

Forschungsprogramm
Umgebungs- und Abwärme,
Wärme-Kraft-Kopplung (UAW)



EF Nr. 193643

Messprojekt „Im Bilander“, Brugg

**Untersuchung der energietechnischen Sanierung
einer Grossüberbauung mit Absorptionswärme-
pumpe und Niedertemperaturwärmeverteilung**

ausgearbeitet durch
Peter Krüsi
Amena AG
Stationsstrasse 17a, 8952 Schlieren

im Auftrag des
Bundesamtes für Energiewirtschaft

Am Projekt Beteiligte

Bauherrschaft-Vertretung:	Schäppi Grundstücke Sihlfeldstrasse 10 8003 Zürich
Planende Ingenieure:	Studer + Partner AG Albisriederstrasse 252a 8047 Zürich
Hauswarte	Herr und Frau Höppli Fröhlichstrasse 48 5200 Brugg Herr A. Reichenauer Seidenstrasse 21 5200 Brugg
Lieferant Absorptionswärmepumpe:	York Brown Boveri Grindelstrasse 19 8303 Bassersdorf
Lieferant Elektrowärmepumpen und Kleinwärmepumpen für Zirkulationshochhaltung:	Ecopac AG Albisriederstrasse 252a 8047 Zürich
Unternehmer:	Strässle + Co AG Lerchenhalde 67 8046 Zürich
Steuerung und Regelung:	Renergy AG Surenweidstrasse 5 6208 Oberkirch
Betriebsoptimierung:	GS Engineering AG Bahnhalle 9620 Lichtensteig Amena AG Stationsstrasse 17a 8952 Schlieren
Messprojekt im Rahmen des Forschungsprogramms UAW:	Amena AG Stationsstrasse 17a 8952 Schlieren
Leiter Forschungsprogramm UAW:	Prof. Dr. M. Zogg
Finanzielle Unterstützung des Messprojekts:	Bundesamt für Energiewirtschaft Kanton Aargau Finanzdepartement Abteilung Energiewirtschaft

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

Das Konzept zur Sanierung der zentralen Energieerzeugung und -verteilung der im Jahr 1972 erstellten Grossüberbauung "Im Bilander" in Brugg umfasst **fünf Hauptkomponenten**:

- Lithiumbromid-Wasser-**Absorptionswärmepumpe** (Abs.-WP), die Umweltenergie aus dem Grundwasser entzieht und durch einen **Low-NOx-Heisswasserkessel** angetrieben wird;
- modulierender **Low-NOx-Kessel mit Rekuperator für Spitzen- und ggf. Vollastdeckung**;
- für Heizung und Warmwasser gemeinsame Wärmeverteilung auf im Sommer sehr tiefem Temperaturniveau ("**kalte**" lokale Fernleitung);
- dezentrale **Elektro-Wärmepumpen** in den Unterstationen (UST) der einzelnen Gebäude, welche als Wärmequelle die "kalte" Fernleitung benutzen und der Warmwassererwärmung dienen;
- **Kleinwärmepumpen** zur Kompensierung der Zirkulationswärmeverluste (Zirkulationshochhaltung).

Die Neuartigkeit dieses Sanierungskonzepts führte zu einem vom Bundesamt für Energiewirtschaft und dem Kanton Aargau finanzierten Messprojekt mit dem Ziel, eine detaillierte energietechnische Beurteilung durchzuführen.

Die **Sanierung erfolgte in zwei Etappen**: Im Sommer 1991 wurde die Wärmeverteilung (Fernleitung, Unterstationen in den einzelnen Gebäuden) umgebaut, ein Jahr später folgte die Erneuerung der Heizzentrale. (Die Gebäudehülle wird vorerst nicht in die Sanierung miteinbezogen.)

Aufgrund diverser Probleme **verzögerte sich sowohl die Inbetriebnahme der Elektro-WP in den Unterstationen als auch der Abs.-WP**. Statt wie vorgesehen im Herbst 92 konnte die Abs.-WP erst im März 95 mit der korrekten hydraulischen Einbindung in Betrieb genommen werden. Dies bedingte eine dreimalige Verlängerung des Messprojekts um total zweieinhalb Jahre. **Heute arbeitet die Anlage gut**. Die Feinoptimierung gewisser Betriebszustände ist allerdings noch nicht abgeschlossen. Der vorliegende Schlussbericht fasst die gemachten Erfahrungen bis Ende April 96 zusammen.

Die Überbauung "Im Bilander" weist etliche **Besonderheiten** auf (Einrohr-Wärmeverteilung, fehlende oder mangelhafte Lärmdämmung, Mischung von Hoch- und Flachbauten, schlechte Bauhüllen), welche eine Sanierung sehr anspruchsvoll machen. Im nachhinein kann festgestellt werden, dass es vernünftiger und auch effizienter gewesen wäre - und das gilt für alle komplexen Projekte -, die **Realisierung der Sanierung auf mehrere, aufeinander aufbauende Teilschritte zu verteilen** (Kp. 11.2).

Das gewählte **Sanierungskonzept überzeugt auch im Rückblick**. Die bisher erreichte **Energieverbrauchsreduktion** gegenüber dem früheren Durchschnittsverbrauch **beträgt** - aufgrund der vorhandenen Daten auf ein ganzes Jahr hochgerechnet - **rund 54% (+/-10%¹) und liegt somit dem Sanierungsziel von 55% Einsparung sehr nahe**. Die **Endenergieeinsparung unter Berücksichtigung der Strombereitstellung** (Kraftwerkwirkungsgrad = 0,58 für modernes thermisches Kraftwerk) **beträgt** - ganzjähriger Betrieb der Abs.-WP vorausgesetzt - trotz dem Strommehrverbrauch der dezentralen Elektro-WP immer noch **rund 52%** gegenüber dem Zustand vor der Sanierung.

Die **für den Sommerbetrieb** unter dem Aspekt **Endenergieverbrauch optimale ("kalte") Fernleitungsvorlauftemperatur liegt bei rund 43°C** (Kp. 9). Bei dieser Temperatur ist der Endenergieverbrauch der Gesamtanlage am kleinsten. Die Optimierungsfunktion beeinflussende, von der Fernleitungstemperatur abhängige Grössen sind dabei die Heizzahl der Abs.-WP, die Wärmeverluste der Fernleitung sowie die Leistungszahlen der Elektro-WP der Unterstationen.

Im Vergleich mit gedanklichen Modifikationen des gewählten Konzepts - nur Kesselbetrieb oder Verzicht auf „kalte“ Fernleitung und dezentrale Elektro-WP- schneidet die realisierte Variante deutlich besser ab bezüglich Endenergieausnutzung (inkl. Strombereitstellung; Kp. 8). Als **Nachteil** der realisierten Variante kann der **hohe Grad an Komplexität** mit Elektro-WP, Abs.-WP und Kessel, der zu einem entsprechend hohen Wartungsaufwand führen wird, betrachtet werden.

Die Absorptionswärmepumpe als Komponente arbeitete von Beginn an zuverlässig. Die entstandenen Probleme sind einzig auf Fehler in der hydraulischen und regeltechnischen Einbindung zurückzuführen, die auf mangelnder Erfahrung allerseits und zum Teil unkorrekten Anweisungen seitens der Lieferfirma basierten.

Eine **Abs.-WP ist ein relativ träges System mit klar vorgegebenen Temperatur- und Durchflussbedingungen und von einem Heizkessel deutlich abweichenden Eigenschaften** (Kp. 7.4.3, (C1)). Die daraus sich ergebenden Konsequenzen sind (Kp. 7.4.3, (C4)):

¹ relativer Fehler; basierend auf den in Anhang 6 angegebenen, typischen Messfehlern

- (1) Regeltechnisch: Die Umweltenergie nutzende **Abs.-WP hat im Zentrum der Regelstrategie zu stehen**. Die spezifischen Eigenheiten der Subsysteme **Abs.-WP, Heizkessel und Wärmebezügler** müssen bekannt sein und sind als Teil des Gesamtsystems zu betrachten. Die Trägheit des "Mensch-Raumheizungs-Systems" ist voll auszunutzen: In einem breiten Band schwankende Vorlauftemperaturen der Fernleitung sind zuzulassen. Bedingt durch die begrenzte maximale Vorlauftemperatur der Abs.-WP von 51°C sollten die Vorlauftemperaturen der Wärmeverteilung so niedrig wie immer möglich gefahren werden. Zentrale und Unterstationen sollten durch ein gemeinsames Leitsystem integral gesteuert werden. Vorteilhaft wäre wahrscheinlich der Einsatz von Fuzzy Logic. Das heutige System (Leitsystem in der Heizzentrale, separate speicherprogrammierbare Steuerungen in den Unterstationen) macht eine Optimierung der Gesamtanlage sehr schwierig.
- (2) Hydraulisch: Die **Abs.-WP benötigt eine minimale Eintrittstemperaturen in den Absorber/Verflüssiger** zur Verhinderung von Kristallisation der Lithiumbromid-Lösung. Bei variablen Heizungsrücklauftemperaturen, wie dies in der Überbauung "Im Bilander" der Fall ist, ist somit eine Temperaturhochhaltung erforderlich (welche nachträglich im März 95 eingebaut wurde).

Die gemessene **Leistung und Heizzahl der Abs.-WP (Kp. 7.4.3) entsprechen den von der Lieferfirma angegebenen Nennwerten. Für den Sommerbetrieb weist die Abs.-WP eine zu grosse Leistung auf**. Dadurch werden nie stabile Temperaturverhältnisse erreicht. Die gemessenen Tagesheizzahlen sind durch Nutzung der Speicherkapazität des gesamten Fernleitungsnetzes (Temperaturschwankungsbreite 20°C bis 50°C) mit **1,42 bis 1,45² (+/-6%)** (ohne Strom für Umwälzpumpen) trotzdem befriedigend. **Für den wichtigeren Winterbetrieb ist die Abs.-WP gut ausgelegt**. Die Tagesheizzahlen liegen zwischen **1,30 und 1,45²** (ohne Strom). Höhere Werte sind bei den aufgrund der schlechten Bauhülle erforderlichen hohen Vorlauftemperaturen nicht möglich. Über die **Jahresheizzahl** können noch keine durch Messungen abgesicherte Aussagen gemacht werden. Gemäss Hochrechnung dürfte sie bei **1,43² (+/-10%)** (ohne Strom) resp. **1,38² (+/-10%)** (inkl. Strom) liegen.

Der ideale Einsatz von Absorptionswärmepumpen sind Fälle, bei denen die antreibende thermische Energie als Abwärme zur Verfügung steht, also z.B. im industriellen Umfeld, und bei welchen die Abs.-WP ganzjährig - sei es zu Heiz- und/oder Kühlzwecken - arbeiten kann, um die relativ hohen Investitionskosten besser zu amortisieren. Der Einsatz für Warmwassererwärmung und Raumheizung wie in der Überbauung „Im Bilander“ erfüllt wohl die Anforderung eines ganzjährigen Energiebedarfs, allerdings mit sehr grossen jahreszeitlichen Schwankungen. Ideal bei der Anlage in der Überbauung „Im Bilander“ ist die Energiequelle des Grundwassers mit stabilen, relativ hohen Temperaturen von 10°C bis 13°C während des ganzen Jahres. Das wegen der schlechten Bauhülle erforderliche hohe Temperaturniveau für die Heizung im Winterhalbjahr und das Fehlen von Abwärme auf 115°C stellen auf der anderen Seite Nachteile dar.

Die **Elektro-WP** (Kp. 7.3.7) der Unterstationen arbeiteten 1995 mit einer Jahresarbeitszahl (ohne Hilfsantriebe) von **5,22³ (+/-2%)**, allerdings bei Fernleitungstemperaturen, die zeitweise noch über dem Sollwertbereich von 20°C bis 50°C lagen.

Der gemessene **Jahresgesamtnutzungsgrad der WW-Aufbereitung** (inkl. Speicher- und Zirkulationsverlusten) ist unter Berücksichtigung der schwierigen Verhältnisse in der Überbauung "Im Bilander" mit **66% bis 70% (+/-15%) gut** (Kp. 7.3.7). Dazu tragen nicht unwesentlich die Kleinwärmepumpen zur Zirkulationhochhaltung bei, für deren Betriebsoptimierung ein paar Vorschläge gemacht werden (Kp. 7.3.6).

die **Heizzentrale** (Kp. 7.4.7) erreicht in der konventionellen Betriebsart (d.h. ohne Abs.-WP) einen sehr guten Jahresgesamtnutzungsgrad von **99% (+/-2%)** (bezogen auf H_U , ohne Strom).

