

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses

Band: 79 (1988)

Heft: 22

Artikel: Neue Wärmepumpenanlage für die Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich

Autor: Piazzoli, N. / Tresch, R.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-904103>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 21.11.2024

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

Neue Wärmepumpenanlage für die Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich

N. Piazzoli und R. Tresch

Am 25. Oktober 1988 konnte der Direktor des Amtes für Bundesbauten die grösste Wärmepumpenanlage der Schweiz feierlich an die ETH Zürich übergeben. Die beiden elektrisch angetriebenen Wärmepumpen, die Limmatwasser als Wärmequelle nutzen, verfügen über eine maximale Wärmeleistung von 13 MW. Sie können 52% des Jahreswärmebedarfs des bereits existierenden Fernwärmenetzes liefern und damit 4500 Tonnen Heizöl pro Jahr substituieren.

Le 25 octobre 1988, le directeur de l'Office des constructions fédérales a pu remettre solennellement la plus grande installation de pompes à chaleur de Suisse à l'EPF de Zurich. Les deux pompes à chaleur électriques, qui utilisent l'eau de la Limmat comme source de chaleur, disposent d'une puissance maximale de chauffage de 13 MW. Elles peuvent couvrir 52% des besoins en chaleur annuels du réseau actuel de chaleur à distance et remplacer ainsi 4500 tonnes de mazout.

Adressen der Autoren

Niki Piazzoli, Direktor Amt für Bundesbauten, Effingerstrasse 20, 3008 Bern

Robert Tresch, Sektionschef Amt für Bundesbauten, Effingerstrasse 20, 3008 Bern.

1. Aktivitäten des AFB im Energiebereich

Das Amt für Bundesbauten (AFB) als grösstes Baufachorgan des Bundes löst für die Schaffung und Erhaltung von Bausubstanzen jährlich etwa 500 bis 600 Mio Franken aus. Nebst dem parlamentarischen Auftrag, wirtschaftliche Bauten zu erstellen, schenkt das AFB der rationellen und umweltschonenden Energieverwendung in Bundesbauten höchste Aufmerksamkeit. Die Aktivitäten im Energiebereich finden zurzeit auf drei Ebenen statt: beim Energiesparen, bei der Anwendung von Alternativanlagen und bei der Realisierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen.

● Energiesparen

Gleich nach Ausbruch der Erdölkrise erliess das AFB die ersten Weisungen an die Bundesverwaltung über die Einsparung von Heizöl und Benzin. 1975 entstand das provisorische Wärmehaushaltkonzept für eidgenössische Bauten. Später wurde ein Sanierungshandbuch verfasst mit dem Ziel, durch systematische Verbesserung den Energieverbrauch bei den bestehenden Bauten zu reduzieren. Darauf folgte die Publikation «Energiegerechte Neubauten» als praktisches Hilfsmittel zur Projektierung und Ausführung energiegerechter Bundesbauten. Seit 1979 werden pro Jahr 7 Mio und ab 1987 sogar 10 Mio Franken für wärmetechnische Gebäudesanierungen aufgewendet. Die jährliche Erfolgskontrolle bestätigt den sinnvollen Einsatz dieser finanziellen Mittel. Von 1981 bis 1987 ist durch den Zuwachs von Neubauten die Bruttogeschossfläche um 300 000 m² oder das Bauvolumen um 900 000 m³ angestiegen. Dank den wärmetechnischen Gebäudesanierungen ist der Energieverbrauch in

dieser Periode sogar leicht gesunken. Der Energiebedarf für das zusätzliche Bauvolumen konnte mit der Verbesserung bestehender Bauten mehr als ausgeglichen werden. Diese Erfolge ermutigen uns, den eingeschlagenen Weg weiterzuverfolgen.

