

Schlussbericht, 16. Dezember 2015

Ökonomische Analyse der Tiefen Erdwärmesonde Triemli vom EWZ



energieschweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Auftraggeber

EnergieSchweiz, 3003 Bern

Auftragnehmer

conim ag

Oberwiler Kirchweg 4c, CH-6300 Zug

Tel. +41 41 720 35 02, Fax +41 41 720 35 01

mail@conim.ch, www.conim.ch

Autoren

Urs Keiser und Gabriele Butti

Der Bericht wurde mit Unterstützung des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich verfasst.

Begleitperson

Rita Kobler, Bundesamt für Energie BFE

Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt. Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

EnergieSchweiz

Bundesamt für Energie BFE; Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: 3003 Bern

Tel. 058 462 56 11, Fax 058 463 25 00; contact@bfe.admin.ch; www.energie-schweiz.ch

Inhalt

1	Ausgangslage, Zielsetzung und Auftrag	4
2	Heutige Situation der tiefen Geothermie	6
3	Die TEWS Triemli	12
3.1.	Projekt der tiefen Geothermie und TEWS im Überblick.....	13
3.2.	Technik und Betrieb	14
3.3.	Phasen der Projektrealisierung	17
3.4.	Erkenntnisse der Realisierung der TEWS Triemli	19
4	Idealtypischer Ablauf eines TEWS-Projektes	20
5	Ökonomische Analyse der TEWS Triemli.....	23
5.1.	Fokus der Analyse	23
5.2.	Methoden	24
5.3.	Variante 1: Heutige Situation der TEWS Triemli.....	25
5.4.	Variante 2: Optimierte TEWS.....	27
5.5.	Wärmegestehungskosten	28
5.6.	Nettobarwert.....	29
5.7.	TEWS und Projekt der tiefen Geothermie.....	30
5.8.	Fazit.....	31
6	Empfehlungen	32
7	Anhang	33

1 Ausgangslage, Zielsetzung und Auftrag

Von November 2009 bis zum Februar 2010 führte das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz) auf dem Areal der Baugenossenschaft Sonnengarten in der Nähe des Zürcher Stadtspitals Triemli eine Erkundungsbohrung für ein Projekt der tiefen Geothermie zur hydrothermale Wärmenutzung durch. Die Bohrung verlief erfolgreich. Die geothermischen Voraussetzungen für die Realisierung einer hydrothermalen Wärmeanlage waren jedoch nicht gegeben. Um die verfügbare Erdwärme dennoch nutzen zu können, wurde anfangs 2011 in der bestehenden tiefen Bohrung eine tiefe Erdwärmesonde (TEWS) installiert.

Das Bundesamt für Energie (BFE) beabsichtigt, am Fallbeispiel der TEWS Triemli Grundlagenkenntnisse zu gewinnen, um zu verstehen, ob TEWS auch bei anderen Projekten der tiefen Geothermie, bei denen die geothermische Fündigkeit nicht gegeben ist, grundsätzlich realisiert werden könnten. Ziel des vorliegenden Dokumentes ist es, das Projekt und den Betrieb der TEWS Triemli aus wirtschaftlicher Perspektive aufzuarbeiten.

conim ag wurde vom Bundesamt für Energie (BFE) mit der Erarbeitung der ökonomischen Analyse einer TEWS im Sinne von „Lessons Learnt“ des Fallbeispiels Triemli beauftragt. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen zudem in einem (idealtypischen) modulhaften Ablauf eines TEWS-Projektes skizziert werden, um diese auf andere Projekte übertragen zu können.

Die Studie entstand in enger Zusammenarbeit mit dem ewz, das die relevanten technischen, energetischen und ökonomischen Daten und Hintergrundinformationen zur TEWS Triemli für die Studie zur Verfügung gestellt hat.

Prämissen

Die Studie fokussiert sich auf die Installation und den Betrieb der TEWS unter Nutzung des bestehenden tiefen Bohrlochs.

- Das ursprüngliche Projekt der tiefen Geothermie zur hydrothermalen Wärmenutzung ist nicht Bestandteil der ökonomischen Analyse.
- Die Installation einer TEWS wird als Plan B respektive als Alternative zur Wärmeerzeugungsanlage bei einem hydrothermalen Projekt der tiefen Geothermie mit bereits geplanter Absatzstruktur für die Wärme angenommen.
- Es wird davon ausgegangen, dass die Investition für die Erkundungsbohrung im Sinne von „sunk costs“ abgeschrieben ist. Zudem wird angenommen, dass das bestehende, nicht verwendete Bohrloch ohne Installation der TEWS im Sinne eines Rückbaus mittel- und längerfristig mit Zement gefüllt werden sollte, was zu zusätzlichen Kosten führt. Steuerliche Aspekte wie die bilanzielle Aktivierung von bereits abgeschriebenen Assets aufgrund deren zukünftigen kommerziellen Nutzung werden im vorliegenden Bericht nicht diskutiert.

Technische Aspekte wie die Einbautechnik oder die geeignete Materialien für die TEWS sind nicht Fokus des Dokumentes, werden aber diskutiert, wo diese relevant für die ökonomische Analyse sind.

TEWS: Definition

Eine TEWS ist ein geschlossenes System zur Erdwärmegewinnung, welches ähnlich wie eine normale (untiefe) Endwärmesonde funktioniert. Eine TEWS erreicht jedoch grössere Tiefen (bis zu 2-3 Kilometer), Temperaturen und energetische Leistungen. Die Wärmeerzeugungsfähigkeit einer TEWS ist im Vergleich zur Nutzung eines tiefen Aquifers als Wärmequelle begrenzt.

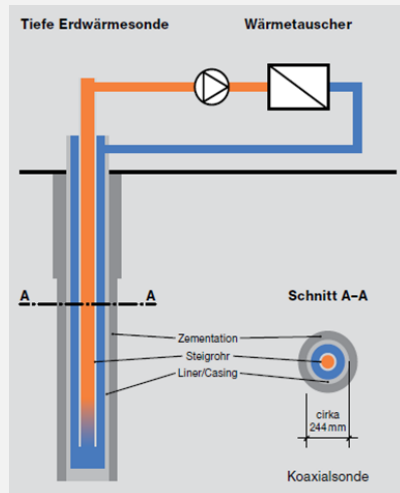


Abb.: 1 Funktionsweise einer koaxialen TEWS (Quelle: ewz).

- Der häufigste Typ stellt eine koaxiale Struktur dar: In dieser Struktur zirkuliert ein Wärmeträgerfluid in einem im Bohrloch installierten Rohr (vergleiche nebenstehende Abbildung).
- Das Wärmeträgerfluid wird durch den Ringraum der koaxialen Rohre in die Tiefe gepumpt, wo es sich erwärmt. Das umgebende Gestein wird als Wärmetauscher genutzt.
- Das Fluid steigt dann über eine dünnere, aus isolierendem Material bestehende Steigleitung im Inneren des koaxialen Rohrs wieder an die Oberfläche auf. Die gewonnene Wärme wird für das Heizen und für Brauchwarmwasser bereitgestellt.

Ein Glossar der im Bericht verwendeten Schlüsselbegriffe befindet sich im Anhang zum Bericht.

2 Heutige Situation der tiefen Geothermie

Herausforderungen der tiefen Geothermie und mögliche Rolle der TEWS

Der Ausbau der Strom- und Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien und die Reduktion der Treibhausgas-Emissionen sind zentrale Stossrichtungen der Energiestrategie des Bundes. Ziel ist es, die angestrebte Reduktion der fossilen Brennstoffe als Energieträger durch erneuerbare Energie nachhaltig auszugleichen.

Die tiefe Geothermie bietet potenziell einen sicheren, erneuerbaren, konstanten, nahezu CO₂-neutralen sowie vom Wetter und den klimatischen Entwicklungen unabhängigen Energieträger für die Strom- und Wärmeerzeugung.

- Die Erdwärme nimmt in Abhängigkeit der Tiefe des Untergrundes stetig zu (30 bis 35 Grad Celsius pro Kilometer). Ab einer Tiefe von 1.5 Kilometer ist, abhängig von der geologischen Struktur des Untergrundes, die hydrothermale Nutzung von Wärme grundsätzlich möglich.
- Für geothermische Stromprojekte bedarf es erfahrungsgemäss Bohrungen, die eine Tiefe von vier Kilometer und mehr erreichen.

Es bestehen verschiedene technische Herausforderungen, um das Potenzial der tiefen Geothermie nutzen zu können:

- Hydrothermale Projekte der tiefen Geothermie setzen die Verfügbarkeit eines Heisswasserreservoirs (Aquifer, wasserführende Gesteinsschichten) voraus, das einen für die Nutzung der Wärmequelle Geothermie geeigneten Wasserkreislauf ermöglicht.
- Der Nachweis der Fündigkeit der für die Nutzung der geothermischen Wärme geeigneten Voraussetzungen kann erst nach Vollzug einer ersten Tiefenbohrung erbracht werden, was mit vergleichsweise hohen Investitionskosten verbunden ist. Aufgrund der vergleichsweise bescheidenen Kenntnisse über die Beschaffenheit des Untergrundes in der Schweiz ist die angenommene Wahrscheinlichkeit des Nachweises der Fündigkeit in einer Region bei einem Erstprojekt ohne standortspezifische Vorkenntnisse tief.

Bei Nicht-Fündigkeit eines Projektes der tiefen Geothermie zur hydrothermalen Nutzung bietet eine TEWS allenfalls die Möglichkeit, die im Untergrund verfügbare Wärme dennoch zu nutzen. In der Schweiz bestehen zurzeit drei TEWS (Weggis, Weissbad und Triemli, vergleiche Seite 9), die im Anschluss an eine nicht-fündige Tiefenbohrung realisiert wurden.

Geothermisch erzeugte Wärme und voraussichtliche Entwicklung

Aufgrund der technischen Herausforderungen hat die tiefe Geothermie in der Schweiz derzeit noch ein Nischendasein und beschränkt sich auf die Wärmenutzung.

Die tiefe Geothermie liefert mit 15.16 GWh (2014) einen bescheidenen Beitrag an der gesamten geothermisch erzeugten Heizenergie in der Schweiz (3.0 TWh im Jahr 2014, 99% davon entfallen auf untiefe geothermische Systeme wie normale Erdwärmesonden, oberflächennahes Grundwasser Systeme oder Geostrukturen). Im Bereich der tiefen Geothermie wird die erzeugte Heizenergie

durch tiefe Aquifer-Nutzung (13.47 GWh) und drei TEWS (1.69 GWh, vergleiche unten) bereitgestellt¹.

