

BMU-Umweltinnovationsprogramm

Abschlussbericht

Zum Vorhaben:

„Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeezeugung“

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und
Reaktorsicherheit

Fördernehmer:	Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG
Umweltbereich:	Erneuerbare Energien
Laufzeit des Vorhabens:	01.05.2003 – 16.04.2009
Autor:	Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG und Rödl & Partner GbR
Datum der Erstellung:	05/09 - 08/09

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen: 70 441 - 2/11	Vorhaben-Nr.: 20071
Titel des Vorhabens: Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung	
Autor(en); Name(n), Vorname(n) Rödl & Partner GbR	Vorhabensbeginn: 01.05.2003
	Vorhabensende (Abschlussdatum): 16.04.2009
Fördernehmer/-in (Name, Anschrift) Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG Bahnhofsweg 8 82008 Unterhaching	Veröffentlichungsdatum: 30.09.2009
	Seitenzahl: 59
Gefördert aus der Klimaschutzinitiative im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
<p>Kurzfassung:</p> <p>Grundlage eines Tiefen-Geothermieprojekts ist die im Erdinneren gespeicherte Wärme. Die Nutzung dieses Potenzials stellt eine klimafreundliche Alternative zur Wärmeversorgung mit Heizöl und Gas dar und bietet zudem, unter entsprechenden Voraussetzungen, die Möglichkeit der Stromproduktion.</p> <p>Die Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG hat eine der ersten deutschen Geothermieranlagen zur parallelen Erzeugung von Wärme und Strom realisiert. Für die Errichtung der Demonstrationsanlage konnte nicht auf Erfahrungswerte in der Qualität und Quantität zurückgegriffen werden, wie dies normalerweise notwendig ist. Die Erfahrungen aus dem Projekt Unterhaching, insbesondere im Bereich der technischen Gesamtkonzeption, der Bohrungen und der Kalina-Stromerzeugungstechnologie, stehen heute nachfolgenden Projekten zur Verfügung und reduzieren damit deren Gesamtrisiko. Dies unterstreicht den ursprünglichen Status als Pilotprojekt und Demonstrationsvorhaben.</p> <p>Die ersten Maßnahmen zur Realisierung der geothermischen Energieversorgung in Unterhaching fanden bereits im Jahr 2001 statt. Am 02.06.2009 wurde die Gesamtanlage offiziell durch Herrn Bundesumweltminister Sigmar Gabriel eingeweiht. Während der Projektrealisierung wurden inklusive der noch geplanten Investitionen im zweiten Halbjahr 2009 ca. 80 Mio. Euro in die Anlagentechnik inkl. des neu errichteten Fernwärmenetzes der gesamten Geothermieranlage investiert.</p> <p>Zu Beginn des Projektes musste die Produktionsbohrung errichtet werden. Erst nach Vorlage der Testergebnisse Ende 2004 wurde mit der Planung und Realisierung der weiteren Anlagenteile begonnen. Die beiden Bohrungen Gt Unterhaching 1a (Tiefe 3.350 m; Temperatur 123,5 °C; Schüttung 150 l/s) und Gt Unterhaching 2 (Tiefe 3.590 m; Temperatur 133,7 °C; Schüttung 150 l/s) stellen die Fördereinrichtung für die Energie dar. Die Errichtung der Dublette war der grundlegende</p>	

Schritt zur geothermischen Energieversorgung in Unterhaching und entspricht einem Investitionsvolumen von ca. 29 % der Gesamtinvestitionen. Zur Absicherung der Risiken wurde auf eine entsprechende Risikoverteilung bei der Bohrvertragsgestaltung geachtet und erstmals eine Fündigkeitsversicherung abgeschlossen.

Das heiße Thermalwasser aus der Bohrung Gt Unterhaching 1 wird durch eine Pumpe an die Erdoberfläche gefördert und steht dort über zwei separate Kreisläufe zur Erzeugung von Wärme und Strom zur Verfügung. Möglich wird dies durch ein automatisch gesteuertes Drei-Wege-Ventil, welches wärmegeführt das Wasser auf die beiden Prozesse verteilt. Wärmegeführt bedeutet, dass je nach Energiebedarf des Fernwärmenetzes die tatsächlich für die Wärme- bzw. Stromerzeugung zur Verfügung stehende Leistung über die Steuerung des Mengenflusses geregelt wird. D. h. bei einem erhöhten Energiebedarf im Fernwärmenetz reduziert sich die zur Stromerzeugung bereitgestellte Energie. Sobald der Bedarf an Heizenergie sinkt, kann wieder mehr Thermalwasser für die Stromproduktion verwendet werden, so dass die Nutzung der thermischen Energie ganzjährig optimiert wird. Die Entscheidung über diese Fahrweise wurde aufgrund des höheren Deckungsbeitrags der Wärmelieferung getroffen.

Seit Oktober 2007 wird die Erdwärme für die Wärmeversorgung genutzt. Hierzu wird das 28 km lange Fernwärmenetz über Plattenwärmetauscher mit dem geförderten Thermalwasser erhitzt. Bei einer Förderleistung von 150 l/s stehen im Temperaturbereich von 122,4 °C auf 60 °C jährlich 38 MW thermischer Leistung zur Verfügung, um die Bürgerinnen und Bürger sowie die Gewerbetreibenden der Gemeinde Unterhaching über das Fernwärmenetz zu versorgen. Die Fernwärmeanschlussleistung betrug am 1.1.2009 bereits rund 30,5 MW. In Unterhaching wurde das größte neu errichtete Fernwärmenetz in Deutschland seit Anfang der achtziger Jahre gebaut. Langfristiges Ziel des Fernwärmeausbaus ist eine Anschlussleistung von über 70 MW. Seit der Inbetriebnahme des Fernwärmenetzes wurden bis zur offiziellen Einweihung rd. 21.000 t CO₂ Emissionen eingespart. Durch den während des Probetriebes zwischen Februar und Mai 2009 erzeugten Strom wurden bereits 1.500 t CO₂ substituiert.¹

Die Stromerzeugung wird durch die Kalina-Technologie möglich. Grundlage dieses Verfahrens ist das Arbeitsmedium Ammoniak, welches bereits bei -33 °C siedet und sich sehr gut mit Wasser mischt. Das heiße Thermalwasser erhitzt mittels Wärmeübertragung in Wärmetauschern ein Ammoniak-Wasser-Gemisch, wodurch Dampf entsteht, der eine Turbine antreibt, welche die Stromerzeugung über einen Generator ermöglicht. Die durchschnittliche elektrische Leistung der Kalina-Anlage beträgt 3,36 MW. Bei einer langfristig angenommenen Laufzeit von 6.400 Stunden pro Jahr im Teillastbetrieb mit dem Fernwärmenetz werden somit etwa 21.500 MWh/a Strom produziert.

Das ausgekühlte Wasser wird über eine Thermalwasserleitung zurück in die ca. 3,6 km entfernte Bohrung Gt Unterhaching 2 geführt, wo das Wasser in den Untergrund zurück geleitet wird. Dort wird bisher keine weitere Verpresspumpe benötigt, es ist dort lediglich ein Druckhalteventil installiert. Der obertägige Thermalwasserkreislauf wird kontinuierlich unter Druck gehalten um

¹ Quelle des verwendeten CO₂-Äquivalents: Fritsche, R./Rausch, L.: (Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme, 2008) S. vi.

Ablagerungen und Ausgasungen zu verhindern.

Um die Versorgungssicherheit zu garantieren wurde zusätzlich ein Heizwerk errichtet, welches zur Spitzen- und Redundanzversorgung dient. Es können hierfür Heizöl oder Gas eingesetzt werden, wobei derzeit aus wirtschaftlichen Gründen nur Heizöl eingesetzt wird. Der Anteil der fossilen Zuheizung soll bei unter 10% der verkauften Wärmeenergie bleiben.

Mit der Nutzung des geothermischen Potenzials, insbesondere der Wärmeversorgung über ein geothermisches Fernwärmenetz, sind verschiedene Vorteile verbunden:

- Klimaschonende Strom- und Wärmeerzeugung als Alternative zu fossilen Energiequellen, d.h. Einsparung von CO₂ und von endlichen Ressourcen wie Öl, Gas oder Uran.
- Keine zusätzliche Umweltbelastung durch die Belieferung dezentraler Heizsysteme (Substitution der Versorgung mit Einzelfeueranlagen auf Basis von Heizöl/Gas)
- Unabhängigkeit von ausländischen Energielieferungen → lokale und dezentrale Energieversorgung
- Weitestgehende Unabhängigkeit von Heizöl- und Gaspreisentwicklung
- Relativ stabile Preisentwicklung des Wärmepreises
- Erfüllung von gesetzlichen Bauvorschriften, insb. z. B. des EEWärmeG durch möglichen Versorgungsanteil aus Geothermie als erneuerbare Energie
- Standortvorteil durch CO₂-freie Wärmeversorgung für Gemeinden/Städte
- Imagegewinn der Gemeinde/Stadt
- Grundlastfähigkeit

Zur erfolgreichen Umsetzung des Geothermieprojektes zog der Gemeinderat einen unabhängigen Projektmanager, die Prüfungs- und Beratungsgesellschaft Rödl & Partner aus Nürnberg, hinzu. Durch diesen Schritt wurden verschiedene Ziele angestrebt: Die Vermeidung von Verflechtungen einzelner Projektbeteiligter und damit die optimale Kontrollmöglichkeit der erbrachten Leistungen sowie die professionelle Handhabung wirtschaftlicher und rechtlicher Risiken.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Realisierung des Geothermieprojektes ein großer Erfolg war und eine Vielzahl von möglichen Risiken nicht eingetreten ist. Nach heutigen Erkenntnissen liegt die statische Amortisationszeit bei rund 15 Jahren.

Schlagwörter:

Geothermie, Stromerzeugung, Strom- und Wärmeerzeugung, Kalina, Unterhaching

Anzahl der gelieferten Berichte:

- Papierform:
 - 9 gebundene Exemplare,
 - 1 ungebundenes Exemplar,
- Elektronische Datenträger: CD (Word-Datei)

Sonstige Medien: keine

Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: Nein

File Reference: 70 441 - 2/11	Project No.: 20071
Project Title: Construction and Operation of a Geothermal Plant for Power and Heat Generation	
Author(s); Name(s), First Name(s) Rödl & Partner GbR	Starting Date: May 1, 2003
	Closing Date: April 16, 2009
Funding Recipient (Name, Address) Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG Bahnhofsweg 8 82008 Unterhaching	Publication Date: September 30, 2009
	Page Count: 59
Funded under the Climate Initiative within the framework of the Environment Innovation Program of the Federal Ministry for the Environment	
<p>Summary</p> <p>A deep geothermal project's foundation is the heat stored in the earth's interior. The utilization of this potential offers an environmentally friendly alternative to heat supply with gas or fuel plus the possibility of power production.</p> <p>Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG has built one of Germany's first geothermal plants to simultaneously produce heat and electricity. The construction of the demo plant had to be done without the usually available quality and quantity of empirical value. Especially the experience of the technical master plan, drillings and Kalina technology are available today to minimize the overall risk of subsequent projects.</p> <p>The first means to realize the geothermal energy supply already started in 2001. 8 years later the plant was officially inaugurated by the Environment Minister on June 2, 2009. In the beginning the excavation had to be done. Only after presentation of the test scores at the end of 2004 planning and realization proceeded. Both drillings are the conveyor mechanism for geothermal energy. The construction of the doublet has been the fundamental step leading to geothermal energy supply in Unterhaching and corresponds to an investment volume of about 29% of total investment. To secure the risks, a distribution of risks has been made in the contract design and an insurance against the risk of non-discovery has been taken out for the first time.</p> <p>Since the beginning of the eighties, no larger district heating grid in Germany has been built than the one in Unterhaching. The long-term goal is an installed capacity of over 70 MW. Since commissioning of the district heating grid, about 21,000 t CO₂-emissions have been saved until official inauguration. The generated power during test operations between February and May 2009 substituted 1,500 t CO₂.</p> <p>Power generation is enabled through the Kalina technology. The average electrical output of the Kalina plant is 3.36 MW. Assuming a long-term run time in partial-load operation of 6,400 hours/year, approximately 21,500 MWh/a power is generated.</p>	

The cooled-down water is lead back via a thermal water pipeline to the borehole Gt Unterhaching 2, located approx. 3.6 km away, where the water is fed back into the ground.

To guarantee security of supply, an additional heating plant has been constructed, which serves for peak and redundancy supply. Heating oil and gas can be used, but for economic reasons only heating oil is currently being used. The share of additional fossil heating is to be limited to less than 10 % of the sold heat.

There are several benefits associated with the use of geothermal potential, in particular with the heat supply by a geothermal district heating grid:

- Climate-friendly power- and heat generation serving as an alternative to fossil energies, i.e. saving of CO₂ and finite resources like oil, natural gas and uranium.
- No additional pollution by the supply of decentralized heating systems (substitution of the supply with single firing units based on heating oil or gas)
- Independence from foreign energy deliveries → local and decentralized energy supply
- Widely independent from the price development of heating oil and gas
- Rather stable development of the heating price
- Fulfillment of building regulations, in particular of the EEWärmeG with the potential supply share from geothermal energy as a renewable energy
- Locational advantage for communities/municipalities through a heat supply free of CO₂
- Image improvement for community/municipality
- Base load ability

For a successful implementation of the geothermal project, the local council called in an independent project manager, the auditing- and consulting firm Rödl & Partner from Nuremberg. By taking this step, various goals were strived for: avoiding the interweaving of the project parties involved and thus giving optimal control of the services rendered as well as the professional handling of economic and legal risks.

To conclude, the realization of the geothermal project has been a big success and a multitude of potential risks have not occurred. With present knowledge, the static amortization period is about 15 years.

Tags:

Geothermal, Power Generation, Power and Heat Production, Kalina, Unterhaching

Number of provided Reports

- Paper:
 - 9 bound copies,
 - 1 unbound copy,
- Electronic Volume: CD (Word-Document)

Other Media: None

Publishing planned on the homepage: No

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
	1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens	1
	1.2 Ausgangssituation.....	1
2	Vorhabensumsetzung	3
	2.1 Ziel des Vorhabens	3
	2.2 Darstellung der technischen Lösung	4
	2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens	6
	2.3.1 Gewerk: Geothermie Tiefbohrung Gt Unterhaching 1a	8
	2.3.2 Gewerk: Geothermische Tiefbohrung Gt Unterhaching 2.....	11
	2.3.3 Gewerk: Tiefpumpe	13
	2.3.4 Gewerk: Thermalwasserleitung.....	14
	2.3.5 Gewerk: Obertageanlage.....	16
	2.3.6 Gewerk: Fernwärmenetz	16
	2.3.7 Gewerk: Heizwerk.....	18
	2.3.8 Gewerk: Kalina-Anlage.....	19
	2.3.9 Betrieb.....	21
	2.4 Behördliche Anforderungen	23
	2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten.....	24
3	Ergebnisse	26
	3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung	26
	3.2 Stoff- und Energiebilanz	29
	3.3 Umweltbilanz.....	32
	3.4 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms	34
	3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	35
	3.5.1 Projektmanagement	36
	3.5.2 Investitionen	36
	3.5.3 Einnahmen	37
	3.5.4 Lfd. Ausgaben.....	41

3.5.5 Fördermittel.....	42
3.6 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren.....	42
4 Empfehlungen	45
4.1 Erfahrungen aus der Praxis.....	45
4.2 Modellcharakter	46
4.3 Fazit.....	48
5 Literaturverzeichnis	49

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Anlagenkonzept Geothermie Unterhaching	4
Abbildung 2: Standorte Geothermie Unterhaching	7
Abbildung 3: Fernwärmenetz Unterhaching	17
Abbildung 4: Modellhaftes Nutzungskonzept der geothermischen Energie in Unterhaching im Endausbau	29
Abbildung 5: Strombezug Geothermie Unterhaching im April 2009	30
Abbildung 6: CO ₂ -Berechnung	33
Abbildung 7: Wirtschaftlichkeit eines Geothermieprojektes	35
Abbildung 8: Investitionskosten Geothermie Unterhaching	37
Abbildung 9: Anteilige Betriebskosten in %	41
Abbildung 10: Beispielhaftes Jahressganglinienmodell bei Endausbau 70 MW _{th}	43

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Datenblatt Geothermie Unterhaching.....	6
Tabelle 2: Leitsystem	25
Tabelle 3: Strombedarf.....	30
Tabelle 4: Übersicht Stromproduktion.....	32

1 Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Gemeinde Unterhaching hat im Rahmen Ihrer Verpflichtung zur Daseinsvorsorge für ihre Bürgerinnen und Bürger, zur langfristigen Sicherstellung der Wärmeversorgung sowie zur öffentlichen Versorgung mit Strom das Geothermieprojekt Unterhaching ins Leben gerufen. Zur Erfüllung der damit verbundenen Aufgaben wurde im Jahr 2002 die Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG gegründet. Sie ist eine 100 % Tochter der Gemeinde. Gegenstand des Unternehmens sind insbesondere die Projektentwicklung sowie die Errichtung und der Betrieb der Anlage zum Zwecke der Erzeugung, Verteilung und des Verkaufs von Wärme und Strom.

Im Jahr 2002 wurde Rödl & Partner von der Gemeinde Unterhaching als Gesamtprojektmanager beauftragt. Der Vertrag ging später auf die Projektgesellschaft über. Gegenstand der Beauftragung war die Übernahme des Projektmanagements sowie die laufende Beratung bis zur technischen Abnahme der Geothermieanlage inklusive Stromerzeugungsanlage.

Aktuell sind bei der Gesellschaft neben zwei Geschäftsführern und einem technischen Betriebsleiter drei kaufmännische Sachbearbeiterinnen angestellt.

1.2 Ausgangssituation

Die Gemeinde Unterhaching befindet sich im Süden von München. In dieser Region wurde bereits im Rahmen früherer Erdöl- und Erdgasexploration das Vorhandensein von heißen Tiefenwässern nachgewiesen. Im nahegelegenen Landkreis Erding, östlich von Unterhaching, wird seit Anfang 1983 Thermalwasser aus einer erfolglosen Ölbohrung für die Versorgung eines Schwimmbads, eines Fernwärmenetzes mit Wärme sowie für die Gewinnung von Trinkwasser genutzt. Insbesondere nachdem die Vergütung von Strom aus Geothermie durch das EEG geregelt wurde, konnte die Wirtschaftlichkeit von entsprechenden Vorhaben mit Stromgewinnung dargestellt werden.

Die Förderung der im Erdinneren gespeicherten Energie, um sie in Form von Wärme und Strom nutzbar zu machen, wurde durch eine Machbarkeitsstudie auch für die Gemeinde Unterhaching positiv eingeschätzt. Mit der Befürwortung des Projektes durch den Bau- und Umweltausschuss am 11.9.2001 sowie den Gemeinderat fiel der Startschuss für die Errichtung der Geothermieanlage. Damit war die Gemeinde Unterhaching eine der ersten Kommunen, die sich mit der Geothermie befasste und die erste Kommune überhaupt, welche ein Erlaubnisfeld auch für die Stromproduktion beantragt hatte. Die Anlage sollte mit dem Ziel errichtet werden, neben einer nachhaltigen Energieversorgung auch langfristig einen wirtschaftlichen Beitrag zur Aufgabenerfüllung der Gemeinde zu leisten.

Die geologischen Voraussetzungen für die Gewinnung von Wärme und Strom waren ideal: Der Top-Malm wurde auf ca. 2.750 m bis 3.000 m geschätzt, wobei die Temperatur zwischen 100°C und 120°C und die Schüttungsrate zwischen 120 und 150 l/s liegen sollte. Diese Annahmen wurden mit der

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Fachwelt und insbesondere mit den beteiligten öffentlichen Stellen mehrheitlich kontrovers diskutiert.

Die im Erneuerbare Energien Gesetz festgelegte Stromvergütung von 8,95 Cent / kWh bot einen ersten wirtschaftlichen Rahmen für das Projekt. Des Weiteren begünstigte die seit 2003 rasante Preisentwicklung von Heizöl die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, so dass die Anlagenkonzeption auf Basis von wirtschaftlichen Untersuchungen von einer stromgeführten auf eine wärmegeführte Anlage umgestellt wurde. Aufgrund des Preisniveaus der fossilen Energieträger, welches zum Zeitpunkt der Erstellung der Machbarkeitsstudie bei ca. 25 \$/Barrel Rohöl Brent lag, konnte ursprünglich keine umfangreichere wirtschaftlich rentable Wärmebereitstellung aus Geothermie dargestellt werden. Vor diesem Hintergrund war in der Ursprungskonzeption insbesondere die Versorgung der gemeindeeigenen Liegenschaften durch ein Nahwärmenetz mit einer Länge von wenigen Kilometern Trassenlänge vorgesehen.

2 Vorhabensumsetzung

In diesem Kapitel werden zunächst die Ziele des Vorhabens vorgestellt. Im Folgenden wird die technische Lösung zur Projektumsetzung als ganzheitliches Schema dargestellt und das grundsätzliche Anlagenkonzept der Geothermie Unterhaching erläutert. Darauf folgt eine Tabelle mit den wichtigsten Projektinformationen im Überblick. Die detaillierte Betrachtung und Erläuterung der einzelnen Gewerke bzw. des Projektverlaufs und der Hindernisse in diesem Zusammenhang erfolgt im Kapitel 2.3.

2.1 Ziel des Vorhabens

Das Ziel des Vorhabens war die Errichtung einer Geothermieanlage zur kombinierten Wärme- und Stromgewinnung aus Geothermie.

