall ist. Mit anderen Worten, je höher das Verhältnis Strom- zu Gaspreis ist, desto rentabler wird die gasbetriebene Wärmepumpe im Vergleich zu einem elektrisch angetriebenen Heizsystem.

3) Wie teuer darf eine 5-18 kW G-AWP im Vergleich zu einer Brennwertgastherme sein?

Maximal 2-3 Mal so teuer wie ein Gas-Brennwertgerät wobei eine Amortisationsdauer von max. 10-15 Jahren anzustreben ist. Auch in diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass es Wichtig wäre, dass die Gas-AWP in die Liste der förderbaren Heizsysteme für die Wohnbauförderung aufgenommen wird.

4) Was erwarten sich Installateure von einer G-AWP?

- Das Gerät sollte eine „Black Box“ für den Installateur sein.
- Das Gerät sollte wartungsarm, bzw. wartungsfreundlich sein.
- Es sollte lokale Ansprechpartner des Herstellers geben.
- Eine gute Kommunikation zwischen Hersteller und Installateuren ist wichtig.
- Der Hersteller muss den Markt bezüglich der Technologie sensibilisieren

5) Wie können Anwender und Installateure besser über die Technologie informiert werden?

- Demo-Geräte auf Messen und bei Langzeitstudien (geförderte „Pioniere“)
- Werbung
- Schulungen
- Die häufigsten Fragen der Kunden sind: „Was spare ich mir jährlich ein?“ und „Gibt es eine Förderung für das System?“. Diese Fragen sollten bei jeder Informationskampagne beantwortet werden.

7 Kontaktdaten



Projektleiter: Heinrich Huber / Johann Emhofer
Energy Department,
AIT Austrian Institute of Technology
Giefinggasse 2, 1210 Wien
johann.emhofer@ait.ac.at



Christoph Strohmaier
E-Sorp GmbH
Sportplatzweg 18, A-6336 Langkampfen
christoph.strohmaier@E-Sorp.com



René Rieberer
Institut für Wärmetechnik
TU Graz
Inffeldgasse 25/B, A-8010 Graz,
rene.rieverer@tugraz.at

IMPRESSUM

Verfasser

Projektleiter: Heinrich Huber / Johann Emhofer

AIT Austrian Institute of Technology
Energy Department
Giefinggasse 2, 1210 Wien
johann.emhofer@ait.ac.at

Projektpartner und AutorInnen

AIT Austrian Institute of Technology, Energy
Department
J. Emhofer

E-Sorp GmbH
A. Höger
C. Strohmaier

TU Graz, Institut für Wärmetechnik,
R. Wechsler
R. Rieberer

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sind für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH