

Expertise

Der **Lehrstuhl für Technische Thermodynamik und Transportprozesse (LTTT)** der **Universität Bayreuth** befasst sich seit über 10 Jahren mit der Stromerzeugung aus Niedertemperaturwärme.

Die Optimierung von geeigneten Kraftwerksprozessen, wie den **Organic Rankine Cycle (ORC)** und **Kalina Cycle (KC)** sind zentrale Bestandteile dieser Forschungsaktivitäten.

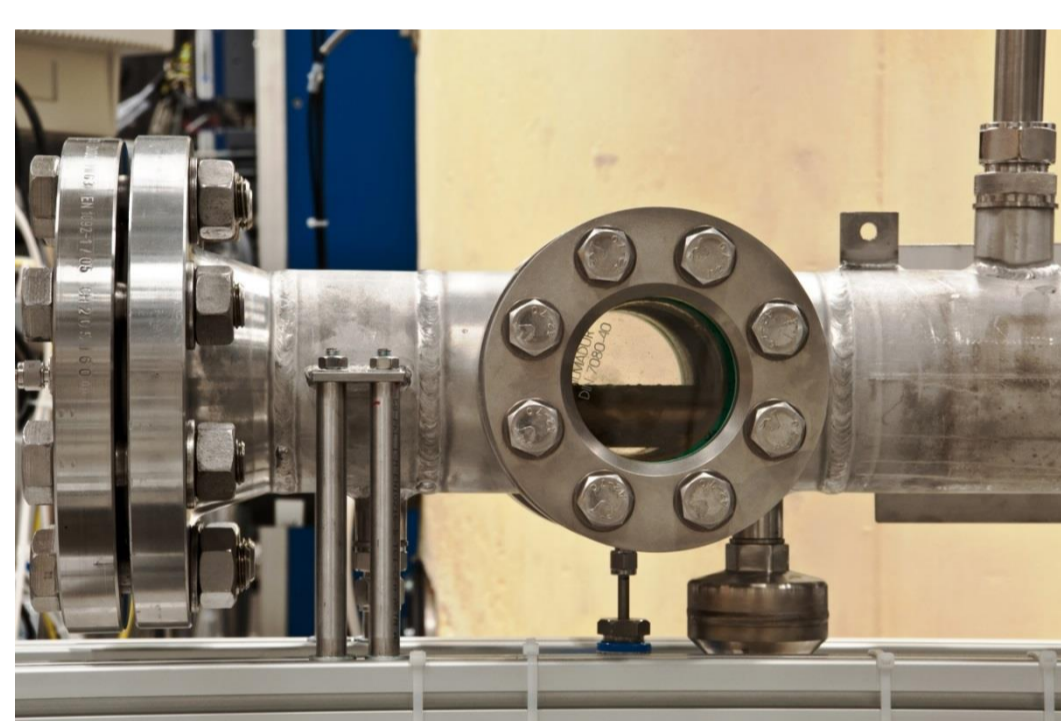
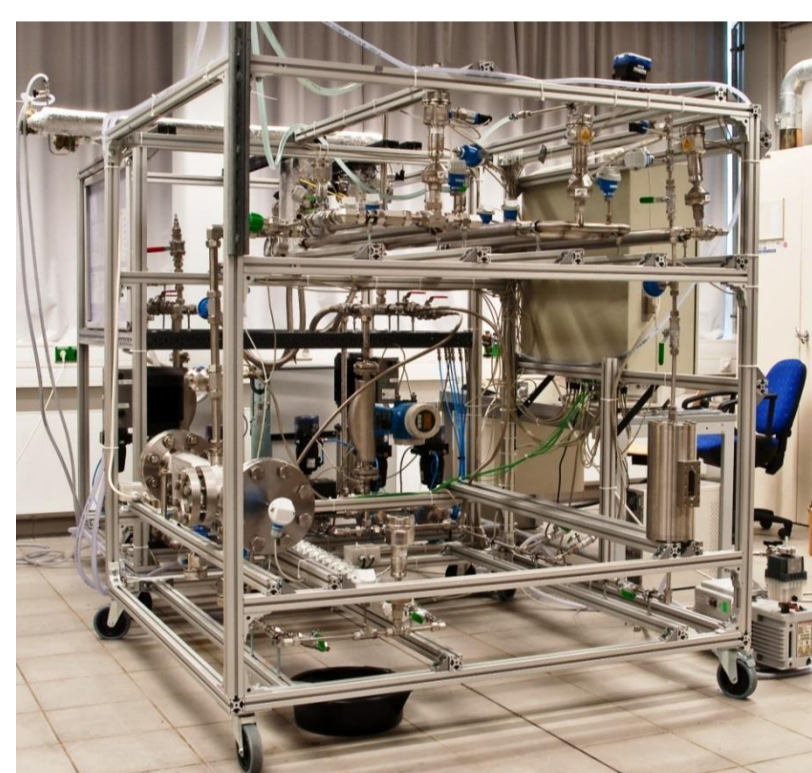
Hierzu entstanden bisher 3 Dissertationen, mehr als 10 Fachpublikationen und über 25 Fachvorträge auf internationalen Tagungen mit **Forschungsschwerpunkten**:

- Simulationsgestützte Kraftwerksoptimierung von ORC und KC
- Dynamische Betrachtungen von Konzepten zur Kraft-Wärme-Kopplung
- Wissenschaftliche Begleitung der Inbetriebnahme von Geothermiekraftwerken
- Hybridkraftwerke (Kopplung von Geothermie und Biomasse oder Solarthermie)
- Sicherheitstechnische und ökologische Bewertung der Technologien (Life-Cycle-Assessment)
- Thermoökonomische Betrachtungen
- Experimentelle Untersuchungen im Labormaßstab

Laboranlagen am LTTT

Am LTTT wird ein **ORC-Versuchsstand** mit einer Leistungsabgabe von 1 kW betrieben. Bauart der Wärmeübertrager und Betriebsparameter orientieren sich am geothermischen Anwendungsfall.

- Simultane Messung von Wärmeübergangseigenschaften und Leistungsabgabe
- Vergleich potentieller ORC-Arbeitsmedien (Reinstoffe als auch Gemische)



Darüber hinaus existieren Prüfstände zur thermischen Stabilität und eine 15 kW-ORC-Anlage für Hochtemperaturanwendungen am LTTT.

Wissenschaftliche Begleitung Inbetriebnahme Kirchstockach

Projektdaten

- Bohrtiefe: 3750 m (Dublette)
- Reservoir: hydrothermal
- Temperatur: 135 °C
- Fließrate: 474 l/s