Im Rahmen der Bewilligung der Förderung des Demonstrationsvorhabens wurde bei Endausbau eine Energiebereitstellung von 60.080 MWh_{th}/a angestrebt. Dieses Ziel wurde aufgrund der überaus positiven Entwicklungen am Wärmemarkte ab dem Jahr 2003 intern nach oben korrigiert. In der Gemeinde Unterhaching sollen daher mittel- bis langfristig Fernwärmeanschlüsse mit einer Anschlussleistung von ca. 70 MW bzw. einer jährlichen Wärmemenge von 120.000 MWh_{th} von der Geothermiegesellschaft angeschlossen bzw. versorgt werden. Ein weiterer Ausbau des Netzes ist wirtschaftlich und ökologisch auch noch darüber hinaus sinnvoll, denn selbst bei einer Anschlussleistung von 100 MW_{th} liegt der Bedarf an fossiler Zuheizung bei nur ca. 10 %. Dies rührt vom Lastverhalten in einem Fernwärmenetz (nur wenige Stunden im Jahr wird die maximale Abnahme erreicht) und der sog. „Gleichzeitigkeit“ (nicht alle Kunden benötigen zur gleichen Zeit die maximale Leistung) her.

Je höher die Verkaufsmenge im Fernwärmenetz, desto weniger Stromerzeugung ist möglich. Im Bereich der Stromerzeugung ist lt. Förderbescheid der Zielwert von bis zu 18.600 MWh_{el}/a angestrebt. Dieser Wert ist bei Erreichung der vollen Leistungsfähigkeit der Geothermieanlage von 6.000 Volllaststunden zu sehen. In den nächsten Jahren wird jedoch intern bis zur Erreichung des Vollausbau eine Durchschnittsleistung von 3,36 MW_{el} angestrebt, was bei einer geplanten Volllaststundenzahl von 6.400 einer elektrischen Energie von 21.500 MWh_{el}/a entspricht.

Eine weitere Zielstellung war die wirtschaftliche Umsetzung des Projektes. Zu Projektbeginn wurde als Zielwert eine statische Amortisationszeit von rund 15 Jahren ab Inbetriebnahme der Gesamtanlage angenommen, was nach heutiger Sicht als realistisch eingeschätzt wird.

Nicht zuletzt ist die Geothermie Unterhaching auch bestrebt, einen erheblichen Beitrag zur CO₂-Einsparung der Gemeinde Unterhaching im Rahmen des Kyoto-Protokolls zu leisten. In der Bewilligung zum Demonstrationsvorhaben wurde festgelegt, dass eine Vermeidung von Kohlendioxidemissionen auf bis zu 35.441 Tonnen pro Jahr angestrebt werden soll.

2.2 Darstellung der technischen Lösung

Basis für das technische Konzept der Geothermie Unterhaching ist die **parallele** Wärme- und Stromerzeugung im Rahmen einer wärmegeführten Anlage.² Bei einer wärmegeführten Anlage ist die erwartete Außentemperatur und damit die erwartete Wärmeabnahme maßgeblich dafür, für welches „Produkt“ die Energie des Thermalwassers genutzt wird. Zur Erzeugung der beiden Produkte, langfristig insbesondere zur Wärmeversorgung der Gemeinde Unterhaching, stehen bei einer Förderleistung von 150 l/s dauerhaft 38 MW thermische Leistung zur Verfügung.

Die Geothermieanlage lässt sich in acht Gewerke einteilen. Diese Gewerke sind im Einzelnen:

- Produktionsbohrung,
- Reinjektionsbohrung,
- Pumpenanlage,
- Thermalwasserleitung,
- Wärmetauscher/ Obertageanlage,
- Fernwärmenetz,
- Heizwerk,
- Stromerzeugungsanlage.

Die Gewerke können zwar baulich unterschieden werden, können jedoch nicht getrennt voneinander betrachtet werden, da ihr Zusammenspiel den erfolgreichen Anlagenbetrieb ausmacht. Insofern war die Planung der einzelnen Komponenten zum Teil eine Herausforderung.³

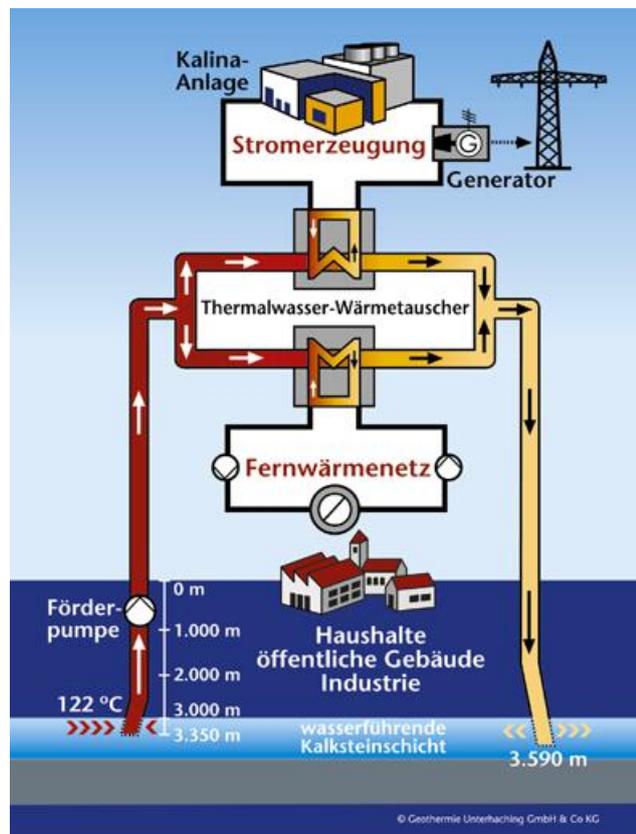


Abbildung 1: Anlagenkonzept Geothermie Unterhaching

Der Aufbau der Anlage lässt sich durch das Schema in Abbildung 1 darstellen und erläutern:

Die Produktionsbohrung ist in den weißen Jura (Malm) des bayerischen Molassebeckens abgeteuft worden. Dies ist eine wasserführende Gesteinsschicht, deren Thermalwasser je nach Tiefe und geologischen Verhältnissen Temperaturen von bis zu 190 °C erreicht. Am Standort Unterhaching ist das Wasser 122 °C bis 133 °C warm. Zur Förderung des Wassers bis an die Erdoberfläche ist eine Tiefpumpe in ca. 700 m Tiefe eingehängt. Das geförderte Wasser kann zur parallelen Wärme- und Stromerzeugung verwendet werden. Technisch umgesetzt wurde dies durch die Staffelung und **parallele Anordnung** der Wärmetauscher. Über ein Drei-Wege-Ventil wird das Wasser wärmegeführt

² Zur Entscheidungsfindung siehe Kapitel 2.3

³ Zu den einzelnen Punkten siehe Kapitel 2.3

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

auf die beiden Kreisläufe zur Wärme- bzw. Stromproduktion verteilt. Das Wasser des Fernwärmenetzes wird durch die Wärmetauscher erwärmt und durch eine Netzumwälzpumpe im Netz verteilt, bis es schließlich an den Hausübergabestationen die Wasserkreisläufe der Wärmeabnehmer erwärmt. Die restliche Menge Thermalwasser wird für die Stromerzeugung genutzt. Gesteuert wird dies über die übergeordnete Leittechnik. In der Kalina-Anlage wird durch das Thermalwasser ein Ammoniak-Wasser-Kreislauf erhitzt. Durch die niedrige Siedetemperatur des Ammoniaks (-33 °C), verdampft das Stoffgemisch bei deutlich niedrigen Temperaturen, als dies bei reinem Wasser der Fall ist (100 °C). Der entstandene Dampf treibt eine Turbine an und es wird über einen Generator Strom erzeugt. Das Thermalwasser gelangt nach Wärmeentzug für die beiden Nutzungsformen über die Thermalwassertrasse zur Bohrung Gt Unterhaching 2. Hier wird das Wasser mit einer Rücklauftemperatur von etwa 60°C wieder in den Erdboden geleitet. Derzeit ist hierzu keine Reinjektionspumpe notwendig, da der geförderte Volumenstrom auch ohne zusätzlichen Druck in den Untergrund abfließt. Die Druckhaltung erfolgt im Wesentlichen über ein Regelventil vor der zweiten Bohrung.

Um beispielsweise bei einem Pumpenausfall die Wärmeversorgung der Bürgerinnen und Bürger zu gewährleisten, wurde des Weiteren ein Heizwerk errichtet, das sowohl mit Gas als auch mit Heizöl die Versorgung der Gemeinde sicherstellen kann. Derzeit befindet sich nur Heizöl im Einsatz, da aktuell die Bereitstellung eines Gasanschlusses aus wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll erscheint.

Die wichtigsten Daten der Geothermieanlage vorab im Überblick:

Gt Unterhaching 1a (Produktionsbohrung)	Tiefe	3.350 m
	Schüttung rechnerisch	bis zu 150 l/s
	Temperatur	123,5 °C
Gt Unterhaching 2 (Reinjektionsbohrung)	Tiefe	3.590 m
	Schüttung rechnerisch	150 l/s
	Temperatur	133,7 °C
Tiefpumpe	Aktuelles Pumpenmodell (seit Juni 2009)	Centrilift WNE 2100 + Motor 880 Serie
	Aktuelle Leistung	bis zu 125 l/s
	Mittel-/langfristig angestrebte Leistung	135 l/s / ≥ 150 l/s
Thermalwasserleitung	Durchmesser	350 mm
	Länge	3,5 km
	Material	GFK-Rohre
Wärmetauscher FW	Leistung	2 x 16 MW 2 x 4 MW
	Fernwärmenetz	
	Länge (2008)	28.222 m
	Anschlussleistung (2008)	30.420 kW

	Wärmeverkauf (2008)	47.023 MWh
Heizwerk	Kesselleistung aktuell	2 x 23,5 MW (Gas oder Öl) (Ausbaumöglichkeit: 1 weiterer Kessel)
Kalina-Anlage	Leistung im Auslegungspunkt	3,36 MW _{el}
	Arbeitsmedium	Ammoniak/Wasser-Gemisch

Tabelle 1: Datenblatt Geothermie Unterhaching

2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

Die Geothermieanlage Unterhaching ist bekannt als größtes deutsches Geothermieprojekt, welches eine parallele Wärme- und Stromerzeugung ermöglicht. Sie wurde am 02.06.2009, im Beisein von Herrn Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Sigmar Gabriel und dem Leiter der Bayerischen Staatskanzlei, Herrn Staatsminister Siegfried Schneider, offiziell in Betrieb genommen. Bis es jedoch zur erfolgreichen Inbetriebnahme kam, waren viele Hürden zu nehmen. Der Projektablauf, -verlauf und die wichtigsten zu überwindenden Hindernisse werden im Folgenden beschrieben.

Die ersten Grundlagen für das Projekt wurden bereits am 11.9.2001 gelegt: Der Bau- und Umweltausschuss sowie der Gemeinderat beschlossen die Projektrealisierung. Initiator und treibende Kraft war der damalige Bürgermeister Dr. Erwin Knapke, heute Altbürgermeister und Vorsitzender des „Wirtschaftsforum Geothermie e.V.“.

Ursprünglich wurde das Projekt von der Gemeinde und deren Verwaltung selbst getragen, bis am 21.08.2002 eine eigene Projektgesellschaft, die Geothermie Unterhaching GmbH & Co. KG, gegründet wurde. Auf die neue Gesellschaft gingen alle bestehenden Verträge über. Grund für die Auswahl der Rechtsform war die damit verbundene Möglichkeit der Hinzunahme von Kommanditisten. Während vor der Bohrung kein externer Kapitalgeber zur Verfügung stand, hat sich die Gemeinde Unterhaching nach der überaus erfolgreichen Bohrung entschlossen, das vielversprechende Projekt ohne externen Kapitalgeber zu realisieren.

Aufgrund erster geologischer Untersuchungen wurde der Top-Malm auf 2.750 m Tiefe geschätzt, in dem eine Temperatur von 100-120 °C und eine Fließrate von 120-150 l/s erwartet wurde. Ausgehend von diesen Werten wurde zu Beginn eine stromgeführte Anlage geplant. Dies geschah aufgrund des EEG, welches über die Möglichkeit der Stromproduktion eine Mindestwirtschaftlichkeit gewährleistete. Außerdem beinhaltete die Planung zu dieser Zeit die Annahme, dass hauptsächlich gemeindeeigene Gebäude an das Fernwärmenetz angeschlossen würden. Diese Anlagenkonzeption wurde in den späteren Jahren aufgrund der sich ändernden Rahmenbedingungen korrigiert, denn unter anderem machte der seit 2003 stetig gestiegene Heizölpreis eine Versorgung der Gemeinde mit Fernwärme aus Geothermie wirtschaftlich sinnvoll. Beschlossen wurde dies aufgrund von umfangreichen Sensitivitätsanalysen, welche die Wirtschaftlichkeit der beiden Varianten

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

gegenüberstellten. Des Weiteren spielten die Vorteile der Geothermie als preisstabile Energieform⁴, und weitere Faktoren, wie das gestiegene Bewusstsein für Klimaveränderungen oder der Wunsch nach unabhängiger Energieversorgung eine maßgebliche Rolle für die steigende Nachfrage der Bürgerinnen und Bürger sowie der Gewerbetreibenden nach Fernwärmeversorgung durch Geothermie. Nicht zuletzt trug auch eine offensive Werbestrategie für einen Anschluss an das geothermische Wärmenetz zum Erfolg bei.

Im Nachhinein ist festzuhalten, dass die äußeren Einflussfaktoren (Heizölpreisentwicklung, Klimaschutzfördermaßnahmen, etc.) maßgeblich für die Anlagenauslegung waren, denn diese haben sich während der ersten Jahre des Projektes maßgeblich verändert und so zu der heutigen Projektkonzeption beigetragen.

Weiterhin sind die Komplexität eines solches Projektes zu erwähnen sowie die große Zahl an Projektbeteiligten und Verträgen, die zur erfolgreichen Realisierung abgeschlossen werden mussten. Ca. 200 Vertragsverhältnisse waren die Grundlage für die insbesondere wirtschaftlich und rechtlich optimierte Projektumsetzung. Die ersten Verträge wurden zur Sicherung der für das Projekt benötigten Grundstücke sowie zur Beauftragung der technischen Planer abgeschlossen. Die relevanten Verträge werden im weiteren Verlauf des Berichtes bei den jeweiligen Gewerken näher erläutert.

In Abbildung 2 befindet sich ein Überblick über die Standorte der Gewerke.

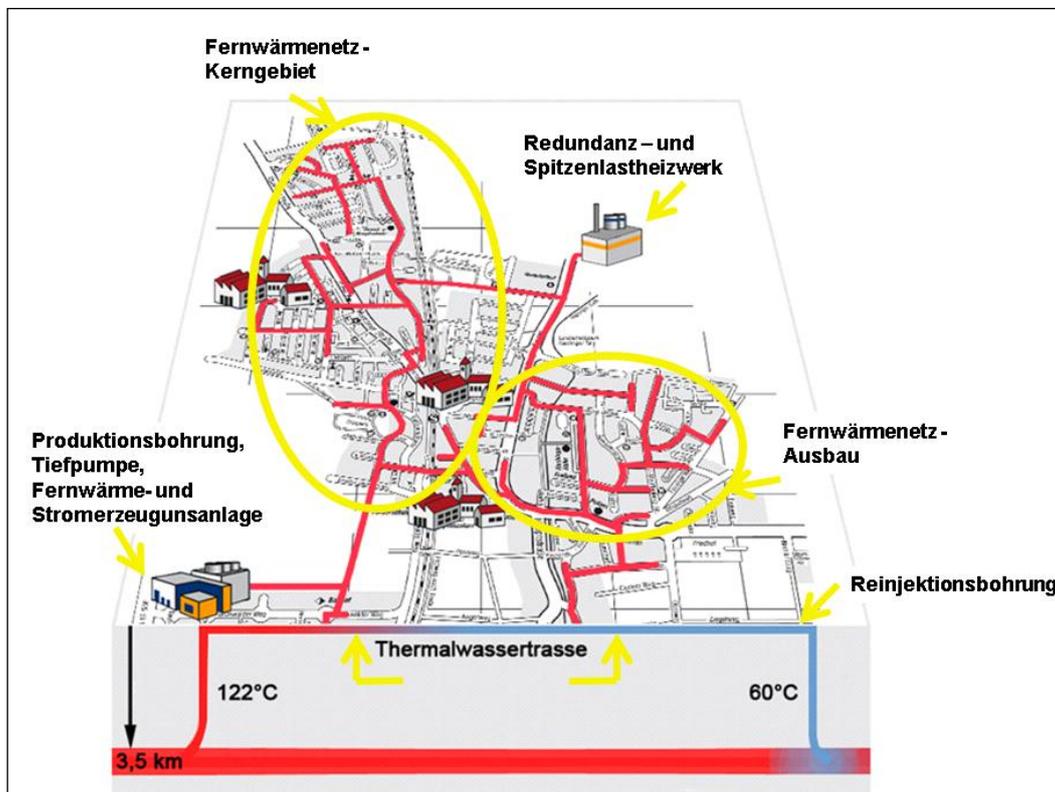


Abbildung 2: Standorte Geothermie Unterhaching

⁴ Siehe hierzu Kapitel 3.5

2.3.1 Gewerk: Geothermie Tiefbohrung Gt Unterhaching 1a

Bevor die erste Bohrung begonnen werden konnte, war einem Beschluss des Gemeinderates nachzukommen, eine Fündigkeitsversicherung für die Durchführung der ersten Bohrung zum Abschluss zu bringen. Die Grundlagen für das Versicherungskonzept wurden vom damaligen Gesamtprojektmanager Rödl & Partner gemeinsam mit der MünchnerRück erarbeitet, da bis zu diesem Zeitpunkt keine tragfähige Lösung am Markt existierte. Ziel war es, das Investitionshemmnis zu vermindern, indem das Fündigkeitsrisiko kalkulierbarer und beherrschbarer gemacht wurde.

Das Konzept basierte auf folgenden Grundvoraussetzungen:

- Berechnung der erforderlichen Mindestparameter „Schüttung“ und „Temperatur“ für einen wirtschaftlichen Betrieb der Gesamtanlage
- Abstimmung der Mindestparameter auf die Szenarien „Fündigkeit“ (wirtschaftliche Strom- und Wärmeerzeugung möglich), „Teilfündigkeit“ (nur wirtschaftliche Wärmeversorgung möglich), „Nicht-Fündigkeit“ (keine wirtschaftliche Energieerzeugung möglich)
- Da das für eine wirtschaftliche Projektrealisierung erforderliche Temperaturniveau als nahezu sicher erreichbar eingeschätzt wurde, sollte nur die „Schüttungsrate“ abgesichert werden
- Berechnung der Erfolgswahrscheinlichkeit für die notwendigen Schüttungsraten durch das Institut für Geologische Gemeinschaftsaufgaben (GGA), heute Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik
- Inhaltliche und finanzielle Definition von Stimulierungsmaßnahmen
- Exakte inhaltliche und zeitliche Definition der „Fündigkeit“ sowie des Prüfverfahrens

Das entwickelte Grundkonzept wurde über mehrere Monate mit der Münchner Rückversicherungs AG präzisiert, verfeinert und unterschriftsreif verhandelt. Das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie begleitete unterstützend und finanziell diese Aktivitäten im Bewusstsein, dass dieses „Teilprojekt Fündigkeitsversicherung“ ein zentraler Baustein für die weitere Entwicklung der Tiefengeothermie sein wird.

Schließlich konnte die weltweit erste privatwirtschaftliche Fündigkeitsversicherung nach ca. neun Monaten Verhandlungen mit Datum vom 20. November 2003 von der Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG unterzeichnet werden.

Nach erfolgreich abgeschlossener Fündigkeitsversicherung konnte nun ein entsprechendes Bohrunternehmen beauftragt werden. Für die erstmalig in der freien Wirtschaft so groß dimensionierte Geothermiebohrung standen nur wenige geeignete Bohrgeräte und **Fachbohrfirmen mit Erfahrung** beim Bohren nach Wasser zur Verfügung. Die Bohrindustrie, die über die großen Bohrgeräte verfügte, war auf den Erdöl- und Erdgasfeldern der Welt zuhause, die Bayerische Molasse und die besonderen Herausforderungen des Bohrens nach Wasser waren ihnen relativ fremd. Nach Abschluss eines europaweiten Ausschreibungsverfahrens erhielt jedoch die „ARGE Wärmestrom Bavaria“, ein Zusammenschluss der Unternehmen DrillTec GmbH und Anger's Söhne den Zuschlag und wurde am 13.11.2003 beauftragt. Zuvor musste ein Verfahren wegen nicht bezuschlagungsfähiger Angebote aufgehoben und ein zweites abgebrochen werden. Die Vergabe

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

konnte erst im Rahmen des zweiten Verfahrens erfolgen, als mit den Teilnehmern aus dem Teilnahmewettbewerb gemeinsam entwickelte Mindest-Vertragsstandards dem Bohrvertrag zugrunde gelegt werden konnten und die Kapazität auf dem Bohrmarkt sich erholt hatte.

Insbesondere die Gestaltung des Bohrvertrages war zum einen unter den beschriebenen Marktbedingungen und aufgrund der von der Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG gewünschten Vertragsgestaltung eine Herausforderung. Ziel der Projektgesellschaft war es, eine Bohrung als Gesamtpaket aus einer Hand und eine **Risikoverteilung** wie für ein Bauvorhaben zu bekommen. Die Verträge in der Erdöl- und Erdgasindustrie beschränken sich jedoch in der Regel auf das reine Bohren; die Bohrmannschaft ist sozusagen das Werkzeug des Auftraggebers, der meist selbst – ggf. mit externen Fachleuten, als sog. Operator die Verantwortung auf der Bohrstelle trägt und alle Entscheidungen zur Ausführung der Arbeiten trifft und die entsprechenden Anweisungen erteilt. Ebenso ist üblicherweise der Auftraggeber für die Materialauswahl und Beschaffung sowie die Auswahl und Organisation der Servicefirmen verantwortlich. Das Bohrunternehmen hat die Anweisungen des Operators nur auszuführen; für die Entscheidung selbst trägt es keine Verantwortung. Sämtliche Risiken einer Bohrung, die meist technisch oder geologisch begründet sind, trägt in dieser Konstellation der Auftraggeber.

