

Bereich Umgebungswärme  
**Programm P + D**

**Kälte- und Wärmeerzeugung mit Wärmepumpen  
und Erdwärmesonden im Restaurant Grauholz  
Projekt-Nr. 31544**

ausgearbeitet durch  
**R. Huber**  
**ibe institut bau+energie**  
**Höheweg 17, 3006 Bern**

im Auftrag des  
**Bundesamtes für Energie**

November 2000

Schlussbericht

---

## INHALTSVERZEICHNIS

|  | Seite |
|--|-------|
| <b>Zusammenfassung</b>                           | 1     |
| <b>Ausgangslage</b>                              | 2     |
| <b>Anlagedaten</b> (siehe auch Schema im Anhang) | 2     |
| <b>Ziel der Arbeit</b>                           | 3     |
| <b>Lösungsweg</b>                                | 3     |
| <b>Hauptergebnisse</b>                           | 4     |
| • Die Anlage spart Energie                       | 4     |
| • Zahlen zur Jahresbilanz                        | 4     |
| • Erläuterungen und Kommentare zur Jahresbilanz  | 5     |
| • Die Betriebskosten sind niedrig                | 6     |
| • Die Investitionskosten sind hoch               | 6     |
| • Verbesserungsmöglichkeiten                     | 7     |
| <b>Anhang</b>                                    |       |
| - Diagramme 1-8                                  |       |
| - Tabellen 1-6                                   |       |
| - Prinzipschema KWT                              |       |

## Zusammenfassung

Im Autobahnrestaurant Grauholz wurden die Kälteanlagen so erneuert, dass sie nun auch den Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser voll decken. Der sanierungsbedürftige Ölkessel konnte ersatzlos demontiert werden.

Im Auftrag des Bundesamts für Energie, das die Realisierung der Anlage mit einem Beitrag unterstützt hat, wurden während eines ganzen Betriebsjahres Messungen durchgeführt, um die Funktion der Anlage beurteilen zu können.

Die Messungen, durchgeführt vom September 1999 bis September 2000, führten zu folgenden Resultaten:

- Die neuen Kältemaschinen/Wärmepumpen mit Erdsonden für die Abgabe von Wärmeüberschüssen im Sommer und für den Wärmebezug im Winter, die neuen Lüftungen mit Wärmerückgewinnung und die ersatzlose Demontage der Ölkessel führten zu folgender Veränderung in der Jahresenergiebilanz:

|                        |                 |
|------------------------|-----------------|
| Minderverbrauch Heizöl | - 807'000 kWh/a |
| Mehrverbrauch Strom    | + 62'400 kWh/a  |

- Der gesamte Stromverbrauch für Kältemaschinen/Wärmepumpen (inklusive aller Hilfsbetriebe) betrug die Hälfte der produzierten Nutzwärme und Nutzkälte.
- Die reinen Betriebskosten (ohne Kapitalkosten) für Nutzwärme liegen bei 5,7 Rp/kWh.
- Die Mehrinvestition für die volle Deckung des Wärmebedarfs mit Wärmepumpenbetrieb (ohne Ölkessel) betrug Fr. 240'000.-. Bund und Kanton haben Beiträge von Fr. 45'000.- und Fr. 30'000. geleistet. Die verbleibende Mehrinvestition von Fr. 165'000.- kann nicht durch Minderkosten für Energie amortisiert werden.
- Der Stromverbrauch für Hilfsbetriebe (Pumpen, Kühlstellen-Ventilatoren, Abtauheizungen) erweist sich als bedeutend: rund 1/3 des Stromverbrauchs für Erzeugung und Verteilung von Kälte und Wärme beanspruchen die Hilfsbetriebe. Sorgfältige Planung, Auswahl, Auslegung, und Regulierung der Hilfsbetriebe sind wichtige Voraussetzungen für einen effizienten Betrieb.

## Ausgangslage

Für die Sanierung der Kühlanlagen im Autobahnrestaurant Grauholz hat Herr Trüssel, KWT Belp, vorgeschlagen, die neuen Anlagen so auszulegen, dass sie nicht nur den Bedarf für gewerbliche Kälte und Klimakälte decken können, sondern auch den Wärmebedarf für Heizung und Brauchwarmwasser.

Die Bauherrschaft ist auf den Vorschlag eingegangen. Die Kühlanlagen wurden 1995 entsprechend ausgelegt. Als 1998 der Ölheizkessel ersetzt werden musste, wurde das Konzept ausgeführt.

Heute wird Kälte und Wärme mit Kältemaschinen und Wärmepumpen erzeugt. Ein Erdsondenfeld dient als Wärmequelle im Winter und als Wärmesenke im Sommer.

Das Bundesamt für Energie hat dem institut bau+energie ag den Auftrag erteilt, während eines Jahres Energiebilanzierungen durchzuführen, um die Funktion der Anlage beurteilen zu können. Die für diese Messungen notwendigen Messeinrichtungen wurden vom Bundesamt für Energie bezahlt.

## Anlagedaten (siehe auch Schema im Anhang)

|   |                         |
|---|-------------------------|
| - Tiefkühlanlage, Kälteleistung           | 6.5 kW                  |
| - Kühlanlage, Kälteleistung               | 25 kW                   |
| - Klimakälte/Wärmepumpe, Kälteleistung    | 62 kW                   |
| - Installierte Heizleistung               | 113 kW                  |
| - Erdsondenfeld:                          | 6 Sonden à 100 m        |
| - Energiebezugsfläche                     | 1'600 m <sup>2</sup>    |
| - Sitzplätze Restaurant                   | 380                     |
| - Aussenluftwechsel durch mech. Lüftungen | 18'000m <sup>3</sup> /h |

Im Zuge der Sanierungen wurden die Lüftungen mit WRG ausgerüstet. Mit Wärme aus der Abluft Küche werden über einen Kreislaufverbund die Zuluft Küche und die Zuluft Restaurant vorgewärmt. Die Wärmepumpe bezieht Wärme aus der Fortluft Restaurant, aus der Abluft Küche (Nachkühler nach WRG-Kreislaufverbund) und aus dem Erdsondenfeld.

## Ziel der Arbeit

Messungen und Auswertungen sollen die Frage beantworten, ob es sich hier wirklich um eine beispielgebende und empfehlenswerte Anlage handelt - insbesondere, ob

- Energie gespart wird
- sich die Kosten in einem vernünftigen Rahmen bewegen
- der Betrieb der Anlage besondere Probleme aufwirft
- sich Mängel gezeigt haben
- Verbesserungsvorschläge vorliegen

## Lösungsweg

Die Anlage wurde mit folgenden Messeinrichtungen ausgerüstet (siehe Prinzipschema im Anhang):

1. Wärmehähler für die Wärme, die von Kältemaschinen/Wärmepumpen an die Brauchwasser-Speicher abgegeben wird.
2. Wärmehähler für die Wärme, die von Kältemaschinen/Wärmepumpen an die Heizwasserspeicher abgegeben wird.
- 2.1 Wärmehähler für die Wärme, die vom Unterkühler an den Luftvorhang abgegeben wird.
2. Wärmehähler für die Restwärme, die von den Kältemaschinen an die Erdsonden abgegeben wird.
3. Wärmehähler für die Wärme, die von der Erdsonde und vom Abluftkühler Fortluft Restaurant an die Wärmepumpe abgegeben wird.
4. Wärmehähler für die Wärme, die aus der Fortluft Restaurant zurückgewonnen wird.
5. Stromzähler für den gesamten Stromverbrauch der Kältemaschinen/Wärmepumpen inklusive aller Hilfsbetriebe für Transport und Verteilung von Wärme und Kälte (Pumpen, Ventilatoren, Auftauheizungen).

Die obigen Messeinrichtungen wurden während eines Jahres abgelesen, und zwar vom 6.09.1999 – 2.10.2000, einmal pro Woche.

Mit diesen Ablesungen konnte die Energiebilanz für die Gesamtanlage, bestehend aus der Tiefkühlanlage, der Kühlanlage und der Wärmepumpe/Klimakälteanlage berechnet werden.

Die Genauigkeit der Resultate liegt im Bereich  $\pm 10 \%$ .

## Hauptergebnisse

Die Messdaten und deren Auswertung sind aus den Tabellen und den Diagrammen im Anhang ersichtlich.

### Die Anlage spart Energie

Die Heizenergie, die vor der Sanierung durch den Ölkessel erzeugt wurde, wird nach der Sanierung zum Teil direkt durch Wärmetauscher aus der Abluft gewonnen und zum Teil aus Abluft, Kühlräumen und Erdsonden über Kältemaschinen und Wärmepumpen bezogen.

