Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 95 (2003)

Heft: 7-8

Artikel: Deep Heat Mining : Schlüsseltechnologie für eine nachhaltige Energiezukunft

Autor: Häring, Markus O.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939479

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Deep Heat Mining: Schlüsseltechnologie für eine nachhaltige Energiezukunft

Markus O. Häring

Stellen Sie sich einmal vor

Stellen Sie sich einmal vor, sie könnten mit einem Fahrzeug genau so schnell senkrecht nach unten fahren wie auf der Strasse geradeaus (60 km/h). Sie kämen bereits nach kurzer Fahrt in grosse Probleme. Schon nach zwei Minuten würden sie es vor Hitze nicht mehr aushalten (60 °C), nach drei Minuten Fahrt würden alle Flüssigkeiten ihres Fahrzeuges kochen (100 °C), und nach fünf Minuten ist schon alles heisser als ein Bügeleisen auf Maximalstufe (200 °C). Stellen Sie sich diese kurze Strecke in der Horizontalen vor: Fünf Fahrminuten bringen Sie nicht einmal zu einer Stadt hinaus. So nahe liegt die Erdwärme. Öl, Gas und Kohle schleppen wir jedoch über Tausende von Kilometern.

Wäre es da nicht an der Zeit, einmal kurz zu überlegen, ob da etwas zu verbessern wäre?

Erdwärme wird seit jeher genutzt. Die Menschen der Urzeit badeten schon in warmen Quellen. Thermalquellen sind auch heute noch beliebt und hochaktuell. Weltweit sind in 17 Ländern mehr als 200 Erdwärmekraftwerke in Betrieb. Deren Stromproduktion beträgt 6700 Megawatt, was mehr als der doppelten Leistung aller schweizerischen Kernkraftwerke entspricht. Allerdings findet man Hochtemperatur-Erdwärme oberflächennah nur in vulkanischen Gebieten. Das Hot-Dry-Rock-Verfahren zeigt nun eine Möglichkeit auf, Strom auch ausserhalb vulkanischer Regionen aus dem unerschöpflichen Erdwärmereservoir zu produzieren.

99% unseres Planeten sind heisser als 1000 Grad und nur 0,1% ist kühler als 100 Grad Celsius. Diese kaum vorstellbar grosse Energiemenge ist allerdings nur zu einem verschwindend kleinen Anteil nutzbar. Doch selbst dieser verschwindend kleine Anteil ist ein Vielfaches grösser als der gesamte Energiebedarf der Menschheit je sein wird. Die Erde hat einen Durchmesser von 12 700 Kilometern, die feste Kruste unter unseren Füssen ist aber nur 30 Kilometer dick. Das ist im Vergleich dünner als eine Hühnerschale zum Ei. Selbst wenn uns praktisch nur die obersten 10 Kilometer der Kruste zugänglich sind, kann mit dem Hot-Dry-Rock-Verfahren daraus 30-mal mehr Energie gewonnen werden als aus sämtlichen fossilen Reserven Kohle, Gas und Öl zusammen.

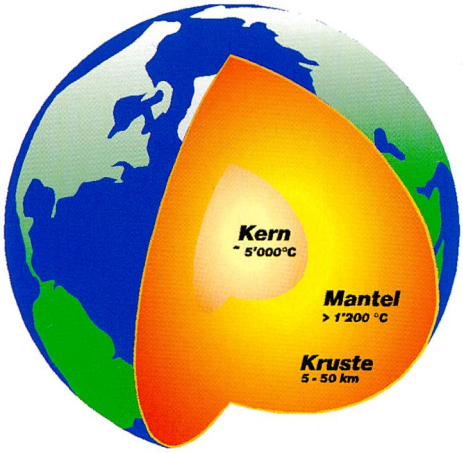

Bild 1. Die Temperaturverteilung im Erdinnern.

