

Energieverbrauch	vor der Sanierung	nach der Sanierung
Nennwärmebedarf	315 kW	315 kW
Vollbenutzungsstunden bvh	1680 h/a	1680 h/a
Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser	529,2 MWh/a	529,2 MWh/a
Primärenergieeinsatz	814,1 MWh/a	355 MWh/a
Brennstoffmassenstrom (Braunkohlebrikett)	146,5 t/a	
(Erdgas)	34 300 m ³ /a	
CO ₂ -Emissionen	257,4 t/a	70,9 t/a

Energiebilanz der Kombination BHKW/Wärmepumpe

	BHKW	Wärmepumpe
Primärenergie (Erdgas)	100 kWh	
Elektroenergie	29 kWh	29 kWh (aus BHKW)
Grubenwärme	58 kWh	
Heizwärme	62 kWh	87 kWh
Verluste	9 kWh	

Nutzungsgrad

Wärmeversorgung Schule (mit 100 kWh Erdgas können 149 kWh Heizwärme bereit gestellt werden). 1,49

Energieeinsparung Wärmeversorgung Schule (Primärenergie)

459,1 MWh/a

CO₂-Reduktion gegenüber Ausgangszustand bzw. 186,5 t/a bzw. 72 %

Spezifische Investitionskosten

bezogen auf Primärenergieeinsparung 0,80 DM/kWh
CO₂-Reduktion 1,97 DM/kg

Frankfurt-Höchst: Wohn- und Geschäftshaus mit Erdwärmesonden

Burkhard Sanner, Gerd Euler

Gegen Ende des Jahres 1993 wurden in Frankfurt-Höchst die Bohrungen für die Erdwärmesonden einer größeren Wärmepumpenanlage niedrigerbracht. In einem Gebäudekomplex mit Wohnungen, Büros und Tiefgarage, der sich in spitzem Winkel nach Westen öffnet, wird die Beheizung durch zwei Gasmotore (BHKW'S) mit 75 bzw. 130 kW thermischer Leistung und eine Wärmepumpe mit 240 kW Heizleistung sichergestellt. Ein Schema der Gesamtanlage zeigt Abb. 13.

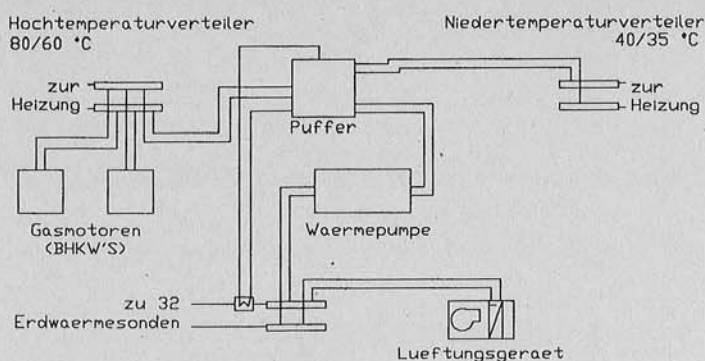


Abb. 13: Schema der Heizanlage Wohn- und Geschäftsgebäude Frankfurt-Höchst

Die Wärmequelle für die Wärmepumpe besteht aus 32 Erdwärmesonden von je 50 m Tiefe, die entlang der nördlichen Gebäudefront verlaufen. Die Bohrungen wurden im Rotary-Verfahren mit Stufenmeißel durch die Grundag AG aus der Schweiz abgeteuft (Abb. 14). In die Bohrlöcher wurden Doppel-U-Sonden aus HDPE eingebracht und von unten nach oben verpresst.



