



Erkundungsbohrung Sonnengarten im Triemli-Quartier Zürich. **Schlussbericht.**

ewz

Die Energie



Ein Unternehmen
der Stadt Zürich

Erkundungsbohrung Sonnengarten im Triemli-Quartier Zürich. Schlussbericht.

Herausgeber.
ewz
Tramstrasse 35
8050 Zürich
info@ewz.ch
www.ewz.ch

1. Auflage: 500 Stück, April 2014

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet.

Klimaneutraler Druck auf 100 % Recyclingpapier –
aus Verantwortung für unsere Umwelt.

Editorial.



Liebe Leserinnen und Leser

Die Ziele der Nachhaltigkeit und der 2000-Watt-Gesellschaft – wie sie in der Gemeindeordnung der Stadt Zürich festgeschrieben sind – verlangen von der Bevölkerung, der Wirtschaft und der Politik grosse Anstrengungen, den Energiekonsum zu vermindern und erneuerbare Energien einzusetzen. Die vom Bundesrat beschlossene Energiestrategie 2050 erfordert in

den kommenden Jahren einen massiven Ausbau der Nutzung neuer erneuerbarer Energien. In der Schweiz hat die Tiefengeothermie das weitaus grösste theoretische Potenzial, die Versorgung mit Strom und Wärme zu decken. Gleichzeitig hat diese Technologie einen enormen Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

ewz erkundete als innovatives Energieunternehmen den Untergrund der Stadt Zürich erfolgreich und ermittelte das Potenzial der Tiefengeothermie auf dem Stadtgebiet. Dazu wurde inmitten der Baustelle für die neue Siedlung Triemli der Baugenossenschaft Sonnengarten zwischen dem 11. November 2009 und dem 14. Februar 2010 bis in eine Tiefe von 2708 Metern gebohrt. Das Projekt war in verschiedener Hinsicht aussergewöhnlich und hatte Pilotcharakter. Erstmals in der Schweiz wurde eine Bohrung in diese Tiefe in dicht besiedeltem Gebiet vorgenommen. Wir stellten uns zahlreichen Herausforderungen wie dem Bewilligungsverfahren, den eingeschränkten Platzverhältnissen, der zeitlichen Abhängigkeit aufgrund der Baustelle der Genossenschaft und nutzten Informationspflichten auch als Chance für unsere Öffentlichkeitsarbeit.

Mit der Erkundungsbohrung bis ins Kristallin hat ewz das Hauptziel erreicht. Die Erfahrung zeigt, dass es möglich ist, unter anspruchsvollen Voraussetzungen eine solche Bohrung ohne nennenswerte Probleme und unfallfrei durchzuführen. Die aus der Bohrung gewonnene Erkenntnis, dass entgegen den Erwartungen im tiefen Untergrund nur eine sehr geringe Wasserführung vorhanden ist, verändert das Verständnis und das Konzept der tiefen Aquifere in der gesamten Nordschweiz fundamental. Dies führt zu einer Neuinterpretation der nutzbaren wasserführenden Schichten und zählt ebenfalls zum Erfolg dieses Projektes.

Aufgrund der Erfahrungen kommt ewz zum Schluss, dass ein Alleingang für weitere Erkundungsprojekte wenig Sinn macht. Die Aktivitäten dazu sollen schweizweit mit Partnerinnen und Partnern koordiniert werden, um Kosten und Risiken zu teilen. Wir sind Gründungsaktionärin der Geo-Energie Suisse AG. Die Gesellschaft, die im November 2010 von sieben Schweizer Energieversorgern gegründet wurde, hat das Ziel, der Tiefengeothermie-Technologie zum Durchbruch zu verhelfen.

Von der Erkundungsbohrung ist kaum noch etwas zu sehen und zu lesen. Die Energie aus dem Bohrloch wird genutzt und versorgt zusammen mit oberflächennahen Erdsonden die rund 200 Wohnungen der Siedlung Triemli mit Wärme. Nun liegt der Schlussbericht zur Erkundungsbohrung Sonnengarten im Triemli-Quartier vor, der das Projekt nochmals Revue passieren lässt. Der Bericht gibt Informationen zur Geothermie im Allgemeinen, zur Geschichte des Projektes, zu den besonderen Herausforderungen und schildert den Ablauf und die wichtigsten Erkenntnisse. Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre und danke allen Projektbeteiligten und der von der Erkundungsbohrung betroffenen Bevölkerung für ihre Unterstützung.

Marcel Frei
Direktor ewz

Schlussbericht.

Inhalt.

1	Zusammenfassung.	7
2	Wichtige Begriffe der Bohrtechnik.	8
3	Einleitung.	10
3.1	Struktur des Berichts.	10
3.2	Was ist Geothermie?	10
3.3	Nutzungsformen der Erdwärme.	10
4	Ausgangslage.	12
4.1	Zur Geschichte der Erkundungsbohrung im Triemli-Quartier.	12
4.2	Der geologische Untergrund in Zürich.	12
4.3	Geschichte der Tiefengeothermie in der Schweiz.	14
5	Ziel und Konzept der Erkundungsbohrung.	15
6	Besondere Herausforderungen.	16
7	Finanzierung und politischer Prozess.	17
8	Projektierung.	18
8.1	Projektphasen.	18
8.2	Bewilligungsverfahren.	18
8.3	Umgang mit Risiken und Chancen.	19
8.3.1	Risikoanalyse.	19
8.3.2	Nutzung der Chancen.	20
9	Erstellung des Bohrplatzes.	21
9.1	Stabilisierung des Untergrunds und Foundation.	21
9.2	Logistik.	21
9.3	Energie- und Wasserversorgung.	22
10	Erste Erkundungsbohrung.	24
10.1	Organisation.	24
10.2	Termin- und Ablaufplanung.	25
10.3	Bohranlage und Bohrverfahren.	26
10.4	Auflagen aus der Bewilligung.	28
10.5	Sicherheit.	30
10.6	Ablauf der Bohrung.	31
10.7	Messungen während des Bohrbetriebs.	32
10.8	Geologische Erkenntnisse.	35
10.8.1	Tiefenlage der geologischen Schichten.	35
10.8.2	Gebirgswasserführung.	35
10.8.3	Gesteinstemperatur in der Tiefe.	35
11	Verzicht auf die zweite Bohrung.	36
12	Abschluss der Arbeiten der Erkundungsbohrung.	37
13	Einbau der tiefen Erdwärmesonde (TEWS).	38
13.1	Abklärungen zur Nutzung der Wärme im Bohrloch.	38
13.2	Funktionsweise der tiefen Erdwärmesonde.	38
13.3	Bauliche Massnahmen.	38
13.3.1	Bau der Geothermiezentrale.	38
13.3.2	Einbau der TEWS.	39
13.4	Betrieb.	39
13.5	Nachzementation zwischen zwei Verrohrungen.	39
14	Öffentlichkeitsarbeit.	40
15	Fazit.	42
16	Ausblick.	43

Abbildungen und Tabellen.

Abbildung 1:	Funktionsprinzip der verschiedenen Geothermiesysteme.	10
Abbildung 2:	Geologisches Profil zwischen Lägern und Küsnacht.	12
Abbildung 3:	Erkundungsbohrung Sonnengarten im Triemli-Quartier und bestehende Bohrungen im Kanton Zürich mit Tiefenangabe.	14
Abbildung 4:	Geologische Prognose und Bohrkonzept.	15
Abbildung 5:	Geplante Projektphasen.	18
Abbildung 6:	Risikomatrix.	19
Abbildung 7:	Situation der Erkundungsbohrung Sonnengarten im Triemli-Quartier inmitten eines bewohnten Gebietes.	21
Abbildung 8:	Baustellenübersicht der Liegenschaft Triemli der BG Sonnengarten.	21
Abbildung 9:	Organisation der Erkundungsbohrung Sonnengarten im Triemli-Quartier.	24
Abbildung 10:	Projektzeitplan.	25
Abbildung 11:	Verwendete Bohranlage Drillmec HH300 City Rig im Aufbau.	26
Abbildung 12:	Verschiedene Typen von Bohrmeissel.	27
Abbildung 13:	Kreislauf der Bohrspülung (vereinfacht).	28
Abbildung 14:	Bohrloch- und Verrohrungsschema.	31
Abbildung 15:	Vergleich zwischen effektivem Bohrfortschritt und Vorhersage.	32
Abbildung 16:	Vergleich zwischen Profilprognose und Profilbefund.	34
Abbildung 17:	Schematische Darstellung einer coaxialen tiefen Erdwärmesonde.	38
Tabelle 1:	Identifizierte Risiken, Hauptkategorien und Beispiele.	19



1 Zusammenfassung.

Vom 11. November 2009 bis zum 14. Februar 2010 führte das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz) auf dem Areal der Baugenossenschaft Sonnengarten in der Nähe des Stadtspitals Triemli in Zürich eine Erkundungsbohrung durch. Ziel dieser Tiefenbohrung war es, den Untergrund von Zürich zu erkunden und aufzuzeigen, welchen Beitrag die tiefe Geothermie auf dem Stadtgebiet an die künftige Energieversorgung leisten kann. Von besonderem Interesse war dabei die Frage, ob es in der Tiefe wasserführende Schichten gibt, die sich für eine hydrothermale Nutzung eignen.

Mit der Erkundungsbohrung im Triemli-Quartier realisierte ewz ein herausforderndes Projekt mit Pilotcharakter. Die Erkundungsbohrung wurde auf dem künftigen Innenhof der neuen Überbauung Triemli abgeteuft, welche die Baugenossenschaft Sonnengarten parallel zur Erkundungsbohrung realisierte. Für die Bohrarbeiten stand nur ein sehr beschränkter Platz zur Verfügung und die Arbeiten mussten in einem engen Zeitfenster durchgeführt werden. Gleichzeitig musste die Planung laufend an die neuen Erkenntnisse der Bohrung angepasst werden.

Das Projekt sah mehrere Phasen vor: In einem ersten Schritt wurde eine erste Tiefenbohrung bis in eine Tiefe von 2708 Metern realisiert, um den Untergrund zu erkunden. Sollte diese Bohrung auf wasserführende Schichten stossen, wäre mit einer zweiten Bohrung eine mögliche hydrothermale Nutzung der tiefen Erdwärme abgeklärt worden. Für das Vorhaben bewilligten die Zürcher Stimmberechtigten am 29. November 2009 in einer Volksabstimmung einen Projektkredit von insgesamt 38.7 Mio. Franken.

Für den erfolgreichen Projektverlauf war einerseits die gute Zusammenarbeit mit der Baugenossenschaft Sonnengarten wichtig und andererseits auch die enge Kooperation mit verschiedenen Ämtern und Fachstellen. Im Vergleich zu einer Bohrung in wenig besiedeltem Gebiet mussten umfangreiche technische und bauliche Massnahmen realisiert werden, die teilweise sehr aufwändig, herausfordernd und zeitintensiv in der Umsetzung waren. Wichtig für den reibungslosen Ablauf war auch, dass die Bevölkerung mit einer aktiven Öffentlichkeitsarbeit laufend über den Stand der Arbeiten informiert wurde. Die Erfahrungen bei der Erkundungsbohrung im Triemli-Quartier zeigen, dass es möglich ist, in einem dicht besiedelten Gebiet eine Tiefenbohrung erfolgreich abzuteufen.

Die Erkundungsbohrung bestätigte die geologische Prognose über die Abfolge der Schichten weitgehend. Der gemessene thermische Gradient liegt mit 36 Kelvin pro Kilometer etwas höher als erwartet. Im angepeilten Tiefenbereich war entgegen den Erwartungen nur eine sehr geringe Wasserführung vorhanden, so dass eine lohnenswerte hydrothermale Nutzung der tiefen Erdwärme nicht möglich ist. Aus diesem Grund wurde darauf verzichtet, eine zweite Bohrung abzuteufen.

Durch den Einbau einer tiefen Erdwärmesonde (TEWS) kann das bestehende Bohrloch dennoch energetisch genutzt werden. Zusammen mit den 46 oberflächennahen Erdsonden, die auf dem Areal der Überbauung ebenfalls realisiert wurden, versorgt die TEWS rund 200 Wohnungen der Baugenossenschaft Sonnengarten mit umweltfreundlicher Wärme zum Heizen und für die Bereitstellung von Warmwasser.

Die Erkundungsbohrung im Triemli-Quartier lieferte wichtige Erkenntnisse über den Untergrund Zürichs. Diese verändern das Verständnis der tiefen Aquifere im Raum Zürich und der gesamten Nordschweiz. Aufgrund der neuen Erkenntnisse können nun Strategien für die weitere Erkundung des tiefen Untergrundes in der Region Zürich entwickelt werden. Die Ergebnisse der Tiefenbohrung erleichtern die Identifizierung von potenziellen Standorten für die Nutzung der tiefen Erdwärme und unterstützen Entscheidungs- und Planungsprozesse für zukünftige Tiefenbohrungen im Kanton Zürich.

2 Wichtige Begriffe der Bohrtechnik.

Aquifer	Wasserführende Gesteinsschicht.
Blowout-Preventer	Der Blowout-Preventer ist das zentrale Sicherheitselement bei einer Tiefenbohrung. Er wird unmittelbar über dem Bohrloch am Ankerrohr befestigt und besteht im Wesentlichen aus einem Ventil. Er verhindert unkontrollierte Gasaustritte aus dem Bohrloch.
Bohranlage (engl. rig)	Die Bohranlage besteht aus einem freistehenden Stahlfachwerkmast, aus dem Doghouse und einer Hydraulikeinheit. Mit der Anlage werden Bohrungen abgeteuft.
Bohrgarnitur (engl. bottom hole assembly)	Die Bohrgarnitur besteht aus dem Meissel, den Schwerstangen und Centralizern, sofern erforderlich einem Down Hole Motor und der Jar. Sie befindet sich am unteren Ende des Bohrgestänges und bohrt durch das Gestein.
Bohrklein (engl. cuttings)	Gesteinspulver und Gesteinsbruchstücke, die der Meissel während des Bohrens vom Fels löst. Das Bohrklein wird mithilfe der Spülung aus dem Bohrloch herausgespült.
Bohrmeissel	Der Bohrmeissel befindet sich am unteren Ende der Bohrgarnitur. Mit einer Drehbewegung bricht er das Gestein in kleine Stücke. Je nach Härte des Gesteins werden unterschiedliche Meisseltypen eingesetzt, z. B. Rollenmeissel oder PDC-Meissel.
Centralizer	Ein Centralizer wird verwendet, um beispielsweise die Verrohrung des Bohrlochs oder das Innenrohr der tiefen Erdwärmesonde zu positionieren. Typischerweise besitzt ein Centralizer vier flexible Bogenfedern. Der Centralizer in der Bohrgarnitur erfüllt denselben Zweck, besteht jedoch aus einem festen Block.
Doghouse	Das Doghouse ist die Steuerkabine der Bohranlage. Hier befindet sich das Steuerpult, von dem aus der Driller die Bohrung führt und überwacht.
Down Hole Motor	Der Down Hole Motor kann zur Bohrgarnitur gehören. Er ist am Bohrgestänge befestigt und hält den Meissel in Rotation. Angetrieben wird der Down Hole Motor durch die Bohrspülung, ähnlich wie eine Turbine. Er ermöglicht es, die Bohrung in eine bestimmte Richtung abzulenken.
Driller	Der Driller ist der Schichtführer der Bohrmannschaft. Sein Arbeitsplatz ist das Doghouse. Dort steuert und überwacht er die Bohrung und alle damit verbundenen Tätigkeiten wie Bohrgestänge zusammenschrauben, zerlegen, absenken usw.
Fracking	Mit dieser Methode wird das trockene Kristallin-Gestein unter hohem hydraulischen Druck künstlich aufgepresst, um es wasserdurchlässig zu machen. Die Methode ist nicht zu verwechseln mit der gleichnamigen Anwendung bei der Schiefergas-Förderung.
Jar	Eine mechanische Einrichtung, mit der ein festsitzender Meissel gelöst werden kann.
Liner	Stahlverrohrung des Bohrlochs, die an der vorangehenden Bohrlochverrohrung befestigt wird. Der Liner wird im Gegensatz zum Casing nicht über die gesamte Tiefe des Bohrlochs ausgeführt.

Litho Log	Im Litho Log werden die Messwerte und die Auswertungen der Bohrkleinproben dargestellt. Er ist Bestandteil des Tagesberichts der Bohrung.
Logging	Aufzeichnung von geophysikalischen Messdaten mittels Messsonden. Die Messsonden werden zunächst in das Bohrloch abgesenkt. Beim anschliessenden Anheben der Sonde wird gemessen.
Mud Logging	Probenentnahme des Bohrkleins und Auswertung der Proben.
Packer	Um Hydrottests und Spannungsmessungen durchführen zu können, muss das Bohrloch auf bestimmten Höhen dicht verschlossen werden. Dazu werden Dichtungselemente, so genannte Packer, ins Bohrloch eingelassen. Diese werden mit Hilfe von Spülflüssigkeit ähnlich wie Ballone aufgeblasen, sobald sie sich in der gewünschten Tiefe befinden.
Schwerstange	Wie der Name sagt handelt es sich um eine schwere Stange, die Masse auf den Meissel bringt, damit dieser einwandfrei funktioniert.
Toolpusher	Er ist der Bohrbetriebsleiter und hat langjährige Erfahrung im Bereich Bohrtechnologie. Er sorgt dafür, dass auf der Anlage jederzeit genügend Ausrüstung, Ersatzteile und fachkundiges Personal vorhanden sind, koordiniert die Arbeiten mit den Subunternehmern und erledigt administrative Arbeiten im Zusammenhang mit der Bohrung.
Topdrive	Der Topdrive befindet sich am Mast der Bohranlage. Er bringt die Bohrstangen ins Bohrloch und dreht das Bohrgestänge.
Verrohrung (engl. casing)	Um das Einstürzen des Bohrlochs zu verhindern, wird es mit einem Stahlrohr ausgekleidet, dem so genannten Casing. Der Raum zwischen Verrohrung und Bohrlochwand wird zementiert.
Wellhead	Mit dem Wellhead wird das Bohrloch verschlossen.
Zementation	Der Raum zwischen der Bohrlochwand und der Aussenwand der Verrohrung wird mit Zement verfüllt, um die Verrohrung (Casing oder Liner) abzudichten und zu fixieren.

3 Einleitung.

3.1 Struktur des Berichts.

Dieser Bericht fasst die wichtigsten Themen der Erkundungsbohrung zusammen, die ewz vom November 2009 bis Februar 2010 auf dem Areal der Baugenossenschaft Sonnengarten im Triemli-Quartier in Zürich durchführte. Er vermittelt einen chronologischen Überblick über die Ereignisse und zeigt die Komplexität sowie die zahlreichen Abhängigkeiten des Projekts auf.