Die Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG wollte einen anderen Weg gehen und lediglich das geologische Risiko (Baugrundrisiko) übernehmen. Ansonsten wollte sie eine Bohrung zu einem kalkulierbaren Preis aus einer Hand bekommen und die Gestaltung der Bohrarbeiten den Erfahrungen eines Fachunternehmens überlassen und gerade keine eigene Verantwortung für die Durchführung der Bohrung übernehmen. Schließlich überzeugten die Argumente und es konnten auf der Basis der für beide Vertragsparteien ausgewogenen Regelungen der Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB Teil B), sowohl für die erste als später auch für die zweite Bohrung, Verträge verhandelt werden, bei denen die Bohrungen in eigener Verantwortung des Bohrunternehmens als Gesamtwerk durchgeführt wurden. Die Bohrfirmen waren danach für die Gestaltung der Arbeiten, also z. B. für die Wahl der Geräte, die Intensität der Drehbewegungen, die Zusammensetzung und den Einsatz der Spülung sowie die Beistellung der erforderlichen Servicefirmen allein verantwortlich. Technische Schwierigkeiten beim Bohren, die z. B. auf den Einsatz ungeeigneter Geräte, Fehlfunktionen oder auf Leistungen von Servicefirmen zurückzuführen waren, lagen ausschließlich in der Verantwortlichkeit der Bohrunternehmen. Lediglich rein geologische Ereignisse, die zu Störungen des Bohrablaufs führten, also das Baugrundrisiko eines jeden Bauvorhabens, war von der Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG zu tragen, was letztendlich jedoch auch zu Mehrkosten für die Geothermie Unterhaching führte.

Die Abrechnung erfolgte nicht, wie in der Bohrindustrie üblich, nach Bohrzeit (daily rate), sondern größtenteils nach **Bohrmetern**, also unabhängig davon, wie lange diese Bohrung dauerte. Dies gab der Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG die Möglichkeit, die Bohrkosten genauer zu kalkulieren, da die Tiefe des angestrebten Malms und damit die Länge der Bohrstrecke vorher annähernd bekannt war.

Diese Risikoverteilung war der Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG wichtig, da der Erfolg des Geothermieprojekts vom Erfolg jeder einzelnen Bohrung abhing; bei Erdöl- und Erdgasprojekten

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

dagegen werden Fehlschläge wegen der Vielzahl der Bohrungen und der bedeutend höheren Wirtschaftlichkeit einzelner erfolgreicher Bohrungen einkalkuliert.

Für eine erfolgreiche erste Bohrung waren qualitativ gute geologische Daten über den Untergrund Grundvoraussetzung. Die erforderlichen Daten wurden käuflich bei RWE/DEA erworben und stammten aus den Jahren der Öl- und Gasexploration. Um nun den optimalen Bohransatz- und Bohraufschlagpunkt festzulegen, wurden mit finanzieller Unterstützung über das ZIP-Programm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit ein Reprocessing und eine Reinterpretation der Seismik durchgeführt. Auf Grundlage dieser Daten konnte der Bohransatzpunkt auf einem gemeindeeigenen Grundstück am Grünwalder Weg festgelegt werden. Erfreulicherweise lag zufällig fast direkt unter dem Grundstück ein vielversprechender Bohrzielpunkt.

Das Bohrkonzept, ausgearbeitet von der Geothermie Neubrandenburg GmbH (GTN), war auf eine vertikale Teufe von 3.350 m ausgerichtet. Die wichtigsten Fakten zur Bohrung im Überblick:

- Erste Rohrtour: Planung 18 5/8“ → Ist 16“
- Enddurchmesser: Planung 8 ½“ → Ist 8 ½“
- Einzügige Bohranlage (TYP HDD 350.1) mit einer Lafettenlänge von 18 m und einem Arbeitshub von 13 m
- Die Bohranlage war die Weiterentwicklung einer ursprünglichen Horizontal-Bohranlage und kam erstmals bei der geothermischen Tiefbohrung in Speyer zum Einsatz. Unterhaching war der zweite Einsatzfall.

Am 6. Februar 2004 schließlich wurde offiziell im Beisein vom damaligen Bundesumweltminister Jürgen Trittin und zahlreichen Gästen aus dem gesamten Bundesgebiet die erste Bohrung gestartet.

Die ersten Probleme traten bereits nach Einbau der ersten Rohrtour (18 5/8“) ein. Hier wurden bei der Zementation Undichtigkeiten in den 18 5/8“-Rohren festgestellt, so dass diese Rohrtour nicht mehr verwendbar war. In der Folge wurde entschieden, in die bestehende eine zusätzliche 16“-Rohrtour einzubauen. Die Undichtigkeit und die daraus folgende kleinere erste Rohrtour veränderten die ursprünglich geplante Bohrtechnik. Um das weitere Bohrkonzept aufrecht erhalten zu können (13 3/8“ danach 9 5/8“), musste nun Bohrtechnologie zum Hinterschneiden eingesetzt werden. Diese von allen Beteiligten völlig unerwartete Situation erforderte insbesondere aufgrund von Lieferzeiten für die neue Rohrtour einen dreimonatigen Bohrstopp.

Der zweite Bohrabschnitt innerhalb der 13 3/8“-Rohrtour verlief problemlos und sogar schneller als ursprünglich geplant, ebenso die sich anschließende Richtbohrstrecke. Mitte Juli trat ein weiteres Problem auf: Eine Festwerdehavarie in nahezu 3.000 m Tiefe. Nach Scheitern aller Maßnahmen zur Rettung der eingesetzten Geräte musste das Bohrgestänge abgesprengt und einzementiert werden. In Folge wurde bei ca. 2.800 m ein neuer Ast (Gt Unterhaching 1a) herausgebohrt. In der abschließenden geologischen Untersuchung stellte sich heraus, dass die erfolgten Prognosen über die Lage des Top-Malms und damit über den anzustrebenden Bohrverlauf nur wenige Meter von den tatsächlich angetroffenen Verhältnissen abwichen. Dieses Ergebnis bestätigte die qualitative hohe Leistung der prognostizierenden Geologen und Wissenschaftler.

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Mitte September 2004 – etwa 9 Monate nach tatsächlichem Bohrbeginn – konnte der Leistungstest durchgeführt werden. Die ersten Ergebnisse waren teilweise positiv, teilweise negativ. Die angetroffene Temperatur übertraf mit 123,5°C Schichttemperatur die optimistischsten Erwartungen. Die ersten Schüttungsraten blieben jedoch extrem unter den Erwartungen und hätten, bei Bestand dieser Werte, das Scheitern des Projektes zur Folge gehabt.

Nach Durchführung einer Stimulierungsmaßnahme in Form einer Drucksäuerung verbesserte sich das ursprüngliche Ergebnis der Schüttung um den Faktor 37, so dass mit bis zu 150 l/sec. ein sehr guter Wert erreicht wurde und die Bohranlage abgezogen werden konnte.

Als abschließende Maßnahme wurden im Frühjahr 2006 im Bereich der wasserführenden Schicht gelochte Rohre (Slotted Liner) eingebaut. Hierzu wurde eine kleinere selbstfahrende Bohranlage genutzt. Auch während dieses Einbaus zeigte sich etwas Ungeplantes: Die Bohrung hatte sich im oberen Bereich des Förderbereichs zugesetzt. Nur mit einer speziellen Einbautechnik und Dank der professionellen Unterstützung der technischen Planer GTN und des beauftragten Bohrunternehmens H. Angers Söhne konnten die Arbeiten mit nur geringer Verzögerung abgeschlossen werden. Die nach dem Einbau des Slotted Liners in einem längeren Test gemessenen Schüttraten der Bohrung deuteten allerdings auf einen höheren Stromverbrauch zur Förderung von 150 l/s als ursprünglich geplant hin. Der tatsächliche Druckverlust durch den Slotted Liner ist nicht bekannt, die offizielle Aussage der Bauleitung besagt, dass sich der negative Effekt des Slotted Liners mit dem positiven Erfolg der Säuerung aufhebt. Es gibt jedoch auch Aussagen von Experten, die diesen Standpunkt nicht vertreten und einen größeren positiven Effekt der Säuerung annehmen.

Aufgrund der Testergebnisse zeigte sich jedoch, dass die beiden bestellten Tiefpumpen (davon eine als Ersatz) für den Einsatz in der Gt Unterhaching 1a nicht optimal geeignet waren. Im Sommer 2009 wurde daher eine angepasste Förderpumpe in die Bohrung eingebaut. Auch bei dieser Pumpe handelt es sich um ein eigenes Forschungsvorhaben an dem sich die Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG beteiligte.

Die besonderen Hemmnisse der ersten Bohrungen noch einmal zusammengefasst:

- Fündigkeitsversicherung als Grundvoraussetzung für die Realisierung der ersten Bohrung
- Verfügbarkeit und Know-How von Bohrfirmen
- Vertragliche Gestaltung der Bohrverträge, insbesondere Risikoverteilung und Zahlung nach Bohrmeter
- Erstmalige Realisierung von derartigen Bohrdurchmessern
- Abweichende Leistung der Bohrung nach Langzeit-Pumptest

2.3.2 Gewerk: Geothermische Tiefbohrung Gt Unterhaching 2

Im Anschluss an die Bestätigung der überragenden Ergebnisse der ersten Bohrung im September 2004 wurde mit der Ausschreibung und Planung der zweiten Bohrung begonnen. Den Auftrag für Planung und Bauüberwachung erlangte die GTN, welche bereits die erste Bohrung betreut hatte. Aufgrund der guten Ergebnisse sowie erneuter seismischer Auswertungen nach der Bohrung Gt 1a

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Uha sowie dem hohen Potenzial wurde die beste von drei, aber nicht die ursprünglich vorgesehene Störung im Aufsuchungsfeld Unterhaching für die zweite Tiefbohrung genutzt.

Der Bohransatzpunkt wurde nahe der A8 im Südosten der Gemeinde festgelegt. Dieser Punkt war zwar unter Lärmbedingungen sehr günstig, allerdings war weder eine Wasserver- und Entsorgung noch eine Stromversorgung oder Datenanbindung verfügbar.

Unter anderem durch den gestiegenen Ölpreis erhöhte sich die weltweite Nachfrage nach Bohranlagen. Die vertragliche Gestaltung der zweiten Bohrung sollte aber analog zur ersten Bohrung verlaufen. Bei diesem Verfahren mussten zwei Vergabeverfahren erfolglos abgebrochen werden. Erst im dritten Anlauf konnte ein bezuschlagungsfähiges Angebot gefunden werden. Das erste Verfahren endete ohne Angebote, das zweite Verfahren wurde mit den Teilnehmern aus dem ersten Verfahren und zusätzlichen Teilnehmern begonnen, es ging ein Angebot ein, welches allerdings nach der Submission zurückgezogen wurde. (Anlage aus Polen wurde entzogen, Angebot stand unter dem Vorbehalt der Verfügbarkeit), beim dritten Verfahren gingen vier Angebote für die Bohrung ein. Das Verfahren wurde am 16.2.2005 begonnen und konnte erst am 9.1.2006 mit einem Zuschlag an H. Anger's Söhne mit einer englischen Bohranlage und -mannschaft erteilt werden. Zusätzliche Sicherheit konnte für die zweite Bohrung gewonnen werden, weil es gelang, die zweifellos bestehenden und mit keiner Vertragskonstellation zu beseitigenden **technischen und geologischen Risiken** mit einer erweiterten Bauleistungsversicherung abzusichern. In diese Versicherung konnten typische Störungsfälle wie Nachfall von Gestein in die fertig gestellte Bohrung oder das Festfahren des Bohrstrangs einbezogen und damit die Kosten für Schadensbeseitigung und Stillstand abgefangen werden. Weiterhin konnten sog. Lost in Hole Sachverhalte mit versichert werden, also die notwendige Bergung verlorener Gegenstände aus der Bohrung, die beispielsweise von dem Bohrgerät stammen können.

Der Gemeinderat als Gesellschafter der Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG verzichtete damals vor dem Hintergrund des Erfolgs der ersten Bohrung auf die Versicherung des Fündigkeitsrisikos.

Nach ablaufbedingten Wartezeiten konnte am 22.6.2006 mit der Bohrung begonnen werden. Genutzt wurde ein Bohrturm mit über 50 m Höhe. Die Stromversorgung wurde auf Basis von Generatoren realisiert. Im Gegensatz zur ersten Bohrung wurde diesmal von Anfang an mit kleineren Bohrdurchmessern und dem Einsatz der „Hinterschneidungstechnik“ geplant. Diese Technik wurde insbesondere durch die guten Erfahrungen bei der ersten Bohrung als wirtschaftlich vorteilhaft und technisch beherrschbar eingeschätzt. Zusätzlich zum Hinterschneidungsbohren sollte jedoch auch gleichzeitig eine Neigung aufgebaut werden (Richtbohrtechnik 13 ½“ auf 17 ½“). Der Neigungsaufbau konnte bei dieser Bohrung trotz mehrerer Versuche jedoch nicht wie geplant realisiert werden, was zu einer Verlegung des Zielpunktes und einer Verzögerung im Ablauf von mehreren Wochen führte. Schaum in der Spülung, Metall in der Bohrung und abnormer Verschleiß an Bohrmotoren waren weitere Herausforderungen, welche im Verlauf der Bohrarbeiten abgearbeitet werden mussten. Durch die Vertragsgestaltung ging ein Großteil der hier entstandenen Kosten nicht zu Lasten der Geothermie Unterhaching.

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Im November 2007 wurde die geplante Endteufe erreicht. Erste Einschätzungen nach den Tests schienen auf einen Erfolg der Bohrung hinzuweisen. Detaillierte Auswertungen machten allerdings später deutlich, dass die Bohrung noch einmal vertieft werden musste.

Nach der Vertiefung, einer längeren Phase des Bohrens ohne Spülung sowie einigen Säure-Stimulierungen, konnte die zweite Bohrung im Januar 2009 als Erfolg gefeiert werden. Entgegen der Erwartungen aller Geologen war das Ergebnis der Bohrung nicht nur hydraulisch (Auswirkung auf den Pumpstromaufwand) sondern auch thermisch (d. h. höhere Fördertemperatur des Thermalwassers) noch besser als das Ergebnis der ersten Bohrung. Die Temperatur von 133,7°C bei 150 Litern pro Sekunde bedeutete insgesamt einen zusätzlichen Energiegehalt des Thermalwassers im Vergleich zur ersten Bohrung von ca. 7 MW thermischer Leistung. Dieses enorme Mehr an Energiegehalt führte letztendlich auch zur Überlegung und intensiven wirtschaftlichen Überprüfung, den Dublettenkreislauf umzukehren, was jedoch im Oktober 2008 vom Aufsichtsrat nach intensiver Bewertung der technischen Risiken abgelehnt wurde.

Bei einem Injektionstest nach Abschluss der Bohrung zeigte sich eine weitere Besonderheit von Tiefbohrungen: Vermutlich bei der Injektion von kaltem Wasser in die Bohrung zu Testzwecken geriet das Metall der Verrohrung bei fast 2.700 m Tiefe derart unter Spannung, dass ein Loch in der Verrohrung entstand. Dieses Loch musste später mit aufwändigen Maßnahmen abgedichtet werden, wofür allerdings die entsprechende Versicherung aufkam.

Die besonderen Herausforderungen der zweiten Bohrung noch einmal zusammengefasst:

- Geringe Verfügbarkeit von Bohranlagen
- Versicherung über das technische Bohrrisiko
- Sichern des Grundstücks über Kauf- bzw. Erbpachtverträge und Grunddienstbarkeiten
- Verhandlungen mit der Autobahnmeisterei und der Verwaltung der Grundstücke des Bundes über die Grundstücksnutzung während und nach der zweiten Bohrung
- Zweiten „Festpreis-Vertrag“ für eine Tiefbohrung nach europaweiter Ausschreibung
- Verträge mit acht verschiedenen Unternehmen im Umfeld der Bohrung
- Höhere Bohrkosten (und Fördermittel) durch viele Tests und Vertiefung der Bohrung
- Schäden an den Rohren während der Testarbeiten
- Schaffung der Infrastruktur für die Bohrung in Bezug auf Strom- und Wasserversorgung und Testwasserentsorgung.

2.3.3 Gewerk: Tiefpumpe

Im Projekt Unterhaching wurde bereits für die erste Projektphase die bis dato größte Tiefpumpe in einem Geothermieprojekt eingesetzt, was für sich alleine genommen bereits eine große technische Herausforderung war. Die Vergabe der Tiefpumpe erfolgte im Rahmen eines europaweiten Vergabeverfahrens mit zusätzlicher Anbietersuche in Russland, USA und China. Dabei stellte sich heraus, dass der Anbieter der Pumpe, Baker Hughes/Centrilift, faktisch eine **Monopolstellung** innehatte, was sich zum einen auf die Wahl der Pumpe als auch auf die vertraglichen Verhandlungen auswirkte. Insbesondere vertraglich musste hier ein für kommunale Verhältnisse unüblicher Vertrag geschlossen werden, was aufgrund der Marktsituation aber unumgänglich war.

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Die Temperatur des Thermalwassers sowie die geforderte Fördermenge in Kombination, stellten den Lieferanten vor beachtliche Herausforderungen. Die 12-stufige Tauchpumpe ist eine **Spezialanfertigung**, da in diesen Volumina im Normalfall keine Pumpen benötigt werden. Auch in der Kohlenwasserstoffexploration werden Pumpen mit der Belastung dieser Temperatur und Schüttung nicht benötigt.

In diesem Hinblick hat die Pumpe in Unterhaching den Weg geebnet für weitere Geothermieprojekte, welche die Realisierung des Konzepts von Unterhaching, insbesondere dabei die Stromerzeugung zum Ziel haben. Mehrere Hersteller arbeiten z. T. mit Förderung durch das BMU mit Hochdruck an der Weiterentwicklung aktueller Pumpen bzw. neuer Pumpentypen.

Nachdem die für die erste Projektphase geplante Pumpe lediglich eine Pumpleistung von ca. 105 l/s gewährleistete, setzt die Geothermie Unterhaching ab Mitte 2009 einen neuen, leistungsfähigeren Prototypen ein, mit dem eine Förderung von zunächst 135 l/s möglich sein soll. In einem zweiten Schritt soll die Förderleistung auf 150 l/s erhöht werden. Falls dies mit dem Prototyp nicht möglich sein sollte, wird eine andere, wiederum speziell ausgelegte Pumpe beim nächsten geplanten Pumpenwechsel eingebaut.

In den ersten zwei Jahren mussten bereits zwei Schäden an den Tiefpumpen festgestellt werden. Zunächst entstand an der ersten Pumpe ein Kurzschluss, welcher den Motor zerstörte. Später zeigten sich nach einem längeren Stillstand unter anderem Schäden an den Pumpenlagern und Ablagerungen. Nach letzterem Schaden wurde das Lagermaterial der Pumpenstufen geändert.

Der Eigenstrombedarf der bislang eingesetzten Pumpe WME 2700 lag bei 953 kW. Ab dem Einbau der neuen Pumpe WNE 2100 ist mit bis zu **1.650 kW** (Modell: Prototyp bei mehr als 150 l/s) zu rechnen. Aktuelle Zahlen liegen noch nicht vor.

Die besonderen Hemmnisse im Bereich der Tiefpumpe waren:

- Monopolstellung des Pumpenherstellers
- Leistungsfähigkeit und Haltbarkeit der Pumpe
- Lieferzeiten
- Vertragsbedingungen

2.3.4 Gewerk: Thermalwasserleitung

Nach der Nutzung durch die Strom- und Wärmegewinnung fließt das abgekühlte Thermalwasser durch die Thermalwasserleitung, die beide Bohrungen verbindet, zur Reinjektionsbohrung. Für die Planung und Bauüberwachung der Thermalwasserleitung zeigten sich die Ingenieurgesellschaft für Energie und Umwelt GmbH (IGEU) sowie Geothermie Neubrandenburg GmbH (GTN) verantwortlich. Die Entscheidung, die Bohrungen nicht von einem Standort ausführen zu lassen, war bei diesem Projekt nicht nur aus geologischen sondern auch aus wirtschaftlichen Gründen vorteilhaft.

Die Thermalwasserleitung verbindet Förder- und Reinjektionsbohrung. Sie hat einen Durchmesser von 350 mm und eine Länge von ca. 3,5 km. Nach entsprechender Ausschreibung ohne

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Materialvorgabe entschied man sich aufgrund ausreichender Garantien, den aus der ersten Tiefbohrung zugrundegelegten Parametern in Bezug auf die Thermalwasserzusammensetzung sowie weiteren vertraglichen Aspekten für Glasfaserverstärkte Kunststoffrohre (GFK). Die Realisierung übernahm die Josef Pfaffinger Bauunternehmungs GmbH.

Die Rohre unterquerten den Hachinger Bach, was auch spezielle genehmigungsrechtliche Aspekte mit sich brachte, ansonsten aber problemlos verlief.

Weiterhin unterquert sie die Trasse der S-Bahn, was eine weitere Genehmigung der Deutschen Bahn mit sehr aufwendiger und monatelanger Abstimmung notwendig machte. Die Anforderungen der Bahn an die Absicherung der Unterquerung wurden dabei von der Bahn während der Genehmigungsphase unvorhersehbarerweise stark erhöht. Insgesamt konnte die Leitung dadurch erst etwa ein halbes Jahr nach Plan und mit deutlich höheren Kosten fertiggestellt werden, was durch die Verzögerung bei der zweiten Bohrung allerdings keine negativen Folgen für den Zeitplan des Gesamtprojektes hatte.

Die für den Bau notwendigen Grunddienstbarkeiten wurden mit den jeweiligen Grundstückseigentümern und der Gemeinde verhandelt. In den Grunddienstbarkeiten ist rechtlich fixiert, dass zu jeder Zeit zur Wartung und Instandhaltung ein Zugang zur Leitung ermöglicht wird. Es ist zu bemerken, dass hier stets Wert auf eine freundliche Kooperation gelegt wurde, um ein nachhaltig gutes Verhältnis zu den Grundstückseigentümern aufzubauen. Die Gemeinde tritt die Nutzungsrechte an die Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG ab.