Das Hot-Dry-Rock-Verfahren

Das Hot-Dry-Rock-Verfahren ermöglicht, diese unerschöpfliche Energiequelle anzuzapfen. Das Prinzip des Verfahrens ist an und für sich einfach. Über Tiefbohrungen wird Wasser in das Gebirge eingepresst. Dort herrschen in einer Tiefe von 4 bis 6 Kilometern Temperaturen von 150 bis 200 Grad Celsius. Weitere Bohrungen nehmen das durch künstlich erweiterte Klüfte gepresste Wasser wieder auf und befördern es an die Oberfläche. Auf diesem Temperaturniveau kann über einen Wärmetauscher und einen Sekundärkreislauf Strom produziert werden. Das abgekühlte Wasser wird im geschlossenen Kreislauf wiederum ins heisse Reservoir eingepresst.

Der Sekundärkreislauf enthält eine niedrig siedende Flüssigkeit, welche beim Wärmetauscher verdampft und eine Dampfturbine antreibt. Die abgekühlte und kondensierte Flüssigkeit wird wiederum dem Wärmetauscher zugeführt.

Die Herausforderung des Verfahrens liegt in der Erzeugung, Ortung und Aufspürung Wasser führender Klüfte, welche im heissen Gestein einen möglichst grossräumigen Wärmetauscher bilden sollen. Die Forschung und Entwicklung konzentriert sich auf diese Aspekte.

Entwicklungsgeschichte

Die Idee des Verfahrens wurde erstmals in den 70er-Jahren in den staatlichen Forschungslaboratorien von Los Alamos in den USA entwickelt. Die Experimentieranlage von Fenton Hill, New Mexico, bewies die Funktionstüchtigkeit des Prinzips. Leider wurde diese Forschung in den USA aus finanziellen Gründen nicht mehr weiter gefördert. Weitere Experimentieranlagen in den 80er- und 90er-Jahren in Japan (Hijiori, Ogachi) und Grossbritannien (Rosemanowes) waren ebenfalls erfolgreich. Auf Grund fehlender Wirtschaftlichkeit zu jener Zeit fand allerdings kein Durchbruch statt. Das zurzeit erfolgreichste und am weitesten fortgeschrittene Experiment findet im Rahmen der EU-Forschung im elsässischen Soultz-sous-forêts, 30 Kilometer nördlich von Strassburg, statt. Dort wurde vor ein paar Jahren eine ausgezeichnete Zirkulation zwischen zwei 3,5 Kilometer tiefen Bohrungen nachgewiesen, unterdessen hat man zwei weitere 5 Kilometer tiefe Bohrungen abgeteuft, und es ist geplant, die ursprünglich als Experiment vorgesehene Anlage zur Stromproduktion auszubauen.

Bereits vor sieben Jahren haben wir erkannt, dass die Hot-Dry-Rock-Forschung auch für die Schweiz ein Thema ist. Wir sind ein rohstoffarmes Land, verfügen jedoch über ausgezeichnete Hochschulen, in welchen Erdwissenschafter und Geophysiker ausgebildet werden, die nach dem Abschluss ihre Berufskarriere meist im Ausland suchen (müssen). Zudem hat die Schweiz in der Energietechnik eine alte Tradition: So bildete die Entwicklung der Wasserkraft Anfang des letzten Jahrhunderts den Grundstein für unsere Elektrizitätswirtschaft und den Maschinenbau, ein Know-how, das der Schweiz während Jahrzehnten einen blühenden Export ermöglichte.

Das Projekt Deep Heat Mining

Deep Heat Mining bezeichnet ein Forschungs- und Entwicklungsprogramm zur Stromproduktion aus Erdwärme und bezeichnet gleichzeitig auch die damit beschäftigte Arbeitsgemeinschaft von Wissenschaftlern und Ingenieuren aus privaten wie auch aus Hochschulinstitutionen.

Die Entwicklung der Pilotanlage in Basel bildet das Herzstück. Zudem werden die Kenntnisse zum geothermischen Potenzial der Schweiz vertieft, neue Standorte evaluiert und natürlich laufend an einer Verbesserung der Erkundungs- und Erschliessungsmethodik gearbeitet.

Weshalb Geothermie?