Kraftwerksdaten

- Zweistufiger ORC (luftgekühlt)
- Arbeitsmedium: R245fa
- Nennleistung: 5,5 MWe



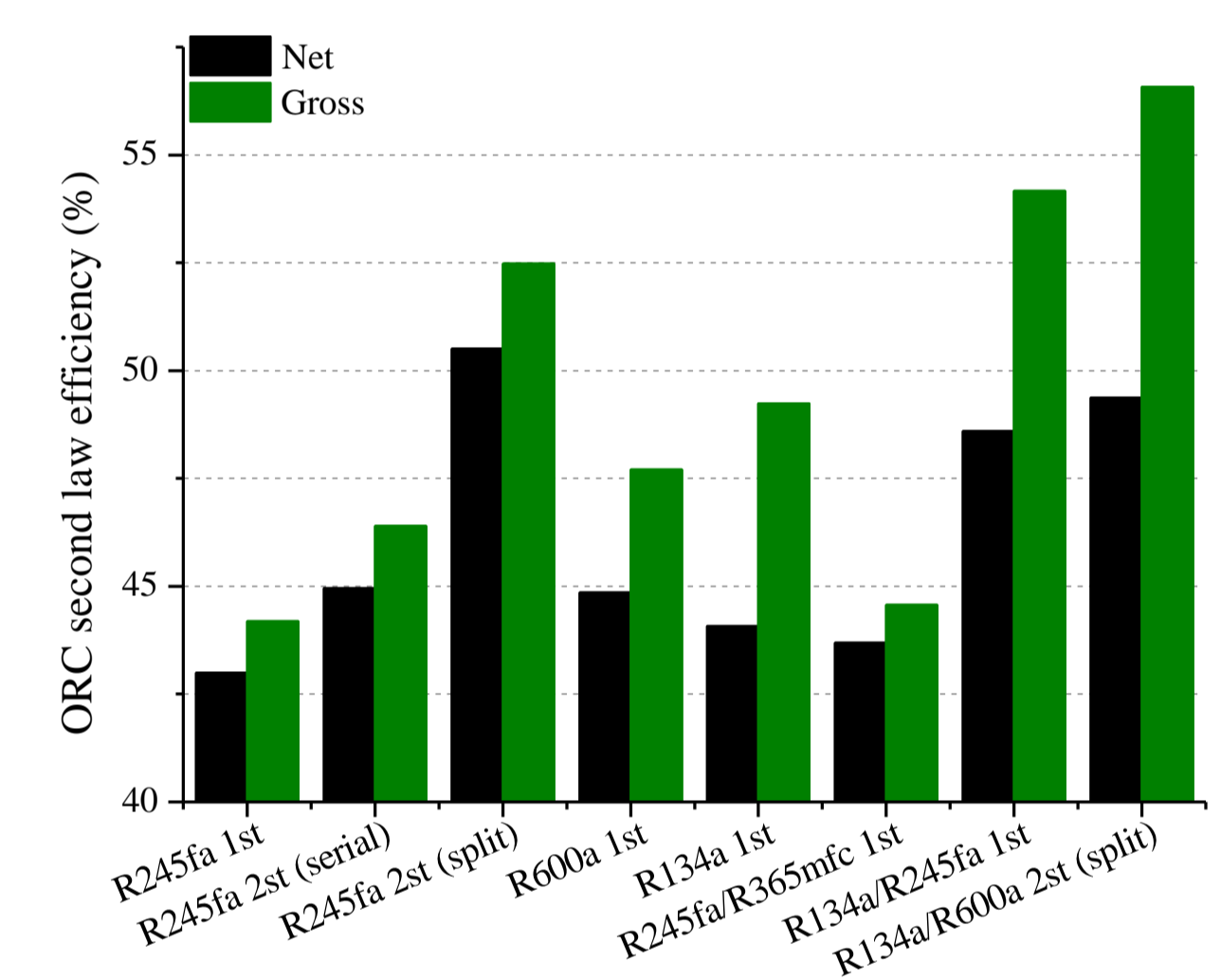