3.2 Was ist Geothermie?

Der Begriff Geothermie bezeichnet die Nutzung der Erdwärme, also der Wärme aus dem Erdinneren. Je tiefer man in die Erdkruste vordringt, desto wärmer wird es. In 1000 Metern Tiefe liegt die Temperatur etwa zwischen 35 und 45 Grad Celsius; sie steigt im Mittel um rund 3 Kelvin pro 100 Meter Tiefe. Diese Zunahme bezeichnet man als geothermischen Temperaturgradienten. Je nachdem, wie hoch die Temperatur ist und ob wasserführende Gesteinsschichten vorhanden sind, kann die Erdwärme unterschiedlich genutzt werden. Ob in der Tiefe eine wasserführende Schicht vorliegt und welche nutzbaren Wassermengen zur Verfügung stehen, kann erst

durch eine Erkundungsbohrung bestimmt werden, da die Zirkulation des Wassers im Untergrund sehr stark von den lokalen geologischen Gegebenheiten abhängt.

3.3 Nutzungsformen der Erdwärme.

Die Webseite geothermie.ch listet verschiedene Möglichkeiten auf, wie die Erdwärme als Energiequelle genutzt werden kann. Diese sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

■ Oberflächennahe Geothermie.

In geringer Tiefe bis ca. 300 Meter unter der Erdoberfläche liegt die Temperatur des Untergrundes zwischen 8 und 20 Grad Celsius. In diesem Bereich wird die Erdwärme durch einzelne Erdwärmesonden, Energiepfähle oder Erdwärmesondenfelder genutzt. Es besteht ausserdem die Möglichkeit, das Grundwasser zu nutzen. Die Übertragung der Energie findet via Wärmetauscher statt. Um mit der oberflächennahen Geothermie Gebäude zu beheizen oder Warmwasser bereitzustellen, wird eine Wärmepumpe benötigt, welche die Vorlauftemperatur auf ein nutzbares Niveau anhebt.

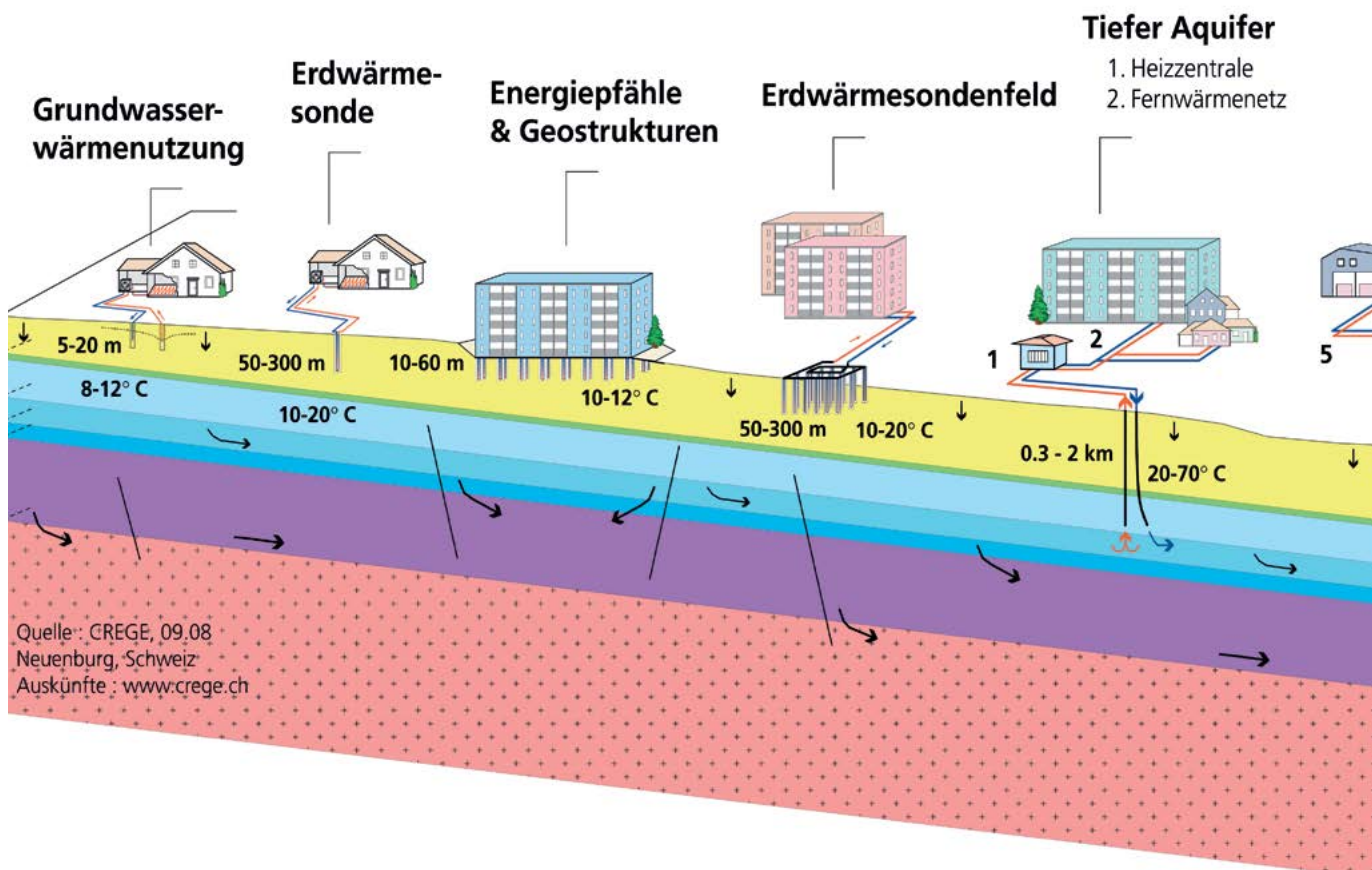


Abbildung 1: Funktionsprinzip der verschiedenen Geothermiesysteme (Quelle: S. Cattin, CREGE).

■ Tiefe Geothermie (Aquifer).

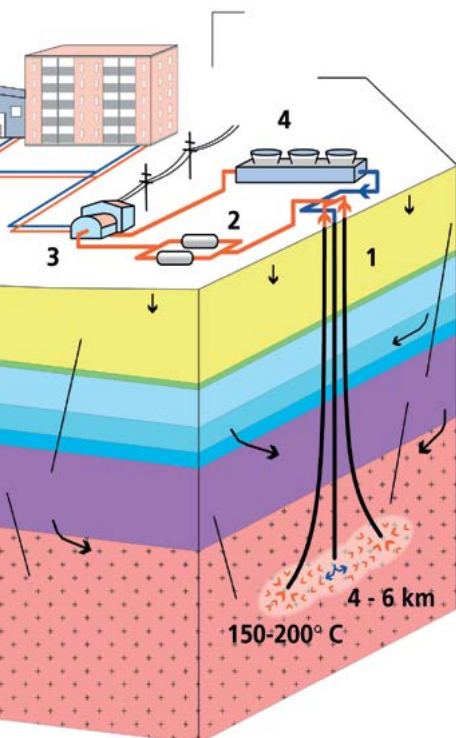
Im Bereich zwischen 300 und etwa 2000 Metern Tiefe beträgt die Temperatur zwischen 20 und 70 Grad Celsius. Da das Gestein in diesem Bereich häufig heterogen aufgebaut ist, kann das Thermalwasser in einzelnen Schichten leicht zirkulieren. Die Wärme aus diesen tiefliegenden wasserführenden Gesteinsschichten, den so genannten Aquiferen, kann durch ein Doubletten-System genutzt werden. Das bis zu 70 Grad warme Wasser wird über eine Produktionsbohrung an die Oberfläche gepumpt, wo ein Wärmetauscher die Wärme aus der Tiefe an ein Verbrauchernetz überträgt und – bei ungenügendem Temperaturniveau wie bei der oberflächennahen Geothermie – eine Wärmepumpe benötigt wird. Das abgekühlte Wasser wird anschliessend über eine Injektionsbohrung in den Aquifer zurückgeführt. Diese Nutzungsform der Erdwärme wird insbesondere auch in diesem Bericht «hydrothermal» genannt.

■ Sehr tiefe Geothermie.

Beträgt die Temperatur der geothermischen Wärmequelle über 100 Grad Celsius, wie dies in einer Tiefe ab etwa 4000 Metern der Fall ist, kann eine Umwandlung der Wärme in Strom in Betracht gezogen werden. Bei einem petrothermalen System wird das trockene Kristallin unter hohem hydraulischen Druck künstlich aufgepresst, um es wasserdurchlässig zu machen. Das angewendete Verfahren nennt sich Hot-dry-Rock-Verfahren, die Methode zum Aufbrechen des Gesteins Fracking. Beim Hot-dry-Rock-Verfahren werden wie bei der hydrothermalen Nutzung mindestens zwei Tiefenbohrungen benötigt. Durch das eine Bohrloch wird zunächst Wasser in den Untergrund gepresst. Dieses steigt danach durch das andere Bohrloch als heisses Wasser unter hohem Druck an die Erdoberfläche auf. Dort kann ein Teil der Energie mittels Turbine und Generator in Strom umgewandelt werden. Die Restenergie kann zur Wärmenutzung verwendet werden. Das abgekühlte Wasser wird anschliessend wieder in die Tiefe gepumpt.

Sehr tiefe Geothermie

1. Injektions & Produktionsbohrungen
2. Wärmetauscher
3. Kraftwerk: ORC Turbine & Generator
4. Kühlturm
5. Fernwärmenetz



Die Energiebereitstellung mittels Geothermie ist erneuerbar und beinahe unerschöpflich. Die Erdwärme kann unabhängig von Wetter und Tageszeit genutzt werden; sie eignet sich daher für die Erzeugung von Bandenergie. Während die oberflächennahe Geothermie in der Schweiz weit verbreitet ist, findet die Tiefengeothermie hierzulande bisher noch kaum Anwendung.

4 Ausgangslage.

4.1 Zur Geschichte der Erkundungsbohrung im Triemli-Quartier.

Die Erkundungsbohrung im Triemli-Quartier steht im Zusammenhang mit der Gesamterneuerung des Stadtspitals Triemli. Vor dem Architekturwettbewerb wurde ein Studienauftrag «Gebäudetechnik, Energie und Nachhaltigkeit» ausgeschrieben. Das ausgewählte Siegerprojekt schlug vor, das Stadtspital, das mittelfristig die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft erfüllen soll, künftig mit Energie aus tiefer Geothermie zu beheizen. Aus diesem Grund wurde zunächst geplant, die Bohrung auf dem Grundstück des Stadtspitals abzuteufen. ewz erhielt im Jahr 2009 den Auftrag, das Stadtspital Triemli im Rahmen eines Energie-Contractings ab 2014 bzw. 2015 mit Wärme und Kälte zu versorgen. Detaillierte Abklärungen zur Machbarkeit einer Geothermieanlage in dieser Region liessen erkennen, dass die vorhandenen Kenntnisse über die geologischen Verhältnisse im Untergrund für eine kommerzielle Nutzung der tiefen Geothermie nicht ausreichten. In der Folge konzentrierte sich ewz auf eine Erkundungsbohrung, um die Machbarkeit einer solchen Anlage abzuklären.

Aus verschiedenen Gründen konnte auf dem Areal des Stadtspitals Triemli kein Bohrplatz erstellt werden. Es galt also einen Standort für die vorgesehene Bohrung zu finden. In unmittelbarer Nähe plante die Baugenossenschaft (BG) Sonnengarten ihre bestehende Siedlung Triemli durch eine neue Überbauung zu ersetzen. Die Neubauten sind auf dem Grundstück als Blockrand angeordnet. Der künftige Innenhof des Neubauprojektes eignete sich als Bohrplatz und durfte durch ewz über einen definierten Zeitraum genutzt werden. Mit der Erkundungsbohrung startete ewz am 11. November 2009 nach umfangreichen Vorbereitungen ein Projekt mit Pioniercharakter.

4.2 Der geologische Untergrund in Zürich.

Im Raum Zürich wurden bereits an mehreren Stellen Bohrungen abgeteuft, die in Abbildung 3 am Ende des Kapitels dargestellt sind. Ähnlich weit in die Tiefe wie die Erkundungsbohrung Sonnengarten im Triemli-Quartier reichen die Bohrungen in Lindau mit einer Endteufe von 2377 Metern, Weiach mit 2482 Metern und Küsnacht mit 2693 Metern. Alle anderen Bohrungen sind weniger als 1000 Meter tief. Im

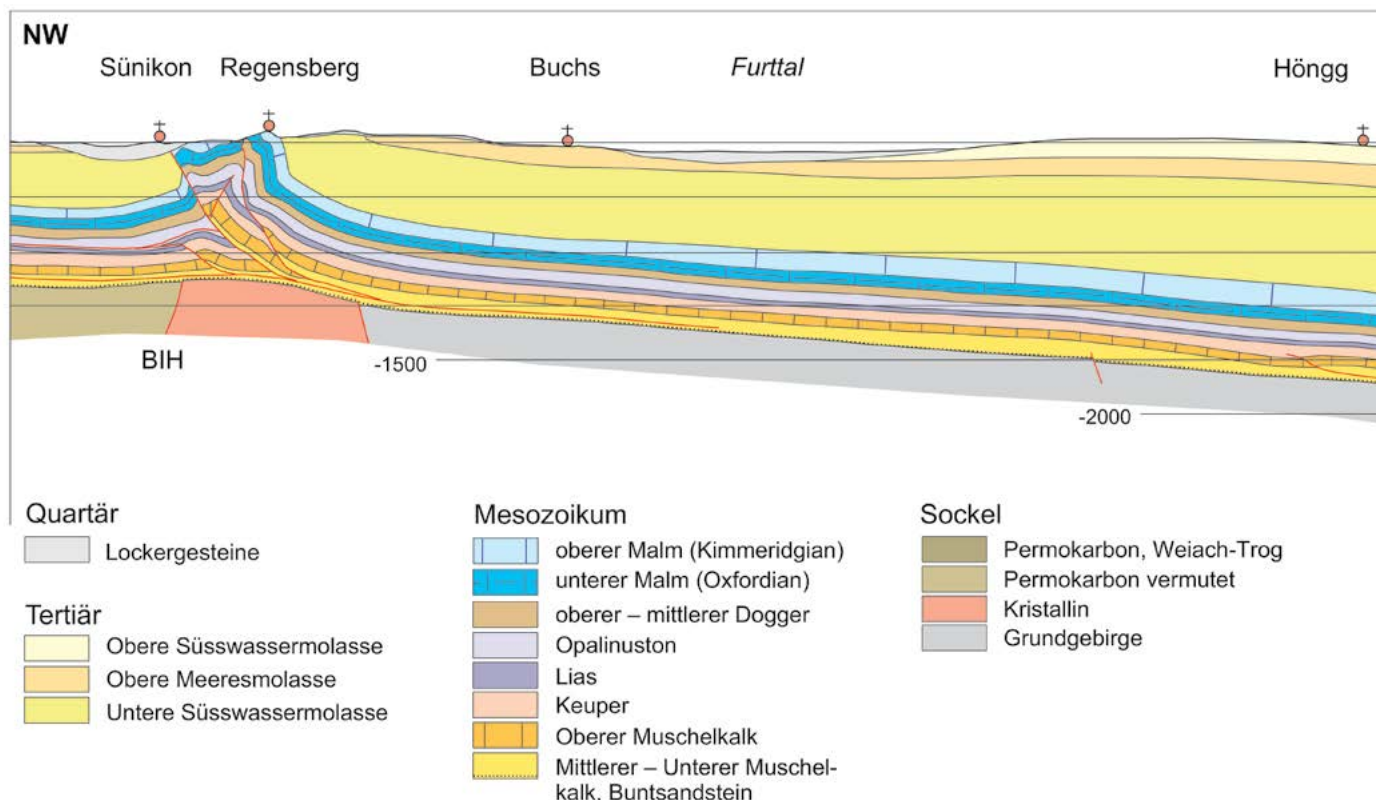


Abbildung 2: Geologisches Profil zwischen Lägern und Küsnacht (Quelle: Nagra, 2001).

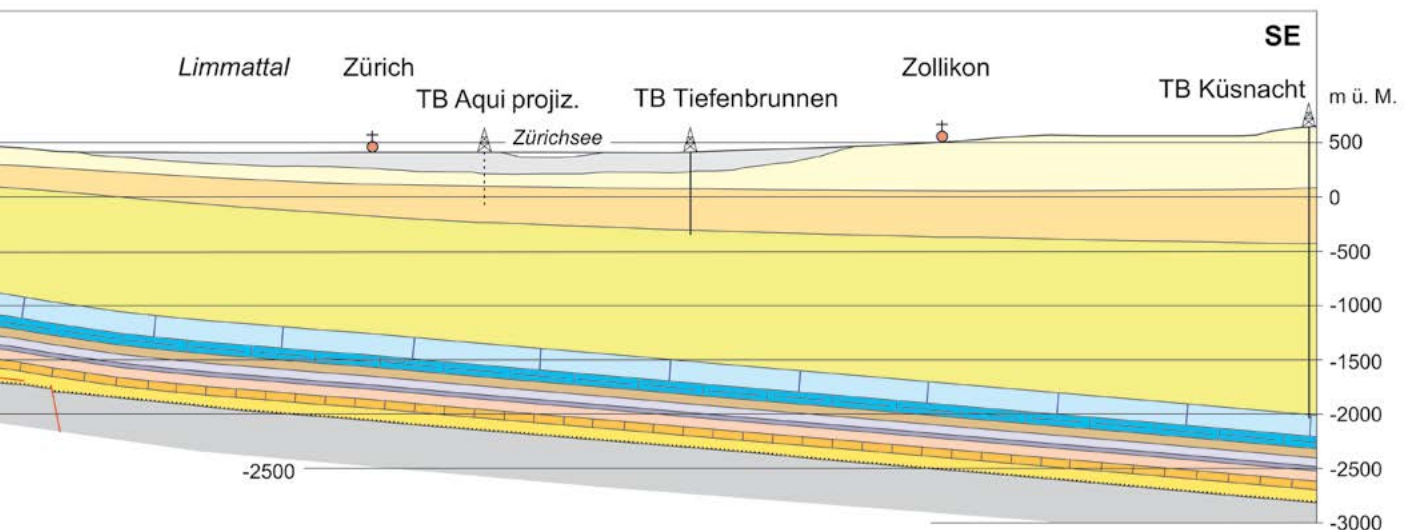
Umkreis von 25 Kilometern reicht keine der früheren Bohrungen bis in das kristalline Grundgebirge. Die Informationen über den geologischen Untergrund in Zürich basierten bis zur Erkundungsbohrung im Triemli-Quartier auf früheren Bohrungen sowie auf seismischen Erkundungen, die ausserhalb des Stadtgebiets von Zürich durchgeführt worden waren.