● Alternativanlagen

Der Bundesrat schuf mit seinem Erlass über die Energieverwendung in den eidgenössischen Bauten die rechtlichen Grundlagen für die Anwendung und Förderung von energiesparenden Heizmethoden. Neben dem Grundsatz der Wirtschaftlichkeit wurden in der Verordnung für Neubauten und bei Sanierungen auch die rationale Energieverwendung sowie die Diversifikation der Energieträger, der Umweltschutz und die Entwicklung neuer Technologien berücksichtigt. Dabei konzentrierte man sich in erster Linie darauf, mit Wärmerückgewinnungsanlagen den Energiebedarf auf ein Minimum zu reduzieren und die in den Gebäuden anfallende Abwärme zu Heizzwecken zu nutzen. Wo günstige Wärmequellen wie See-, Fluss- oder Grundwasser zur Verfügung stehen, werden Wärmepumpen und Blockheizkraftwerke eingesetzt, um mit der Primärenergie ein Mehrfaches an Heizenergie zu gewinnen. Der Substitution von Erdöl durch Einsatz alternativer Energieträger wie Erdgas, vor allem aber Holz und Sonnenenergie, wird besondere Beachtung geschenkt.

Auf der Tabelle I sind die in den letzten 10 Jahren realisierten Alternativanlagen aufgeführt. Bis heute wurden 112 Anlagen mit einer Wärmeleistung von 148 MW ausgeführt. Dies entspricht einer Substitution an Erdöl von 30 000 Tonnen pro Jahr oder 958 Eisenbahnwagen mit einer totalen Länge von 8,5 km. Zusätzlich zu diesen Alternativanlagen wurden Hun-

derte von Wärmerückgewinnungsanlagen realisiert. In der gleichen Zeitperiode wurden lediglich 23 reine Ölfeuerungen mit einer Leistung von 1,03 MW erstellt.

● Pilot- und Demonstrationsanlagen

Im Mai 1986 unterbreitete der Bundesrat dem Parlament eine Botschaft über einen Rahmenkredit für die Errichtung von Pilot- und Demonstrationsanlagen im Energiebereich. Daraufhin bewilligte die Bundesversammlung einen Rahmenkredit von 20 Mio Franken für die Jahre 1987 bis 1991, wovon mindestens 5 Mio für Sonnenenergieprojekte verwendet werden müssen. Die finanziellen Mittel teilen sich in die nachstehenden Bereiche auf:

- Rationelle Energienutzung (Energiesparmassnahmen)
- Einheimische und erneuerbare Energien (Holz)
- Sonnenenergie
- Energietechniken (Wärmepumpen, Wärmerückgewinnungsanlagen).

Pilot- und Demonstrationsanlagen sind ein wichtiges Glied in der Kette der Erfindung und Forschung, Entwicklung und Herstellung funktions-tüchtiger Apparate oder Anlagen. Bis jetzt sind 40 Projekte im Verantwortungsbereich des AFB in Planung oder Ausführung. Im nächsten Jahr wird die breite Öffentlichkeit über die ersten, ausgewerteten Anlagen informiert. Die Vielfalt der Projekte ist aus Tabelle II ersichtlich; dabei ist das Augenmerk vor allem auf die Sonnenenergieprojekte zu richten. Gegenwärtig sind 18 Sonnenenergieanlagen mit einer Kollektorfläche von 3486 m² im Betrag von 3,5 Mio Franken in Planung oder Ausführung. Einen breiten Raum nehmen zudem Projekte ein, welche Schadstoffe wie Stickoxide und Schwefeloxide reduzieren. Aber auch eine Solartankstelle für Elektromobile, die den Kurierdienst innerhalb der Bundesverwaltung in Bern sicherstellen, ist vorgesehen.

Das Amt für Bundesbauten wird seine Bemühungen zur Förderung einer umweltschonenden Energieverwendung fortsetzen. Es ist allerdings heute nicht einfach, eine allgemeingültige, umweltschonende Energieverwendung zu definieren.

Die gegenwärtig angewandten Wirtschaftlichkeitsberechnungen (reines Kostendenken) sind unbefriedigend, weil die aktuellen Umweltprobleme kaum darin berücksichtigt werden.

