

Netzintegration und ökologischen Systemanalyse von Geothermiekraftwerken

Uwe Macharey, Thomas Smolka

Institut für Hochspannungstechnik

RWTH Aachen Schinkelstrasse 2

D-52062 Aachen

Tel.: +49-241-809409

E-Mail: macharey@ifht.rwth-aachen.de

Eine stets zuverlässige Energieversorgung gilt in Deutschland heutzutage als selbstverständlich und für den Erhalt unseres Lebensstandards als unentbehrlich. Die derzeitige Struktur der Energiebereitstellung zeigt, dass der Hauptanteil auf der Nutzung fossiler primärer Energieträger und auf Kernenergie basiert. Die Abhängigkeit von zeitlich begrenzten fossilen Ressourcen, die Ergebnisse der Klimaschutzdiskussion (Kyoto-Protokoll) und der geplante Ausstieg aus der kommerziellen Nutzung der Kernenergie bis 2021 rücken die regenerativen Energien immer mehr ins Zentrum der energiewirtschaftlichen Diskussion.

Für die Erforschung und Weiterentwicklung der Energiegewinnung aus Wind, Sonne, Biomasse, Wasserkraft und Erdwärme gibt es auch in Deutschland verschiedene Förder- und Maßnahmenprogramme. Neben technologischen Forschungsarbeiten stellt sich unumgänglich die Frage, ob die Nutzung erneuerbarer Energien nicht nur Ressourcen schonender als die konventionelle Energiebereitstellung aus Primärenergieträgern ist, sondern langfristig auch zum Klimaschutz beitragen kann und damit politisch und ökonomisch förderungswürdig ist.

Vor diesem Hintergrund wird in dem vorliegenden Beitrag die Netzintegration und die ökologische Systemanalyse geothermischer Kraftwerke vorgestellt. Hier wird von zwei grundsätzlich verschiedenen Möglichkeiten ausgegangen, um die geothermische Energie in Form einer kombinierten Kraft- und Wärmebereitstellung zu realisieren und zu verteilen. Diese Ansätze sind jeweils an die Temperatur des geförderten Thermalwassers gekoppelt. Zum Einen kann das Thermalwasser parallel auf die Komponenten Wärmetauscher und Organic Rankine Cycle - Anlage verteilt werden und zum Anderen ist eine serielle (kaskadenförmige) Anordnung der ORC-Anlage und des Wärmetauschers bei entsprechend höherer Thermalwassertemperatur möglich.

Zur Netzintegration der geothermischen Kraftwerke werden diese mit Hilfe einer Software zur Netzplanung in ein bestehendes Stromnetz integriert und einer Lastflussuntersuchung unterzogen. Des Weiteren wird eine Ökobilanzierung für die ermittelten Material und Mengendaten der einzelnen Anlagenkomponenten von Referenzkraftwerken vorgestellt. Durch entsprechende Parametervariationen der Thermalwassertemperatur und der thermischen Energieabnahme durch den Verbraucher soll dabei untersucht werden, wie hoch die spezifischen Emissionen umweltrelevanter Belastungen von geothermischen Kraftwerken in den jeweils angenommenen Szenarien sind. Die Ergebnisse stützen sich auf den aktuellen Stand der Technik und die geologischen Bedingungen in Deutschland.

Institut für Hochspannungstechnik

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Armin Schnettler



Netzintegration und ökologische
Systemanalyse
von Geothermiekraftwerken

Dipl. Ing. Uwe Macharey
Dipl. Ing. Ingo Zevenbergen



Ökobilanzwerkstatt Bad Urach Juni 2006

2

RWTHAACHEN

Inhalt

- Einleitung und Motivation
- Geothermische Reservoirtypen, Erschließung und Potenziale
- Geothermische Netzintegration
- Ökologische Analyse Geothermischer Energie
- Zusammenfassung und Ausblick

