

Wärme- und Kälteerzeugung mittels oberflächennaher Geothermie für ein Produktions-, Büro- und Lagergebäude

Dipl.-Ing. Markus Pfeil
Dipl.-Ing. Holger Koch



Pfeil & Koch ingenieurgesellschaft GmbH & Co. KG
Beratende Ingenieure VBI
Marienstr. 37
D-70178 Stuttgart
Tel.: 49-711-67 44 74 - 0
Fax: 49-711-67 44 74 - 10
e-mail: energie@pk-i.de
internet: www.pk-i.de

1. Einleitung

In Tettngang entstand der Neubau eines industriell genutzten Gebäudes mit einer Bruttogeschoßfläche von 5.500 qm. Nutzer des Gebäudes ist ein weltweit operierendes Unternehmen der Elektronikbranche. Das Gebäude besitzt vielfältige Nutzungsbereiche, wie Produktion von elektronischen Bauteilen, Lagerung von elektronischen Bauteilen in einem vollautomatischen Hochregallager sowie Verwaltung und Schulung.



Gebäude und Erdsondenanlage im Bau

Industrielle Gebäude, insbesondere wenn Produktionsprozesse vorhanden sind,

verfügen häufig über einen hohen Kühlungsbedarf. Die Kombination aus Heizung und Kühlung läßt sich energetisch vorteilhaft mit der oberflächennahen Geothermie darstellen. Da bei dieser Art der erneuerbaren Energie die Nutzung der Speicherfähigkeit des Erdreichs im Vordergrund steht, kann bei einer ausgewogenen Wärme-

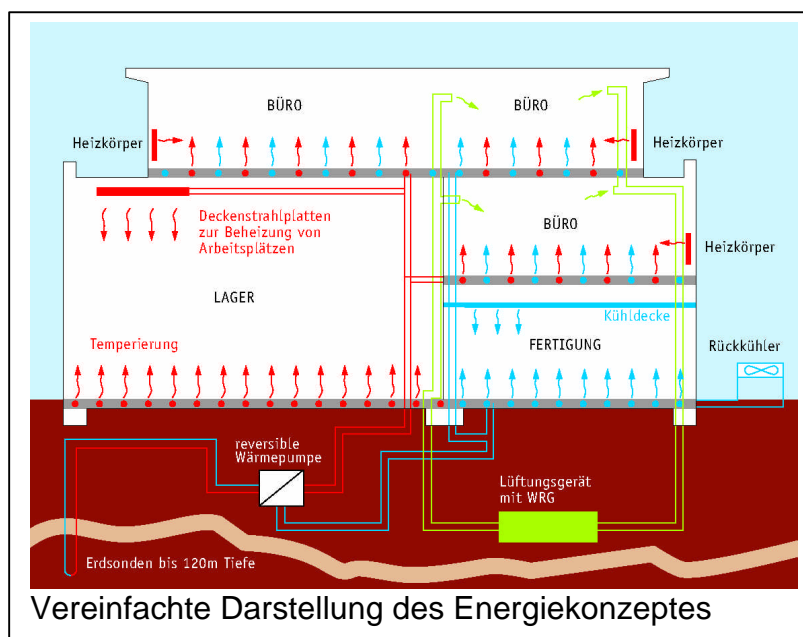
bilanz (Wärmeeintrag = Wärmeentzug) das Erdsondenfeld doppelt genutzt und kleiner dimensioniert werden. Zusätzlich verbessert sich die Wirtschaftlichkeit der Geothermie, da zur Wärmeerzeugung noch die Kälteerzeugung hinzukommt und diese monetär noch höher bewertet werden kann.

In diesem Bauvorhaben wurde aus den genannten Gründen die Geothermie als eine Energiequelle zur Heizung und Kühlung favorisiert. Die Komplexität der energetischen Nutzungen im Gebäude machte allerdings ein integrales Gesamtenergiekonzept erforderlich.

2. Gesamtenergiekonzept

Es wurde ein innovatives Energie- und Haustechnikkonzept unter folgenden Aspekten entwickelt:

1. Ausschöpfung von Energieeinsparpotentialen bei der Gebäudehülle (besonders sommerlicher Wärmeschutz)
2. Schaffung optimaler Arbeitsbedingungen durch ein gutes Raumklima
3. Abfuhr der produktionsbedingten hohen inneren Wärmelasten z.T. durch freie Kühlung
4. Konzeption einer kombinierten Wärme- / Kälteerzeugung unter Nutzung oberflächennaher Geothermie



Das bauphysikalische Konzept sieht folgende U-Werte der Bauteile vor: Fassade 0,48 W/m²K; Fenster 1,5 W/m²K; Dach 0,19 W/m²K. Ein außenliegender Sonnenschutz sorgt zusammen mit einem reduzierten Glasflächenanteil und entsprechenden Eigenschaften der Verglasung für die Reduktion äußerer solarer Lasten. Wegen der mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung wurde an die Luftdichtheit der Gebäudehülle eine erhöhte

Anforderung gestellt. Es ist ein n50-Wert $\leq 0,5 \text{ h}^{-1}$ gefordert.