Energetische Baustandards für neue Gebäude und Vorschriften bei energetischen Sanierungen von älteren Gebäuden führen voraussichtlich zu einer nachhaltigen Reduktion des Wärmebedarfs in der Schweiz. Gemäss Annahmen des Verbandes Fernwärme Schweiz² nimmt der Wärmebedarf bis ins Jahr 2050 von derzeit rund 85 TWh auf 45 TWh ab. Dies entspricht einer Reduktion von 50% im Bereich «Wohnen und Dienstleistungen» respektive 20% im Bereich «Industrie».

Die Energiequelle „tiefe Geothermie“ könnte gemäss VFS bis ins Jahr 2050 theoretisch 1.3 TWh Warmwasser und Raumwärme (3% des zukünftigen Wärmebedarfs) bereitstellen und eine wichtige Rolle als Ersatz für fossile Brennstoffe spielen.

Förderung der tiefen Geothermie auf der Ebene des Bundes

Die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) und die Risikogarantie (bis 50% der anrechenbaren Investitionskosten) des Bundes werden derzeit nur für Stromprojekte gewährt. Die Förderung der tiefen Geothermie zur Wärmebereitstellung verfügt zurzeit über keine explizite gesetzliche Grundlage. Es bestehen jedoch verschiedene politische Vorstösse mit dem Ziel einer programmatischen Förderung von geothermischen Wärmeprojekten.

Nachfolgend werden die relevanten Förderinstrumente des Bundes und die Inhalte der parlamentarischen Vernehmlassung skizziert.

Eine Revision des Energiegesetzes, Teil des ersten Massnahmenpakets der Energiestrategie 2050, befindet sich im parlamentarischen Vernehmlassungsprozess. *Entwurf des Bundesrates vom 04.09.2013, Beschluss des Nationalrates vom 08.12.2014 und Beschluss des Ständerates vom 23.09.2015. Ob eine programmatische Förderung im unten skizzierten Sinne möglich wird, hängt davon ab, ob die eidgenössischen Räte und das Volk den Revisionen zustimmen. Der Entscheid wird vermutlich in den Jahren 2016/17 feststehen.*

- Geothermie-Erkundungsbeiträge und Geothermie-Garantien:
 - Der Bund kann Beiträge an die Kosten für die Erkundung von geothermischen Ressourcen zur Produktion von Elektrizität leisten. Deren Höhe beträgt höchstens 60 Prozent der anrechenbaren Investitionskosten (Art 35 Abs. 1a).
 - Zur Risikoabsicherung von Investitionen im Rahmen der Erkundung von geothermischen Ressourcen und der Errichtung von Geothermie-Anlagen zur Produktion von Elektrizität können Garantien geleistet werden. Deren Höhe beträgt höchstens 60 Prozent der anrechenbaren Investitionskosten. (Art 35 Abs. 1).
 - Für die Erkundung von geothermischen Ressourcen kann nur entweder der Beitrag oder die Garantie in Anspruch genommen werden. (Art. 35 Abs. 1bis).

¹ Statistik der geothermischen Nutzung in der Schweiz, Geowatt AG, 2015

² Weissbuch Fernwärme Schweiz – VFS Strategie, Dr. Eicher+Pauli AG, 2014

- Finanzhilfe an Einzelprojekten nach Art. 57 Abs. 4.
 - Form der Finanzhilfe:
 - Geldleistung, die nicht rückzahlbar ist (Art. 59 Abs. 1), soweit der Empfänger mit dem geförderten Projekt keinen Gewinn erwirtschaftet.
 - Rückzahlungspflicht, soweit der Empfänger mit dem geförderten Projekt einen Gewinn erwirtschaftet (Art. 59 Abs. 4).
 - Umfang der Finanzhilfe:
 - 40% der anrechenbaren Kosten, (nur) ausnahmsweise bis 60% der anrechenbaren Kosten (Art. 59 Abs. 2), wofür sich die Geothermie aus Gründen der nationalen Bedeutung qualifizieren könnte.
 - Finanzierung: Allgemeine Bundesmittel.
- Förderungsbereiche:
 - Pilot- und Demonstrationsprojekte nach Art. 55 Abs. 2 Bst. a; bedingt vorgängige Anhörung des Standortkantons.
 - Feldversuche und Analysen, die der Erprobung und Beurteilung von Energietechniken, der Evaluation von energiepolitischen Massnahmen oder der Erfassung der erforderlichen Daten dienen (Art. 55 Abs. 2 Bst. b); bedingt vorgängige Anhörung des Standortkantons.

Erwägungen: Die Förderung des Bundes im Rahmen des **Energiesgesetzes** konzentriert sich auch in Zukunft auf Projekte der tiefen Geothermie für die Stromerzeugung. Projekte der geothermischen Wärmeenergieerzeugung können aufgrund des mangelnden Zurechnungszusammenhangs mit dem Netzzuschlag auch zukünftig nicht programmatisch gefördert werden.

Bundesgesetz für die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz) vom 23.12.2011, Anpassungen durch den Nationalrat und den Ständerat während der Herbstsession 2015

- Art 34 Abs.1: Ein Drittel des Ertrages aus der CO₂-Abgabe auf Brennstoffen, höchstens aber 450 Millionen Franken pro Jahr wird für Massnahmen zur langfristigen Verminderung der CO₂-Emissionen bei Gebäuden, inkl. Senkung des Stromverbrauches im Winterhalbjahr, verwendet. Zu diesem Zweck gewährt der Bund den Kantonen Globalbeiträge an Massnahmen.
- Art. 34 Abs. 1bis: Der Bund unterstützt zur langfristigen Verminderung der CO₂-Emissionen bei Gebäuden Projekte zur direkten Nutzung der Geothermie für die Wärmebereitstellung. Er setzt dafür einen kleinen Teil der in Absatz 1 vorgesehenen Mittel ein, jedoch maximal 30 Millionen Franken. Der Bundesrat legt die Kriterien und Modalitäten der Unterstützung sowie den jährlichen Höchstbetrag der Finanzhilfen fest.

Erwägungen: Nach erfolgter Differenzbereinigung des CO₂-Gesetzes durch die beiden Kammern des Parlaments könnten grundsätzlich auch Projekte der tiefen Geothermie zur direkten Nutzung der Wärme programmatisch gefördert werden. Förderungsbereiche sind voraussichtlich Pilot- und Demonstrationsprojekte und Feldversuche und Analysen, die der Erprobung und Beurteilung von Energietechniken, der Evaluation von energiepolitischen Massnahmen oder der Erfassung der erforderlichen Daten dienen.

Klärungsbedarf bezüglich der Nutzung von bestehenden Bohrlöchern für TEWS

Szenario:

- Angenommen ein Unternehmen führt eine Bohrung zwecks Errichtung einer Geothermie-Anlage zur Produktion von Elektrizität durch und wird nicht fündig. Der Bund leistet deshalb die vereinbarte Garantie zur Absicherung des Risikos. Das ursprüngliche Projekt ist damit abgeschlossen, das Unternehmen hat grundsätzlich jedoch noch die Verpflichtung, einen Rückbau vorzunehmen (Füllung des Bohrloches).
- Das Unternehmen oder eine andere Organisation beschliessen nun aber, das Bohrloch für die Wärmegegewinnung zu nutzen und eine TEWS zu installieren.

Klärungsbedarf: Die Auswirkungen des skizzierten Szenarios auf den Rückbau des Bohrlochs und die Garantieleistung des Bundes sind aus Sicht der Autoren derzeit nicht geklärt. Es sind entsprechende Kriterien und Modalitäten zu definieren.³

TEWS in der Schweiz

Zurzeit bestehen in der Schweiz neben der TEWS Triemli zwei weitere TEWS. Die Anlagen in Weggis und Weissbad werden nachfolgend skizziert. Die TEWS Triemli wird im Kapitel 3 präsentiert.

Weggis (LU) ⁴	<p>Die TEWS-Anlage in Weggis wurde 1994 im Anschluss an eine nicht-fündige Tiefenbohrung realisiert. Das Projekt wurde von einer Privatperson initiiert und finanziert.</p> <p>Die koaxiale TEWS agiert in Kombination mit Wärmepumpen und Solarpanels und versorgt rund 40 Wohngebäude mit Heizenergie und Brauchwarmwasser.</p> <p>Die Anlage erreicht eine Tiefe von rund 2.3 Km und verfügt über eine Leistung von 100 kW. Im Jahr 2014 wurden 540 MWh Wärmeenergie produziert.</p>
Weissbad (AI) ⁵	<p>Die TEWS in Weissbad wurde 1993 im Anschluss an eine nicht-fündige Tiefenbohrung realisiert.</p> <p>Die koaxiale TEWS agiert in Kombination mit einer Wärmepumpe und versorgt das Hotel Hof Weissbad mit Wärmeenergie für 87 Zimmer und Warmwasser für das Thermalbad.</p> <p>Die Anlage erreicht eine Tiefe von 1.2 Km und verfügt über eine Leistung von 80 kW. Im Jahr 2014 wurden 230 MWh Wärmeenergie produziert.</p>

Tabelle 1: TEWS in der Schweiz

³ Bei einer hydrothermalen Bohrung zur Wärmeproduktion wird vom Bund keine Risikogarantie gewährt. Bei einem Projekt der tiefen Geothermie zur Stromerzeugung müsste das Bohrloch bei der Installation einer TEWS bis zu einer Tiefe von rund 2.5 Kilometer rückgebaut werden (vergleiche Seite 30).

⁴ Tiefe Erdwärmesonde Weggis, Polydynamics Engineering Zürich, 2001

⁵ Deep Borehole Heat Exchangers – A Conceptual Review, Proceedings World Geothermal Congress 2015

Voraussetzungen und Potenzial der TEWS in der Schweiz

Wegen der erheblichen Bohrkosten (ca. CHF 15-20 Mio. für eine Standardbohrung bei einer Tiefe von 2'000 – 3'000 Metern) ist die Erstellung einer Tiefenbohrung zum Betrieb einer TEWS aus ökonomischer Sicht nicht machbar. Die Realisierung einer TEWS setzt deshalb ein bereits bestehendes Bohrloch voraus, das ursprünglich für eine andere Anwendung (v.a. geothermische Nutzung von tiefen Aquiferen) vorgesehen war. Der Bau und Betrieb einer TEWS stellt deshalb eine Option bei Nicht-Fündigkeit eines Projektes der tiefen Geothermie dar.