Bei der Errichtung der Thermalwasserleitung kam es weiterhin zu ersten Undichtigkeiten, die vermutlich auf die Verklebung bei sehr niedrigen Temperaturen (Frost) zurückzuführen waren. Später traten weitere Undichtigkeiten auf, die auf einen strategischen Fehler bei den werkseitig verbundenen Rohrenden schließen ließen. Hierzu wurden auch mehrere Gutachten vom TÜV erstellt. Im Rahmen der Mängelbeseitigung wurde bereits ein Großteil der Undichtigkeiten durch Laminierung beseitigt. Die Reparatur der verbliebenen Undichtigkeiten ist beinahe abgeschlossen.

Der Nachteil der GFK Rohre, wie sie in Unterhaching verwendet wurden, liegt in ihrer Materialbeschaffenheit. Es ist nur eine Durchleitung von **max. 130°C** warmen Thermalwasser möglich. Damit kommt die Verwendung dieses Materials in der hier verwendeten Spezifikation bei vielen anderen Projekten wahrscheinlich nicht in Frage. Der große Vorteil der GFK Rohre liegt in Ihrer hohen Widerstandsfähigkeit gegenüber Korrosion. Dieses Merkmal der Thermalwasserleitung spielte bei der Entscheidung über die Umkehrung der Fließrichtung eine Rolle, da die Leitung in diesem Falle hätte ausgetauscht werden müssen. Grund für die damalige Materialwahl waren die **einstimmigen** Expertenmeinungen, dass östlich der ersten Bohrung das Thermalwasser kälter ist. Nach Fertigstellung der ersten Bohrung wurde somit eine Maximal-Temperatur während des 60-Tage-Pumptests von 122 °C projiziert. Nach dem Test war die Leitung langfristig für den Transport des Thermalwasser-Rücklaufs mit ca. 60 °C vorgesehen.

2.3.5 Gewerk: Obertageanlage

Die Obertageanlage stellt die Verbindung zwischen der Thermalwassertrasse und den beiden Bohrungen dar. Eine Vielzahl an Mess- und Leittechnik wurde hier installiert, um stets die Steuerung der Gesamtanlage zu ermöglichen.

Weiterhin gehört eine Stickstoffbeaufschlagung der Bohrungen zur Obertageanlage. Hierdurch wird gewährleistet, dass stets ein ausreichender Betriebsdruck im Gesamtsystem aufrecht erhalten wird, um Korrosion, Ausgasungen und Ausfällungen zu vermeiden.

Ein wichtiger Punkt bzgl. der Obertageanlage ist die Filterung von Feststoffpartikeln aus dem Thermalwasser. Die Feststoffpartikel können sich aufgrund der Strömungen im Untergrund lösen und werden nach oben transportiert. Um eine Verschmutzung der Anlage und damit weitere Konsequenzen wie Ablagerungen, Schlamm- und Schmutzbildung und damit die Verschlechterung der Wärmeübergabe oder ein denkbares Zusetzen der Injektionsbohrung zu verhindern wurden daher Filter eingebaut. Die Maschenweite der Automatikfilter lag bei 50 μ . Zwischenzeitlich traten Probleme auf, da durch das Festsetzen der Filter teilweise die Anlage heruntergefahren wurde. Nach einem vorübergehenden Wechsel der Filter, hin zu Filtern mit einer Maschenweite von 200 μ ist dieses Problem behoben. Derzeit wird eine Maschenweite von 100 μ eingesetzt. Die endgültige Maschenweite wird noch diskutiert. Die positiven Auswirkungen (saubere Filter, kaum noch automatische Rückspülvorgänge) sind direkt erkennbar, die eventuell negativen Auswirkungen jedoch können derzeit noch nicht beurteilt werden. Für die Filterung des Thermalwassers wird ein automatisch rückspülender Filter verwendet. Es ist hierbei darauf zu achten, dass die Abwassertemperatur auch bei häufigerem Spülen die maximale Einleittemperatur nicht überschreitet.

Der Eigenstrombedarf des Gebäudes, in dem ein Großteil der Obertageanlage untergebracht ist, liegt bei ca. 50 kW.

Die besonderen Hemmnisse waren demnach:

- Stickstoffbeaufschlagung zur Vermeidung von Korrosion/Ausgasungen/Ausfällungen
- Zusammenspiel der Planer und Kontrolle von Schnittstellen
- Festlegung der Maschenweite der Automatikfilter
- Entsorgung der Rückspülwässer
- Optimierung der Druckhaltung

2.3.6 Gewerk: Fernwärmenetz

Laut der Machbarkeitsstudie von 2001 lagen die Investitionen für ein 4 MW-Netz bei 2,1 Mio. Euro. Aus den ursprünglich geplanten 4 MW wurden bis dato über 30 MW. Dies wirkte sich insbesondere auf die Finanzierungsstruktur des Projektes aus: Mit dem erhöhten Investitionsvolumen wurde auch das anteilige Einlegen von zusätzlichem Eigenkapital durch die Gemeinde notwendig. In diesem

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Gewerk wurde das Projekt jedoch nicht „teurer“, sondern die höhere Investitionssumme ist die Grundlage für zusätzliche dauerhafte Einnahmen.

Das Fernwärmenetz soll in den nächsten Jahren weiter ausgebaut werden. Ziel ist ein Endausbau von 70 MW. Dafür wurden bereits Fördermittel aus dem Marktanzreizprogramm beantragt.

Auch der Bau des Kerngebietes des Fernwärmenetzes wurde europaweit ausgeschrieben. Nach Vertragsunterzeichnung am 5.5.2006 begannen die Bauarbeiten für den ersten Bauabschnitt und das Kerngebiet. Um dieses Großprojekt zu stemmen, arbeiteten teilweise 135 Mitarbeiter auf 13 Baustellen, auch am Wochenende. Allein in den Jahren 2006 und 2007 wurden 41.137 m Rohrleitungen verlegt. Dazu wurde Metall mit einem Gewicht von ca. 1.400 t benötigt und es mussten 12.800 Schweißnähte erstellt werden. Beim Projekt Unterhaching wurde damit der größte Fernwärmenetzneubau seit Anfang der achtziger Jahre realisiert.

Mit dem Fernwärmeausbau 2008 wurden bisher über 28 km Fernwärmeleitungen (jeweils Vor- und Rücklauf) in den Straßen und Wegen Unterhachings verlegt. Mit dem Entstehen eines derartig weit verzweigten Netzes hat in Unterhaching bei der Anlage des Orts niemand gedacht. Während z. B. in München beim Neu-Verlegen von Versorgungsleitungen immer ein Bereich für Fernwärmerohre freigelassen wurde, mussten in Unterhaching eine Vielzahl von vorhandene Strom-, Gas-, Wasser-, Telekommunikations- oder Abwasserleitungen verlegt bzw. umgelegt werden. Bis 2008 wurden 1.660 derartige Trassenquerungen gezählt, jeweils verbunden mit hohem händischen Einsatz. Die Erstellung erforderte eine intensive Vorbereitung sowohl von Seiten des technischen Planers als auch von Seiten der Projektorganisation und der beteiligten öffentlichen Stellen. Trotz solcher Hürden war es aufgrund einer hochwertigen Projektvorbereitung, auch von Seiten der Planer, möglich die Plankosten pro Meter einzuhalten.

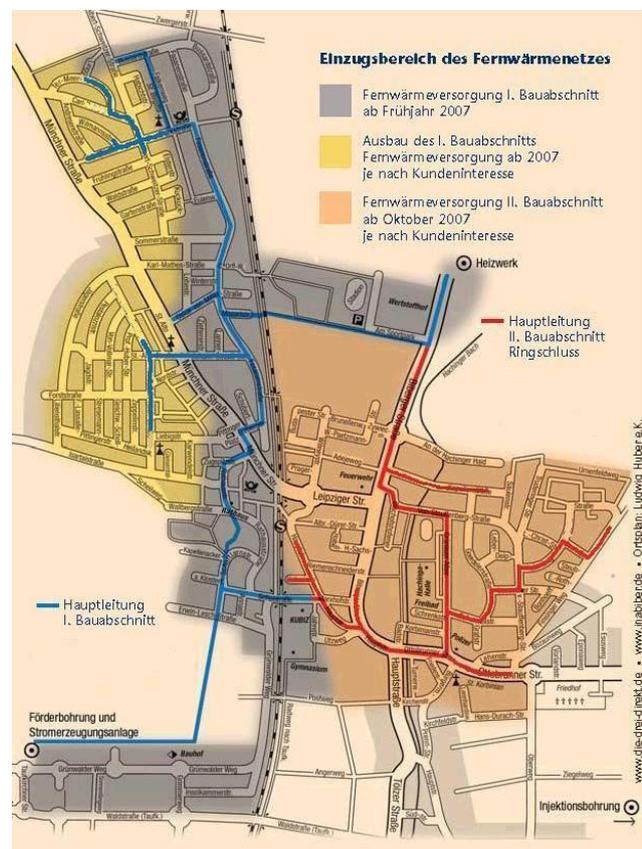


Abbildung 3: Fernwärmenetz Unterhaching

Ein besonderes Hemmnis war dementsprechend der wenige Platz zur Verlegung der Leitungen im öffentlichen Straßenbereich. Weitere Hemmnisse waren in diesem Bereich nicht vorhanden.

2.3.7 Gewerk: Heizwerk

Das Redundanz- und Spitzenlastheizwerk ist in der Gesamtkonzeption unerlässlich, da es die Versorgungssicherheit der Wärmekunden gewährleistet. Das Heizwerk gewährleistet, dass die Wärme immer beim Kunden ankommt, auch wenn Ausfälle in Form von Pumpenstillständen etc. eintreten. Es war von Beginn an im Konzept vorgesehen, dass eine Redundanz über fossile Brennstoffe errichtet wird, denn ohne diese ist die geforderte 100%-ige Versorgungssicherheit nicht zu gewährleisten.

Planerisch wurde das Heizwerk von der Ingenieurgesellschaft für Energie und Umwelt GmbH (IGEU) begleitet.

In einem ersten Schritt musste daher ein Standort für das Redundanzheizwerk gefunden werden, was sich aufgrund der zur Verfügung stehenden gemeindlichen Grundstücke, der bereits ausgewiesenen Grünflächen und der zu erwartenden maximalen Emissionen (für den Fall, dass im Winter zu einem Spitzenlastzeitpunkt die Wärme durch das Heizwerk produziert werden muss) als sehr schwierig herausgestellt hat.

Insgesamt mussten 13 mögliche Standorte unter anderem auf ihre Eignung unter genehmigungsrechtlichen Aspekten geprüft werden. Einige wenige der zu beurteilenden Aspekte waren dabei:

- Verfügbarkeit von Grundstücken
- Lage hinsichtlich Emissionen
- Verkehrsanbindung
- Ausreichende Größe
- Anforderung der benachbarten Bebauung
- Gasnetzanbindung
- Wasserrechtliche Aspekte (z. B. Überschwemmungsgebiet)

Als Standort wurde das Grundstück in der Biberger Straße festgelegt. Das Bauwerk wurde im Außenbereich errichtet, da es nach § 35 BauG als privilegiert eingestuft wurde. Es wurde lediglich der Flächennutzungsplan für das Grundstück in „Parken und Heizwerk“ geändert.

Rein technisch gesehen wurden im Heizwerk folgende Komponenten installiert:

- Fernwärmenetzpumpen
- 2 Heißwasserspeicher mit je 120 m³
- 2 Ausgleichsbehälter mit je 100 m³
- 2 Ausdehnungsbehälter mit je 10 m³
- Druckhaltung für Fernwärmenetz
- Leittechnische Warte für Heizwerk & Fernwärmenetz
- 2 Kessel (Gas/Heizöl) mit Zweistoffbrennern mit jeweils 23,5 MW Feuerwärmeleistung (dadurch „doppelte Redundanz“)
- 2 unterirdische, doppelwandige Heizöltanks mit je 100 m³
- Wasseraufbereitungsanlage und Notstromaggregat

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Der Eigenstrombedarf des Heizwerks, insbesondere bei Betrieb der Netzumwälzpumpen im Redundanzfall liegt aktuell bei ca. 250 kW. Der Strombedarf für die Netzumwälzung steigt mit der Anschlussleistung.

Die Ausschreibung der Leistungen erfolgte in mehreren Losen. Die zwei größten Lose waren der eigentliche Kessel sowie der Wasser-Dampf-Kreislauf mit der Druckhaltung, den Öltanks und der Umwälzung des Fernwärmenetzes. Daneben wurden weitere Aufträge für den Bau des Gebäudes, die Stahlbauarbeiten, die Leittechnik und die Erstellung der Dachbegrünung und der Außenanlagen vergeben.

Das Heizwerk ist mit der Kalina-Anlage über ein eigenes Glasfaserkabel verbunden, so dass beide Leitstände jederzeit in Echtzeit miteinander kommunizieren. Sollte es zu einem Ausfall der Pumpenanlage in der Förderbohrung kommen, informiert die Leittechnik sofort den technischen Betriebsführer (Stadtwerke München). Diese starten das Heizwerk innerhalb von einer Stunde und erhalten somit die Fernwärmeversorgung aufrecht. Nach Einbau eines automatischen Lastmanagements kann dieser Ablauf mittel- bis langfristig automatisiert werden. Gleiches gilt auch für den Spitzenlastfall, falls die geothermische Energie nicht ausreichen sollte.

Das Heizwerk musste gemäß §4 Bundesimmissionsschutzgesetz von der Regierung von Oberbayern genehmigt werden und wird auch weiterhin überprüft.⁵ Somit ist gewährleistet, dass die strengen Luftreinigungsvorschriften stets eingehalten werden. Im Normalfall, nämlich wenn die Thermalwasserpumpe läuft, wird das Heizwerk kaum benötigt.

2.3.8 Gewerk: Kalina-Anlage

Die Gemeinde Unterhaching hatte von Beginn an auch den Einsatz der Kalina-Technologie ins Auge gefasst, sich allerdings die Option auf einen Organic-Ranking-Cycle zunächst offen gehalten. Im Zuge der Beantragung von Fördermitteln aus dem BMU-Demonstrationsprogramm war der Antrag auf ein sogenanntes „binäres System“ abgestellt. Dies hätte beide Varianten offen gelassen. Insbesondere aufgrund des hohen Innovationsgrades der Technologie sowie der Notwendigkeit, diese Technologie in Deutschland zu errichten, legte der Förderbescheid jedoch den Einsatz der Kalina-Technologie für die Gewährung der Fördermittel zugrunde. Ein weiterer Grund für die Entscheidung zur Kalina-Technologie war der 5-15 % höhere Wirkungsgrad gegenüber der ORC-Technologie in diesem Temperaturbereich. Da noch Umbauten geplant sind, ist der endgültige Unterschied im Wirkungsgrad unter den in Unterhaching gegebenen Bedingungen allerdings heute noch nicht endgültig nachweisbar.

Die Geothermie Unterhaching hat für die schlüsselfertige Erstellung der Stromerzeugungsanlage mit der neuartigen Kalina-Technologie mit der Siemens AG einen fachkundigen, leistungsfähigen und zuverlässigen Partner gefunden, der die Leistung aus einer Hand anbieten konnte und wollte. Die monopolähnliche Stellung des Lizenzinhabers beeinflusste die Vertragsverhandlungen allerdings maßgeblich.

⁵ Siehe hierzu auch Kapitel 2.4

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Ursprünglich war die Grundlage für die Verhandlungen eine stromgeführte Anlage mit einer kalkulierten elektrischen Spitzenleistung von 4,7 MW. Die Wärmeversorgung stand zu diesem Zeitpunkt noch im Hintergrund. Wie bereits erwähnt, änderte sich die Projektkonzeption allerdings im Zuge der Öl- und Gaspreissteigerungen weg von der stromgeführten, hin zu der wärmegeführten Anlage. Dies hatte eine kleiner dimensionierte Auslegung der Kalina-Anlage auf die elektrische Spitzenleistung von 4,1 MW_{el} (3,36 MW_{el} durchschnittlich) und eine jährlich produzierte Strommenge von bis zu 27.000 MWh_{el} auf Basis der theoretisch möglichen Anlagenlaufzeit zur Folge.

Da die Kalina-Anlage in Unterhaching als Pilot- und Demonstrationsvorhaben erstmalig von der Firma Siemens AG gebaut wurde, existierte ein erhebliches Sicherheitsbedürfnis bei beiden Vertragsparteien. Neuland wurde betreten und trotz aller bis dato angestellten Untersuchungen, Analysen, Berechnungen, usw. blieben viele Unbekannte bestehen.

Vor dem Hintergrund der vielen Unbekannten gestalteten sich im Ergebnis auch die vertraglichen Festlegungen über Leistungsmerkmale, Gewährleistungen, Vertragsstrafen, Abnahmebedingungen sowie die Konsequenzen bei Nichterreichen der vertraglich geschuldeten Parameter langwierig. Tagelange und manchmal nächtelange Sitzungen fanden statt.

Die Vertragsverhandlungen zogen sich am Ende über einen Zeitraum von neun Monaten hin, bis der Vertrag unterschriftsreif vorlag und im Beisein des damaligen bayerischen Wirtschaftsministers, Otto Wiesheu sowie des damaligen Siemens-Zentralvorstands Claus Weyrich am 18. November 2005 geschlossen wurde.

Ein wichtiger und langwieriger Diskussionspunkt nach Abschluss des Vertrages war die Frage des Lärmschutzes, der allen Beteiligten ein wichtiges Anliegen war. Nach langen Verhandlungen mit den Behörden wurde ein Wert von 32 db(A) nachts auferlegt. Ein Wert, der durch die Autobahnnahe faktisch nicht hörbar ist, jedoch bis dahin nicht kalkulierte Zusatzinvestitionen bei der Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG, insbesondere hinsichtlich der Nasskühltürme, in Millionenhöhe auslöste.

Eine besondere bauliche Herausforderung für alle Beteiligten war, dass im Gebäude der Kalina-Anlage nicht nur die Technik für die Stromerzeugung untergebracht sein sollte. Ein integratives Konzept musste entwickelt werden, da auch die Obertageanlage sowie die Wärmetauscher und Pumpen für das Fernwärmenetz an diesem Standort und in diesem Gebäude realisiert werden sollten und wurden.

Trotz eng bemessener Platzverhältnissen und einer Vielzahl an zeitgleich abzuwickelnden Gewerken (z. B. auch Ein- und Ausbau der Thermalwasserpumpe) verliefen die Bauarbeiten am Grünwalder Weg nahezu reibungslos.

Nach Fertigstellung der Kalina-Anlage und Einbau der Turbine stieg die Spannung bei den ersten Testläufen der neuen, weltweit ersten von Siemens gebauten Kalina-Anlage. Unerwartete Schwierigkeiten, wie z. B. die Undichtigkeit der Platten-Wärmetauscher, aber auch mit der Turbine, ließen zunächst Ernüchterung eintreten. Die vielleicht zu großen Hoffnungen, dass die Inbetriebnahme und Synchronisation der Anlage ohne größere Überraschungen vonstatten gehen würde, wurden zerschlagen. Bis zur Synchronisation der Kalina-Anlage verging deutlich mehr Zeit als

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

ursprünglich geplant. Gleichwohl, am 07.05.2008, um 19.40 Uhr wurde in Unterhaching die erste geothermisch erzeugte Kilowattstunde Strom ins Stromnetz eingespeist.

Nach der ersten Inbetriebnahme zeigten sich wiederholt Undichtigkeiten an den Wärmetauschern, welche mit verschiedenen Mitteln versucht wurden dauerhaft zu beseitigen. Abschließend entschied sich Siemens für den Einsatz von „semigeschweißten“ Wärmetauschern. Der Teil der Anlage, welcher von Ammoniak-Wasser-Gemisch durchströmt wird, ist seitdem hermetisch abgedichtet. Nach Abschluss dieser komplizierten Arbeiten sowie weiterer Optimierungen im Verfahren konnte am 16.04.09 die Abnahme der Anlage zur dauerhaften Stromerzeugung stattfinden.

Die Kühlwasserversorgung der Nasskühltürme für die Kondensation des Ammoniak-Wasser-Gemisches erfolgt über einen Trinkwasserbrunnen. Das wegen der Verdunstung im Kühlturm aufgesalzene Wasser aus dem Kühlturmbecken wird in einer Rigole zur Versickerung gebracht. Dieser Wasserkreislauf unterliegt dem Wasserrecht. Die wasserrechtliche Genehmigung ist auf zwei Jahre beschränkt. Falls die Verlängerung nicht erfolgt, müsste die gesamte Kühltechnologie überarbeitet werden. Die möglichen Konsequenzen sind heute noch nicht absehbar.

2.3.9 Betrieb

Ziel des Betriebs ist die optimale Ausnutzung der über das Thermalwasser zur Verfügung stehenden thermischen Energie und eine hohe Verfügbarkeit der Stromerzeugung sowie die Maximierung des Betriebsergebnisses.

Es ist vorgesehen, für die Grundlastversorgung des Fernwärmenetzes Thermalwasserwärme zu nutzen. Die Thermalwasserförderung soll weitgehend gleichmäßig erfolgen, so dass die für die Fernwärmeversorgung nicht benötigte Thermalwassermenge zur Verstromung genutzt wird. Bei steigendem Bedarf der Fernwärmeseite wird die Stromerzeugungsanlage bis zur technisch-wirtschaftlichen Minimallast heruntergefahren oder abgeschaltet.

Sobald für die Fernwärmeversorgung mehr als die verfügbare Thermalwasserwärme benötigt wird, wird die zusätzliche Spitzenlast im Heizwerk an der Biberger Straße erzeugt und ins Netz gefördert. Bei vorhersehbaren kurzzeitigen Spitzen oder auch Kleinlastzeiten, werden die Heißwasserspeicher im Heizwerk Biberger Straße im Heizwerk genutzt.

Bei Ausfall der Thermalwasserseite wird die komplette Wärmeversorgung vom Heizwerk Biberger Straße alleine übernommen.