Aufgrund der hohen Personen-Belegungsdichten, insbesondere in den Bereichen Call-Center und Schulung, wurden Simulationen des CO₂-Anstiegs in der Raumluft im Verlauf eines Arbeitstages durchgeführt. Als Ergebnis wurden Außenluftwechselraten ermittelt, die im Büro bei $n=2\text{h}^{-1}$ und im Call-Center bei $n=4\text{h}^{-1}$ liegen. Aus

diesem Grund und wegen der Möglichkeit der Wärmerückgewinnung und der Zuluftkühlung wurde auf eine kontrollierte Lüftung gesetzt. Die Lüftung wird bedarfsabhängig nach dem CO₂-Gehalt in der Raumluft betrieben.

Besonders hohe Anforderungen an maximale Raumtemperaturen werden in der Produktion elektronischer Bauteile gestellt. Hier sind in einer SMD (Surface Mounted Devices)-Fertigung im Endausbau fünf Lötöfen in 3 Schichten in Betrieb, die in der Summe 92 kW Wärme abgeben. Gleichzeitig sind in diesem Bereich maximale Raumtemperaturen von 24°C sicher zu stellen. Daraus ergeben sich die sehr hohen spezifischen Wärmelasten von 158 W/qm, welche auch unter Berücksichtigung der Behaglichkeitskriterien für die dort Beschäftigten abzuführen sind. Damit die Kühlung energieeffizient über die Geothermie stattfinden kann, wurden hier Flächenkühlsysteme (Fußbodenkühlung und Kühldecken) sowie eine Zuluftkühlung mit entsprechendem Temperaturniveau in den Kühlregistern geplant.

Im Heizfall erfolgt die Wärmeübergabe in den Bereichen Büro, Schulung und Besprechung über eine Fußbodenheizung zur Deckung der Grundlast. Einen dynamischen Heizungs-Regelanteil sowie individuelle Nutzerbedürfnisse nach höheren Raumtemperaturen werden in diesen Bereichen zusätzlich über Heizkörper geliefert. Die hierfür erforderlichen höheren Vorlauftemperaturen werden der Wärmepumpe über eine Heißgasenthitzung entnommen. So können die statischen Heizflächen mit gängigen Temperaturniveaus (VL/RL 55/45°C) ausgelegt werden, ohne dass die Effizienz des Wärmepumpenbetriebs darunter leidet. Die Kühlung in den Büros wird kombiniert durch eine Zuluftkühlung sowie durch den Betrieb der Fußbodenheizung mit der Option Kühlung erreicht.

Im vollautomatischen Hochregallager mit insgesamt 10.000 cbm Raumvolumen werden nur geringe Temperaturanforderungen gestellt, da die gelagerten Gegenstände nur vor Kondensat zu schützen sind. Das Lager wird daher mit einer Industrieflächenheizung auf 10-15°C niedrigbeheizt. Um für die in den Vorzonen des Lagers arbeitenden Personen angenehme Temperaturen zu erreichen, wird lokal über Deckenstrahlplatten und über eine Fußbodenheizung an diesen Stellen ein höheres Temperaturniveau erreicht.

3. Wärme- und Kälteerzeugung

Zur Auslegung der Wärme- und Kälteerzeugungsanlage wurde die Heizlast sowie die Kühllast des Gebäudes abgebildet. Im Rahmen einer Diplomarbeit [1] wurden diese Ergebnisse in das von der Hochschule Biberach entwickelte Programm GEOSYST zur Dimensionierung von Erdwärmesonden eingepflegt.

Die Besonderheit des ganzjährigen Anfalls hoher Abwärmemengen in der SMD-Fertigung machte es erforderlich, das Kühlkonzept so aufzubauen, dass ein hoher Anteil von Kältearbeit zunächst über die freie Kühlung geliefert werden kann, bevor die Wärmeabfuhr an das Erdreich über die Erdsonden stattfindet.