Abb. 14: Bohrarbeiten im November 1993, Frankfurt-Höchst

Eine erste Bohrung bis auf 98 m Tiefe gab Aufschluß über die geologischen Gegebenheiten. Das Profil in Abb. 3 entstand nach Beurteilung der Cuttings und Vergleich mit Standardprofilen aus dem Frankfurter Raum [1]. In 73 m Tiefe wurde ein artesisches Mineralwasser angetroffen, das mit etwa 2 bar am Bohrlochkopf anstand. Das Wasser war etwa 15 °C warm (etwas erhöhte Temperatur), es hatte bei einer Leitfähigkeit von 6,17 mS/cm einen Gehalt an gelösten Feststoffen von 3360 mg/l; die Carbonathärte betrug 42 °d. Die Bohrung wurde wieder sicher verschlossen und zementiert. Als Bohrtiefe mit ausreichendem Abstand zum vermutlich in Klüften der oberoligozänen Corbicula- und Cerithienschichten zirkulierenden Wasser wurden 50 m angesetzt. Bei den sich aus dieser Teufe für die geforderte Leistung ergebenden 32 Bohrungen wurde der zur Verpressung verwendeten Zement-/Bentonit-Suspension als Vorsichtsmaßnahme pro Bohrung ein Sack Baryt (Schwerspat) beigegeben, um an der Bohrlochsohle den ursprünglichen Überlagerungsdruck in etwa wieder einzustellen.

Die 32 Erdwärmesonden sind in einem zentralen Verteilerschacht zusammengefaßt. Vor- und Rücklaufverteiler mit jeweils 64 Abgängen sind vollständig aus PE geschweißt. Die Wär-

meträgerflüssigkeit wird durch zwei Sammelrohre an der Decke der Tiefgarage zum Heizraum gepumpt; die Umwälzpumpe befindet sich in einem Nebenraum der Tiefgarage. Für den Sommerbetrieb ist vorgesehen, die kalte Wärmeträgerflüssigkeit aus den Erdwärmesonden direkt durch ein Lüftungsgerät zirkulieren zu lassen und so zur Raumkühlung heranzuziehen (Kältespeicherung). Der gesamte Wärmequellenteil wurde durch die Geotherm GmbH aus Linden projektiert und ausgeführt.

Als Wärmepumpe kommt ein Aggregat von GEA-Happel, Herne, zum Einsatz, das in Japan hergestellt wurde. Bei einer elektrischen Anschlußleistung von ca. 58 kW werden bis zu 240 kW Heizleistung erbracht. Abwärme der BHKW's, die im Sommer nicht voll genutzt werden kann, wird ggf. über einen Wärmetauscher in den Erdwärmesonden-Kreislauf abgegeben, was im Herbst zu guten Ausgangsbedingungen für den Heizbetrieb führt.

Seit Anfang 1994 ist die Anlage in Betrieb. Der zum Antrieb der Wärmepumpe nötige Strom soll im Normalfall durch die Gasmotore bereitgestellt werden. Bei Vollast-Heizbetrieb der Anlage würden so zum Heizen 445 kW_{th} bereitstehen, dazu etwa 25 kW_{el} nicht für den Anlagenbetrieb benötigter elektrischer Strom. Bei Teillast (nur BHKW's) werden etwa 200 kW_{th} für Heizung und rund 100 kW_{el} Strom geliefert. Da Erdgas zum Betrieb verwendet wird, dürfte der gesamte Schadstoff- und CO₂-Ausstoß außerordentlich gering sein. Die Wirtschaftlichkeit der Anlage soll durch eine Diplomarbeit der FH Gießen untersucht werden.

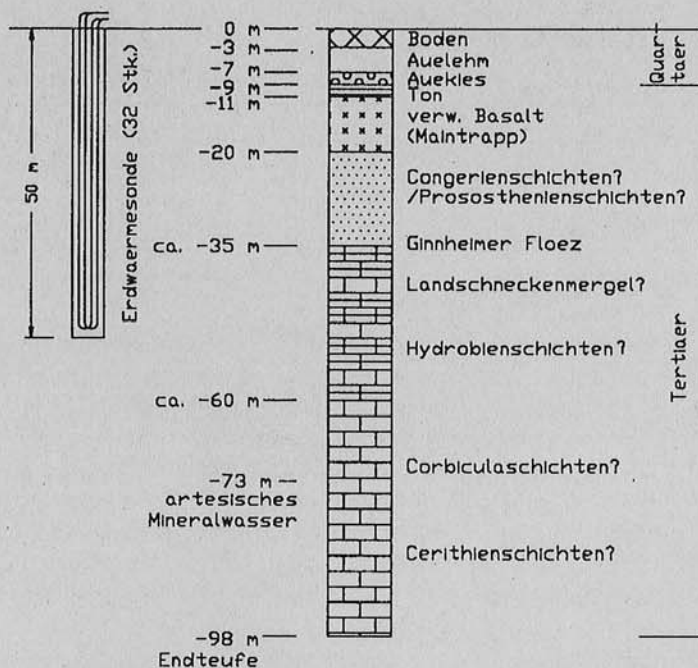


Abb. 15: Profil der 98-m-Bohrung, Frankfurt-Höchst

Schrifttum:

[1] Hottenrott, M. (1988): Palynologie, Stratigraphie und Paläogeographie im Tertiär von Mittelhessen und Umgebung. - Geol. Jb. Hessen 116, S. 113-168, Wiesbaden

Geschichte der Geothermie: Messungen der Grubenluft-Temperaturen durch den Studenten Alexander von Humboldt in Freiburger Berg- werken

Peter Kühn

Die unterirdische Meteorologie

1789 nimmt Alexander von Humboldt sein Studium an der Universität Göttingen auf. Noch im gleichen Jahr unternimmt er mit dem holländischen Studienkollegen S.J. van Geuns eine naturhistorische Studienreise durch Westdeutschland. In der Auswertung dieser Reise veröffentlicht er sein erstes Büchlein *Mineralogische Beobachtungen über einige Basalte am Rhein*. In dieser Veröffentlichung behandelt er ein damals aktuelles Thema der Gewissenschaften, die Entstehung der Basalte. Humboldt wertet die internationale Literatur zu dieser Thematik aus und teilt eigene Beobachtungen über die Basalte von Unkel mit. Bei der Bearbeitung der Basaltproblematik beschäftigt sich Humboldt erstmals mit der Fragen der Wärmeverhältnisse der Erde. Noch im Jahre 1790 begibt er sich mit seinem Freund G. Forster auf eine weitere Reise, die durch Westdeutschland, die Niederlande, England und Frankreich führt. Zurückgekehrt setzt Humboldt seine Studien an der Hamburger Handelsakademie fort. Von dort aus übersendet er sein Basaltbüchlein auch an A.G. Werner nach Freiberg. Im Frühjahr 1791 beendet Humboldt seine Hamburger Studien, bewirbt sich bei F.A. v. Heinitz, dem preußischen Bergbauminister, um eine Anstellung im Bergdienst. Mit einem Empfehlungsschreiben von Heinitz in der Tasche reist Humboldt im Juni 1791 nach Freiberg an die dortige Bergakademie, um hier sein Studium bei dem Geologen Werner aufzunehmen. Auf Anraten seines Freiburger Lehrers unternimmt Humboldt mit seinem Kommilitonen J. C. von Freiesleben, dem späteren sächsischen Ober-Berghauptmann, eine geologisch bergmännische Studienreise durch das Erzgebirge und Böhmen. Außerdem führt er praktische Arbeiten in den Freiburger Gruben aus. U.a. führt er im Winter 1791/92 mit Freiesleben Messungen der Grubenluft-Temperatur in verschiedenen Tiefen durch. Das sind die ersten geothermischen Messungen in einem deutschen Bergwerk. Über die Ergebnisse können wir uns in den Werken von Humboldts späterem Freund F. Arago¹ informieren. Auch in Humboldts Monographien *Versuche über die chemische Zerlegung des Luftkreises* und *Ueber die unterirdischen Gasarten und die Mittel ihren Nachtheil zu vermindern* (mit einer Vorrede Wilhelm von Humboldts) gibt es Hinweise auf die Freiburger Messungen der Grubenluft-Temperaturen. Humboldt und Freiesleben beobachteten im Januar 1791 eine *lange Reihe*; sie fanden im *Kuhschacht* und im *Segen Gottes Herzog Augustus* bei 120 m und bei 150 m Tiefe die Luft in den Gruben auf 13 °C und 14,8 °C, während die äußere Luft im Januar +3 °C und 4 °C zeigte.² Bis 1798 führt Humboldt weitere Untersuchungen zur *unterirdischen Meteorologie* durch. Zu nennen sind neben den Freiburger Messungen solche in der *Wunsiedler Revier bey Arzberg* (98 gleichzeitige Beobachtungen in 13 Lachter Teufe und im *Freyen*; bisweilen täglich zweymal; vom 23sten September 1796 bis 13ten Januar 1797), im *Alexanderstollen am Fichtelgebirge*, im *Chamony-Thal (alter Mont-Blanc-Stollen)*, in der *Gallerie d'esperance zu Servoz*, in den *Steinsalzgruben* zu