Energieträger	Ausgeführt		Geplant	
	Anzahl	Leistung (MW)	Anzahl	Leistung (MW)
Gas	35	78,6	9	11,0
Kohle	11	3,7	-	-
Holz	21	8,3	7	4,1
Wärmepumpe/ Blockheiz-Kraftwerk	22	37,2	3	3,2
Fernwärme	18	21,0	2	0,9
Sonnenkollektoren	5	1101 m ²	Siehe P+D-Anlagen	
Total	112	148,8 MW 1101 m ²	21	19,2

Tabelle I Vom AFB ausgeführte und geplante Alternativanlagen

Tabelle II Pilot- und Demonstrationsanlagen im Verantwortungsbereich des AFB

	Planung/Ausführung	
	Anzahl	Leistung
<i>Rationelle, umweltschonende Energienutzung</i>		kW
Rauchgasentgiftung, Katalysator	4	1450
LOW-NO _x	2	300-1000
O ₂ -Regulierung	2	
CO ₂ -Steuerung bei Lüftungsanlagen	2	
Geothermie	1	160
Mikroelektronik	1	
<i>Nutzung der Sonnenenergie</i>		m ²
Sonnenkollektoren	18	3486
Solartankstelle	1	80
<i>Energiespeicherung</i>		kW
Eisspeicher	2	270
Wärmespeicher	1	300-500

Für die Beurteilung von Alternativanlagen wird deshalb ein neues Modell entwickelt. Dieses beinhaltet nebst den wirtschaftlichen Aspekten vor allem die nicht- oder schwer quantifizierbaren Faktoren wie Umweltverträglichkeit, Beschaffung der Energieträger, Entsorgung, Schonung der Vorratsenergie und Vorsorgungssicherheit. Gleichzeitig soll den einheimischen und erneuerbaren Energien zu einem höheren Stellenwert verholfen werden.

Zusammen mit der Technisierung nimmt auch der Strombedarf ständig zu. Deshalb wird das AFB in den nächsten Jahren alle Bundesbauten nach Einsparungsmöglichkeiten beim Stromverbrauch untersuchen, wo heute noch Messwerte fehlen.

Eine allgemein gültige Definition für eine umweltschonende Energiever-

wendung kann noch nicht aufgestellt werden. Hingegen ist es möglich, sich intensiv mit den vorhandenen Problemen auseinanderzusetzen und auf diesem Weg konkrete und sinnvolle Lösungen zu finden.

2. Die Wärmepumpenanlage Walche der ETH Zürich

2.1 Ausgangslage

Das Fernheizkraftwerk (FHK) der ETH Zürich heizt über ein Fernwärmenetz die Gebäude des ETH-Zentrums und der kantonalen Verwaltung an der Walche sowie verschiedene private Liegenschaften im Hochschulquartier (Heizung und Warmwasser). Zur Versorgung des Fernwärmenetzes

stehen dem FHK folgende vier Wärmeerzeuger zur Verfügung (siehe auch Fig. 1):

- **Abwärmenutzung aus ETH-Bauten**

Belegung und Installationsdichte eines Teiles der ETH-Bauten nehmen ständig zu, folgedessen übersteigt die dort anfallende Wärme den Bedarf des entsprechenden Gebäudes. Diese Überschussabwärme wird mittels Wärmerückgewinnungsanlagen in die Heizwasserspeicher dem Fernwärmeversorgungsnetz zugeführt. Man rechnet damit, dass im Laufe der Zeit jährlich etwa 10 Gigawattstunden (GWh) zurückgewonnen werden können.