Über 20 Bohrlöcher aus Projekten der tiefen Geothermie befinden sich zurzeit in der Planungsphase (vergleiche Abbildung 2, unten). Es besteht das Risiko, dass einige dieser Projekte aufgrund der Nicht-Fündigkeit nicht realisiert werden können.



Abb.: 2 Projekte der tiefen Geothermie in der Planungsphase (Quelle: In Anlehnung an geothermie.ch).

Zudem wurden im Zeitraum zwischen 1987 und 1997 in der Schweiz 16 Tiefenbohrungen im Rahmen eines Programmes des Bundes mit Risikodeckung für Projekte der tiefen Geothermie durchgeführt⁶. 11 dieser Bohrungen konnten aufgrund der geothermischen Voraussetzung im Untergrund nicht wie vorgesehen als Anlage der Wärmeerzeugung genutzt werden. Tiefenbohrungen wurden ebenfalls zur Erforschung geeigneter Standorte für Öl, Gas oder für die Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle realisiert. Insgesamt bestehen in der Schweiz derzeit rund 40 tiefe Bohrlöcher, die nicht genutzt werden.

⁶Die Schweizer Risikodeckung für Geothermiebohrungen 1987-1997 – Ausgestaltung und Erfahrungen im Rückblick, Rybach, L., In Tagungsband, Geothermische Vereinigung Jahrestagung 2005.

Herausforderungen für den Einbau einer TEWS

Wegen der noch geringen Anzahl realisierter Anlagen im In- und Ausland und der daraus resultierenden bescheidenen Erfahrungswerte können TEWS-Projekte aus technischer, organisatorischer und wirtschaftlicher Sicht heute nicht in standardisierter Form realisiert werden.

Die TEWS und die Wärmekunden sollten geographisch nahe beieinander liegen, da der Transport von Wärme technisch und wirtschaftlich nicht effizient organisiert werden kann. Im Sinne der skizzierten Prämissen der vorliegenden Studie (vergleiche Seite 4) könnte ein TEWS-Projekt deshalb einen Plan B für eine geplante, aber aufgrund der geologischen Voraussetzungen am Standort nicht realisierbare hydrothermale Wärmeanlage mit bereits vorgesehener Absatzstruktur für die Wärme darstellen.

Fazit

TEWS sind eine grundsätzliche Option für die Nutzung der Erdwärme bei Projekten der tiefen Geothermie zur hydrothermalen Nutzung, die nach einer ersten Tiefenbohrung aufgrund von Nicht-Fündigkeit nicht realisiert werden können.

Voraussetzung für eine effektive und effiziente Nutzung von TEWS sind neben der Standardisierung des Vorgehens, geeignete Abnehmerstrukturen für die Nutzung der produzierten Wärme.

3 Die TEWS Triemli

Die TEWS des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich (ewz) im Triemli wurde im Jahr 2011 nach Nachweis der Nicht-Fündigkeit für die Realisierung des geplanten Projektes der tiefen Geothermie in die bestehende Tiefenbohrung eingebaut.

Die TEWS im Triemli ist die grösste Anlage ihrer Art in der Schweiz (vergleiche Seite 9) und versorgt im Kombination mit weiteren Wärmeträgern rund 200 Wohnungen mit Minergie-Standard der Baugenossenschaft Sonnengarten mit Wärme zum Heizen und mit Brauchwarmwasser.



Abb.: 3 Lage der von der TEWS versorgten Wohngebäude der Baugenossenschaft Sonnengarten im Triemli (Quelle: maps.zh.ch, Google Maps, www.bg-sonnengarten.ch).

3.1. Projekt der tiefen Geothermie und TEWS im Überblick

Nachfolgend werden die Meilensteine des ursprünglich geplanten Projektes der tiefen Geothermie und des TEWS-Projektes skizziert.

2005 bis 2008	Nach der Verpflichtung durch den Gemeinderat der Stadt Zürich bereitet der Stadtrat ein Projekt zur Erforschung des Untergrundes der Stadt Zürich und zur hydrothermalen Wärmenutzung aus der tiefen Geothermie vor.
Dezember 2008	Der Gemeinderat bewilligt einen Objektkredit von CHF 19.89 Mio. für die Erkundung des Untergrundes der Stadt Zürich. Die Erkundungsbohrung im Triemli wird als Pilotprojekt geplant.
Mai 2009	Konkretisierung der Projektkosten und Vorlage für eine Erhöhung des Objektkredites um CHF 18.81 Mio. auf CHF 38.7 Mio. durch den Gemeinderat für eine allfällige zweite Tiefenbohrung und den Bau einer Energiezentrale.
November 2009	Das Stimmvolk stimmt der Krediterhöhung zu.
November 2009	Start der Erkundungsbohrung im Triemli.
Januar 2010	Erreichung der kristallinen Gesteinsschicht: Erkenntnis, dass das Aquifer über eine zu geringe Wasserführung für die hydrothermale Nutzung verfügt.
Februar 2010	Beschluss des Stadtrates, auf eine zweite Tiefenbohrung zu verzichten und Möglichkeiten zu prüfen, wie die im Untergrund verfügbare Wärme dennoch sinnvoll genutzt werden könnte.
Juli 2010	Beschluss des Stadtrates, eine TEWS in das vorhandene Bohrloch zu installieren.
Januar 2012	Inbetriebnahme der TEWS für die Liegenschaft der Baugenossenschaft Sonnengarten.

Tabelle 2: Meilensteine bis zur Inbetriebnahme der TEWS

Anmerkungen zur Tiefenbohrung

- Hauptziel der Tiefenbohrung war die detaillierte Erforschung des Untergrundes der Stadt Zürich.
- Die Tiefenbohrung wurde in einem dicht besiedelten Gebiet und parallel zum Bau der Wohngebäude der Baugenossenschaft Sonnengarten durchgeführt. Durch das Projekt der tiefen Geothermie wurden wichtige Erkenntnisse unter anderem in den Bereichen Projektmanagement, Logistik, Lärmemissionen bei der Realisierung von Projekten der tiefen Geothermie in dicht besiedelten Gebiete gewonnen.
- Bei der Bohrung wurde eine vergleichsweise aufwendige Datenerhebung (Logging, Wireline, Mud-Logging, Hydrotesting) durchgeführt. Die Datenerhebung wurde vom BFE anteilmässig finanziell unterstützt. Die Daten wurden von Swisstopo in das internationale Projekt „Geomol“ (EU-Projekt zur Bewertung der Geopotenziale in den alpinen Vorlandbecken für die nachhaltige Planung und Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen) eingebracht.

Anmerkungen zur TEWS

- Gemäss Bewilligungsverfahren des Kantons Zürich wäre die Alternative zur Realisierung einer TEWS die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes am Bohrstandort durch Füllung der Tiefenbohrung mit Zement gewesen, was zu geschätzten Kosten von rund CHF 500'000 geführt hätte. Die Verpflichtung eines Rückbaus liegt bei den verantwortlichen Akteuren für die Durchführung der Tiefenbohrung und bleibt zeitverzögert (Lebensdauer der TEWS) auch beim Einbau der TEWS bestehen.
- Die Realisierung der TEWS Triemli erfolgte aufgrund der Terminvorgaben für die Erstellung der Wohngebäude in einem vergleichsweise engen Zeitrahmen.

3.2. Technik und Betrieb

Nachfolgend werden die technischen Aspekte der Wärmeerzeugungsanlage Triemli bzw. der TEWS sowie die Herausforderung der Realisierung diskutiert.

Wärmeerzeugungsanlage Triemli

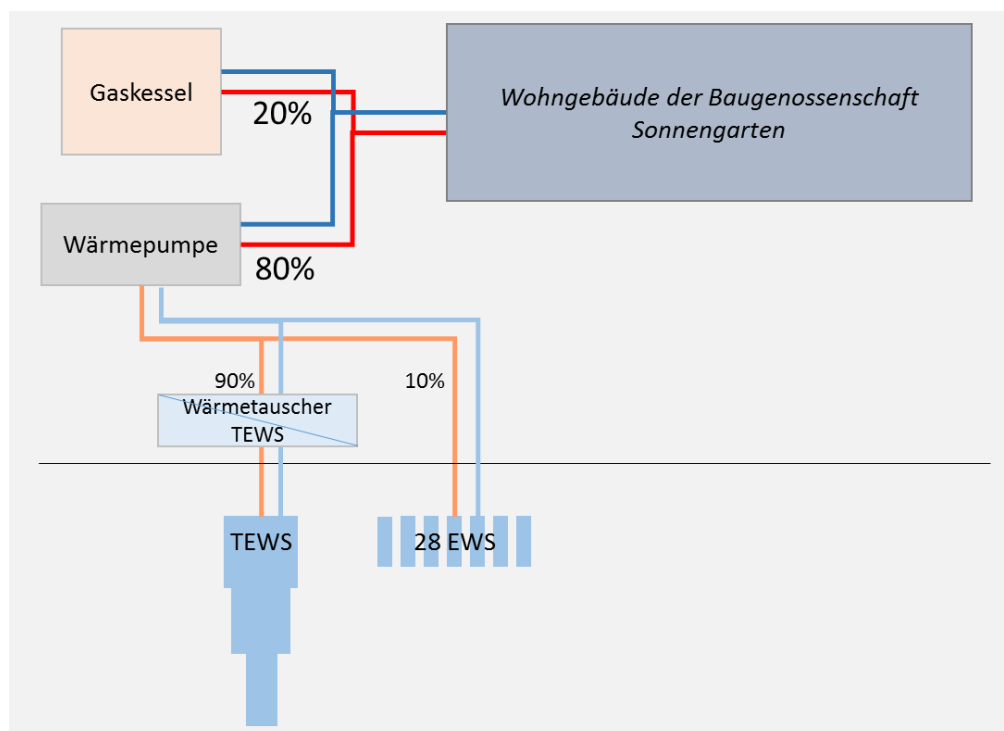


Abb.: 4 Konzept der Wärmeerzeugungsanlage (Quelle: conim ag).

Die Wärmeerzeugungsanlage umfasst eine TEWS, 28 untefe Erdwärmesonden (EWS) und einen Erdgaskessel als zweiten Wärmeträger (bivalentes System). Die Dimensionierung der Anlage wurde in der Planungs- und Realisierungsphase der Wärmeerzeugungsanlage festgelegt (vergleiche Kapitel 3.3).

Die geothermische Wärme der TEWS und der EWS wird über eine Wärmepumpe bereitgestellt, welche bis 80% der gesamten produzierten Wärmeenergie liefert (20% durch den Erdgaskessel). Rund 90% der geothermisch erzeugten Wärme erfolgt durch die TEWS (10% EWS).

