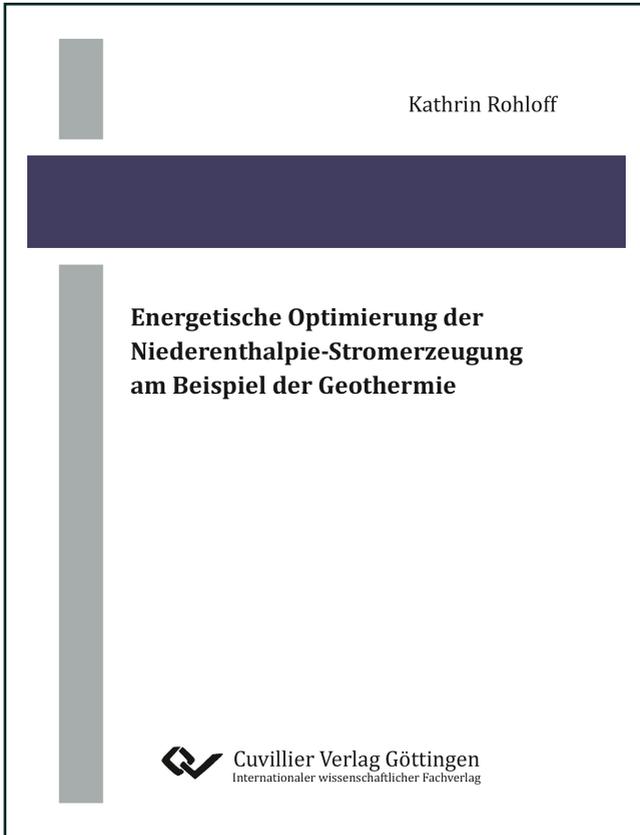




Kathrin Rohloff (Autor)

Energetische Optimierung der Niederenthalpie-Stromerzeugung am Beispiel der Geothermie



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8012>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>



Inhalt

| | |
|--|-------|
| Abbildungsverzeichnis | VIII |
| Tabellenverzeichnis | XVIII |
| Formelzeichen, Abkürzungen und Indices | XIX |
| 1. Motivation..... | 1 |
| 2. Grundlagen der geothermischen Stromerzeugung | 3 |
| 2.1. Stand der Techniken zur geothermischen Stromerzeugung | 3 |
| 2.2. Geothermievorkommen und deren Erschließung in Deutschland..... | 5 |
| 3. Systembeschreibung für die indirekte Nutzung geothermischer Wärme | 10 |
| 3.1. Thermalfluidsystem..... | 11 |
| 3.2. Stromerzeugung bei indirekter Nutzung der Geothermie..... | 14 |
| 3.2.1. Carnot-Prozess bzw. das theoretische Maximum der Umwandlung..... | 15 |
| 3.2.2. Clausius-Rankine-Prozess | 18 |
| 3.2.3. Systematik der Prozesse zur Niederenthalpienutzung | 19 |
| 3.3. Verfahren zur Wärmebereitstellung aus tiefer Geothermie..... | 21 |
| 3.4. Kraftwerkskomponenten für Dampfkraftprozesse | 23 |
| 3.4.1. Wärmeübertrager | 24 |
| 3.4.2. Arbeitsmaschine – Turbine und Expander..... | 26 |
| 3.4.3. Pumpen und Elektromotoren | 28 |
| 3.4.4. Separatoren | 28 |
| 3.4.5. Rückkühlung | 29 |
| 3.5. Beispiele zu bestehenden geothermischen Kraftwerken..... | 34 |
| 4. Thermodynamische Kennzahlen zur Systembeschreibung..... | 39 |
| 4.1. Definition der Wärmeströme und Leistungen | 39 |
| 4.2. Wirkungsgrade und Kennzahlen bei reiner Stromerzeugung | 41 |
| 4.3. Nutzungsgrade für die kombinierte Erzeugung von Strom und Wärme | 43 |
| 5. Leistungsaufnahme der Thermalfluidpumpen..... | 44 |
| 5.1. Anschlussleistung der Förderpumpe..... | 44 |
| 5.2. Einflüsse einzelner Parameter auf die Leistungsaufnahme der Förderpumpe anhand von Fallstudien | 47 |
| 5.2.1. Einfluss der geologischen und hydraulischen Bedingungen | 49 |
| 5.2.2. Einfluss des Bohrungsdurchmessers..... | 50 |
| 5.2.3. Einfluss des Pumpenwirkungsgrades und Gegenüberstellung von ESP und LSP | 51 |
| 5.3. Anschlussleistung der Injektionspumpe | 51 |
| 6. Untersuchte Kraftwerksprozesse | 52 |
| 6.1. Referenzbedingungen | 52 |
| 6.2. Arbeitsfluide für Kreisprozesse zur Niederenthalpienutzung..... | 53 |



