

# ECOP ROTATIONSWÄRMEPUMPE AUF BASIS EINES JOULE PROZESSES

**Bernhard Adler, Rainer Mauthner**

ECOP Technologies GmbH, Hafenstraße 47-51, 4020 Linz, +43(0)1-86 510 62,  
office@ecop.at, www.ecop.at

**Kurzfassung:** Die Rotationswärmepumpe eröffnet Einsatzmöglichkeiten für Wärmepumpen, bei denen herkömmliche Kompressionswärmepumpen oft nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden können. Innerhalb der Rotationswärmepumpe (oder auch Rotation Heat Pump) strömt ein links laufender Joule Prozess, bei dem Verdichtung und Expansion mit mehr als 99% Wirkungsgrad umgesetzt werden. Es wird innerhalb der Maschine eine relativ große Leistung (in der Größenordnung der Wärmeleistung) zwischen Expansion und Verdichtung transportiert, weshalb die wirtschaftliche Anwendung dieser Art einer Wärmepumpe, erst durch diese hocheffiziente Umsetzung eröffnet wird. Dadurch ist nun ein neuer Wärmepumpenprozess für die Anwendung in der Industrie verfügbar, der eine effizientere Umsetzung ermöglicht.

**Keywords:** Rotationswärmepumpe, Industrie, Hochtemperaturwärmepumpe, Ecop

## Einleitung

Wärmepumpen werden seit geraumer Zeit als Raumheizung eingesetzt. Durch größere Heizflächen (Fußboden, Wandheizung) wurden die Vorlauftemperaturen verringert und somit für den Einsatz von Wärmepumpen interessant. Wesentlich für eine ökonomische Anwendung einer herkömmlichen Wärmepumpe ist eine geringe Temperaturdifferenz zwischen Quelle und Senke (physikalische Ursache) aber auch ein geringes Temperaturniveau welches bisher durch das Kältemittel vorgegeben ist. In der Industrie wird Wärme nicht nur zum Heizen der Räumlichkeiten benötigt, sondern auch für unterschiedliche Prozesse, welche oftmals höhere Temperaturen benötigen. Für diesen Anwendungsbereich ist eine herkömmliche Kompressionswärmepumpe nicht effizient verwendbar. Für diesen Bereich hat ECOP die Rotation-Heat-Pump (RHP) entwickelt, welche einerseits die hohen Temperaturen (bis 150°C) als auch die notwendige Charakteristik bei der Wärmeübertragung bietet. Das breite universelle Anwendungsgebiet liegt in dem, innerhalb der Rotation Heat Pump umgesetzten, links laufenden Joule Prozess begründet. Dieser Prozess wird bisher rechtslaufend in Gasturbinen oder Flugzeugtriebwerken angewendet.

## Funktionsweise

Wie bereits erwähnt handelt es sich bei dem Kreisprozess um einen linksläufigen Joule Prozess oder auch Brayton Prozess genannt, welcher vereinfacht bei der RHP innerhalb eines Rotors in fünf einzelne Prozessschritte unterteilt werden kann.