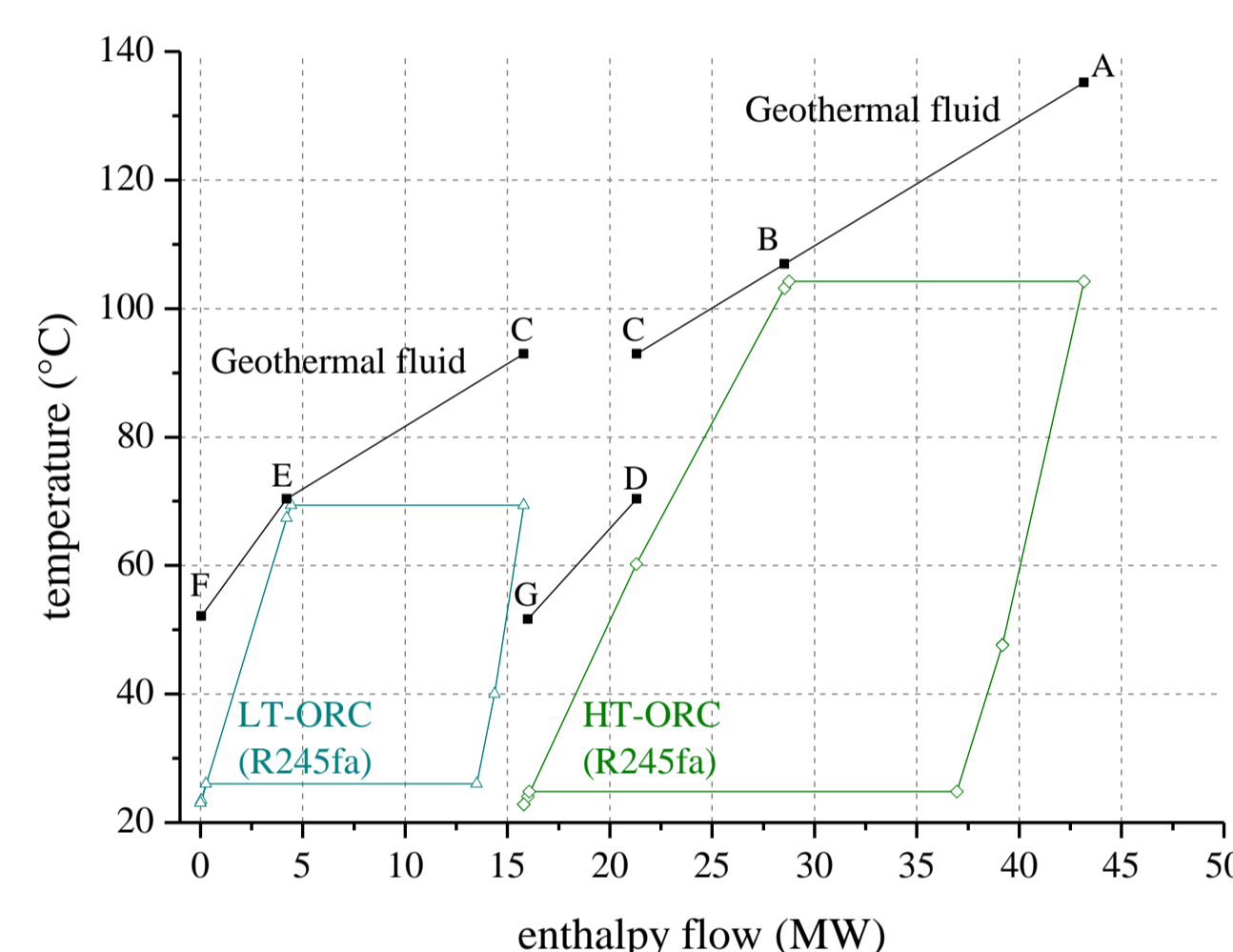
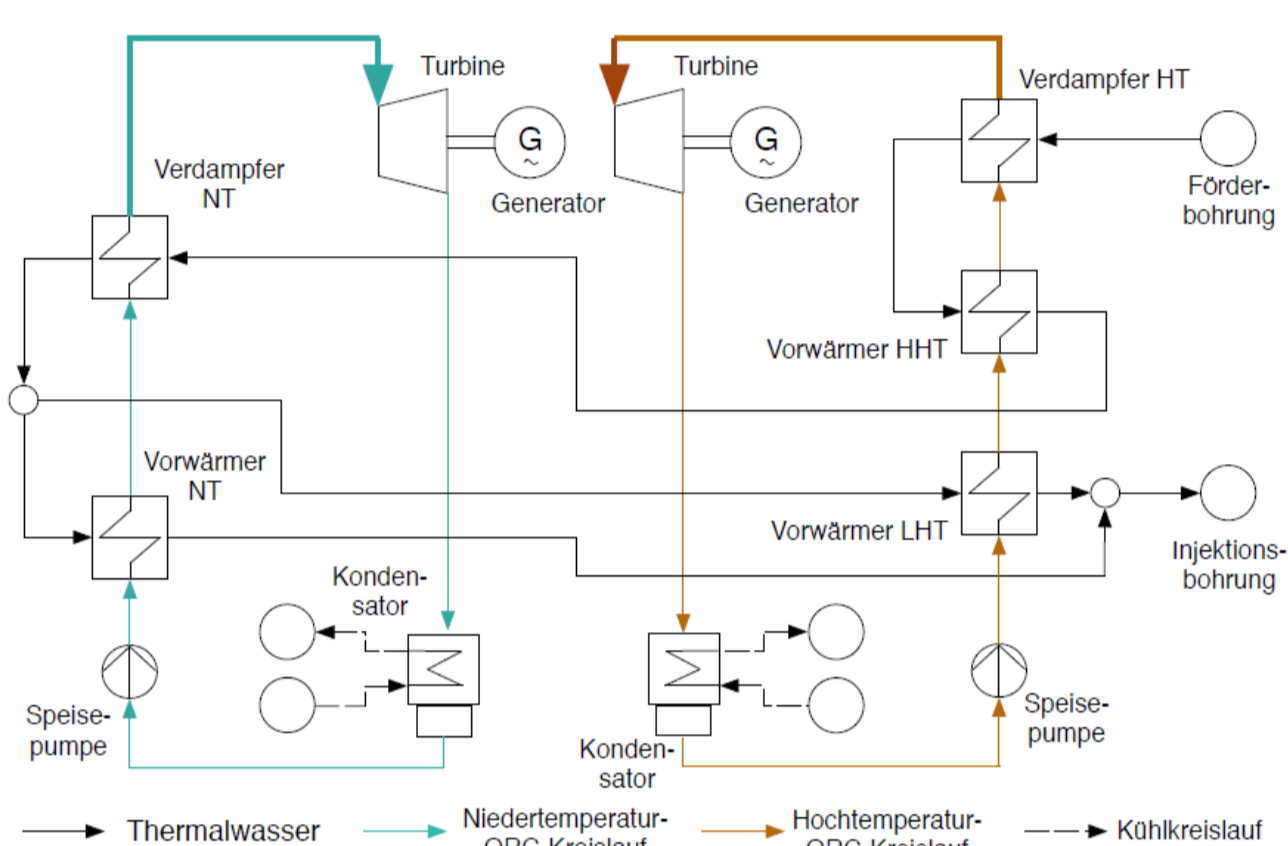
Quelle: Geothermie Kirchstockach