Durch die Sanierung ergaben sich folgende Änderungen im Jahresenergieverbrauch des Restaurants Grauholz:

|                             | Heizung, Lüftung, Warmwasser |                          | Kälte, Klima, W'pumpe   |
|-----------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                             | Ölverbrauch<br>kWh/a         | Nutzwärmebedarf<br>kWh/a | Stromverbrauch<br>kWh/a |
| Vor Sanierung               | 807'000                      | 646'000                  | 68'100                  |
| Nach Sanierung              | 0                            | 186'000                  | 130'500                 |
| Veränderung durch Sanierung | -807'000                     | -400'000                 | +62'400                 |

Die eindruckliche Reduktion des Nutzwärmebedarfs ergab sich daraus, dass die Lüftungen mit Wärmerückgewinnung ausgerüstet und die Luftmengen um ca. 30% reduziert wurden. Das Resultat der Sanierung insgesamt: Es werden 12.9 kWh fossile Energie eingespart pro kWh Strom-Mehrverbrauch.

### Zahlen zur Jahresbilanz

Die Jahresbilanz (21.9.1999 – 25.9.2000) der Kältemaschinen und Wärmepumpen ergibt folgende Resultate:

|   |                    |
|---|--------------------|
| – Stromverbrauch für Tiefkühlanlagen, Kühlanlagen, Klimakälte, Wärmepumpen mit Hilfsbetrieben | <u>130'511 kWh</u> |
| – Nutzwärme von Kälteanlagen und Wärmepumpen  |                    |
| an Heizung  | 118'670 kWh        |
| an Warmwasser   | 58'725 kWh         |
| an Luftvorhang  | 8'262 kWh          |
| Total Nutzwärme   | <u>185'657 kWh</u> |
| Nutzkälte für Tiefkühlung, Kühlung und Klima  | 85'000 kWh         |
| Wärmeabgabe an Erdsonden  | 66'770 kWh         |
| Wärmebezug aus Erdsonden (nach Abzug Wärme aus Fortluft Rest.)                                | 38'650 kWh         |
| Verhältnis Nutzenergie (Wärme + Kälte) zu Stromverbrauch:<br>185'657 + 85'000 : 130'511       | <u>2.07</u>        |

## Erläuterungen und Kommentare zur Jahresbilanz

Die Diagramme 1 bis 7 im Anhang veranschaulichen die Vorgänge im Laufe des Jahres. Die wöchentlich abgelesenen Energiemengen wurden umgerechnet in mittlere Leistungen während der Messperiode und aufgetragen über der mittleren Aussenlufttemperatur während der Messperiode.

Bei Aussentemperaturen unter ca. 12°C bezieht die Wärmepumpe Wärme aus der Fortluft Restaurant (Diagramm 6) und aus den Erdsonden (Diagramm 7), um genügend Wärme an Heizung (Diagramm 2), Warmwasser (Diagramm 3), und Luftvorhang (Diagramm 4), liefern zu können.

Je höher die Aussentemperatur über 15°C steigt, umso mehr Klimakälte ist gefragt, und entsprechend steigt auch die Überschusswärme, die an die Erdsonde abgeführt wird (Diagramm 5).

Da es sich bei den Auswertungen immer um Bilanzen über eine Messperiode von einer Woche und um mittlere Aussentemperaturen über diese Messperioden handelt, kommen keine extrem tiefen und keine extrem hohen Temperaturen vor. Solche Temperaturen sind jedoch über kürzere Zeiten durchaus aufgetreten: Beispielsweise betragen die maximalen Temperaturen im Juni 2000 29.5°C, im Juli 2000 29.8°C, im August 2000 30.8°C und die minimalen Temperaturen im November 1999 -10.9°C, im Dezember 1999 -11.4°C, im Januar 2000 -13.4°C. Heizleistungsbedarf und Kühlleistungsbedarf sind auch bei diesen extremen Bedingungen auf befriedigende Weise gedeckt worden.

Das Diagramm 1 zeigt die Stromaufnahme für Kältemaschinen und Wärmepumpen und alle Hilfsbetriebe. Sie ist am kleinsten bei Aussentemperaturen zwischen 10 und 15°C: hier halten sich Kälte- und Wärmebedarf die Waage, es müssen keine Wärmeüberschüsse an die Erdsonden abgeführt und keine Wärmemankos aus der Erdsonde bezogen werden.