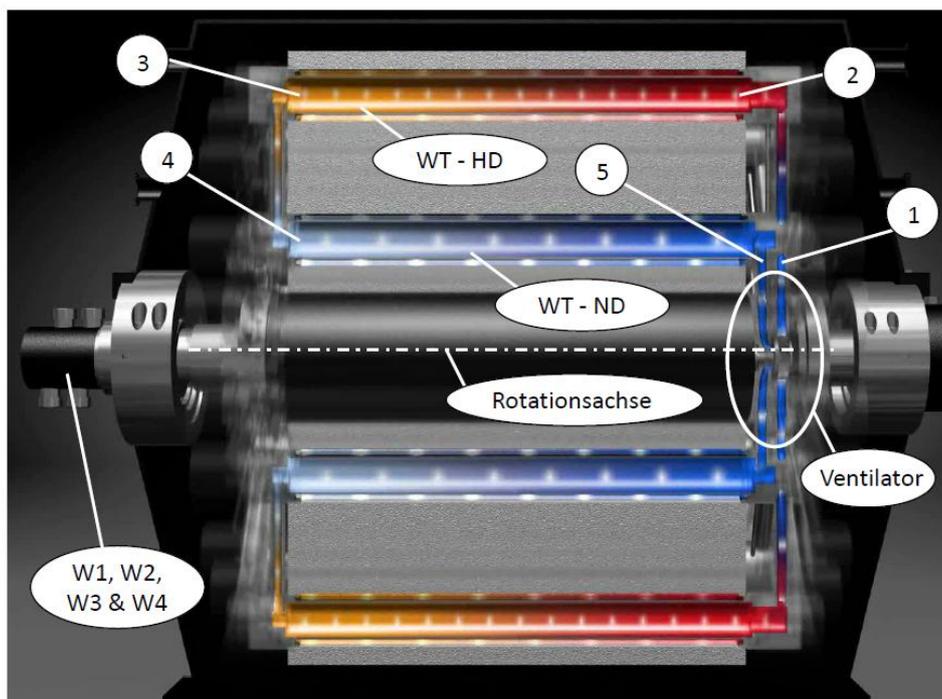


Abbildung 1: Rotationswärmepumpe mit den einzelnen Prozesspunkten

## 1 Prozessabschnitte

Die einzelnen Schritte des Kreisprozesses werden in Abbildung 1 innerhalb des Rotors sowie in Abbildung 2 in unterschiedlichen Diagrammen dargestellt. Der Prozess besteht vereinfacht durch zwei isobare und zwei isentrope Zustandsänderungen, und kann mit jedem beliebigen Gas als Arbeitsmittel umgesetzt werden. Es kann im Gegensatz zum herkömmlichen 2-Phasenprozess der Joule Prozess unabhängig vom Arbeitsmedium in allen Temperatur und Druckbereichen betrieben werden.

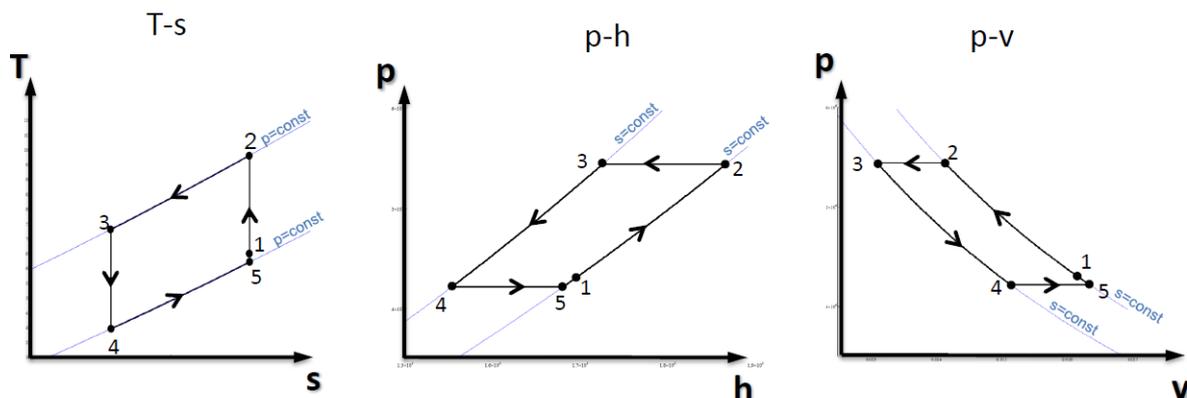


Abbildung 2: RHP Prozess in unterschiedlichen Diagrammen

### 1.1 Schritt 1

1 nach 2: In diesem Prozessschritt wird das Arbeitsmedium (Kältemittel) annähernd isentrop (reibungsfrei und adiabat) verdichtet. Durch diese Verdichtung steigen der Druck und die Temperatur des Arbeitsmediums auf ein höheres Niveau (um 30 bis 60K bei der RHP von ECOP). Für diese Verdichtung ist Exergie notwendig, welche über Wellenleistung

bewerkstelligt wird. Diese Verdichtungsleistung ist im Vergleich zu einer Kompressionswärmepumpe um den Faktor 5 bis 15 mal größer als bei herkömmlichen Kompressionswärmepumpen mit gleicher Wärmeabgabe. Diese Leistung muss jedoch nicht in Form von Exergie (z.B. elektrischen Strom) bereitgestellt werden.

### **1.2 Schritt 2**

2 nach 3: Durch das nun vorliegende höhere Temperaturniveau kann dem Arbeitsmedium Wärmeleistung entzogen werden. Dieser Wärmestrom kann der Betreiber der Anlage für seine Anwendung nutzen. Durch das Entziehen des Wärmestroms kühlt sich das Arbeitsmedium (15 bis 40K) ab.

### **1.3 Schritt 3**

3 nach 4: In diesem Schritt expandiert das Arbeitsmedium auf ein niedriges Temperaturniveau und gibt dabei Leistung ab. Die Temperatur um die das Kältemittel abkühlt wird, liegt etwa in der Größe, aber etwas darunter, wie es bei der Verdichtung im Schritt 1 erwärmt wurde. Dies ist erklärbar mit der Divergenz der Isobaren (vgl. 1.6). Mit der frei werdenden Leistung wird über die Welle die gesamte Leistung der Verdichtung von 1 nach 2 bereitgestellt.

### **1.4 Schritt 4**

4 nach 5: In diesem Schritt wird dem Arbeitsmedium Wärme zugefügt. Diese Wärmeleistung muss von einer Wärmequelle bzw. als "Wärmeabfall" wie bei anderen Wärmepumpenprozessen vorhanden sein.