Weltweit steigt der Energiebedarf und wird langfristig weiter steigen. Selbst wenn in den industrialisierten Ländern kein Wachstum mehr stattfinden sollte, trifft diese Aussage noch zu. Die fossilen Energieträger sind endlich und belasten das Klima. Auch die Kernkraft hat noch lange nicht alle Probleme gelöst und wird langfristig mit geringer Akzeptanz rechnen müssen. Unter diesen Rahmenbedingungen ist es unumgänglich, dass neue Energiequellen erschlossen werden, um den heutigen Energiemix zu vergrössern.

Die Anforderungen an einen neuen Energieträger sind hoch. Wichtigste Voraussetzung ist: Er muss jederzeit und überall verfügbar sein. Er soll nachhaltig sein, d.h. nachfolgende Generationen müssen noch dieselbe Energiemenge zur Verfügung haben wie wir. Die Energie muss kostengünstig sein. Die Produktion sollte schadstoff- und abgasfrei und möglichst unauffällig bei geringem Platzaufwand erfolgen.

Diesen Forderungen kann die Geothermie gerecht werden. Erdwärme ist die einzige nachhaltige Ressource, welche jederzeit, klimatisch, saisonal und tageszeitlich unabhängig, Energie produzieren kann. Die Stromgestehungskosten bei der Geothermie sind heute in der Grössenordnung derjenigen der Windenergie, also noch nicht so tief, dass sie in einem freien Markt bestehen könnten. Um kompetitive Stromgestehungskosten zu erreichen, muss in Zukunft billiger gebohrt werden. Die Aussicht auf eine Halbierung der Bohrkosten innerhalb der nächsten 5 bis 10 Jahre ist realistisch. Dann ist Geothermie nicht nur eine ökologische, sondern auch ökonomisch wettbewerbsfähige Alternative. Das Hot-Dry-Rock-Verfahren entzieht dem Untergrund Wärme. Bei diesem Wärmetausch findet kein Materialabbau oder -austausch statt. Es findet auch keine Verbrennung statt, sodass weder feste, flüssige noch gasförmige Schadstoffe anfallen. Der grösste Flächenbedarf bei einem geothermischen Kraftwerk besteht während der Bohrphase, dieser beschränkt sich auf eine Fläche kleiner als ein Fussballfeld. Die Kraftwerksanlagen selbst sind bei einem wassergekühlten System nicht grösser als ein Einfamilienhaus. Einmal im Betrieb, kann das Bohrgelände für andere Zwecke verwendet werden. Eine Studie der ETH Lausanne hat gezeigt, dass ein Hot-Dry-Rock-Kraftwerk eine sehr gute Ökobilanz aufweist. Das heisst, dass die Energie, welche in den Bau eines Kraftwerks gesteckt wird, in weniger als 2 Jahren durch die Produktion kompensiert ist. Dass Geothermie eine einheimische Energiequelle ist, verringert die Auslandabhängigkeit und ist volkswirtschaftlich interessant.

