

Energiepfähle: Anwendung am Beispiel Dock Midfield

Markus Hubbuch

Das Dock Midfield, ein 500 m langer Neubau für die 5. Ausbaustufe des Flughafens Zürich, muss wegen schlechtem Baugrund auf über 350 Pfählen fundiert werden. Es sind stehende Bohrpfähle mit 1 bis 1,5 Meter Durchmesser vorgesehen, welche bis in die Grundmoräne in ca. 30 Meter Tiefe reichen. Zur Energiegewinnung ist vorgesehen, die Fundationspfähle als Energiepfähle zu nutzen. Um diese neuartige Anlage sicher planen zu können, wurde zusammen mit der EPFL (Herr Dr. D. Pahud) ein Projekt durchgeführt, welches vom Bundesamt für Energie unterstützt wurde. Die Energiepfählanlage und ihre Einbindung ins Energiekonzept des Gebäudes wurde detailliert simuliert. Zur Bestimmung der thermischen Bodenkennwerte wurde zudem ein sogenannter Response-Test durchgeführt und durch die EPFL ausgewertet.

Mit den Energiepfählen kann die interne Abwärme im Sommer im Untergrund gespeichert und im Winter zu Heizzwecken genutzt werden. Dadurch werden jährlich ca. 1100 MWh Wärmeenergie aus dem Boden gewonnen und mit einer Wärmepumpe genutzt. Nur noch für wenige Spitzen Fernwärme ab der zentralen Wärme-Kraftkoppelungsanlage des Flughafens Zürich bezogen werden. Der Mehrstrombedarf für die Wärmepumpe wird dank der Kälteproduktion im Sommer kompensiert. Der jährliche Strombedarf verändert sich kaum. Die Energiepfählanlage ist im Vergleich mit der Fernwärme des Flughafens wirtschaftlich vertretbar, die Jahreskosten werden etwa gleich.

Le Dock Midfield, un nouveau bâtiment de 500 m de long prévu dans la 5e étape de construction de l'aéroport de Zurich, doit être construit sur 350 pieux de fondation en raison des mauvaises conditions géologiques locales. Les pieux, forés avec un diamètre compris entre 1 et 1,5 m, s'appuieront sur la couche de moraine située à environ 30 m de profondeur. Pour des raisons de gain d'énergie, il est prévu d'utiliser les pieux de fondation en pieux échangeurs d'énergie. Afin de pouvoir planifier cette installation innovatrice de manière sûre, un projet en commun avec l'EPFL a été mis sur pied, lequel est soutenu financièrement par l'Office fédéral de l'énergie. Le système de pieux échangeurs et son intégration dans le concept énergétique du bâtiment est simulé en détail. Un «test de réponse» a été réalisé, dont l'interprétation a été effectuée à l'EPFL.

Grâce aux pieux échangeurs, le surplus des gains internes du bâtiment peut être stocké dans le terrain en été, et utilisé en hiver pour satisfaire des besoins de chauffage. De cette manière, environ 1'100 MWh d'énergie thermique seront annuellement extraits du sol. Seules quelques pointes de puissance thermique doivent être couvertes par le réseau de chauffage à distance de la centrale chaleur-force de l'aéroport de Zurich. La consommation d'énergie électrique supplémentaire induite par les pompes à chaleur est compensée par la production d'énergie frigorifique en été. La demande d'énergie électrique annuelle est à peine modifiée par rapport à un système conventionnel. En comparaison avec le chauffage à distance de l'aéroport, l'installation avec pieux énergétiques peut être considérée comme économique; les coûts annuels sont à peu près les mêmes.

Due to poor soil properties, the Midfield Dock of the airport of Zurich will be constructed on 350 vertical foundation piles. Their diameter will be 1-1,5 m and they will be founded in the hard ground moraine in 30 m depth. In order to gain energy, they will be used as heat exchanger piles. For the safe planning of the novel lay-out the project was realized jointly with the Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL) and subsidized by the Federal Energy Office. The heat exchanger pile system and its integration in the energy concept of the building have been simulated in detail. In order to determine the thermal properties of the underground, a so-called «response test» has been carried out, which has been interpreted by the EPFL.