In der Schweiz war bisher weder von Lieferanten- noch Anwenderseite Erfahrung mit grösseren Absorptionswärmepumpen für Raumheizung vorhanden. Die Anlage in der Überbauung "Im Bilander" hat deshalb dank dem vom BEW und Kanton Aargau finanzierten Messprojekt zu ein paar grundlegenden Erkenntnissen geführt, die für weitere Anwendungen der Absorptionstechnologie von Nutzen sein dürften. Dieser Technologie mit ihren Vorteilen wie grosses Primärenergieeinsparpotential (da praktisch nur mit thermischer Energie und im Idealfall mit Abwärme angetrieben), gute Umweltverträglichkeit und lange Lebensdauer ist durchaus ein vermehrter Einsatz zu wünschen.

² Grundwassertemp. 10°C - 13°C; Austreibereintrittstemp. 112°C - 118°C; Kühlwassereintrittstemp. 40°C - 49°C
³ WW-Temperatur zwischen 50°C und 60°C (Soll = 60°C)

Abstract

The housing estate „Im Bilander“ in Brugg comprises 6 buildings with a total of 342 flats. Beginning in 1991 the centralized heating and domestic hot water supply system was renewed and modified. The concept for the new system is centered around a LiBr-H₂O absorption heat pump utilizing ground-water (10°C/6°C¹) as heat source and a gas fired hot water boiler to supply the generator (115°C/109°C¹). Other features are

- an oil/gas fired boiler for peak heating demand
- a combined energy distribution to the buildings for both heating and hot water on low temperature level,
- decentralized electric water-to-water heat pumps to increase the temperature for the domestic hot water using the low temperature energy from the distribution net as heat source,
- small electric air-to-water heat pumps to compensate for the heat losses of the hot water circulation within the buildings.

To gain more knowledge about the performance of an absorption heat pump for space heating and domestic hot water - a novel application in Switzerland at the time - the Swiss Federal Office of Energy and the State of Argovia financed a monitoring project.

After a delay of 2½ years due to a number of different problems not related to the absorption heat pump as such the machine works now correctly both in summer mode with a daily thermal COP of 1.42 to 1.45² (since March 95) and also in winter mode with a daily thermal COP of 1.30 to 1.45² (since the beginning of March 96). Momentary COP values of up to 1,61³ have been measured. No measured figures can so far be given for the yearly performance factor. It is calculated to be around 1.43² (without electricity for auxiliary pumps) and 1.38² (including electricity for auxiliary pumps).

The predicted energy savings of the new energy supply and distribution system of 55% compared to the average consumption before 1990 can nearly be reached as an extrapolation assuming full year operation of the absorption heat pump indicates (savings of 54%). The energy supply by the heat pump will be around 76% of the total demand. The savings in primary energy are around 52% assuming a conversion efficiency of 0.58 for electricity.

Although there are not yet data available on the longterm performance of the absorption heat pump, three conclusions can be made already at this stage:

- (1) the use of absorption heat pumps for space heating and domestic hot water is feasible,
- (2) the absorption heat pump being a slow acting system has to be in the center of the control strategy,
- (3) careful analysis of energy demand and required temperature levels is essential to reach optimal sizing and operation with high COP.

Dank

Dass letztlich die Energieanlage der Überbauung "Im Bilander" wie vorgesehen arbeitet und zwar eingeschlossen die Absorptionswärmepumpe, ist das Verdienst vieler.

Besonderen Dank gilt aber dem Abwartehepaar Höppli für den mehrjährigen zuverlässigen Einsatz für das vorliegende Messprojekt und allen Mietern für ihre Gedult bei den diversen Pannen.

Ein Kompliment gilt es auch der Bauherrschaft auszusprechen für ihren mutigen Entscheid zugunsten eines Sanierungskonzepts, das in dieser Form bisher noch nie realisiert wurde.

¹ nominal values

² groundwater temp. 10°C - 13°C; generator entry temp. 112 - 118°C; cooling water entry temp. 40°C - 49°C

³ groundwater temp. 12°C; generator entry temp. 116°C; cooling water entry temp. 42°C

Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangslage	Seite	7
2.	Zielsetzung des Messprojekts		7
3.	Vorgehen		8
4.	Zur Berichterstattung		8
5.	Beschreibung des Objekts		9
5.1	Überbauung		9
5.2	Durchgeführte Studie		11
5.3	Gewählte Sanierungsvariante		12
5.3.1	Heizzentrale		12
5.3.2	Wärmeverteilung, Unterstationen (UST)		14
5.3.3	Zirkulationshochhaltung		15
5.4	Vorgehen bei der Sanierung		16
6.	Beschreibung der Messdatenerfassung		17
6.1	Messkonzept		17
6.2	Instrumentierung		17
6.3	Datenerfassung, -verarbeitung, -sicherung		17
6.4	Messgenauigkeit		18
7.	Ergebnisse		18
7.1	Allgemeines		18
7.1.1	Technische Probleme mit einzelnen Komponenten		19
7.1.2	Technische Probleme der Systemintegration		20
7.1.3	Organisatorische Probleme und Kommunikationsprobleme		21
7.2	Wurde das Sanierungsziel erreicht?		22
7.2.1	Gemessener Energieverbrauch der gesamten Überbauung und Vergleich mit Planungs- und Zielwert		22
7.2.2	Hochrechnung des Energieverbrauchs der gesamten Überbauung bei ganzjährigem Betrieb der Abs.-WP: Können die erwarteten Energieeinsparungen überhaupt erreicht werden?		24
7.3	Unterstation Block 3		25
7.3.1	Allgemeines		25
7.3.2	Warmwasserverbrauch		25
7.3.3	Speichervolumen		28
7.3.4	Elektrowärmepumpen		28
7.3.5	Speicherladung		29
7.3.6	Zirkulationshochhaltung		35
7.3.7	Gesamtnutzungsgrad der Warmwasseraufbereitung Unterstation Block 3		40
7.3.8	Heizgruppen		41
7.4	Heizzentrale		42
7.4.1	Allgemeines		42
7.4.2	Wärmeleistungsbedarf der Überbauung		42
7.4.3	Absorptionswärmepumpe		45
	(A) Technische Daten		45
	(B) Kurzer Rückblick über aufgetretene Probleme		46
	(C) Betriebsoptimierungen von Ende März bis Anfang Juli 95		47
	(C1) Spezielle Eigenschaften der Absorptionswärmepumpe		48
	(C2) Charakteristik der Wärmebezüger resp. des Fernleitungsnetzes		52
	(C3) Eigenheiten der Kesselanlage und Anforderung an Kesselbetrieb		52
	(C4) Die neue Regelstrategie		54
	(C5) Resultate der Optimierung		55
	(D) Vergleich mit Nenndaten		60

(E) Fuzzy Logic-Regelung	61
(F) Konkurrenzierung der Abs.-WP durch Rekuperatoren	61
(G) Noch ausstehende Optimierungsmassnahmen	61
7.4.4 Kessel, Rekuperatoren, Sauerstoff-Regulierung	63
7.4.5 Technischer Speicher	64
7.4.6 Stromverbrauch der Heizzentrale	64
7.4.7 Gesamtnutzungsgrad der Heizzentrale	65
8. Beurteilung des Anlagenkonzepts unter dem Aspekt Endenergieverbrauch und Nutzungsgrad des Abs.-WP-Heisswasserkessel-Systems	66
9. In bezug auf den Endenergieverbrauch optimale Fernleitungstemperatur	68
10. Kosten	71
11. Zusammenfassung der Resultate, Erkenntnisse und Verbesserungsvorschläge	72
11.1 Grundsätzliche Erkenntnisse	72
11.2 Erkenntnisse zum Vorgehen	73
11.3 Erkenntnisse und Verbesserungsvorschläge betreffend Unterstationen	73
11.4 Erkenntnisse und Verbesserungsvorschläge betreffend Heizzentrale	74
11.5 Erkenntnisse und Verbesserungsvorschläge betreffend das Anlagenkonzept	75
11.6 Aussagen zum Mieterverhalten	76
12. Weiteres Vorgehen	77
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	78
Literaturverzeichnis	79

Anhang

Anhang 1	Variantenvergleich aufgrund Wirtschaftlichkeit
Anhang 2	Nutzwertanalyse
Anhang 3	Funktionsweise der Absorptionswärmepumpe
Anhang 4	Funktionsweise einer Stromsparschaltung
Anhang 5.1	Messstellenplan Unterstation
Anhang 5.2	Messstellenplan Heizzentrale
Anhang 6	Messstellenliste
Anhang 7	Berechnung der Wärmemengen, des Gas- und des Ölverbrauchs; Fehlerrechnung
Anhang 8	Monatliche Messdaten für die Jahre 1992 bis 1996
Anhang 9	Zusammenfassung der kostenpflichtigen Energieverbräuche ab Januar 1990
Anhang 10	Hochrechnung des Endenergieverbrauchs bei ganzjährigem Abs.-WP-Betrieb
Anhang 11	Abschätzung des Energie- und Zeitbedarfs, um das Wärmeverteilsystem nach einer Nachtabsenkung wieder in der Temperatur hochzufahren
Anhang 12	Hochrechnung Endenergieverbrauch bei Betrieb nur mit Kessel
Anhang 13	Hochrechnung Endenergieverbrauch bei reinem Kesselbetrieb und ohne Elektro-WP in den UST
Anhang 14	Endenergiebedarf in Abhängigkeit der Fernleitungstemperatur
Anhang 15	Kostenzusammenstellung Sanierung Energieversorgung Überbauung "Im Bilander"

1. Ausgangslage

Die zentrale Energieerzeugung und die Energieverteilung der im Jahr 1972 erstellten Grossüberbauung "Im Bilander" in Brugg mit zusammen 342 Wohnungen und einem Kindergarten wurde aus mehreren Gründen sanierungsbedürftig: Die Anlagen waren überdimensioniert und ineffizient, stellten aus Altersgründen mehr und mehr Probleme an den Unterhalt und konnten die anstehenden gesetzlichen Vorschriften betreffend Luftreinhaltung nicht mehr erfüllen. Die Bauherrschaft gab deshalb 1988 eine Studie [1] in Auftrag mit dem Ziel, mehrere Varianten für eine Sanierung der energietechnischen Systeme zu erarbeiten.

Die unter starker Gewichtung der Kriterien *Betriebssicherheit* und *Umweltverträglichkeit* unter neun Varianten ausgewählte besteht aus einer

- **Energiezentrale mit Grundwasser-Absorptionswärmepumpe und Low-NOx-Kesseln** (wovon einer die Antriebswärme für die Wärmepumpe liefert),
- einer **Niedertemperatur-Wärmeverteilung** zu den einzelnen Bauten und
- **dezentraler Anhebung der Temperatur für das Warmwasser durch Elektrowärmepumpen.**

Diese Variante konnte nicht zuletzt deshalb realisiert werden, weil sich die Mieterschaft mit einer durch die Sanierung bedingten Mietpreiserhöhung einverstanden erklärte.

Der Einsatz einer grossen Absorptionswärmepumpe für Heizzwecke stellte für die Schweiz ein Novum dar. Aus diesem Grunde wurde ein Gesuch an das Bundesamt für Energiewirtschaft BEW eingereicht, die Sanierung messtechnisch zu begleiten. Ein Unterstützungsbeitrag wurde auch durch den Kanton Aargau zugesichert.