- **Überschussenergie aus dem Verbundnetz Stadt/Kanton/ETH**

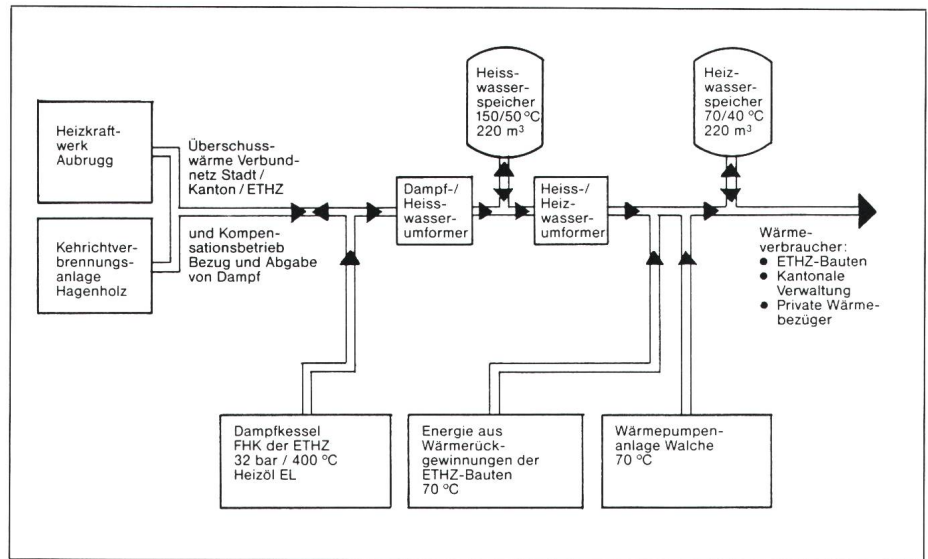
Das FHK ist mit einer Dampfleitung von 6 km via Universitätsspital und Universität Irchel mit der Kehrichtverbrennungsanlage Hagenholz der Stadt Zürich (KVA) und dem Heizwerk Aubrugg des Kantons Zürich verbunden. Die Wärmeenergie der KVA, die weder im städtischen noch im kantonalen Wärmenetz verwendet werden kann, übernimmt die ETH im Rahmen ihrer Verwendungsmöglichkeit als Überschussenergie. In den letzten Jahren wurden jährlich etwa 30 GWh Überschussenergie übernommen.

- **Wärmepumpenanlage Walche**

In der Walche hat die ETH von 1942 bis 1972 eine Wärmepumpenanlage mit einer Leistung von 5 Megawatt (MW) betrieben. Danach musste diese Pionieranlage wegen unwirtschaftlichen Betriebes stillgelegt und der Wärmebedarf mit fossilen Energieträgern des ETH-Fernheizkraftwerkes (FHK) erbracht werden. Die Folge davon waren erhöhte Schadstoffemissionen in der Stadt Zürich. Mit dem Bau einer neuen Wärmepumpenanlage wollten die ETH Zürich und das AFB der schweizerischen Wirtschaft neue Impulse auf dem Gebiet der Energiesparmassnahmen geben und die Schadstoffbelastung in der Stadt Zürich reduzieren. Die neuinstallierte Wärmepumpenanlage in der Walche erbringt eine maximale Leistung von 13 MW. Damit können in Zukunft pro Jahr etwa 47 GWh Wärme in das ETH-Fernwärmenetz eingespielen werden.

- **Die Energieerzeugung im FHK**

Der restliche Wärmebedarf wird mit einer Kesselanlage gedeckt, welche die Wärme mit Heizöl extraleicht erzeugt.



Figur 1 Wärmeversorgungskonzept des Fernheizkraftwerkes ETHZ

Die vier Wärmeerzeuger werden in der erwähnten Reihenfolge eingesetzt. Dabei verwendet man heute zur Deckung des gesamten Wärmebedarfes des ETH-Fernwärmenetzes 23% in Form von Überschussenergie aus der KVA, 52% erzeugt die Wärmepumpenanlage in der Walche. Die 25% mit Heizöl extraleicht erzeugte Wärme im FHK wird allmählich reduziert und durch die bereits erwähnte Abwärmenutzung der ETH-Bauten ersetzt. In wenigen Jahren wird die ETH für die Deckung des Gesamtwärmebedarfes nur noch 15% Heizöl extraleicht benötigen.