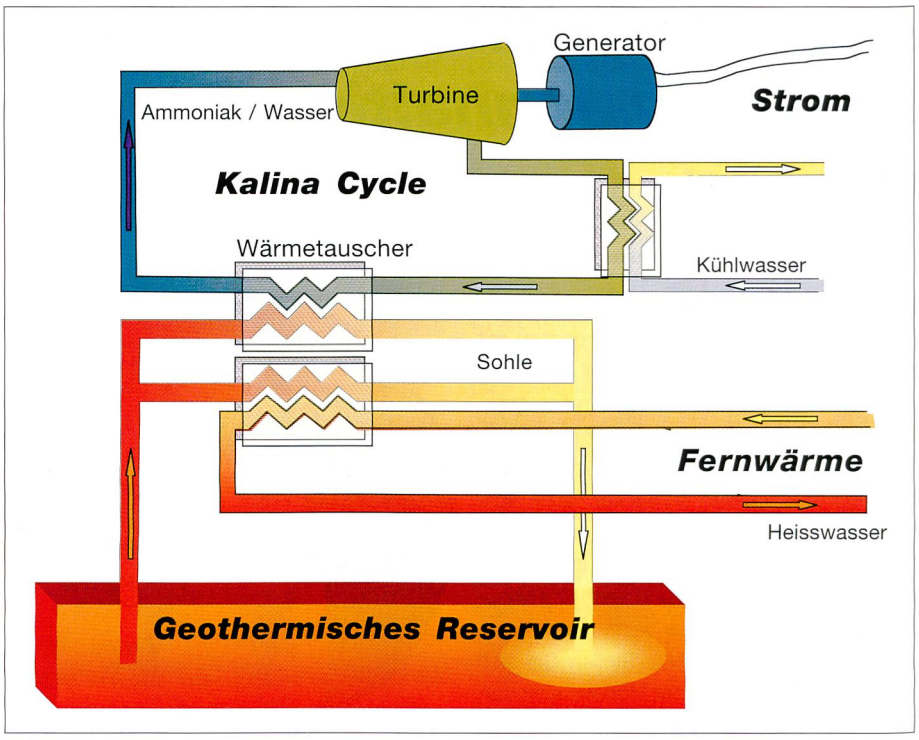

Bild 2. Prinzip des Hot-Dry-Rock-Verfahrens zur Wärme- und Stromgewinnung.

Weshalb in Basel?

Der Standort Basel ergibt sich aus dem Zusammentreffen günstiger Faktoren: Es stand von Anbeginn fest, dass für eine erste kommerziell ausgerichtete Pilotanlage Strom und Wärme genutzt werden sollten. Für die Wärmeeinspeisung kamen nur bestehende Fernwärmenetze in Frage. Basel hat das grösste Fernwärmenetz der Schweiz. Zum zweiten verfolgt Basel-Stadt eine Energiepolitik, welche die Entwicklung neuer Technologien fördert. Und drittens erscheint der Rheingraben geothermisch als günstig.

Das Ziel ist, in Basel ein geothermisches Heizkraftwerk nach dem Hot-Dry-Rock-Verfahren zu entwickeln. Die Pilotanlage soll 3 MW Strom und 20 MW Wärme produzieren, was dem Energiebedarf von 5000 Haushalten entspricht. Um dies zu erreichen, braucht es drei Bohrungen auf 5000 Meter Tiefe. Eine Bohrung, um Wasser in den Untergrund zu pumpen, und zwei, um das heisse Wasser an die Oberfläche zu befördern. Die Bohrungen werden im Werkhof der Industriellen Werke Basel (IWB) in Kleinhüningen von einem Standort aus abgeteuft. In der Tiefe werden sie so abgelenkt, dass sie auf Zieltiefe rund 500 Meter voneinander entfernt sind. Zudem braucht es zwei weitere Bohrungen auf 2700 Meter Tiefe. Diese dienen als Monitoringstationen, aus deren Position die Wasser führenden Klüfte im Reservoirbereich geortet werden. Die Monitoringstationen werden im unteren Bohrlochabschnitt über eine lange Strecke mit einer Serie von Geophonen bestückt. Diese registrieren die mikroseismischen Signale, welche beim Aufbrechen einer Kluft entstehen. Damit kann die räumliche Lage der stimulierten Klüfte geortet werden. Die Monitoringstationen befinden sich typischerweise in einem horizontalen Abstand von 1 bis 3 Kilometern von den Tiefbohrungen.

Entwicklungsprogramm

Mit einer Sondierbohrung beim Zoll Otterbach wurde 2001 die geologische Eignung des Standortes Basel geprüft. Es galt zu eruieren, auf welcher Tiefe das kristalline Grundgebirge, das Wirtgestein für den Wärmeentzug, beginnt. Zudem mussten Kenntnisse über die natürliche Klüftung und die Spannungsverhältnisse im Grundgebirge beschafft werden. Die Bohrung war ein Erfolg und lieferte auch einige unerwartete Resultate: Zunächst wurde im mittleren Muschelkalk ein Salzlager von 176 Metern Mächtigkeit durchbohrt, das ist dreimal mehr als das Salz der Saline Schweizerhalle. Über dem Grundgebirge wurde eine wenig bekannte Formation, das so genannte Rotliegende in einer unerwarteten Mächtigkeit von über 800 Metern durchbohrt. Das kristalline Grundgebirge beginnt deshalb wesentlich tiefer als prognostiziert, nämlich erst auf 2650 Metern Tiefe und nicht wie angenommen auf 2300 Metern. Der Temperaturgradient ist mit 4,0 Grad Celsius pro 100 Meter erfreulicherweise noch höher als prognostiziert. Das Kristallin weist die erhoffte Klüftung auf, und die Spannungsverhältnisse entsprechen den Voraussagen. Der Standort wurde so gewählt, damit die Bohrung zu einer Monitoringstation ausgebaut werden kann. Hier konnte noch ein «spin-off»-Projekt entwickelt werden. Die Instrumentierung wurde in Zu-