Technische Parameter, Wärmeproduktion und Eigenschaften der TEWS

Die TEWS verfügt über eine koaxiale Struktur und eine Leistung von 300 kW.

Das untere Ende der TEWS liegt in einer Tiefe von rund 2'370 Metern. In dieser Tiefe erreicht der Untergrund eine Temperatur von 94 Grad Celsius. Die mittlere Temperatur des Wasserkreislaufs beträgt 43 Grad Celsius. Nach einem „Startkick“ zirkuliert das Wärmeträgerfluid aufgrund der Schwerkraft und der Temperaturdifferenz ohne Pumpenantrieb. Bei einem erhöhten Heizbedarf kann die Pumpe gestartet werden.

Die Wärmeproduktion der Wärmeerzeugungsanlage betrug im Jahr 2014 rund 1'400 MWh Wärme. Die untenstehende Tabelle zeigt die produzierte Wärmeenergie in der Periode 2012 bis 2014:

<i>In MWh</i>	2012	2013	2014
Entzogene Wärmeenergie EWS	52.8	95.7	111.5
Produzierte Wärme EWS (mit Wärmepumpe)	72.1	124.0	152.2
Entzogene Wärmeenergie TEWS	877.5	879.5	659.7
Produzierte Wärme TEWS (mit Wärmepumpe)	1'198.3	1'139.6	900.4
Total geothermische Wärme durch Wärmepumpe	1'270.4	1'263.6	1'052.6
Produzierte Wärme Heizkessel	315.6	371.0	349.0
Gesamttotal produzierte Wärmeenergie	1'586.0	1'634.6	1'401.6

Tabelle 3: Produzierte Wärmeenergie (Quelle: ewz).

Anmerkungen

- Die tiefere Wärmeproduktion im Jahr 2014 ist auf den milden Winter zurückzuführen.
- Die geothermisch erzeugte Wärme versorgt die Baugenossenschaft Sonnengarten mit dem gesamten jährlichen Bedarf an Energie für das Heizen und erwärmt das Brauchwarmwasser für die Sommermonate. Der Erdgaskessel deckt das Brauchwarmwasser im Winter und die Spitzenlast der Wärmenachfrage über das ganze Jahr ab. Weiter ist das Erdgas als partielles Back-up bei einem Ausfall des Wärmepumpenbetriebes vorgesehen.
- Grundsätzlich wäre der Betrieb einer TEWS für eine dauernde Wärmelieferung (Bandenergie) sinnvoll. Die Nutzung der TEWS als Bandenergie ist bei den Gebäuden der Baugenossenschaft Sonnengarten aufgrund der realisierten Haustechniklösung nur eingeschränkt möglich (vergleiche Kapitel 3.4).

Energie-Contracting

Die Baugenossenschaft Sonnengarten verfügt über ein Energie-Contracting mit dem ewz. Gemäss Vereinbarung ist die vom ewz gelieferte Wärme zu 80% aus erneuerbaren Energiequellen zu produzieren. Das ewz sichert der Baugenossenschaft Sonnengarten eine maximale Heizleistung von 600 kW sowie einen maximalen Jahresenergiebedarf von 1'157 MWh Heizung und 667 MWh Brauchwarmwasser zu.

Operativer Betrieb

Der Betrieb der TEWS ist rund um die Uhr elektronisch fernüberwacht. Der Prozess läuft grundsätzlich autonom und braucht nur periodische Kontrollgänge, wofür ein Objektleiter innerhalb der ewz zuständig ist. Der Betriebsaufwand für den Bereich TEWS der Wärmeerzeugungsanlage ist deshalb vergleichsweise gering.

Herausforderungen bei der Realisierung des TEWS-Projektes

Die Vereinbarung zum Energie-Contracting zwischen der Baugenossenschaft und der ewz wurde vor der Realisierung der Tiefenbohrung abgeschlossen. Das ewz hat für die Wärmeerzeugungsanlage ursprünglich drei Szenarien berücksichtigt (vergleiche Seite 17):

- Realisierung einer hydrothermalen Wärmeanlage. Dieses Szenario konnte aufgrund des Nachweises der Nicht-Fündigkeit nicht realisiert werden.
- EWS als geothermische Wärmequelle (plus ein zweiter Wärmeträger), falls keine TEWS installiert werden kann.
- Eine Kombination von EWS und TEWS als geothermische Wärmequelle (plus ein zweiter Wärmeträger), falls die TEWS installiert und betrieben werden kann.

Die Installation der TEWS erfolgte auf eigenes Risiko der ewz. Aus Gründen der Vorsicht wurde die Realisierung der Wärmeerzeugungsanlage so konzipiert, dass die vertraglich vereinbarte erneuerbare Wärmeleistung auch im Falle einer Nicht-Realisierung der TEWS vom ewz geliefert werden kann (vergleiche Kapitel 3.4). Neben dem technischen Pilotcharakter des TEWS-Projektes bestand eine weitere Herausforderung in der Logistik des Projektes, was – verstärkt durch den Zeitdruck der Projektrealisierung – mit entsprechenden Aufwendungen verbunden war:

- Die notwendige Anzahl der zu realisierenden EWS war bis spät im Projekt unsicher. Der Vertrag zwischen dem ewz und dem mit den Bohrungen beauftragten Unternehmen beinhaltete deshalb zwei Lose (effektiv realisierte Anzahl untiefe EWS und eine Option für weitere EWS im Falle einer Nicht-Realisierung der TEWS).
- Die Einfuhr von Komponenten der TEWS aus dem Ausland war aufgrund von Zollvorschriften vergleichsweise aufwendig.
- Aufgrund des engen Terminplans für die Realisierung der Wohnungen musste das ewz die Wärmepumpe vor der Durchführung des Tests für den Betrieb der TEWS bestellen. Die bestellte Wärmepumpe war auf das zweite Szenario ausgelegt (vergleiche Kapitel 3.4).
- Für die Wohnungen der Baugenossenschaft war keine auf eine TEWS als Wärmequelle ausgerichtete Wärmeerzeugung und -verteilung vorgesehen.

3.3. Phasen der Projektrealisierung

Die Realisierung der TEWS Triemli bis zum Betrieb erfolgte in drei Schritten.



Abb.: 5 Phasen der Realisierung der TEWS Triemli.

Die drei Phasen der Realisierung des TEWS Triemli erfolgten parallel zum Bau der zu versorgenden Wohngebäude. Nachfolgend werden die einzelnen Schritte erläutert.

1. Planung und Ausrichtung Wärmeeerzeugungsanlage

Ziel	Architektur und Dimensionierung der Wärmeeerzeugungsanlage.
Vorgehen	<p>Das ewz beauftragte eine Studie zur thermischen Simulation einer TEWS und eines Erdwärmesondenfeldes. Grundlage der Studie waren die anlässlich der Tiefenbohrung erhobenen geologischen Daten, die eine präzise Simulation der TEWS erst ermöglichten.</p> <p>Das Realisierungskonzept der Wärmeeerzeugungsanlage wurde auf der Basis der Erkenntnisse der Simulation und den Erfahrungen des ewz aus EWS-Projekten vorgenommen.</p>
Wichtigste Ergebnisse	<p>Aufgrund der Simulationen wurden zwei Szenarien für die Festlegung der Wärmequellen berücksichtigt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 46 EWS ohne TEWS • TEWS und 28 EWS <p>Für beide Szenarien erfolgt die Bereitstellung der geothermischen Wärme über eine Wärmepumpe und einen Erdgaskessel als zweiten Wärmeeerzeuger (bivalentes System).</p> <p>Aufgrund des engen Terminplans musste die Wärmepumpe vor der TEWS-Testphase und der Entscheidung über das zu realisierende Szenario bestellt werden. Dabei wurde eine für den Betrieb mit 46 EWS ausgelegte Wärmepumpe gewählt.</p>

2. Einbau der TEWS

Ziel	Einbau der TEWS in die bestehende Bohrung.
Vorgehen	Die TEWS wurde in fünf Tage eingebaut. Diese Aktivität wurde von spezialisierten Unternehmen durchgeführt.
Wichtigste Ergebnisse	Der Einbau der TEWS verlief ohne Zwischenfälle.

3. Testphase TEWS und Realisierung Wärmeerzeugungsanlage

Ziel	Prüfung des Betriebs und Auswertung der Leistungsfähigkeit der TEWS.
Verfahren	Aufgrund der geringen Erfahrung mit TEWS wurde ein aufwendiger Testbetrieb durchgeführt. Dabei wurden zahlreiche Daten über die TEWS erhoben und analysiert.
Wichtigste Ergebnisse	<p>Die Flüssigkeit in der TEWS zirkuliert bei Wärmeentzug ohne Antriebsenergie. Damit das warme Wasser im Innen- und nicht im Aussenrohr aufsteigt, braucht es eine Initial-Antriebsenergie aus der Umwälzpumpe TEWS, die auch benötigt wird, um bei einem erhöhten Wärmebedarf den Durchfluss zusätzlich zu erhöhen.</p> <p>Die Direktnutzung der TEWS für das Heizen ohne Wärmepumpe wäre ab Ersteintritt nur für einen Zeitraum von rund drei Jahren möglich. Ab dem 4. Jahr müsste in jedem Fall eine Wärmepumpe eingesetzt werden. Die Bereitstellung der Wärme für das Heizen und das Brauchwarmwasser erfolgte deshalb von Beginn weg über eine Wärmepumpe.</p> <p>Der effektive Betrieb der TEWS ergab 12% bessere Resultate (Leistung und Wärmeproduktion) als in der Modellierung berechnet. Dies ist unter anderem auf den höher als angenommenen Temperaturgradienten und die höhere Wärmeleitfähigkeit als im Modell angenommen zurückzuführen.</p> <p>Nach der erfolgreichen Testphase der TEWS wurde die geplante Anzahl EWS auf 28 festgelegt (vergleiche Szenario 2, oben). Die Auslegung der Wärmepumpe für 46 EWS (vor allem Dimensionierung des Verdampfers) konnte nicht mehr verändert werden.</p>

Die Anlage ist seit Januar 2012 ununterbrochen im Betrieb (vergleiche Kapitel 3.2).

3.4. Erkenntnisse der Realisierung der TEWS Triemli

Trotz der Realisierung eines eigentlichen TEWS-Pilotprojektes funktioniert die Anlage seit Inbetriebnahme problemlos und deckt den nachgefragten Wärmebedarf.