By means of the energy piles, the internal waste heat of the building can be stored during the summer in the underground and used in winter for heating purposes. By this method some 1100 MWh of heat can be yearly recovered from the soil and used with a heat pump. The district heating network from the central heat/power coupling facility of the airport of Zurich has to cover only a few heat peaks. The additional electricity requirements for the heat pump is compensated by the production of cold in summer. Annual electricity demand changes hardly. Annual operating costs of the heat exchanger pile system are similar to the district heating costs of the airport.

1. Einleitung, Ziel des Projektes

Für die 5. Baustufe des Flughafens ist ein neues Terminalgebäude für 26 Flugzeugstandplätze zwischen den heutigen Pisten erforderlich, das Dock Midfield //1/. Die ARGE ZAYETTA¹ hat von der Unique Zürich Flughafen AG den Auftrag erhalten, dieses 500 m lange und 30 m breite Gebäude zu planen. Entscheidend für diese Auftragserteilung waren neben den architektonischen Qualitäten des Projektes auch das Bestreben, ein Niedrig-Energiegebäude zu realisieren, ohne dass dafür Mehrinvestitionen in Kauf genommen werden müssen.

Das Energiekonzept für dieses Gebäude basiert auf möglichst sparsamen, korrekt dimensionierten Anlagen, bedarfsabhängigen Steuerungen, einer konsequenten Nutzung der Abwärme, freier Kühlung und der Nutzung von regenerativer Energie. Dabei bilden die Energiepfähle nicht nur das Fundament des Gebäudes, sondern auch die Grundlage der Wärmeerzeugung.

Insgesamt gelingt es, mit den vorgesehenen Massnahmen 65% des Wärmebedarfes und 70% des Kältebedarfes mit regenerativer Energie zu decken.

Bild 1 zeigt den Vergleich der Energiekennzahlen von verschiedenen Flughafenbauten.

¹ ARGE ZAYETTA: Martin Spühler, Architekt BSA SIA, Zürich; Angélli/Graham/Pfenninger/Scholl Architecture Ltd. Zürich und Los Angeles; Heyer Kaufmann Partner Bauingenieure AG, Zürich; Nicolet, Chartrand, Knoll Ltd, Montreal; Amstein + Walthert AG, Zürich

