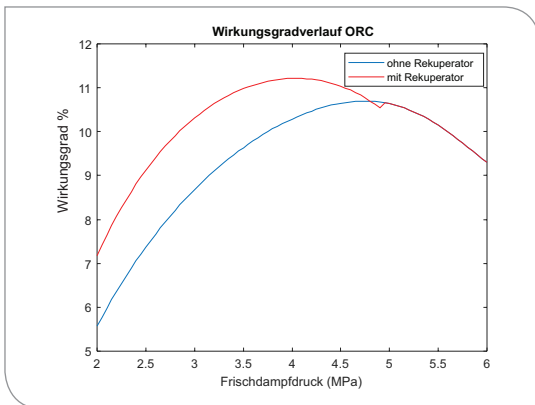
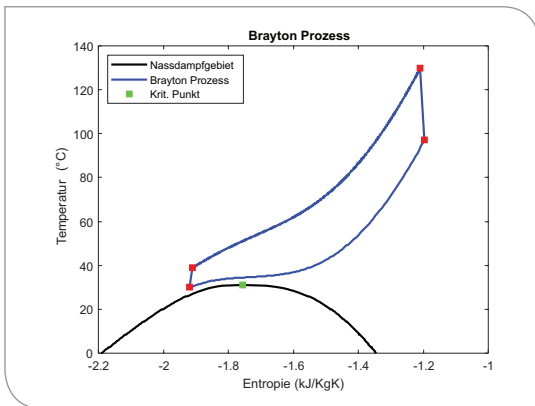
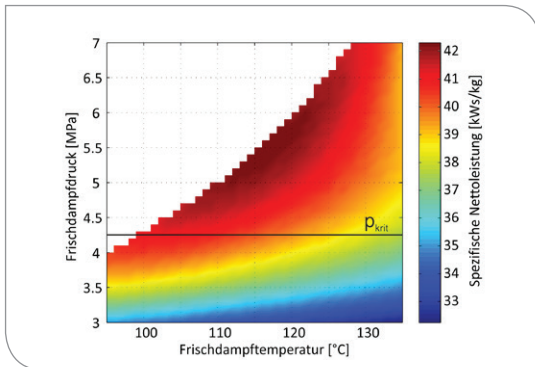


- Vor- und Rücklaufemperaturdifferenz von Wärmetauscher, Kondensator und Rekuperator
- An die Kühlflüssigkeit abgeführte Wärmemenge, Austrittstemperatur und Massenstrom der Kühlflüssigkeit.



### Anwendungen von GeSi

- Thermodynamische Untersuchung des stationären Voll- und Teillastverhaltens von ORC bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen.
- Komponenten Charakterisierung und Optimierung.
- Generierung von Validierungsdaten für die Code-Entwicklung und Simulation.
- Untersuchung verschiedener Kreisläufe und ORC-Anwendungen.
- Basic Design Werkzeug und Machbarkeitsstudien

### Ausblick

- Design und Kostenoptimierung von ORC.
- Implementation von verschiedenen thermodynamischen Stoffdatenbanken.
- Anwendung alternativer Solver (GA).

### Kontakt

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
 Institut für Kern- und Energietechnik  
 Gruppe Energie- und Verfahrenstechnik  
 Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Tel.: +49 721 608-23483  
 Fax: +49 721 608-24837  
 Email: dietmar.kuhn@kit.edu  
 www.iket.kit.edu  
 www.iket.kit.edu/156.php

### Herausgeber

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
 Präsident Professor Dr.-Ing. Holger Hanselka  
 Kaiserstraße 12  
 76131 Karlsruhe  
 www.kit.edu