Die Stadt Zürich liegt im tektonisch ruhigen Gebiet des mittelländischen Molassebeckens, dessen Untergrenze von den Voralpen Richtung Norden kontinuierlich ansteigt (Abbildung 2). Der Untergrund lässt sich geologisch in vier Gesteinsformationen unterteilen:

- Die **quartäre Bedeckung** besteht aus einer Mischung aus Lockergesteinsablagerungen von Gletschern und Flüssen: Moränen, Kies, Sand, Ton und Lehm.
- Die Abfolgen der **tertiären Molasse** bestehen aus Konglomeraten, die von Nagelfluh über Sandsteinen bis zu feinen Tonen und Mergeln reichen. Dazwischen finden sich immer wieder kleine organische Einlagerungen und vereinzelte Kohleflöze,

die eine Ausdehnung von mehreren Metern haben können. Die Molasse ist das Sediment, das während der Alpenhauptfaltung abgelagert wurde.

- Das **mesozoische Deckgebirge** beginnt typischerweise mit dem so genannten Siderolithikum, das die verwitterte Oberfläche der marinen Schichten des Erdmittelalters darstellt. Diese marinen Schichten bestehen im oberen Teil mehrheitlich aus hellen Kalken. Die darunter liegenden Schichten setzen sich zusammen aus braunen Kalken, Mergeln, Sandsteinen und Tonen sowie aus Anhydrit und Dolomit. Die unterste Schicht ist typischerweise der Buntsandstein.
- Das **paläozoische Grundgebirge** bildet den Sockel und besteht aus feinkörnigen Biotit-Gneisen. Diese zeigen unterschiedlich starke Umwandlungen, die auf tektonische oder hydrothermale Beanspruchungen zurückzuführen sind. Ob es im Raum Zürich auch Permokarbon-Ablagerungen gibt, wie sie im nördlichen Mittelland verbreitet sind, ist aufgrund der vorliegenden Daten nicht bekannt.



4.3 Geschichte der Tiefengeothermie in der Schweiz.

Die heute hoch entwickelte Bohrtechnologie wurde zu einem grossen Teil von der Erdöl- und Erdgasindustrie entwickelt, die ihre Ressourcen in immer grösseren Tiefen erschliesst. In der Schweiz erforschen die Aktiengesellschaft für schweizerisches Erdöl (SEAG), Erdgasfirmen und weitere Interessierte das Staatsgebiet. Sie führten in den letzten 50 Jahren zahlreiche Bohrungen aus, die wichtige Informationen zur Geologie lieferten.

Eines der erfahrensten Unternehmen in Sachen Tiefenbohrungen in der Schweiz ist die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra). In den vergangenen 40 Jahren hat die Nagra den Untergrund mit zahlreichen Tiefenbohrungen erforscht und sich damit ein Fachwissen angeeignet, das bei Tiefengeothermie-Projekten wertvoll ist.

Dennoch steckt die Tiefengeothermie in der Schweiz noch in den Kinderschuhen. Sie wird bisher erst in

Riehen bei Basel in grösserem Rahmen hydrothermal genutzt. Das dort 1994 in Betrieb genommene geothermische Heizkraftwerk versorgt 180 Liegenschaften in der Schweiz sowie ein grosses Neubaugebiet im grenznahen Lörrach mit Energie.

In Weggis am Vierwaldstättersee wurde in den Jahren 1992 und 1993 nach Heisswasser in einer Tiefe von mehr als 2000 Metern gesucht. Die zahlreichen Untersuchungen in dieser Bohrung liessen den Schluss zu, dass es dort keine wasserführende Schicht gibt und die hydrothermale Nutzung daher nicht möglich ist. Das Bohrloch in Weggis konnte zur Installation einer tiefen Erdwärmesonde genutzt werden und versorgt seit dem Jahr 2000 bzw. 2001 44 Wohnungen und Büros sowie ein Gewerbe- und ein Einfamilienhaus mit Energie.

Als «Deep Heat Mining Basel» bekannt ist das Tiefengeothermie-Projekt in Kleinhüningen, das 2005 mit zwei Sondierbohrungen bis auf 2755 Metern Tiefe begann. Ziel des Projekts war die Entwicklung und der Bau eines geothermischen Heizkraftwerkes mit dem Hot-Dry-Rock-Verfahren. Die Pilotanlage sollte wichtige Erkenntnisse für spätere Projekte liefern. Das Projekt wurde von der Geopower Basel AG lanciert. An dieser beteiligten sich verschiedene Unternehmen und Energiedienstleister, darunter auch ewz. Experten versprachen sich vom Standort Basel aufgrund seiner besonderen tektonischen Lage eine erhöhte Wasserzirkulation im Gestein, die geothermisch genutzt werden könnte. In Kleinhüningen wurde 2006 eine Probebohrung bis auf 5000 Meter Tiefe ausgeführt. Anschliessend wurde Wasser unter hohem Druck in die Tiefenbohrung gepresst, um bestehende Klüfte zu erweitern und durchlässig zu machen. In der Folge kam es am 8. Dezember 2006 zu spürbaren seismischen Aktivitäten mit Magnituden bis maximal 3,4 auf der Richterskala. Diese und weitere geringere seismische Aktivitäten konnten dem Geothermie-Projekt zugeschrieben werden. Im Jahr 2007 wurde das Projekt deshalb vorübergehend eingestellt und im Jahr 2009 nach einer erneuten Prüfung definitiv gestoppt.

Schliesslich wurde während der Realisierung des Geothermieprojekts im Triemli-Quartier noch ein weiteres Vorhaben zur Nutzung der tiefen Erdwärme lanciert: Das St. Galler Stimmvolk gab am 28. November 2010 grünes Licht für ein Geothermieprojekt in der Stadt St. Gallen. Daneben waren auch an weiteren Standorten in der Schweiz Tiefengeothermieprojekte in Planung.

Aus tiefen Aquiferen stammt bisher nur ein halbes Prozent der gesamtschweizerischen geothermischen Wärmeproduktion von über 1950 GWh pro Jahr (Stand 2010).



Abbildung 3: Erkundungsbohrung Sonnengarten im Triemli-Quartier und bestehende Bohrungen im Kanton Zürich mit Tiefenangabe.

5 Ziel und Konzept der Erkundungsbohrung.

ewz beabsichtigte mit der Erkundungsbohrung, den Untergrund der Stadt Zürich zu erforschen und das Potenzial der Tiefengeothermie auf dem Stadtgebiet zu ermitteln. Die gewonnenen Erkenntnisse sollten helfen, die mögliche Rolle der Tiefengeothermie bei der künftigen Strom- und Wärmeproduktion zu klären.

Für die Erkundungsbohrung war eine Tiefe von etwa 3200 Metern geplant. Damit sollte die Bohrung gemäss geologischer Prognose das kristalline Grundgebirge erreichen. Das Bohrkonzzept (Abbildung 4) sah zwei Bohrungen, Doubletten-System, vor und wurde in folgende Phasen unterteilt:

- **Phase 1:** Mit einer Erkundungsbohrung und umfangreichen geologischen und hydrologischen Tests wird der Untergrund bis in das kristalline Grundgebirge untersucht. Sofern ausreichende wasserführende Schichten angetroffen werden, kann die Bohrung später im Rahmen einer geothermischen Doublette genutzt werden.
- **Phase 2:** Mit einer zweiten Bohrung werden die Erkenntnisse aus der ersten Bohrung validiert. Eine mögliche Nutzung der tiefen Erdwärme und die Erschliessung des Wärmepotenzials werden mit umfangreichen Zirkulationstests erforscht. Sofern die Wasserzirkulation ausreicht, kann diese Bohrung für eine geothermische Doublette verwendet werden.
- **Phase 3:** Bau einer Energiezentrale zur Produktion von Wärme.

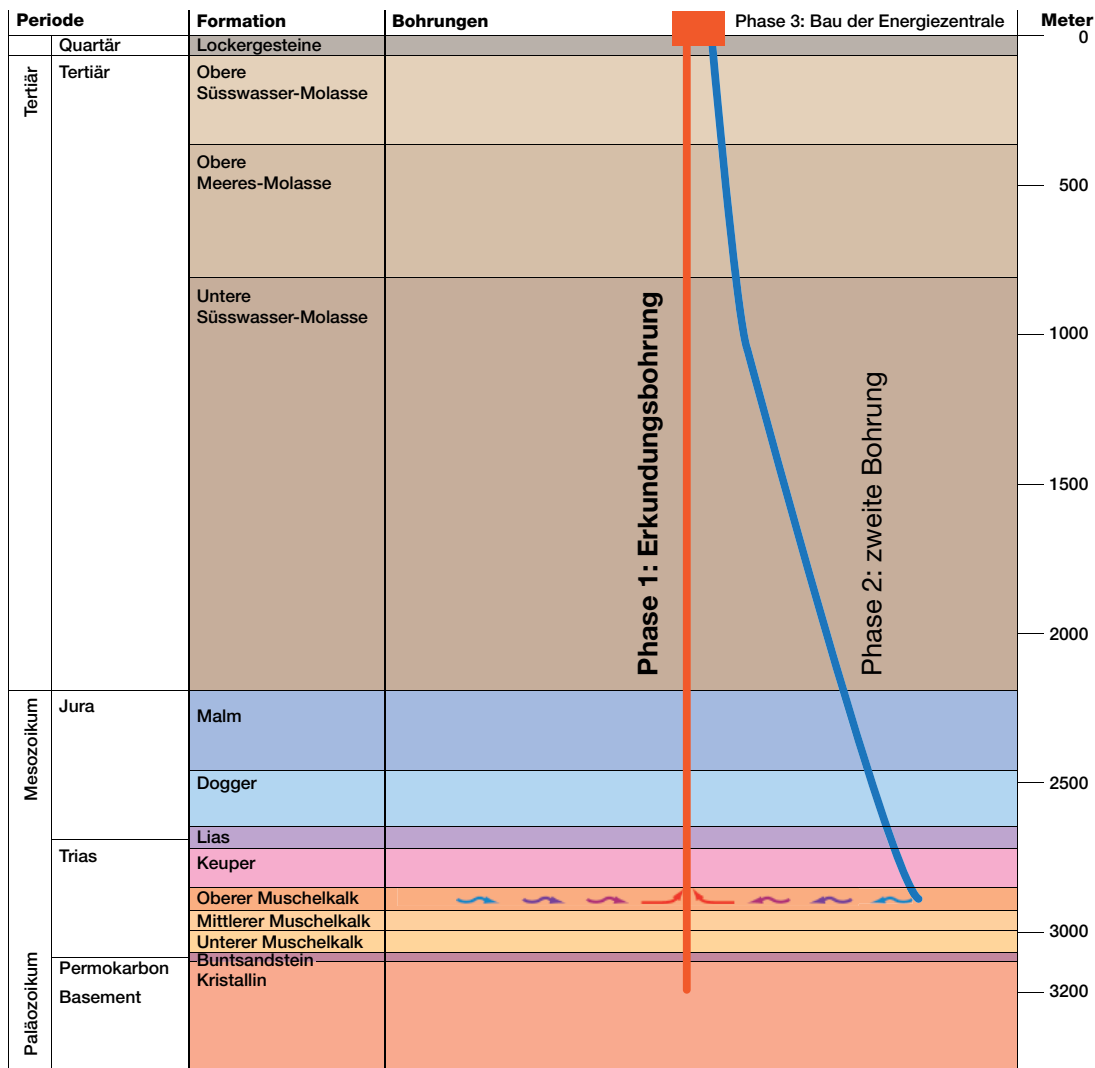


Abbildung 4: Geologische Prognose und Bohrkonzzept.

6 Besondere Herausforderungen.

Im Zusammenhang mit der Erkundungsbohrung im Triemli-Quartier gab es zahlreiche Herausforderungen. Die Wichtigsten sind im Folgenden kurz beschrieben.

- **Bohrplatz:** Die Suche nach einem Bohrplatz im dicht besiedelten Stadtgebiet war anspruchsvoll. Sehr positiv verlief die Zusammenarbeit mit der Baugenossenschaft Sonnengarten. Diese stellte ihr Grundstück im Triemli-Quartier für die Erkundungsbohrung zur Verfügung. ewz konnte so den zukünftigen Innenhof inmitten der Grossbaustelle für die neue Siedlung Triemli als Bohrplatz nutzen. Aufgrund der dicht besiedelten Umgebung musste den möglichen Beeinträchtigungen beispielsweise durch Lärm besondere Beachtung geschenkt werden.
- **Platzverhältnisse:** Weil der Bohrplatz in einem dicht besiedelten und befahrenen Gebiet sowie mitten in der Baustelle der BG Sonnengarten lag, mussten sämtliche Installationen so platzsparend wie möglich errichtet und betrieben werden. Dies forderte von allen Beteiligten eine exakte Planung, eine enge Zusammenarbeit, eine grosse Kompromissbereitschaft und einen nicht zu unterschätzenden Mehraufwand.
- **Zeitliche Abhängigkeiten:** Aufgrund des Bauprogramms der BG Sonnengarten stand der Bohrplatz nur für ein begrenztes Zeitfenster zur Verfügung. Der Fertigstellungstermin der Neubauten war für das 1. Quartal 2011 festgelegt. Gleichzeitig war das geeignete Bohrgerät nur begrenzt verfügbar. Dies erforderte eine exakte Terminplanung. Diese war besonders anspruchsvoll, weil der Projektverlauf von den Ergebnissen der ersten Bohrung abhing.
- **Rekrutierung des Fachpersonals:** Aufgrund der geringen Zahl von vergleichbaren Projekten in der Schweiz waren nicht genügend freie personelle Kapazitäten vorhanden, um eine solche Bohrung auszuführen und die nötigen Untersuchungen des Untergrundes vorzunehmen. In Anbetracht des Charakters des Projekts war der Einbezug vieler Fachleute insbesondere aus dem Ausland notwendig. Ein Überblick über die verschiedenen Fachgebiete zeigt die Vielschichtigkeit des Projekts: Projektmanagement, Bohrtechnik, Geologie, Logging, Hydrotesting, Spannungsmessungen, Wasserqualitätsanalysen, Felsmechanik, Simulation, Seismologie und Schallschutz.

- **Bewilligungsverfahren:** Die Erkundungsbohrung im Triemli-Quartier war die erste Geothermiebohrung in der Stadt Zürich, die bis in das Kristallin hinunter reichen sollte. Formal entsprach das Verfahren einem Baubewilligungsverfahren. Im Detail mussten jedoch die zuständigen Behörden erstmals definieren, welche Unterlagen dem Baugesuch beizulegen waren und welche kommunalen und kantonalen Instanzen das Gesuch zu genehmigen hatten.
- **Öffentlichkeitsarbeit:** Nach den Vorkommnissen beim «Deep Heat Mining»-Projekt in Basel und den Problemen beim Erdwärmesondenprojekt in Staufen (D), bei dem es zu massiven Schäden an Bauwerken kam, weil bei der rund 140 Meter tiefen Bohrung der Untergrund nach einem Grundwassereintritt aufquoll und sich der Boden in der Folge stark anhub, war die Bevölkerung neuen Bohrprojekten gegenüber teilweise sehr skeptisch eingestellt. Entsprechend herausfordernd war die Öffentlichkeitsarbeit.



7 Finanzierung und politischer Prozess.

Die Stimmbevölkerung verankerte am 30. November 2008 die Nachhaltigkeit und die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft in der Gemeindeordnung. Damit ist die Verpflichtung verbunden, die Energieversorgung langfristig – Zeithorizont 2050 – umwelt- und klimaverträglich zu gestalten. Mit Massnahmen zur Vermeidung von unnötigem Energie- und Stromverbrauch, zur Steigerung der Energieeffizienz sowie mit dem massiven Ausbau und der Förderung erneuerbarer Energien soll dieses Ziel erreicht werden.

Den Anstoss für die Vorabklärungen zur geothermischen Stromerzeugung gab die am 9. Juli 2003 von Ernst Danner (EVP) eingereichte Motion, GR Nr. 2003/281, die am 13. Juli 2005 vom Gemeinderat der Stadt Zürich an den Stadtrat überwiesen wurde. Sie verpflichtete den Stadtrat, eine Kreditschaffende Weisung auszuarbeiten, mit der die Vorbereitung eines Projektes zur geothermischen Stromerzeugung und Wärmenutzung finanziert wird. Am 17. Dezember 2008 bewilligte der Gemeinde-

rat für die Erkundung des Untergrundes der Stadt Zürich zur künftigen Geothermienutzung einen Objektkredit von 19.89 Mio. Franken und schrieb die Motion Danner damit ab. Das Pilotprojekt im Triemli-Quartier wurde als Erkundungsbohrung geplant.

Ende März 2009 konnte ewz die Kosten konkretisieren. Die politischen Gremien wurden darüber informiert. Die damalige Gemeinderätin Claudia Nielsen und zehn Mitunterzeichnende der Spezialkommission der Departemente Polizei, Tiefbau- und Entsorgung sowie Industrielle Betriebe reichten am 13. Mai 2009 die Motion GR 2009/196 zur Erhöhung des Objektkredites für eine zweite Bohrung und den Bau einer Energiezentrale ein. Die Motion verpflichtete den Stadtrat, eine Weisung für die vorsorgliche Erhöhung des Objektkredites für eine zweite Bohrung und den Bau einer Energiezentrale vorzulegen. Dies erfolgte mit der Weisung 388 für die Erhöhung des Objektkredites von 19.89 Mio. Franken um 18.81 Mio. Franken auf 38.7 Mio. Franken für eine zweite Bohrung zur Erforschung der tiefen Erdwärmenutzung und zur Erschliessung des Wärmepotenzials im Triemli-Quartier. Die Kompetenz zur Freigabe einer allfälligen zweiten Bohrung und für den Bau einer Energiezentrale wurde dem Stadtrat übertragen. Die Stimmberechtigten der Stadt Zürich, in deren Finanzkompetenz die Kreditbewilligung über 20 Mio. Franken fiel, stimmten am 29. November 2009 der Erhöhung des Objektkredites mit einem Ja-Stimmenanteil von 79 Prozent zu.



8 Projektierung.

8.1 Projektphasen.

Das Projekt wurde in vier zeitlich aufeinanderfolgende Lose aufgeteilt (Abbildung 5). Die Lose 1 und 2 enthielten Planung, Ausführung und Auswertung der ersten Erkundungsbohrung. Anhand der Resultate aus Los 2 wurde der Entscheid über die zweite Bohrung (Los 3) gefällt. Aufgrund der Resultate aus Los 3 sollte danach über den Bau einer Energiezentrale entschieden werden.



Abbildung 5: Geplante Projektphasen.