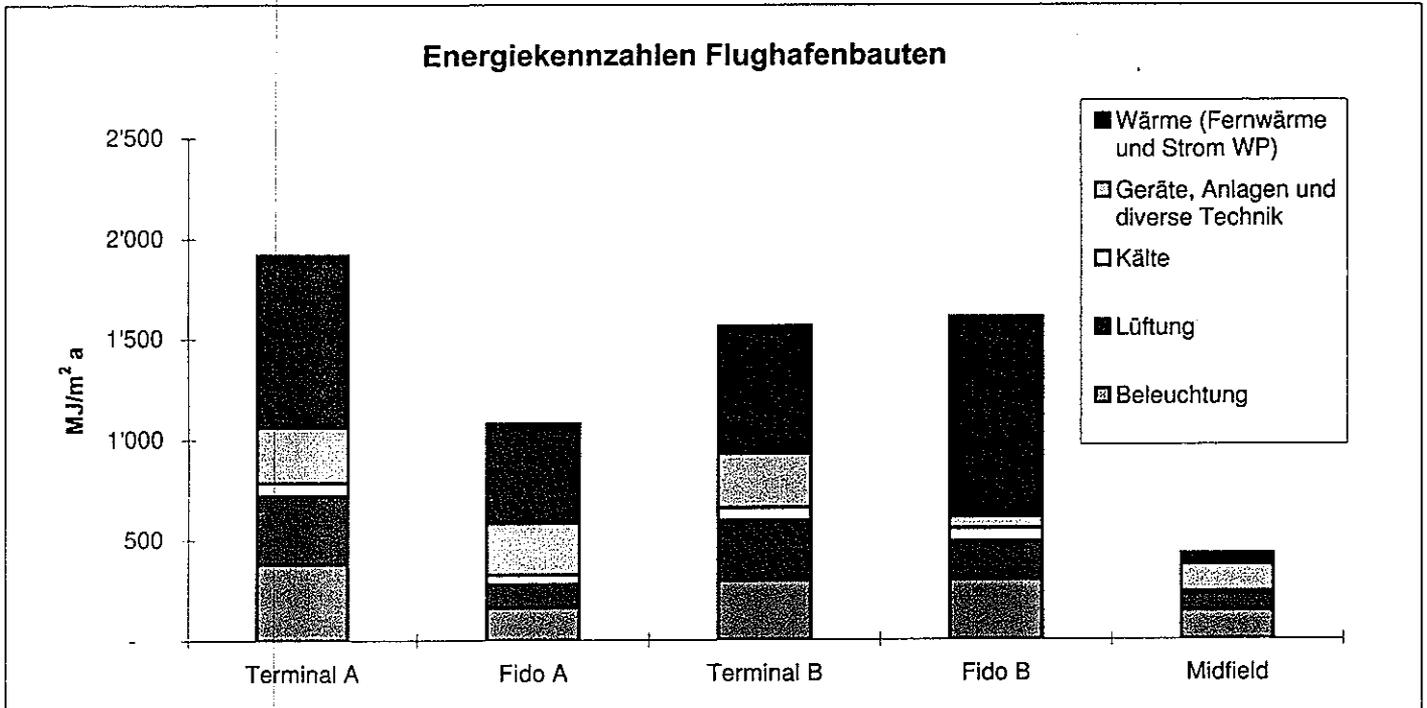


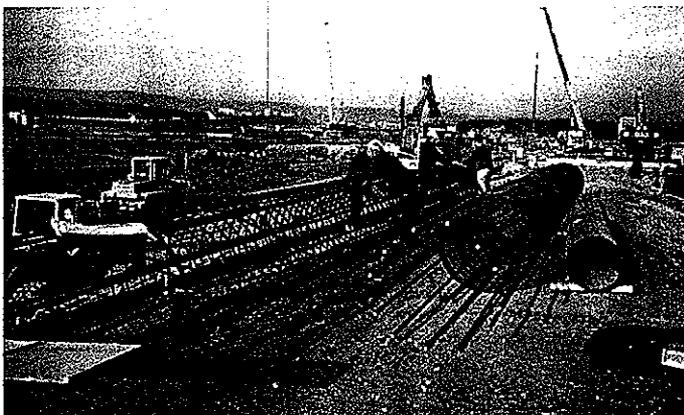
Bild 1: Aus dem Vergleich mit Flughafenbauten älteren Datums wird der enorme Fortschritt in der Gebäudetechnik und der Nutzung regenerativer Energie ersichtlich.

2. Vorgehen

Als erster Schritt wurde ein Wärmeversorgungskonzept erarbeitet, welches den Einbezug der Energiepfähle und der internen Abwärme ermöglicht.

Im Sommer wird die im Wärmeabfuhrnetz gesammelte interne Abwärme an den Untergrund abgegeben. Im Hochsommer (Spitzenbedarf) oder falls der Erdspeicher schon gefüllt ist (Erdspeichertemperatur zu hoch) kann die Abwärme auch mit der nun als Kältemaschine genutzten Wärmepumpe über die benetzten Kühltürme an die Aussenluft abgegeben werden.

Im Winter wird primär die interne Abwärme genutzt, wobei nun die Wärmepumpenfunktion genutzt wird. Die ganze Wärmeverteilung im Dock Midfield erfolgt auf einem



Befestigen der Rohrleitungen in den beiden Armierungskörpern eines Pfahls.

tiefen Temperaturniveau von maximal 45°C. Falls das Angebot an interner Abwärme nicht mehr ausreicht, wird zusätzlich Wärme aus dem Erdspeicher entzogen. Für sehr kalte Tage mit hohem Wärmeleistungsbedarf kann Fernwärme bezogen werden.

