



Bryan Friedrich

Maschinenbau

08.04.2020

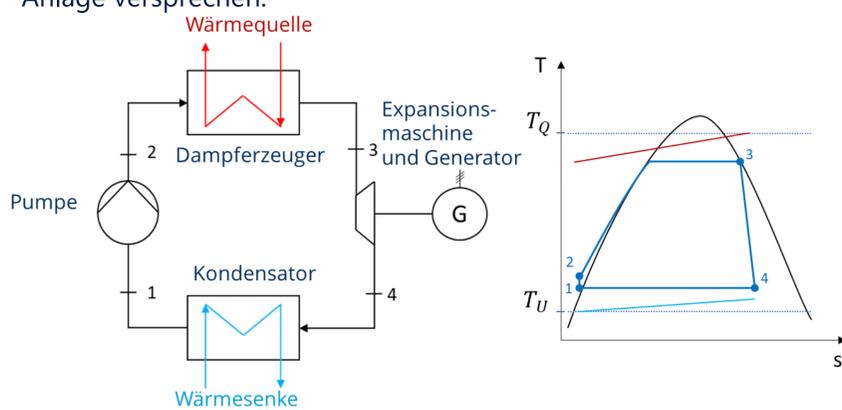
Betreuer: Dipl.-Ing. Benedikt Meyer

**Machbarkeitsuntersuchung zu einem Niedertemperatur-Clausius-Rankine-Prozess mit Ammoniak zur Abwärmeverstromung**

600

**Motivation**

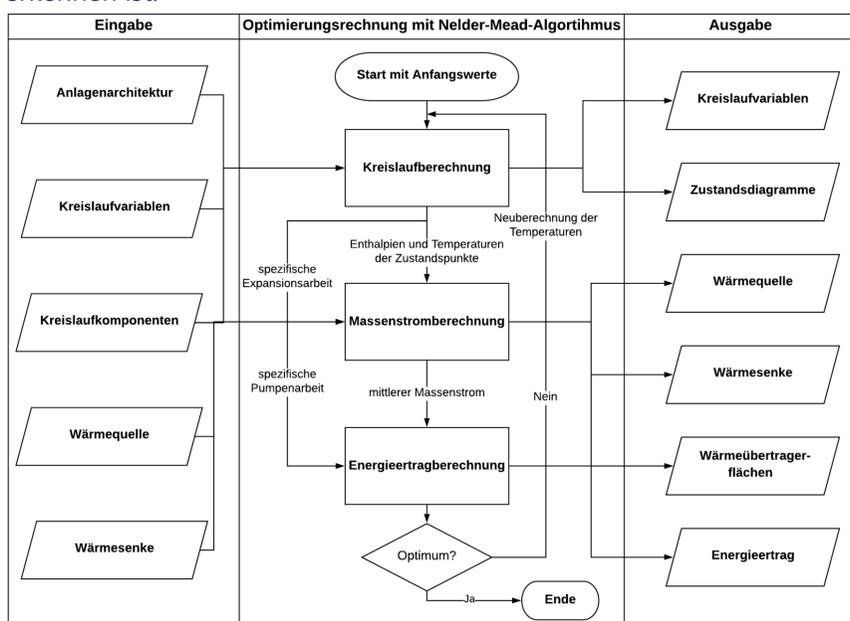
ORC-Anlagen dienen zur Verstromung von Nieder- und Mitteltemperaturwärme und setzen prinzipiell auf den Dampfkraftprozess. Allerdings wird in ORC-Anlagen Wasser durch ein organisches Fluid mit niedriger Verdampfungstemperatur ausgetauscht. Dabei wird Ammoniak als Arbeitsfluid nur vereinzelt eingesetzt, welches technisch gesehen kein organisches Fluid ist, aber als ORC werden in der Regel alle Anlagen bezeichnet, welche nicht Wasser nutzen. Die geringe Nutzung von Ammoniak liegt unter anderem an der hohen Verdampfungs-enthalpie und der Notwendigkeit einer deutlichen Überhitzung für eine trockene Expansion. Allerdings besitzt Ammoniak eine gute Umweltverträglichkeit und Isentropenverläufe, welche sich als günstig für einen Rechtsprozess erweisen können. Die weite Verbreitung von Ammoniak in der Gewerbekältetechnik sorgt für ein großes Produktangebot von Kreisprozesskomponenten, welche für ORC-Anlagen verwendet werden können und eine gute Umsetzung einer Anlage versprechen.