Aufgabenfelder

- Prozesssimulation
- Abgleich mit realen Kraftwerksdaten
- Ableiten von Optimierungsmaßnahmen
- Gegenüberstellung alternativer Konzepte für zukünftige Projekte

Veröffentlichung:

F. Heberle, T. Jahfeld, D. Brüggemann:
Thermodynamic Analysis of Double-Stage Organic Rankine Cycles for Low-Enthalpy Sources based on a Case Study for 5.5 MWe Power Plant Kirchstockach (Germany).
World Geothermal Congress, Melbourne (Australien), 2015



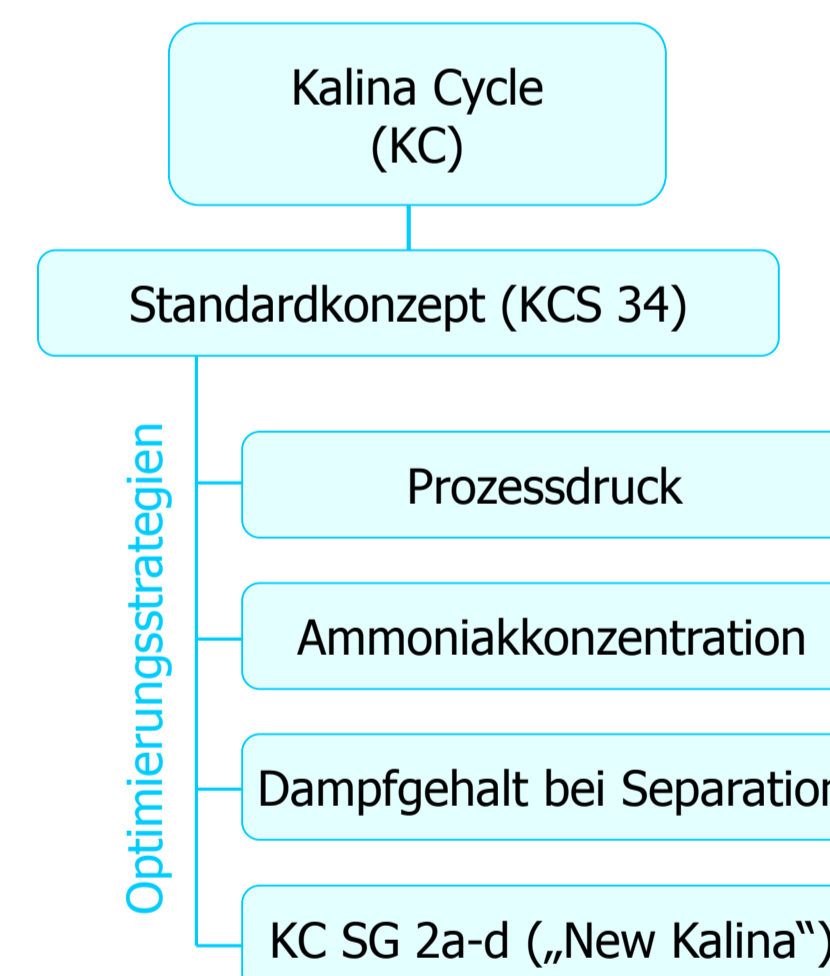
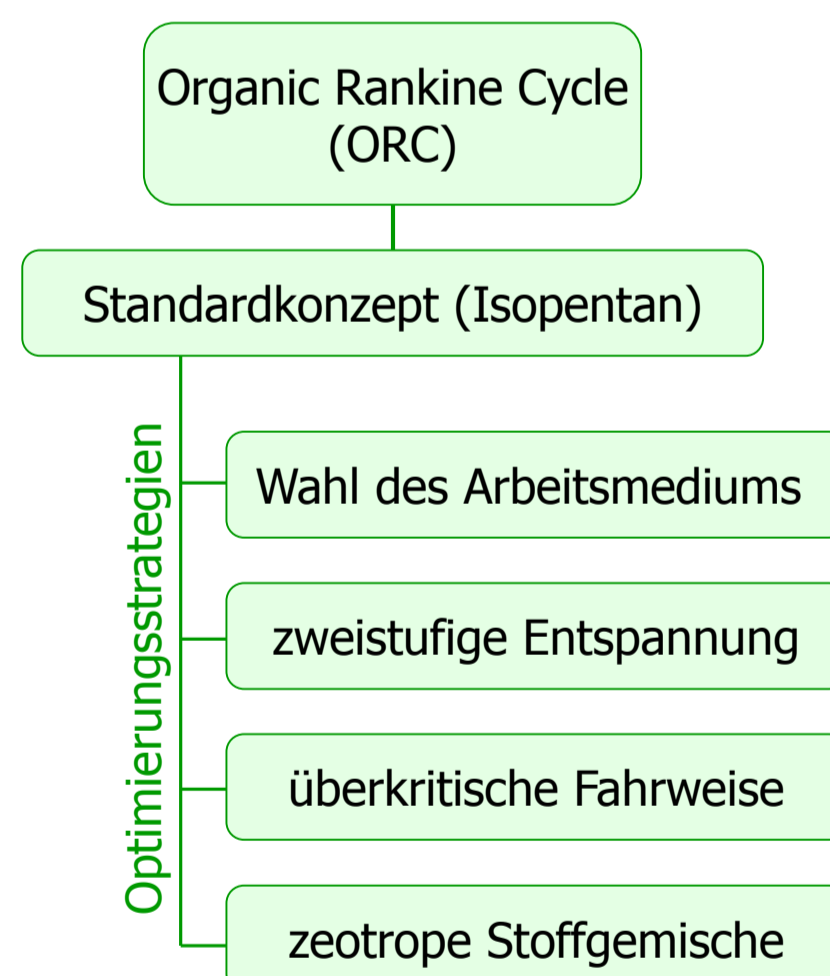
Ausgewählte Untersuchungen und Optimierungskonzepte