Die Konzeption der Wärmeerzeugungsanlage verfügt dennoch über Optimierungspotenzial. Dabei sind technische und marktseitige Aspekte zu unterscheiden.

Technische Aspekte

Die ursprünglich für 46 m tiefe EWS und ohne TEWS geplante Wärmepumpe hat im Sommerbetrieb (Produktion von Brauchwarmwasser aufgrund der höheren Quellentemperatur, nicht optimale Auslegung der Wärmepumpe für eine TEWS als Wärmequelle) eine zu grosse Leistung und kann die hohe Temperatur aus der TEWS am Verdampfer nicht voll nutzen. Aufgrund der Auslegung der Wärmepumpe ist daher ein höherer Anteil mittels Erdgas produzierter Wärme nötig.

Um das Effizienzpotenzial der TEWS zu nutzen, wurde im September 2015 eine zweite, kleinere Wärmepumpe in Betrieb genommen, die ausschliesslich Wärme aus der TEWS verwendet. Gemäss Angabe des ewz werden mit der neuen Wärmepumpe rund 30 MWh Erdgas pro Jahr gegenüber 2014 eingespart.

Die TEWS wäre optimal geeignet für die Lieferung von Bandenergie im Sinne von dauernder Heizwärme. Ein Hindernis für die Optimierung der Anlage besteht darin, dass in den Gebäuden der Baugenossenschaft nur eine Fernwärmeleitung für den abwechselnden Betrieb der Niedertemperaturheizung (35 – 40 °C) und der Brauchwarmwasserzwangsladung (65 °C) installiert wurde. Diese Struktur ermöglicht kein optimiertes Management der Wärmequelle. Das Abgabesystem der Heizanlage ist nicht auf eine TEWS als Wärmequelle ausgerichtet, die permanent Wärme liefern sollte (konstante Entnahme von Energie ohne Veränderung der nachgefragten Temperaturniveaus). *Anmerkung: Der konstante Energiebezug führt zu einem höheren jährlichen Wärmeertrag aus der TEWS bei vergleichsweise tiefem Strombedarf, da die Umwälzpumpe kaum gebraucht wird.*

Marktseitige Aspekte

Aufgrund der Lage der versorgten Wohngebäude und der aus energetischer Sicht nicht optimalen Beschaffenheit der Gebäude in der Nachbarschaft (die Wärmeerzeugungsanlage ist nicht geeignet für deren Bedarf an vergleichsweise höheren Betriebstemperaturen), kann die Anzahl Wärmekunden nicht erhöht werden.

Erwägungen

Durch eine bessere zeitliche Abstimmung zwischen dem TEWS-Projekt und dem Konzept der Haustechnik hätte die Wärmeerzeugungsanlage optimiert werden können (besser geeignete Wärmepumpe, Nutzung der TEWS als Bandenergie).

4 Idealtypischer Ablauf eines TEWS-Projektes

In der nachfolgenden Graphik und den darauf aufbauenden Erläuterungen sind die wichtigsten Faktoren skizziert, die bei einem TEWS-Projekt im Sinne eines Plans B für eine nicht realisierte hydrothermale Wärmeerzeugungsanlage zu beachten sind. Dabei werden die Erkenntnisse („Lessons Learnt“) der Realisierung der TEWS Triemli generalisiert. Es wird zwischen Faktoren beim „Projekt der tiefen Geothermie“ und beim „Projekt TEWS“ unterschieden.

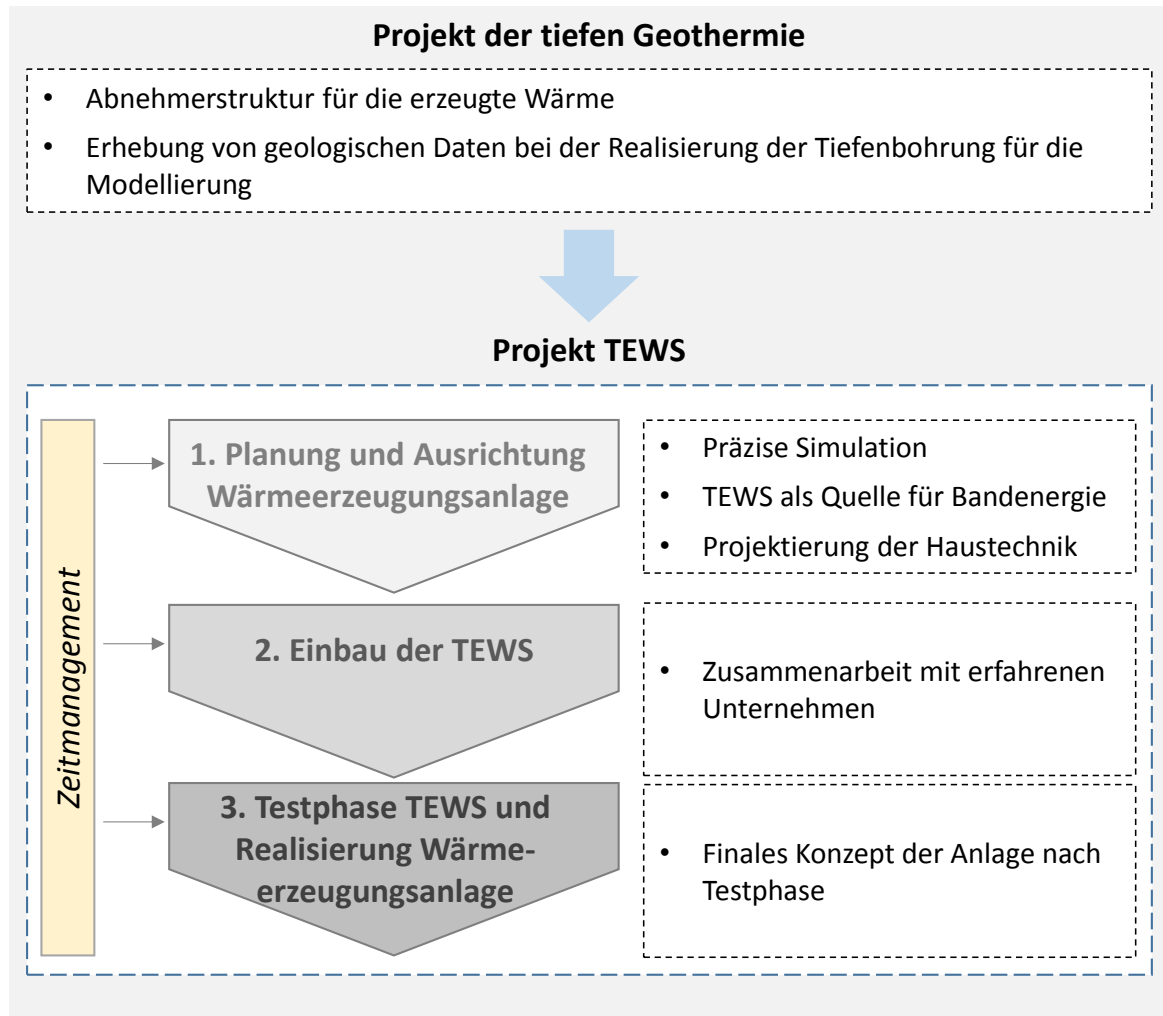


Abb.: 6 Idealtypischer Ablauf eines TEWS-Projektes (Quelle: conim ag).

Beim Projekt der tiefen Geothermie zu berücksichtigende Faktoren

Die folgenden Faktoren erhöhen die Erfolgswahrscheinlichkeit und die betriebliche Effizienz eines TEWS-Projektes.

Abnehmerstruktur für die erzeugte Wärme

Aus marktseitiger Optik ist das Absatzpotenzial der zu produzierenden Wärme bereits bei der Konzeption eines Projektes der tiefen Geothermie zu berücksichtigen.

- Das Fallbeispiel Triemli zeigt, dass die Realisierung einer Tiefenbohrung in einem dicht bebauten Gebiet technisch und logistisch möglich ist, was die Verfügbarkeit von Wärmekunden grundsätzlich sicherstellt.

- Die Tiefenbohrung könnte alternativ in einer Zone realisiert werden, die gemäss Ortsplanung die zukünftige Realisierung von Projekten mit Wärmebedarf (unter anderem Wohngebäude) ermöglicht.
- Es sollten nach Möglichkeit weitere Nutzungsoptionen für die produzierte Wärme in Betracht gezogen werden. Im Sinne des Kaskadenprinzips könnten beispielsweise tiefere Temperaturstufen (Restwärmenutzung) von wärmeintensiven Betrieben wie zum Beispiel einem Gewächshaus (60-30 Grad Celsius) oder einer Fischzucht (unter 30 Grad Celsius) genutzt werden.

Erhebung von geologischen Daten bei der Bohrungsphase für die Modellierung

Die Erhebung von Daten zur Geologie bei der Realisierung einer Tiefenbohrung erhöht die Genauigkeit der Simulationen einer TEWS. Die Kosten für den Testbetrieb und allfällig notwendige Nachoptimierungen der Wärmeerzeugungsanlage können dadurch reduziert werden.

Bei einem TEWS-Projekt zu berücksichtigende Faktoren

Die Phasen der Projektrealisierung Triemli (vergleiche Kapitel 3.3) können grundsätzlich generalisiert und als „idealtypisch“ für ein TEWS-Projekt angenommen werden. Folgende Lerneffekten aus dem Projekt sind zu berücksichtigen:

Zeitmanagement

Ein zu realisierendes TEWS-Projekt hat derzeit noch „Pilotcharakter“. Das Projekt sollte deshalb über keinen zu engen Terminplan verfügen. Ein vergleichsweise grösseres Zeitfenster für die Installation der TEWS stellt sicher, dass die einzelnen Projektkomponenten der Wärmeerzeugungsanlage optimal aufeinander abgestimmt werden.

Planung und Ausrichtung Wärmeerzeugungsanlage

- Präzise Simulation. Die Simulation der Leistung der TEWS gibt wichtige Informationen für die Konzeption der Gesamtanlage. Der Datenerhebung während der Tiefenbohrung kommt deshalb eine wichtige Rolle zu.
- TEWS als Quelle für Bandenergie: Eine TEWS ist ein begrenzter Wärmelieferant und die Zahl der Vollbetriebsstunden ist über eine bewusste Auslegung sinnvoll zu limitieren (unter Berücksichtigung eines zweiten Wärmeträgers). D. h. die TEWS sollte möglichst oft in Bandlast auf nicht Volleistung betrieben werden. Die Produktion der TEWS kann aber während den Wintermonaten gemäss Wärmenachfrage zeitweilig erhöht werden.
- Projektierung der Haustechnik. Die Haustechnik der zu versorgenden Gebäude ist bereits bei der Planung auf eine permanente Wärmequelle auszurichten (unter anderem Räumlichkeiten für die Heizzentrale, separate Leitungen für das Heizen und das Brauchwarmwasser). Weitere Wärmequelle (wie zum Beispiel untiefe EWS oder Erdgas) sollten die Spitzen der Wärmenachfrage decken. Der Einsatz einer TEWS wäre aus wirtschaftlicher Sicht grundsätzlich bei einem permanent hohen Warmwasserverbrauch (Beispiel Sportanlage) optimal.