2. Zielsetzung des Messprojekts

Es soll ein detailliertes Messprojekt zur **energietechnischen Beurteilung** der mit einer Grundwasser-Absorptions-Wärmepumpe (Abs.-WP) sanierten Heizzentrale einer Grossüberbauung mit Niedertemperatur-Wärmeverteilung und Unterstationen mit Elektro-Wärmepumpen (Elektro-WP) für die dezentrale Temperaturerhöhung durchgeführt werden. Insbesondere sollen die folgenden Punkte untersucht resp. die folgenden Fragen beantwortet werden:

- **Gesamtenergieverbrauch** der Überbauung vor und nach der Sanierung
- **Vergleich** Ist-/Planungsdaten für die gewählte Sanierungsvariante
- **Wirkungsgraduntersuchungen** für verschiedene Perioden (Sommer, Winter, Frühling, Herbst, einzelne spezielle Tage) von:
 - . Energieerzeugung total (Primärenergieausnutzung = ?)
 - . Teilsystem Abs.-WP
 - . Teilsystem Abs.-WP/antreibender Kessel
 - . Teilsystem Wärmeverteilung (Zentrale - Unterstationen)
 - . Teilsystem Unterstation (UST)
 - . Teilsystem Warmwassererwärmung (inkl. Betrachtung der Zirkulationshochhaltungs-WP)
 - . Teilsystem Elektro-WP in einer UST (u.a. Arbeitszahl = ?)
- **Detaillbetrachtung von Abs.-WP**, insbesondere Teillastverhalten und Abhängigkeit von Temperaturen und Einfluss des Pufferspeichers
- **Detaillbetrachtung von Elektro-WP**, insbesondere Aspekt Primärenergieausnutzung
- **Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**
- Erarbeitung von Hinweisen für allfällige **Optimierung** der Anlage(n)

3. Vorgehen

Die Sanierung der Energiesysteme erfolgte in **zwei Etappen**: Im Sommer 1991 wurde die Wärmeverteilung (Fernleitung, Unterstationen in den einzelnen Gebäuden, Thermostatventile für die Radiatoren aller Wohnungen) umgebaut, ein Jahr später im Sommer 1992 folgte die Erneuerung der Heizzentrale. (Die Gebäudehülle wird vorerst nicht in die Sanierung miteinbezogen.) Entsprechend wurden zwei Messperioden von je einem Jahr Dauer vorgesehen: In der Messperiode 1 sollte vom Herbst 91 an eine Unterstation (Block 3) detailliert ausgemessen werden, während in der zweiten Messperiode (ab Herbst 92) vor allem die Heizzentrale untersucht werden sollte.

Aufgrund diverser Probleme **verzögerte sich jedoch sowohl die Inbetriebnahme der Elektro-WP in den Unterstationen als auch und vor allem der Abs.-WP**. Statt wie vorgesehen im Herbst 92 konnte die Abs.-WP erst im Juli 94 vollumfänglich in Betrieb genommen werden. Im Winter 94/95 traten erneut Probleme auf, die nochmals eine längere Stillsetzung der Abs.-WP zur Folge hatten. Seit Mitte März 95 ist die Abs.-WP nun in regulärem Betrieb. Es folgte die Phase der Betriebsoptimierung, die sich als sehr zeitaufwendig erwies.

Die Verzögerungen bedingten eine dreimalige Verlängerung des Messprojekts um total zweieinhalb Jahre. Heute, zum Zeitpunkt der Berichterstattung, läuft die Anlage gut. Noch nicht abgeschlossen ist die Feinoptimierung einzelner Betriebszustände und die Instruktion des Betriebspersonals.

4. Zur Berichterstattung

Aufgrund der verschiedenen aufgetretenen Probleme bei der Anlage konnten nicht alle ursprünglichen Ziele erreicht werden. Doch lässt sich bekanntlich auch - oder vor allem - aus Fehlern lernen. Der vorliegende Schlussbericht ist deshalb ein Versuch, praxisbezogene Erkenntnisse für zukünftige ähnliche Anlagen herauszuarbeiten. Insbesondere sollen **die folgenden Fragen näher untersucht** werden:

- (1) Konnte das Sanierungsziel erreicht werden?
- (2) Hat sich das gewählte Konzept mit Abs.-WP und Niedertemperatur-Wärmeverteilung prinzipiell bewährt?
- (3) Ist eine Abs.-WP für Raumheizung sinnvoll?
- (4) Welches ist die korrekte hydraulische Einbindung einer Abs.-WP?
- (5) Welches sind die wichtigsten Erkenntnisse für ein analoges Projekt?
- (6) Welche Optimierungsmaßnahmen sind an der Anlage der Überbauung „Im Bilander“ noch durchzuführen?

Die bis Juli 94 erlebten Schwierigkeiten und die auf die Wärmeverteilung bezogenen Erkenntnisse sind detailliert im Zwischenbericht beschrieben und werden deshalb im vorliegenden Schlussbericht nur noch zusammenfassend erwähnt. Der **Schwerpunkt des Schlussberichts liegt bei der Absorptionswärmepumpe**.

Begriffe und Abkürzungen

Die Überbauung besteht aus sechs Wohnbauten und einem Kindergarten. Die Wohnbauten werden in der Regel mit **Block** bezeichnet unabhängig davon, ob es sich um ein Hochhaus oder einen Flachbau handelt. Jeder Block weist eine **Unterstation (UST)** auf, in der die Energie von der Fernleitung aus der Heizzentrale übernommen wird. Blocks und Unterstationen sind gleich und zwar von 1 bis 6 nummeriert.

Unter dem Begriff **Fernleitung (FL)** wird in diesem Bericht die Energieverteilung zwischen der Heizzentrale und den Unterstationen verstanden. Es handelt sich also nicht um eine Fernleitung im allgemeinen Sinn.

Abkürzungen und verwendete Symbole sind jeweils beim ersten Auftreten im Text erläutert und im **Symbol- und Abkürzungsverzeichnis** auf Seite 78 zusammengefasst.

5. Beschreibung des Objekts

5.1 Überbauung

Die 1972 erstellte Grossüberbauung "Im Bilander" in Brugg umfasst drei 16-geschossige Hochhäuser und drei Blocks mit zusammen 342 Wohnungen und einen Kindergarten. Ein Block (Block 6) enthält Eigentumswohnungen, während die übrigen Wohnungen vermietet sind. Total wohnen ca. 710 Erwachsene und 100 Kinder in der Siedlung. Die Energiebezugsfläche (ohne Kindergarten) beträgt rund 31'200 m².

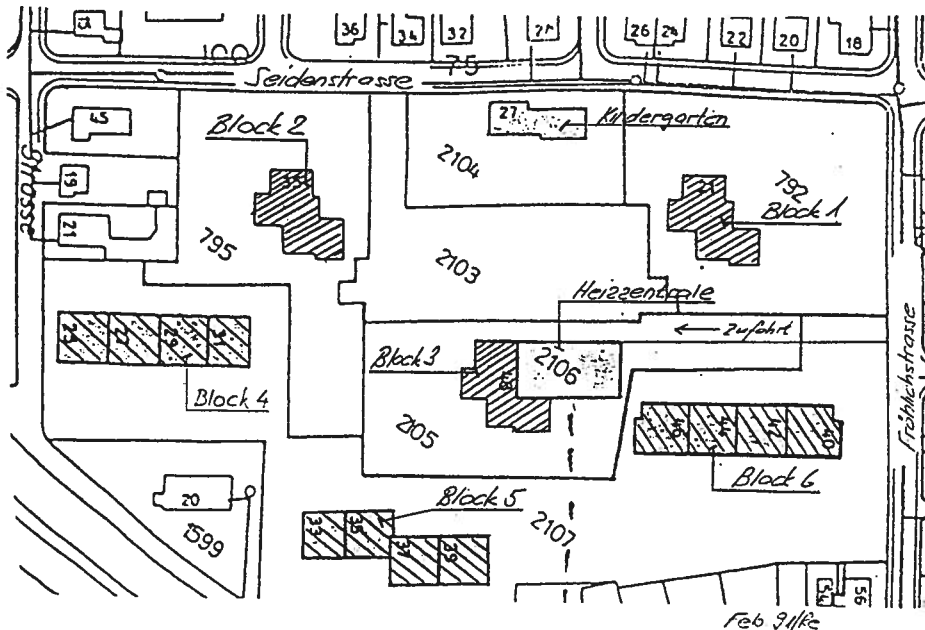


Bild 1: **Situationsplan** der Überbauung "Im Bilander" Brugg mit den 6 Wohnbauten, dem Kindergarten und der Heizzentrale.

	Hochhäuser			Flachbauten			Überbauung total
	Block 1	Block 2	Block 3	Block 4	Block 5	Block 6	
Anzahl Wohnungen	64	64	64	38	56	56	342
Anzahl Personen total	126	129	123	96	136	98	708
davon Kinder unter ca. 12 Jahren	15	17	15	26	22	6	101

Tabelle 1: Anzahl Wohnungen und Personen pro Gebäude (Stand Januar 1992)

Das ursprüngliche Energiesystem

Die **alte Heizzentrale** wurde 1972 in Betrieb genommen und bestand aus 3 Heizkesseln mit ölbefeuerten, einstufigen Brennern. Die installierte Leistung betrug 5'060 kW. Das Warmwasser wurde zentral durch die Heizkessel mit Hochleistungsdurchflusserwärmern erzeugt. Die Energieverteilung zu den einzelnen Häusern erfolgte auf hohem Temperaturniveau mit je einem lokalen Fernleitungsnetz für die Heizung (ca. 110°C Vorlauftemperatur) und für das Warmwasser (ca. 65°C Vorlauftemperatur), mit entsprechend hohen Wärmeverlusten. In den Unterstationen (je eine pro Haus) wurde das Heizungswasser über Wärmetauscher aufgeheizt. Die Druckerhöhung für das Warmwasser der oberen Stockwerke der Hochhäuser erfolgte ebenfalls von der Zentrale aus; dies bedingte allein für die Warmwasserversorgung (inkl. Zirkulation) vier Leitungen pro Hochhaus. Der Kaltwasserdruck wurde dezentral mit einer Druckerhöhungsanlage pro Hochhaus erhöht.

Die **Heizenergieverteilung** innerhalb der Gebäude erfolgte (und erfolgt auch heute noch) mit einem 1-Rohr-System, die Wärmeabgabe über Radiatoren mit normalen Einrohrventilen.

Die Temperatur des **Brauchwarmwassers** betrug 60°C.



Bild 2: **Teilansicht** der Überbauung

Verbrauchsdaten früher (gemäss [1]):

Ölverbrauch EL (Durchschnitt)	574'000 kg/a
Jahreswirkungsgrad der Kesselanlage	73%
Warmwasserverbrauch (Durchschnitt)	17'000 m ³ /a
Wärmeverluste Heizfernleitung (Rohmetzlänge rund 1'300 m)	300'926 kWh/a (= ca. 25'000 kg Öl/a)
Wärmeverluste Warmwasser-Fernleitung (Rohmetzlänge rund 2'190 m)	625'554 kWh/a (= ca. 52'700 kg Öl/a)
Energiekennzahl Heizung + Warmwasser ($H_U = 11,85$ kWh/kg)	785 MJ/m ² a

5.2 Durchgeführte Studie

Die 1988 durch Studer + Partner AG durchgeführte Studie [1] untersuchte 9 Sanierungsvarianten, die in Tabelle 2 zusammengefasst sind.

Varianten	IST	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wärmeerzeugung:										
Ölkessel	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Öl-/Gaskessel		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Low-Nox Feuerung				x	x	x	x	x	x	x
Rauchgaswärmenutzung			x	x	x	x	x	x	x	x
Absorptionswärmepumpe					x					
Gasmotorwärmepumpe						x	x	x		
Blockheizkraftwerk (BHKW)									x	x
keine Netztrennung in den Unterstationen				x	x	x	x	x	x	x
WW-Aufbereitung:										
zentral mit Hochleistungsboiler	x	x								
mit Spitzenspeicherboiler			x			x			x	
dezentral mit Hochleistungsboiler				x						
mit Speicherboiler, Ladung über Heizfernleitung					x		x	x		x
mit Speicherboiler, Ladung über Wärmepumpe					x			x		
Kleinwärmepumpen für dezentrale Zirkulationshochhaltung					x		x	x		x

Tabelle 2: Die in der Studie untersuchten 9 Sanierungsvarianten [bittab2.xls]

Die Varianten 2, 3, 4, 6 und 9 wurden in einer Wirtschaftlichkeitsberechnung einander gegenübergestellt. Variante 2 stellte die minimale Sanierungsvariante dar, während Variante 3 den maximalen Einsatz konventioneller Technik beinhaltet. Die anderen drei Varianten setzen neue Technologien ein.