2.2 Zielsetzungen und Randbedingungen für die Wärmepumpenanlage

Von den vier Wärmeerzeugern ist der Alternativenergie aus der Wärmepumpenanlage eine wichtige Rolle zugeeignet. Mit der Anlage soll ein grosser Anteil der hochwertigen und umweltbelastenden Energie durch niederwertige, regenerierbare, heimische und die Umwelt nur schwach belastende Energie ersetzt werden. Diesem Anspruch kann die Wärmepumpe durchaus gerecht werden. Sie nützt die im Limmatwasser enthaltene Wärme aus, indem diese von einem tiefen auf ein höheres, verwendbares Temperaturniveau gepumpt wird.

Verschiedene Zielsetzungen wurden aufgestellt, um die Wärmepumpenanlage optimal in das bestehende Fernheizsystem einzugliedern:

- Optimale Leistung der Wärmepumpen im Verhältnis zur Gesamtleistung
- Bestimmung der optimalen Betriebstemperaturen für eine maximale Leistungsziffer
- Abstimmung der Vorlauf temperaturesbedürfnisse
- Ausreichende Anpassung der Betriebscharakteristiken von Fernwärmenetz und Wärmepumpenanlage
- Realisierung eines vollautomatischen Betriebes durch Schaltung auf das bestehende Leitsystem
- Hohe Betriebssicherheit

Bei der Ausführung der Zielsetzungen waren ebenfalls Randbedingungen öffentlich-rechtlicher und technischer Natur zu berücksichtigen:

- Unveränderbare Grösse der bestehenden Kaverne
- Lage der Kaverne (im UG eines bewohnten Geschäftshauses)
- Befall der Limmat mit Wandermuscheln
- Verunreinigung durch Zivilisationsabfälle und Blattfall im Herbst
- Bedingungen des Gewässerschutzes für die Entnahme und Rückgabe des Limmatwassers zu Heizzwecken
- Anschluss- und Einschaltbedingungen für Elektrizität, inkl. Tarife.

2.3 Aufbau und Funktion der Anlage

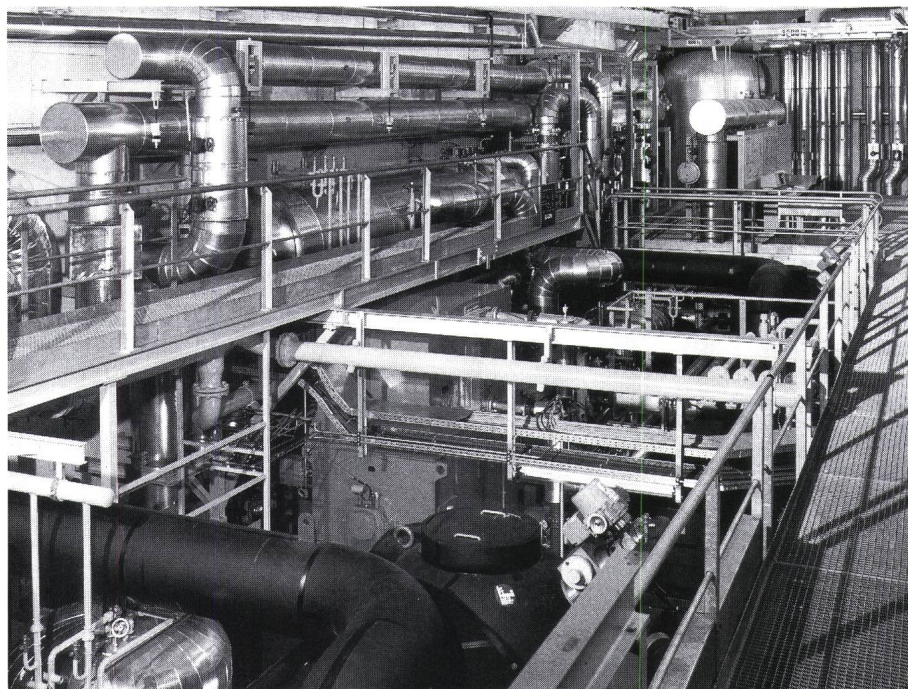
Die Anlage (Fig. 2) besteht aus zwei Wärmepumpen, die zusammen eine Wärmeleistung von 10 bis 13 MW bei