### **1.5 Schritt 5**

5 nach 1: Hauptsächlich durch die Divergenz der Isobaren, und zu einem kleinen Teil durch den Reibungsverlust welcher sich als Druckverlust des Arbeitsmediums äußert, muss in diesem Schritt, das Arbeitsmittel durch eine weitere Verdichtung, Leistung in Form von Kompressionsleistung zugefügt werden. Die Temperaturerhöhung durch diese Verdichtung ist in etwa um den Faktor 10 geringer, als bei der Hauptverdichtung von 1 nach 2. Zum größten Teil ist dies auf die Divergenz der Isobaren zurückzuführen und zum anderen Teil durch die Reibungsverluste der Strömung während des Kreislaufes.

### **1.6 Divergenz der Isobaren**

Die Divergenz der Isobaren hat zur Folge, dass ein Gas, welches bei einem gleichen Ausgangsdruck auf den gleichen Enddruck expandiert, bei einer höheren Starttemperatur mehr Energie freisetzt als ein Gas bei einer niedrigeren Starttemperatur. Dies ist eine physikalische Eigenschaft die bei allen Gasen auftritt.

## **2 Analogie zur Gasturbine**

Eine Gasturbine welche auch in Flugzeugen verwendet wird, hat im Wesentlichen die gleichen Schritte mit folgenden Unterschieden. Die Gasturbine beginnt mit Schritt 3, gefolgt von Schritt 2 und endet nach dem Schritt 1. Somit ist der Prozess rechts drehend und offen. Durch die andere Richtung laufen die Vorgänge umgekehrt ab, d.h. im Schritt 2 wird dem Arbeitsmedium nicht Wärme entzogen sondern mittels Verbrennung Wärmeleistung

zugeführt. Durch die bereits erklärte Divergenz der Isobaren wird bei der Verdichtung von 4 nach 3 weniger Leistung benötigt als bei der Expansion von 2 nach 1 frei wird. Diese freiwerdende Leistung kann als Schubleistung genutzt werden.

### 3 Analogie zur Kompressionswärmepumpe

Die Ähnlichkeiten zu einer Kompressionswärmepumpe sind, dass nach einer Verdichtung, die Wärmeabfuhr erfolgt, gefolgt von einer Expansion und der anschließenden Wärmezufuhr. Ein großes Unterscheidungsmerkmal ist, dass das Kältemittel zwischen gasförmigen und flüssigen Aggregatzustand bei der Wärmezufuhr bzw. abfuhr wechselt und die freiwerdende Leistung der Expansion nicht genutzt wird. Bei praktisch allen Kältemitteln erfolgt das Verdampfen bzw. das Kondensieren bei gleicher Temperatur, vorausgesetzt der Druck bleibt dabei gleich, was in den meisten Fällen als Annäherung gilt. Dies hat zum einen die Eigenschaft, dass die Leistung für die Verdichtung des Arbeitsmediums im Vergleich des gesamten Wärmestromes geringer ist als beim Joule Prozess und die Temperatur des Arbeitsmediums beim Wärmeaustausch über weite Teile konstant bleibt. Ob das Vor- oder. Nachteile ist hängt im Wesentlichen von der Anwendung ab. Ganz wesentlich allerdings ist, dass ein Prozess bei einem tieferen Temperaturniveau sich stärker verändert als bei einem höheren Temperaturniveau und somit eine andere Leistungsziffer mit sich bringt (siehe Abbildung 3). Dadurch sind dem jeweiligen verwendeten Kältemittel Grenzen gesetzt. Viele Kältemittel haben als obere nutzbare Einsatzgrenze eine Temperatur von 90°C.

### 4 Leistungsziffer

Die Leistungsziffer auch COP (Coefficient of Performance) ist bei Wärmepumpen jener Faktor um die die genutzte Wärmeleistung größer ist als der elektrisch aufgewandte Input.

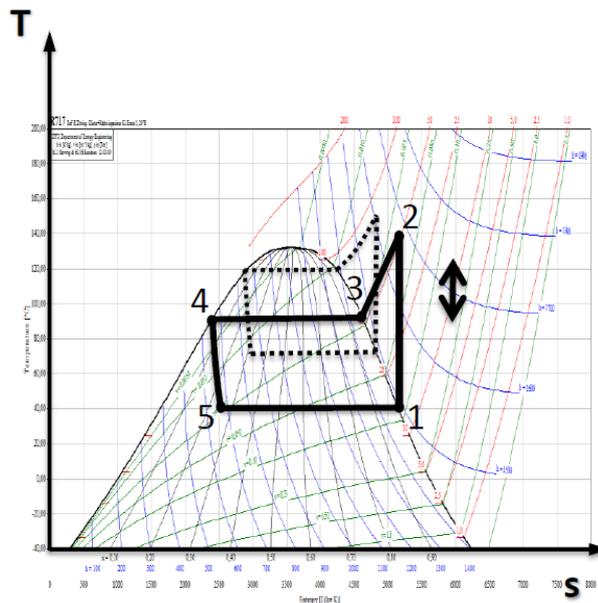


Abbildung 3: Schranken von Kompressionswärmepumpe durch Kältemittel

## Vorteile der RHP

Im Wesentlichen ergeben sich beim der RHP durch den Joule Prozess zwei wesentliche Vorteile.