Von den statisch erforderlichen Pfählen werden 315 als Energiepfähle genutzt. Die restlichen ca. 200 Pfähle können nicht genutzt werden, da sie zu nahe beieinander stehen. Die Pfähle werden mit je 10 am Umfang verteilten PE-Rohren ausgerüstet. Die wirksame Pfahlänge beträgt im Mittel 28 m.

Um den Wärmeenergiebedarf des Gebäudes möglichst genau und stundenweise zu kennen, wurde durch die EMPA /2/ eine dynamische Simulation des Gebäudes durchgeführt. Aufgrund dieser Ergebnisse konnte eine stundenweise Berechnung der Energieflüsse im Gebäude und der Energieaustausch mit dem Untergrund gerechnet werden. Die EPFL hat diese Simulationen in drei Schritten durchgeführt und damit die Grundlagen für die weitere Optimierung geliefert /3/ und /6/.

3. Response-Test zur Messung der thermischen Bodenleitfähigkeit

Ein weiterer Faktor ist die Temperaturleitfähigkeit des Bodens. Aus den Untersuchungen des Geologen /4/ ist der Bodenaufbau gut bekannt. Die thermischen Kennwerte hingegen können mit den normalen Sondierbohrungen nicht gemessen werden. Eine Messung im Labor ist schwierig und aufwendig. Deshalb wurden zwei Erdsonden auf 33 Meter Tiefe abgeteuft (Tiefe der geplanten Pfahlfüsse) und ein sogenannter Response-Test durchgeführt /5/.

Während ca. 1 Woche wurde jede der beiden Sonden mit elektrisch erwärmten Wasser (ca. 1,5 kW Leistung resp. ca. 50 W/m Sondenlänge, konstant) durchflossen. Mittels Datenlogger wurden die Temperaturen und die Abkühlung registriert. Aus diesen Daten werden die thermischen Bodenkennwerte berechnet.

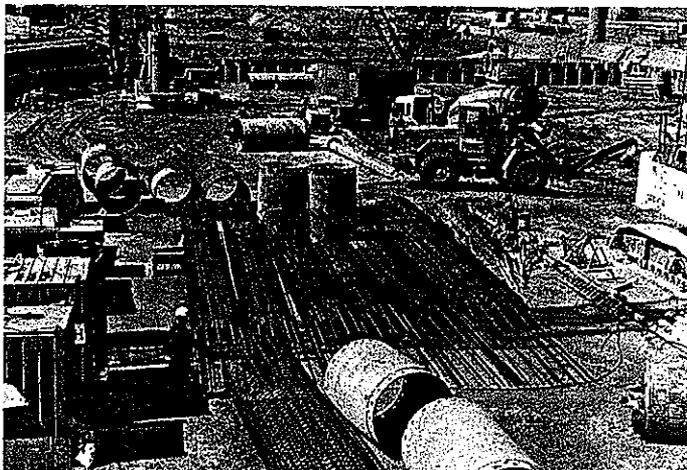
Die Auswertung der Messungen durch die EPFL, ergibt eine Wärmeleitfähigkeit von 1,95 W/mK (+/- 0.15 W/mK Messungenauigkeit). Dieser Wert entspricht etwa dem Mittelwert der Literaturangaben.

Als weiteres Resultat ergab sich, dass kein Grundwasserfluss vorhanden ist.

4. Simulation der Energiepfahlanlage

Die Simulation der Energiepfahlanlage zeigt den zu erwartenden Gewinn und die mögliche Wärme- und Kälteleistung unter den gegebenen Randbedingungen. Es zeigen sich aber auch Grenzen, die zu respektieren sind. So muss das Verhältnis von entzogener Wärme und abgeführter Wärme stimmen, wenn man Probleme mit einer langfristigen Aufwärmung oder Abkühlung des Bodens verhindern will. Im vorliegenden Fall muss deutlich mehr Wärme entzogen werden als abgegeben werden kann, um eine langfristige Aufwärmung des Bodens zu vermeiden. Dies ist mit der Wärmeabgabe des Kellergeschosses an den Boden zu erklären.