8.2 Bewilligungsverfahren.

Für die Erkundungsbohrung wurde ein ordentliches Bewilligungsverfahren durchgeführt. Die Unterlagen dazu wurden von ewz als Bauherrschaft und der BG Sonnengarten als Grundeigentümerin am 17. Dezember 2008 an das Amt für Baubewilligungen der Stadt Zürich eingereicht. Die Unterlagen enthielten erstens das Gesuch, eine Erkundungsbohrung auf ca. 3500 Meter abzuteufen, um die hydrogeologischen Verhältnisse im Untergrund zu erkunden. Zweitens enthielten die Unterlagen das Gesuch zur Erteilung der Konzession, auf dem betroffenen Grundstück Tiefengrundwasser zu entnehmen, um die umliegenden Liegenschaften mit Wärme zu versorgen. Die Unterlagen wurden

in Absprache mit folgenden Ämtern erstellt: Amt für Baubewilligungen der Stadt Zürich, das für oberirdische Belange zuständig ist, Umwelt- und Gesundheitsschutz der Stadt Zürich (UGZ), Entsorgung und Recycling Zürich (erz) sowie Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL), das für alle unterirdischen Belange verantwortlich ist. Das Gesuch enthielt auch einen Umweltverträglichkeitsbericht, der die vorgesehenen Massnahmen zum Schutz der Umwelt erläuterte. Eine eigentliche Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) wurde nicht durchgeführt, weil diese gemäss Umweltschutzgesetz nur für Anlagen zur Energiegewinnung mit einer Leistung von mehr als 5 MW verlangt wird.

Gegen das Projekt gingen zwei Einsprachen aus der Bevölkerung ein. Die eine wurde nach kurzen Verhandlungen vom Einsprecher zurückgezogen, die andere wurde von der Behörde abgewiesen.

Am 10. März 2009 erteilte das Amt für Baubewilligungen der Stadt Zürich die Bewilligung für die Geothermieranlage Sonnengarten im Triemli-Quartier mit insgesamt 32 Auflagen. Die Auflagen machten klare Vorgaben zu den einzelnen Umweltaspekten, insbesondere zu den Aspekten Schallschutz, Luftreinhaltung sowie Umgang mit Bohr- und Tiefenwasser. Weiter schrieben sie eine enge Zusammenarbeit mit den zuständigen Ämtern vor.

Aufgrund der eingereichten Unterlagen und auf Antrag der Baudirektion des Kantons Zürich beschloss der Regierungsrat am 8. Juli 2009, dem Gesuch von ewz und der BG Sonnengarten stattzugeben, unter der Bedingung, dass die 32 Auflagen des Amtes für Baubewilligungen der Stadt Zürich sowie 17 weitere Auflagen eingehalten werden. Letztere wurden vom AWEL ausgearbeitet und sollten sicherstellen, dass die Bohrung in enger Zusammenarbeit mit dem AWEL durchgeführt wird, dass allenfalls entnommenes Wasser wieder eingeleitet wird, dass die Vorgänge und die Verhältnisse im Untergrund durch Messungen überwacht werden, dass eine Alarmorganisation für unvorhergesehene Ereignisse erstellt wird und dass das Bohrloch nach Abschluss des Projekts – sofern es nicht genutzt wird – fachgerecht mit Zement verfüllt wird.

Die rechtsgültige Konzession erhielt ewz am 2. November 2009, nachdem das zuständige Gericht die verbleibende Einsprache abgewiesen hatte.

8.3 Umgang mit Risiken und Chancen.

8.3.1 Risikoanalyse.

In der Planungsphase identifizierten und analysierten die Projektverantwortlichen unter Beizug von externen Fachleuten, Fachberichten und Studien mögliche Risiken und erarbeiteten anschliessend geeignete Massnahmen zu deren Minimierung. Um der Grösse und Komplexität des Projekts Rechnung zu tragen, wurde systematisch ein dreistufiges Verfahren angewendet:

Stufe 1

Umfassende Identifizierung der Risiken.

In einem ersten Schritt erstellte die Expertenrunde eine Liste von Hauptkategorien. Zahlreiche Risiken wurden detailliert identifiziert und beschrieben (Tabelle 1). Mit dieser Liste wurde erreicht, dass die darin identifizierten Risiken im Projektverlauf überwacht wurden.

Stufe 2

Bewertung der Risiken.

Sämtliche Risiken wurden anschliessend hinsichtlich ihrer Eintretenswahrscheinlichkeit (W) und ihres Schadensausmasses (A) auf einer Skala von 1 bis 4 bewertet und mithilfe der Risikomatrix klassifiziert. Dabei wurde unterschieden zwischen tolerierbaren Risiken (Abbildung 6, grüner Bereich) und nicht tolerierbaren Risiken (Abbildung 6, roter Bereich). Als nicht tolerierbar eingestuft wurden Risiken mit einem Risikoindex ($A \times W$) grösser vier sowie alle Risiken mit katastrophalen Auswirkungen. Zu den Risiken im roten Bereich gehörten beispielsweise eine spürbare seismische Aktivität und ein Gasaustritt.

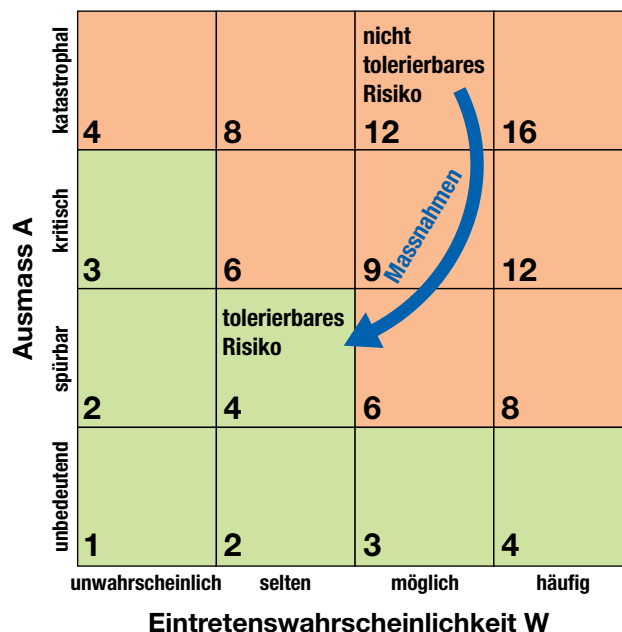


Abbildung 6: Risikomatrix.

Hauptkategorie	Beispiele identifizierter Risiken
Projekt	seismische Aktivitäten, Baustelle BG Sonnengarten
Management	Projektteam, Planung in Abhängigkeit vom Bohrfortschritt
Umwelt	Altlasten, Lärm, Staub, Gewässer, Gefahren aus dem Bohrloch
Verträge	Bewilligungen, Vorschriften
Termine	Genehmigungsverfahren, Bohrfortschritt, Verzögerungen
Kosten	Störungen, Unvorhergesehenes
Geologie	Stabilität Untergrund, Erdgas, Schichtabfolge und -dicke
Ausführung	Arbeitsschutz, Bohrplatz, Bohrung, Messungen

Tabelle 1: Identifizierte Risiken, Hauptkategorien und Beispiele.

Stufe 3

Erarbeiten von Massnahmen.

Gestützt auf diese Klassifizierung wurden mit ausgewiesenen Fachleuten Massnahmen erarbeitet, um die nicht tolerierbaren Risiken auf ein tolerierbares Niveau zu reduzieren. Die Erarbeitung und Bewertung der Massnahmen fand in einem kontinuierlichen Prozess statt, d.h. die Massnahmen und deren Wirksamkeit wurden laufend überwacht und gegebenenfalls angepasst. So wurde sichergestellt, dass sämtliche Risiken stets auf einem tolerierbaren Niveau blieben.

Mit dem Risiko «Reklamationen wegen Lärmbelästigung» wurde beispielsweise folgendermassen umgegangen: Erstens wurden direkt aus den Auflagen der Bewilligung (Einhalten der Schallgrenzwerte) konkrete Massnahmen abgeleitet. Diese bestanden hauptsächlich darin, möglichst emissionsarme Geräte zu verwenden und lärmproduzierende Anlagen einzuhausen. Zweitens erarbeitete ewz ein umfassendes Kommunikations- und Informationskonzept, um die Akzeptanz der Bohrung bei der Bevölkerung und die Toleranz gegenüber der Lärmbelastung

zu erhöhen. Es wurde eine Hotline eingerichtet, die Beschwerden, beispielsweise wegen Lärm, rund um die Uhr entgegennahm. Die Hotline stellte sicher, dass auf konkrete Anfragen gegebenenfalls direkt reagiert wurde, z. B. durch Ausschalten einer Maschine.

8.3.2 Nutzung der Chancen.

Analog zu den Risiken wurden auch die Chancen des Projekts umfassend identifiziert, um sie gezielt zu nutzen. Die grössten Chancen waren Folgende:

- Es werden wertvolle neue Erkenntnisse über den Untergrund von Zürich gewonnen.
- Das Projekt liefert wichtige Informationen für weitere geothermische Anwendungen.
- Bei professioneller Realisierung und guter Kommunikation bietet sich die Chance, die Akzeptanz der Geothermie deutlich zu erhöhen, was künftigen Projekten zugutekommen wird.
- Falls eine Nutzung der tiefen Erdwärme realisiert werden kann, lassen sich durch die Einsparung von Heizöl CO₂-Emissionen von rund 2000 Tonnen pro Jahr vermeiden.



9 Erstellung des Bohrplatzes.

Die Erstellung des Bohrplatzes inmitten der Grossbaustelle der BG Sonnengarten war komplex und aufwändig. Gebaut werden mussten: ein tragfähiger Asphaltplatz, die beiden Bohrkeller für die zwei Bohrungen sowie diverse Sockel für schwere Installationen. Die Arbeiten begannen im März 2009 und dauerten rund sechs Monate.

Die Unternehmung, die durch eine Ausschreibung ermittelt wurde, war auch von der BG Sonnengarten beauftragt, die Tiefbauarbeiten für die Neubauten zu erbringen. Somit war in dieser Phase nur eine Bauunternehmung auf der Baustelle tätig. Dies hatte den Vorteil, dass sich die Abstimmung und Koordination der verschiedenen Tätigkeiten einfacher gestaltete. Der Auftrag an die Unternehmung war, den Untergrund unter Berücksichtigung der Fundamente der umliegenden Gebäude zu stabilisieren und den Bohrplatz bereitzustellen.

9.1 Stabilisierung des Untergrunds und Fundation.

Der Untergrund des Bohrplatzes besteht hauptsächlich aus Uetliberglehm. Die Ablagerungen aus tonigem Silt und tonig-siltigem Feinsand haben eine Mächtigkeit von bis zu 30 Metern und sind ein schlecht tragfähiger und instabiler Baugrund. Aus diesem Grund wurden Stabilisierungsschichten aus Kies eingebracht. Der Untergrund wurde ausserdem mit einer zusätzlichen Zementschicht verfestigt, bevor eine Deckschicht aus Asphalt aufgetragen werden konnte. An einigen Stellen mussten Böschungen durch Pfahlwände oder Spundwände ersetzt werden, um die Nutzfläche des Bohrplatzes zu erhöhen. Um das Gewicht der Bohranlage abzufangen, mussten die Lastpunkte der Bohranlage und anderer schwerer Bauteile mit Pfählen gestützt werden. Teile der Fundamente der Neubauten wurden geändert, damit sich der Bohrplatz ins Projekt integrieren liess.

9.2 Logistik.

Angesichts der engen Platzverhältnisse auf dem Bohrplatz und in dessen nächster Umgebung (Abbildung 7) musste die Logistik optimal auf die späteren Material- und Energieflüsse der Baustelle und des Bohrplatzes abgestimmt werden. Dazu wurden folgende Massnahmen umgesetzt:

- Alle Parteien hatten sich strikte an die geplante Raumaufteilung gemäss Abbildung 8 zu halten. Am Rand des Innenhofs wurde ein Rundkurs angelegt, auf dem auch die grössten Betonelementtransporter ohne lenkbare Hinterachse verkehren konnten (gelb). Für die Bohranlage stand ewz ein Feld von 30 x 25 Metern (blau) zur Verfügung.
- Das Bohrunternehmen richtete ein externes Materiallager ein, da immer nur das gerade notwendige Material auf dem Platz deponiert werden konnte.

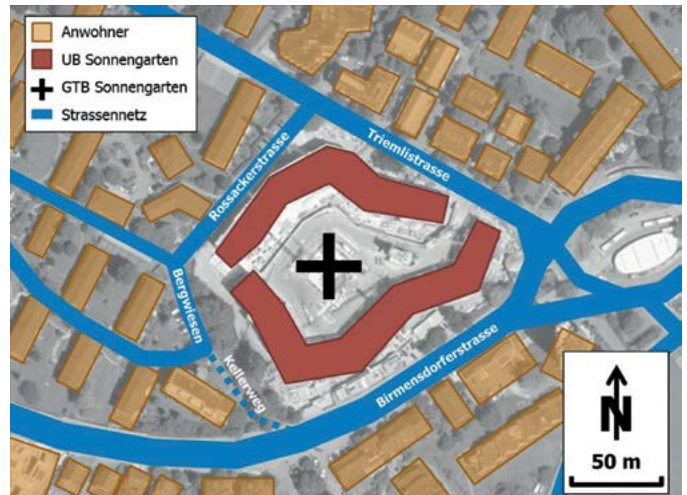


Abbildung 7: Situation der Erkundungsbohrung Sonnengarten im Triemli-Quartier inmitten eines bewohnten Gebietes.



Abbildung 8: Baustellenübersicht der Liegenschaft Triemli der BG Sonnengarten. blau: Bohrplatz, gelb: Rundkurs, grün: Baukran und Betonmischanlage der Bauunternehmung.

- An- und Wegtransporte verliefen nach striktem Plan, um Konflikte und Platzbedarf zu minimieren. Absolute Priorität hatte der Transport des Kieses, das zur Betonherstellung vor Ort benötigt wurde. Der Bohrunternehmer hatte seine Transporte zwingend mit dem Bauunternehmen zu koordinieren.
- Die einzelnen Komponenten der Bohranlage wurden so dicht wie möglich nebeneinander aufgestellt. Dies erwies sich als besonders anspruchsvoll, weil sämtliche lärmemittierenden Einheiten mit Schallschutzwänden eingehaust werden mussten.
- Der gesamte Bohrplatz wurde mit einem Gefälle von 2 Prozent erstellt, damit Abwässer abfließen und an einem Ort gesammelt werden konnten.

9.3 Energie- und Wasserversorgung.

Stromversorgung.

Die Stromversorgung war von zentraler Bedeutung, insbesondere weil die Bohranlage mit Strom statt wie sonst üblich mit Dieselaggregaten betrieben wurde. Die Infrastruktur für die Bohrung wurde mit Strom ab Netz von ewz versorgt. Aufgrund der hohen Anschlussleistung wurde Mittelspannung von 20'000 Volt gewählt. Dazu wurde ein etwa 950 Meter langes Mittelspannungskabel zum nächstmöglichen Verteilkasten verlegt. Dieses konnte im Anschluss an die Bohrung im Zusammenhang mit dem Ausbau und der Sanierung des Stadtspitals Triemli weiter verwendet werden. Auf eine Notstromanlage wurde verzichtet; im Falle eines Stromausfalls wäre die Bohrung stillgestanden.

Wasserversorgung.

Der grösste Teil des Frischwassers wurde für die Spülung des Bohrlochs benötigt. Die Wasserversorgung wurde so ausgelegt, dass plötzliche Spülverluste innerhalb des Bohrlochs rasch kompensiert und damit ein Abfall des Innendrucks im Bohrloch vermieden werden konnten. Ein solcher Druckabfall hätte zum Zusammenbruch des Bohrlochs führen können. Darüber hinaus gab es zahlreiche kleine Frischwasserverbraucher auf dem Bohrplatz. Das Frischwasser wurde aus der Hauptwasserversorgungsleitung in der Triemlistrasse bezogen. Die Installation war in der Lage, bis zu 100 m³ pro Stunde zuzuführen. Der effektive Verbrauch im Normalbetrieb lag bei etwa 6 m³ pro Stunde.





10 Erste Erkundungsbohrung.

10.1 Organisation.

Bauherr der Erkundungsbohrung im Triemli-Quartier war ewz als eine Dienstabteilung des Departements der Industriellen Betriebe der Stadt Zürich.

Die Suche nach einem Bohrunternehmer war anspruchsvoll und erfolgte unter enormem Zeitdruck, weil Bohranlagen üblicherweise Monate im Voraus reserviert werden müssen. Trotz dieser Schwierigkeiten und der engen Platzverhältnisse konnte mittels zweistufigem Ausschreibungsverfahren eine Bohrunternehmung gefunden werden. Diese hatte ihrerseits eine Reihe von Subunternehmern unter Vertrag. Für deren Führung und für die Qualität der erbrachten Leistungen trug die Bohrunternehmung die Verantwortung.

Neben der Bohrunternehmung und ihren Subunternehmern wurde eine Vielzahl von Fachleuten eingesetzt. Diese übernahmen insbesondere die physikalischen Messungen, die Probenahmen, die Auswertung sowie die Überwachung der Ausführung. Abbildung 9 gibt eine Übersicht über die Projektbeteiligten während der Ausführung der Bohrung. Daraus lässt sich erkennen, wie viele verschiedene Schnittstellen, Bedürfnisse und Ansprüche es zu beachten galt.

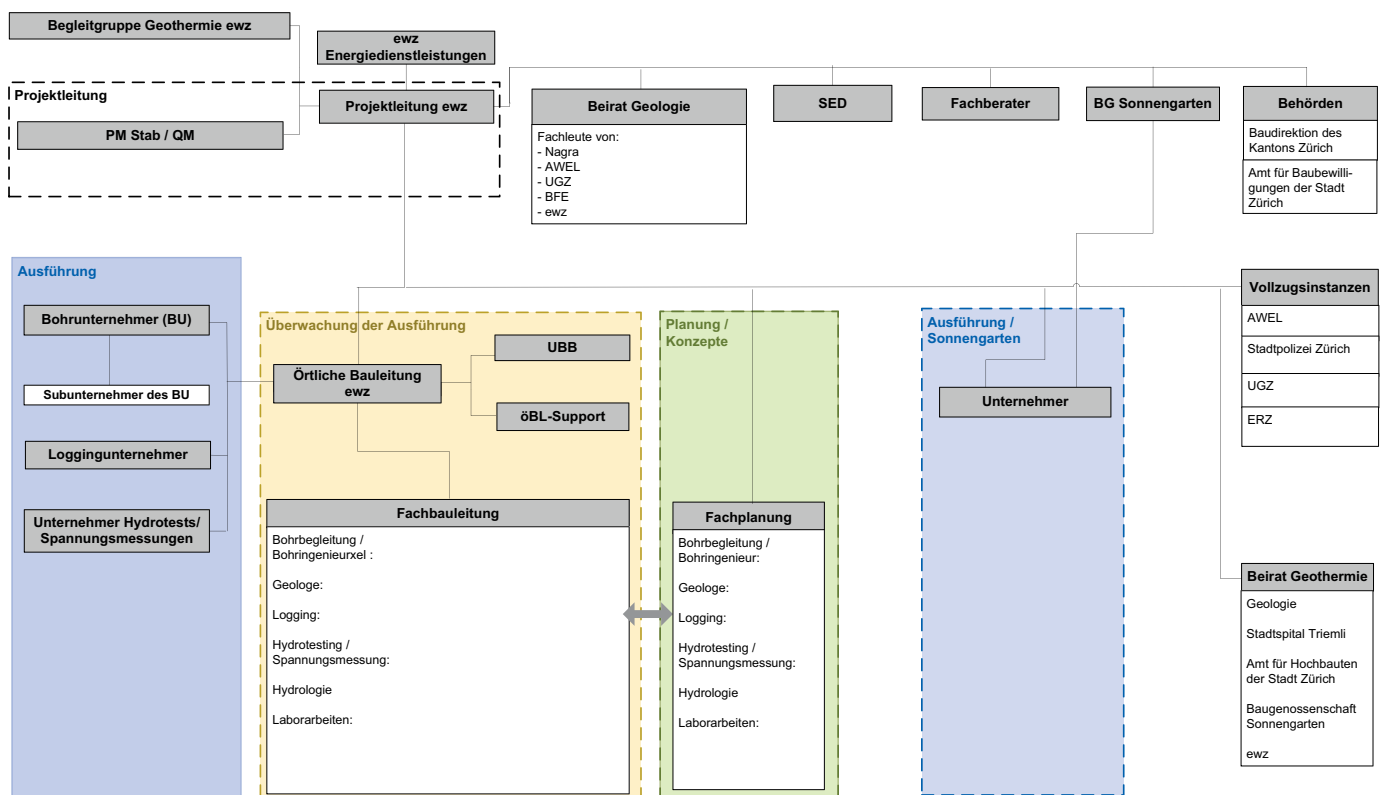


Abbildung 9: Organisation der Erkundungsbohrung Sonnengarten im Triemli-Quartier. PM: Projektmanagement, QM: Qualitätsmanagement, UBB: Umweltbaubegleitung, öBL: örtliche Bauleitung, Nagra: Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, AWEL: Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, UGZ: Umwelt- und Gesundheitsschutz Stadt Zürich, BFE: Bundesamt für Energie, SED: Schweizerischer Erdbebendienst, ERZ: Entsorgung & Recycling Zürich.