Das Verhältnis Nutzenergie (Wärme + Kälte) zum Stromverbrauch von 2,07 ist relativ niedrig. Der Grund dafür: Der Stromverbrauch für die Hilfsbetriebe (Pumpen, Kühlstellen-Ventilatoren, Abtauheizungen) für die ca. 60 Kühlstellen, an denen anlässlich der Sanierung nichts verändert wurde, ist recht hoch. Wir schätzen den mittleren Leistungsbedarf der Hilfsbetriebe auf ca. 5 kW und den Jahresstromverbrauch auf 43'800 kWh. Ohne den Stromverbrauch der Hilfsbetriebe würde das Verhältnis etwa bei 3 liegen.

### Die Betriebskosten sind niedrig

Die zusätzlichen Betriebskosten, die sich dadurch ergeben, dass die Kältemaschinen auch zum Heizen eingesetzt werden, sind folgende:

Mehrverbrauch Strom pro Jahr durch Wärmepumpenbetrieb  
(siehe Zusammenstellung Stromverbrauch Industrietarif Tabelle 6):

|   |                     |
|---|---------------------|
| HT: 50'416 kWh à 15,5 Rp/kWh                            | Fr. 7'815.-         |
| NT: 12'006 kWh à 10,0 Rp/kWh                            | <u>Fr. 1'200.-</u>  |
| Mehrkosten Strom pro Jahr                               | Fr. 9'015.-         |
| <br>  |                     |
| Mehrkosten für Wartung der Wärmepumpenanlage            | <u>Fr. 1'500.-</u>  |
| Total zusätzliche Betriebskosten für Wärmepumpenbetrieb | <u>Fr. 10'515.-</u> |
| <br>  |                     |
| Nutzwärmeproduktion                                     | 185'657 kWh         |
| <br>  |                     |
| Betriebskosten pro kWh Wärme 10'515 : 185'657           | 5,7 Rp/kWh          |

### Die Investitionskosten sind hoch

Total Sanierungs- und Umbaukosten: Heizkessel durch Wärmepumpe ersetzen, Lüftungen ersetzen, mit Erdsondenfeld WRG ausrüsten

Fr. 526'000.-

Davon Mehrkosten für die Lösung mit Wärmepumpe statt mit neuem Heizkessel

Fr. 240'000.-

Beiträge Kanton

Fr. 30'000.-

Energie 2000

Fr. 45'000.-

Mehrkosten für Lösung Wärmepumpe

Fr. 165'000.-

Bei den heutigen Preisen für Heizöl und Strom kann diese Investition nicht amortisiert werden.

## Verbesserungsmöglichkeiten

Anlagen dieser Grösse und Komplexität erfordern besonders sorgfältige Planung und Koordination. Neben den Kompressoren der Kältemaschinen-Wärmepumpen gibt es eine grosse Anzahl von Elektrizitätsverbrauchern, welche die Effizienz der Anlage in starkem Masse mitbestimmen:

- Die Pumpen der Ladekreisläufe für Nutzwärme
- Die Pumpen der Glykol-Kreisläufe, die Überschusswärme an die Erdsonden abführen bzw. "kalte" Wärme von den Erdsonden beziehen
- Verdampferventilatoren, Rahmenheizungen, Abtauheizungen, Beleuchtungen von Kühlstellen

Der Anteil des Stromverbrauchs dieser "Nebenbetriebe" am gesamten Stromverbrauch für Kälte, Klima, Wärmepumpen lag im Autobahnrestaurant Grauholz bei 33%.

Eine grosse Bedeutung kommt der richtigen Auswahl, Aufstellung und Betriebsweise der Kühlmöbel zu.

Die Einregulierung solcher Anlagen braucht genügend Zeit. Die verschiedenen Betriebszustände (Sommerbetrieb, Winterbetrieb, Übergangszeit) müssen je zu ihrer Zeit beobachtet und einreguliert werden.

Nützliche Literatur zum Thema:

- A. Huber, Systemauslegung für Gewerbekälteanlagen mit Erdwärmennutzung, Jahresbericht 1999. ENET, Egnacherstrasse 69, 9320 Arbon
- Kühlmöbel und Kälteanlagen in Lebensmittelgeschäften. RAVEL, EDMZ (Best.-Nr. 724.350d)