Einbau der TEWS

- Zusammenarbeit mit erfahrenen Unternehmen. Der Einbau einer TEWS ist abhängig vom Standort und von den spezifischen Bedingungen des Bohrlochs (Tiefe, Geometrie der Verrohrung). Die Zusammenarbeit mit einem erfahrenen Unternehmen basierend auf gemeinsam erarbeiteten Spezifikationen erhöht die Erfolgswahrscheinlichkeit eines TEWS-Projektes.

Testphase TEWS und Realisierung Wärmeerzeugungsanlage

- Finales Konzept der Anlage nach Testphase. Um die Wärmeleistung der TEWS optimal nutzen zu können, sollte das finale Konzept der Wärmeerzeugungsanlage erst nach erfolgter Testphase der TEWS definitiv festgelegt werden. Dabei ist das Potenzial einer mittel- und längerfristig möglichen zusätzlichen Wärmenachfrage (beispielsweise durch die Anbindung von neuen Kunden) mit zu berücksichtigen.

5 Ökonomische Analyse der TEWS Triemli

5.1. Fokus der Analyse

Das TEWS Triemli und die vorhandenen 28 EWS sind Teil eines bivalenten Systems mit Erdgas als zweiten Wärmeträger. Vereinfacht dargestellt und ohne Berücksichtigung der EWS, liefert die TEWS dabei die geothermische Wärme im Sinne von Bandenergie und das Erdgas deckt die Spitze der Wärmenachfrage.

Der Fokus der ökonomischen Analyse liegt, wie in der untenstehenden Graphik dargestellt, auf der TEWS als Wärmequelle und der Wärmebereitstellung durch eine Wärmepumpe (vergleiche auch Abbildung 8). Sie wird im Bandlastbetrieb auf nicht Volleistung betrieben (vergleiche Seite 21). Der Wärmeträger Erdgas ist nicht Bestandteil der Analyse.

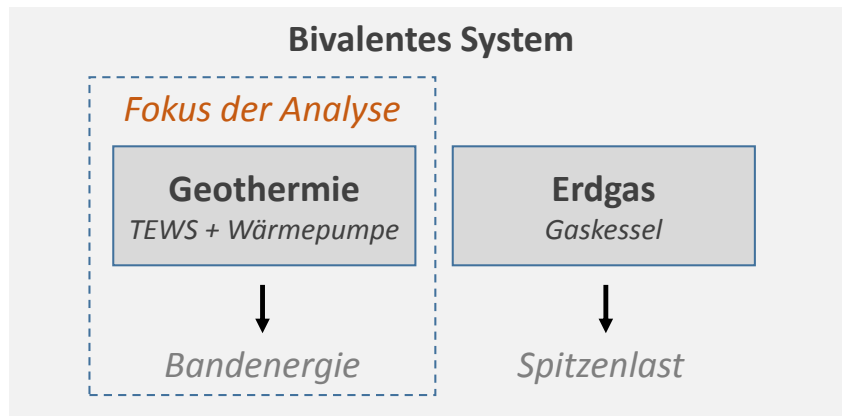


Abb.: 7 Fokus der ökonomischen Analyse

Die ökonomische Analyse basiert auf zwei standardisierten betriebswirtschaftlichen Kalkulationsmethoden, nämlich den Unit Technical Costs (UTC, technische Einheitskosten, Wärmegeheimungskosten) und dem Nettobarwert (Net Present Value, NPV).

Dabei werden zwei Varianten dargestellt.

Variante 1	Heutige Situation der TEWS Triemli Tatsächliche Wärmeproduktion, Investitions- und Betriebskosten der TEWS Triemli gemäss effektivem Aufwand.
Variante 2	Optimierte TEWS Theoretische Wärmeproduktion, Investitions- und Betriebskosten einer mit der TEWS Triemli vergleichbaren TEWS unter Annahme von optimierten Investitionskosten aufgrund von „Lessons Learnt“.

Die durch die 28 EWS produzierte geothermische Wärme und die damit verbundenen Investitions- und Betriebskosten werden aus Gründen der Vergleichbarkeit der beiden Varianten in der ökonomischen Analyse nicht berücksichtigt. Zudem wird davon ausgegangen, dass ein bivalentes System (Geothermie und Erdgas) im optimalen Szenario ohne EWS betrieben werden könnte.

5.2. Methoden

Unit Technical Costs

Die kalkulierten geothermischen UTC setzen sich aus der Summe der Kapitalinvestitionen (Capex) und der Betriebskosten (Opex) dividiert durch die Wärmemenge zusammen. Eine Investition ist dann attraktiv, wenn die „UTC Geothermie“ im Vergleich zur „UTC Fossile Brennstoffe“ konkurrenzfähig ist beziehungsweise die Einspeisung von Wärme aus der Geothermie den Energiequellenmix optimiert.

$$UTC_{(\text{CHF/kWh})} = \frac{\text{Total Capex}_{(\text{CHF})} + \text{Total Opex}_{(\text{CHF})}}{\text{Total Wärmeproduktion}_{(\text{kWh})}}$$

Die UTC werden für die „Wärmequelle Geothermie“ und die „Wärmeerzeugung Geothermie“ (Wärmequelle und -bereitstellung) berechnet.

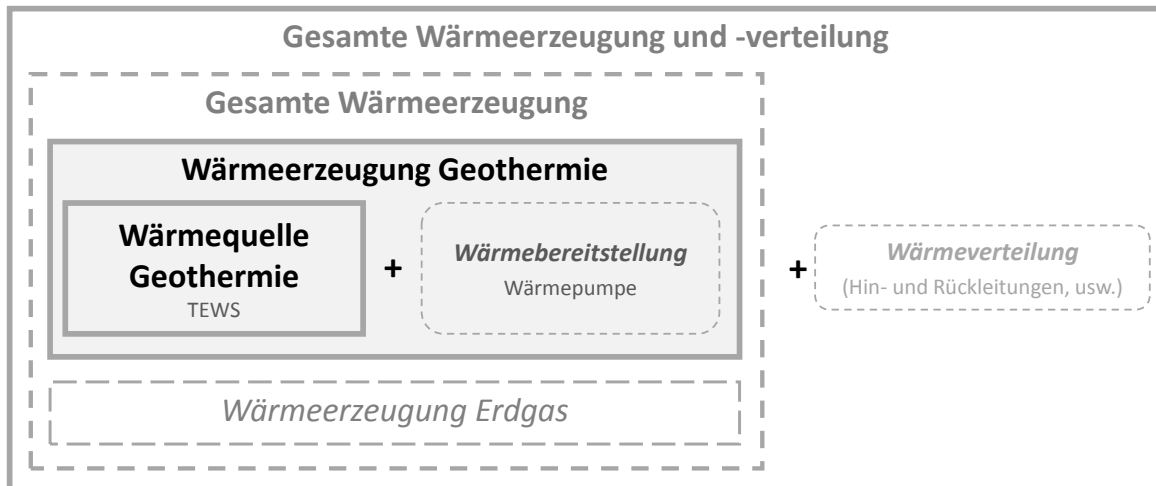


Abb.: 8 Investitionsschnittstellen bei der Realisierung einer TEWS

Die Wärmeverteilung ist abhängig von der Lage und spezifischen Situation der Wohngebäude und ist nicht Geothermie-spezifisch. In der ökonomischen Analyse wird sie deshalb nicht berücksichtigt.

Nettoarwert

Der NPV setzt sich zusammen aus den diskontierten Erträgen (verkaufte Wärme) minus der diskontierten Summe von Capex und Opex. Bei einem positiven NPV sind Investitionen in der Regel mittelfristig rentabel. Basis für die NPV-Analyse sind die Investitions- und Betriebskosten sowie die Erträge der geothermischen Wärmeerzeugung.

5.3. Variante 1: Heutige Situation der TEWS Triemli

Investitionskosten

Die Investitionskosten (Capex) umfassen die historischen, vom ewz getätigten Investitionen für die Wärmebereitstellung aus der TEWS plus die geplanten Ersatzinvestitionen.

Planung TEWS	CHF 160'000
Einbau Innenrohr und Heizzentrale	CHF 600'000
Testbetrieb TEWS	CHF 120'000
Total Wärmequelle Geothermie	CHF 880'000
Wärmepumpe	CHF 270'000
Total Wärmeerzeugung Geothermie	CHF 1'150'000

Tabelle 4: Investitionskosten der TEWS Triemli

Anmerkungen:

- Die Investition für die Tiefenbohrung ist nicht berücksichtigt (vergleiche Prämissen).
- Zusätzlich zu den oben ausgewiesenen Investitionskosten wurden im September 2015 zwecks Optimierung der Anlage Investitionen im Umfang von CHF 170'000 für den Einbau einer kleineren Wärmepumpe getätigt (vergleiche Seite 19).
- Der Capex wird zu 5% diskontiert.

Betriebskosten

Da der Betrieb der TEWS quasi autonom läuft (vergleiche Seite 16), sind die Betriebskosten (Opex) vergleichsweise tief und beinhalten vorwiegend die Stromkosten für den Betrieb der Wärmepumpe. Die Stromkosten für die Umwälzpumpe TEWS sind bescheiden und vernachlässigbar.

Annahmen:

- Vor dem Einbau der zweiten Wärmepumpe betragen die Betriebskosten der ewz rund CHF 34'000 pro Jahr. Nach der Installation konnten die Betriebskosten aufgrund des optimierten Betriebs auf rund CHF 21'000 gesenkt werden.
- Der Opex wird zu 5% diskontiert.