### 1 Flexibilität des Temperaturniveaus

Da sich die Eigenschaften des Arbeitsmediums welches in der RHP verwendet wird, mit der Temperatur qualitativ nicht ändert, funktioniert der Prozess mit ein und derselben Maschine zwischen  $-20^{\circ}\text{C}$  und  $150^{\circ}\text{C}$  und darüber hinaus (siehe Abbildung 4), vorausgesetzt die Temperaturspreizung bleibt gleich.

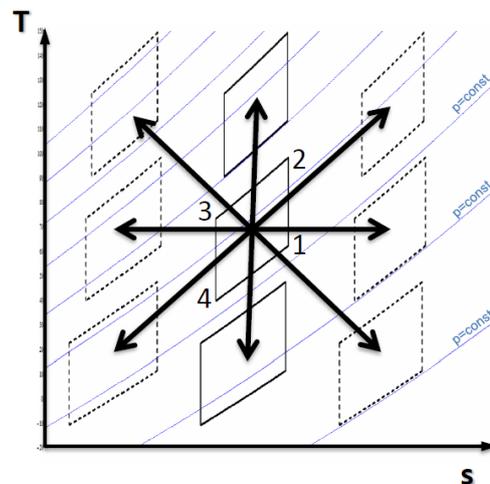


Abbildung 4: Flexibilität bei einem Joule Prozess ist Temperatur und Druck ist entkoppelt

### 2 Besserer COP durch gleitender Temperatur beim Wärmeaustausch

Ein weiter wesentlicher Vorteil der RHP liegt darin, dass der Wärmeaustausch unter gleitender Temperaturänderung erfolgt. Bei vielen Prozessen in denen Wärme bei höheren Temperaturen benötigt wird, findet bei dem Wärmeträgermedium kein Phasenwechsel statt, wodurch bei einem Wärmestrom eine Temperaturänderung stattfindet. Haben beide Medien (Kältemittel und Wärmeträgermedium) einen gleitenden Temperaturverlauf, kann bei einem Gleichgewicht der Wärmekapazitätmassenströme, die Temperaturdifferenz zwischen den zwei Medien gleich bleiben (vgl. Abbildung 5). Unter dem Wärmekapazitätmassenstrom wird das Produkt von Massenstrom ( $\dot{m}$ ) und der spezifischen Wärmekapazität ( $c_p$ ) des Mediums verstanden. In der Abbildung 5 ist die Temperatur über der Wärmetauscherlänge aufgetragen, bei dem die zwei Medien im Gegenstromprinzip die Wärme tauschen. Medium 1 (rot obere Linie) kühlt sich ab, während es das Medium 2 (blau untere Linie) erwärmt.

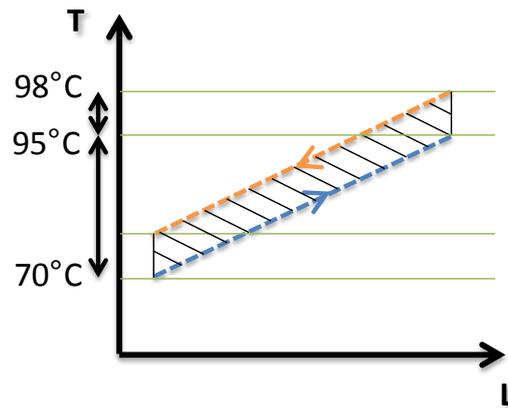


Abbildung 5: Wärmeaustausch bei gleitender Temperatur

Würde der Massenstrom nur des roten Mediums immer weiter erhöht werden, würde die Aufwärmkurve flacher werden. Bei einem theoretisch unendlich großen Massenstrom des roten Mediums wäre der Verlauf schließlich horizontal wie in Abbildung 6. Dies ist zugleich auch der Verlauf, wenn anstelle eines Ein-Phasen Mediums ein Medium verwendet wird, welches bei gleich bleibenden Druck und Temperatur kondensiert und dabei das blaue Medium erwärmt.

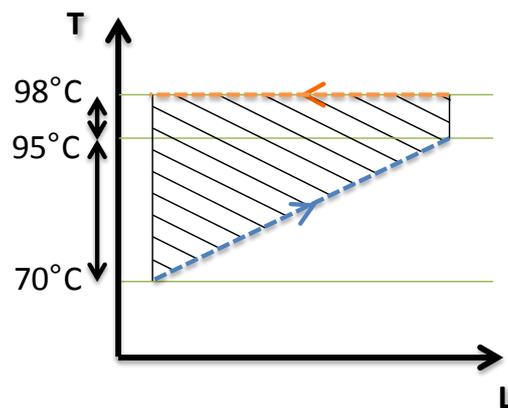


Abbildung 6: Wärmeaustausch mit einem Medium bei einem Phasenwechsel

Um einen Kreisprozess zu optimieren, ist eine Möglichkeit, die auftretenden Exergieverluste der einzelnen Schritte zu betrachten. Der Exergieverlust bei einem Wärmestrom lässt sich errechnen durch