Ökobilanzwerkstatt Bad Urach Juni 2006



2

Einleitung und Motivation

- Verknappung fossiler Energieträger
- Veralterung des nichtnuklearen Kraftwerkparks
- Reduzierung der Steinkohlesubventionen
- Ausstieg aus der Kernenergie bis 2021
 - > erheblicher Ersatzbedarf an Erzeugungsleistung
- Kyoto-Protokoll: Verpflichtungen Deutschlands zur Reduzierung der CO₂-Emissionen gegenüber 1990
 - bis 2020 um 40 %
 - bis 2050 um 80 %

Inhalt

- Einleitung und Motivation
- Geothermische Reservoirtypen, Erschließung und Potenziale
- Geothermische Netzintegration
- Ökologische Analyse Geothermischer Energie
- Zusammenfassung und Ausblick

Geothermische Reservoirtypen

- **Heißwasseraquifere:**
 - Horizontale Wasser führende Schichten
 - Poren- und Kluft-Wasserleiter, Hohlräume
 - Abnehmende Durchlässigkeiten mit zunehmender Tiefe
- **Störungszonen:**
 - Orthogonal zur Erdoberfläche
 - Gesteinsrisse aufgrund tektonischer Aktivitäten
 - Fluide in geringere Tiefen aufsteigend (Konvektion)
 - Stark schwankende Durchlässigkeiten
- **Kristalline Gesteine:**
 - Heiße, trockene Gesteine (Hot Dry Rock – HDR)
 - Geringe Porosität
 - Vereinzelt natürliche Kluftsysteme

Erschließung der Reservoirtypen

- **Heißwasseraquifere und Störungszonen:**
 - Tiefenbohrungen und Komplettierung der Bohrlöcher
 - Doublettenbetrieb: Produktions- und Injektionsbohrung (Abstand > 1000 m)
 - Hochsalinäres Wasser unter artesischem Druck
 - Tiefpumpe in 100-400 m Tiefe
- **Kristalline Gesteine**
 - Eine Injektionsbohrung, eine oder mehrere Produktionsbohrungen
 - HDR-Verfahren: Hineinpressen von Wasser unter hohem Druck
=> Ausweiten von Klüften
 - Hydraulic Fracturing-Verfahren:
Künstliche Erzeugung von Klüften und Rissen
 - Benutzung von Stützmitteln

Potenziale der Stromerzeugung

- Technisches Angebotspotenzial: 300 TWh/a
- Technisches Nachfragepotenzial:
 - stromgeführter Betrieb, Deckung der Grundlast: 290 TWh/a
 - KWK und vollständige Bereitstellung von Niedertemperaturwärme durch Geothermie: 140 TWh/a
 - KWK und derzeitige Substitution von Fernwärmeeinspeisung in bestehende Netze durch Geothermie: 10 TWh/a
(Deutsche Bruttostromerzeugung: ca. 500 TWh/a)
- Aufteilung des technischen Angebotspotenzials auf Reservoirtypen:

▪ Heißwasseraquifere:	1 %	
▪ Störungszonen:	4 %	Quelle: „Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland“, TAB
▪ Kristalline Gesteine:	95 %	

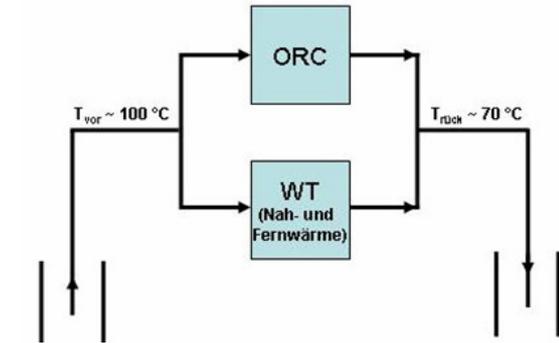
Inhalt

- Einleitung und Motivation
- Geothermische Reservoirtypen, Erschließung und Potenziale
- Geothermische Netzintegration
- Ökologische Analyse Geothermischer Energie
- Zusammenfassung und Ausblick

Kraft-Wärme parallel (Low-Enthalpie-System, $T_v \sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$)