Es ergeben sich damit für den Fall des Kühlens die folgenden drei Betriebsszenarien:

1. Außentemperatur < 6°C: vollständige freie Kühlung
2. Außentemperatur zwischen 6°C und 16°C: Kombination freie Kühlung und Kühlung über Geothermie
3. Außentemperatur > 16°C: Kühlung über Geothermie



Thermal-Response-Test an der ersten Erdsonde

Als Grundlage für die Dimensionierung der Erdwärmesondenanlage diente ein Schichtenprofil eines Nachbargrundstückes, welches bis zu einer Tiefe von 125 m vorlag. Aus diesem Profil wurde mittels der VDI 4640 [2] für den Standort eine Leitfähigkeit des Erdreichs von 2,226 W/m²K errechnet. Als thermischer Bohrlochwiderstand wurde, unter der Voraussetzung des Einsatzes eines thermisch verbesserten Verfüllmaterials,

$R_b=0,07 \text{ K/(Wm)}$ angenommen.

Mit den Ergebnissen aus der Heiz- und Kühllastberechnung und den Bodenkennwerten wurde zunächst eine Dimensionierung des Erdsondenfeldes vorgenommen, welche für die Planung und Ausschreibung diente. Die endgültige Größe des Erdsondenfeldes wurde ermittelt, nachdem an der ersten installierten Erdsonde ein Thermal-Response-Test durchgeführt wurde. Diese Vorgehensweise empfiehlt sich für Großanlagen diesen Typs, da nur über einen Thermal-Response-Test die realen thermodynamischen Randbedingungen (Leitfähigkeit, Bohrlochwiderstand) ermittelt werden können.

Die Ergebnisse des Thermal-Response-Test an der ersten Sonde liegen bei 2,3 W/mK für die Wärmeleitfähigkeit und bei 0,076 m/(Wm) für den Bohrlochwiderstand.



Bohransatz (Durchmesser 120mm mit Vorrohrung)

Das Erdsondenfeld wurde mit insgesamt 2.520 m aufgeteilt auf 21 Sonden errichtet. Die Anordnung der Sonden erfolgte in einer Reihe, I-förmig um das Gebäude herum, wobei der Abstand der Sonden untereinander 6 m beträgt. Diese Anordnung hat sich in den Simulationen als vorteilhaft erwiesen, da die Wärmebilanz nicht exakt ausgeglichen ist, sondern ein Überschuss von 80 MWh/a Wärme abzuführen ist (Wärmeabfuhr 298 MWh/a, Wärmeentzug 218 MWh/a).

4. Wirtschaftlichkeit

Die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit des vorgestellten Energiekonzeptes wurde im Rahmen einer der Planung vorangegangenen Machbarkeitsstudie durchgeführt.

<u>Technische Daten:</u>	
Bruttogeschoßfläche	5.500 qm davon:
Lagerfläche	1.200 qm
Produktion	600 qm
Erdwärmesonden	2.520 m
Wärmepumpe Heizen	193 kW
Wärmepumpe Kühlen	143 kW
Erdsonden	21 Stück
Lüftung Produktion	20.000 m ³ /h
Lüftung Büro	9.000 m ³ /h

Hierbei wurde neben der reversiblen Wärmepumpenanlage mit Erdwärmesonden auch die freie Kühlung betrachtet, da sie wesentlicher Bestandteil des Gesamtenergiekonzeptes ist. Gegenüber einer konventionellen, getrennten Wärme- und Kälteerzeugung mit Gaskessel und Klimageräten,

ergeben sich für das innovative Konzept investive Mehrkosten von ca. 350.000 €. Durch die Einsparungen im Betrieb amortisiert sich das innovative System innerhalb kurzer Zeit. Bei einer kumulierten Betrachtung der Mehrkosten (Kapitaldienst + Wartungskosten) gegenüber der Energiekosteneinsparung liegt die Amortisationszeit unter 5 Jahren, wobei eine jährliche Energiepreissteigerung von 5% p.a. zugrunde gelegt wurde.

5. Ökologie

Durch das innovative System werden gegenüber einer konventionellen Gebäudetechnik ca. 630 MWh Primärenergie eingespart. Somit werden ca. 370 t CO₂-Emissionen jährlich vermieden.

6. Fazit

Die Geothermie erlebt derzeit einen Boom. Wenn zum Heizen mit der Geothermie auch Kälteenergie geliefert werden kann ist diese erneuerbare Energie auch unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten sehr interessant. Zunächst sind aber in jedem Fall die Einsparpotentiale an Gebäude, Anlagentechnik und Betrieb auszuschöpfen. Die Erdwärme wird dann zu einem integralen Bestandteil eines Gesamtenergiekonzeptes.

7. Literatur

- [1] Buckmüller T., Auslegung, Energiebilanzierung und Erarbeitung der Regelstrategie einer Gebäudeheizung-/kühlung mit Erdsonden, Diplomarbeit an der Hochschule Esslingen, Fakultät Versorgungstechnik und Umwelttechnik, Wintersemester 2006/2007
- [2] VDI 4640, Thermische Nutzung des Untergrundes, Teil 1-4, Beuth GmbH 2001