$$\dot{E}_v = \dot{E}_{v1} + \dot{E}_{v2} \quad \text{Änderung der Exergie des Systems durch Wärmeaustausch}$$

$$\dot{E}_{v1} = \left(1 - \frac{T_u}{T_m}\right) \cdot \dot{Q}_1 = \left(1 - \frac{T_u}{\frac{T_{11} + T_{12}}{2}}\right) \cdot \dot{Q}_1 \quad \text{Exergieänderung Medium rot } (\dot{Q}_1 < 0 \quad \dot{E}_{v1} < 0)$$

$$\dot{E}_{v2} = \left(1 - \frac{T_u}{T_m}\right) \cdot \dot{Q}_2 = \left(1 - \frac{T_u}{\frac{T_{21} + T_{22}}{2}}\right) \cdot \dot{Q}_2 \quad \text{Exergieänderung Medium blau } (\dot{Q}_2 < 0 \quad \dot{E}_{v2} < 0)$$

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2$$

$$\dot{E}_v \dots \quad \text{Exergieänderung des Wärmeaustausches } (\dot{E}_v < 0 \text{ weil } T_{11} + T_{12} > T_{21} + T_{22})$$

$T_u...$  Umgebungstemperatur (oft mit 20°C festgelegt)

$T_{xy}...$  x steht für das Medium (1 ist das rote Medium im Diagramm, 2 das blaue)

y steht für den Ein(1) bzw. Austritt(2) des Mediums

Diese Gleichungen zeigen, dass der gesamte Exergieverlust eines Wärmeaustausches geringer wird, wenn die Temperaturverläufe der beiden Medien möglichst nah beieinander liegen, bzw. die Fläche zwischen den zwei Linien möglichst klein ist. Dies lässt sich bewerkstelligen, wenn der gleitende Temperaturverlauf eines Wärmeträgers auch im Arbeitsmittel realisiert wird. Vor allem durch diesen Effekt erreicht die RHP – welche einen Joule Prozess umsetzt (Abbildung 2) - im Vergleich zu einem 2-Phasenprozess (Abbildung 3) bei derartigen Anwendungen real einen 100% höheren COP.

## Theoretische Umsetzung

Die wichtigste Voraussetzung um einen Joule Prozess umzusetzen, ist die Verdichtung (1.1) und Expansion (1.3) möglichst effizient zu realisieren. Diese Prozessschritte werden bei der RHP bereits in voll funktionsfähiger Maschine mit einer Effizienz größer 99% gemessen.

### 1 Verdichtung durch Rotation

Bei herkömmlichen Radial- oder Axialverdichter, wird das Gas auf eine hohe Geschwindigkeit gebracht und im Anschluss die Geschwindigkeit in Druck umgewandelt. Diese hohe Geschwindigkeit führt zu hohen Reibungsverlusten, weshalb üblicherweise Wirkungsgrade von ca. 80% realisiert werden können. Maßgeblich für die Verluste sind die relativen Geschwindigkeiten zwischen Gas und der umgebenen Wand. Diese physikalische Gesetzmäßigkeit wird bei der RHP ausgenutzt, da innerhalb der Rotationswärmepumpe zwar hohe absolute Geschwindigkeiten herrschen, jedoch das Arbeitsmedium zur Wand nur sehr geringe aufweist, da alle gasführenden Bauteile (wie z.B. die Wärmetauscher) mit derselben Drehzahl rotieren.

Bei der RHP erfolgt die Verdichtung durch das Prinzip wie bei einem hydrostatischen Druckaufbau (siehe Abbildung 7).

Auf der Erde nimmt in der Luft, aber auch im Wasser der Druck über der Tiefe zu. Wird eine konstante Dichte in Abhängigkeit des Druckes angenommen (Medium wird als inkompressibel angesehen z.B. Wasser), nimmt der Druck mit der Tiefe in einem See linear zu (vgl. Gleichung 1). Auf diese Art erfolgt ein Druckaufbau, ohne dass sich das Medium vorher bewegen muss und dadurch Reibverluste verursacht. Diese Idee weitergedacht, kann in einem Modell wie in Abbildung 7 mit einem minimalen aufgebrauchten Druck auf der einen Seite, beide Wassersäulen in Bewegung gebracht werden. Verbindet man die oberen Enden, ergibt sich ein Kreisprozess bei dem der Druck zu und wieder abnimmt.

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad \text{gilt bei konstantem } \rho \quad \text{(Gleichung 1)}$$

p... Druck

$\rho$ ... Dichte

g... Erdbeschleunigung

h... Tiefe

Da eine Verdichtung nach diesen Prinzip lediglich die drei Parameter zum Variieren anbietet (g,h und  $\rho$ ) und unsere Forderung jedoch folgende sind,

- die Maschine muss auf der Erde in Betrieb genommen werden,
- die Maschine soll in einer Firmenhalle Platz finden,

und auch die Dichte bei den unterschiedlichsten Kältemittel kann nicht beliebig erhöht werden, muss die Druckerhöhung in einem rotierenden System erfolgen (siehe Abbildung 8).