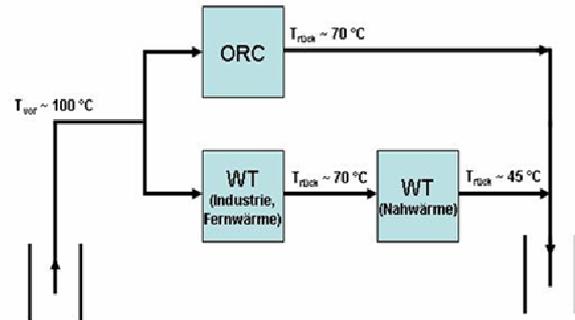
- Referenzszenario 1-1

- Installierte Leistung: $12,456 \text{ MW}_{th}$
- davon geothermisch: $4,152 \text{ MW}_{th}$
- davon Backup/Spitzenl.: $8,304 \text{ MW}_{th}$



- Referenzszenario 1-2

- Installierte Leistung: $22,836 \text{ MW}_{th}$
- davon geothermisch: $7,612 \text{ MW}_{th}$
- davon Backup/Spitzenl.: $15,224 \text{ MW}_{th}$

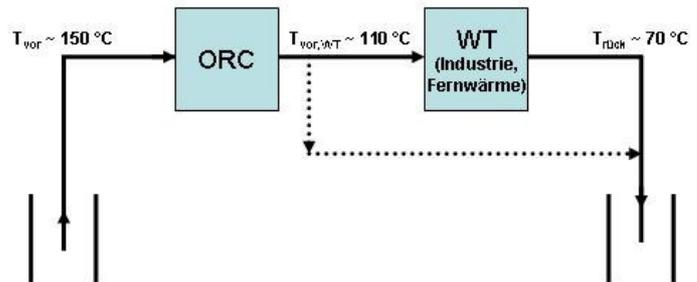


- Elektrische Nettol.: $< 0,73 \text{ MW}_{el}$

Kraft-Wärme seriell (Medium-Enthalpie-System, $T_v \sim 150 \text{ }^\circ\text{C}$)

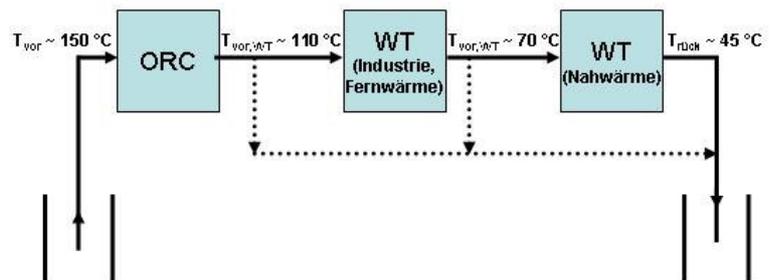
- Referenzszenario 2-1

- Installierte Leistung: $33,216 \text{ MW}_{th}$
- davon geothermisch: $11,072 \text{ MW}_{th}$
- davon Backup/Spitzenl.: $22,144 \text{ MW}_{th}$



- Referenzszenario 2-2

- Installierte Leistung: $43,596 \text{ MW}_{th}$
- davon geothermisch: $14,532 \text{ MW}_{th}$
- davon Backup/Spitzenl.: $29,064 \text{ MW}_{th}$



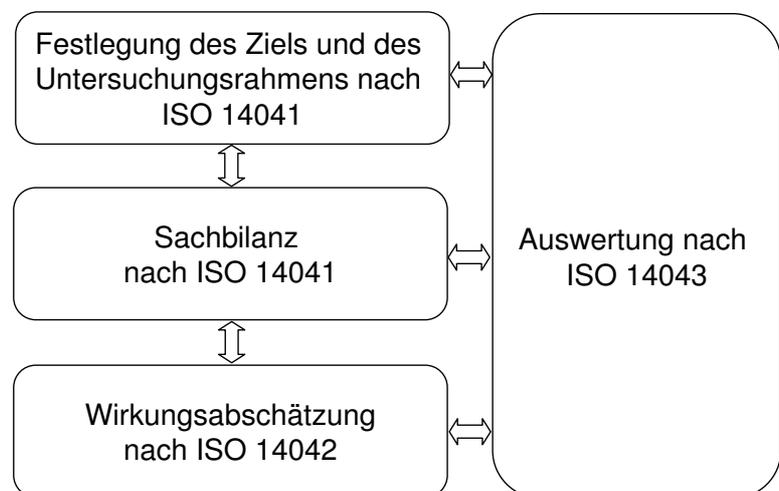
- Elektrische Nettol.: $0,875 \text{ MW}_{el}$

