

# Design und Auslegung einer Hochtemperaturwärmepumpe

Diplomand



Zarko Stojanovic

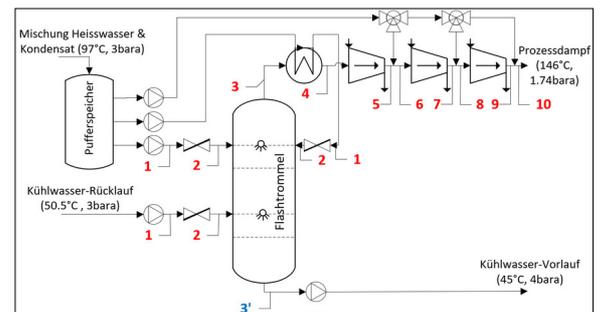
**Aufgabenstellung:** Für eine bestehende Produktionsanlage soll eine Hochtemperatur-Wärmepumpe entwickelt werden, mit deren Hilfe die Prozessabwärme als Wärmequelle genutzt und zu nutzbarer Prozesswärme angehoben wird. Aufgrund betrieblicher Schwankungen der Prozesswärme soll ein geeigneter Thermischer Speicher ausgewählt werden. Der Prozess soll in Form eines Verfahrensfließbildes festgehalten werden. Der Massen- und Energiefluss sowie die grobe Auslegung der Apparate werden berechnet. Auf der Basis des Verfahrensfließbildes sollen die Apparatekosten ermittelt und eine Kostenabschätzung des CO<sub>2</sub>- und Energieeinsparpotenzials vorgenommen werden. Abschliessend soll die Wirtschaftlichkeitsrechnung erstellt und ausgewertet werden.

**Ergebnis:** Basierend auf dem Prinzip der Thermodynamik wurde eine Hochtemperatur-Wärmepumpe entwickelt, die in die Praxis umgesetzt werden kann. Als wichtiges verfahrenstechnisches Gerät wird eine Flashtrommel eingesetzt, um Dampf für Kompressoren zu erzeugen und Wasser, das die für den Kühlwasserprozess erforderliche Temperatur erreicht. Der Druck der in der Flashtrommel zugeführten Massenströme wird reduziert, so dass sie in den Nassdampfbereich gelangen. Im Nassdampfgebiet sind Temperatur und Druck aneinandergelockt. Der Druck wird so gewählt, dass die Temperatur 45°C entspricht, damit der flüssige Teil aus der Flashtrommel als Prozesskühlwasser verwendet werden kann. Der Dampfanteil, als Sattdampf wird vor der Zuführung in den Kompressor mit einem Wärmetauscher um 5K erwärmt, um sicherzustellen, dass dem Kompressor keine schädigende Feuchtigkeit zugeführt wird. Es folgt eine dreistufige Dampfkompresseion, mit Wasser als Zwischeneinspritzungen zur Kühlung des Heissdampfes. Als Ergebnis erhalten wir Dampf mit erforderlichem Druck und Temperatur für den Prozess. Als Dampfspeicher wird ein Gefällespeicher gewählt, der den Vorteil hat, dass die gespeicherte Energie in Form von Sattdampf schnell zur Verfügung steht. Ein separater kleinerer Kompressor nutzt einen Teil des überhitzten Dampfes nach Kompressor 3 zur Beladung des Dampfspeichers und erhöht dadurch den Druck. Die Kosten des Projekts werden mit einer Genauigkeit von +/-30% auf 4,96 Millionen CHF festgelegt.

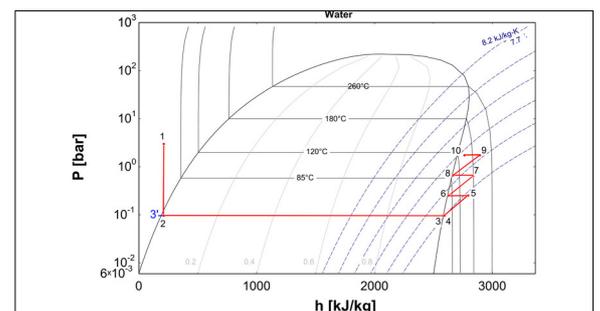
**Fazit:** Das konzipierte Verfahren lässt sich technisch in die Praxis umsetzen und stellt den erforderlichen Energie- und Massenstrom bereit. Die kontinuierlichen und periodischen Schwankungen des Dampfbedarfs können durch einen Gefällespeicher ausgeglichen werden. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung liefert ein negatives Ergebnis. Die jährlichen Kosten für die Anlagewartung, die Stromkosten der Anlage und die jährliche Zinsabschreibung sind gemeinsam höher als die

jährlichen Kosteneinsparungen durch die CO<sub>2</sub>-Abgabe. Das Jahresnettoeinkommen beträgt somit minus 512'800 CHF. Nach 20 Jahren Nutzung erhalten wir einen negativen Kapitalwert von 10'256'007 CHF. Unter diesen Voraussetzungen lässt sich die Anlage nicht amortisieren. Als negativer Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsberechnung werden die niedrigen CO<sub>2</sub>-Abgaben, hoher Kalkulationszinssatz und die nicht Berücksichtigung der Produktionsengpässe des aktuellen Systems an warmen Sommertagen angesehen.

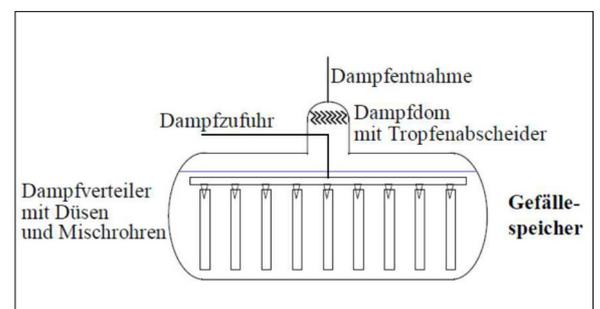
**Schematische Darstellung ohne Dampfspeicher. Die Zustandszahlen entsprechen den Zahlen im Ph-Diagramm.**  
Eigene Darstellung



**Ph-Diagramm zur Veranschaulichung der Dampf- und Kühlwasser Erzeugung.**  
Eigene Darstellung



**Ruths-Dampfspeicher (Gefällespeicher)**  
<http://berndglueck.de/Waermespeicher>



**Examinator**  
Prof. Stefan Bertsch

**Experte**  
Max Bartholdi,  
Viessmann (Schweiz)  
AG / GB  
Grosswärmepumpen,  
Worb, BE

**Themengebiet**  
Thermo- und  
Fluidodynamik,  
Anlagenbau und  
Projektmanagement,  
Wärmepumpen und  
Geothermie,  
Mechanische  
Verfahrenstechnik