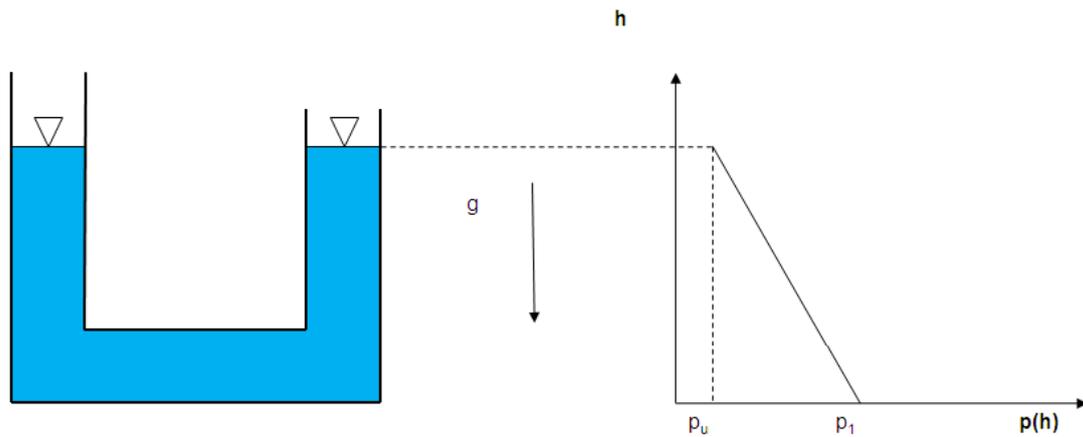


Abbildung 7: hydrostatischer Druckverlauf

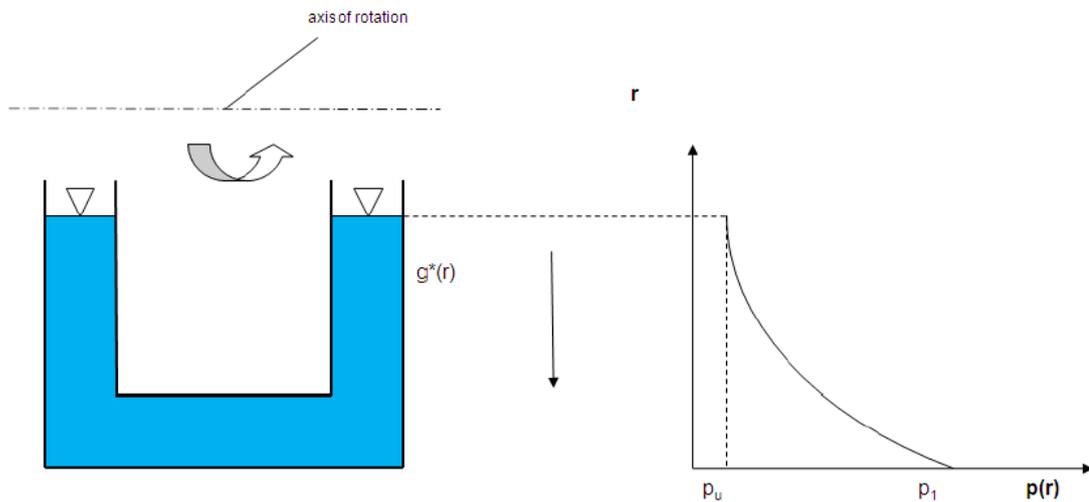


Abbildung 8: Druckaufbau in einem rotierenden System

$F_z = m \cdot r \cdot \omega^2$  ... radial wirkende Kraft (Zentrifugalkraft) auf einen Körper wirkend wenn sich dieser in einem rotierenden System befindet

$$dF_z = r \cdot \omega^2 \cdot dm$$

$$dp = \rho \cdot r \cdot \omega^2 \cdot dr \quad \text{Druckänderung bei gleich bleibendem Querschnitt}$$

daraus resultiert der Druckverlauf eines inkompressiblen Mediums wie z.B. Wasser in einem rotierenden System nach

$$p(r) = \frac{\rho \cdot r^2 \cdot \omega^2}{2} + p_0 \quad (\text{Gleichung 2})$$