Die **Wirtschaftlichkeitsrechnung** führte unter Berücksichtigung von Kapital-, Wartungs- und Verwaltungskosten und mit Öl- und Gaspreisen gemäss PRESANZ-Programm der Stadt Zürich resp. von 1989 zu den folgenden, auf die Nutzenergie bezogenen Energiepreisen:

Variante	Berechnung gem. PRESANZ, ohne Energiepreisteuerung		Berechnung gem. PRESANZ, mit Energiepreisteuerung		Berechnung mit Öl-/Gaspreisen Jan. 89, mit Energiepreisteuerung	
	Rp/kWh	%	Rp/kWh	%	Rp/kWh	%
IST	8,6	88%	10,7	91%	7,0	65%
Variante 2 (minimale konventionelle Variante)	9,8	100%	11,7	100%	10,8	100%
Variante 3 (maximale konventionelle Variante)	10,2	104%	11,8	101%	11,1	103%
Variante 4 (Absorptionswärmepumpe)	10,8	110%	12,1	103%	11,7	108%
Variante 6 (Gasmotor-Wärmepumpe)	11,8	120%	13,2	113%	12,8	119%
Variante 9 (BHKW)	13,0	133%	14,9	127%	14,4	133%

Die beiden konventionellen Varianten 2 und 3 und die Variante 4 mit Abs.-WP liegen gemäss PRESANZ-Rechnung relativ nahe beieinander. Dies ist noch ausgeprägter der Fall, wenn eine Energiepreisteuerung berücksichtigt oder mit den Öl- und Gaspreisen von Januar 89 und Energiepreisteuerung gerechnet wird. Die detaillierten Angaben zur Wirtschaftlichkeitsberechnung (gemäss PRESANZ, ohne Energiepreisteuerung) befinden sich im **Anhang 1**.

Eine **Nutzwertanalyse**, welche neben den Investitionskosten auch Kriterien der Umweltverträglichkeit und Betriebssicherheit berücksichtigte, führte schliesslich zu einer, allerdings nur schwachen, Bevorzugung der Variante 4 mit Absorptionswärmepumpe (Details siehe **Anhang 2**):

Variante 2 (Minimalvariante)	Wertung 80	100%
Variante 3 (maximale konventionelle Variante)	Wertung 95	119%
Variante 4 (Absorptionswärmepumpe)	Wertung 96	120%
Variante 6 (Gasmotor-Wärmepumpe)	Wertung 73	91%
Variante 9 (BHKW)	Wertung 64	80%

5.3 Gewählte Sanierungsvariante

5.3.1 Heizzentrale:

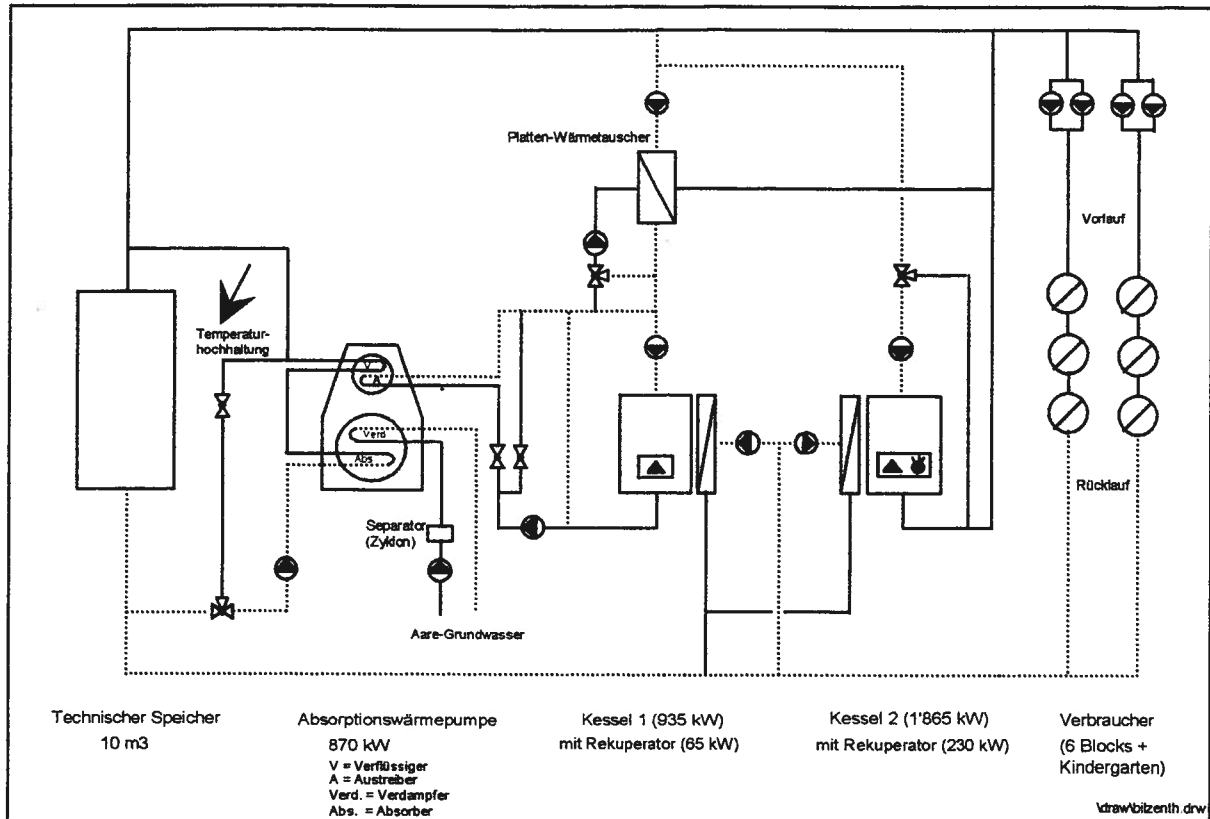


Bild 3: **Prinzipschema Heizzentrale.** Die Hochhaltung im Kühlwasserkreis der Abs.-WP (siehe Hinweispeil) wurde erst im März 95 eingebaut.

Im Zentrum des gewählten Sanierungskonzepts steht eine **Lithiumbromid-Wasser-Absorptionswärmepumpe**, die Umweltenergie aus dem Grundwasser (300 kW , 10°C^1) entzieht. Angetrieben wird die Abs.-WP über den Ausstreiber (570 kW , 115°C^1), der durch einen modulierenden Low-NOx-Heisswasserkessel beheizt wird. Die Nutzwärme der WP (870 kW , 49°C^1) soll im Sommer direkt, im Winter bei Bedarf durch die Kessel nacherwärmt, in die Fernleitung abgegeben werden.

Der interessante Aspekt einer Abs.-WP ist, dass sie - abgesehen von dem kleinen Anteil Strom für die internen Pumpen - nur mit exergetisch niederwertiger Energie in der Form von Wärme arbeitet. Ein weiterer, zunehmend wichtigerer Vorteil der Abs.-WP ist, dass sie vollkommen frei von FCKW ist. Im übrigen kann bei einer Abs.-WP mit einer sehr langen Lebensdauer gerechnet werden, da der Absorptionsprozess primär kein mechanischer sondern ein thermo-chemischer Prozess mit entsprechend wenigen bewegten Teilen ist.

Die genauere Funktionsweise einer Abs.-WP ist im Anhang 3 kurz erklärt.

Die Zentrale besitzt zwei Kessel von zusammen $2'800 \text{ kW}$. Beides sind modulierende Low-NOx-Kessel ($100 \dots 30\%$) mit Rauchgas-Rekuperatoren. In den Rekuperatoren wird das aus dem Verteilnetz zurückfließende Heizwasser in einer ersten Stufe angehoben, bevor es durch die Abs.-WP und gegebenenfalls durch die Kessel auf die Soll-Vorlauftemperatur weiter erwärmt wird. Der grössere Kessel (Kessel 2) wurde so ausgelegt, dass er im Notfall die gesamte Last übernehmen kann. Er ist sowohl für Gas- als auch Ölbetrieb und mit einer Sauerstoffregulierung (O_2 -Regulierung) ausgerüstet. Der kleine Kessel (Kessel 1) versorgt in erster Linie als Heisswasserkessel ($115^\circ\text{C}/109^\circ\text{C}$) den Ausstreiber der Abs.-WP mit Energie, kann aber auch über einen Platten-WT (auf tieferem Temperatur-

¹⁾ Nenndaten

niveau) Wärme direkt ans Heizungsnetz abgeben. Der kleine Kessel wird ausschliesslich mit Gas befeuert.

Ein technischer Speicher von 10 m³ soll den mit hohem Durchfluss zu betreibenden Kühlwasserkreislauf stabilisieren.

Zuschaltung der einzelner Wärmeerzeuger (Kaskade):

- In erster Priorität wird der Heisswasserkessel (Kessel 1) betrieben. Seine produzierte Wärme wird dem Austreiber der Abs.-WP zugeführt.
- Bei höherem Leistungsbedarf der Anlage resp. höherer Temperaturanforderung wird ein Teil der Kesselleistung über einen Plattenwärmetauscher (WT) direkt ans Heizungswasser abgegeben (WT Stufe 1).
- Bei weiter ansteigendem Leistungsbedarf wird der grosse Kessel zugeschaltet; der WT wird ausser Betrieb gesetzt.
- Steigt die Leistungsnachfrage noch höher, wird die Abs.-WP (weil die Vorlauftemperaturen zu hoch sind) ausser Betrieb genommen; der Heisswasserkessel (Kessel 1) gibt seine volle Leistung über den Platten-WT ans Netz (WT Stufe 2).

Bei Störung der Abs.-WP arbeitet in erster Priorität der grosse Kessel.

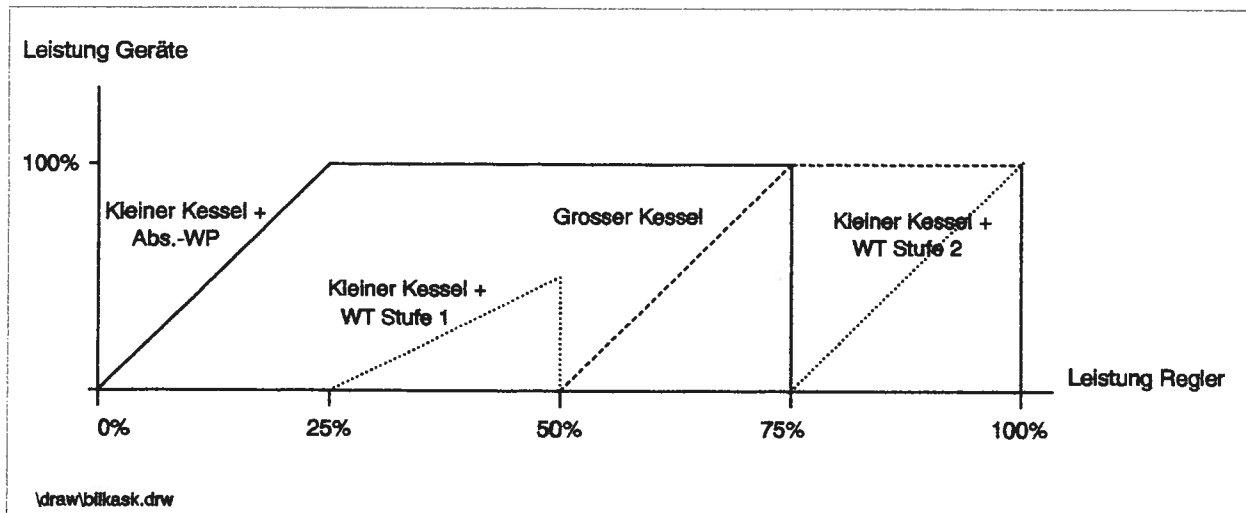


Bild 4: **Kaskadenregelung der Wärmeerzeuger**

5.3.2 Wärmeverteilung, Unterstationen (UST):

Die **Wärmeverteilung** erfolgt durch die drehzahlgesteuerten Fernleitungspumpen (FL-Pumpen) in der Heizzentrale. Es wurden Doppelinline-Pumpen verwendet, wobei eine Pumpe jeweils aus Sicherheitsgründen auf Reserve ist. Der Vorteil der Doppelpumpe gegenüber zwei Einzelpumpen sind die geringeren Kosten, insbesondere wegen der vereinfachten Verrohrung.

Im **Sommer**, wenn keine Raumheizungsanforderung vorliegt, wird die lokale Fernleitung "kalt" (20 - 50°C) betrieben. Die Betriebstemperatur ist durch die Vorlauftemperatur der Abs.-WP bestimmt. Die dezentralen Elektro-WP der UST nutzen die Fernleitung als Energiequelle für die Warmwasserbereitung. Ist keine der Elektro-WP in Betrieb, werden die FL-Pumpen abgestellt. Eine Unterscheidung zwischen Tag und Nacht findet nicht statt.