Inhalt

- Einleitung und Motivation
- Geothermische Reservoirtypen, Erschließung und Potenziale
- Geothermische Netzintegration
- Ökologische Analyse Geothermischer Energie
- Zusammenfassung und Ausblick

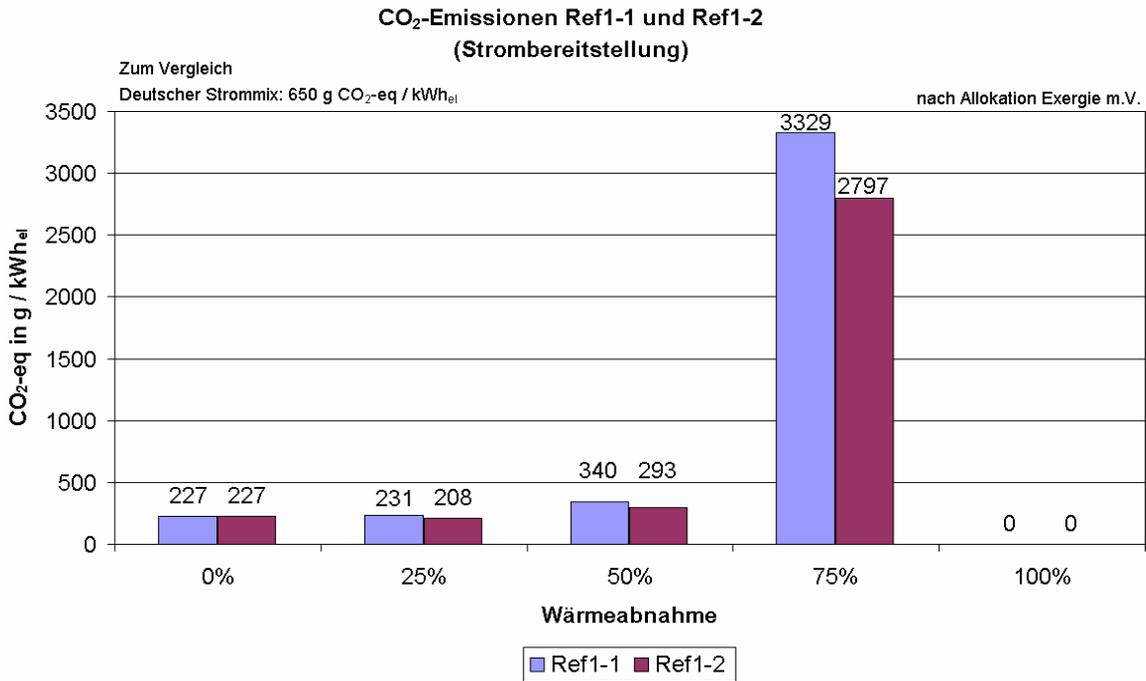
Ökologische Analyse Geothermischer Energie

- Life-Cycle-Assessment (LCA)
- Lebenszyklusanalyse nach ISO 14040 ff
- Ganzheitliche Bewertung eines Produkts, Systems oder Prozesses
- Betrachtung des gesamten Lebenswegs „von der Wiege bis zur Bahre“
- Modellierung des Systems Geothermiekraftwerk in UMBERTO®