70 °C Vorlauftemperatur erzeugen (Tab. III). Rund zwei Drittel dieser Leistung wird dem Limmatwasser entzogen, indem 8640 m³ Wasser pro Stunde angesaugt und durch die Verdampfer geführt werden. Das Wasser kühlt sich dabei um 0,7 °C ab und wird anschliessend in die Limmat zurückgeführt. Die entzogene Wärme wird vom Arbeitsmedium der Wärmepumpen aufgenommen, im Wärmepumpenprozess auf ein höheres Temperaturniveau gefördert und um die Antriebsleistung der Motoren vermehrt. Schliesslich können in den Wärmetauschern 10 bis 13 MW Endenergie an den Heizkreislauf abgegeben werden. Die unterschiedliche Leistung ergibt sich aus den wechselnden Wassertemperaturen. Die jährliche, mittlere Leistungsziffer beträgt 3,12, d.h. die gewonnene Wärmeenergie ist rund dreimal grösser als die in die Wärmepumpenanlage hineingesteckte Antriebsenergie.

Nebst den beiden Wärmepumpen besteht die gesamte Anlage aus einem Puffergefäss von 30 m³, einem Grossspeicher von 220 m³ sowie den notwendigen Verbindungsleitungen und Transferpumpen. Die Verbraucherkreise sind nach einem unteren und einem oberen Netz (WPO/WPU) zu unterscheiden. Das untere Netz versorgt die nahegelegenen Bereiche mit den Unterstationen Walche I/II, Stampfenbach, Weinbergstrasse, Walche III und Turm sowie diverse Private. Dem oberen Netz sind die hochgelegenen Unterstationen der ETH zugeordnet. Bei maximaler Last der Anlage wird das untere Netz zuerst versorgt. Erst dann wird Wärme aus der Walche-Zentrale in das obere Netz über den Grossspeicher gespiesen (Fig. 3).

Der optimale Betrieb der Wärmepumpenanlage und die Einspeisung in das bestehende Netz werden mit einem übergeordneten, zentralen Leitsystem sichergestellt. Für die Meldung aller wichtigen Betriebsdaten und Zustände sind die Aggregate als Ganzes und die Maschinen als Einzelaggregate mit den entsprechenden Temperatur-, Druck-, Niveau- und Leistungsregulierungen ausgerüstet. Deren Signale werden über einen maschineneigenen Rechner und Busleitungen dem zentralen Leitsystem zugeführt. Gleichzeitig ermöglichen Monitore und Drucker eine Überwachung und Protokollführung an Ort nach modernsten Informatikgrundsätzen.

Eine Anlage dieser Gröszenordnung und Bedeutung muss durch den Ein-



Figur 2 Wärmepumpenanlage Walche der ETHZ

Gesamtanlage bestehend aus 2 Turbo-Wärmepumpen mit folgenden Leistungen

	<i>summiert für 2 Aggregate</i>	
	<i>Nenndaten</i>	<i>max. Betriebsdaten</i>
Heizleistung	10 MW	13,4 MW
Heizwasser-Vorlauftemperatur	70 °C	72 °C
Limmatwasser-Temperatur	3,5 °C	15 °C
Limmatwasser-Menge	8640 m ³ /h	8640 m ³ /h
Wärmeentzug aus Limmat	7,04 MW	9,43 MW
Motorleistung	3240 kW	3950 kW
Leistungsziffer	3,08	3,38
<i>Turbo-Kompressor</i>	<i>pro Aggregat</i>	
Stufenzahl	2	
Drehzahl	12 120 U/min	
Kältemittel	R 12	
Leistungsregulierung	100-50% verlustlos	
<i>Antriebsmotor</i>	<i>pro Aggregat</i>	
Nennleistung	2000 kW	
Drehzahl	1486 U/min	
Spannung, Frequenz	11 000 V/50 Hz	
Nennstrom	124 A	
max. Anlaufstrom	150 A	
cos. phi 100/75/50%	0,88/0,87/0,83	
el. Wirkungsgrad 100/75/50%	96,2/96,3/95,8%	
<i>Kondensator</i>	<i>pro Aggregat</i>	
Kondensationstemperatur	71,5 °C	
Heizwasser-Vorlauftemperatur	70 °C	
Heizwasser-Rücklauftemperatur	50 °C	
Heizwassermenge	215 m ³ /h	
<i>Verdampfer</i>	<i>pro Aggregat</i>	
Verdampfungstemperatur	1,0 °C	
Limmatwasser-Eintrittstemperatur	3,5 (min. 1,9, max. 15 °C)	
Limmatwasser-Austrittstemperatur	2,8 °C	
Limmatwasser-Menge	4320 m ³ /h	