Potentielle geothermische Kraftwerkskonzepte

- Vergleich der Konzepte unter definierten Randbedingungen
- Betrachtung einer Vielzahl von Optimierungsansätzen

Veröffentlichungen:

F. Heberle: Untersuchungen zum Einsatz von zeotropen Fluidgemischen im Organic Rankine Cycle für die geothermische Stromerzeugung. Dissertation, LTTT, Universität Bayreuth, 2013
U. Drescher: Optimierungspotential des Organic Rankine Cycle für biomassebefeuerte und geothermische Wärmequellen. Dissertation, LTTT, Universität Bayreuth, 2007



Vergleich ausgewählter Optimierungsansätze des ORC (Standardkonzept: Arbeitsmedium Isopentan ; $T_{TW} = 120 \text{ °C}$)

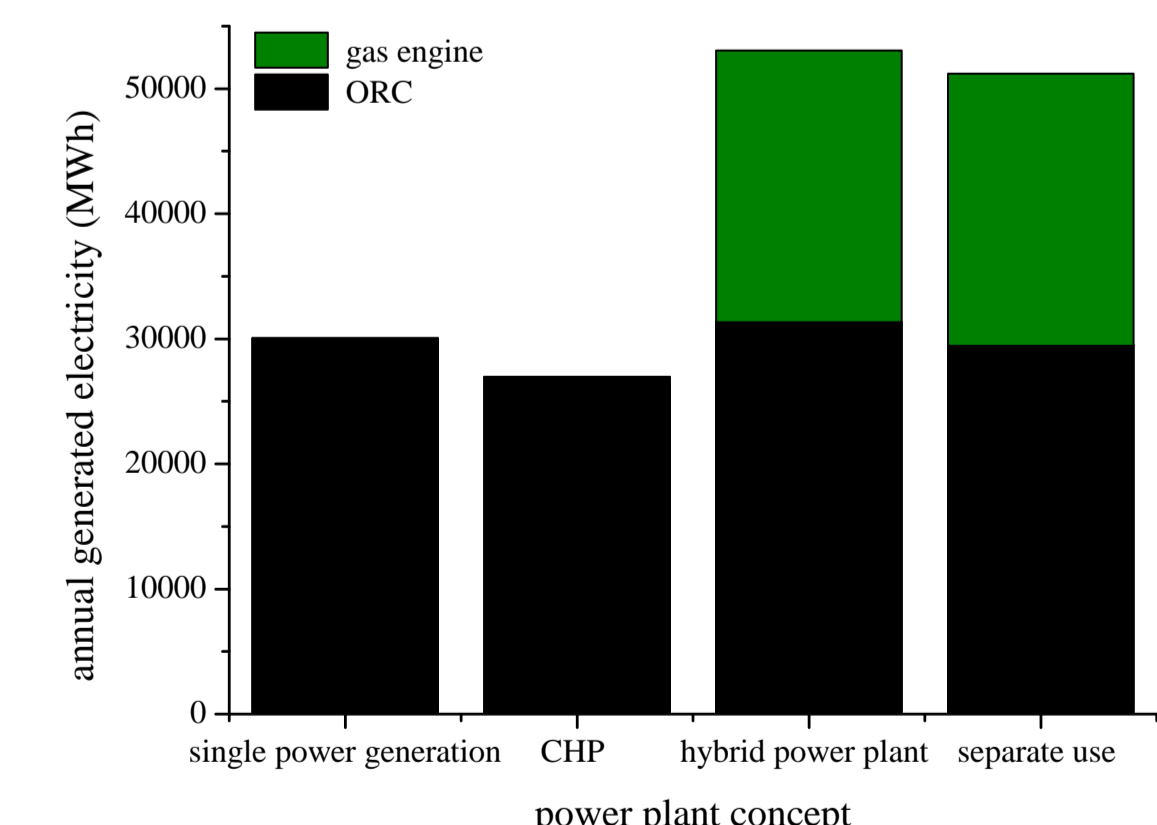
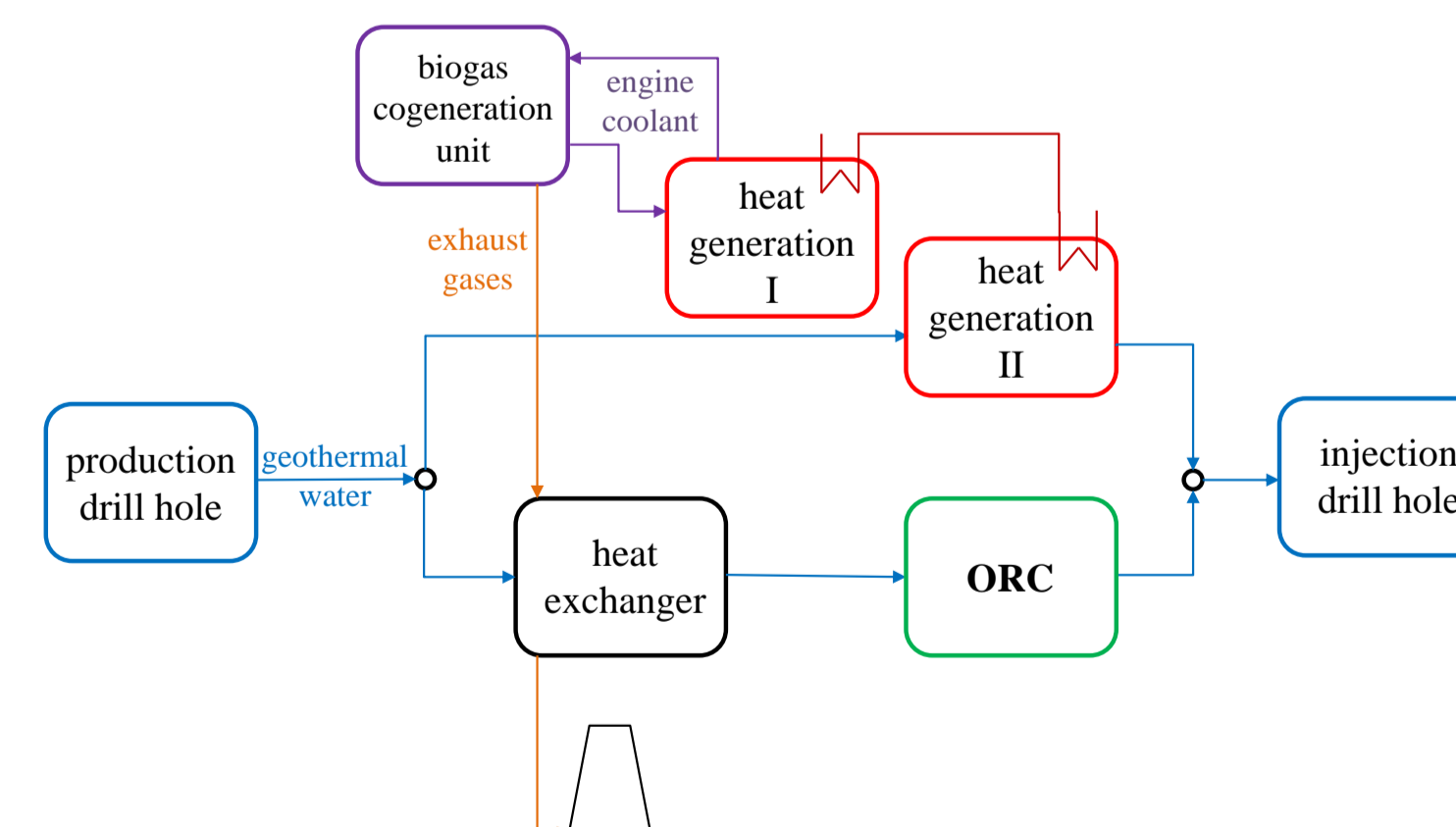
Optimierungsansatz	Effizienzsteigerung	Arbeitsmedium	Mehraufwand
Alternatives Medium	+ 2,94 % + 5,59 % + 8,07 %	Isobutan R227ea R134a	Größere Wärmeübertragungsflächen Höherer Betriebsdruck
Zweistufige Entspannung	+ 10,35 % + 7,78 %	Isobutan Isopentan	Doppelte Ausführung aller Komponenten
Überkritische Fahrweise	+ 21,81% + 15,77%	R227ea Propan	Höherer Betriebsdruck Unsichere Datenlage bei Wärmeübertragung
Zeotrope Fluidgemische	+ 11,89 % + 6,93 %	Isobutan/Isopentan R227ea/R245fa	Größere Wärmeübertragungsflächen

Hybridkraftwerke

- Konzept zur effizienten Kraft-Wärme-Kopplung
- Verbindung verschiedener regenerativer Energieträger zu einem effizienten Gesamtkonzept
- Vorzugsweise geothermische Wärmequelle in Kombination mit Biomasse oder Solarthermie

Veröffentlichung:

F. Heberle, D. Brüggemann: Thermo-economic Analysis of Hybrid Power Plant Concepts for Geothermal Combined Heat and Power Generation. Energies, vol. 7, Issue 7, pp. 4482-4497, 2014