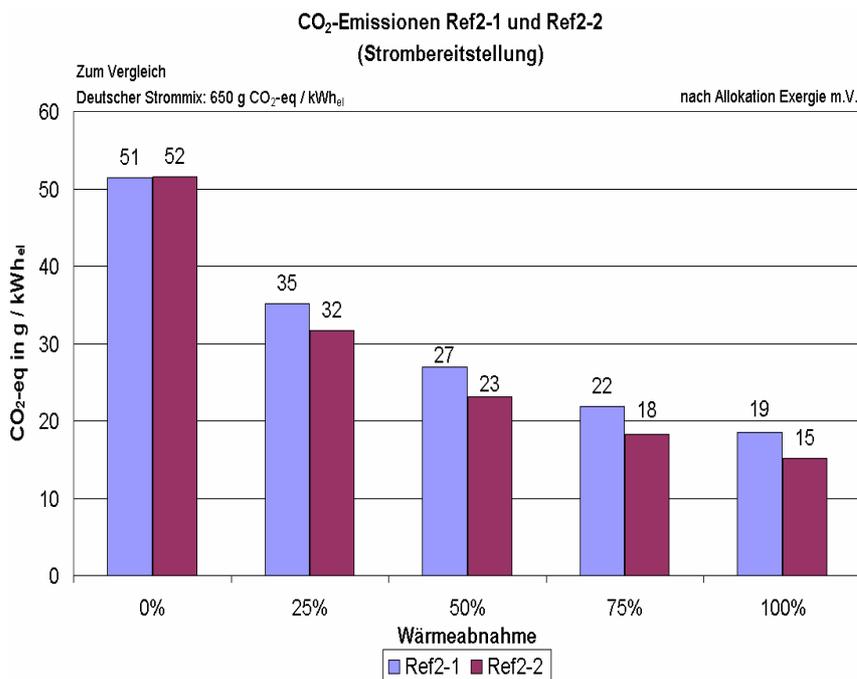
Ökobilanzergebnisse

Referenzszenario 1

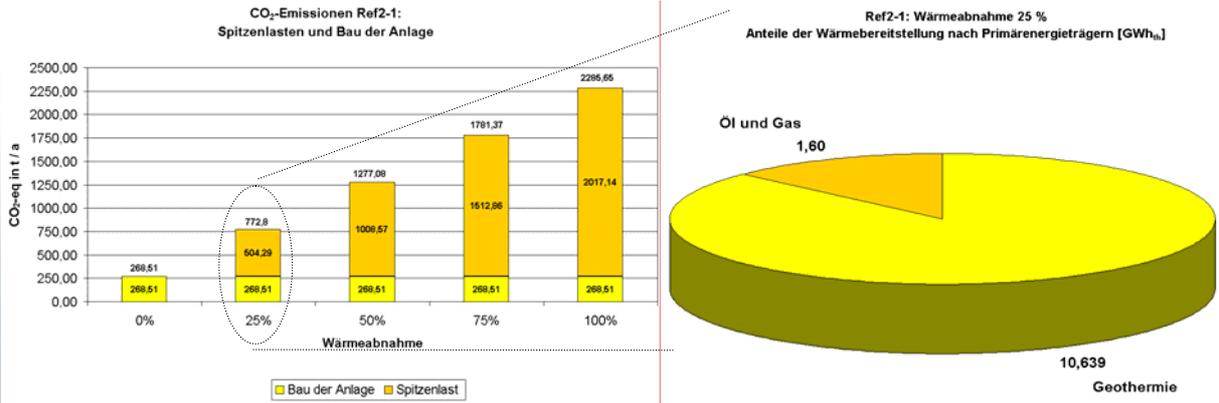


Ökobilanzergebnisse

Referenzszenario 2



Anteil Emissionen der Spitzenlast:

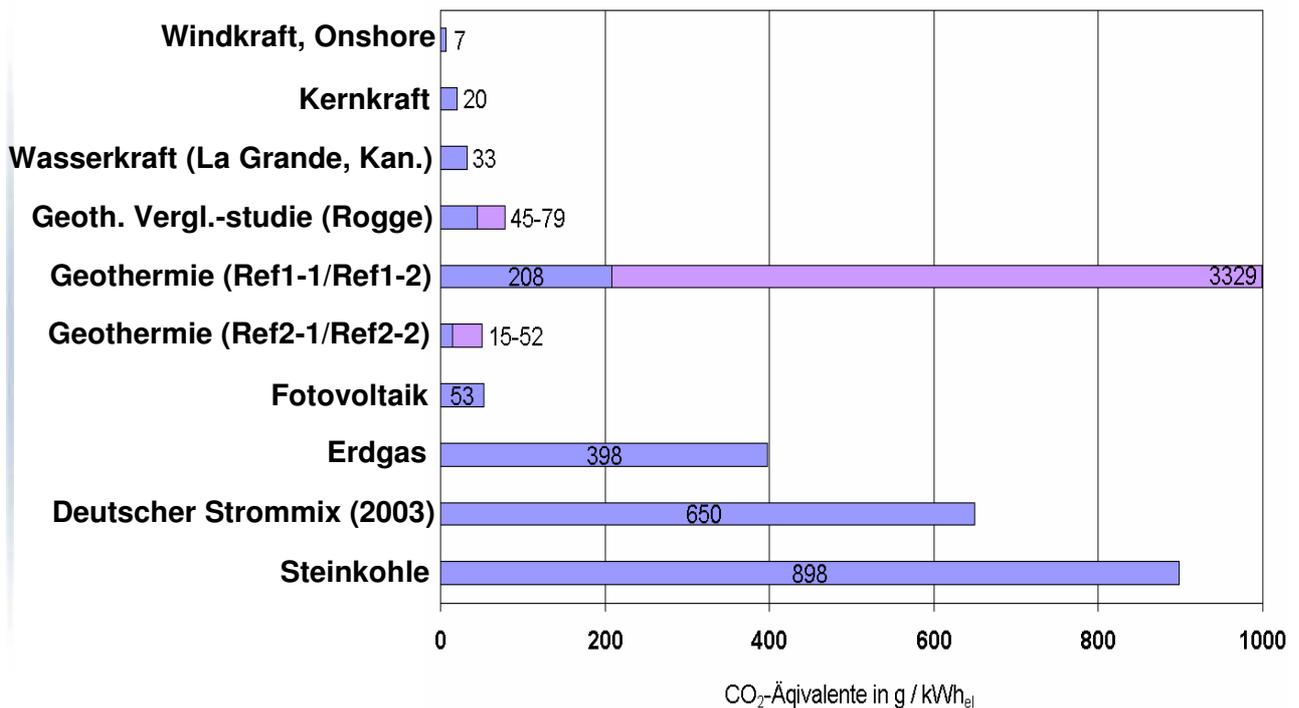


CO₂-Äquivalente durch Bau der Anlagen [g / kWh]:

	Obertage	Untertage
Ref1-1	33241 / 18,70 %	144564 / 81,30 %
Ref1-2	42485 / 22,71 %	144564 / 77,29 %
Ref2-1	41103 / 15,53 %	227406 / 84,69 %
Ref2-2	50346 / 18,13 %	227406 / 81,87 %

Emissionenvergleich der Strombereitstellung:

CO₂-Äquivalente verschiedener Strombereitstellungen



Zusammenfassung

- Geothermie kann umweltfreundlichen Strom und Wärme bereitstellen
=> CO₂ - Emissionen unter 50 g / kWh (thermisch und elektrisch)
- Großes Potenzial für geothermische Stromerzeugung aus HDR aber nur geringes Potenzial für geothermische Energie aus Heißwasseraquiferen
- Zu geringer Ausbau der Nah- und Fernwärmeverteilnetze als Hindernis für eine KWK
- Wirkungsgrade von ORC-Anlagen bei Low-Enthalpie-Systemen zu klein für geothermische Stromversorgung (nur zeitweise Eigenversorgung)
- Emissionen aufgrund des Baus des GK bei steigender Wärmeabnahme weniger relevant => Spitzenlastemissionen überwiegen

Ausblick

- großflächige Nutzung geothermischer Energie nur mit HDR-Verfahren möglich => erheblicher Forschungsbedarf
- Zur Verbesserung der Emissionswerte und Wirtschaftlichkeit:
=> KWK-Betrieb geothermischer Anlagen => weiterer Ausbau des Nahwärmeverteilnetzes nötig
- Großer Forschungsbedarf bei Stromerzeugungsanlagen für Niedertemperaturwärme => Verbesserung der Wirkungsgrade (Weiterentwicklung ORC-Technik, neue Technik: Kalina-Verfahren)
- Perspektiven für Projektträger:
 - > Forschung an Methoden der Untergrunduntersuchungen (Seismik, FEM) => Minimierung des Fündigkeitsrisikos
 - > Fündigkeitsrisiko-Versicherungen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!