| | | |
|---------|---|-----|
| 6.2.1. | Thermodynamische Besonderheiten..... | 54 |
| 6.2.2. | Thermodynamik von Gemischen..... | 55 |
| 6.2.3. | Arbeitsfluide – Stabilität und Werkstoffauswahl..... | 57 |
| 6.2.4. | Stoffdatenmodelle zur Verwendung in Prozesssimulationen | 58 |
| 6.2.5. | Kriterien zur Beschreibung der Eignung und der Umweltauswirkungen von Arbeitsfluiden..... | 59 |
| 6.2.6. | Auswahl der Arbeitsfluide für die Untersuchungen der Kraftwerks- prozesse | 60 |
| 6.3. | Randbedingungen für die Simulationen..... | 62 |
| 6.4. | Rankine-Prozesse | 64 |
| 6.4.1. | Rankine-Prozesse mit Reinstoffen als Arbeitsfluid..... | 64 |
| 6.4.2. | Rankine-Prozesse mit Mischungen als Arbeitsfluide..... | 67 |
| 6.4.3. | Untersuchte Prozesse..... | 69 |
| 6.4.4. | Prozessoptimierung und Ergebnisse aus der Literatur | 69 |
| 7. | Ergebnisse der Prozessoptimierungen..... | 75 |
| 7.1. | Ergebnisse der Prozesssimulationen bei Verwendung von Reinstoffen | 75 |
| 7.1.1. | C ₃ H ₈ Propan – 74-98-6..... | 75 |
| 7.1.2. | C ₄ H ₁₀ Isobutan – 75-28-5..... | 78 |
| 7.1.3. | C ₄ H ₁₀ n-Butan (R600) – 106-97-8 | 83 |
| 7.1.4. | C ₅ H ₁₂ Isopentan – 78-78-4..... | 87 |
| 7.1.5. | C ₅ H ₁₂ n-Pentan – 109-66-0..... | 92 |
| 7.1.6. | C ₆ H ₁₄ n-Hexan – 110-54-3 | 95 |
| 7.1.7. | C ₇ H ₁₆ n-Heptan – 142-82-5 | 96 |
| 7.1.8. | C ₃ H ₆ Propen – 115-07-d1..... | 97 |
| 7.1.9. | C ₄ H ₈ Trans-2-Buten – 624-62-6..... | 100 |
| 7.1.10. | C ₇ H ₈ Toluol – 108-88-3 | 103 |
| 7.1.11. | C ₂ H ₄ F ₂ R152a – 75-37-6 | 104 |
| 7.1.12. | C ₂ H ₂ F ₄ R134a – 811-97-2..... | 109 |
| 7.1.13. | C ₃ HF ₇ R227ea – 460-89-0..... | 111 |
| 7.1.14. | C ₃ H ₃ F ₅ R245fa – 460-73-1 | 114 |
| 7.1.15. | NH ₃ Ammoniak – 7664-41-7 | 117 |
| 7.2. | Ergebnisse der Prozesssimulation bei Verwendung von Mischungen..... | 120 |
| 7.2.1. | C ₃ H ₈ Propan und C ₄ H ₁₀ Isobutan | 121 |
| 7.2.2. | C ₃ H ₈ Propan und C ₆ H ₁₂ n-Hexan | 125 |
| 7.2.3. | C ₂ H ₄ F ₂ R152a und C ₃ H ₃ F ₅ R245fa..... | 128 |
| 7.2.4. | NH ₃ Ammoniak und H ₂ O Wasser..... | 137 |
| 8. | Sensitivitäten..... | 142 |
| 8.1. | Rankine-Prozesse mit Reinstoffen und Mischungen ohne Konzentrationsänderungen..... | 144 |
| 8.1.1. | Einfluss des Frischdampfdrucks bezogen auf den kritischen Druck des Arbeitsfluids..... | 144 |
| 8.1.2. | Einfluss des Frischdampfdrucks am Beispiel der Verwendung von Pentan, Butan und R245fa..... | 145 |
| 8.1.3. | Einfluss der internen Wärmerückgewinnung..... | 148 |



| | | |
|--------|--|-----|
| 8.1.4. | Einfluss des Turbinenwirkungsgrades | 149 |
| 8.1.5. | Einfluss der Thermalfluidtemperatur am Eintritt auf verschiedene Prozessführungen | 150 |
| 8.2. | Rankine-Prozesse mit Mischungen und Nutzung von De- und Absorption zur Konzentrationsänderung | 153 |
| 8.2.1. | Einflüsse von Prozessparametern | 153 |
| 8.2.2. | Einfluss des Turbinenwirkungsgrades bei Prozessen mit Konzentrations-änderung | 155 |
| 8.2.3. | Einfluss der Thermalfluidtemperatur am Eintritt bei Prozessen mit Arbeitsfluidmischungen | 156 |
| 8.3. | Genereller Einfluss der Wärmeauskopplung | 158 |
| 8.4. | Einfluss der Rückkühlung | 159 |
| 8.5. | Anlagennettoleistungen mit Berücksichtigung des elektrischen Eigenbedarfs der Thermalfluidförderung | 161 |
| 9. | Zusammenfassung | 164 |
| 10. | Literatur | 168 |
| | Angaben zur Leistungsaufnahme der Thermalfluidförderung | 180 |
| | Eigenschaften von Gemischen | 181 |
| | Abbildungen – Ergebnisse | 182 |