Alle Erzeugungs- und Verteileinrichtungen sind soweit automatisiert, dass ein Betrieb ohne Beaufsichtigung grundsätzlich möglich ist.

Heizwerk, Stromerzeugung sowie die Thermalwasser-Fernwärmestation und Funktionsgruppen der Bohrungen sind nicht ständig beaufsichtigungspflichtig. Die Heißwassererzeuger Kessel 1 und 2 sowie die Druckhaldedampferzeuger 1 bis 3 sind gemäß Druckgeräterichtlinie / TRD genehmigt und errichtet. Der Betrieb der Kesselanlagen erfolgt gemäß TRD 604 im 72 h-Betrieb.

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Die Betriebszeit der Gesamtanlage beträgt 8.760 h/a, einzelne Anlagenbereiche werden entsprechend deren Verfügbarkeiten bzw. Einsatznotwendigkeit (z. B. Heißwasserkessel im Heizwerk Biberger Straße) auch nur für kürzere Zeiträume betrieben.

Um jedoch die Erzeugung und Verteilung unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen wie Verfügbarkeit, geplante und nicht geplante Stillstände / Teilstillstände, Lastkurven, Energiegestehungskosten, Brennstoffverfügbarkeit (Gas-Abschaltvertrag) möglichst hoch verfügbar und gleichzeitig wirtschaftlich gestalten zu können, ist eine regelmäßige Bedienung und Beobachtung über ein noch zu installierendes und vorgesehene Lastmanagementsystem geplant.

Betriebsarten

Das Heizwerk wird je nach Lastzustand und in Abhängigkeit der Betriebsart der Thermalwasser-Fernwärmestation am Grünwalder Weg in unterschiedlichen Betriebsarten gefahren.

Für alle oben genannten Betriebsarten gilt ferner, dass die Stromerzeugungsanlage entweder in Betrieb (1) oder nicht in Betrieb (0) ist.

- *Betriebsart A (1/0)*

Die Thermalwasser-Fernwärmestation ist außer Betrieb, die Wärmeversorgung / Netzumwälzung erfolgt ausschließlich vom Heizwerk aus.

- *Betriebsart B (1/0)*

Die Thermalwasser-Fernwärmestation ist in Betrieb, die Wärmeversorgung / Netzumwälzung erfolgt ausschließlich von der Thermalwasser-Fernwärmestation aus.

- *Unterbetriebsart B1 (1/0)*

Die Heißwasserspeicher werden über entsprechende Ladeventile beladen

- *Unterbetriebsart B2 (1/0)*

Die Heißwasserspeicher werden über die Netzumwälzpumpen des Heizwerks entladen

- *Betriebsart C (1/0)*

Die Thermalwasser-Fernwärmestation ist in Betrieb mit Maximallast oder statischer Last, der Netzwärmebedarf wird durch den Betrieb des Heizwerks geregelt, die Netzumwälzung erfolgt mit den Netzumwälzpumpen des Heizwerks und der Thermalwasser-Fernwärmestation.

Generell wird, wie bereits mehrfach dargestellt, aus wirtschaftlichen Erwägungen die Betriebsart B mit der obersten Priorität belegt. In zweiter Priorität erfolgt Betriebsart C, in dritter Priorität Betriebsart A. Durch entsprechende Nutzung der Unterbetriebsarten B1 und B2 soll die Notwendigkeit des Betriebs in Betriebsart C soweit wie möglich eingeschränkt werden.

2.4 Behördliche Anforderungen

Im Zusammenhang mit einem Geothermieprojekt ist diversen rechtlichen bzw. behördlichen Anforderungen nachzukommen. Im Folgenden werden die maßgeblichen Auflagen, Genehmigungen, etc. beschrieben, wobei vor allem dem Wasser- sowie dem Bergrecht besondere Aufmerksamkeit zukommt.

Voraussetzung für die Projektrealisierung war zunächst die bergrechtliche Erlaubnis, welche – kurz gesagt – das **Suchen und Finden** des Bodenschatzes „Erdwärme“ gestattet. Hierzu war der „Antrag auf Erteilung einer Erlaubnis nach § 7 Bundesberggesetz (BBergG) zur Aufsuchung bergfreier Bodenschätze zu gewerblichen Zwecken für das Feld, Erdwärme Unterhaching“ zu stellen, dem mit Bescheid des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Technologie entsprochen wurde. Aufgrund dieser erteilten bergrechtlichen Erlaubnis konnte die tatsächliche Projektumsetzung starten, da nun gebohrt werden durfte. Mit der Erlaubnis und der Bewilligung sind gem. Bundesberggesetz sogenannte Feldesabgaben bzw. Förderabgaben einzukalkulieren. Die Förderabgabe kann eine Höhe von 10 % der Einnahmen aus der Nutzung des Bodenschatzes betragen und ist an das jeweilige Bundesland zu entrichten. Das Bergamt Südbayern erließ während der Erlaubnisphase für jedes einzelne Jahr jeweils einen Feldesabgabebescheid, in dem festgelegt wurde, dass keine Feldesabgabe zu entrichten ist, da höhere Aufwendungen entgegen standen. Diese Belastung ist in den Wirtschaftlichkeitsberechnungen bislang jedoch nicht einkalkuliert, da die Aussage des zuständigen Bergamtes dahingehend lautet, dass die Förderabgabe „bis auf weiteres nicht erhoben“ würde. Zur Förderung der Rechtssicherheit sollte § 31 (2) BBergG z. B. dahingehend geändert werden, dass eine Förderabgabe nur für endliche Ressourcen erhoben werden kann.

Eine bergrechtliche Erlaubnis allein ist nicht ausreichend. Hinzu kommen verschiedene Bereiche, die zu beachten sind, wie eine beschränkte wasserrechtliche Erlaubnis, Hauptbetriebsplan sowie diverse Sonderbetriebspläne (Herrichtungsbetriebsplan, Bohrbetriebsplan). Um die Erdwärme dann tatsächlich **dauerhaft fördern** und auch **nutzen** zu dürfen, bedarf es einer weiteren Genehmigung: Der bergrechtlichen Bewilligung. Diese wurde der Geothermie Unterhaching Anfang des Jahres 2008 für die Dauer von 50 Jahren erteilt. Damit darf sich allein die Geothermie Unterhaching im Bereich ihres Bewilligungsfeldes die Erdwärme zu Nutzen machen.

Insbesondere in Bayern spielt das Wasserrecht in Fragen Geothermie eine große Rolle. Dieses bleibt nach dem BBergG „unberührt“. Es entsteht sogar ein Konflikt: Während das Bergrecht fordert, dass die maximal mögliche Energiemenge abgebaut werden soll, muss laut Wasserrecht der Eingriff in den Wasserhaushalt minimal sein. Die bergrechtliche Bewilligung betrifft nur die Gewinnung der Erdwärme selbst, nicht aber des Thermalwassers als Trägermedium. Da es sich in Bayern bei dem Thermalwasser fast um Trinkwasser handelt, ist nach aktueller Gesetzeslage neben der bergrechtlichen Bewilligung auch eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich. Unterschiede zwischen beiden Genehmigungen bestehen zum einen darin, dass auf die bergrechtliche Bewilligung ein Anspruch besteht, die wasserrechtliche Erlaubnis hingegen im Ermessen der Behörde liegt. Außerdem wird im Bergrecht bei mehreren konkurrierenden Anträgen dem qualitativ besseren der Vorrang eingeräumt, wohingegen im Wasserrecht der Prioritätsgrundsatz gilt. Nach der von den zuständigen Behörden vertretenen Ansicht sind im Rahmen der wasserrechtlichen Erlaubnis die hydraulischen Auswirkungen, bei der bergrechtlichen Bewilligung hingegen nur die thermischen

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Auswirkungen zu berücksichtigen. Diese Aufteilung kann zur Folge haben, dass durch eine Beschränkung der Schüttung in der wasserrechtlichen Erlaubnis der Umfang der Nutzung der Erdwärme gegenüber der bergrechtlichen Bewilligung eingeschränkt wird. Dies ist deshalb misslich, weil eine beschränkte Schüttmenge die Wirtschaftlichkeit eines Geothermieprojekts erheblich beeinträchtigen kann.

Wo das BBergG die Geothermie zumindest erwähnt, findet sich im Wasserrecht keinerlei Regelung, die speziell auf die Geothermie zugeschnitten ist. Es liegt daher in der Verantwortung der Wasserbehörden, welche ihr Einvernehmen erteilen muss im Rahmen der wasserrechtlichen Beurteilung, die Eigentümlichkeit bei der Nutzung der Erdwärme angemessen zu berücksichtigen und auf diese Weise eine sinnvolle Erdwärmennutzung zu gewährleisten.

Wie in vielen anderen Bereichen kommt der Geothermie Unterhaching auch hier die Rolle eines Pilotprojekts zu. Bisher haben sich die bayerischen Wasserbehörden noch nicht mit der Frage der Auswirkungen von Geothermieprojekten, insbesondere einer etwaigen Beeinflussung zwischen benachbarten Projekten, befassen müssen. In wasserrechtlicher Hinsicht wird hier Neuland betreten. Denn nun ist es erstmals der Fall, dass mehrere benachbarte Geothermieprojekte in Bayern in näherer Zukunft in das Betriebsstadium gelangen bzw. bereits gelangt sind und erst dadurch wirklich deutlich wird, welche Problematik das Zusammenspiel von Berg- und Wasserrecht birgt. Trotz Antragstellung Ende 2007 liegt bis zum heutigen Tage noch keine dauerhafte gehobene wasserrechtliche Erlaubnis zur Nutzung des Tiefenwassers vor.

Auch für den Bau bzw. den Betrieb des Spitzenlast- und Reserveheizwerkes waren Genehmigungen im Rahmen der BlmSchG notwendig, es sind hier jedoch keine Besonderheiten aufgetreten. Lediglich durch den Umstand, dass das Heizwerk im Überschwemmungsgebiet des Hachinger Baches liegen könnte, waren besondere Auflagen zu beachten, wie die Höhen der Oberkanten der Geländeanpassungen. Im späteren Verfahren hat sich jedoch gezeigt, dass es sich nicht um ein Überschwemmungsgebiet handelt. Die Einordnung des Heizwerks als privilegiertes Bauwerk nach § 35 BauG war von Seiten der Behörden unumstritten.

Da die Kalina-Anlage schlüsselfertig beauftragt wurde, hat sich in diesem Bereich der Auftragsnehmer mit den rechtlichen Aspekten beschäftigt. Es ist jedoch hervorzuheben, dass sich aufgrund der hohen Lärmschutzaufgaben (Höchstwert von 32 db(A)) zusätzliche Investitionen zur Lärmdämmung ergeben haben, die von der Geothermie Unterhaching zu tragen waren.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Um auf Basis von aktuellen Betriebsdaten entsprechende Steuerungsschritte einzuleiten, ist ein Leittechniksystem notwendig. Durch das Leitsystem wird auch die Automatisierung der Gesamtanlage ermöglicht.

Die folgende Übersicht zeigt die Automatisierung der Gesamtanlage

Komponenten zur Automatisierung	Umfang des Leitsystems
<ul style="list-style-type: none"> ○ Thermalwasser-Förderpumpe ○ Thermalwasserfilterstation ○ Thermalwasserdruckhaltung ○ Fernwärme-Wärmetauschergruppen ○ Netzumwälzung ○ NT-Netzumwälzung ○ Niederspannungsanlage ○ Stickstoffversorgung Thermalwassersystem ○ Reinjektionsbohrung ○ Heizwerk ○ Kalina-Anlage inkl. HD- und Kühlwasserkreislauf 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Signalerfassung und –aufbereitung, Signalüberwachung ○ Regelung und Steuerung ○ Einrichtungen zur Bedienung, Beobachtung und Überwachung ○ Störmeldeanlage

Tabelle 2: Leitsystem

Das Leittechniksystem in Unterhaching besteht grundsätzlich aus drei Komponenten, nämlich dem Leittechniksystem der Kalina-Anlage, dem Leittechnik-System des Heizwerks/Fernwärmenetzes sowie einer Verbindung vom Heizwerk zum technischen Betriebsführer der Anlage, derzeit den Stadtwerken München.

Die Systeme kommunizieren miteinander. Störungen werden an die 24-stündig besetzte Warte der Stadtwerke München gemeldet. Die Systeme laufen autark und automatisch. Alle relevanten Betriebsdaten der Leittechnik werden über ein Data-log für etwa zwei Monate auf einer redundant ausgeführten Festplatte gespeichert. Ältere Daten werden auf DVD-ROM gespeichert und archiviert. Spätestens alle 72 Stunden findet eine persönliche Begehung der Anlage statt.

Die verwendete Technik basiert auf dem Prozessleitsystem SIMATIC PCS 7 der Fa. SIEMENS. Dieses ist für die Anwendung in den verfahrenstechnischen Branchen sowie in der Energiewirtschaft als Standardbasis besonders geeignet und verfügt über alle typischen Eigenschaften eines modernen, dem technischen Stand der Zeit entsprechenden Prozessleitsystems.

3 Ergebnisse

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Nach erfolgreich abgeschlossenem Vorhaben kann eine Bewertung der Umsetzung erfolgen. Diese soll im Folgenden durchgeführt werden:

Testergebnisse und darauf basierende Anlagenauslegung

Die Thermalwasserleitung wurde bereits nach der erfolgreichen ersten Bohrung ausgeschrieben. Alle Experten gingen davon aus, dass das Thermalwasser im Bereich der geplanten Bohrung Gt Unterhaching 2 kälter sei, als im Bereich der ersten Bohrung. Dementsprechend erfolgte die Ausschreibung der Thermalwasserleitung als Rücklaufleitung, d. h. das in der Bohrung Gt Unterhaching 1a geförderte Thermalwasser sollte über die Rücklaufleitung nach Auskühlung zur späteren Bohrung Gt Unterhaching 2 geleitet werden, um dort in den Untergrund geleitet zu werden. Es stellte sich jedoch nach Abschluss der zweiten Bohrung heraus, dass das Thermalwasser im Bereich der Gt Unterhaching 2 eine deutlich höhere Temperatur hat.

Ein Lerneffekt daraus könnte sein, die geologischen Prognosen und deren Grundlagen und Rand- sowie Nebenbedingen deutlich zu hinterfragen und alle denkbaren Alternativszenarien zu kalkulieren. Eine Festlegung der Anlagenkonzeption sollte bei zu großen Varianzen nicht zu früh erfolgen. Auch die optimale Auslegung der Pumpe kann im Endeffekt erst nach den Ergebnissen des Zirkulationstests beider Bohrungen mit tatsächlicher Fördermenge erfolgen. In der Planung von solch komplexen Projekten wie in der Tiefen-Geothermie kann es aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten jedoch zu Gunsten eines schnelleren Realisierungszeitraums möglich sein, anfänglich schlechtere Wirkungsgrade in Kauf zu nehmen.

Um eine Tiefen-KWK-Geothermianlage von Beginn an optimal ausgelegt realisieren zu können, müsste folgende Reihenfolge eingeplant werden:

- Erstellung Dublette inkl. TWL-Zirkulationstest,
- Festlegung der Förderpumpe,
- erneuter Zirkulationstest mit Maximalleistung,
- Festlegung der Förderrichtung,
- Beginn der Planung und der Stromerzeugung inkl. Genehmigungsplanung.

Da dieser Ablauf den Zeitrahmen und damit die Finanzierungskosten während der Errichtung der Anlage allerdings deutlich erhöhen würde, müssen bei den folgenden Projekten eventuell teilweise Kompromisse in Bezug auf den Anfangs-Wirkungsgrad eingegangen werden. So ist die wirtschaftliche Nutzungsdauer einer Tiefpumpe in Unterhaching ohnehin auf drei Jahre begrenzt, die zweite Generation von Tiefpumpen könnte dann im optimalen Wirkungsgradbereich erfolgen. Ähnlich könnte mit der Stromerzeugungsanlage verfahren werden.

Projektbeteiligte und Koordination

Für den Bereich der Bohrungen sollte bei folgenden Projekten auf die Auswahl von höchst erfahrenen Geologen und Bohrmannschaften geachtet werden. Hier sollten nicht nur vergleichbare, sondern auch erfolgreiche Referenzen verlangt werden. Aktuell erscheint es so, als würden die gleichen Fehler mehrmals begangen. Zu beachten ist dabei, dass jeder einzelne Beteiligte an der Bohrung zum kompletten Erfolg und Misserfolg der Zielerreichung beiträgt. Beispielsweise kann die Auswahl eines falschen Bestandteils der Spülung zum Verlust des gesamten zuletzt gebohrten Abschnitts führen.

Eine besondere Herausforderung war die Koordination der Projektbeteiligten. Im Laufe des Projektes haben über 120 Firmen zur Realisierung beigetragen. Es wurde über jede Sitzung Protokoll geführt, so dass einzelne Entscheidungen im Nachhinein nachvollzogen werden können. Diese Vorgehensweise hat sich insbesondere bei späteren Diskussionen und Vergleichsverhandlungen als sehr gut erwiesen.

Verträge

Als sehr positiv kann die Gestaltung der jeweiligen Verträge bewertet werden. Durch entsprechende Risikoverteilung und Zahlungsmodalitäten wurden insbesondere die Bohrverträge für die Geothermie Unterhaching so günstig wie möglich gestaltet.

Nachhaltigkeit der Dublette

Für die Abschätzung thermischer Effekte bei einer Reinjektion in den Malmkarst auf die weitere Umgebung wird eine analytische Modelllösung benutzt, die auf der Basis eines äquivalent porösen Mediums beruht.⁶ Mit diesem Modell werden alle wesentlichen Temperatureffekte im Aquifer und in den Bohrungen beschrieben. Ein Vorteil dieser analytischen Modelllösung besteht darin, dass der Einfluss der wichtigsten Parameter auf das Temperaturverhalten im Aquifer sofort sichtbar wird.

Als thermische Durchbruchzeit wird die Zeit bezeichnet, bei der frühestens eine Änderung der ungestörten Temperatur an einer Extraktionsbohrung erfolgen kann. Diese thermische Durchbruchzeit t_b lässt sich im einfachsten Fall angeben⁷ durch folgende Formel:

$$t_b = (\rho_A c_A / \rho_F c_F) (4\pi M a^2 / 3 Q) \quad (1).$$

Mit

2a	(m)	Abstand der betrachteten Bohrungen im Aquifer,
M	(m)	Mächtigkeit des Aquifers,
Q	(m ³ /s)	Förder- bzw. Injektionsrate,
den thermischen Eigenschaften des Aquifers (Index A) und des Wassers (Index F):		
c	(J/kg K)	spez. Wärmekapazität,
ρ	(kg/m ³)	Dichte, sowie
κ	(m ² /s)	Temperaturleitfähigkeit mit $\kappa = \lambda / \rho c$, wobei
λ	(W/m K)	Wärmeleitfähigkeit ist.

⁶ Schulz, R. (Analytical model calculations for heat exchange in a confined aquifer - J. Geophys., 61; 1987) S. 12-20.

⁷ Schulz, R. (Analytical model calculations for heat exchange in a confined aquifer - J. Geophys., 61; 1987) Tab. 2.

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Insbesondere lässt sich der Vorfaktor durch

$\rho_A c_A / \rho_F c_F \approx 0,5$
abschätzen.

Für Langzeitaussagen erweist sich der Begriff der thermischen Durchbruchzeit als nicht sehr geeignet. Deshalb benutzt man besser den Begriff der thermischen Nutzungsdauer t_N ; das ist die Zeit, nach der die Aquifertemperatur an der Extraktionsbohrung einen bestimmten Wert unterschreitet:

$$t_N = t_B + (\rho_A c_A / \rho_F c_F)^2 (4\pi a^2 / 3 Q)^2 \kappa / (\operatorname{erfc}^{-1} p)^2 \quad (3),$$

wobei erfc die komplementäre Errorfunktion ist und p der Prozentsatz ist, um den die Temperatur sinken darf; z. B. bedeutet $p = 0,03$ eine relative Abkühlung um 3 %.

Der entscheidende Parameter für die Planung einer Dublette ist der Abstand der Bohr(lande)punkte, da er quadratisch in die Formel (1) eingeht. Als Faustformel kann aus Formel (1) die Durchbruchzeit mit

$$t_B \approx 0,017 M^2 (2a)^2 / Q \quad (4),$$

bzw. der Abstand mit

$$2a \approx 7,75 \sqrt{Q * t_B / M} \quad (5)$$

abgeschätzt werden, wobei die thermische Durchbruchzeit in Jahren und der Abstand $2a$ in km angegeben wird. Beispielsweise ergibt sich hieraus für eine Fördermenge von $Q = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (100 l/s), für eine effektive Mächtigkeit des Aquifers von $M = 50 \text{ m}$ und für eine geforderte Betriebsdauer von $t_B = 30 \text{ a}$ ein Mindestabstand von $2a = 1,9 \text{ km}$. Bei einer Förderrate von 150 l/s erhöht sich der Abstand auf 2,3 km.

Tatsächlich beträgt der Abstand der beiden Förder- bzw. Injektionsbereiche mehr als 3,6 km (Bohraufschlagspunkt). Daher wird es nach diesem Modell erst nach ca. 70 Jahren zu einer ersten messbaren Temperaturveränderung in der Förderbohrung kommen und das bei einem Dauerbetrieb mit maximaler Leistung. Die Fördertemperatur würde gemäß Formel (3) die 100 °C-Marke erst nach ca. 180 Jahren unterschreiten.

Seismische Aktivitäten

Im vergangenen Jahr wurden im Südosten von München microseismische Ereignisse registriert. Diese lagen jedoch unter der Wahrnehmbarkeitsschwelle.