10.2 Termin- und Ablaufplanung.

Aufgrund der bereits erwähnten Gegebenheit, dass die Bohranlage inmitten der Baustelle der BG Sonnengarten platziert wurde, musste die Terminplanung eng mit dem Neubauprojekt der Baugenossenschaft abgestimmt werden. Die Zeitfenster waren vorgegeben und mussten unbedingt eingehalten werden. Demgegenüber war das geeignete Bohrgerät nur begrenzt verfügbar. Die Termin- und Ablaufplanung war demzufolge sehr anspruchsvoll. Aktivitäten, die nicht in direktem Bezug zur Baustelle standen, wurden frühzeitig ausgeführt, so dass beim Eintreffen der Baubewilligung sofort mit der Erkundungsbohrung gestartet werden konnte. Anhand der Resultate aus den verschiedenen Losen wurde das Vorgehen und der weitere Projektablauf definiert

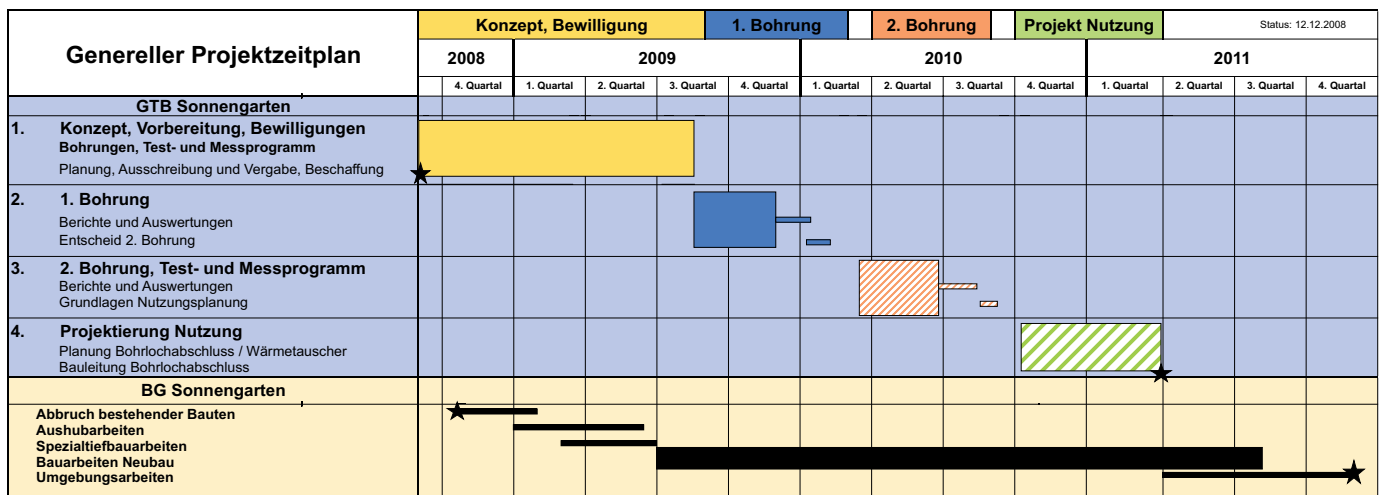


Abbildung 10: Projektzeitplan.

10.3 Bohranlage und Bohrverfahren.

Ab dem 4. September 2009 wurden die Hilfseinrichtungen auf den Bohrplatz geliefert. 46 LKW-Transporte waren dazu notwendig, davon vier Schwertransporte mit Begleitfahrzeugen.

Für die Erkundungsbohrung wurde eine Bohranlage Drillmec HH300 City Rig eingesetzt. Diese ist wie folgt aufgebaut (Abbildung 11): Das Herzstück der Anlage ist der Bohrmast ①. Mit dem kleinen blauen Kran werden das Bohrgestängemagazin ② be- und entladen sowie Lasten, wie z. B. der Meissel, auf den Bohrtisch befördert. Der Topdrive fährt dem Bohrmast entlang; er trägt und dreht die Bohrstangen und die Bohrgarnitur und wird von einer schallgedämmten Hydraulikeinheit ③ angetrieben. Angrenzend an den Bohrmast sowie das Gestängemagazin befindet

sich die Steuerkabine (Doghouse) ④ der Bohranlage. Mast und Topdrive haben eine maximale Traglast von 272 Tonnen, was eine maximale Bohrtiefe von 4000 Metern erlaubt. Das Bohrgestänge wird aus rund neun Meter langen Stahlrohren zusammengeschaubt. Für die vorgesehene Endtiefe von 3200 Metern brauchte es also rund 350 Stangen. Sofern die Bohrstangen nicht im Bohrloch sind, werden sie im Bohrgestängemagazin gelagert, das sich vor dem Bohrtisch befindet. Um einen abgenutzten oder defekten Bohrmeissel auszuwechseln, wird das gesamte Gestänge aus dem Bohrloch herausgezogen, zerlegt und in das Magazin gestellt.



Abbildung 11: Verwendete Bohranlage Drillmec HH300 City Rig im Aufbau.

Für die Erkundungsbohrung wurden Rollenmeissel und PDC-Meissel (Polycrystalline Diamond Compact) verwendet wie in Abbildung 12 dargestellt. Ein Rollenmeissel besteht üblicherweise aus drei Rollen, die mit Hartmetallzähnen oder Warzen aus Hartmetall oder synthetischem Diamant bestückt sind. Diese brechen grössere und kleinere Splitter, so genanntes Bohrklein, aus dem Gestein heraus. PDC-Meissel besitzen keine Rollen und die Kanten sind mit Zähnen aus Diamant verstärkt.

Die beschriebenen Meissel-Typen finden unterschiedliche Verwendung. Für grosse Bohrdurchmesser in weicherem Gestein werden Rollenmeissel eingesetzt, für kleinere Durchmesser in härterem Gestein eher PDC-Meissel.

Es gibt verschiedene Bohrverfahren. Bei der Tiefenbohrung im Triemli-Quartier wurde die Spülbohrung angewendet. Wesentlicher Bestandteil dieses Verfahrens ist die Bohrspülung. Sie erfüllt mehrere Zwecke:

- Sie spült das Bohrklein vom Meissel weg zur Oberfläche hoch.
- Sie kühlt und schmiert den Meissel und verhindert dadurch, dass er sich zu rasch abnutzt.
- Mit ihrer relativ hohen Dichte übt sie einen gewissen Druck aus auf das umgebende Gestein im Bohrloch. So hilft sie, das Bohrloch so lange zu stabilisieren, bis eine Verrohrung eingesetzt wird, die diese Funktion übernimmt.

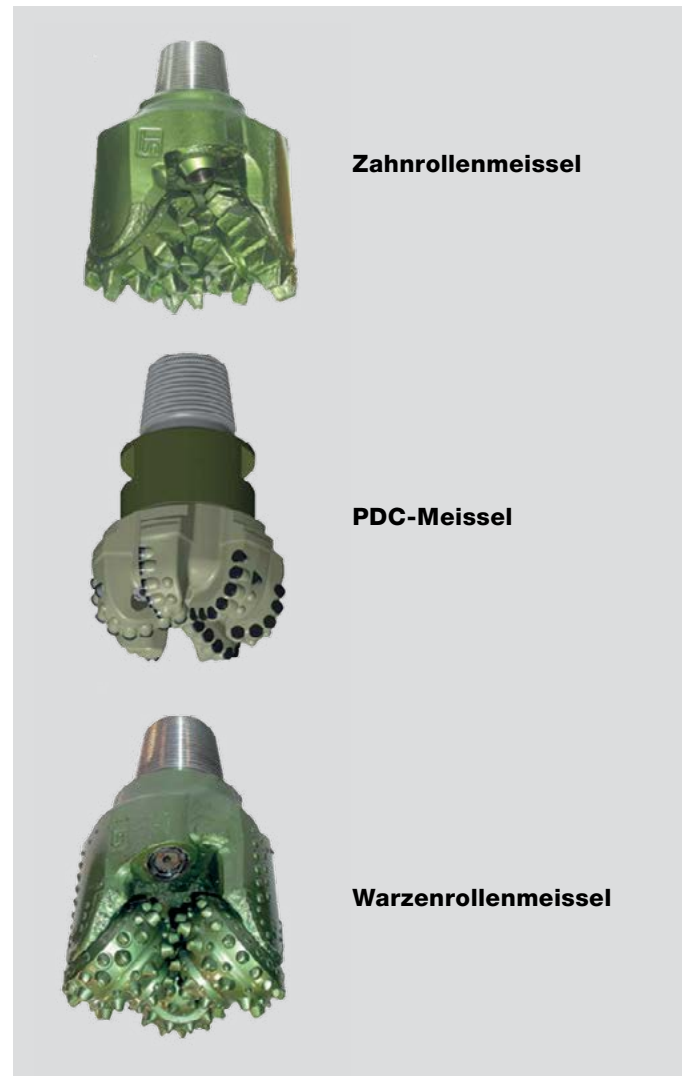


Abbildung 12: Verschiedene Typen von Bohrmeisseln (Quelle: Smith).

Die Spülflüssigkeit wird durch das Bohrgestänge (**A** in Abbildung 13) zum Bohrmeissel hinuntergepumpt und tritt durch spezielle Düsen im Meissel aus **B**. Hier vermischte sie sich mit dem Bohrklein und steigt im Hohlraum zwischen Bohrgestänge und Bohrlochwand wieder zur Erdoberfläche hoch **C**. In der schallgedämmten Aufbereitungsanlage **D** wird das Bohrklein aus der Spülung herausgefiltert. Vom Bohrklein werden Proben entnommen, um das Gestein zu bestimmen und bei Bedarf genauer zu untersuchen. Anschliessend wird das übrig bleibende Bohrklein entsorgt. Die aufbereitete Spülflüssigkeit wird mit der schallgedämmten Pumpenanlage **E** wieder in den Kreislauf eingespeist.

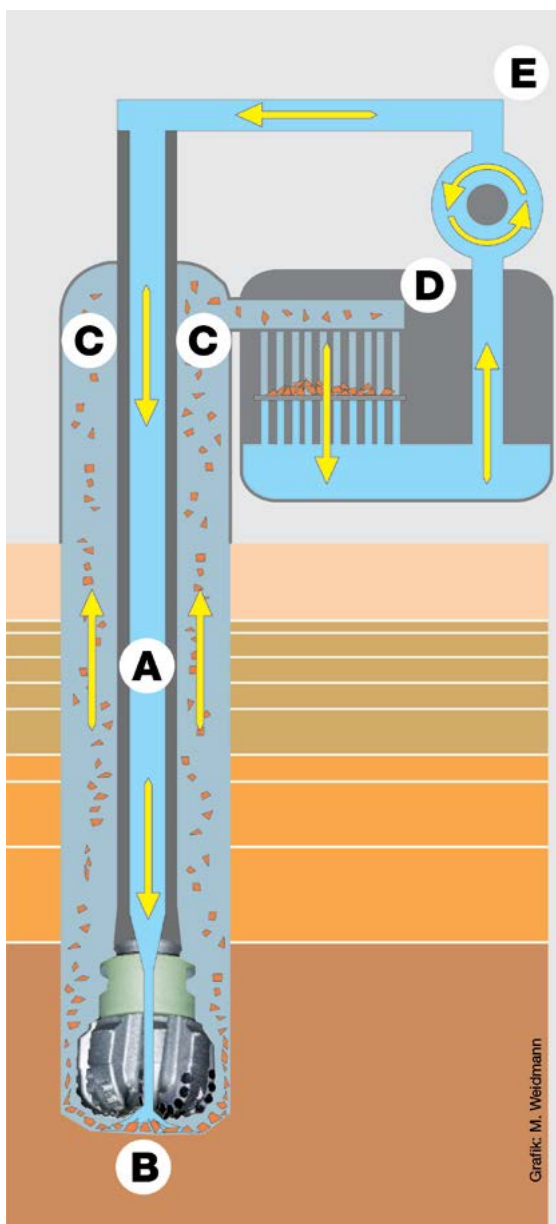


Abbildung 13: Kreislauf der Bohrspülung (vereinfacht).

10.4 Auflagen aus der Bewilligung.

Die in der Bewilligung enthaltenen 49 Auflagen mussten meist vor und teilweise während der Bohrung erfüllt werden. Die meisten davon betrafen Erschütterungen, die Luftreinhaltung, den Lärm- und Grundwasserschutz oder die Entsorgung. Die aus den Auflagen abgeleiteten Massnahmen wurden in enger Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden geplant und umgesetzt. Die folgende Aufstellung zeigt, wie mit den zentralen Themen umgegangen wurde:

Erschütterungen.

- Überwachung: Die Bohrung wurde mittels dreier oberflächennaher Sensoren und einem Sensor in 250 Metern Tiefe im Umkreis der Bohrung dauernd durch den Schweizerischen Erdbebendienst überwacht. Hätte die seismische Aktivität den in der Bewilligung festgesetzten Wert von einer Magnitude 2,2 auf der Richterskala erreicht, hätten die Bohrarbeiten unterbrochen werden müssen. Bei Erschütterungen in diesem Bereich, die für den Menschen nicht wahrnehmbar sind, sind weder Personen- noch Sachschäden zu erwarten.
- Rissprotokolle: Der Zustand der Gebäude in der näheren Umgebung wurde bezüglich vorhandener Risse in den Mauern vor der Bohrung in so genannten Rissprotokollen festgehalten. Während der Bohrung fanden regelmässig optische Kontrollen der Gebäude statt, um festzustellen, ob sich durch die Bohrung etwas verändert hatte.
- Information: Die Bevölkerung wurde umfassend über die Bohrtechnik und die Sicherheitsmassnahmen informiert. Weiter hatte sie die Möglichkeit, sich bei Auffälligkeiten via 24-Stunden-Hotline zu melden.

Luftreinhaltung.

- Gasaustritte: Die Bohrung wurde kontinuierlich mit einer Gaswarnanlage überwacht, die bei Gasvorkommen sofort ein akustisches und optisches Signal auslöst. Für die sofortige Verbrennung von austretendem Gas war eine Fackel installiert. Die Bohrung war ausserdem mit einem so genannten Blowout-Preventer ausgerüstet; dieser ermöglicht es, das Bohrloch bei einer Gefährdung sofort dicht zu verschliessen.
- Personensicherheit: Austretende flüchtige Kohlenwasserstoffe oder giftiger Schwefelwasserstoff (H_2S) stellen ein Risiko für das Baustellen- bzw. Bohrpersonal dar. Sämtliche auf der Baustelle anwesenden Personen wurden deshalb geschult, wie sie sich bei einem Gasalarm zu verhalten hatten.
- Abgase: Alle Fahrzeuge mit Dieselmotoren mussten mindestens der Norm Euro IV genügen. Baumaschinen mit einer Leistung von mehr als 18 kW waren mit Partikelfilter auszurüsten. So musste der Bohrunternehmer beispielsweise das Abgassystem seines Radladers mit einem entsprechenden Partikelfilter aufrüsten.

Lärmschutz.

- **Eindämmung von Lärmquellen:** Die Vorgabe, den Grenzwert für den maximalen Schallpegel von 36 dB(A) in der Nacht einzuhalten, erforderte enorme Anstrengungen. Der Wert musste beim nächstgelegenen Schlafzimmerfenster einer betroffenen Person ermittelt werden. Die Bohranlage wurde für den Betrieb in bewohntem Gebiet optimiert, indem geräuscharmere hydraulische Motoren anstelle von Elektromotoren verwendet wurden. Die Energiezufuhr für die Bohranlage wurde direkt ab städtischem Stromnetz sichergestellt; dadurch konnte auf die sonst üblichen lärmigen Dieselmotoren verzichtet werden. Der Bohrunternehmer musste ausserdem alle schallintensiven Anlage-teile wie Hydraulikpumpen, Spülpumpen und Schüttelsiebe mit Schallschutzwänden einhausen.

Auch die Zentrifugen, welche die Spülung von den restlichen Feststoffen wie feinem Sand trennten, hatten erhöhte schalltechnische Anforderungen zu erfüllen.

- **Überwachung:** Vor der Bohrung wurde die Lärmbelastung durch Umgebungsgeräusche wie Strassenlärm, Bachrauschen etc. im Quartier ermittelt. Während der Bohrung wurde die Lärm-situation mit drei Schallmessungen in der Um-gewung ständig überwacht. Zusätzlich fanden für ausgewählte Prozesse wie beispielsweise Pump-versuche gezielte Einzelmessungen statt.
- **Information:** Der Bevölkerung stand eine 24-Stun-den-Hotline zur Verfügung, an die sie Beschwer-den richten konnte. Bei Bedarf wurde eine ent-sprechende Reaktion beim Bohrteam ausgelöst.



Grundwasserschutz/Abwasser.