Im **Winterbetrieb**, bei Unterschreitung der Heizgrenze, wird die Fernleitungsvorlauftemperatur klimaabhängig geregelt. Ab Aussentemperaturen von ca. -5°C liegt die Fernleitungsrücklauftemperatur über der Temperatur, bei welcher die Abs.-WP mit einer noch vernünftigen Leistungsziffer eine Temperaturerhöhung im Sinne einer Vor- oder Teilerwärmung zu erbringen vermag, so dass sie abgestellt werden muss. Nachts werden - je nach Aussentemperatur - die Fernleitungspumpen ganz ausgeschaltet oder es wird nur die Temperatur der Fernleitung abgesenkt. Analog werden die Heizkreisläufe in den einzelnen Blocks betrieben.

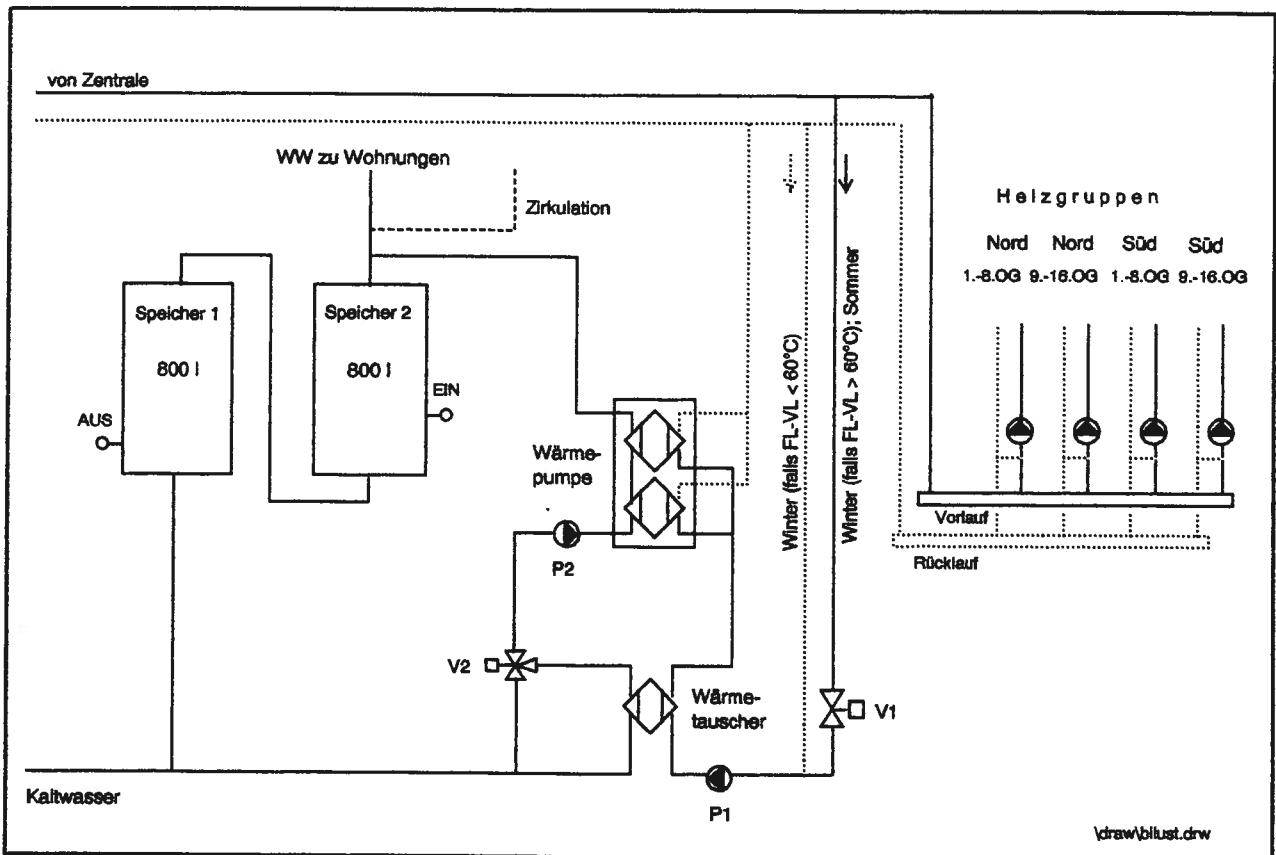


Bild 5: **Prinzipschema einer Unterstation** am Beispiel von Block 3. Nicht eingezeichnet ist das Zirkulationssystem.

Die **Unterstationen** bestehen im wesentlichen aus einer Elektro-WP mit zwei Kältemittelkreisläufen, einem Platten-WT und zwei aus Platzgründen in Serie geschalteten Spitzenspeicher für die Warmwasserversorgung und dem Verteiler für die Heizgruppen.

Die Steuerung der Speicherladung erfolgt über die in den Speichern montierten EIN- und AUS-Thermostaten. Dabei muss bei der Speicherladung zwischen Sommer- und Winterbetrieb unterschieden werden:

Sommerbetrieb: Die Energie wird dem Fernleitungs**vorlauf** entnommen (vgl. Bild 5):

Der EIN-Thermostat (im Speicher 2) startet die Speicherladung:

- Die Verdampferpumpe P1 schaltet ein.
 - Das Durchgangsventil V1 im Verdampfer**vorlauf** ist offen.
 - Das Dreiwegventil V2 beim WT steht auf Durchgang (d.h. der WT wird nicht durchströmt).
 - Die WP startet.
 - Die drehzahlgeregelte Kondensatorpumpe wird durch die WP freigegeben.
 - Die WP entzieht dem auf niedrigem Temperaturniveau gefahrenen Fernleitungs**vorlauf** Energie.
- Bei WP-Störung erfolgt Meldung an die Heizzentrale, worauf die Vorlaufftemperatur der Fernleitung auf 63°C hochgefahren wird. Das Dreiwegventil V2 schaltet auf Bypass. Die Kondensatorpumpe läuft auf voller Drehzahl. Das Warmwassers wird somit durch den WT erwärmt.

Winterbetrieb: Je nach Temperatur des Fernleitungs**vorlaufs** wird die Energie entweder dem **Rücklauf** oder **Vorlauf** der Fernleitung entnommen.

(a) Fernleitungs**vorlauf**temperatur < 60°C (d.h. Temperaturanhebung für WW-Erwärmung nötig)

Der EIN-Thermostat (im Speicher 2) startet die Speicherladung:

- Das Durchgangsventil V1 im Verdampfer**vorlauf** ist geschlossen.
- Das Dreiwegventil V2 beim WT steht auf Durchgang (d.h. der WT wird nicht durchströmt).
- Die WP startet.
- Die drehzahlgeregelte Kondensatorpumpe P2 wird durch die WP freigegeben.
- Die WP entzieht die Energie dem **FL-Rücklauf**.

Ziel: höhere Wirksamkeit der Rauchgasrekuperatoren der Heizkessel durch Senkung der Temperatur des FL-Rücklaufs.

(b) Fernleitungs**vorlauf**temperatur > 60°C (keine Temperaturanhebung für WW-Erwärmung nötig)

Der EIN-Thermostat (im Speicher 2) startet die Speicherladung:

- Das Durchgangsventil V1 im Verdampfer**vorlauf** ist offen.
- Das Dreiwegventil V2 beim WT steht auf Bypass.
- Die Kondensatorpumpe P2 läuft auf voller Drehzahl.
- Das Warmwassers wird durch den WT ab **FL-Vorlauf** erwärmt.

Neben der Kondensatorpumpe, die in Abhängigkeit des Kältemitteldrucks der WP drehzahlgesteuert ist, sind auch die Pumpen der Heizgruppen drehzahlvariabel. Diese Pumpen sind zusätzlich mit **Stromsparschaltungen** ausgerüstet, welche im Teillastbetrieb automatisch die Spannung reduzieren (Funktionsweise Stromsparschaltung → **Anhang 4**). Es werden ausschliesslich Inline-Pumpen mit hohem Wirkungsgrad eingesetzt.

Die hohen Warmwassertemperaturen von 60°C sind bedingt durch die grossen Wärmeverluste der schlecht isolierten Warmwasser- und Zirkulationsleitungen.

5.3.3 Zirkulationshochhaltung

Die Zirkulationshochhaltung erfolgt durch zusätzliche kleine Luft-Wasser-Elektrowärmepumpen. Anstatt die Zirkulationsleitung in den Warmwasserspeicher zurückzuführen, was zu den bekannten Schichtungsstörungen führt, werden in der Überbauung "Im Bilander" die Wärmeverluste der einzelnen Zirkulationskreise durch vom übrigen System unabhängige anschlussfertige elektrische Kleinwärmepumpen gedeckt. Je nach Gebäude sind eine, zwei oder vier Zirkulations-WP des Typs Ry22 oder Ry35 des japanischen Herstellers Daikin installiert. Sie entnehmen die Energie entweder der Luft der Trocknungsräume oder der UST. Die Steuerung erfolgt über einen einfachen Thermostaten. Eine WP läuft so lange, bis die eingestellte Solltemperatur für das Zirkulationswasser (52°C) erreicht ist. Da-

nach wird der Kompressor ausgeschaltet. Die Wiedereinschaltung erfolgt dann, wenn die Temperatur unter den durch die gewählte Hysterese (6°C) gegebenen Wert gefallen.

Die Hochhäuser weisen zwei WW-Netze auf: ein Niederdrucknetz für die unteren und ein Hochdrucknetz für die oberen Stockwerke. Die WW-Speicher in den UST werden auf dem Druck des Hochdrucknetzes betrieben; für das Niederdrucknetz erfolgt eine Druckreduzierung. Bei diesem System wäre eine Rückführung der Zirkulationsleitung des Niederdrucknetzes in den Speicher aus Druckgründen gar nicht möglich.

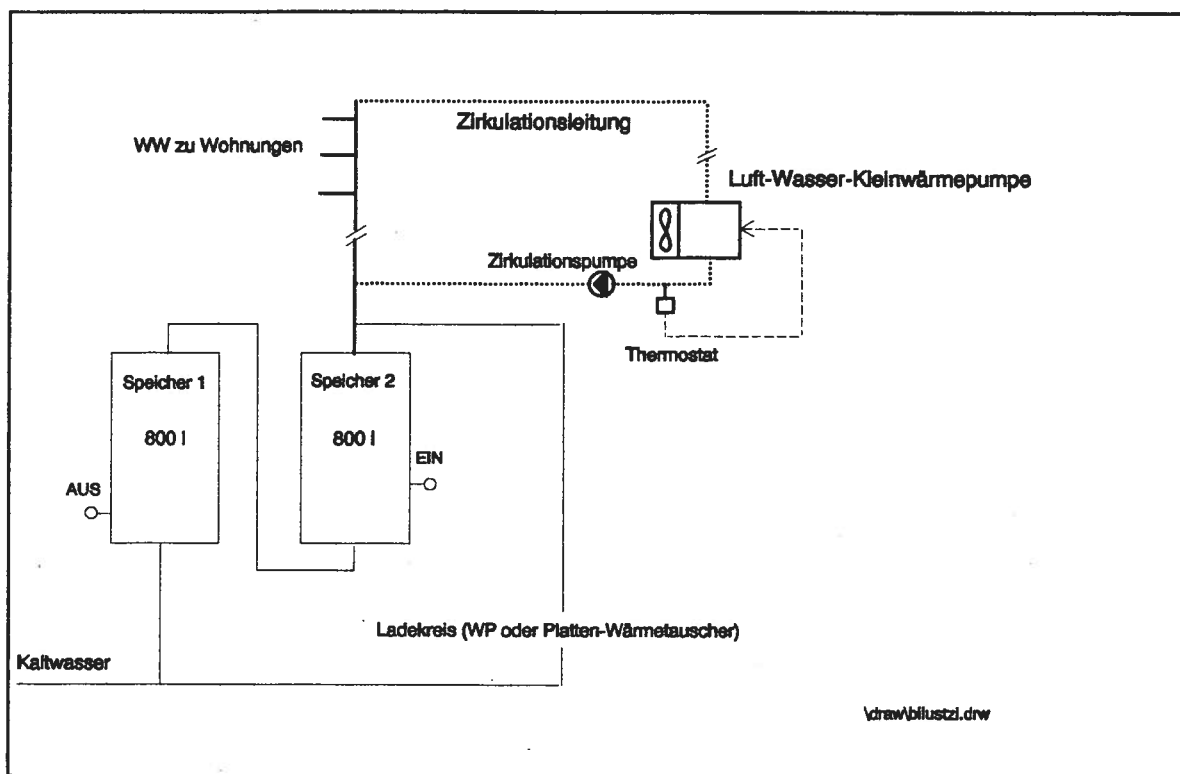


Bild 6: **Prinzipschema der Zirkulationshochhaltung** mit anschlussfertigen Luft-Wasser-Kleinwärmepumpen

5.4 Das Vorgehen bei der Sanierung

Die Sanierung fand in zwei Schritten statt:

1. Schritt, Sommer 91:
 - Umbau der 6 Unterstationen (Installation der Elektro-WP, des Platten-WT, der Warmwasserspeicher und der Zirkulationshochhaltungs-WP)
 - Stilllegung der Warmwasserfernleitung
 - Montage von Thermostatventilen an den Radiatoren aller Wohnungen.
 - Vorbereitungsarbeiten in der Heizzentrale (Ersatz Fernleitungspumpen).
2. Schritt, Sommer 92:
 - Umbau der Zentrale (Abs.-WP, neue Heizkessel, Speicher, Steuerung).