Anlagenschaltbild und T-s-Diagramm einer ORC-Anlage mit Ammoniak

**Berechnungsmodell**

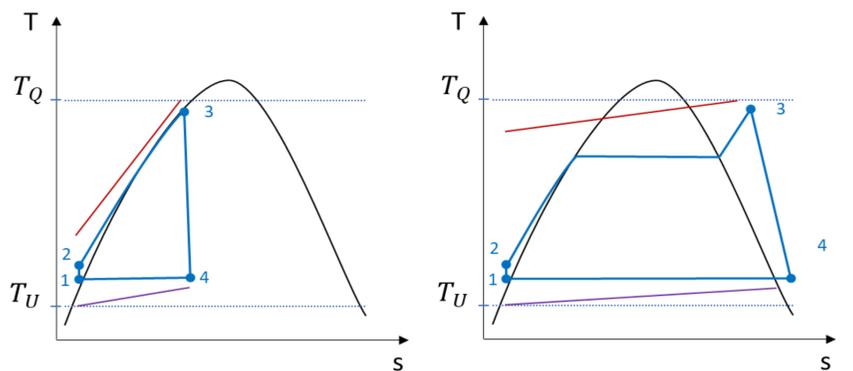
Zum Vergleich verschiedener Anlagenarchitekturen wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Berechnungsmodell für ORC-Anlagen entwickelt. Mit diesem wird für eine gegebene Wärmequelle, Wärmesenke und Anlagenarchitektur die optimale Verdampfungs- und Kondensationstemperatur ermittelt, um eine maximale Nettoleistung zu erreichen. Eine Optimierung der Verdampfungs- und Kondensationstemperatur ist notwendig, weil hohe Werte zwar zu einem besseren thermischen Wirkungsgrad führen, während die Ausnutzung der Wärmequelle und damit die Energieausbeute sinkt. Die Wärmequelle und Wärmesenke können im Modell neben konstanten auch variable Werte annehmen, wodurch ein Jahresverlauf simuliert werden kann. Die Berechnung erfolgt in drei Schritten, wie im Fließschema unten zu erkennen ist.



Fließschema des Berechnungsmodells

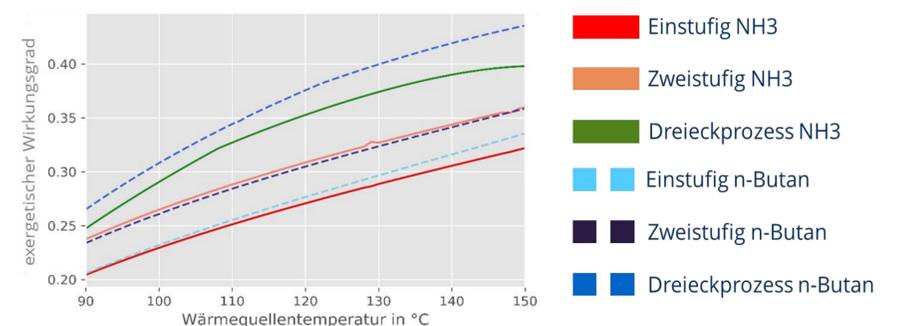
**Architekturvergleiche**

Die Untersuchung umfasste 5 Anlagenarchitekturen und wurde für einen Bereich der Wärmequellentemperatur von 90 °C bis 150 °C durchgeführt. Der Dreieckprozess und die partielle Verdampfung stellen sich im thermodynamischen Vergleich als die exergetisch effizientesten Varianten heraus. Wegen der hohen Drucklagen und des hohen Flüssigkeitsanteils bei der Expansion, können diese nur schwer technisch umgesetzt werden. Von den übrigen Anlagenarchitekturen eignet sich der Prozess mit einfacher Überhitzung am besten für eine ORC-Anlage, weil mit geringen Bauaufwand eine gute Effizienz erzielt wird. Bei optimaler Einstellung der Überhitzung ist eine Effizienzsteigerung von bis zu 3,9 % gegenüber einen nichtüberhitzten Kreislauf möglich. Hierbei ist jedoch die Adaptionsfähigkeit bei variablen Wärmequellentemperaturen zu beachten, die bei steigender Überhitzung sinkt.



T-s-Diagramm für den Dreieckprozess (rechts) und den überhitzten Kreislauf (links)

Beim Vergleich mit dem branchenüblichen Arbeitsfluid n-Butan konnten Schwächen in der Performance bei hohen Temperaturen festgestellt werden, welche auf eine schlechtere Nutzung der Wärmequelle zurückzuführen sind. Ein großer Vorteil von Ammoniak stellen die bis zu viermal niedrigeren Volumenströme dar, wodurch kleinere Bauteile benötigt werden. Damit eignet sich der Einsatz von Ammoniak insbesondere bei Anlagen mit hoher Leistung und niedriger Wärmequellentemperatur.



Vergleich des exergetischen Wirkungsgrads von Ammoniak und Butan

**Zusammenfassung**

In dieser Arbeit wurde die Machbarkeit von Ammoniak als Arbeitsfluid in einem Clausius-Rankine-Prozess im Temperaturbereich von 90 bis 150 °C und dem Leistungsbereich von 20 bis 110 kW untersucht. Dabei wurde ein Berechnungsmodell für ORC-Anlagen erstellt. Im Vergleich der Anlagenarchitektur wurde festgestellt, dass aktuell der Kreislauf mit Überhitzung am besten für eine ORC-Anlage mit Ammoniak als Arbeitsfluid geeignet ist. Diese Anlagenarchitektur ist unter den technisch umsetzbaren Konzepten die effizienteste bei geringem Bauaufwand. Im Vergleich zu anderen Arbeitsfluiden eignet sich Ammoniak insbesondere für Anlagen mit hoher Leistung und bei niedrigen Wärmequellentemperatur. Hinsichtlich der technischen Umsetzbarkeit kann für Wärmeübertrager und Pumpe auf Komponenten aus der Chemieindustrie und Ammoniakkältetechnik zurückgegriffen werden. Für die Expansionsmaschine stellen sich auf den Expanderbetrieb umfunktionierte Schraubenverdichter als die beste Lösung heraus. Aufgrund früherer Umsetzungen erscheint die Modifikation dieser Maschinen machbar, so dass der Bau einer Anlage mit auf dem Markt befindlichen Komponenten möglich ist.