- Abwasserbehandlung Oberflächenwasser: Alle anfallenden Abwässer des Bohrplatzes wurden über den geneigten Platz abgeleitet, durch ein Absetzbecken und einen Ölabscheider geführt und anschliessend in die Baustellenentwässerung des Bauunternehmers eingeleitet. Die Abwasserentsorgung musste nicht für den Spitzenwert von 100 m³ pro Stunde dimensioniert werden, da so viel Frischwasser nur bezogen worden wäre, wenn ein Spülungsverlust stattgefunden hätte.
- Umgang mit Tiefengrundwasser: Wäre durch die Bohrung eine kleine Menge Tiefengrundwasser an die Oberfläche getreten, wäre dieses in ein Abkühlbecken geleitet und untersucht worden. Tiefengrundwasser ist häufig stark mineralisiert. Je nach Qualität wäre es entsprechend behandelt worden. Bei grösseren Mengen, die anlässlich von Pumpversuchen gefördert worden wären, war vorgesehen, das Tiefengrundwasser in Auffangbecken zu leiten und via Saugwagen zu entsorgen.

Entsorgung der Feststoffe.

- Bohrklein: Das Bohrklein machte den überwiegenden Teil der anfallenden Feststoffe aus. Direkt auf dem Bohrplatz wurden die Feststoffe mittels Schüttelsieb, Desander, Desilter und einer Zentrifuge entwässert. Nach der Probenentnahme durch den Geologen wurden sämtliche Feststoffe per Lastwagen zur Einlagerung auf eine Deponie gebracht. Aufgrund der Feiertage und des Sonntagsfahrverbots für Lastwagen waren während dieser Zeit grosse Behälter zur Zwischenlagerung auf dem Bohrplatz notwendig.
- Andere Feststoffe: Wertstoffe wurden getrennt gesammelt und wiederverwertet. Weitere Feststoffe wie normaler Kehricht usw. wurden über den Muldenservice entsorgt.

10.5 Sicherheit.

Die Sicherheit war ein sehr wichtiges Thema bei dieser Erkundungsbohrung. Viele Auflagen betrafen die im vorangehenden Kapitel beschriebenen Umweltbelange und die Personensicherheit. Die wesentlichen Sicherheitselemente, die nicht vorgängig schon beschrieben wurden, werden nachfolgend erläutert.

Der Zutritt zum Bohrplatz wurde von einer Sicherheitsfirma strikte kontrolliert. Tagsüber wurden sämtliche Personen, die Zutritt zum Areal verlangten, von der Sicherheitsfirma überprüft und – falls sie eine Bewilligung besaßen – der zuständigen Person auf der Baustelle oder dem Bohrplatz zugewiesen. Verlangten Personen ohne Bewilligung Zutritt, gab es eine Meldung an den Bohrbetriebsleiter, den Toolpusher. Nachts fand keine Überwachung durch die Sicherheitsfirma statt, da das Tor zum Areal dann geschlossen war. Während des Bohrens herrschte ein 7 x 24-Stunden-Betrieb; entsprechend waren die Anlagen immer besetzt und hätten vor unberechtigtem Zutritt geschützt werden können. Die Ausnahme bildete die Auf- und Abbauphase der Bohranlage. In dieser Zeit führten die Sicherheitskräfte in der Nacht und am Wochenende Rundgänge durch. Mit der Zutrittskontrolle konnten Unfälle, Zwischenfälle und Vandalismus wirksam verhindert werden. Es war zu jeder Zeit bekannt, wie viele Personen sich auf dem Areal befanden. Alle zutrittsberechtigten Personen wurden mit Sicherheitsmaterial wie beispielsweise Helmen ausgerüstet.

Die technische Sicherheit sämtlicher Anlagen auf dem Bohrplatz wurde durch Abnahmen nach deutschem Bergrecht überprüft sowie durch regelmässige Sicherheitsrundgänge überwacht. Weil die Platzverhältnisse sehr eng waren, verschiedene Vorgänge wie z. B. die Lagerung des schweren Bohrgestänges bezüglich Personensicherheit anspruchsvoll waren und ständig ein reger Materialtransport stattfand, hatten die konsequente Einhaltung der Sicherheitsregeln und generell eine vorsichtige Arbeitsweise oberste Priorität. Entsprechend wurde die Arbeitssicherheit an Sitzungen regelmässig thematisiert und permanent überwacht. Dem Einsatz jedes einzelnen Projektbeteiligten ist es zu verdanken, dass es zu keinen Personenunfällen kam.

Zentral war, dass sämtliche Mitarbeitenden auf dem Areal ausgebildet waren, wie sie sich bei einem Alarm aufgrund von Gasaustritt oder seismischer Aktivität zu verhalten hatten. Mit den zuständigen Stellen, insbesondere mit der Feuerwehr, wurde ein präzises Konzept erstellt, das einen sofortigen qualifizierten Einsatz und professionelle Hilfe in der Umgebung des Areals sicherstellte. Die bereits erwähnte 24-Stunden-Hotline gewährleistete, dass Bedürfnisse und Anliegen der Anwohner und des Stadtspitals Triemli umgehend bearbeitet bzw. beantwortet wurden.

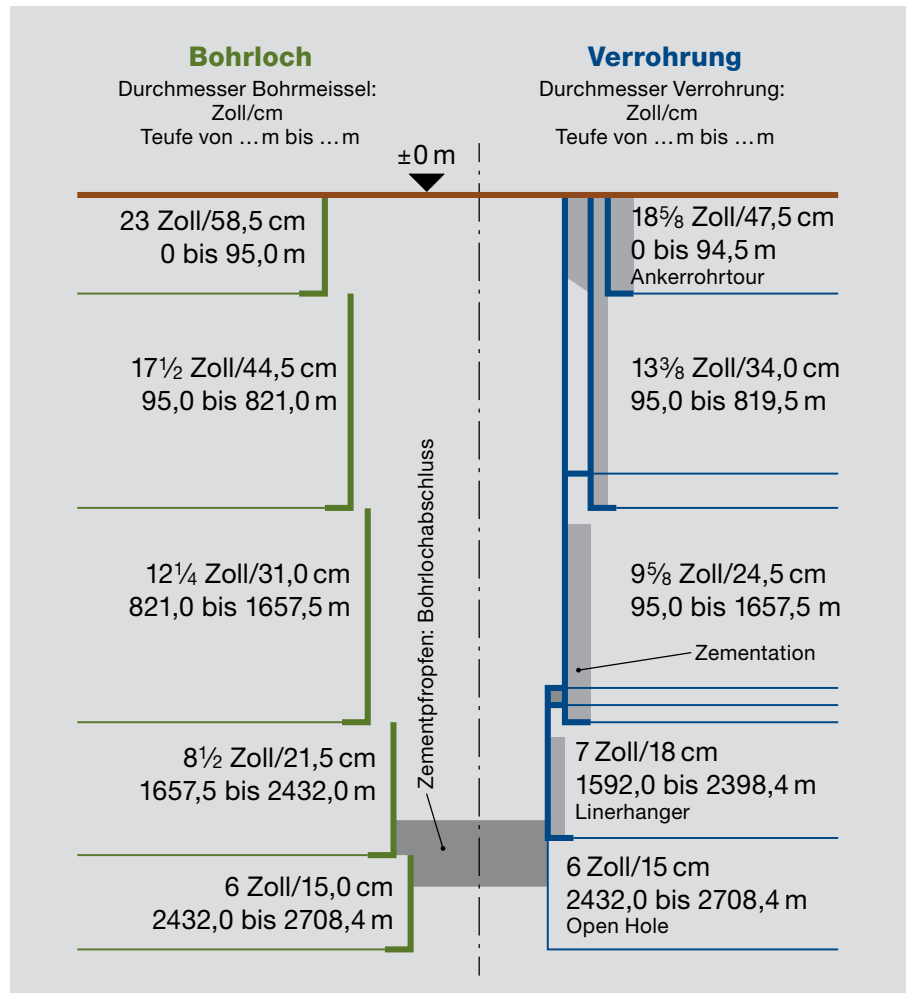


Abbildung 14: Bohrloch- und Verrohrungsschema.

10.6 Ablauf der Bohrung.

Wie in Kapitel 9 erwähnt, gehörte zur Erstellung des Bohrplatzes auch die Betonierung der beiden Bohrkeller, über denen die geplanten Bohrungen ausgeführt wurden. Mit dem eingebauten Standrohr wurde die Stelle markiert, an der die Bohrung abzuteufen war. Dieses gab damit präzise vor, wo die Bohranlage zu platzieren war.

Die Bohrung war in fünf unterschiedlich lange Bohrabchnitte unterteilt, deren Durchmesser mit zunehmender Tiefe abnahm (Abbildung 14). Der Durchmesser des obersten Abschnitts betrug rund 60 cm, der des untersten Abschnitts nur noch etwa 15 cm.

Der Arbeitsablauf beim Bohren war mit wenigen Ausnahmen derselbe: Zuerst wurde gebohrt und getestet (ausser im ersten Abschnitt), dann verbohrt und schliesslich zementiert. Die Arbeiten begannen mit der so genannten Ankerrohtour. Dieser Abschnitt unterscheidet sich von den weiteren Sektionen dadurch, dass er den Blow-out-Preventer verankert. Als Erstes wurde ein 23-Zoll-Bohrloch – das entspricht einem Durchmesser von rund 60 cm – bis in eine Tiefe von 95 Metern gebohrt. Bis in diese Tiefe wurde danach ein Stahlrohr, das Ankerrohr, mit einem Durchmesser von rund 50 cm eingebaut. Dahinter wurde erstmals zementiert. Auf dem Ankerrohr wurde der Blow-out-Preventer montiert. Um die Bohrung fortzusetzen, musste ein kleinerer Meissel mit geringerem Durchmesser gewählt werden.

Die Bohrung der zweiten Sektion erstreckte sich bis in eine Tiefe von 821 Metern. Danach wurde erstmals getestet. Nach diesen Tests wurde verbohrt, zementiert und der Vorgang begann für den dritten Abschnitt: Bohren mit kleinerem Meissel bis in eine Tiefe von rund 1657 Metern, anschliessend testen, verbohren und zementieren. Die vierte Sektion wurde bis in eine Tiefe von 2432 Metern gebohrt und getestet. In diesem Abschnitt wurde die Verrohrung nicht über die gesamte Tiefe des Bohrlochs ausgeführt. Ein so genannter Linerhanger wurde am Innenrohr des dritten Abschnittes befestigt. Dies sparte Material – konkret etwa 1600 Meter Stahlrohr – und verminderte die Schwierigkeiten, die bei der Ausdehnung des Stahlrohrs aufgrund unterschiedlicher Temperaturen entstehen. Der letzte Abschnitt im obersten Bereich des Kristallins bis zur Endteufe von 2708 m wurde nicht verbohrt.

Um die Bohrung speditiv voranzutreiben, war ein Schichtbetrieb notwendig. Die Bohrunternehmung sah zwei 12-Stunden-Schichten pro Tag vor, die sich jedoch nicht mit dem schweizerischen Arbeitsrecht vereinbaren liessen. Die Schichten wurden deshalb auf 11 Stunden verkürzt. Um ein eingespieltes Bohrtteam zur Verfügung zu haben, wurde ein Ablöseplan beantragt, der vorsah, 14 Tage in Folge zu arbeiten und danach 14 Tage frei zu erhalten. Der verkürzte Schichtbetrieb und der Ablöseplan wurden vom Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO) bewilligt.

Mit der Bohrung wurde am 11. November 2009 gestartet. Am 24. Januar 2013 hatte die Erkundungsbohrung das Kristallin in einer Tiefe von 2434 Metern erreicht. Verglichen mit der ursprünglichen Vorhersage war der Bohrfortschritt etwas langsamer (Abbildung 15). Dies war jedoch unproblematisch, da die Bauabläufe der Überbauung Triemli und der Erkundungsbohrung jederzeit gut aufeinander abgestimmt waren.

10.7 Messungen während des Bohrbetriebs.

Im Hinblick auf die Hauptziele der Bohrung, nämlich den Untergrund Zürichs zu erkunden und die Möglichkeiten zur Nutzung der Geothermie abzuklären, wurden während des Bohrbetriebs von Fachleuten umfangreiche Untersuchungen und Messungen durchgeführt. Für den Bohrvorgang relevante Daten wurden sofort ausgewertet. Die übrigen Messungen und Analysen wurden aufgrund der immensen Datenmenge und der aufwändigen Bearbeitung erst später fertig aufbereitet. Die Tests umfassten Logging, Hydrotesting und Spannungsmessungen.

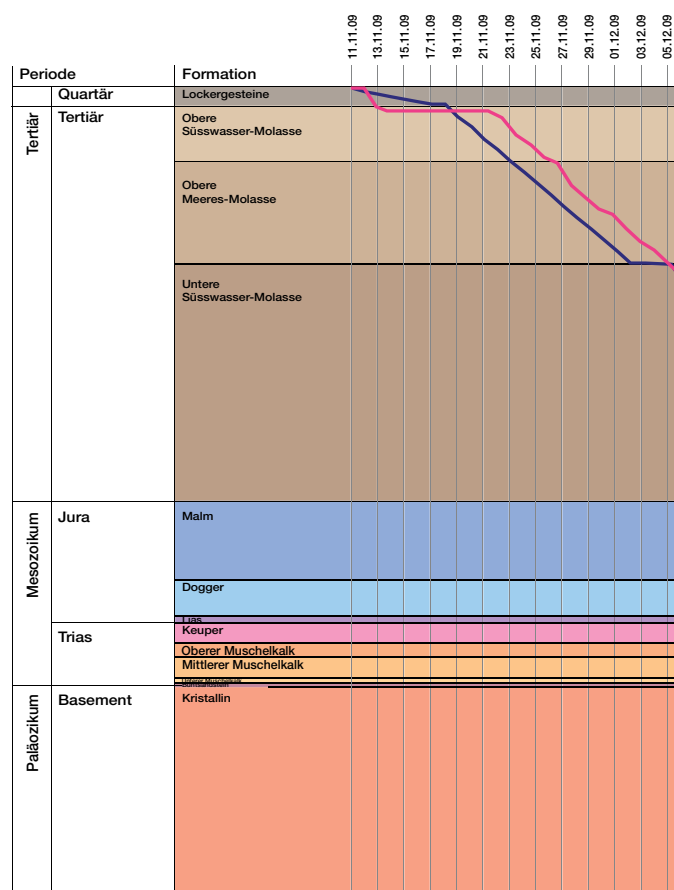
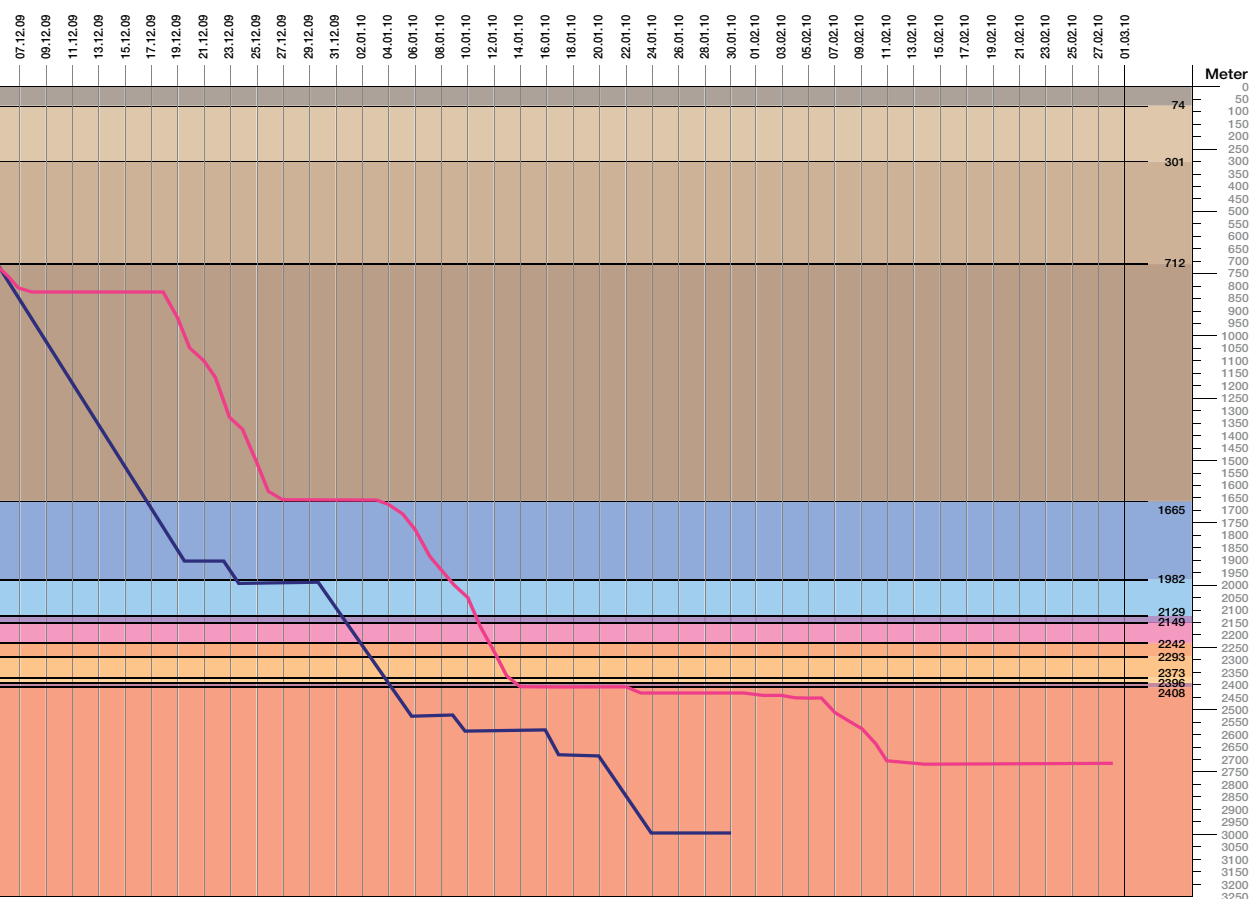


Abbildung 15: Vergleich zwischen effektivem Bohrfortschritt (rot) und Vorhersage (blau).

Mud Logging und Überwachung der Bohrung.

Nach jeweils zwei Metern Bohrfortschritt wurde dem aus der Bohrspülung herausgesiebten Bohrklein eine Probe entnommen. Ein Teil der Probe wurde gewaschen, getrocknet und in Röhrchen abgefüllt, die mit der entsprechenden Bohrtiefe beschriftet wurden. Der andere Teil wurde unter dem Binokular untersucht. Bestimmt wurde beispielsweise der Gesteinstyp, die Zugehörigkeit zur geologischen Formation, die Porosität oder der Gehalt an Mikrofossilien. Je nach Gesteinsschicht und Bohrfortschritt mussten die Proben unter grossem Zeitdruck aufbereitet werden.

Während des Bohrvorganges wurden verschiedene Parameter der Bohrspülung gemessen wie etwa die Temperatur, die Strömungsgeschwindigkeit, die Gaskonzentration, die elektrische Leitfähigkeit oder die Zu- bzw. Abnahme der Bohrspülungsmenge. Weiter wurden bohrtechnische Parameter erfasst wie der Bohrfortschritt (wie lange dauert die Bohrung durch einen Meter Gestein), die Bohrtiefe, die Drehzahl und vieles mehr. Die verschiedenen Messwerte und die Auswertung der Bohrkleinproben wurden im Litho Log dargestellt.