Die zusätzliche Verdichtung welcher unter 1.5 beschrieben wird, ist somit notwendig den Prozess aufrecht halten zu können. Gleichung 2 zeigt, dass der Durchmesser sowie die Drehzahl für den erzeugten Druck gleichviel beitragen. Handelt es sich bei dem Arbeitsmedium um ein Gas, gilt die Vereinfachung mit konstanter Dichte in Abhängigkeit des Druckes nicht mehr. Dies hat aber auch zur Folge, dass sich ein kompressibles Medium durch die Rotation verdichtet und sich gleichzeitig erwärmt. Ein inkompressibles Medium ändert durch die Verdichtung kaum die Temperatur. Es bietet sich somit an, dass es sich bei dem Arbeitsmedium um ein Gas handelt und für den Zu- und Abtransport der Wärme ein inkompressibles Medium verwendet wird. Mit dieser reibungsarmen Verdichtung des Gases durch den hydrostatischen Druckaufbau ist es möglich, dass Leistung für die Verdichtung von der Expansion des Gases bereitgestellt wird. Um diesen Einfluss zu verdeutlichen wird der Kreislauf mit den Daten wie in Abbildung 9 dargestellt, durchgerechnet. Für diese Berechnung werden jegliche andere Verluste außer Acht gelassen, da es nur um den starken Einfluss des Verdichtungswirkungsgrades geht. Für dieses Berechnungsbeispiel wurde Argon als Arbeitsmittel verwendet. Aus den angenommenen Rahmenbedingungen ergeben sich für den idealisierten Prozess die Stoffwerte[1] welche in Tabelle 1 zu finden sind.

Tabelle 1: Stoffwerte von Argon

<b>Argon</b>	<b>Temperatur T in °C</b>	<b>Druck p in bar</b>	<b>spez. Entropie s in kJ/(kg K)</b>	<b>spez. Enthalpie h in kJ/kg</b>
1	94,4	46,900	3,1699	185,53
2	128	58,345	3,1699	202,97
3	103	58,345	3,1340	189,03
4	69,2	46,135	3,1340	171,59
5	92	46,135	3,1699	184,29

Bei diesem idealisierten Kreislauf ist angenommen, dass es zu keinen Reibungsverlusten innerhalb des Gases bei der Verdichtung und Expansion kommt.

Wird ein Verdichtungswirkungsgrad von 80% angesetzt, verändert sich die Leistungsziffer des gesamten Prozesses von 10,3 auf 2,34. Die Abnahme des Verdichtungswirkungsgrades geht daher überproportional in die Leistungsziffer ein.

Setzt man nun jedoch 99% Verdichtungswirkungsgrad an, so sinkt die Leistungszahl des gesamten Prozesses nur noch von 10,3 auf 9,09. Daher ist es für den Joule Prozess – eingesetzt für Wärmepumpen – essentiell die Verdichtung mit einem hohen Wirkungsgrad umzusetzen.

Die Werte für diese zwei Kreislaufzustände sind in der Tabelle 2 dargestellt.

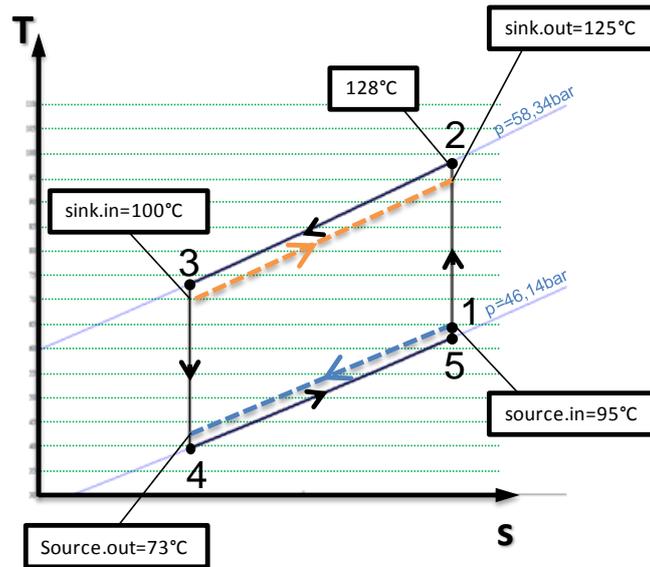


Abbildung 9: Darstellung des Joule-Prozesses der Werte aus Tabelle 1

Tabelle 2 Einfluss Verdichtungswirkungsgrad auf COP

Wärmeabgabe 1MW	Wirkungsgrad Verdichter 100%	Wirkungsgrad Verdichter 80%	Wirkungsgrad Verdichter 99%
$\dot{P}_{\text{Verdichtung}}$ in kW	1319	1649	1332
$\dot{P}_{\text{Expansion}}$ in kW	1222	1222	1222
Nettoleistung in kW	97	427	110
Leistungsziffer	10,3	2,34	9,09

Die bereits angesprochene Flexibilität des Joule Prozesses wird in Tabelle 3 sichtbar. Durch die Änderung der Temperaturen von Senke und Quelle kommt es beim 2-phasen Prozess mit NH<sub>3</sub> als Kältemittel zu deutlichen Änderungen in den einzelnen Kategorien. Besonders auffällig ist der Anstieg des Druckes welcher beim Joule Prozess beinahe unverändert bleibt.