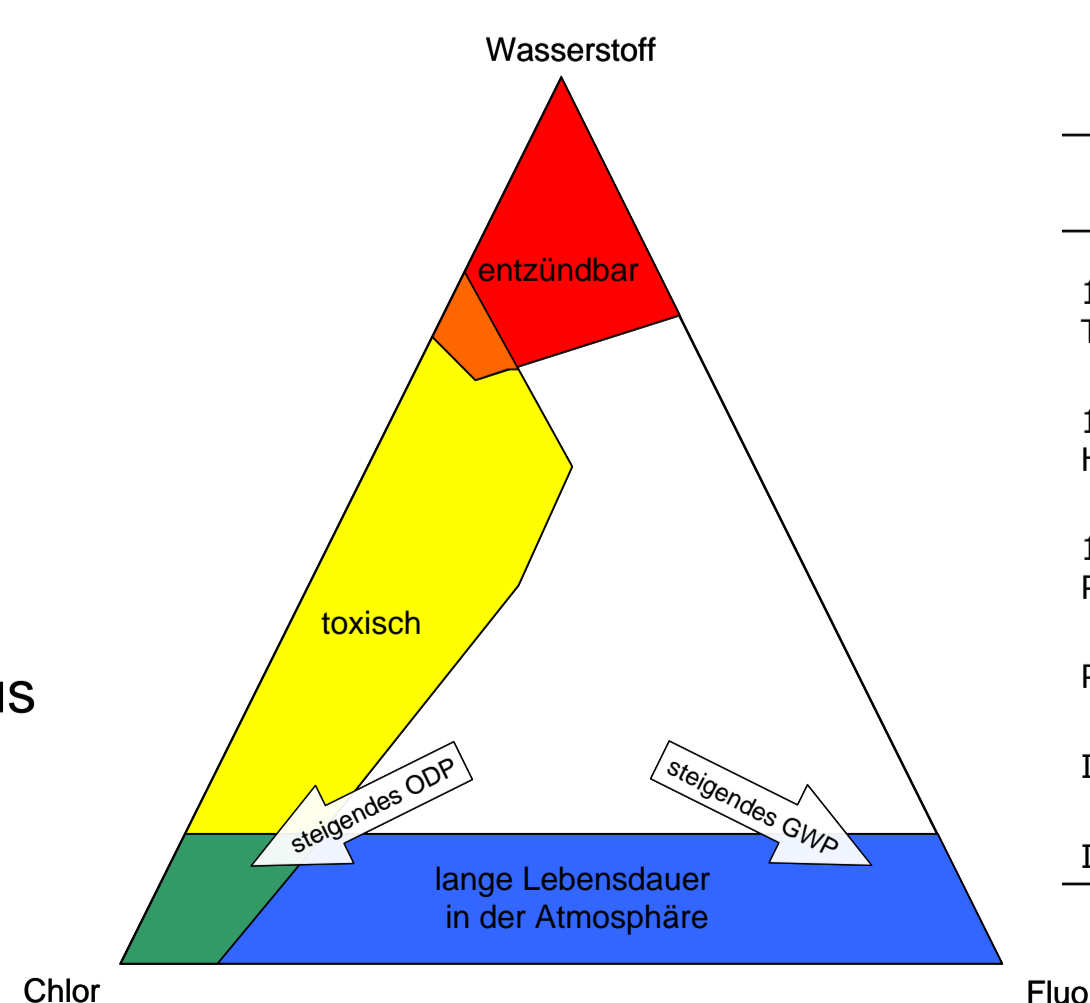


Charakterisierung von ORC-Arbeitsmedien

- Klima- und Umweltrelevanz
- Notwendige Sicherheitstechnik (Brennbarkeit)
- Toxizität und thermische Stabilität

Veröffentlichung:

F. Heberle, A. Obermeier, D. Brüggemann:
Mögliche Emissionen bei der Strom- und Wärmezeugung aus Geothermie durch den Einsatz von F-Gasen im Energiewandlungsprozess mittels ORC.
In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Climate Change, Nr. 16/2012



Stoffname	Chem. Formel	Rxxx	T_{krit} (°C)	P_{krit} (MPa)	Safety Group	GWP 100	ATEL kg/m ³	WGK
1,1,1,2-Tetrafluorethan	C ₂ H ₂ F ₄	R134a	101.1	4.06	A1	1300	0,21	1
1,1,1,2,3,3,3-Heptafluorpropan	C ₃ H ₂ F ₆	R227ea	102.8	3	A1	3500	0,59	1
1,1,1,2,2-Pentafluorpropan	C ₃ H ₂ F ₅	R245fa	154	3.65	B1	950	0,19	1
Propan	C ₃ H ₈	R290	96.7	4.25	A3	3	0,09	-
Isobutan	C ₄ H ₁₀	R600a	134.7	3.63	A3	3	0,06	-
Isopentan	C ₅ H ₁₂	R601a	187.2	3.38	A3	3	0,003	2