Derzeit kann aufgrund der nicht ausreichenden Datenlage keine Aussage zu seismischen Auswirkungen getroffen werden. Die Geothermie Unterhaching unterstützt in diesem Zusammenhang die LMU, welche ein Forschungsprogramm zum „Aufbau und Betrieb eines engmaschigen, seismologischen Netzwerks im Raum Unterhaching/Ottobrunn und Auswertung der Messungen“ beantragt hat. Ziele der Forschungsaufgabe sind der Ausbau und Betrieb eines lokalen seismischen Stationsnetzes, Auswertung der microseismischen Ereignisse, sowie die Bestimmung der Lage der Hypozentren und die Klärung der Frage, ob die aufgetretenen Ereignisse tatsächlich mit dem

Betrieb der Geothermieanlage Unterhaching zusammenhängen oder ob diese Ereignisse der Ausdruck natürlicher, bisher nicht bekannter Seismizität im Raum SO-München darstellt.

Das Projekt soll in das Forschungsvorhaben „Geothermische Charakterisierung von Karst-Kluft-Aquiferen im Großraum München“ eingebunden werden. Dieses Vorhaben wird vom Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover (vormals GGA-Institut) durchgeführt und vom BMU finanziert.

Weiterhin nimmt die Geothermie Unterhaching an dem vom Landesamt für Umwelt einberufenen „Runden Tisch“ teil, um damit einen Beitrag zur Erhöhung der Transparenz zu leisten.

Allgemeine Bewertung

Sowohl für die Gemeinde, als auch für die Geothermie Unterhaching hat sich das Projekt nicht nur in der direkt in Zahlen ausgedrückten Wirtschaftlichkeit bewiesen; es wurde vielmehr ein nachhaltiger Standortvorteil für die Gemeinde geschaffen, der auch in Zukunft Magnet für die Bevölkerung und das Gewerbe sein wird. Zu den Standortvorteilen zählen dabei unter anderem die günstige, von Öl und Gas unabhängige Wärmeversorgung, die Preisstabilität, der Imagegewinn durch Klimaschutz und CO₂-Einsparung sowie die Unabhängigkeit von ausländischen Energieträgerimporten.

3.2 Stoff- und Energiebilanz

Im Folgenden wird der Betriebsmitteleinsatz dargelegt und welcher Output damit erzielt wird. Dies gilt für die bisherigen Werte sowie für die Darlegung der Planwerte.

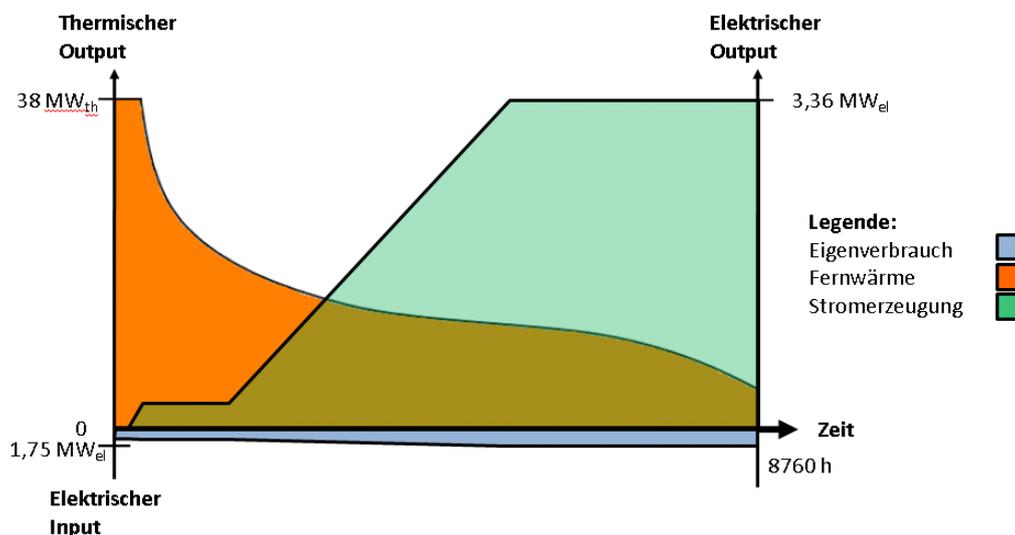


Abbildung 4: Modellhaftes Nutzungskonzept der geothermischen Energie in Unterhaching im Endausbau

Für den Betrieb der Geothermieanlage Unterhaching sind vor allem zwei Betriebsmittel notwendig: Strom (Betrieb der Pumpe, etc.) und Heizöl (Spitzenlast- und Redundanzversorgung). Diese beiden Inputs werden im Folgenden beschrieben:

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

- Betriebsmittel: Strom

Die Versorgung mit Strom wird über einen Netzanschluss des Netzbetreibers e.on realisiert. Die aktuellen Leistungswerte der versorgten Anlagenbereiche sind wie folgt:

Nutzung	Gewerk	Leistung (Stand Juni 2009)
KWK (beide Prozesse)	Pumpe	1.318 kW
KWK (beide Prozesse)	Gebäude	50 kW
Stromerzeugung	Kühlturm und sonstiger Eigenverbrauch	750 kW
Wärmeerzeugung	Heizwerk / Netzumwälz- pumpe incl. OTA	210 kW

Tabelle 3: Strombedarf

Der Strombedarf wird insbesondere aufgrund der vorhersehbaren Weiterentwicklung der Pumpentechnologie weiter ansteigen. Der Strombedarf der Pumpe ist abhängig von der eingesetzten Pumpe. Im Sommer 2009 wurde eine Pumpe eingebaut, deren Leistung bei bis zu 1.318 kW liegt. Da in den kommenden Jahren aufgrund der weiteren technischen Entwicklung leistungsstärkere Pumpen eingesetzt werden sollen, wird der Strombedarf sich entsprechend entwickeln. Der Strom für die Stromerzeugung bleibt voraussichtlich konstant. Steigende Ausgaben für Strom werden hier nur aufgrund der steigenden Strompreise angenommen. Der Stromverbrauch des Fernwärmenetzes steigt parallel zur Gesamtanschlussleistung.

Im April 2009 wurden von den einzelnen Gewerken folgende Strombezugswerte erreicht:

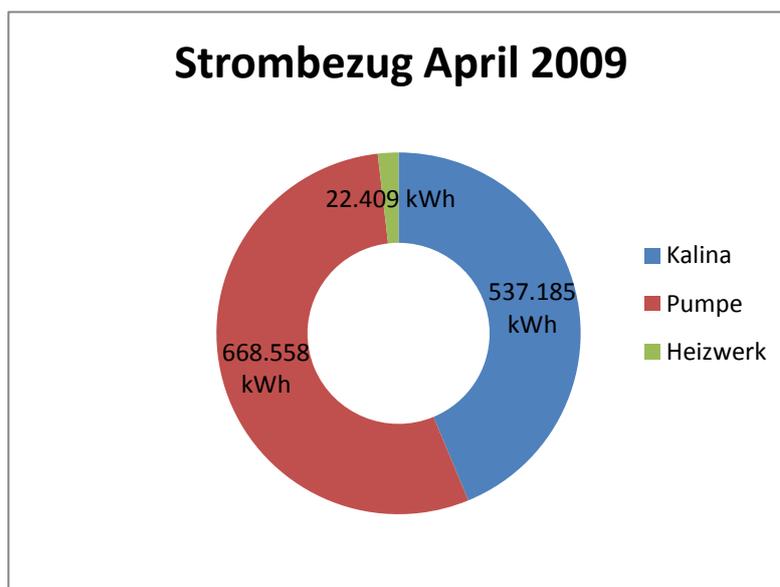


Abbildung 5: Strombezug Geothermie Unterhaching im April 2009

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

- Betriebsmittel: Heizöl

Das Heizwerk sichert die dauerhafte und umfassende Versorgung der Fernwärmekunden mit Wärme. Ist das geothermische Potenzial nicht verfügbar, kommt das Heizöl zur zusätzlichen Erzeugung von Energie für das Fernwärmenetz zum Einsatz. Des Weiteren wird Heizöl zur Druckhaltung im Fernwärmenetz benötigt.

Im Jahr 2008 wurden in Summe ca. 47.023 MWh Wärme verkauft. Davon stammen ca. 9 % nicht aus geothermischer Quelle, sondern wurden mit Heizöl (ca. 700.000 l) zugeheizt. Dies lag insbesondere an einem längeren Pumpenausfall. Solange die Anschlussleistung im Fernwärmenetz unter ca. 45 MW liegt, wird kein nennenswerter Zuheizbedarf aus Heizöl entstehen. Selbst bei einer Anschlussleistung von 100 MW liegt der Zuheizbedarf nur bei ca. 10 %. Bei dieser Anschlussleistung könnte Unterhaching und Umgebung mit ca. 90 % geothermische Energie beheizt werden.

Exkurs: Der Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG wurden für den Betrieb des Heizwerks Unterhaching (bzw. der gesamten Anlage) im Zeitraum von 2008 – 2012 (2. Zuteilungsperiode) jährlich 25.200 Emissionsberechtigungen EUA (EUAAllowances) zugeteilt. Aufgrund des niedrigen Zuheizbedarfs im Jahr 2008 konnten ca. 60 % der Zertifikate der Periode verkauft werden. Nach Berechnung wurden ca. 2.250 Zertifikate in der Periode 2008/2009 in Anspruch genommen.

Auf Basis der zur Verfügung stehenden geothermischen Leistung ($38 \text{ MW}_{\text{th}}$), sowie mit Unterstützung der beiden Betriebsmittel Strom und Heizöl lassen sich die beiden Produkte Wärme und Strom erzeugen. Die Outputwerte der beiden Produkte werden im Folgenden beschrieben, wobei insbesondere aufgrund der bisher nur kurzen Gesamtanlagenlaufzeit auf die Planwerte eingegangen wird:

- Geothermisches Produkt: Strom

Nach Ende des Probetriebs wurde gemeinsam mit Siemens ein Test der Bruttoleistung durchgeführt. Aufgrund der geringen Leistung der eingebauten Tiefpumpe stand zu diesem Zeitpunkt noch nicht die vollständige Wassermenge von 125 l/s zur Verfügung. Im Auslegungspunkt (11 °C Außentemperatur; 60 % Luftfeuchtigkeit, etc.) von 125 l/s bzw. 450 m^3/h sollen aus $32,5 \text{ MW}_{\text{th}}$ eine Stromleistung von $3,36 \text{ MW}_{\text{el}}$ erzeugt werden.

Im April wurde die Anlage im Teillastbetrieb getestet. Zu diesem Zeitpunkt konnte jedoch nicht unter dem Auslegungspunkt entsprechenden Bedingungen getestet werden. Es wurde vorläufig ein Wirkungsgrad von bis zu 9,13 % erzielt.

Laut Siemens wäre durch eine Umkonzeption einzelner Komponenten in der Anlage ein höherer Wirkungsgrad realisierbar.

Die ursprünglichen Planwerte zur Stromproduktion lagen lt. Förderbescheid bei $18.600 \text{ MWh}_{\text{el}}$ pro Jahr, was bei einer angenommenen konstanten Stromproduktion einer monatlichen Stromerzeugung von 1.550 MWh pro Monat entspricht. Die Ziele wurden später aufgrund der Anlagenkonzeption nach oben gesetzt und es wurde eine jährliche Stromproduktion von durchschnittlich $3,36 \text{ MW}_{\text{el}}$ bei einer Anlagenlaufzeit von 6.400 Stunden angenommen. Da de

Facto jedoch keine konstante Stromproduktion gegeben ist, kann erst nach einem Jahr Laufzeit der Gesamtanlage bestimmt werden, ob die Ziele erreicht werden. Die ersten Werte sind vielversprechend: Im April 2009 wurden 1.147 MWh Strom in das Netz von e.on eingespeist.

	Jahresproduktion	Durchschnittswert pro Monat
Monat April (85 l/s)		1.147 MWh
ursprüngliche Planung (150 l/s)	18.600 MWh	1.550 MWh
aktuelle Planung (125 l/s)	21.504 MWh	1.792 MWh

Tabelle 4: Übersicht Stromproduktion

- Geothermisches Produkt: Wärme

Die Anschlussleistung im Fernwärmenetz auf der Grundlage geothermischer Energie weist eine überdurchschnittlich positive Entwicklung auf. Ursprünglicher Zielwert des Förderbescheids war das Ziel einer Wärmeerzeugung von 60.080 MWh_{th} jährlich. Dieser Wert wurde wie auch das Ziel der Stromproduktion den gegebenen Rahmenbedingungen angepasst.⁸ Neuer Ausgangspunkt der Wärmeproduktion ist das geschätzte Potential in Unterhaching und Umgebung von etwa 70 MW Anschlussleistung, was etwa 120.000 MWh_{th}/a entspricht, wobei aus kaufmännischer Vorsicht intern „nur“ mit einer langfristigen Zielmenge von 100.000 MWh/a geplant wird.

Im Jahr 2008 konnten mit einer Anschlussleistung von ca. 30 MW bereits 47.023 MWh Wärme abgesetzt werden. Das ursprüngliche Ziel von 60.080 MWh_{th}/a wird nach heutigen Berechnungen bereits im Jahr 2010 erreicht. Treten die erwarteten Prognosen bzgl. der Entwicklungen am Wärmemarkt in den nächsten Jahren ein, so wird der Absatz pro Wärmeabnehmer aufgrund von Wärmedämmungsmaßnahmen sinken. Es ist jedoch ein stetiger Ausbau des Netzes geplant, der diesen Auswirkungen auf dem Wärmeabsatz entgegenwirkt.

3.3 Umweltbilanz

Laufende Geothermieprojekte sind grundsätzlich faktisch CO₂-frei. Es wird lediglich während der Bauphase und im Falle des Spitzenlast bzw. Redundanzheizbedarfs und für den Strombezug CO₂ generiert. Dieser CO₂-Rucksack, insbesondere die Freisetzungen während der Bauphase, sind über die gesamte Projektlaufzeit zu sehen und auf beide Produkte aufzuteilen. Der physikalische Strom der Anlage wird dabei für die Versorgung der Anlage mit CO₂-freiem Strom angerechnet.

Bis zur offiziellen Einweihung am 2.6.2009 konnte über die Substitution anderer Energieträger bereits eine Einsparung von 22.500 Tonnen erzielt werden. Dieser Wert wird weiter ansteigen, da in 2009 zum einen auch die Stromerzeugung zur CO₂-Einsparung beitragen wird und weil der Fernwärmenetzausbau weiter voranschreiten wird, so dass hier mehr Versorgung durch fossile Energieträger substituiert werden kann.

Projektiert war laut Förderbescheid des BMU eine CO₂-Einsparung von 35.441 Tonnen pro Jahr. Dies wird mit dem Endausbau erreicht.

⁸ Siehe hierzu Kapitel 1.2.

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Zur Betrachtung der geplanten CO₂-Emissionseinsparung im Jahr 2023, das Jahr des aktuell geplanten wirtschaftlich vorsichtigen Endausbaus mit 61 MW Anschlussleistung wurden zunächst die geplanten Outputwerte ermittelt. D. h. es wurde anhand der Ausbauplanung ermittelt, wie viele Stunden Strom und Wärme in diesem Jahr erzeugt werden.

Im Folgenden wurden die damit in Verbindung stehenden Inputwerte ermittelt, denn diese sind nicht konstant, sondern variieren je nach Fernwärmenetzausbau. Während das Heizöl sowie der Strombedarf für das Heizwerk und die Kalina-Anlage eindeutig den jeweiligen „Produkten“ zugeordnet werden können, ist beispielsweise der Strom für die Pumpe aufzuteilen. Hierzu wurde gemäß des Energiemengenoutputs in diesem Jahr von 20,7 GWh_{el} zu 98,5 GWh_{th} eine Verhältnis von 18:82 berechnet. Dieses Verhältnis wurde der Berechnung der CO₂-Einsparung zugrunde gelegt. Dabei wurde der Stromeinsatz zur Stromproduktion der produzierten Strommenge angerechnet. Zur Berechnung der CO₂-Einsparung im Bereich Wärme waren der Heizöleinsatz sowie der direkt und indirekt zurechenbare Strombedarf in Abzug zu bringen.⁹

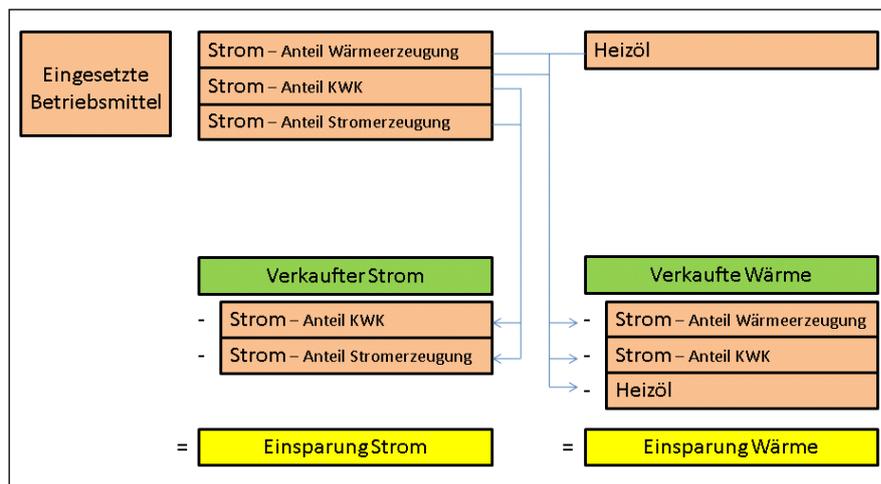


Abbildung 6: CO₂-Berechnung

Auf Basis dieser Prämissen wird für das Jahr des Endausbaus, 2023, eine Emissionseinsparung von 34.320 t CO₂ erreicht.

Es wurde in dieser Betrachtung nicht die CO₂-Einsparung im Vergleich zu fossil betriebenen dezentralen Einzelfeueranlagen betrachtet, sondern die Einsparungen gegenüber einem gasbetriebenen Fernwärmenetzes.

⁹ Quellen: Strom: Output 644,9 kg/MWh; Input (EON): 308 kg/MWh; Wärme Output 284,7 kg/MWh; Input Heizöl 200 kg/MWh Fritsche, R./Rausch, L.: (Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme, 2008), S. vi-6; außerdem Angaben des aktuellen Stromversorgers e.on (Stromkennzeichnung – Energiemix und Umweltauswirkungen);

3.4 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

Die Geothermieanlage Unterhaching besteht aus insgesamt fünf, für sich hermetisch abgeschlossene Kreisläufe, in denen verschiedene Fluide transportiert werden.¹⁰ Diese werden im Folgenden beschrieben:

1. Thermalwassertransport

Über diesen Transportweg wird das Thermalwasser aus der Tiefe über eine Tiefpumpe in der Bohrung Gt Unterhaching 1a gefördert, zur Obertageanlage transportiert, wo die Wärme entzogen wird. Danach wird das abgekühlte Wasser über die Thermalwasserleitung zur Gt Unterhaching 2 geleitet. Dort fließt es nach einem Regelventil wieder in den Untergrund ab. Um Entgasungen zu verhindern, wird ein konstanter Anlagendruck auf dem System gehalten. Für den Wärmetransport wird Thermalwasser genutzt.

2. Ammoniak-Wasser Dampfkreislauf

Hier wird die Wärme zwischen den Wärmetauschern des Kühlwasserkreislaufs und den Wärmetauschern des Thermalwasserbereichs zirkuliert. Der Druck beträgt bis zu ca. 30 bar. Für den Wärmetransport wird ein Ammoniak-Wasser-Gemisch genutzt.

3. Kühlwasserkreislauf

Über den Kühlturm wird überschüssige Energie aus dem Kondensationsvorgang des Dampfkreislaufs an die Umgebung abgegeben. Für den Wärmetransport wird Brunnenwasser genutzt. Dieser Energieeintrag in die Umwelt ist nicht als zusätzliche Belastung zu sehen. Die im Thermalwasser in der Tiefe enthaltene Energie würde auch auf natürlichem Wege über die Zeit als natürliche Abwärme der Erdkugel in die Atmosphäre gelangen.

4. Fernwärmekreislauf

Das Fernwärmenetz kann an zwei Stellen (Obertageanlage/Wärmetauscher und Heizwerk/Kessel) Energie aufnehmen und zu den derzeit ca. 250 Wärmeabnehmern transportieren. Das Netz besteht je aus einer Vor- und einer Rücklaufleitung. Beide Leitungen stehen unter Druck. Der Bereich der Vorlaufleitungen hat einen höheren Druck. Für den Transport wird aufbereitetes Leitungswasser genutzt.

5. Kunden-Wärmekreislauf

Bei den Kunden wird über einen Wärmetauscher dem Fernwärmenetz die Wärme entzogen und auf das kundeneigene Hausnetz übertragen, womit die Räume des Abnehmers aufgeheizt werden können.

Die Kreisläufe 1-4 werden mit Hilfe der Leittechnik in der Obertageanlage gesteuert. Dort werden auch einzelne Werte protokolliert. Für die Geothermie Unterhaching sind dabei die folgenden Messwerte von wirtschaftlichem Interesse:

- | | |
|--|----------|
| 1. Einspeisung von Strom in das öffentliche Netz | I_{AB} |
| 2. Entnahme von Strom aus dem öffentlichen Netz | I_{ZU} |

¹⁰ Siehe hierzu auch Abbildung I.

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Alle restlichen Messdaten dienen zur Steuerung der Anlage. Dazu werden an mehreren Stellen die Druck und Temperaturverhältnisse aufgezeichnet, sowie diverse Ventilstellungen protokolliert.

Für das Mess- und Untersuchungsprogramm werden zusätzlich folgende Werte ausgewertet:

3. Kreislauf 1: Menge Thermalwasser	$V_{TW, ges}$
4. Kreislauf 1: Fördertemperatur	$T_{förder}$
5. Kreislauf 1: Injektionstemperatur	T_{inj}
6. Kreislauf 2: Austrittstemperatur	$T_{Aus, Strom}$
7. Kreislauf 2: Menge Thermalwasser	$V_{TW, Strom}$
8. Kreislauf 4: Austrittstemperatur	$T_{Aus, FW}$
9. Kreislauf 4: Menge Thermalwasser	$V_{TW, FW}$

Aus diesen neun Messwerten lassen sich alle grundlegenden Informationen über die Energiemengenbilanz errechnen.