Anschliessend folgte die (langwierige) Phase der Inbetriebnahme, der Fehlerbehebung und Betriebsoptimierung. Heute (Mai 96) sind die Arbeiten bis auf die Feinoptimierung einzelner Betriebszustände abgeschlossen.

6. Beschreibung der Messdatenerfassung

6.1 Messkonzept

Ziel der Instrumentierung ist, Daten für einerseits Energiebilanzen und andererseits Aussagen über Teillast- und Anfahrverhalten der Hauptanlagenkomponenten zu liefern. Dazu werden die Heizzentrale und eine Unterstation (Hochhaus "Block 3") detailliert ausgemessen. Um der Zielsetzung gerecht zu werden, werden vor allem Instrumente mit Analogausgängen eingesetzt, welche auf einen Data Logger mit zugehörigem Computer (PC) zur Visualisierung und Abpeicherung aufgeschaltet sind. Die Wärme- und Wasserzähler aller Blocks und des Kindergartens ebenso wie der Hauptgas- und der Ölzähler in der Heizzentrale und einige wesentliche Elektrizitätszähler werden zudem einmal pro Monat manuell durch den Abwart abgelesen. Zusätzlich werden diverse Betriebsstundenzähler manuell abgelesen.

6.2 Instrumentierung

Die Messstellen der UST gehen aus dem Messstellenplan **Anhang 5.1** und diejenigen der Heizzentrale aus **Anhang 5.2** hervor. Die eingesetzten Instrumente sind auf der Messstellenliste **Anhang 6** zusammengefasst.

Generell werden Temperaturen mit abgeglichenen Thermoelementen und Durchflüsse des Mediums Wasser mit magnetisch-induktiven Durchflusszählern gemessen. Zur Messung des Gasverbrauchs des grossen Kessels wird ein Vortex-Durchflusszähler zusammen mit einer Temperatur- und Druckmessung eingesetzt, während der Ölverbrauch des Kessels mit einem Ringkolbenzähler ermittelt wird. Die Messung des Elektrizitätsverbrauchs erfolgt mit Wirkleistungstransmittern in Aaron-Schaltung: Durch diese Schaltung reicht es, die Ströme von nur zwei Phasen zu erfassen. Die Ströme werden mit Lochstromwandlern (welche den Strom in einem festen Verhältnis umsetzen und an den Transmitter angeschlossen sind) gemessen; die Spannungen der drei Phasen werden direkt an den Transmitter angeschlossen. Das analoge Ausgangssignal des Transmitters ist zur Wirkleistung proportional.

6.3 Datenerfassung, -verarbeitung, -sicherung

Die automatische Datenerfassung erfolgt über einen 17 bit Data Logger "Digi-Link 4S Plus" mit 64 Eingängen, die alle belegt sind.

Alle Eingangskanäle werden ungefähr im Zehntelsekundenrhythmus abgefragt. Die Momentanwerte werden alle 6 Sekunden an den PC weitergegeben, wo sie auf Schaubildern visualisiert und für die spätere Verlaufsanalysen auf der Harddisk - je nach Messperiode und Messgrösse in unterschiedlicher Abspeicherungsrate von 10 sec bis 1 h als Momentan- oder Durchschnittswert - abgespeichert werden. Tages- und Monatsakkumulationen erfolgen aus Gründen der Genauigkeit und Datensicherheit auf dem Logger (batteriegepuffert). Die Akkumulationen werden einmal pro Tag um Mitternacht auf die Harddisk abgespeichert und - wiederum aus Sicherheitsgründen - auf den Drucker ausgegeben.

Ebenfalls auf dem Data Logger erfolgen die Berechnungen der kalorischen Grössen Wärme-, Gas- und Ölverbrauch. Die verwendeten Gleichungen und Konstanten sind im **Anhang 7** zusammengefasst.

Einmal wöchentlich werden die Daten durch den Abwart von der Harddisk auf Floppy Disks umgeladen und ins Büro des Projektleiters geschickt. Hier werden die Daten wieder auf eine Harddisk geschrieben und auf Plausibilität geprüft. Die Datensicherung erfolgt periodisch durch zusätzliche Abspeicherung auf Magnetband (Streamer). Für die Auswertungen wird eine auf die Datenerfassungsanlage abgestimmte Visualisierungssoftware sowie das Tabellenkalkulationsprogramm EXCEL eingesetzt.

6.4 Messgenauigkeit

Die Thermoelemente wurden durch AMENA AG konfektioniert und die ganze Messkette Thermoelement-Data Logger einer Zweipunktkalibration unterworfen. Für Temperaturdifferenzmessungen wurden die Thermoelemente aufgrund möglichst geringer Abweichung gepaart. Einmal pro Jahr wurde die im Data Logger eingebaute Referenztemperatur mit einer Eis-Wasser-Mischung überprüft und nötigenfalls abgeglichen. Die Abweichungen betragen jeweils maximal $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Da bei dem Messprojekt vor allem Energieströme interessieren und weniger Absolutwerte einzelner Temperaturen, sind diese Abweichungen bedeutungslos. Eine Prüfung der Genauigkeit der Messkette am Schluss des Messprojekts wurde nicht durchgeführt.

Bei den Durchflussmessungen wurde speziell auf gut geeignete Messstrecken geachtet. Wenn keine ideale Bedingungen vorlagen, wurde dies in den Fehlerangaben berücksichtigt.

Die zu erwartenden Messfehler sind auf der Messstellenliste **Anhang 6** eingetragen. Auf **Anhang 7.2** ist beispielhaft die Fehlerrechnung für die an die Fernleitung abgegebene Wärmeleistung dargestellt.

7. Ergebnisse

7.1 Allgemeines

Seit anfangs Oktober 1991 werden Messdaten der instrumentierten Unterstation 3 sowie die Wärmehändler der übrigen 5 Unterstationen und seit Herbst 1992 die Daten der Heizzentrale routinemässig aufgezeichnet resp. abgelesen und regelmässig analysiert und interpretiert. (Die monatlichen Daten sind in **Anhang 8** zusammengefasst.) Data Logger und Computer arbeiteten seit Beginn des Projekts mit einer unwesentlichen Ausnahme ohne Störungen. Probleme stellten anfänglich 5 magnetisch-induktive, zu den Wärmemessungen der einzelnen Unterstationen gehörende Durchflussmesser, die aus nicht restlich klärbaren Gründen ausfielen (Wasser in Elektronikteil). Sie wurden auf Garantie des Herstellers ersetzt. Mehr Ärger verursachte ein nicht offensichtlicher Fehler der Programmierung dieser Durchflusszähler, die im Auftrag der Bauherrschaft durch Dritte erfolgte. Dadurch sind mit Ausnahme des Blocks 2 die monatlichen Ablesungen des Hauswerts bis zum Juli 93 mit einem Fehler von 5 bis 10% behaftet. Auch später verursachten die Wärmemessungen der Unterstationen laufend Probleme. Im Mai 95, nachdem in der UST 3 durch die zusätzlichen Messinstrumente aufgrund des Messprojekts auf einen Messfehler hingewiesen werden konnte, liess der Hersteller verlauten, dass die zusammen mit dem zuständigen Gebietsvertreter ausgewählten Durchflusszähler in Sandwich-Bauart ungeeignet seien. Sie werden - nach längeren Diskussionen betreffend Kostenübernahme - im Sommer 96 in Kulanz ersetzt.

Verspätet in Betrieb genommen werden konnte die Gasmessung des grossen Kessels, da das Instrument durch den Elektriker falsch angeschlossen wurde, was zu einer Beschädigung der Elektronik führte.

Der grösstenteils durch die Unternehmer erfolgte Einbau der Instrumente (Durchflussmesser, Tauchhülsen für Temperaturmessungen) verlief in der zweiten Sanierungsphase, d.h. in der Heizzentrale wesentlich problemloser, da die Handwerker von der ersten Phase (UST Block 3) her wussten, worauf zu achten war.

Generell kann festgehalten werden, dass Messen in der Regel ausser vom Messingenieur von allen anderen an einem Bauprojekt Beteiligten als Nebensache betrachtet wird. Die Konsequenz: Termine werden nicht eingehalten und Einbauvorschriften (mündliche und/oder schriftliche) für Messinstrumente nicht beachtet. Es ist deshalb wichtig, dass Messprojekte sehr frühzeitig definiert werden, so dass genügend Zeit für Besprechungen mit den Beteiligten (Motivation, Instruktion) während der Planungsphase vorhanden ist. Später auf der Baustelle herrscht immer Zeitnot. Zusätzlich ist es nötig, während der Bauphase die Baustelle häufig zu besuchen, um noch einmal direkt an der Anlage Einbauanweisungen für die Instrumente an den ausführenden Handwerker geben oder gemachte Fehler gleich beheben lassen zu können. Der Zeitbedarf für diese Besprechungen und Besuche darf nicht unterschätzt werden.

Mehr Probleme als bei der Messtechnik traten bei den Anlagen auf, welche z.T. zu sehr grossen Verzögerungen führten. **Die meisten Probleme sind darauf zurückzuführen, dass sehr viel Neues**, seien es Komponenten modernster Technik (z.B. Drehzahlregelungen, Stromsparschaltungen, Inline-Pumpen hohen Wirkungsgrades), sei es das Konzept als Ganzes, **auf's Mal** eingesetzt werden sollte. Und dies nicht in einem Neubau, sondern **bei einer Sanierung einer schon immer schwierigen Anlage**. Die Probleme lassen sich in drei, z.T. sich gegenseitig beeinflussende Gruppen aufteilen:

- Technische Probleme mit einzelnen Komponenten
- Technische Probleme der Systemintegration
- Organisatorische Probleme und Kommunikationsprobleme

Im Zwischenbericht wurde ausführlich auf die diversen Probleme eingegangen. Im folgenden seien deshalb nur die wesentlichen Schwierigkeiten nochmals kurz zusammengefasst, damit sich der Leser ein ungefähres Bild machen kann, wie langwierig eine grössere Sanierung sein kann. Wichtiger als dieser Rückblick sind allerdings die in den nachfolgenden Kapiteln präsentierten Ergebnisse und Erkenntnisse.

7.1.1 Technische Probleme mit einzelnen Komponenten

- Absorptionswärmepumpe

Die Abs.-WP nahm beim Anfahren deutlich mehr Leistung über den Austreiber auf, als von der Lieferfirma YORK angegeben wurde. Als Folge konnte der Heisswasserkessel (Kessel 1) die Temperatur nicht halten, weshalb die Betriebsbedingungen für die Abs.-WP nicht erreicht wurden. Zeitweise wurde sogar Wärme ins Grundwasser abgegeben! Konsequenz: Die Anfahrsteuerung des Austreiberkreises musste verbessert werden.

Entgegen den ursprünglichen Angaben der Fa. YORK ist es nicht möglich, die Abs.-WP mit variablen Kühlwassertemperaturen ¹⁾ zu fahren. Dies bedingte den nachträglichen Einbau einer geregelten Temperaturhochhaltung (März 95).

Nebenprobleme waren Kristallisation des Lithium-Bromids, nicht korrekte Kältemittelfüllung und nicht funktionierende Teillastregelung wegen einem nicht aufgeschalteten Regler der Abs.-WP.

Bis die Probleme klar erkannt waren und geklärt war, wer für welches Problem (technisch, finanziell) zuständig ist, verstrichen mehr als zweieinhalb Jahre. Die Abnahme der Abs.-WP durch die Bauherrschaft erfolgte erst per 1. April 95.