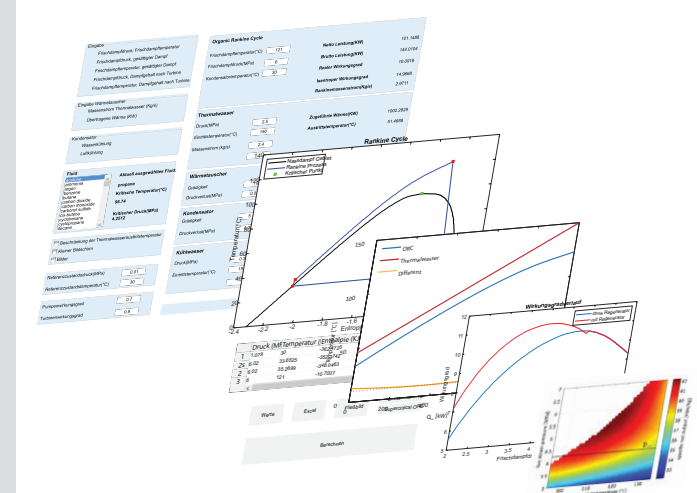
Karlsruhe © KIT 2019



## GeSi Geothermal Simulation

Stationäre thermodynamische Simulation und Optimierung von Organic Rankine Cycle (ORC) Kraftwerken

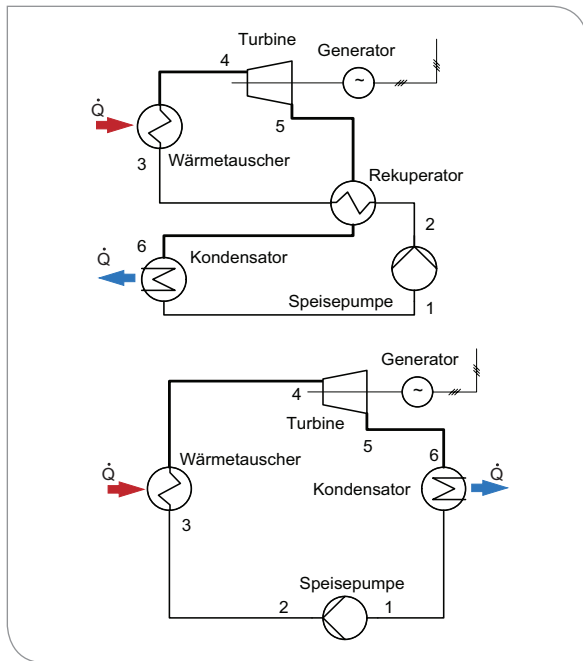
INSTITUT FÜR KERN- UND ENERGIETECHNIK  
 EVT ENERGIE- UND VERFAHRENSTECHNIK



100 % Recyclingpapier mit dem Gütesiegel „Der Blaue Engel“

## Einführung

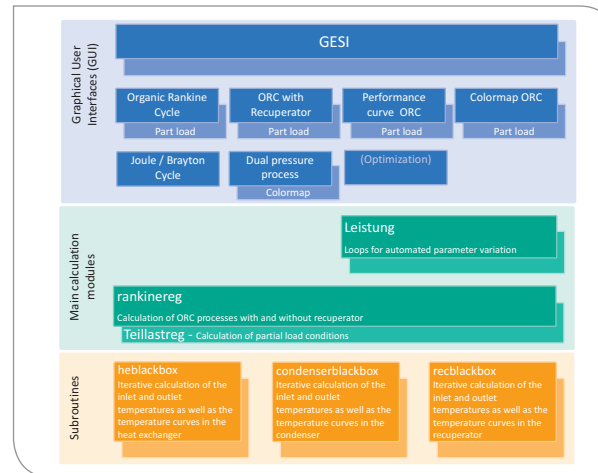
Der Clausius-Rankine-Prozess ist die effizienteste Art und Weise der Stromerzeugung durch Umwandlung von Wärmeenergie. Dieser wird in Kohle- und Kernkraftwerken sowie in Gas- und Dampfkraftwerken eingesetzt. Für die Nutzung von Niedertemperaturwärme in kleineren Anlagen ist dieser Wasserkreislauf jedoch ungeeignet, da hohe Drücke und damit verbundene hohe Verdampfungstemperaturen für eine effiziente Umwandlung erforderlich sind.