sammenarbeit mit dem Schweizerischen Erdbebendienst so gewählt, dass nicht nur mikroseismische Ereignisse im Reservoirbereich, sondern auch natürliche Kleinbeben in der Region in bisher ungekannter Auflösung erfasst werden können.

Mit den Resultaten der Sondierbohrung ist der Weg für den nächsten Schritt offen, eine erste Bohrung auf 5000 Meter Tiefe bis in den Bereich des Wärmereservoirs abzuteufen. Die Bohrung muss wiederum verschiedene Ziele erreichen, bevor die zweite Monitoringstation und die zweite Tiefbohrung in Angriff genommen werden. Zwischen den Bohrungen wird dann mit gezielten hydraulischen Injektionen das Kluftsystem stimuliert, sodass ein Netz wasserwegsamer Klüfte entsteht. Es ist die Absicht, ein Gesteinsvolumen in der Grössenordnung von 0,4 Kubikkilometern zu stimulieren. Ist dieser Nachweis gelungen, folgt eine dritte Bohrung und anschliessend werden die Kraftwerksanlagen gebaut. Die Dauer der gesamten Entwicklung bis zur Inbetriebnahme ist auf 5 Jahre veranschlagt. Die Kosten der Exploration, das ist bis zum Nachweis einer Zirkulation zwischen zwei Bohrungen, sind auf 40 Mio. Franken veranschlagt, eine dritte Bohrung und Ausbau der Kraftwerksanlagen auf weitere 40 Mio. Franken.

Mit der Pilotanlage soll gezeigt werden, dass das Hot-Dry-Rock-Verfahren eine kommerziell einsetzbare Technologie ist und andernorts reproduzierbar ist. Vor allem in der Nordwestschweiz sind eine Anzahl von Anlagen denkbar. Das langfristige Ziel ist, geothermische Kraftwerke mit einer grösseren elektrischen Leistung zu bauen. Anlagen von 20 bis 50 MW sind denkbar, was nicht wesentlich mehr Platz, sondern nur ein grösseres Bohr-Cluster, wie auf Ölplattformen üblich, erfordert. Von der geothermischen Ressource des schweizerischen Untergrundes her liesse sich der gesamte Energiebedarf decken. Technisch möglich und sinnvoll erscheint langfristig die Deckung gut eines Drittels des schweizerischen Strombedarfs.

Weshalb hat man das nicht schon früher gemacht?

Die Frage, weshalb die Hot-Dry-Rock-Technologie bei so vielen Vorteilen nicht schon viel früher erfolgreich war, hat mehrere Antworten: Die erfolgreiche Entwicklung eines geothermischen Reservoirs ist nicht a priori gesichert. Geologische Risiken bestehen ähnlich wie beim Tunnelbau oder in der Erdölexploration. Das vermindert die Investitionsbereitschaft von Finanzstrategen, die glauben, dass Innovation ohne Risikobereitschaft möglich sei.