- Wärmepumpen der Unterstationen

Lärmübertragung auf das Rohrnetz und zu klein gewählte Pumpen im Kondensatorkreis, welche zu Hochdruckstörungen führten, verzögerten die Inbetriebnahme um ein halbes Jahr (Februar 1992 statt September 1991; zwei WP konnten sogar erst im Juni 1992 definitiv in Betrieb genommen werden).

- Umwälzpumpen

Sowohl die drehzahlgesteuerten Umwälzpumpen der einzelnen Heizgruppen der Blocks als auch die ebenfalls drehzahlgesteuerten Fernleitungspumpen der Heizzentrale warfen diverse Lärmprobleme auf. Die Ursachen lagen einerseits bei falsch gewählten Komponenten (z.B. Überdimensionierung der Heizgruppen-Pumpen, Drehzahlregelungselektronik mit zu tiefer Chopper-Frequenz und ohne Drossel,) und andererseits bei der vorhandenen Anlage (Schmutzpartikel im Wasser, welche in den Dichtungen zu Geräuschen führten). Die Folge war, dass die Pumpen vorübergehend unregelmäßig gefahren wurden und damit das Stromsparpotential anfänglich nicht ausgeschöpft werden konnte.

Anhand des Lärmproblems der Heizgruppen-Pumpen lässt sich sehr deutlich die Problematik der Sanierung einer "schwierigen" Anlage demonstrieren: Die Fixpunktstrukturen des Vor- und Rücklaufs wurden ohne irgendwelche Isolation direkt am Mauerwerk befestigt. Dies führte - wie erst im nachhinein bekannt wurde - schon früher zu Lärmproblemen. Diese wurden dadurch gelöst, dass

¹⁾ Kühlwassereintrittstemperatur entsprach bisher der FL-RL-Temperatur

bei den alten Heizgruppen-Pumpen die Laufräder durch kleinere ersetzt wurden. Bei der Auslegung der neuen Pumpen liess man sich von den Leistungsschildern der alten Pumpen leiten, was zwingend zu einer Überdimensionierung und wieder zu den Lärmproblemen führte.

- Kesselsteuerung

Spannungsspitzen im Versorgungsnetz brachten die Kesselsteuerung zum Absturz, was zu manuellem Kesselbetrieb mit unnötig hohen Fernleitungstemperaturen führte.

Etwelches Kopfzerbrechen bereiteten lange Zeit stark schwankende Temperaturen im Austreiberkreis. Der Fehler wurde schliesslich in einem defekten Sollwertgeber gefunden.

7.1.2. Technische Probleme der Systemintegration

- Zu hohe Fernleitungstemperaturen

- Das Konzept der Wärmeverteilung basiert auf der Idee, die Fernleitung im Sommer auf sehr niedrigem Temperaturniveau zu betreiben (um die Wärmeverluste möglichst gering zu halten) und die nötige WW-Temperatur dezentral mit Elektro-WP zu erzielen. Dies konnte zuerst nicht erreicht werden, da der anfangs Sommer 92 allein noch in Betrieb stehende alte Kessel nur für höhere Temperatur ausgelegt war und der ab Juli 1992 mit provisorischem Brenner in Betrieb genommene neue Kessel 2 bei tiefen Temperaturen oder wegen den oben beschriebenen Spannungsspitzen im Netz laufend auf Störung ging.

Das führte zum absurden Betriebszustand, dass 50 bis 70-gradiges Fernleitungswasser in den Unterstationen auf 35 bis 45°C runtergemischt und anschliessend durch die WP mit teurem Strom wieder auf WW-Temperatur aufgeheizt wurde. Dies ist trotz der hohen mittleren Leistungsziffern - die für die UST 3 gemessenen jährlichen Durchschnittswerte schwanken zwischen 4.7 und 5.0 - ein exergetischer und wirtschaftlicher Unsinn. (→ Kp. 7.3.5)

- In der Heizperiode sollte der Fernleitungsvorlauf maximal 5 K über dem wärmsten Vorlauf der diversen Heizgruppen gefahren werden. Wegen der ungünstigen Hydraulik der Einrohrwärmeverteilung in den Bauten liegen die Temperaturen einzelner Kreise höher als angenommen mit der Folge, dass das Fernleitungsnetz wärmer als vorgesehen betrieben werden muss.

- Speicherladung Unterstationen

Die Ladung der beiden in Serie geschalteten Warmwasserspeicher jeder UST war ursprünglich unbefriedigend:

- Fehler in der Regelung, was bei bestimmten Betriebsbedingungen zu einer Abkühlung der Speicher durch den Wärmetauscherkreis, der zur direkten Speicheraufheizung ab Fernleitung bei Nichtbetrieb oder Ausfall der WP gedacht ist, führte.
- Zu langsame Regelstrecke im Kondensatorkreis wegen des Dreiwegeventils, das eine konstante Temperatur am Speichereintritt gewährleisten soll, was zu ständig schwankenden Temperaturen am Kondensatoreintritt und damit zu einer Verringerung der Leistungszahl führte. Heute ist dieses Ventil als Mischventil überflüssig, da die Kondensatorpumpe in Abhängigkeit des Kältemitteldrucks drehzahlregelt ist. (→ Kp. 7.3.5)

- Absorptionswärmepumpe wie Heizkessel behandelt

Bei der Programmierung der Regelung wurden die speziellen Eigenschaften einer Abs.-WP zu wenig beachtet.

7.1.3 Organisatorische Probleme und Kommunikationsprobleme

- Zeitdruck

Vor allem beim Unternehmer.

- Sperrzeiten für die Wärmepumpen

Aufgrund zu wenig klarer oder nicht genügender Kommunikation in der Planungsphase hatte das lokale Elektrizitätswerk IBB seine üblichen Sperrzeiten auch auf die WP der UST angewendet. Dies widersprach nun vollständig dem Konzept der Anlage: Statt wie oben beschrieben im Sommer mit sehr tiefen Fernleitungstemperaturen fahren zu können, musste das ganze System auf mindestens 55°C gehalten werden, damit während der Sperrzeiten die Speicher ab Fernleitung über die Wärmetauscher geladen werden konnten. (Die Speicherkapazität ist wegen Platzbeschränkung in den UST für eine Überbrückung der Sperrzeiten zu klein.)

Verhandlungen mit den IBB, an denen der Berichterstatter, ausgerüstet mit Messdaten, teilgenommen hatte, führten vorerst zum Kompromiss, dass die IBB im Sommer, d.h. von April bis September, auf eine Sperrung der WP verzichteten. Somit konnte die Fernleitung im Sommer wie vorgesehen "kalt" betrieben werden.

In einer zweiten Verhandlungsrunde in November 94 zeigten sich die IBB bereit, die Sperrung ganz aufzuheben, allerdings gegen Verrechnung der Leistung.

- Komplexität der Anlage

Die Komplexität der Anlage bringt es mit sich, dass keine Einzelperson alle Systeme genügend versteht, um laufend die nötigen Optimierungsschritte durchzuführen. Insbesondere ist der Abwart oft nicht in der Lage, selber einzuschreiten. Somit verfließt sehr viel Zeit, bis ein Fehler behoben ist. Gleichzeitig besteht die Gefahr, dass nur Teillösungen erzielt werden.

- Mangel an Interesse

Vor allem seitens der Fa. YORK (schlechte technische Unterstützung, nicht Einhalten von Terminen).

- Projektmanagement

Nicht klar abgegrenzte Interessens- und Kompetenzbereiche führten zu Unklarheit im Projektmanagement, was zusätzlich die Problematik der Anlagenkomplexität verschärfte.

Erkenntnisse:

- Der Betrieb von komplexeren Anlagen kann ohne genügend feine Instrumentierung gar nicht optimiert werden. Viele der Probleme konnten nur aufgrund der detaillierten Messungen im Rahmen dieses Messprojekts überhaupt genau lokalisiert werden.
- Um bei der Sanierung einer bestehenden Anlage nicht zu viele Überraschungen zu erleben, sollte in der Vorabklärungsphase nicht an Aufwand (→ Messungen) gespart werden. Insbesondere sollten diejenigen, die die alte Anlage kennen (z.B. Abwart) über Eigenheiten und Besonderheiten intensiv ausgefragt werden.
- Bei komplexen, grossen Anlagen empfiehlt sich ein zeitlich gestaffeltes Vorgehen, um laufend aus den gemachten Erfahrungen lernen zu können (was ursprünglich von den planenden Ingenieuren vorgesehen, von der Bauherrschaft aber abgelehnt wurde).

7.2 Wurde das Sanierungsziel erreicht?

7.2.1 Gemessener Energieverbrauch der gesamten Überbauung und Vergleich mit Planungs- und Zielwert

Bild 7 auf der folgenden Seite zeigt die Entwicklung des gemessenen gesamten Strom- und Öl- resp. Gasverbrauchs der Überbauung seit 1990/91, also dem Jahr vor der Sanierung. Ebenfalls eingezeichnet ist der als Planungsgrundlage verwendete mehrjährige Durchschnittsverbrauch von früher und der Zielwert der Sanierung für fossile Energie. Eine detailliertere Aufgliederung der Energieverbräuche auf Sommer und Winter sowie eine Zuordnung des Stromverbrauchs auf Zentrale und Unterstationen ist in Tabelle 4 dargestellt.

			Sommer	%	Winter	%	Jahr	%
			Mai-Sept.	von 90/91	Okt.-April	von 90/91	Mai-April	von 90/91
Strom WP UST								
1990/91	vor Sanierung	kWh	0		0		0	
1991/92	So 91: Umbau UST, FL, Thermostatventile	kWh	0		41'055		41'055	
1992/93	So 92: Umbau Zentrale	kWh	52'916		111'981		164'897	
1993/94		kWh	47'335		30'205		77'540	
1994/95	So 94: Inbetriebnahme Abs.-WP	kWh	49'836		43'991		93'827	
1995/96	März 95: Einbau Hochhaltung f. Abs.WP	kWh	54'539		41'997		96'536	
Strom Zentrale								
1990/91		kWh	25'589		56'478		82'067	
1991/92		kWh	19'250		42'367		61'617	
1992/93		kWh	20'548		78'964		99'512	
1993/94		kWh	34'248		47'065		81'313	
1994/95		kWh	18'947		71'527		90'474	
1995/96		kWh	41'379		85'800		127'179	
Öl + Gas (Hu)								
Durchschnittsverbrauch früher		MWh					6'802	
1990/91		MWh	922		4'954		5'876	
1991/92		MWh	1'044		4'985		6'028	
1992/93		MWh	661		3'716		4'377	
1993/94		MWh	648		3'624		4'272	
1994/95		MWh	588		3'261		3'848	
1995/96		MWh	651		3'404		4'055	
Endenergie total								
1990/91		MWh	948	100	5'011	100	5'958	100
1991/92		MWh	1'063	112	5'068	101	6'131	103
1992/93		MWh	734	77	3'907	78	4'641	78
1993/94		MWh	730	77	3'701	74	4'431	74
1994/95		MWh	656	69	3'376	67	4'032	68
1995/96		MWh	747	79	3'532	70	4'279	72
Heizgradtage 12/20 (Durchschnitt SMA Zürich und Basel)								
1990/91	-		109	100	3'071	100	3'180	100
1991/92	-		345	317	3'195	104	3'540	111
1992/93	-		106	97	3'016	98	3'122	98
1993/94	-		188	172	2'968	97	3'156	99
1994/95	-		195	179	2'861	93	3'056	96
1995/96	-		328	301	3'052	99	3'380	106

Tabelle 4: Zusammenfassung Endenergieverbrauch der gesamten Überbauung. [bitto2.xls]