Anstelle von Wasser wird der sogenannte Organic Rankine Cycle (ORC) angewendet. Der ORC verwendet organische Flüssigkeiten als Arbeitsmedium. Diese Flüssigkeiten unterscheiden sich von Wasser durch ihre geringeren Verdampfungstemperaturen und Drücke. Die Abbildung zeigt zwei vereinfachte Prozesse eines solchen ORC. Ein Rekuperator kann integriert werden, um den Wirkungsgrad bei retrograden Flüssigkeiten zu erhöhen.

## Struktur von GeSi

Das Simulationsprogramm Geothermale Simulation (GeSi) ist ein in Matlab® entwickelter Code zur stationären, nulldimensionalen Berechnung von Organic Rankine Cycle (ORC). Die GeSi-Software ermöglicht die thermodynamische Optimierung von ORC mit unterschiedlichen Randbedingungen und Arbeitsfluiden. Abhängig von den Randbedingungen können Berechnungen für lokale oder integrale Kreislaufdaten ermittelt werden. Hierdurch ist es möglich, die Sensitivität verschiedener Einflussgrößen zu analysieren.



GeSi verfügt in der Version 2.3.6d über bis zu 12 verschiedene Kreislaufmodule (GUI's), die sich vor allem in den verfügbaren Eingabewerten und Kreislaufkonfigurationen unterscheiden, z.B. mit oder ohne Rekuperator oder in der Auswahl der Kühflüssigkeit.

Es ist auch möglich, nur eine Variable  $p$ ,  $T$  oder  $x$  (Dampfuchte) zu variieren und die anderen Werte konstant zu halten. Dies verkürzt die Rechenzeit im Vergleich zum Colormap-Modul, bei dem  $p$  und  $T$  gleichzeitig variiert werden.

Darüber hinaus ist GeSi in der Lage, Teillastbedingungen von ORC, 2-Druckprozesse und den Brayton-Prozess zu simulieren.

Die in GeSi enthaltenen Unterprogramme „Blackbox“ berechnen die Wärmeübertragung von Wärmetauscher (WT), Kondensator und Rekuperator mit einem iterativen Bisektionsprozess bei einer Diskretisierung des WT von 200.

Die Berechnung der erforderlichen Stoffeigenschaften des Arbeitsfluids und des Thermalwassers erfolgt unter Verwendung der REFPROP-Datenbank des National Institute of Standards and Technology (NIST).

## Funktionen von GeSi

Der hausinterne GeSi-Code ist in der Lage, Standard ORC mit den folgenden Eingaben zu simulieren:

- Simulationsmodus  $p$ ,  $T$  /  $p(\text{ges.})$  /  $T(\text{ges.})$  /  $p$ ,  $x$  /  $T$ ,  $x$
- Übertragene Wärme
- Kondensator (Wasserkühlung oder Luftkühlung)
- Arbeitsflüssigkeiten (111 organische und anorganische Verbindungen)
- Referenzzustand  $p$ ,  $T$
- Isentroper Wirkungsgrad von Pumpe und Turbine
- Frischdampfbedingungen  $p$ ,  $T$
- Kondensationstemperatur
- Thermalwasser  $p$ ,  $T$ , (Massenstrom), (maximale Reinjektionstemperatur)
- min. Temperaturdifferenz / Druckverlust von Wärmetauscher, Kondensator, Rekuperatorst
- Kühlkörper (Wasser  $p$ ,  $T$  / Luft  $p$ ,  $T$ ,  $\Phi$ )

GeSi zeigt das Ergebnis direkt in einem  $T$ ,  $s$ -Diagramm und einer Tabelle mit allen notwendigen Daten des Kreislaufs an. Zusätzlich werden die folgenden Ergebnisse geliefert:

- Nettoleistung
- Bruttogleistung
- Realer Wirkungsgrad
- Isentroper Wirkungsgrad
- ORC-Massenstrom
- Übertragene Wärme
- Reinjektionstemperatur des Thermalwassers