Modellrechnung

		Ist-Situation				Auf Ist-Situation basiertes Szenario			
Jahr		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Produktion	TEWS		1'198'337	1'139'630	1'052'570	1'200'000	1'200'000	1'200'000	1'200'000
	Disk.		1'141'273	1'033'678	909'250	987'243	940'231	895'458	852'818
Opex in CHF	Total Opex		-34'000	-34'000	-34'000	-34'000	-21'250	-21'250	-21'250
	disk.	0	-32'381	-30'839	-29'370	-27'972	-16'650	-15'857	-15'102
	Wärmequelle TEWS	-880'000							
	disk.	-880'000							
	Wärmepumpe	-270'000				-170'000			
	disk.	-270'000				-139'859			
	Total Wärmeerzeugung	-1'150'000				-170'000			
	disk.	-1'150'000				-139'859			

Abb.: 9 Auszug Modellrechnung Variante 1

Anmerkungen:

- Die Wärmeproduktion umfasst nur die durch die TEWS produzierte geothermische Wärme. Die Produktion in den ersten drei Jahren entspricht den effektiven Werten.
- Neben den ursprünglichen Investitionskosten von CHF 1'150'000.- wurden CHF 170'000 für eine kleinere Wärmepumpe investiert.
- Angenommene Ersatzinvestitionen:
 - 2% der ursprünglichen Investitionskosten für die TEWS, alle 15 Jahre.
 - 60% der ursprünglichen Investitionskosten für die Wärmepumpe, alle 15 Jahre
 - Zusätzliche CHF 35'000.- für die kleinere Wärmepumpe, alle 15 Jahre.

5.4. Variante 2: Optimierte TEWS

Investitions- und Betriebskosten

- Es wird davon ausgegangen, dass die Investitionskosten aufgrund der Erfahrungen aus dem Pilotprojekt bei einem Folgeprojekt rund 10% tiefer sind als jene der TEWS Triemli (vergleiche Variante 1).
- Die angenommenen Betriebskosten entsprechen jenen der Variante 1 (nach Einbau der zweiten Wärmepumpe).

Modellrechnung

	Jahr	0	1	2	3	4	5	6
Produktion <i>in kWh</i>	TEWS		1'320'000	1'320'000	1'320'000	1'320'000	1'320'000	1'320'000
	<i>disk.</i>		1'257'143	1'197'279	1'140'266	1'085'967	1'034'255	985'004
Opex <i>in CHF</i>	Total Opex		-21'250	-21'250	-21'250	-21'250	-21'250	-21'250
	TEWS-spezifisch <i>in CHF</i>	<i>disk.</i>	0	-20'238	-19'274	-18'357	-17'482	-16'650
Capex <i>in CHF</i>	Wärmequelle TEWS		-792'000					
	<i>disk.</i>		-792'000					
TEWS-spezifisch <i>in CHF</i>	Wärmepumpe		-243'000					
	<i>disk.</i>							
	Wärmeerzeugung		-1'035'000					
	<i>disk.</i>		-1'035'000					

Abb.: 9 Auszug Modellrechnung Variante 2

Anmerkungen:

- Aufgrund der optimierten Anlage wird im Vergleich zur Variante 1 eine Erhöhung der produzierten geothermischen Wärme aus der TEWS von 10 Prozent angenommen (höherer Anteil der geothermischen Wärme aufgrund einer optimaleren Auslegung der Heizanlage).
- Die Ersatzinvestitionen werden in gleicher Höhe wie in der Variante 1 angenommen.
- Im Vergleich mit Variante 1 entfällt die Investition von CHF 170'000.- für die kleinere Wärmepumpe.

5.5. Wärmegestehungskosten

Die Wärmegestehungskosten sind unter Berücksichtigung unterschiedlich angenommener Abschreibungszeiträume dargestellt.

Variante 1

Total UTC Variante 1 (Rp./kWh)				
	20 Jahre	30 Jahre	40 Jahre	50 Jahre
Capex Wärmequelle TEWS	6.015	4.887	4.374	4.118
Capex Wärmeerzeugung TEWS, Wärmepumpe	9.411	7.839	7.048	6.713
Opex	2.099	2.036	2.008	1.994
Total Wärmeerzeugung Capex + Opex	11.510	9.875	9.056	8.707

- Bezogen auf die Investitionen für die Wärmequelle betragen die heutigen UTC der TEWS Triemli bei einer angenommenen Abschreibungsdauer von 20 Jahren rund 6.0 Rp./kWh.
- Unter Berücksichtigung der Investition für die Wärmebereitstellung und der Opex betragen die UTC rund 11.5 Rp./kWh.
- Der Einstandspreis für Erdgas in der Schweiz für Anlage mit vergleichbarer Leistung und Verbrauch wie jene der Baugenossenschaft Sonnengarten (nur Preis für den Brennstoff, ohne Capex und weitere Opex) liegt derzeit bei rund 7 Rp./kWh in Durchschnitt, inkl. CO₂-Abgabe und ohne MwSt. (Stand November 2015, vergleiche Quellen im Anhang zum Bericht). Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Einkaufspreis des Gases bei einem bivalenten System (Erdgas zur Deckung der Spitzen der Nachfrage) grundsätzlich höher als 7 Rp./kWh ist.

Variante 2

Total UTC Variante 2 (Rp./kWh)				
	20 Jahre	30 Jahre	40 Jahre	50 Jahre
Capex Wärmequelle TEWS	4.861	3.959	3.547	3.341
Capex Wärmeerzeugung TEWS, Wärmepumpe	6.764	5.668	5.078	4.847
Opex	1.610	1.610	1.610	1.610
Total Wärmeerzeugung Capex + Opex	8.374	7.278	6.688	6.457

- Auf der Grundlage der angetroffenen Annahmen reduziert sich die Total UTC der TEWS im Vergleich zur Variante 1 unabhängig von der Abschreibungsdauer um rund 25 Prozent.
- Die Total UTC sind schon bei vergleichsweise kurzen Abschreibungsdauern vergleichbar mit dem Einstandspreis für Erdgas (ohne Capex und weitere Opex).

5.6. Nettobarwert

Grundlage für die Berechnung des NPV sind die Investitions- und Betriebskosten der geothermische Wärmebereitstellung (vergleiche Seite 25).

Total NPV Variante 1 (CHF Mio.)				Total NPV Variante 2 (CHF Mio.)			
20 Jahre	30 Jahre	40 Jahre	50 Jahre	20 Jahre	30 Jahre	40 Jahre	50 Jahre
2.5	3.3	3.9	4.2	2.9	3.8	4.3	4.7

- Bei den beiden Varianten werden nur die Erträge der Wärmeerzeugung berücksichtigt. Die Wärmeverteilung ist nicht berücksichtigt.
- Der NPV ist bei beiden Varianten bereits bei einem Abschreibungszeitraum von 20 Jahren positiv (CHF 2.5 Mio. bzw. 2.9 Mio.).

5.7. TEWS und Projekt der tiefen Geothermie

Für potenzielle Investoren in eine TEWS

Eine TEWS kann in einer Tiefenbohrung eingebaut werden, bei der die geothermischen Voraussetzungen für die hydrothermale Nutzung nicht gegeben sind (Nicht-Fündigkeit). Dabei ist zu beachten, dass die bis anhin für TEWS verwendeten Materialien nur bis zu einer Temperatur von rund 95-100 °C verwendet werden können. Dies entspricht, je nach Temperaturgradienten, einer maximalen Tiefe der Erdwärmesonde von 2.5 Kilometer.

Ein erwarteter positiver Nettobarwert (EMV, Expected Monetary Value) ist aus ökonomischer Sicht ein wichtiger Faktor für die Realisierung eines Projektes der tiefen Geothermie. Der EMV setzt sich zusammen aus der gewichteten Summe des Nettobarwertes im Erfolgs- und Misserfolgsfall.

Der EMV eines Projektes lässt sich vereinfacht wie folgt darstellen:

$$\text{EMV (erwarteter Nettobarwert)} = \underset{(30\%)}{\text{Erfolgswahrscheinlichkeit}} \times \text{Nettobarwert des Erfolgsfalls} + \underset{(70\%)}{\text{Misserfolgswahrscheinlichkeit}} \times \text{Nettobarwert des Misserfolgsfalls}$$

Die Erfolgswahrscheinlichkeit bei einem Erstprojekt der tiefen Geothermie in einer Region in der Schweiz ohne standortspezifische Vorkenntnisse ist tief. Vergleiche Seite 6.

Annahmen

- Der Einbau einer TEWS wird als Szenario für einen Misserfolg angenommen. Aus der TEWS resultieren deshalb zusätzliche Erträge (Wärmeverkauf) auch im Falle eines Misserfolgs des Projektes der tiefen Geothermie.
- Die Erfolgswahrscheinlichkeit bei einem Erstprojekt der tiefen Geothermie wird mit maximal 30% (Misserfolgswahrscheinlichkeit von 70%) angenommen.
- Nach einer erfolgreichen Realisierung einer Geothermie-Anlage wird sowohl Strom als auch Wärme verkauft.
- Bei Misserfolg wird eine Risikogarantie vom Bund in der Höhe von 50% der Investitionen für die erste Bohrung gewährt (vergleiche Seite 7).
- Annahmen zur TEWS: Vergleiche Variante 2 auf Seite 27.

EMV

Die aus der TEWS produzierte und verkaufte Wärme verbessert den NPV im Falle eines Misserfolgs, weshalb sich der gewichtete EMV für das Projekt der tiefen Geothermie verbessert.

- Der gewichtete EMV des Projektes ist ohne Einbau einer TEWS auch bei einer angenommenen Abschreibungsdauer von 50 Jahren negativ (minus CHF 1.4 Mio.).
- Mit dem Einbau einer TEWS ist der gewichtete EMV bei einer Abschreibungsdauer von 40 Jahren nur leicht negativ (minus CHF 0.1 Mio.). Bei 50 Jahren erreicht der EMV einen positiven Wert von CHF 1.9 Mio.
- *Die detaillierte Darstellung der EMV-Analyse befindet sich im Anhang zum Bericht.*

5.8. Fazit

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die Realisierung einer mit der TEWS Triemli vergleichbaren Anlage (bivalentes System: Geothermische Wärme in Kombination mit einem Erdgaskessel) aus ökonomischer Sicht Sinn machen kann.