Logging (geophysikalische Messungen).

Beim Logging werden gleichzeitig mehrere Messdaten von einer Sonde erfasst. Die Sonde wird zunächst in das Bohrloch abgesenkt; beim anschliessenden Anheben der Sonde wird gemessen. Eine Messserie enthielt vier bis sechs Messfahrten mit verschiedenen Sonden.

Im Falle der Erkundungsbohrung im Triemli-Quartier diente das umfassende Logging-Programm folgenden Zielen:

- Bestimmung der physikalischen Eigenschaften des Gesteins (petrophysikalisches Logging)
- Erfassung der Strukturen (Strukturlogging)
- Erfassung bohrtechnischer Zusatzdaten wie Kaliber, Orientierung und Zementation (bohrtechnisches Logging)
- Erfassung geothermischer Daten (Temperaturmessung)

Das Logging wurde in den Bohrsektionen 2 bis 5 angewendet. Die Messserien wurden jeweils vor der Verrohrung durchgeführt. Die Dauer der Messungen hing von der Länge der zu untersuchenden Strecke ab.

Hydrotesting.

Mittels Hydrauliktest wurde die Durchlässigkeit der Gesteinsformation bestimmt. Dazu wurden zwei Testverfahren angewendet. Beide hatten dasselbe Ziel: den Druck der Wassersäule in dem zu untersuchenden Bohrabschnitt reduzieren und dann beobachten, was sich in diesem Abschnitt ereignet. Beim einen Verfahren wurde Luft in das Bohrloch gegeben. Dies führte dazu, dass Bohrspülung an die Oberfläche trat. Dadurch reduzierte sich im gewünschten Abschnitt der Druck. Der gleiche Effekt wurde erzielt, wenn mit einer Pumpe in der entsprechenden Tiefe Bohrspülflüssigkeit abgesaugt wurde. Insgesamt wurden drei Tests durchgeführt: einer im Malm in einer Tiefe von 1661 bis 1720 Metern, einer im Muschelkalk in einer Tiefe von 2161 bis 2288 Metern und einer im Buntsandstein und Top-Kristallin in einer Tiefe von 2398 bis 2708 Metern. Die Resultate zeigten, wie durchlässig die untersuchten Gesteinsschichten sind und ob es sich dabei um wasserführende Schichten (Aquifere) handelt.

Spannungsmessungen.

Spannungsmessungen finden im Bohrloch statt und bestimmen die natürliche tektonische Spannung im Tiefengestein. Anhand der Spannung kann eingeschätzt werden, mit welcher seismischen Aktivität gerechnet werden muss, wenn das Gestein durch Fracking aufgebrochen wird. Aufgrund technischer Schwierigkeiten mit den Packern, die den zu untersuchenden Bohrabschnitt während der Messung

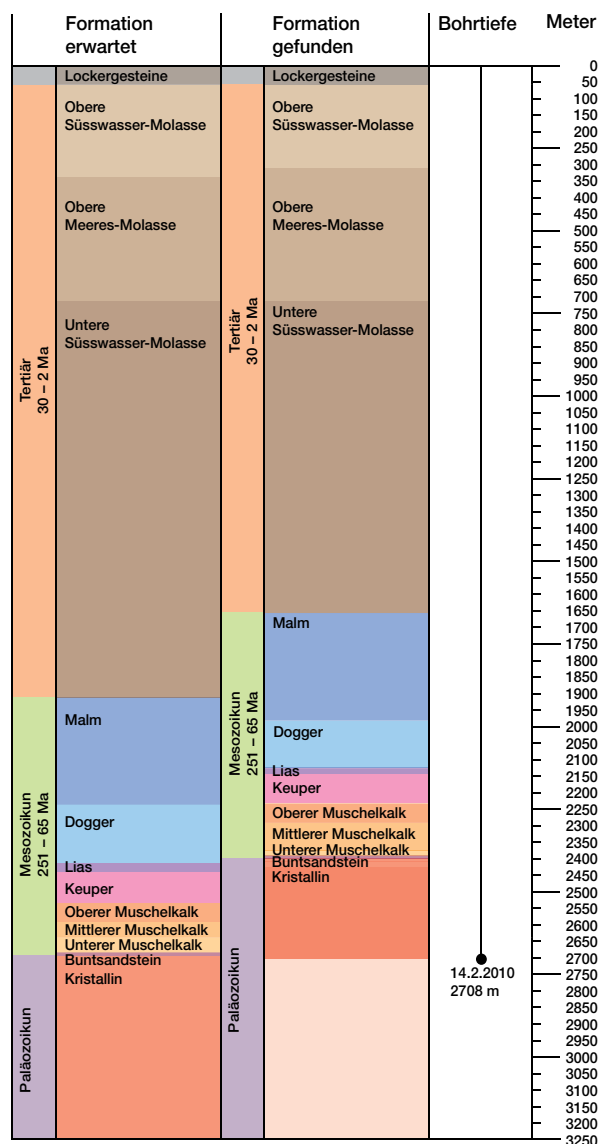


Abbildung 16: Vergleich zwischen Profilprognose und Profilbefund.

dicht verschliessen sollten, konnten bei der Erkundungsbohrung im Triemli-Quartier keine Spannungsmessungen durchgeführt werden. So blieb lediglich eine Interpretation der Bohrlochausbrüche aus dem Logging. Die Analyse dieser Daten gab Hinweise, wie die Spannungen im Gestein ausgerichtet sind.

10.8 Geologische Erkenntnisse.

10.8.1 Tiefenlage der geologischen Schichten.

Dank der Daten aus dem Strukturlogging und dem petrophysikalischen Logging konnte ein geologisches Profil des Bohrlochs der Erkundungsbohrung erstellt werden. Dieses ist in Abbildung 16 im Vergleich zur Prognose dargestellt. Grundsätzlich entspricht das vorgefundene geologische Profil in seiner Abfolge den prognostizierten Formationen. Die Schichten der unteren Süsswassermolasse sind rund 260 Meter weniger mächtig als vorausgesagt. Es zeigte sich zudem, dass das Mesozoikum in Zürich direkt auf dem kristallinen Grundgebirge aufliegt. Der Permakarbon-Trog, der zum Beispiel in der Bohrung Weiach angetroffen wurde, fehlt im Untergrund des Triemli-Quartiers.

Die rund 1600 Meter mächtige Molasse liegt auf den verkarsteten und verwitterten Gesteinen des Malms. Die Jura-Formationen Malm, Dogger und Lias sind zusammen etwa 500 Meter mächtig. Unter ihnen liegen die Trias-Formationen Keuper, Muschelkalk und Buntsandstein mit einer Gesamtmächtigkeit von 250 Metern. In einer Tiefe von 2434 Metern beginnt das kristalline Grundgebirge.

10.8.2 Gebirgswasserführung.

Aufgrund von Beobachtungen in weiter entfernten Tiefenbohrungen wurde in der Erkundungsbohrung im Triemli-Quartier in folgenden Formationen bzw. Schichten eine Wasserzirkulation erwartet: obere Meeresmolasse, untere Süsswassermolasse, oberer Malm, Keuper, oberer Muschelkalk, Buntsandstein, Top-Kristallin.

Die obere Meeresmolasse stand wegen der geringen Formationstemperaturen nicht im Zentrum des Interesses. Alle bis anhin durchgeführten Tiefenbohrungen im Raum Zürich zeigen eine Wasserführung in dieser Schicht, so auch bei der Erkundungsbohrung im Triemli-Quartier. Die Bohrungen in Kloten und Bassersdorf werden geothermisch genutzt.

Auch die untere Süsswassermolasse stand nicht im Zentrum des Interesses. Die Gründe dafür waren die geringen Wassermengen und die tiefen Formationstemperaturen.

Der obere Malm war auf den ersten Metern der Erkundungsbohrung verkarstet, was für die Wasserzirkulation grundsätzlich vorteilhaft ist. Es zeigte sich jedoch, dass in diesem Fall die Karsthohlräume weitgehend mit Tonstein verfüllt sind, so dass die Durchlässigkeit stark verringert wird.

Im Keuper und im oberen Muschelkalk wurden während der Bohrung kaum Wasserzutritte oder Spülungsverluste registriert. Trotz einer gewissen Porosität des Gesteins sind die Poren nicht grossräumig untereinander verbunden; somit ist keine nennenswerte Wasserzirkulation vorhanden.

Im Buntsandstein und im rund 300 Meter mächtigen Kristallin-Abschnitt wurden nur mittlere Durchlässigkeitswerte gemessen. Das lässt darauf schliessen, dass auch hier die Voraussetzungen für eine bedeutende Wasserzirkulation nicht gegeben sind.

Zusammengefasst bedeutet dies, dass bei der Erkundungsbohrung Sonnengarten im Triemli-Quartier entgegen den Erwartungen im tiefen Untergrund unterhalb der oberen Meeresmolasse nur eine sehr geringe Wasserführung vorhanden ist. Dies verändert das Verständnis und das Konzept der tiefen Aquifere im Raum Zürich und der gesamten Nordschweiz fundamental.

Die Erkundungsbohrung Sonnengarten führt zu einer Neuinterpretation der nutzbaren wasserführenden Schichten zumindest im Raum Zürich. Sie legt nahe, dass die Wasserzirkulation in diesen Schichten vermutlich stark an Störungszonen gebunden ist.

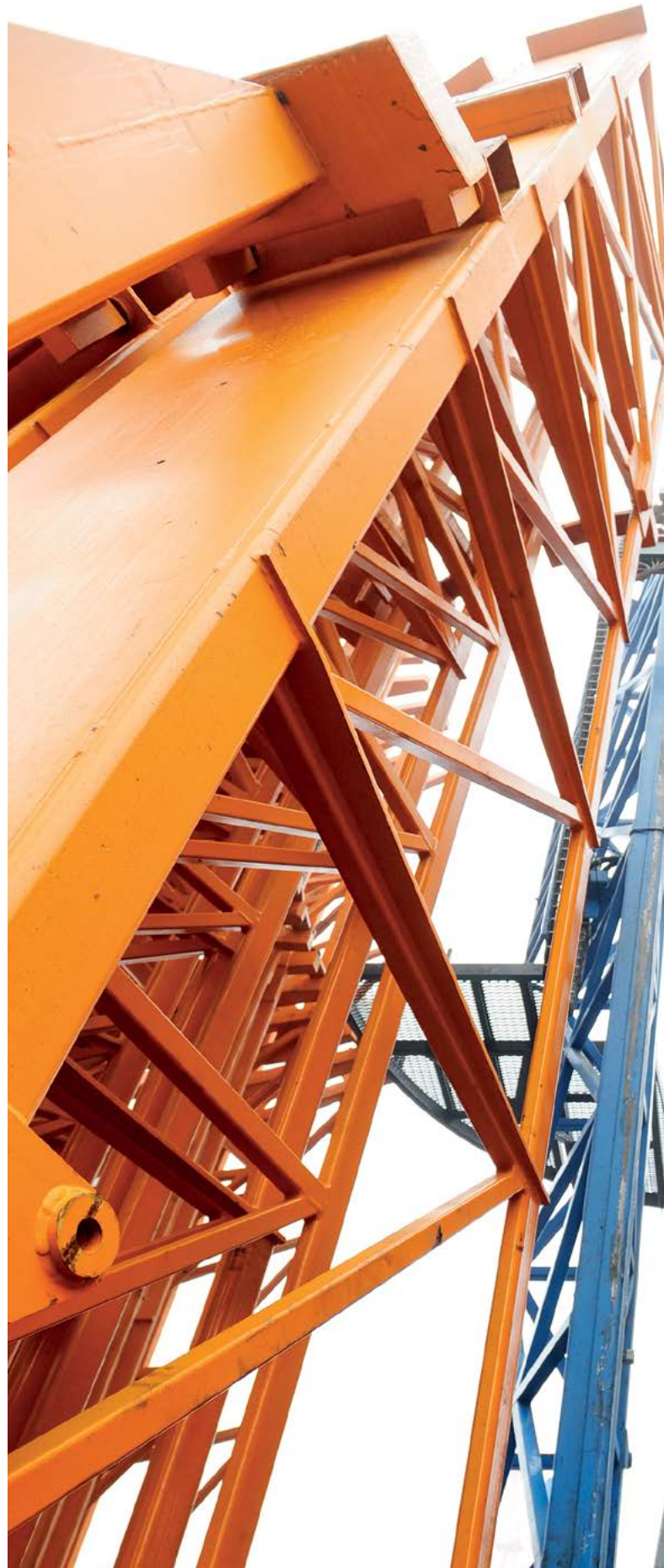
10.8.3 Gesteinstemperatur in der Tiefe.

Die Temperatur an der Oberkante des Kristallins beträgt 97 Grad Celsius. Die ermittelte Temperaturdifferenz zwischen der Erdoberfläche und der Oberkante des Kristallins deutet auf einen Temperaturgradienten von 36 Kelvin pro Kilometer hin. Er liegt damit rund 20 Prozent über dem erwarteten Wert von 30 Kelvin pro Kilometer.

11 Verzicht auf die zweite Bohrung.

Die Stimmberechtigten der Stadt Zürich, die am 29. November 2009 der Erhöhung des Objektkredits zustimmten, legten auch fest, dass über die Freigabe der zweiten Erkundungsbohrung und den Bau einer Energiezentrale der Stadtrat entscheidet. Da die vorgefundenen Gesteinsinformationen in den tieferen Bereichen der Bohrung weitgehend dicht waren und es keine Hinweise auf eine wasserführende Schicht gab, waren die Kriterien für eine hydrothermale Nutzung der Erkundungsbohrung nicht erfüllt. Aus diesem Grund beschloss der Stadtrat am 10. Februar 2010, auf eine zweite Geothermiebohrung zu verzichten. Gleichzeitig gab der Stadtrat grünes Licht, die Erkundungsbohrung entsprechend den technischen und finanziellen Möglichkeiten weiter abzuteufen, um zusätzliche Erkenntnisse zu gewinnen. Dazu gehörte auch die Klärung der offenen Frage, ob und mit welcher Technologie sich die Wärme im Bohrloch nutzen liesse.

Diese Abklärungen ermöglichten eine Abschätzung, welchen Beitrag eine tiefe Erdwärmesonde an die Wärmeversorgung der neu gebauten Liegenschaft der BG Sonnengarten liefern könnte. Am 14. Juli 2010 beschloss der Stadtrat die Freigabe von Mitteln aus der von den Stimmberechtigten bewilligten Krediterhöhung, um die Geothermie-Erkundungsbohrung abzuschliessen und eine tiefe Erdwärmesonde (TEWS) einzubauen, mit der die Wärme im Bohrloch genutzt werden kann.



12 Abschluss der Arbeiten der Erkundungsbohrung.



Da eine hydrothermale Nutzung der Erkundungsbohrung nicht möglich war, wurde das Projekt an die geänderten Rahmenbedingungen angepasst. Es stellte sich beispielsweise die Frage, bis in welche Tiefe im Kristallin die Bohrung fortgesetzt werden sollte, um weitere wichtige Informationen für künftige Tiefengeothermie-Projekte zu erhalten. Aufgrund der veränderten Ausgangslage wurde entschieden, die Bohrung so weit zu vertiefen, wie dies technisch und finanziell möglich war. Angesichts der erwarteten Orientierung von Störungs- und Klüftzonen im Kristallin wurde diese letzte Sektion der Bohrung schräg abgelenkt. Dadurch querte die Bohrung solche Störungs- und Klüftzonen und lieferte damit weitere Informationen zur Charakterisierung des Untergrundes.

Nach insgesamt 96 Tagen wurde am 14. Februar 2010 die Endtiefe von 2708 Metern erreicht. Ende März 2010 wurden die letzten Messungen vorgenommen. Das Bohrloch wurde zudem bis in die Tiefe von 2371 Metern zurückzementiert, d. h. das offene Bohrloch wurde mit einem Zementpfropfen bis in die Verrohrung gegen unten verschlossen. Die im Bohrloch verbliebene Bohrspülung wurde durch eine wässrige Lösung mit Biozid und Antikorrosionsmittel ersetzt, um die bereits eingebaute Verrohrung zu schützen. Das Bohrloch wurde Ende März 2010 mit einem Wellhead verschlossen. Ab dem 19. März 2010 wurde die Bohranlage demontiert und am 28. April 2010 abtransportiert.

Der Rückbau des Bohrplatzes umfasste alle Bauteile, die aufgrund der umwelttechnischen Auflagen oder weil sie die Fertigstellung der Wohnhäuser behinderten, entfernt werden mussten. Neben dem Asphalt-Belag gehörten dazu sämtliche Fundamente für das Rohrlager und die Bohranlage sowie die Fundamente verschiedener Container für die Spülpumpen und -tanks. Auch die Anlagen und Leitungen zur Ver- und Entsorgung wurden zurückgebaut. Zudem mussten zahlreiche Bodenanker aus dem Erdreich entfernt und ein grosser Anteil von Pfählen zurückgespitzt werden.

Am 7. Mai 2010 war der Bohrplatz geräumt und konnte vom Bohrunternehmer via ewz an den Bauunternehmer der BG Sonnengarten weitergegeben werden. Dieser deckte die beiden Bohrkeller mit zwei Stahlplatten ab. Die Baugenossenschaft hatte nun wieder den ganzen Innenhof zu ihrer Verfügung.

13 Einbau der tiefen Erdwärmesonde (TEWS).

13.1 Abklärungen zur Nutzung der Wärme im Bohrloch.

Nach dem Verzicht auf die zweite Bohrung gab ewz eine Studie in Auftrag, um abzuklären, wie die Wärme aus dem Bohrloch genutzt werden könnte. Diese Studie sollte aufzeigen, welchen Beitrag eine tiefe Erdwärmesonde an die Wärmeversorgung der neu gebauten Liegenschaft Triemli der BG Sonnengarten liefern kann. Aufgrund der durchgeführten thermischen Simulation kam die Studie zum Schluss, dass mit einer Quellenleistung von etwa 150 kW gerechnet werden kann, was einer nutzbaren Energiemenge von zirka 410 MWh pro Jahr entspricht. Mit dieser Energiemenge könnte etwa ein Fünftel des Wärmeenergiebedarfs der Gebäude der Baugenossenschaft gedeckt werden.

13.2 Funktionsweise der tiefen Erdwärmesonde.

Eine tiefe Erdwärmesonde (TEWS, Abbildung 17) ist ein geschlossenes System, bei dem über eine innere Steigleitung das Wärmeträgermedium – eine wässrige Lösung mit Biozid und Antikorrosionsmittel – aus der Tiefe hoch gepumpt und zu einem Wärmetauscher transportiert wird. Das dort abgekühlte Wärmeträgermedium wird über den Ringraum zurück in die Bohrlochtiefe gegeben. Dabei nimmt das Wasser die Wärme auf, welche das umliegende Gestein an die Verrohrung des Bohrlochs abgibt. Dank der Verrohrung im Bohrloch kommt das Wärmeträgermedium nicht in Kontakt mit dem Gestein oder dem Grundwasser. Ein technisch und wirtschaftlich sinnvoller Betrieb einer TEWS benötigt eine im Vergleich zur erzielbaren thermischen Leistung moderate elektrische Leistungsaufnahme der Umwälzpumpe, die das Energieträgermedium zirkulieren lässt.