Zentrale Information ist die Leistung, welche aufgewendet werden muss, um die Fernwärme und den Strom zu produzieren.

- Thermische Gesamtleistung: $P_{TH, ges} = V_{TW, ges} \times (T_{förder} - T_{Aus, Strom}) \times c_{TW}$
- Thermische Leistung für Fernwärme: $P_{TH, FW} = V_{TW, FW} \times (T_{förder} - T_{Aus, FW}) \times c_{TW}$
- Thermische Leistung für Stromerzeugung: $P_{TH, Strom} = V_{TW, Strom} \times (T_{förder} - T_{Aus, Strom}) \times c_{TW}$

P_{TH} = Thermische Leistung

c_{TW} = spezifische Wärmekapazität vom Thermalwasser in Unterhaching= 4,18 kJ/kg K

Im Bereich der Stromerzeugungsanlage werden über 200 einzelne Messwerte erfasst. Die Auswertung dieser Messwerte wird im Rahmen einer eigenen Fördermaßnahme aufbereitet.

3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Wirtschaftlichkeit eines Geothermieprojektes ist von vielen Faktoren abhängig. Dabei unterscheidet die folgende Ausführung nach folgenden Bereichen der Einflussnahme:



Abbildung 7: Wirtschaftlichkeit eines Geothermieprojektes

3.5.1 Projektmanagement

Um das Geothermieprojekt in Unterhaching erfolgreich umzusetzen zog der Gemeinderat einen unabhängigen Projektmanager hinzu. Durch diesen Schritt wurden verschiedene Ziele angestrebt: die Vermeidung von Verflechtungen einzelner Projektbeteiligter und damit die optimale Kontrollmöglichkeit der erbrachten Leistungen sowie die professionelle Handhabung wirtschaftlicher und rechtlicher Risiken.

Den Beitrag zur Wirtschaftlichkeit unterstreicht ein gutes Projektmanagement durch fundierte Entscheidungen, genaue Planungen, Kontrollmechanismen und ein entsprechendes Risikomanagement. Diese Erfolgsfaktoren wurden befolgt, so dass die wirtschaftliche Situation der Geothermie Unterhaching als erfolgreich beschrieben werden kann.

Hohe Investitionskosten zur Anlagenerstellung erfordern zusätzlich ein professionelles und kleinteiliges Risikomanagement, welches vom Projektmanagement aufzusetzen ist. Dabei ist es wichtig, sich mit allen potentiellen Risiken intensiv auseinander zu setzen und ggf. ein genau angepasstes Risikobudget in den Investitionsplan aufzunehmen. Rödl & Partner hat während der Projektlaufzeit verschiedene Ansätze verfolgt, um die Risiken des Projektes berechenbar zu machen:

- Gute Vorbereitung und Prüfung des Projektes
- Absicherung des Fündigkeitsrisikos¹¹
- Absicherung geologischer und technischer Risiken (Bauleistungsversicherung, Lost-in-Hole etc.)
- Entwicklung einer Alternative zum Bohrvertragsmodell der Bohrindustrie bzgl. der Verteilung von Pflichten und Risiken im Sinne einer optimalen Anreizverteilung
- Gute Abstimmung und Koordination: Einberufung und einvernehmliche Dokumentation von regelmäßigen und außerordentlichen Projektsitzungen
- Ständige Beobachtung des wirtschaftlichen und politischen Umfelds
- Einkalkulierung planbarer Risiken (Risikobudget, Zeitplanung)
- Transparentmachen von unkalkulierbaren Risiken
- Fundierte Entscheidungsvorlagen
- Auswahl leistungsfähiger, erfahrener und unabhängiger Partner und Experten
- Detaillierte Businessplanung mit Bewertung des geschaffenen Wertes

3.5.2 Investitionen

Die Investitionskosten eines Geothermieprojektes richten sich nach folgenden Parametern:

- Bohrtiefe
- Vertragsqualität / Risikoverteilung

¹¹ Siehe hierzu Kapitel 4.2

- Behördliche Anforderungen
- Marktpreise

Die folgende Grafik zeigt die prozentuale Verteilung der Investitionskosten von 80 Mio. Euro auf die einzelnen Gewerke auf. Die Grafik beinhaltet die geplanten Investitionen aus dem Jahr 2009.

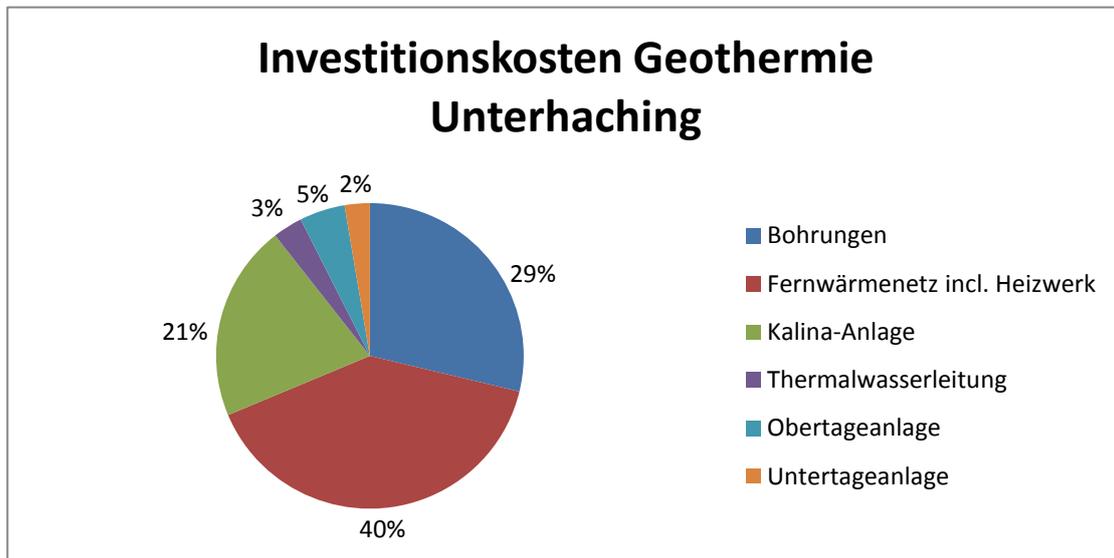


Abbildung 8: Investitionskosten Geothermie Unterhaching

Nach heutigen Planungen wird der kumulierte Cash-Flow die Investitionskosten bereits in rund 15 Jahren nach Inbetriebnahme übersteigen.

3.5.3 Einnahmen

Der Großteil der Einnahmen wird aufgrund des wärmegeführten Anlagenbetriebs langfristig durch die Wärmeproduktion generiert. Während die Einnahmen aus Strom mit dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz langfristig gesetzlich geregelt sind, oblag die Festsetzung des Wärmepreises der Geothermie Unterhaching selbst. In Zusammenarbeit mit Rödl & Partner entstand ein maßgeschneidertes Preissystem, welches unter der Maßgabe der langfristigen Rechtssicherheit stand, denn der Preis und die dazugehörige Preisgleitklausel müssen zahlreichen Anforderungen genügen, insbesondere den Regelungen der AVBFernwärmeV. Fernwärmepreise sind der Höhe nach rechtlich nicht reguliert. In Unterhaching wurde kein Anschluss- und Benutzungszwang beschlossen.

Hintergrund der Preisgleitklausel ist, dass der Gesetzgeber dem besonderen Schutzbedürfnis der Kunden in Hinblick auf die langfristige Preisentwicklung mit genauen Vorgaben zur Wärmepreisanpassung Rechnung trägt. Danach muss die Fernwärmepreisentwicklung in einer üblicherweise mindestens für zehn Jahre verbindlichen Preisgleitklausel geregelt sein. Bei der Entwicklung der Klausel sollen gemäß AVBFernwärmeV sowohl die Verhältnisse auf dem Wärmemarkt, als auch die Preisentwicklung der Produktionsfaktoren berücksichtigt werden. Inwiefern die erste Anforderung bei Geothermieprojekten noch zeitgemäß ist, muss diskutiert werden, da die Notwendigkeit der Einbeziehung der Verhältnisse auf dem Wärmemarkt insbesondere bei Geothermieanlagen fraglich ist. Eine Streichung dieses Absatzes in der

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

AVBFernwärmeV für Fernwärme aus erneuerbarer Energie wäre gut begründbar. Im Falle der Geothermie Unterhaching lauten die ausgewählten Indizes: Investitions- und Lohnkosten, der Stromverbrauch und Aufwendungen insbesondere für fossile Brennstoffe zur Abdeckung der Spitzenlast und für den Reservefall.

In Unterhaching war dabei die besondere Herausforderung, dass die Fernwärmepreise und die Preisgleitklausel noch vor dem Ende der ersten Bohrung festgelegt werden mussten. Liegen die tatsächlichen Kosten der Betriebsphase über den Einnahmen aus dem Wärmeverkauf, weil der Preis z. B. zu niedrig angesetzt wurde, kann dieser während der gesamten Vertragslaufzeit nicht mehr angepasst werden kann. Ein zu hoher Preis führt allerdings zu einer geringeren Nachfrage.

In Unterhaching wurden zwei Preisgleitklauseln für den Grund- und Arbeitspreis festgelegt: Der jährliche Grundpreis deckt die Kosten für die Erzeugungsanlagen einschließlich Verteilungsnetz ab. Er wird in monatliche Raten aufgeteilt und ist abhängig von der an der Anschlussstelle bereitzuhaltenden Anschlussleistung in kW. Der Arbeitspreis ist der Preis für die vom Kunden tatsächlich bezogenen Kilowattstunden (kWh) Wärme.

Zusätzlich wird noch ein Messpreis erhoben, welcher das Entgelt für Messung, Ablesung, Abrechnung und Inkasso nach Art und Umfang der Messeinrichtung beinhaltet.

Der Grundpreis ändert sich zu 70 % wie der Index der Erzeugerpreise für Investitionsgüter und zu 30 % wie der Lohn. Der Grundpreis erhöht oder ermäßigt sich nach folgender Formel:

$$GP = GP_0 * \left(0,70 \frac{IG}{IG_0} + 0,30 \frac{L}{L_0} \right)$$

Es bedeuten:

GP = jeweiliger neuer Grundpreis zum Anpassungszeitpunkt

GP₀ = Basis-Grundpreis

Basis- Wert ist ein Grundpreis für die ersten 50 kW Anschlussleistung in Höhe von 2,62 Euro (netto) pro Monat und kW, für alle weiteren kW bis 250 kW 2,10 Euro (netto) pro Monat und kW und für alle weiteren kW über 250 kW 1,57 Euro (netto) pro Monat und kW

IG = jeweiliger Investitionsgüterindex zum Anpassungszeitpunkt

Es gilt die vom Statistischen Bundesamt Wiesbaden in Fachserie 17, Reihe 2, lfd. Nr. 3 veröffentlichte Indexziffer der Erzeugerpreise gewerblicher Produkte für Erzeugnisse des Investitionsgüter produzierenden Gewerbes.

IG₀ = Basis ist die zum 15.03.2005 veröffentlichte Indexziffer für Investitionsgüter von 103,0 (2000 = 100)

L = jeweiliger Lohn zum Anpassungszeitpunkt

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Es gilt die vom Statistischen Bundesamt Wiesbaden veröffentlichte Indexziffer der tariflichen Stundenlöhne in der gewerblichen Wirtschaft und Gebietskörperschaften (Deutschland) Wirtschaftszweig Energie-- und Wasserversorgung.

L_0 = Basis ist die veröffentlichte Indexziffer für den Lohn, Stand Oktober 2004 von 108,8 (2000 = 100)

Arbeitspreis:

Der Arbeitspreis ändert sich entsprechend der Preisentwicklung der maßgeblichen eingesetzten Energie. Der ändert sich zu 28 % wie der Strompreis, zu 28 % wie der Gaspreis, zu 28 % wie der Index der Erzeugerpreise für Investitionsgüter und zu 16 % wie der Lohn. Der Arbeitspreis erhöht oder ermäßigt sich nach folgender Formel:

$$AP = AP_0 * \left(0,28 \frac{ST}{ST_0} + 0,28 \frac{GA}{GA_0} + 0,28 \frac{IG}{IG_0} + 0,16 \frac{L}{L_0} \right)$$

Es bedeuten:

AP = jeweiliger neuer Arbeitspreis zum Anpassungszeitpunkt

AP_0 = Basis-Arbeitspreis

Basis- Wert ist ein Arbeitspreis in Höhe von 4,48 €Ct / kWh (netto).

ST = jeweiliger Preis für Strom zum Anpassungszeitpunkt

Es gilt die vom Statistischen Bundesamt Wiesbaden in Fachserie 17, Reihe 2, lfd. Nr. 649 veröffentlichte Indexziffer der Preise für Strom bei Abgabe an gewerbliche Anlagen (ggf. Abnahmemenge > 8.000 MWh_{el} p.a.)

ST_0 = Basis ist die zum 15.3.2005 veröffentlichte Indexziffer für den Strompreis von 118,0 (2000 = 100)

GA = jeweiliger Preis für Gas zum Anpassungszeitpunkt

Es gilt die vom Statistischen Bundesamt Wiesbaden in Fachserie 17, Reihe 2, lfd. Nr. 655 veröffentlichte Indexziffer der für Erdgas bei Abgabe an Haushalte (ggf. Abnahmemenge > 50 MWh_{th})

GA_0 = Basis ist die zum 15.3.2005 veröffentlichte Indexziffer für Erdgas von 130,1 (2000 = 100)

IG = jeweiliger Investitionsgüterindex zum Anpassungszeitpunkt

Es gilt die vom Statistischen Bundesamt Wiesbaden in Fachserie 17, Reihe 2, lfd. Nr. 3 veröffentlichte Indexziffer der Erzeugerpreise gewerblicher Produkte für Erzeugnisse des Investitionsgüter produzierenden Gewerbes.

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

IG_0 = Basis ist die zum 15.03.2005 veröffentlichte Indexziffer für Investitionsgüter von 103,0 (2000 = 100)

L = jeweiliger Lohn zum Anpassungszeitpunkt

Es gilt die vom Statistischen Bundesamt Wiesbaden veröffentlichte Indexziffer der tariflichen Stundenlöhne in der gewerblichen Wirtschaft und Gebietskörperschaften (Deutschland) Wirtschaftszweig Energie- und Wasserversorgung.

L_0 = Basis ist die veröffentlichte Indexziffer für den Lohn, Stand Oktober 2004 von 108,8 (2000 = 100)

Eine weitere Herausforderung bestand im Vorfeld in der korrekten kalkulatorischen Zurechnung der gemeinsamen fixen Kosten auf die beiden Koppelprodukte Strom und Wärme. Dieses wird durch sich ändernde Parameter wie Lastgang, Wärmeabnahme und Anschlussleistung erschwert, da diese Werte im Vorfeld unbekannt sind und nur aufgrund von langjähriger Erfahrung ermittelt werden können.

Für den Kunden bietet der Bezug von geothermisch erzeugter Fernwärme zahlreiche Vorteile, die ebenfalls die Preisgestaltung beeinflussen:

- Geringerer Energiebezug durch die verlustarme Übergabe der Fernwärme,
- Abkopplung von der Preisentwicklung fossiler Brennstoffe,
- Einsparung von Investitionskosten, z. B. für Kessel,
- Einsparung von laufenden Kosten, z. B. für Schornsteinreinigung,
- Zugewinn von Nutzraum.

Diese Aspekte lassen einen Argumentationsspielraum für einen höheren Preis, als den von Kunden zum Vergleich in der Regel angesetzten reinen Preis für Heizöl oder Erdgas zu. Die Weitergabe des Nutzens an die Kunden, die Erfüllung gesetzlicher Anforderungen und die wirtschaftliche Führung des Versorgungsunternehmens sind Kernziele bei der Gestaltung eines Preissystems.

Im Rahmen der Stromeinnahmen war ein Faktor ausschlaggebend für die Wirtschaftlichkeit, dessen Entwicklung jedoch nicht in der Hand der Projektbeteiligten lag: Das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG). Während zu Beginn des Projektes noch mit 8,95 €Cent/kWh für die Stromeinspeisung kalkuliert wurde, waren es am Ende 16 €Cent/kWh Grundvergütung, 4 €Cent/kWh Frühstarterbonus und ein Wärmebonus für das Auskoppeln von über 20 Prozent Wärme in das Fernwärmenetz von 3 €Cent/kWh.

Trotz der hohen Einspeisevergütung für Strom ist die Schwerpunktverlagerung von einer ursprünglich strom-, auf eine heute wärmegeführte Anlage richtig gewesen. Grund hierfür ist der deutlich höhere Deckungsbeitrag aus dem Wärmeverkauf, welcher insbesondere aus dem besseren Wirkungsgrad bei der Gewinnung von Wärme herrührt. Auch die Möglichkeit, eventuell steigende Kosten für die Produktionsfaktoren an die Kunden weitergeben zu können, sprach für diese Umstellung.

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Im Jahr 2008 wurden ca. 47.023 MWh Wärme an 245 Anschlussnehmer verkauft. Im April 2009 wurde im Rahmen des Probetriebs erstmals mehr als 1.100 MWh Strom erzeugt, und bereits von e.on vergütet.

3.5.4 Lfd. Ausgaben

Auf der Ausgabenseite sind vor allem die geologischen Grundbedingungen ausschlaggebend für die Wirtschaftlichkeit, da sie nicht nur den Energiegehalt festlegen, der Basis für die Strom- und Wärmeproduktion ist. Sie beeinflussen auch die späteren laufenden Aufwendungen wie beispielsweise die Materialhaltbarkeit oder den Pumpstrom.

Die größten Posten der lfd. Ausgaben sind:

- Abschreibungen
- Zinsen
- Strom (Pumpe, Kühlturm, Netzumwälzpumpe, Gebäude)
- Instandhaltung
- Heizöl (Spitzenlast- und Redundanzversorgung)
- Versicherungen (insbesondere Sach- und Betriebsunterbrechungsversicherung)
- Personal zzgl. externer technischer Betriebsführung

In der folgenden Grafik ist die Verteilung der größten laufenden Kosten prozentual im 5-Jahres Rhythmus dargestellt. Dabei ist deutlich zu erkennen, dass die Zinsen aufgrund der Tilgungen der Projektfinanzierung sinken. Der Strombezug nimmt deutlich zu. Dies liegt insbesondere an den unter kaufmännischer Vorsicht angenommenen deutlichen Steigerungen des Strombezugspreises um 5 % pro Jahr bezogen auf das Vorjahr.

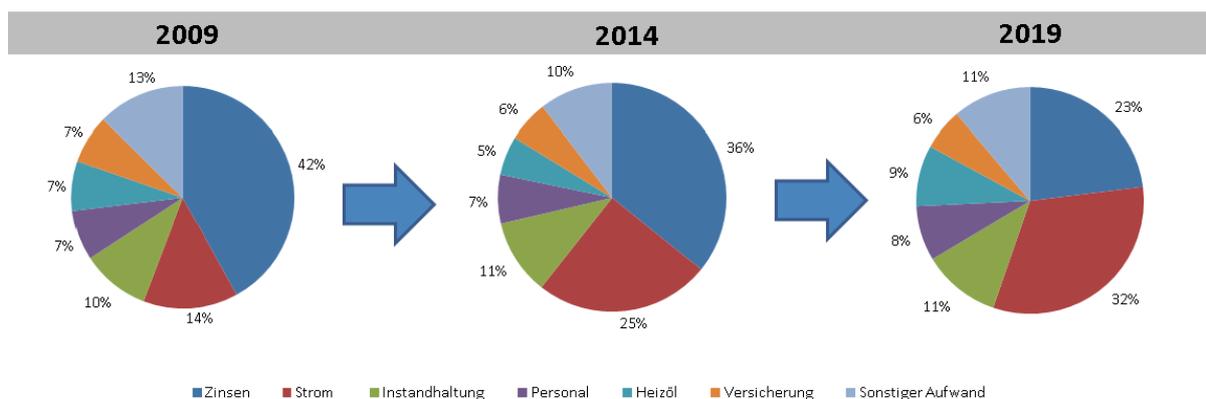


Abbildung 9: Anteilige Betriebskosten in %

Es ist davon auszugehen, dass die lfd. Kosten bereits in 2009 durch die Einnahmen gedeckt werden können. Mit der Tilgung soll bereits im Jahr 2010 begonnen werden.

3.5.5 Fördermittel

Zur Finanzierung des Pilotprojektes Unterhaching wurden neben Eigenmitteln der Gemeinde und der Kreditaufnahmen über die Hausbank unterschiedliche Fördermittel beantragt und bewilligt. Der Großteil der Förderung resultiert aus dem Programm Demonstrationsvorhaben der KfW, ergänzt um das Programm Erneuerbare Energien (KfW) für den Fernwärmeausbau. Daneben wurden Teilbereiche des Projekts wie Seismik, Fündigkeitsversicherung sowie Pumpstest gefördert. Für einen Großteil der Finanzierung wurde ein flexibles Darlehen der Bayerischen Landesbank konsortial mit der Kreissparkasse München Starnberg genutzt, welches sich über ein Förderprogramm der Europäischen Investitionsbank refinanziert.

Der Gesamtfinanzbedarf des Projektes liegt inkl. 2008 bei 102 Mio. Euro. Die Differenz zu den Investitionskosten von ca. 80 Mio Euro setzt sich aus den Kosten während der sieben Jahren Bauzeit der Gesamtanlage zusammen. Den größten Einzelposten nehmen dabei die Zinsen ein.

In Summe beliefen sich die gesamten Fördermittel exkl. der Eigenkapitaleinlage aber inkl. Bewertung der Kommunalbürgschaften auf ca. 11 % der Gesamtkosten des Projektes.