Unter der gegebenen Randbedingung, dass beim Wärmeentzug 0°C Vorlauftemperatur in die Pfähle nicht unterschritten werden darf, und im Sommer für direkte Wärmeabfuhr 18°C Vorlauftemperatur nicht überschritten werden soll, ergibt sich eine maximal nutzbare Leistung von 400 kW oder 49 W/m. Die pro Pfahlmeter gewinnbare Wärme beträgt ca. 135 kWh pro Jahr. Die Werte für die speicherbare Abwärme im Sommer sind wie schon erwähnt tiefer, ca. 58 kWh pro Meter und Jahr.



Ansicht der riesigen Baugrube mit Armierungskörben.

5. Erfahrungen aus der Praxis

Mit den heutigen Simulationswerkzeugen kann ein hoher Stand an Planungssicherheit erreicht werden. Die Zusammenarbeit mit Hochschulen und Spezialisten garantiert dabei, dass neue Forschungsergebnisse und das spezialisierte Know-how dieser Institutionen in die Planung einfließen können.

World Geothermal Congress 2000

François-D. Vuataz

The World Geothermal Congress (WGC 2000) was held in Beppu and Morioka, Japan, from May 28 to June 10, 2000. A total of 1130 registered participants from 61 countries, of which 5 from Switzerland, attended the two parts of this congress, co-convened by the International Geothermal Association (IGA) and the Japanese Organising Committee for WGC 2000 (JOC). Among the countries with the strongest delegations were Japan of course, the host country, then the Philippines, Indonesia, China, New Zealand, Iceland, Turkey, USA, Mexico and Italy. WGC 2000 was perfectly well organised with many pleasant social and cultural events, as well as field trips and four short courses taking place before and during the congress. Almost 300 oral presentations and more than 300 posters were presented. Each of them is published as a full length paper in the Proceedings, which are under the form of a CD-ROM. Several plenary sessions and parallel technical sessions covered all the topics of geothermal exploration, reservoir engineering, management, technology, environment, financing, for both low and high temperature resources.

Detailed information will be provided in the bulletin Nr. 28

Der Bau der Energiepfähle geht heute problemlos vonstatten. Die anfängliche Skepsis der Unternehmer hat sich gelegt. Für den Einbau der Kunststoffeinslagen gibt es bereits erfahrene Unternehmer. Günstig wirkt sich für den Bauablauf und die Qualität aus, dass die Einslagen schon weitgehend vorgefertigt angeliefert werden. Schweissungen auf der Baustelle werden auf ein Minimum reduziert. Wir rechnen damit, dass alle Energiepfähle dicht und funktionstüchtig erstellt werden können.

Die Planung neuer Systeme der Gebäudetechnik verlangen ein grosses Engagement der Planer und sind sehr aufwendig. Das Resultat lohnt diesen Aufwand, für den Planer mit der Genugtuung, etwas Wegweisendes geschaffen zu haben, für den Bauherrn mit tiefen Betriebskosten.

Literaturverzeichnis

- 1/ Schweizer Ingenieur und Architekt, Sonderheft Nr. 27/28, 1998, «Dock Midfield, Zürich Flughafen». Redaktion SI+A, Zürich
- 2/ Koschenz, M., Weber, R., 1997, Kurzbericht thermische Simulationen Midfield, EMPA Dübendorf
- 3/ Pahud D., Fromentin A., 1998, Pieux échangeurs: outils de simulation, KWH - Energieforschung im Hochbau, Status-Seminar ETH Zürich
- 4/ Mützenbergs S., Kempf Th., 1997, Hydrogeologische Grundlagen für geothermische Nutzung Dock Midfield, Dr. H. Jäckli AG Zürich
- 5/ Pahud D., Fromentin A., Hubbuch M., 1998, Zwischenbericht Response-Test Dock Midfield, im Auftrag des BFE Bern
- 6/ Pahud D., Fromentin A., Hubbuch M., 1999, Schlussbericht, Detaillierte Simulation Energiepfähle Dock Midfield, im Auftrag des BFE Bern