Tabelle III
Technische Daten
der Wärmepumpen-
anlage Walche

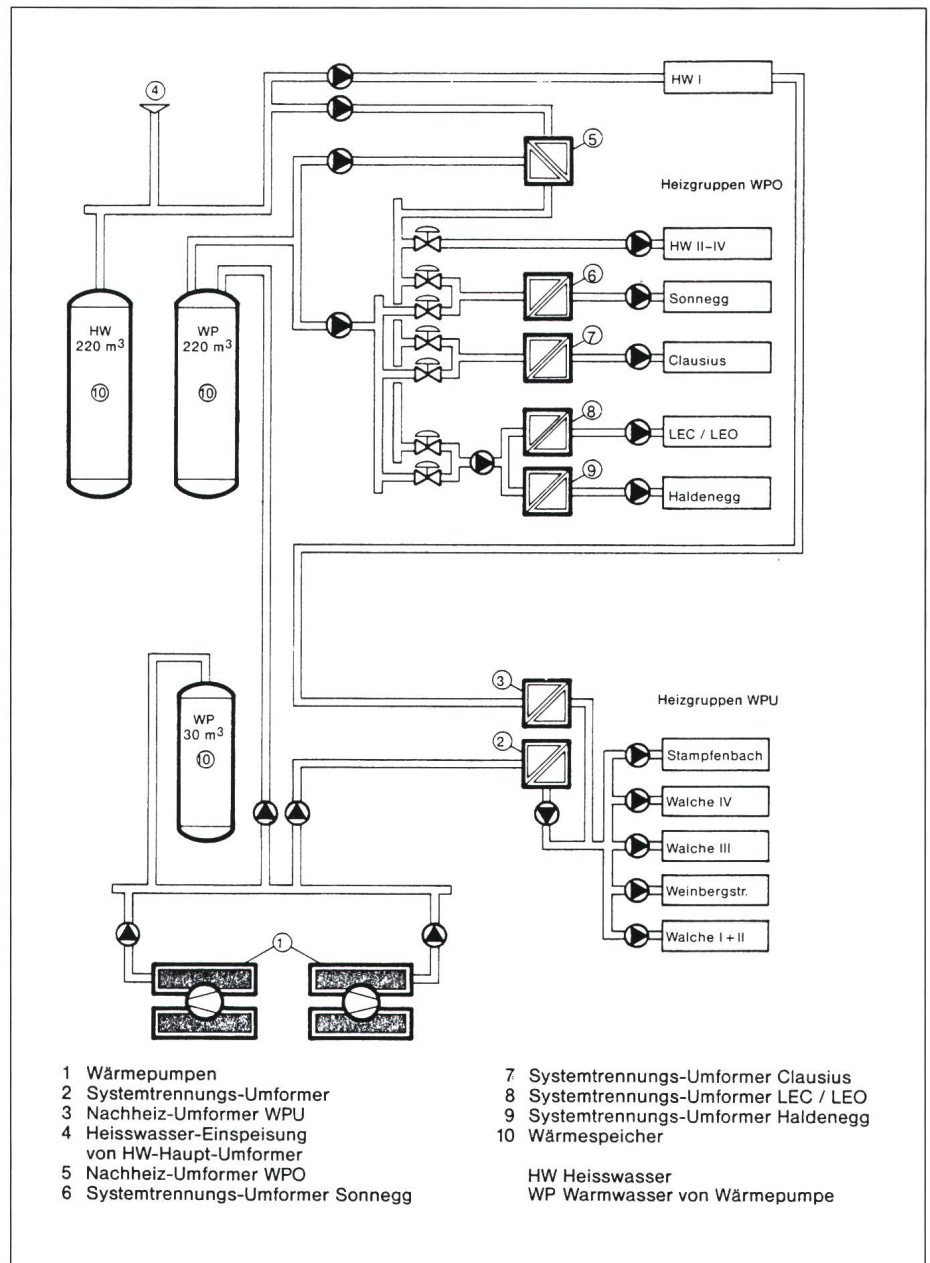
bau entsprechender Sicherheiten geschützt werden. Die primären Sicherheiten betreffen die Wärmepumpen als solches und bestehen aus den Sicherungen gegen Über- und Unterdruck, Übertemperatur, Frostgefahr, Kältemittelverlust, Ölmenge usw. Als sekundäre Sicherheiten bezeichnet man Instrumente und Anlagen, welche das Umfeld der Wärmepumpen einerseits und die Wärmequellen andererseits schützen, z.B. Brandmeldeanlagen, Ölsonden, automatische Sicherung gegen Überflutung, Schutz des Limmatwassers usw.