Tabelle 3 Auswirkung auf COP bei veränderten Rahmenbedingungen

<b>2-phasen Prozess - NH<sub>3</sub></b>	<b>Senke 70/95 in °C Quelle 65/43 in °C</b>	<b>Senke 100/125 in °C Quelle 95/73 in °C</b>	<b>Änderung in %</b>
$\dot{m}$ in kg/s	0,9	1,13	25
$\dot{V}$ in m <sup>3</sup> /s	0,0708	0,0407	42,5
$p_{\max}$ in bar	54,402	91,95	69
$\dot{Q}_{\text{Überhitzer}}$ in kW	191,8	304,2	58,6
$\dot{Q}_{\text{Kondensator}}$ in kW	702,4	533,5	24
$\dot{Q}_{\text{Unterkühler}}$ in kW	105,8	162,3	53,4
Druckverhältnis	3,31	2,651	19,9
<b>Joule Prozess mit Argon</b>	<b>Senke 70/95 in °C Quelle 65/43 in °C</b>	<b>Senke 100/125 in °C Quelle 95/73 in °C</b>	<b>Änderung in %</b>
$\dot{m}$ in kg/s	71,07	71,74	0,9
$\dot{V}$ in m <sup>3</sup> /s	1,16	1,175	1,2
$p_{\max}$ in bar	54,402	59,141	8,7
$\dot{Q}$ in kW	1000	1000	0
Druckverhältnis	1,290	1,265	1,9

## Praktische Umsetzung und Ausblick

Es konnte bereits die hohe benötigte Effizienz für die Verdichtung innerhalb der RHP gemessen werden und wurde bereits im Zuge eines VDI Forums gemeinsam mit der TU-Wien publiziert [2]. Aktuell wird das erste Produkt „Rotation Heat Pump K7“ mit einer Wärmenennleistung von 700kW gebaut, und soll noch in diesem Jahr an einem realen Standort implementiert werden (siehe Abbildung 10). Es wird aktuell eine Serienproduktion aufgebaut und ab 2017 wird dieses Produkt frei am Markt verfügbar sein.

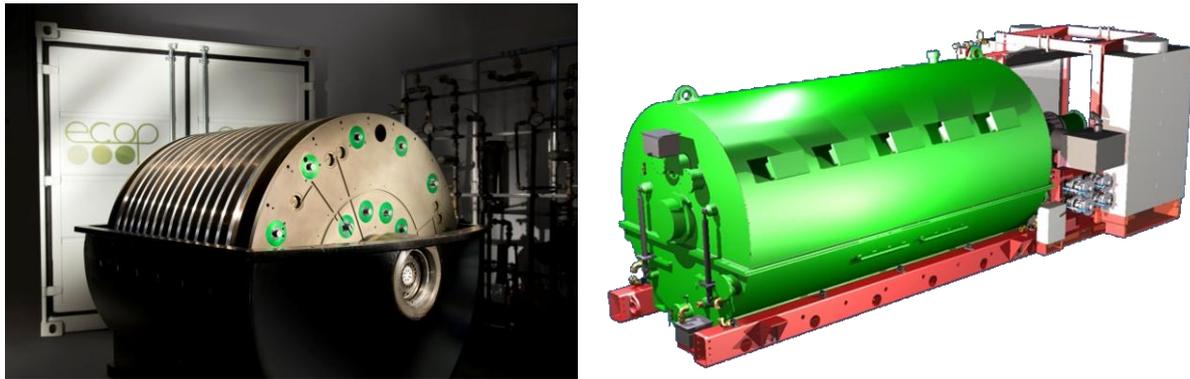


Abbildung 10: links eine Testanlage sowie das erste Produkt „Rotation Heat Pump K7“

Diese Maschinen können überall da eingesetzt werden, wo herkömmliche Wärmepumpen aufgrund der hohen Temperatur nicht verwendet werden können, oder wo aufgrund der hohen Temperaturunterschiede zwischen Ein und Ausgang der Wärmetauscher, der klassische 2-Phasenprozess aufgrund der nicht vorhandenen sensiblen Temperaturcharakteristik weniger effizient umgesetzt werden kann. Bei Anwendungen mit stark schwankenden Temperaturen in der Wärmequelle und oder Senke, gegeben durch die Jahreszeiten (z.B. Sommer Winter), kann die RHP problemlos mit hoher Effizienz eingesetzt werden.

Wir danken unseren Unterstützern, dabei besonders unsere Investoren: Hrn. DI Papst, Hrn. Prof. Mirow, FSP Beteiligungsmanagement GmbH sowie dem Oberösterreichischer Hightechfond und den unterstützenden Förderstellen, insbesondere die FFG und das ZIT.

### **Literatur:**

- [1] Nist: <http://webbook.nist.gov/chemistry>, fluid database, Homepage of National Institute of Standards and Technology (NIST), 27.01.2014
- [2] B.Adler, S.Riepl - ECOP Technologies GmbH, Prof. Ponweiser – TU Wien, VDI-Forum 2015: Großwärmepumpen: Projekte, Erfahrungen und Perspektiven, „ECOP industrielle Wärmepumpe mit Edelgaskreislauf bis 150 °C“, 16.04.2015, Linz
- [3] B.Adler, S.Riepl – ECOP Technologies GmbH, 11th IEA Heat Pump Conference, „HEAT PUMP FOR PROCESS INDUSTRY“, May 12-16 2014, Montréal (Québec) Canada