Im Gegensatz zu oberflächennahen Erdwärmesonden arbeitet eine TEWS auf einem höheren Temperaturniveau. Die nutzbare Energiemenge wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

- die natürliche Untergrundwärme
- die thermischen Eigenschaften der Gesteinsschichten, insbesondere deren Wärmeleitfähigkeit
- die Bauart der Sonde und der Steigleitung
- die vorgesehene Betriebsdauer der Sonde

Eine TEWS ist als Pilotanlage zu charakterisieren, da sowohl in der Schweiz als auch in Deutschland kaum Erfahrungen mit vergleichbaren Anlagen vorliegen. In der Schweiz ist vor allem die TEWS in Weggis mit einer Tiefe von 2302 Metern bekannt, die im Jahr 1994 in Betrieb genommen wurde. Bei der Integration einer TEWS in eine Energieversorgungsanlage ist darauf zu achten, dass während der jährlich notwendigen Regenerationsphase der TEWS ein anderes System für die Wärmeerzeugung zur Verfügung steht. Dies ist bei der Überbauung der BG Sonnengarten der Fall.

Das Anlagenkonzept der TEWS musste durch die Baudirektion des Kantons Zürich resp. durch das AWEL genehmigt werden. Im Gesuch von ewz integriert waren nebst der TEWS auch der Bau und Betrieb von 46 oberflächennahen Erdwärmesonden mit je 250 Metern Länge. Die Bewilligung erfolgte innert kürzester Zeit und enthielt acht Auflagen.

13.3 Bauliche Massnahmen.

13.3.1 Bau der Geothermiezentrale.

Um genügend Platz für die Installationen und die Wartung der künftigen TEWS zu erhalten, wurde aus den beiden getrennten Bohrkellern eine Geothermiezentrale erstellt. Dazu wurde die Trennwand zwischen den Bohrkellern entfernt. Auf dem ehemaligen Bohrkeller der realisierten Bohrung wurde

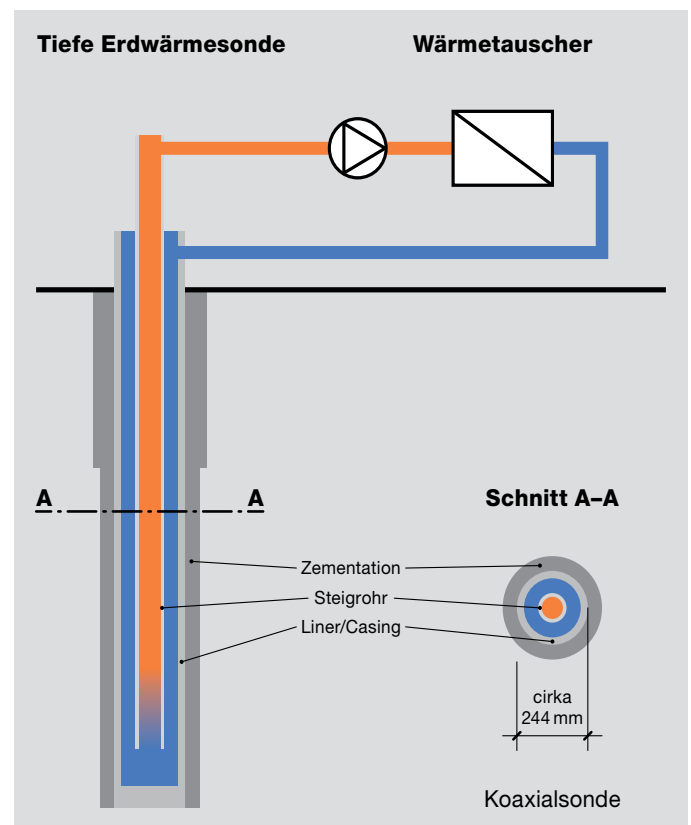


Abbildung 17: Schematische Darstellung einer koaxialen tiefen Erdwärmesonde.

ein demontierbarer Betondeckel angebracht und abgedichtet. Dieser Deckel liegt nach abgeschlossener Oberflächengestaltung etwa zwei Meter unter Terrain. Müssen am Bohrloch künftig Arbeiten ausgeführt werden, für die ein Kran oder ein Bohrturm notwendig sind (z. B. wenn das Innenrohr der TEWS ersetzt wird), muss der Deckel ausgegraben und wieder geöffnet werden. Auf dem zweiten Bohrkeller wurde eine feste Abdeckung mit einem Schacht montiert. Dieser ist mit einem Mannloch-Deckel verschlossen, so dass die Geothermiezentrale jederzeit zugänglich ist. Nach der Fertigstellung des Innenhofs der neuen Überbauung Triemli ist von der Geothermiezentrale nur ein Schachtdeckel sichtbar, alles andere ist unterirdisch.

13.3.2 Einbau der TEWS.

Während der Erkundungsbohrung wurde das Bohrloch mit Stahlrohren ausgekleidet mit Ausnahme des letzten Abschnittes im Kristallin. Der verrohrte Bereich dient bei der TEWS als Aussenrohr. Nach detaillierten Abklärungen wurde als Innenrohr ein in den USA hergestelltes, einwandiges, glasfaserverstärktes Kunststoffrohr gewählt. Innerhalb einer Woche konnte das Innenrohr, das aus neun bis zehn Meter langen Stücken besteht, mit allen Centralisern eingebaut werden. Diese stellen sicher, dass das Innenrohr in der Mitte des Aussenrohrs positioniert wird. Das Innenrohr reicht bis in eine Tiefe von 2366 Metern. Bis in eine Tiefe von 1575 Metern besitzt es einen Durchmesser von 11,25 cm; zwischen 1575 und 2366 Meter beträgt der Durchmesser 8,75 cm. Befestigt wurde das Innenrohr am neu gelieferten Wellhead, der auf den Bodenflansch abgestellt und festgeschraubt wurde.

13.4 Betrieb.

Nach dem Einbau des Innenrohrs begann der Testbetrieb der TEWS. Überprüft wurde, ob das Innenrohr beim Einbau beschädigt wurde und ob die TEWS einwandfrei funktioniert. Zudem wurde die Leistungsfähigkeit der TEWS bestimmt.

Nach dem erfolgreichen Abschluss des Testbetriebs wurde der Normalbetrieb geplant und umgesetzt. Über zwei Fernleitungen wird das Wasser aus der TEWS von der Geothermiezentrale zum Wärmetauscher in die Heizzentrale und wieder zurückgeführt. Via Wärmepumpe liefert die TEWS Wärme für die Raumbeheizung und für einen Teil des Brauchwarmwassers der Überbauung Triemli der BG Sonnengarten. Basierend auf den Modellrechnungen und dem Testbetrieb wurde die TEWS mit oberflächennahen Erdwärmesonden kombiniert, die bei einem erhöhten Energiebedarf zugeschaltet werden können. Für Lastspitzen oder im Falle eines Ausfalls der TEWS steht zudem ein Gasheizkessel zur Verfügung.

Im Sommer muss die TEWS während mindestens eines Monats regeneriert werden und kann dann nicht genutzt werden. In dieser Zeit übernehmen die oberflächennahen Erdsonden die Bereitstellung des Warmwassers. Dazu werden diese im Vormonat durch die TEWS aufgeladen.

Die Daten aus dem Testbetrieb wurden in eine zweite thermische Simulation einbezogen. Die aufgrund des Testbetriebs korrigierte Modellierung ergab, dass die Quellenleistung und die erzeugte Energie aus dem Bohrloch die ursprünglich berechneten Werte übertreffen. Die maximale Verdampferleistung liegt demnach bei etwa 300 kW, die nutzbare Energie aus dem Bohrloch bei rund 800 MWh pro Jahr. Die Differenz zwischen Vor- und Rücklauftemperatur der TEWS beträgt rund 6 Kelvin. Im ersten Betriebsjahr wird von einer Vorlauftemperatur von 25 Grad Celsius und von einer Rücklauftemperatur von 19 Grad Celsius ausgegangen. Für das 50. Betriebsjahr werden Vor- und Rücklauftemperaturen von 19 bzw. 13 Grad Celsius prognostiziert.

Im realen Betrieb bestätigt sich die neue Prognose: Sowohl die Leistung als auch die nutzbare Energie sind annähernd doppelt so hoch wie aufgrund der ersten Simulation angenommen. Die durchschnittliche Vorlauftemperatur liegt etwas höher und die Differenz zwischen Vor- und Rücklauftemperatur ist ebenfalls grösser. Der Betrieb der TEWS erfolgt mehrheitlich ohne Umwälzpumpe. Das heisst: Das Energieträgermedium zirkuliert von alleine aufgrund der Temperaturdifferenz und der Schwerkraft.

Dank der TEWS und der oberflächennahen Erdwärmesonden liefert ewz im Rahmen eines Energie-Contractings Wärme für rund 200 Wohnungen an die BG Sonnengarten.

13.5 Nachzementation zwischen zwei Verrohrungen.

Nachdem die TEWS bereits in Betrieb war, musste ein Zwischenraum zwischen der 34-cm- und der 24,5-cm-Verrohrung nachzementiert werden. Grund dafür war eine unvollständige Zementation eines Bohrabchnittes. Mit dieser Massnahme wurde verhindert, dass eine Verbindung zwischen wasserführenden Gesteinsschichten und der Oberfläche entsteht. Es handelt sich dabei um die Schichten in der unteren Süsswassermolasse mit tiefem Temperaturniveau.

14 Öffentlichkeitsarbeit.

Angesichts der seismischen Erschütterungen beim «Deep Heat Mining»-Projekt in Basel und den Geländehebungen in Staufen (D), zu denen es bei einem untiefen Erdwärmesonden-Projekt kam, stellte die Tiefengeothermiebohrung im Triemli-Quartier auch in Bezug auf die Kommunikation eine Herausforderung dar.

Ziel der Öffentlichkeitsarbeit war es, die zahlreichen Anspruchsgruppen auf unterschiedlichen Kanälen rasch mit den wichtigen Informationen zu bedienen. Zu den Anspruchsgruppen zählten die Bevölkerung in der Umgebung der Bohranlage, die Kundinnen und Kunden von ewz, Politikerinnen und Politiker, das interessierte Publikum sowie Medienschaffende.

Eine erste Informationsveranstaltung, die sich an die betroffene Bevölkerung in der nahen Umgebung des Bohrstandortes richtete, fand am 13. Januar 2009 statt. Die rund 100 Personen, die der Einladung folgten, konnten sich über das geplante Projekt informieren und Fragen stellen. Hier wurden erstmals die Telefonnummer des Infotelefons und die E-Mail-Adresse bekannt gegeben, über die ewz erreichbar war. Das Infotelefon war zu den Bürozeiten und ab dem Start der Tiefengeothermiebohrung rund um die Uhr während sieben Tagen in der Woche bedient.

Ein Newsletter mit einer Auflage von rund 18000 Exemplaren wurde erstmals im September 2009 an alle Haushalte im Umkreis eines Kilometers um den Bohrstandort verteilt. Darin wurde das Geothermieprojekt im Triemli-Quartier mit den geplanten Arbeiten und Terminen vorgestellt. Insgesamt wurden fünf Newsletter mit aktuellen Informationen zum Fortschritt der Erkundungsbohrung und zum weiteren Vorgehen an die Bevölkerung verteilt. Die Newsletter waren auch in einer Online-Version verfügbar, die abonniert werden konnte.

Eigens für das Geothermieprojekt im Triemli-Quartier wurde die Website www.geothermie.ewz.ch eingerichtet. Sie informiert über das Thema Geothermie im Allgemeinen und über das Projekt im Triemli-Quartier im Speziellen. Mit dem Fortschritt des Projekts wurden laufend weiterführende Informationen ins Internet gestellt, unter anderem auch alle Medienmitteilungen, welche die Medien und die Bevölkerung über das aktuelle Geschehen, den Stand der Bohrung, die ersten Ergebnisse oder das weitere Vorgehen informierten.

In einem bestehenden Gebäude an der Ecke zwischen der Birmensdorfer- und Triemlistrasse wurde ein Infopavillon eingerichtet. Die beiden Schaufenster wurden mit den wichtigsten Daten und Fakten zum Projekt ausgestattet; insbesondere wurde über die aktuelle Bohrtiefe und den Zeitplan informiert. Vorbei-

gehende Fussgängerinnen und Fussgänger hatten so die Möglichkeit, sich jederzeit über den aktuellen Projektstand zu erkundigen. Der Infopavillon wurde ebenso für Führungen genutzt, die interessierten Personen Einblick in das Projekt gaben. Die im Pavillon ausgestellten Exponate wurden in die Führungen einbezogen. Neben einem Modell der Bohranlage fanden sich unter den Exponaten u. a. auch verschiedene Bohrmeissel und Gesteinsproben. Eine Zuschauerplattform ausserhalb der Baustelle ermöglichte es den Besucherinnen und Besuchern, sich einen Überblick über die Baustelle zu verschaffen. Insgesamt wurden über 30 Führungen mit rund 500 Personen veranstaltet.



Als einer der Höhepunkte in der Öffentlichkeitsarbeit darf der Tag der offenen Tür vom 27. Februar 2010 bezeichnet werden. Nebst Kurzvorträgen im Infopavillon konnten die rund 500 Personen in geführten Gruppen die Bohranlage aus nächster Nähe bestaunen. Die Krönung war für viele Besucherinnen und Besucher der Zutritt auf die Bohrplattform mit der Steuerkabine.

Die anspruchsvolle Öffentlichkeitsarbeit hat sich insgesamt gelohnt. Die vielfältigen Informationsmöglichkeiten und die Art, wie über das Projekt berichtet wurde, wurde von der Mehrheit der Anspruchsgruppen sehr geschätzt.



15 Fazit.

Die Erkundungsbohrung Sonnengarten im Triemli-Quartier hat ihr Hauptziel, die Erkundung des Untergrunds von Zürich, erreicht. Die Daten aus den Messungen während des Bohrbetriebs wurden ausgewertet, interpretiert und in einen grösseren Zusammenhang gestellt. Sie wurden mit den verfügbaren Informationen aus umliegenden Bohrungen zu einem dreidimensionalen, regionalen geologischen Modell zusammengeführt. Die neuen Erkenntnisse liefern ein besseres Verständnis über die Geologie in der Region Zürich und helfen bei der Entwicklung neuer Strategien für die weitere Erkundung des tiefen Untergrunds. Sie erleichtern die Identifizierung von potenziellen Standorten für die Nutzung der tiefen Erdwärme und unterstützen Entscheidungs- und Planungsprozesse für zukünftige Tiefenbohrungen im Kanton Zürich.

Die hydraulischen Tests ergaben, dass im Triemli-Quartier keine ausreichend wasserführende Schicht für eine hydrothermale Nutzung vorhanden ist. Mit dem Einbau einer tiefen Erdwärmesonde (TEWS) kann das Bohrloch dennoch sinnvoll genutzt werden. Die Sonde deckt einen beachtlichen Teil des Energiebedarfs der neuen Überbauung der BG Sonnengarten zuverlässig ab.

Das Projekt war in verschiedener Hinsicht sehr anspruchsvoll. Die Erkundungsbohrung wurde in dicht besiedeltem Gebiet mit sehr eingeschränkten Platzverhältnissen und unter Einhaltung strengster Vorgaben durchgeführt. Die technischen und baulichen Massnahmen, die aus den Auflagen und den örtlichen Gegebenheiten resultierten, waren teilweise sehr aufwändig, herausfordernd und zeitintensiv in der Umsetzung. Im Vergleich zu einer Bohrung in wenig besiedeltem Gebiet wurden sehr umfangreiche Überwachungs-, Sicherheits- und Lärmschutzmassnahmen sowie Umgebungsmessungen realisiert.

Die Erfahrung zeigt nun: Es ist möglich, unter solchen anspruchsvollen Voraussetzungen eine Tiefengeothermiebohrung abzuteufen. Dank der guten und intensiven Zusammenarbeit mit allen Beteiligten und Betroffenen konnte die Erkundungsbohrung ohne nennenswerte Probleme und unfallfrei durchgeführt werden. Zentral für den Erfolg waren zum einen die Offenheit und das Verständnis aller Anwohnerinnen und Anwohner, zum anderen die frühzeitige und enge Zusammenarbeit mit den verschiedenen Ämtern und Fachstellen.

Bewährt hat sich auch die offensive Öffentlichkeitsarbeit, welche die Anwohnerinnen und Anwohner und die weitere Umgebung in das Projekt einbezog. Mit der 24-Stunden-Hotline hatte die Bevölkerung die Gewissheit, dass sie ihre Anliegen jederzeit wirkungsvoll einbringen konnte.



16 Ausblick.

Die Umsetzung der vom Bundesrat beschlossenen Energiestrategie 2050 erfordert in den kommenden Jahren einen wesentlichen Ausbau der Nutzung neuer erneuerbarer Energien. Von den entsprechenden Technologien hat die Geothermie in der Schweiz das weitaus grösste theoretische Potenzial; sie ist aber gleichzeitig auch diejenige Technologie mit dem grössten Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Besonders interessant erscheinen aus heutiger Sicht so genannte stimulierte geothermische Systeme, auch petrothermale Systeme genannt. Diese erschliessen die Erdwärme in einer Tiefe von 4000 bis 6000 Metern, wo im kristallinen Grundgebirge Temperaturen um die 200 Grad Celsius herrschen. Aufgrund dieser hohen Temperaturen wird es möglich, die Erdwärme auch für die Stromproduktion zu nutzen. Allerdings befindet sich dieses Verfahren

heute erst im Pilotstadium. Bevor es in grösserem Massstab eingesetzt werden kann, braucht es weitere umfangreiche Untersuchungen.

Basierend auf den Erfahrungen aus der Erkundungsbohrung Sonnengarten hat ewz eine Strategie für die Beteiligung an künftigen Geothermieprojekten definiert. Gemeinsam mit sechs weiteren Energieunternehmen aus der ganzen Schweiz wurde am 2. November 2010 die Geo-Energie Suisse AG (www.geo-energie.ch) gegründet. Diese Firma bündelt die Interessen und Kompetenzen der beteiligten Unternehmen und erlaubt eine zielgerichtete Forschung und Entwicklung. Ziel der Gesellschaft ist es, der Tiefengeothermie für die Strom- und Wärmeproduktion in der Schweiz zum Durchbruch zu verhelfen und bis in 15 bis 20 Jahren die Stromproduktion mittels tiefer Erdwärme zu ermöglichen.





ewz
Tramstrasse 35
8050 Zürich
www.ewz.ch