Der Bau der Anlage erfolgte in zwei Etappen. Die erste Wärmepumpe wurde auf Beginn der Heizperiode 1985/86 in Betrieb genommen. Während des Probetriebes trat leider ein Brandfall ein. Dank den Sicherheitsvorrichtungen konnte Schlimmeres verhütet werden. Die erste Wärmepumpe musste ersetzt werden. Eine zweite Betriebsaufnahme erfolgte ein Jahr später auf die Heizperiode 1987/88 zusammen mit der zweiten Wärmepumpe.

2.4 Wirtschaftlichkeit und Betrieb der Anlage

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung der ETH-Baubotschaft vom 17. Dezember 1984 ergab, dass die Wärmepumpenanlage in 6 bis 7 Jahren abgeschrieben sein wird und jährlich 1,7 bis 2,2 Mio Franken Kosten gegenüber dem Betrieb mit Ölfeuerung einspart. Der Berechnung lag damals ein Ölpreis von Fr. 650.- pro Tonne zugrunde. Während der Bauzeit sind Mehrkosten von 2,4 Mio Franken wegen Bauerschwernissen, zusätzlichen Forderungen des Gewässerschutzes sowie akustischen Massnahmen in der Maschinenhalle entstanden. Nachdem die Preise für Heizöl extraleicht seit November 1984 von Fr. 650.- auf Fr. 235.- sanken, ist die Investition in die Wärmepumpenanlage vor allem aus Gründen des Umweltschutzes und der Erdölsubstitution gerechtfertigt.

Während der Heizperiode 1987/88 konnten die ersten Betriebserfahrungen mit der Wärmepumpenanlage gemacht werden. Dabei zeigte sich, dass die Anlage entsprechend dem Konzept betrieben werden konnte. Bei den technischen Abnahmen waren die Er-



Figur 3 Einbindung der Wärmepumpenanlage in das Fernheiznetz

gebnisse sehr positiv. Die geforderten Garantiewerte nach Werkvertrag wurden sogar bezüglich Wärmeleistung um 15% und Leistungsziffer um 3-8% verbessert.

Die neue Anlage ist in der Lage, bis zu 52% des Wärmebedarfes der ETH zu decken. Dies entspricht einer jährlichen Substitution von 4500 Tonnen Heizöl extraleicht - bei einem gleichzeitigen Einsatz von rund 15 GWh

elektrischer Energie für den Antrieb der Motoren der Wärmepumpe (Red.). Die Schadstoffemissionen reduzieren sich bei den Stickoxiden (NO_x) um 13 Tonnen und bei den Schwefeloxiden (SO₂) um 21 Tonnen pro Jahr. Diese Anlage wird einen wesentlichen Beitrag zur Schadstoffentlastung der Stadt leisten und ist zugleich ein weiterer Schritt zur Förderung von Alternativen.