- Die Total UTC der geothermischen Wärmeerzeugung der TEWS Triemli (Opex + Capex) liegen in der Höhe des Marktpreises für Erdgas (Einstandspreis für den Brennstoff, ohne Capex und weitere Opex). *Dabei ist zu beachten, dass die Capex und die Opex sowie die Auslegung des Wärmeverteilnetzes einen Einfluss auf die Gesamtwirtschaftlichkeit der Wärmeerzeugungsanlage haben. Zu den Kosten der Wärmeverteilung gibt es zahlreiche Studien und laufende Forschungsprojekte. Die Thematik „Wärmeverteilung“ ist nicht Bestandteil der vorliegenden Studie (vergleiche Seite 24).*
- Die TEWS kann bereits nach einer vergleichsweise kurzen Abschreibungszeit von 20 Jahren wirtschaftlich betrieben werden. Zudem ist die geothermisch erzeugte Wärme im Gegensatz zur Wärmeerzeugung aus fossilen Brennstoffen unabhängig von der Preisvolatilität auf den Energiemärkten und führt zu CO₂-Einsparungen.

Voraussetzung für das positive Ergebnis der ökonomischen Analyse ist jedoch ein vorhandenes Bohrloch. Dabei wird angenommen, dass Investitionen für die Erkundungsbohrung im Sinne von „sunk costs“ abgeschrieben werden (vergleiche Prämissen, Seite 4).

6 Empfehlungen

Die Installation einer TEWS stellt – aus ökonomischer Sicht – eine valable Option (Plan B) zur Nutzung der Wärme im Untergrund bei einer aufgrund der geothermischen Bedingungen nicht realisierbaren hydrothermalen Geothermieanlage dar.

- Die allfällige Realisierung einer TEWS ist deshalb bei der Planung und Konzeption eines hydrothermalen Projektes mit zu berücksichtigen. Voraussetzung dafür ist eine am Standort des Projektes bereits geplante oder vorhandene Absatzstruktur für die Nutzung der geothermischen Wärmequelle. Bei der Planung der Wärmeversorgung für neue und bestehende Quartiere sollte jedoch ein genügend grosses Zeitfenster für die Umsetzung des Plans B zur Verfügung stehen.
- Durch die Installation der TEWS kann auf den mittel- und längerfristig Rückbau des Bohrlochs (Füllung mit Zement) verzichtet werden. Die dadurch eingesparten finanziellen Mittel können in die TEWS investiert werden und decken bereits einen beachtlichen Anteil des benötigten Investitionsvolumens.
- Die Kommunikation der Installation einer TEWS als möglicher Plan B zeigt der Bevölkerung auf, dass auch im Falle einer nicht realisierbaren hydrothermalen Wärmeanlage eine sinnvolle Nutzung des Bohrlochs grundsätzlich möglich ist.

Bei TEWS-Projekten handelt es sich trotz der Komplexität der Umsetzung aus technischer Sicht um vergleichsweise einfache Projekte, bei denen etablierte Technologien eingesetzt werden können. Gemäss der vorliegenden ökonomischen Analyse sind die getätigten Investitionen zudem mittelfristig rentabilisierbar (ohne Berücksichtigung der Investitionen für das bereits bestehende Bohrloch).

- Eine finanzielle Förderung von TEWS-Projekten durch den Bund im Sinne einer Technologieentwicklung macht deshalb keinen Sinn.
- Die Förderung der geothermischen Wärmeerzeugung im Rahmen des CO₂-Gesetzes sollte sich prioritär auf Pilot- und Demonstrationsprojekte sowie Feldversuche und Analysen für die direkten Nutzung der Wärme konzentrieren, die der Erprobung und Beurteilung von Energietechniken, der Evaluation von energiepolitischen Massnahmen oder der Erfassung der erforderlichen Daten dienen. Von einer entsprechenden Förderung durch den Bund würden auch TEWS-Projekte direkt profitieren, da sie in bereits bestehenden Bohrlöchern realisiert werden.

Der Bund gewährt eine Risikoabsicherung von Investitionen im Rahmen der Erkundung von geothermischen Ressourcen und der Errichtung von Geothermie-Anlagen zur Produktion von Elektrizität in Form einer Garantie. Die Garantie wird bei Nicht-Fündigkeit eines Projektes geleistet. Die Auswirkungen der Installation einer TEWS im bestehenden Bohrloch des Projektes auf die Garantieleistung sind derzeit nicht definiert. Zudem ist nicht geklärt, ob und in welcher Form ein Bohrloch rückzubauen ist, falls es mittel- und längerfristig nicht genutzt wird. Aus Sicht der Autoren sind entsprechende Kriterien und Modalität zu definieren.

7 Anhang

Vereinfachte EMV-Analyse eines hydrothermalen Projektes der tiefen Geothermie zur Stromgewinnung

Annahme hydrothermale Anlage (Quelle: BFE).

Parameter			Investitionskosten		
Jahresleistung Strom	1.3	MW (8000 Betriebsstunden)	Feldbasierte Exploration	CHF	7'000'000
Jahresleistung Wärme	4.5	MW (4000 Betriebsstunden)	1. Bohrung & Fündigkeitstest	CHF	20'000'000
Preis/kWh Strom (CHF)	CHF 0.40	gemäss KEV	2. Bohrung & Produktionstest	CHF	18'000'000
Preis/kWh Wärme (CHF)	CHF 0.14	Angenommener Marktpreis	Kraftwerkbau und -ausrüstung	CHF	18'000'000
Ersatzinvestition	CHF 1'750'000	alle 5 Jahre	Total		CHF 63'000'000
Betriebskosten	5%	des Anlagewerts			
Unterhaltsarbeiten	CHF 500'000	alle 10 Jahre			

- Die angenommene Risikogarantie beim Misserfolg beträgt CHF 10 Mio. (50% der ersten Bohrung).
- Beim einem „Misserfolg“ ohne den Einbau einer TEWS werden CHF 500'000 für den Rückbau der Tiefenbohrung angenommen.
- Beim „Misserfolg“ mit Einbau einer TEWS werden CHF 300'000 für den partiellen Rückbau der Tiefenbohrung angenommen (Bohrungsende bis zu einer Tiefe von rund 2.5 – 2 Km, in der die Temperatur maximal 95-100 °C beträgt; bei höheren Temperatur ist der Betrieb einer TEWS nicht möglich).
- Bei den Investitionskosten geht es um Standardinvestitionen für eine typische hydrothermale Anlage (Erstprojekt). Allfällige Kostenreduktionen durch Lerneffekte sind nicht berücksichtigt.
- Allfällige Investitionskosten für das Fernwärmenetz sind nicht berücksichtigt.

Annahme TEWS

- Ähnlich wie Variante 2 (Optimierte Anlage, vergleiche Seite 27).

EMV-Analyse

		Total NPV (CHF Mio.)			
		20 Jahre	30 Jahre	40 Jahre	50 Jahre
NPV Erfolgsfall		4.6	20.4	30.1	36.2
NPV	ohne TEWS	-17.5	-17.5	-17.5	-17.5
Misserfallsfall	mit TEWS	-14.1	-13.2	-12.7	-12.3
Gewichteter	ohne TEWS	-10.9	-6.1	-3.2	-1.4
EMV	mit TEWS	-8.8	-3.5	-0.1	1.9

Verwendete Quellen

Studie/Dokumente

- *Deep Borehole Heat Exchangers – A Conceptual Review*, Proceedings World Geothermal Congress 2015.
- *Die Schweizer Risikodeckung für Geothermiebohrungen 1987-1997 – Ausgestaltung und Erfahrungen im Rückblick*, Rybach, L., In Tagungsband, Geothermische Vereinigung Jahrestagung 2005.
- *Energie aus dem Innern der Erde: Tiefengeothermie als Energieträger der Zukunft?*, TA Swiss, 2014.
- *Erkundungsbohrung Sonnengarten im Triemli-Quartier Zürich – Schlussbericht*, ewz, 2014.
- *Statistik der geothermischen Nutzung in der Schweiz*, Geowatt AG, 2015.
- *Wärmeverbund Riehen AG: Ökonomische Analyse einer direkten Nutzung der Geothermie für die Wärmebereitstellung*, conim ag, 2015.
- *Weissbuch Fernwärme Schweiz – VFS Strategie*, Dr. Eicher+Pauli AG, 2014.
- *Tiefe Erdwärmesonde Weggis*, Polydynamics Engineering Zürich, 2001.
- Verschiedene vom ewz zur Verfügung gestellte Dokumente.

Gesetze

- Direkt im Text zitiert

Webseite

- www.gaspreise.preisueberwacher.ch
- www.geothermie.ch
- www.ewz.ch

Glossar von Schlüsselbegriffen

Bandenergie	Bezeichnet die Nachfrage, welche während eines Jahres in einem Wärmenetz nicht unterschritten wird. Die darüber hinausgehende Nachfrage wird als Spitzenenergie bezeichnet.
Capex	Capital Expenditure, Investitionskosten.
Fördertemperatur	Temperatur (in °C) des vorgefundenen Thermalwassers.
Fündigkeitsnachweis	Nachweis der in den Vorstudien angenommenen Fördertemperatur und Fließrate an einem Standort. Der Abfluss und die Temperatur des geothermischen Wassers am Bohrlochkopf sind die zwei Hauptparameter aus denen die nutzbare energetische Leistungsfähigkeit berechnet werden kann. Zudem werden oft Hydrotests durchgeführt, bei denen der Druck im Bohrloch abgesenkt und der daraus resultierende Zufluss an Wasser aus dem Gestein gemessen wird (Porosität des Gesteins).
Gasheizkessel	Gasheizkessel gewinnen Wärmeenergie aus der Verbrennung von Erdgas und transportieren die Wärmeenergie über den Wärmeträger Wasser.
Hydrothermale Nutzung	Nutzung vom im Untergrund vorhandenen heißen Grundwasser (vergleiche tiefer Aquifer unten). Je nach Temperatur des Wassers ermöglicht diese Nutzungstyp die Produktion von Heizenergie und Strom.
Hydrotesting	Druckprüfung, um den Nachweis einer ausreichenden Porosität des Gesteins zu erbringen.
Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV)	Die KEV ist ein Instrument des Bundes, welches zur Förderung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien eingesetzt wird. Die KEV deckt die Differenz zwischen Produktionskosten und Marktpreis.
Logging	Aufzeichnung von geophysikalischen Messdaten mittels Messsonden. Die Messsonden werden zunächst in das Bohrloch abgesenkt. Beim anschließenden Anheben der Sonde werden diese gemessen und aufgezeichnet.
Mud-Logging	Untersuchung am Bohrklein („Kieselstein-Gemisch“) aus der Bohrung, die laufend während des Bohrprozesses durchgeführt wird.
Opex	Operational Expenditure, Betriebskosten.
Risikogarantie	Teilübernahme der Bohrkosten durch den Bund im Falle eines Misserfolges.
Tiefer Aquifer	Gesteinskörper mit Hohlräumen, der zur Leitung von Grundwasser geeignet ist.