3.6 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren

Das grundsätzliche technische Prinzip des Geothermieprojektes Unterhaching ist bereits in Kapitel 2.2 und 2.3 beschrieben. Als grundsätzliche Charakteristikum ist anzuführen, dass die Energiegewinnung nicht aus Verbrennungsprozessen auf Basis von fossilen Brennstoffen erfolgt, sondern Energie, welche im geförderten Thermalwasser steckt, zur Nutzung an die Oberfläche gefördert wird. Das Thermalwasser wird nach einer energetischen Nutzung, sprich Abkühlung, wieder in den Untergrund eingebracht.

Es handelt sich augenscheinlich um eine Kraftwärmekopplungsanlage, wobei im Hinblick auf die Begriffsdefinitionen gemäß KWKG, § 3 „Kraft-Wärme-Kopplung ist die gleichzeitige Umwandlung von eingesetzter Energie in elektrische Energie und in Nutzwärme in einer ortsfesten technischen Anlage. ...“ eine Abgrenzung zu erfolgen hat.

Da die Möglichkeit besteht, das Thermalwasser parallel für die Fernwärmeerzeugung als auch für die Stromproduktion zur Verfügung zu stellen, sind diverse Fahrweisen möglich. Im Sommerbetrieb beispielsweise wird bis auf die Warmwasserbereitung in erster Linie Strom produziert. Im Winter wird hingegen, insbesondere in extremen Kälteperioden, das Thermalwasser hauptsächlich für die Fernwärmeerzeugung genutzt und abhängig vom Wärmebedarf im Fernwärmenetz zeitweise evtl. kein Strom erzeugt. Somit werden gemäß Begriffsbestimmung die Charakteristika einer KWK – Anlage (reduziert auf „Gleichzeitigkeit“) nur für die Teillastbereiche erfüllt.

Die Aufteilung der geothermischen Energie auf Strom- und Wärmeproduktion wird zukünftig über ein Energiemanagementsystem erfolgen, welches aus oben genannten Gründen *wärmegeführt gesteuert* wird, sprich eine Steuerung erfolgt indirekt über den Wärmebedarf im Fernwärmenetz, welcher natürlich insbesondere von den jeweiligen Außentemperaturen bedingt wird.

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Dieser Sachverhalt stellt sicherlich einen grundsätzlichen Unterschied zu konventionellen KWK – Anlagen dar, da dort zwingend eine Gleichzeitigkeit in den meisten Fällen technisch vorgegeben ist.

Aufgrund des Charakters der KWK – Anlagen in Unterhaching (s. o.) ergeben sich mit zunehmendem Ausbau des Fernwärmenetzes weitere Emissionsreduktionen. Weiterhin ist bei einem Ausbau der Pumpkapazität durch Einsetzen einer leistungsfähigeren Pumpe, davon auszugehen, dass insgesamt eine größere Wärmemenge im Fernwärmenetz abgesetzt wird und somit noch mehr fossile Wärmeträger substituiert werden können.

Im Zuge dessen ist die Darstellung einer Jahressganglinie hilfreich:

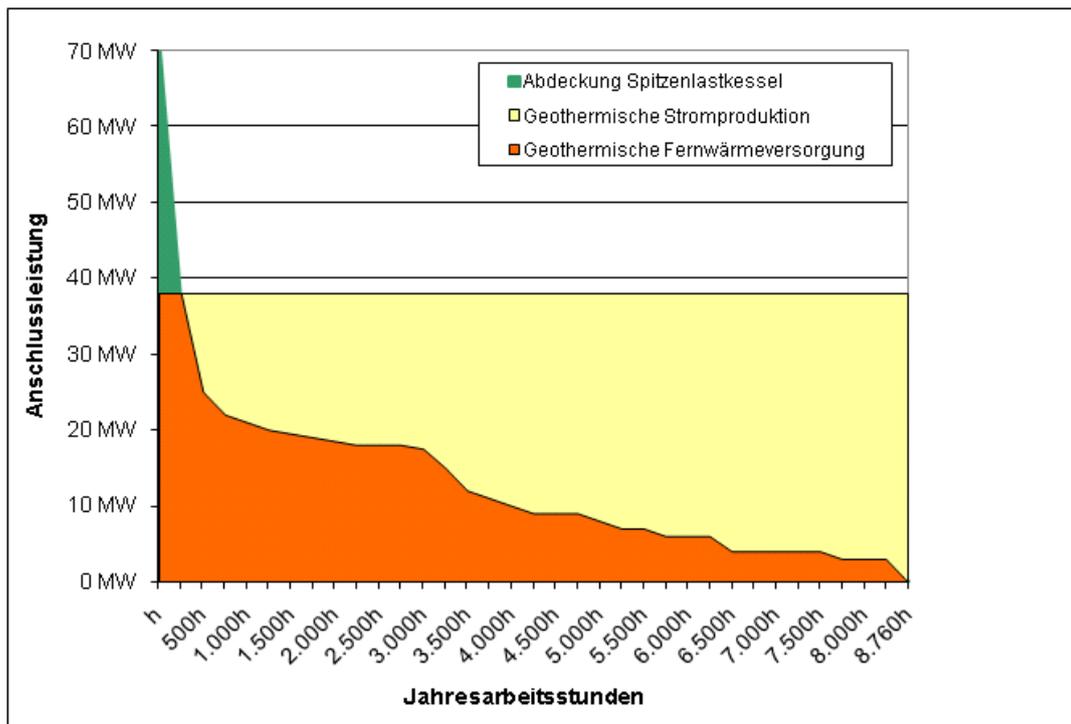


Abbildung 10: Beispielhaftes Jahressganglinienmodell bei Endausbau 70 MW_{th}

Es wird deutlich ersichtlich, dass die Wärmeversorgung auf Basis der Geothermie, im Vergleich zu einem konventionellen Verfahren, als Grundlast einen erheblichen Anteil an der emissionsfreien Wärmeversorgung Unterhachings darstellen kann. Fossil wird nur noch die Redundanz (im Falle eines Abschaltens der Tiefenpumpe) oder die Spitzenlast erzeugt. Die Fläche unter der 38 MW – Linie bezeichnet hier die Energiemenge, welche in Unterhaching geothermisch erzeugt wird. Es ist offensichtlich, dass bei einer Senkung der Reinjektionstemperatur, bzw. einer weiteren Steigerung der Pumpenkapazität eine noch größere Energiemenge zu Verfügung steht, welche dazu führen würde, einerseits die Spitzenlastmenge weiter zu reduzieren und andererseits auf das Jahr bezogen eine erhöhte Stromproduktion zu erreichen.

Positiv ist auch zu erwähnen, dass durch den Ringschluss des Fernwärmenetzes und die beiden Einspeisepunkte (Heizwerk sowie geothermische Bohrung) eine noch größere Versorgungssicherheit gewährleistet werden kann, da bei Defekt aus beiden Richtungen versorgt werden kann. Selbstverständlich könnte dies auch bei konventionellen Anlagen der Fall sein, insofern zwei

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Erzeugungsanlagen ein Netz versorgen. Bei Anlagen der Größe von Unterhaching wird dies wohl eher nicht der Fall sein.

Während der Planung und im technischen Betrieb der Anlage Unterhaching zeigen sich weiterhin folgende Unterschiede:

- Pumpe: Stellt im Vergleich zu einem konventionellen KWK – Fernwärmenetzprojekt ein weiteres bzw. zusätzliches Anlagenteil dar. Da die Wärmequelle regenerativ ist, immer zur Verfügung steht und entweder zur Wärmeversorgung als auch zur Stromproduktion genutzt werden kann, wird im Gegensatz zu einer konventionellen Anlage die Tiefpumpe immer am idealen Betriebspunkt gefahren und nicht z. B. je nach Wärmeabnahme geregelt. Die Pumpe ist gleichzeitig der größte Stromverbraucher, wobei der Stromaufwand in der Wertschöpfungskette der Strom- sowie Wärmeproduktion hinzuzurechnen ist. Die Geothermieanlage entspricht somit nicht einer KWK-Anlage im Sinne des KWK-Gesetzes.
- Kalina-Anlage: Die Einbindung der Stromerzeugung über das o. g. Konzept (unter Berücksichtigung, dass die Pumpe am idealen Betriebspunkt zu betreiben ist) führt somit zu einer maximalen Ausnutzung der geförderten, geothermischen Energie, insbesondere in den Sommermonaten. Weitere Unterschiede sind:
 - Ammoniak im sekundären Kreislauf (höhere Sicherheitsanforderungen, ähnlich wie Eisstadien und Brauereien) in vgl. zu Wasserdampf in konventionellen Anlagen
 - Kühlung: In Unterhaching wurde ein grundwassernachgespeicherter Hybridkühlturm verwendet (in dieser Form, soweit bekannt, einzigartig in Deutschland)
 - Lärmschutzauflagen: 32 dB (A) wurden am Standort gefordert; dies ist außerordentlich gering und wurde sicherlich bei konventionellen Anlagen (aufgrund des Standortes) nicht gefordert, bzw. realisiert.

Identisch zu konventionellen Anlagen ist die gesamte Leittechnik, welche auf ein Standardsystem PCS 7 zurückgreift. Die Kalinaanlage – ähnlich wie bei anderen Anlagen dieser Größe – wird ebenfalls vollautomatisch betrieben.

Weiterhin ist der Betrieb des Fernwärmenetzes sowie des Heizwerks mit konventionellen Anlagen identisch, da hier keine „geothermisch“ – spezifischen Aggregate oder ähnliches verwendet werden.

4 Empfehlungen

4.1 Erfahrungen aus der Praxis

Das Projekt wurde erfolgreich abgeschlossen und hat einen hohen Lerneffekt mit sich gebracht. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass viele der Handlungen bisher in dieser Form noch nicht durchgeführt wurden und es in Deutschland keine vergleichbaren Projekte gab, mussten individuelle Lösungen und Prozesse entwickelt werden.

Neben den unter 3.1 ausgeführten Bewertungen der Vorhabensdurchführung sollen im Folgenden besondere Erfahrungen aufgeführt werden, die auch für andere Projekte als Empfehlung gesehen werden können:

- Die Anlagenkonzeption sollte grundsätzlich nicht zu früh erfolgen. Eine vorzeitige Festlegung ist nur dann sinnvoll, wenn die tatsächlichen geologischen Bedingungen keinen wesentlichen Einfluss auf die ersten Betriebsjahre haben. Ansonsten sollte die optimale Anlagenkonzeption auf möglichst vielen realen Werten basieren. Eine Auslegung der Anlagenteile zu einem frühen Zeitpunkt birgt die Gefahr von schlechten Wirkungsgraden bzw. falsch ausgelegten Bauteilen. Dies würde die Einnahmen und die Haltbarkeit der Anlagenteile reduzieren
- Frühzeitige Planung und Ausschreibung der Bohrungen, wegen geringer Verfügbarkeit der Anlagen
- Sichern des Bohrgrundes über Kauf- bzw. Erbpachtverträge und Grunddienstbarkeiten für die Leitungen
- Absicherung des Fündigkeitsrisikos
- Die Materialwahl der Thermalwasserleitung sollte möglichst viel Spielraum für die mögliche Beschaffenheit des Thermalwassers bieten.
- Die Fließrichtung der geothermischen Dublette sollte so lange wie möglich offen gehalten werden.
- Die Entscheidung über ein oder zwei Bohrplätze ist insbesondere auf Basis einer umfassenden wirtschaftlichen Sensitivitätsbetrachtung zu treffen. Es sind alle Parameter einzubeziehen, die Einfluss auf den Erfolg der Bohrungen und damit des Gesamtprojektes haben, insbesondere sind hier die geologischen Risiken zu nennen. Neben den Investitionskosten müssen hier auch die unterschiedlichen Betriebskosten (Pumpstrom durch Rohrreibungswiderstand) und Aspekte des Risikomanagements (z. B. Zugänglichkeit der Rohre) eine Rolle spielen.
- Bestellung der Tiefpumpe möglichst erst nach Vorliegen der Ergebnisse des Zirkulationstests der beiden Dubletten.

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

- Es ist auf eine angemessene Risikoverteilung bei den Vertragsverhandlungen zum Bohrvertrag zu achten. Bei kommunalen Auftraggebern könnte das „Operator“-Modell mit Tagesraten in Einzelfällen aus Haftungsgründen nicht möglich sein.
- Die Koordination der Projektbeteiligten ist strukturiert zu planen.
- Lange Lieferzeiten für Baumaterialien etc. berücksichtigen.
- Die Vorteile der Geothermie bekommen in Zeiten des Klimaschutzes und der knappen Ressourcen eine noch höhere Bedeutung. Dies wirkt sich beispielsweise auf die Nachfrage der Fernwärmeversorgung aus. Die Vorteile der Geothermie müssen an die Kunden weitergegeben werden.
- Es ist für das Fernwärmenetz eine Redundanzversorgung vorzusehen.
- Die Entwicklung eines Wärmepreises wird direkt vom Markt vorgegeben: die Preisuntergrenze bilden die laufenden Betriebskosten und die Preisobergrenze die Preisbereitschaft der potentiellen Wärmeabnehmer. Damit ist keine staatliche Regulierung der Wärmepreise notwendig.
- Die Qualifikation und vor allem Qualität der Projektbeteiligten ist wichtig. Hierzu sind insbesondere die Geologen, Planer, Bohrfirmen, Juristen und Kaufleute zu nennen.
- Auf die Notwendigkeit des „Einvernehmens“ mit den Wasserbehörden und einer gesonderten Wasserrechtlichen Genehmigung sollte verzichtet werden. Die Zuständigkeit sollte beim Bergamt zusammengefasst werden. Dieses kann die Belange nach Abwägung einfließen lassen.
- Geologisches Wissen um die Bewertung von Spülproben und Spülungssteuerung bei der Bohrung ist wertvoll. Vor allem Geologen aus der Zeit der Erdöl- und Erdgasexploration konnten sich wertvolle Erfahrungen aneignen. Die Erhaltung und Weitergabe dieser Erfahrungen sind unabdingbar für die Entwicklung der Geothermiebranche, da sie das erfolgreiche Niederbringen von Bohrungen unterstützen.

4.2 Modellcharakter

Das Pilotprojekt Unterhaching hat in vielen Situationen Modell- bzw. Pilotcharakter bewiesen und so Anstöße für die gesamte Geothermiebranche gegeben. Im Folgenden werden die maßgeblichen Entwicklungen und Erkenntnisse aufgezeigt:

a) Der **weltweit** erstmalige Abschluss einer privatwirtschaftlichen Fündigkeitsversicherung

Der Gemeinderat hat zur finanziellen Absicherung eine Versicherung der Fündigkeit als Voraussetzung für die Freigabe der Realisierung der ersten Bohrung gefordert. Diese Forderung war anspruchsvoll, da die geforderte Versicherung bis dato noch nicht existiert hat.

ABSCHLUSSBERICHT

-Errichtung und Betrieb eines Geothermie-Kraftwerks zur Strom- und Wärmeerzeugung-

Bis zu diesem Zeitpunkt galt das Fündigkeitsrisiko als das größte Investitionshindernis in der Geothermiebranche. Der Abschluss dieser weltweit ersten privatwirtschaftlichen Fündigkeitsversicherung erzeugte in der Versicherungswirtschaft erstmalig die konzentrierte Aufmerksamkeit auf die Belange der Tiefengeothermie. Weitere verfeinerte Konzepte und Geschäftsmodelle wurden seitens der Versicherungswirtschaft in der Folge erarbeitet. Auf dieser Basis wurde das Förderinstrument zur Absicherung des Fündigkeitsrisikos im Jahr 2008 in das Marktanreizprogramm aufgenommen.

b) Der **erstmalige Nachweis** über hohe Temperaturen und Schüttungsraten in der bayerischen Molasse

Die prognostizierten Schüttungsraten und Temperaturen wurden nicht von der gesamten Fachwelt getragen. In Unterhaching konnte mit der ersten Tiefbohrung der Beweis erbracht werden. Die Ergebnisse der zweiten Tiefbohrung übertrafen die der ersten Tiefbohrung schließlich nochmals erheblich.

Aufgrund der Werte der ersten Tiefbohrung begann die gesamte Branche Fahrt aufzunehmen: Bohrunternehmen begannen wieder, sich nachdrücklich um den Aufbau von Bohrkapazität (Anlagen und Personal) zu kümmern. Die Versicherungswirtschaft entwickelte tragfähige Modelle. Finanzierungsinstitute erkannten das Marktvolumen und interessierten sich ernsthaft für Geothermie. Hersteller von Bohranlagen erkannten die Perspektiven und Möglichkeiten der Tiefengeothermie.

c) **Erstmalige Konzeption und Einsatz** einer Unterwassermotorpumpe für die hohen Schüttungs- und Temperaturverhältnisse

Die Ergebnisse der Bohrungen haben auch an die Pumpenhersteller neue Entwicklungsanforderungen gestellt. Pumpen für derartige Anwendungsfälle (hohe Schüttungsrate, hohe Temperatur) waren nicht verfügbar. Für Unterhaching wurde erstmalig eine derartige Pumpe entwickelt und eingesetzt. Andere Pumpenhersteller, die sich bislang nicht um dieses Marktsegment gekümmert hatten, begannen in ihren Entwicklungsabteilungen verstärkt das Thema „Pumpen für Geothermie“ in den Fokus zu rücken. Das BMU fördert diese Forschungsvorhaben.

Die Geothermie Unterhaching bleibt ihrem Charakter als Leuchtturmprojekt treu und wird auch ab Sommer 2009 wieder einen Pumpenprototypen einsetzen und damit wieder zur Weiterentwicklung der Geothermiebranche beitragen.

d) Aufbau des **größten Fernwärmenetzes** in der Bundesrepublik seit den 80er Jahren

Bis zum Abschluss des Förderprojektes, in einem Zeitraum von ca. 2,5 Jahren, wurden ca. 56 km Leitung verlegt. Damit wurde für Unterhaching eine wichtige infrastrukturelle Maßnahme umgesetzt, die bereits heute und mit noch bedeutsamerem Ausmaß in der Zukunft, ein hervorragendes Zeugnis kommunaler Weitsichtigkeit und Vorbild für eine Vielzahl anderer Kommunen ist.

e) **Erstmalige Stromerzeugung** aus Geothermie in der bayerischen Molasse

Für die Geothermie Unterhaching wird zwar auch in Zukunft die Wärmeversorgung der Gemeinde an erster Stelle stehen, gleichwohl ebnete gerade der Nachweis, dass Strom aus hydrothermalen Geothermie wirtschaftlich gewonnen werden kann, erheblich den Weg zur Marktentwicklung der Tiefengeothermie. Mit dieser Art der Stromerzeugung wird einerseits grundlastfähiger Strom erzeugt und andererseits unterliegt die Stromerzeugung nicht den Unsicherheiten von Preisschwankungen und der Verfügbarkeit des Brennstoffes wie bei Kohle, Gas, Öl oder Biomasse. Des Weiteren erhöht die geothermale Stromerzeugung die wirtschaftliche Sicherheit von Geothermieprojekten aufgrund der stabilen Kalkulationsgrundlagen und sicheren Einnahmen (EEG) in bedeutendem Umfang. Der Nachweis über die Möglichkeit der Stromerzeugung in Unterhaching bringt den gesamten Markt noch mehr in Fahrt.

f) Deutschlandweit erstmaliger Einsatz der **KALINA-Technologie**; weltweit erst die zweite KALINA-Anlage in geothermischer Anwendung; weltweit erstmaliger Bau der KALINA-Anlage durch die Siemens AG

Mit der Entscheidung für die KALINA-Technologie für die Stromerzeugung wurde ein weiteres Pilot- und Demonstrationsprojekt (quasi im Pilot- und Demonstrationsprojekt Gesamtanlage) gestartet. Unterhaching bewies damit nicht nur Mut zu neuen Technologien. Unterhaching leistet einen enormen Beitrag für einen künftigen Exportschlager aus Deutschland, unterstützt die Sicherung von Arbeitsplätzen in Forschung, Entwicklung und Herstellung in Bayern und Deutschland. Gerade auch aufgrund der KALINA-Technologie kamen und werden künftig viele interessierte Kommunen, Investoren, Politiker und Wirtschaftsdelegationen aus der ganzen Welt kommen.

4.3 Fazit

Die Geothermie Unterhaching GmbH & Co KG ist stolz auf die Errichtung dieses zukunftsweisenden Geothermieprojektes. Der Rolle als Demonstrationsvorhaben kam Sie gerne jederzeit nach und sorgte damit auch für ein Fortschreiten der Entwicklung in der Geothermiebranche.

Auch in Zukunft bleibt die Geothermie Unterhaching dem Prinzip des Leuchtturmprojektes treu und wird weitere neue Entwicklungen einsetzen, um die optimale Ausnutzung des geothermischen Potenzials voranzutreiben.

Aktuell wurde durch den Einsatz des neuen Pumpen-Prototypen dieser Pioniergeist bewiesen. Aber auch in Zukunft wird an der Weiterentwicklung der Geothermie Unterhaching gearbeitet. So stehen hier fortschrittliche Überlegungen wie beispielsweise der zusätzliche Einsatz anderer Formen erneuerbaren Energien zur Kombination mit dem Redundanz- und Spitzenlastheizwerk, die optimale und wirtschaftliche Nutzung der niedrigeren Temperaturniveaus oder die Bereitstellung von Kälte im Mittelpunkt.

5 Literaturverzeichnis

Schulz, R.:

Analytical model calculations for heat exchange in a confined aquifer - J. Geophys., 61; 1987, S. 12 und Tabelle 2.

Fritsche, R./Rausch, L.:

Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme aus der Reihe Climate Change, Ausgabe 08/08, Hrsg. Umweltbundesamt, 2008, S. vi-6.

e.on:

Stromkennzeichnung – Energiemix und Umweltauswirkungen, veröffentlicht im Internet, URL:

www.eon-bayern-vertrieb.com/pages/eby-vertrieb_de/Privatkunden/Strom/

[Stromkennzeichnung/index.htm](http://www.eon-bayern-vertrieb.com/pages/eby-vertrieb_de/Privatkunden/Strom/Stromkennzeichnung/index.htm), Abfrage 09.07.2009, 14.00 Uhr.