Die Bohrtechnik, getrieben durch die Erdölindustrie, hat in den letzten 10 Jahren gewaltige Fortschritte erzielt: So ist heute das metergenaue Bohren in beliebige Richtungen zur Routine geworden, für gering durchlässige Erdölreservoire wurden Stimulations- und Frakturierungstechniken entwickelt, welche dem Hot-Dry-Rock-Verfahren voll zugute kommen. Gewaltige Fortschritte hat die Geophysik erzielt. Die unterirdische Ortung von mikroseismischen Signalen ist eine Errungenschaft aus frühen Hot-Dry-Rock-Experimenten. Und schliesslich ist erst in den letzten Jahren erkannt worden, dass selbst in grossen Tiefen noch hohe Durchlässigkeiten möglich sind. Diese Erkenntnisse stammen unter anderem auch aus Arbeiten der Nagra und der weltweit tiefsten wissenschaftlichen Bohrung KTB (Kontinentale Tiefbohrung) im bayrischen Windisch-Eschenbach, wo man auf 12 Kilometer Tiefe bohren wollte. Eingestellt wurde diese Bohrung allerdings bereits bei 9 Kilometern. Weshalb? Weil das Gestein viel heisser als erwartet war!

Vielleicht wiederholt sich die Geschichte. Mit der Hot-Dry-Rock-Technologie kann die Schweiz einen wirtschaftlichen Vorteil erarbeiten, der mit der Entwicklung der Wasserkraft im letzten Jahrhundert verglichen werden kann.

Anschrift des Verfassers
Dr. *Markus O. Häring,* Geothermal Explorers Ltd, Im untern Tollacher 2, CH-8162 Steinmaur.

Kaminsanierung Kehrichtverbrennungsanlage (KVA)

Auch Abfall hat Geschichte

Der Umgang mit Abfall in prähistorischer Zeit entsteht mit der Sesshaftigkeit nomadisierender Stämme und der Bildung urbaner Zentren.

Im Altertum setzen sich erste Anfänge einer öffentlichen Gesundheitspflege durch. Das Hauptproblem jener Zeit bilden die menschlichen Exkremente. Dies führt zum Bau der ersten Kanalisationssysteme.

Im Mittelalter gerät anfangs der geregelte Umgang mit Abfällen wieder in Vergessenheit. Der Abfall wird auf die Strasse oder in Löcher geworfen, was zu grossen hygienischen Problemen führt. Nach dem Dreissigjährigen Krieg sind erneut Bemühungen zur städtischen Abfallbeseitigung im Gange.

Die Industrialisierung bringt grosse Veränderung in das Leben und das Konsumverhalten der Bevölkerung. Mit den anfallenden Rückständen aus den industriellen Prozessen erhält auch die Abfallproblematik eine neue Dimension. Wilde Deponien lösen die Abfallprobleme jener Zeit.

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts starten in Europa erste Anlagen zur Verbrennung von Abfall.

Der wirtschaftliche Aufschwung nach dem Zweiten Weltkrieg bringt unter anderem eine massive Erhöhung des Energieverbrauchs, Abfallvolumens und der Schadstoffbelastung mit sich.

Als Reaktion auf diese Entwicklung entstehen zahlreiche Gesetze zum Schutze des Menschen und seiner Umwelt.

Die Konsequenzen daraus zeigen sich in der Verbesserung der Abfallbehandlung, im Recycling von wiederverwertbaren Abfällen, einem Deponierungsverbot von organischen Abfällen (seit 1. Januar 2000) sowie Vermeidung und Verminderung von Abfällen durch verändertes Produktions- und Konsumverhalten.

In Bern bringt die Stadt ihren Kehricht von 1914 bis 1954 vom Fischermätteli aus per Bahn nach Witzwil. Aus dem von Strafgefangenen sortierten Abfall wird Kompost, Tierfutter und Brennbares zur Erzeugung von Dampf für die Wäscherei, Käserei und Heizung gewonnen.

1954 nimmt die Kehrichtverwertungsanlage (KVA) am Warmbächliweg ihren Betrieb auf. Aus Kehricht entsteht jetzt Wärme und ab 1964 auch Strom. Zu den ersten Abnehmern gehören das Inselspital und die Konservenfabrik Veron.

1964 ist eine Erweiterung der Fernwärmeversorgung angesagt: Zwei neue Kessel und Turbinen arbeiten jetzt noch wirkungsvoller.

1975 kann die neue KVA Bern in Betrieb genommen werden.

1983 ergänzt ein neuer Heizwasserkessel die Anlage.