

## Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit ist das Studium der zweifachen Rankine-Kreisprozesse, welche einen signifikant höheren Wirkungsgrad gegenüber konventionellen kohlegefeuerten Dampfkraftwerken aufweisen. Die vorliegende Dissertation beinhaltet zwei verschiedene Untersuchungen.

Erstens wird das Prozessdesign und im Besonderen die effiziente Kombination der Rauchgas-, Kalium- und Wasserströme in den Komponenten des Dampferzeugers, wie Economizer, Verdampfer und Überhitzer zur Reduktion der Exergievernichtung betrachtet. Basierend auf einer Literaturlauswertung wird ein Referenzprozess für einen kohlegefeuerten zweifachen Rankine-Kreisprozess mit Kalium und Wasser als Arbeitsmedien entwickelt und es werden vergleichenden Exergieanalysen durchgeführt, um die thermodynamische Güte verschiedener Varianten zu ermitteln. Für die Simulation der Prozesse und die Berechnung der Werte der einzelnen Ströme wird die Software CycleTempo verwendet. Dieses Programm löst das Gleichungssystem bestehend aus Massen- und Energiebilanzen simultan und enthält thermodynamische Zustandfunktionen für die spezifische Enthalpie und Entropie aller verwendeten Stoffe. Notwendige Annahmen basieren überwiegend auf Literaturdaten oder werden in der Arbeit diskutiert. Der erste Teil der Untersuchung enthält die Exergieanalyse der Gesamtprozesse, welche die Rauchgasströme sowie die Kalium- und Wasserkreisläufe umfasst. Eine Designanalyse und Sensitivitätsstudien zeigen die Auswirkungen von Stromkombinationen und Schlüsselparametern auf den Nettowirkungsgrad, welcher 50 % übersteigt.

Zweitens beschreibt die Arbeit sowohl die Analyse eines zweifachen Rankine-Kreisprozesses, als auch eines konventionellen kohlegefeuerten Dampfkraftwerks. Die Hauptfrage ist, ob es möglich ist, die erwarteten höheren Investitionen, die mit den zusätzlichen Komponenten verbunden sind, durch einen geringeren Brennstoffverbrauch während des Betriebes zu kompensieren. Mit einer Exergieanalyse wird das Konzept eines zweifachen Rankine-Kreisprozesses mit Kalium und Wasser als Arbeitsmedien mit einem konventionellen Kohlekraftwerk verglichen. Darüber hinaus wird eine exergoökonomische Analyse durchgeführt, um die Entstehung und den Verlauf der Kosten in den Systemen zu verstehen. Mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen kann die Arbeit zeigen, wie sich unsichere ökonomische Parameter wie Auslastung, Brennstoffkosten oder Investitionen auf die Stromgestehungskosten auswirken. Die vergleichende exergoökonomische Analyse zeigt, dass das Konzept eines zweifachen Rankine-Kreisprozesses zur Brennstoff- und Emissionsreduktion geeignet und wirtschaftlich sinnvoll ist. Unter bestimmten Bedingungen, wie einer ausreichenden Anzahl von äquivalenten Jahresvollbenutzungsstunden, ergibt sich ein Vorteil gegenüber einem konventionellen kohlegefeuerten Dampfkraftwerk.

## Abstract

The aim of this work is to study a binary Rankine process with a significantly higher efficiency compared to a conventional coal-fired power plant. This PhD thesis includes two different investigations.

First the thesis focuses on the design of the process and especially on an efficient combination of flue gas, potassium, and water streams in the components of the steam generator, such as economizers, evaporators, and superheaters, to decrease the overall exergy destruction. Based on a literature review, a base case for a coal-fired binary Rankine cycle with potassium and water as working fluids is developed and, in order to evaluate the thermodynamic quality of several variants, comparative exergy analyses are conducted. A simulation of the process and calculation of the values for the streams were carried out by using the flow-sheeting program CycleTempo, which simultaneously solves the mass and energy balances and contains property functions for the specific enthalpy and entropy of all the substances used. Necessary assumptions are predominantly based on literature data or they are discussed in the thesis. The first part of the investigation contains an exergy analysis of the overall processes that includes the flue gas streams as well as the potassium and water cycles. A design analysis and sensitivity studies show the effects of stream combinations and key parameters on the net efficiency, which is higher than 50 %.

Second the thesis describes an analysis of both a binary and a conventional Rankine cycle for a coal-fired power plant. The major question is whether it is possible to compensate the expected higher capital investment associated with additional components by a lower fuel consumption during the operation. By implementing an exergy analysis, the concept of a binary Rankine cycle with potassium and water as working fluids is compared to a conventional coal-fired power plant. Furthermore, an exergoeconomic analysis is carried out in order to understand the formation and flow of costs in the systems. With the help of sensitivity analyses, this work demonstrates the impact of uncertain economic parameters, such as fuel cost, capacity factor, or capital investment on the levelized cost of electricity. The comparative exergoeconomic analysis shows that the concept of a binary Rankine cycle is suitable for fuel and emission reduction and economically viable. Under certain conditions, such as a sufficient number of annual equivalent full-load hours, an advantage arises over a conventional coal-fired power plant.