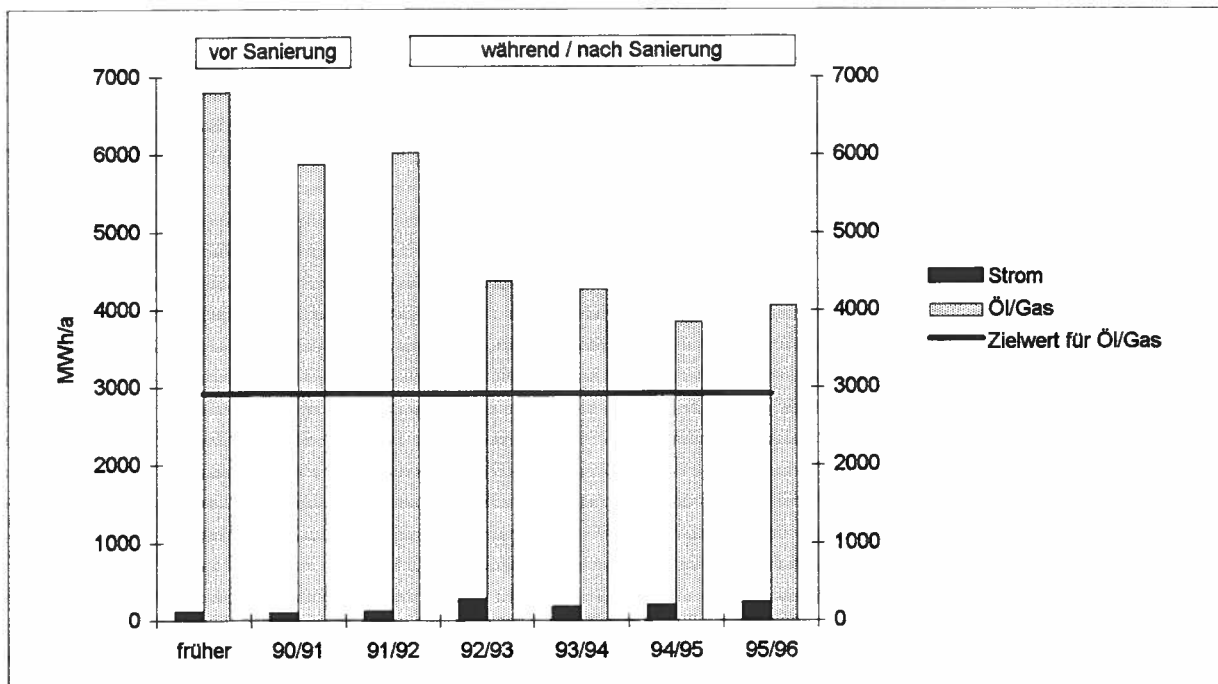


Bild 7: **Entwicklung des Endenergieverbrauchs** von 1990/91 (Jahr vor Sanierung) bis 1995/96 und Vergleich mit dem der Planung zugrundegelegten mehrjährigen früheren Verbrauch sowie mit dem durch die Sanierung angestrebten Zielwert. [bitto2.xls]

Wird der heutige Verbrauch an fossiler Energie mit dem mehrjährigen Durchschnittsverbrauch vor der Sanierung verglichen, resultiert eine Einsparung von 40% (ohne Berücksichtigung der Heizgradtage). Unter Berücksichtigung der Heizgradtage - das Jahr 1995/96 wies einen relativ kalten Winter auf - erhöht sich die Einsparung auf 44%:

Durchschnittlicher Ölverbrauch vor Sanierung	6'802 MWh/a	100%
Fossiler Verbrauch 1995/96	4'055 MWh/a	60%
heizgradtag-korrigiert	3'815 MWh/a	56%
Zielwert für Sanierung	2'920 MWh/a	43%

Das Sanierungsziel konnte bis zur Regelungsoptimierung vom März 96 noch nicht erreicht werden.

Im Rückblick kann festgestellt werden, dass der Umbau der Sanierungsetappe 1 im Sommer 91 für das Betriebsjahr 1991/92 aufgrund der diversen aufgetretenen Probleme noch keine Energieverbrauchssenkung brachte. Danach ging der Energieverbrauch jedoch Jahr um Jahr zurück. Interessant ist festzustellen, dass in eindeutigen Winter- und Sommermonaten von anfang an zum Teil beachtliche Energieeinsparungen gemessen werden konnten, während jedoch in den Übergangsmonaten der Verbrauch nach der Sanierung häufig fast gleich hoch und zum Teil sogar höher lag als im Vergleichsmonat von 1990/91 (vgl. Anhang 9). Dies deckt sich mit den Aussagen des Abwerts, dass im Herbst und Frühling die meisten Störungen aufgetreten sind. Es ist auch die Übergangszeit, in der die bis Ende 1994 gehandhabte Sperrung der Elektro-WP der UST durch das örtliche Elektrizitätswerk, auf die weiter unten nochmals eingegangen wird, am meisten der dem Sanierungskonzept zugrundeliegenden Idee der "kalten" Fernleitung entgegenstand. Im übrigen wird vermutet, dass heute in der Übergangszeit grosszügiger geheizt wird als früher.

Erkenntnisse: - Der Endenergieverbrauch der Überbauung sinkt seit der Sanierung von Jahr zu Jahr.
 - Die durch die Sanierung angestrebte Energieverbrauchsreduktion um rund 55% konnte jedoch bis zur Regelungsoptimierung vom März 96 mit einer Einsparung an fossiler Energie von 40% (heizgradtag-korrigiert 44%) noch nicht erreicht werden.

Bevor in den nächsten Kapitel näher auf einzelne Komponenten eingegangen wird, soll zuerst die Frage beantwortet werden, ob das Sanierungsziel in Zukunft bei ganzjährigem Betrieb der Abs.-WP überhaupt erreicht werden kann.

7.2.2 Hochrechnung des Energieverbrauchs der gesamten Überbauung bei ganzjährigem Betrieb der Abs.-WP: Können die erwarteten Energieeinsparungen überhaupt erreicht werden?

Die Abs.-WP läuft erst seit dem 8. März 96 - mit der optimierten Regelung - gemäss Erwartungen. Mit einer Hochrechnung, basierend auf den seither gemachten Betriebserfahrungen und den vorhandenen Messdaten, soll versucht werden, die mögliche Energieeinsparung mit ganzjährigem Betrieb der Abs.-WP abzuschätzen (Details **Anhang 10**). Die Hochrechnung beruht auf 5 Schritten:

1. Bestimmung des monatlichen Wärmebedarfs für Heizung und Warmwasser bei ganzjährigem Betrieb der Abs.-WP und störungsfreiem Betrieb aller Komponenten.
Es werden die Messdaten der Jahre 93 und 94 verwendet, auf gleiche Heizgradtage umgerechnet und der kleinere der beiden Monatswerte für die weiteren Berechnungen benutzt. (**Anhang 10.1**)
2. Ermittlung des monatlichen Deckungsgrads der Abs.-WP.
Aufgrund der vom 8. März 96 bis zum 30. April 96 gemessenen Daten über den optimierten Heizbetrieb mit Abs.-WP wird eine Korrelation zwischen Heizgradtagen und Deckungsgrad auf Tagesbasis abgeleitet (**Anhang 10.2**) und damit der Deckungsgrad der einzelnen Monate annäherungsweise ermittelt (Beispiel für Oktober 94 siehe **Anhang 10.3**).
3. Abschätzung der monatlichen Heizzahl in Abhängigkeit der FL-Temperatur (inkl. Hilfsantriebe).
4. Errechnung der Wärmelieferung und des Endenergieverbrauchs von Abs.-WP und Kessel.
5. Bestimmung des Stromverbrauchs der Zentrale und der UST.

Zusammenfassung der Hochrechnung (Genauigkeit +/- 10%):

Endenergieverbrauch vor der Sanierung:			
Ölverbrauch (Durchschnittsverbrauch)	6'802 MWh/a		
Stromverbrauch Heizzentrale (1990/91)	82 MWh/a		
Total Endenergieverbrauch vor der Sanierung	6'884 MWh/a	100%	
Endenergieverbrauch nach Sanierung, bei reinem Kesselbetrieb (1993/94):			
Öl- und Gasverbrauch	4'272 MWh/a		
Stromverbrauch Unterstationen und Heizzentrale	159 MWh/a		
Total Endenergieverbrauch 1993/94 ohne Abs.-WP-Betrieb	4'431 MWh/a	64%	
Endenergieverbrauch nach Sanierung, bei ganzjährigem Betrieb mit Abs.-WP:			
Endenergieverbrauch (Austreiberwärme und Strom) Abs.-WP	2'131 MWh/a		
Öl- und Gasverbrauch bei direktem Kesselbetrieb	906 MWh/a		
Stromverbrauch Heizzentrale exkl. Abs.-WP	55 MWh/a		
Stromverbrauch Unterstationen	91 MWh/a		
Total Endenergieverbrauch	3'184 MWh/a	46%	

Durch den ganzjährigen Betrieb der Abs.-WP wird der Endenergieverbrauch voraussichtlich **um 54%** tiefer liegen verglichen mit dem Zustand vor der Sanierung. **Die erwarteten Einsparungen von rund 55% sollten somit erreicht werden.** Der errechnete Jahresdeckungsgrad der Abs.-WP liegt bei 76%.

Dieses Resultat übertrifft die im Zwischenbericht [6] hochgerechnete Einsparung von 48%. Dies dürfte weniger auf den anderen eingeschlagenen Berechnungsweg als vielmehr auf die bedeutend genaueren und besseren Ausgangsdaten für die Hochrechnung zurückzuführen sein.

Wie eine Sensitivitätsanalyse zeigt, ist vor allem der Deckungsgrad der Abs.-WP für die Erreichung des Zielwerts der Sanierung massgebend. Eine Verbesserung der Jahresheizzahl der Abs.-WP von 1,38 auf 1,45 (inkl. Hilfsantriebe) führt nur zu einer marginal grösseren Einsparung.

Erkenntnisse:

- Bei einem störungsfreiem Betrieb aller Komponenten kann der Endenergieverbrauch der Überbauung aufgrund der gezeigten Hochrechnung um 54% gesenkt und damit die ursprüngliche Zielsetzung von 55% Einsparung praktisch erreicht werden.
- Für die Energieverbrauchsreduktion ist weniger die Heizzahl als vielmehr der Deckungsgrad der Abs.-WP von Bedeutung.

7.3 Unterstation Block 3

7.3.1 Allgemeines

Die Betriebsweise der Unterstationen wird in Kapitel 4.3 erläutert. Alle 6 UST sind gleich aufgebaut. Ausgemessen wurde nur die UST des Hochhauses Block 3. Diese UST übernahm deshalb die Rolle einer Pilotanlage. Die Speicherladung, die Steuerung des Plattenwärmetauschers und die Steuerung der Kondensatorpumpe wurden aufgrund der im Block 3 gewonnenen Erkenntnisse umgebaut oder geändert und anschliessend auf die anderen UST übertragen. Heute arbeiten die UST zufriedenstellend, Störungen sind selten geworden. Eine grosse Verbesserung brachten die Verhandlungen mit dem lokalen Elektrizitätswerk, die dazu führten, dass heute die Elektro-WP nicht mehr zu bestimmten Stunden gesperrt werden. Die Sperrungen bewirkten, dass das ganze Fernleitungsnetz jeweils automatisch in der Temperatur auf 63°C hochgefahren werden musste, damit das WW durch die Platten-WT erwärmt werden konnte. Die Folge waren erhöhte Fernleitungsverluste und verminderte Leistung der Rekuperatoren. Vor allem aber war ein Betrieb der Abs.-WP bei diesen Temperaturen nicht mehr möglich.

Die gleiche Auswirkung haben Störungen der Elektro-WP. Sobald eine der 6 WP aussteigt, wird das ganze Fernleitungsnetz auf 63°C hochgefahren. Aus diesem Grund ist ein zuverlässiger Betrieb der UST für einen hohen Deckungsgrad der Abs.-WP Voraussetzung.

7.3.2 Warmwasserverbrauch

Der WW-Verbrauch von Block 3 betrug im Durchschnitt der Jahre 1992 bis 1995 2'293 m³/a. Dies führt zu einem mittleren Tagesverbrauch pro Person von 51 l/Tag. Verglichen mit den in [2] angegebenen 35 bis 45 l/Tag als Durchschnittswerte für den allgemeinen Wohnungsbau darf der Verbrauch von Block 3 als hoch bezeichnet werden. In der in [3] dargestellten Untersuchung wurde allerdings festgestellt, dass in Objekten mit pauschaler Warmwasser-Abrechnung - diese wird auch in der Überbauung "Im Bilander" angewendet - der Verbrauch deutlich höher liegt als bei Mehrfamilienhäusern mit verbrauchsabhängiger Abrechnung. Der in dieser Studie gefundene Warmwasserverbrauch bei pauschaler Abrechnung betrug im Durchschnitt fast 60 l/Tag pro Person.

Mit zum hohen Verbrauch trägt das im Mauerwerk verlegte Verteilsystem mit hohen Wärmeverlusten bei. Je nach Wohnung schwanken die Wassertemperaturen stark und können 5°C bis 10°C und mehr unter der Temperatur am Speicherausgang liegen. In der Hoffnung, dass das Wasser noch wärmer wird, wird jeweils zuerst Wasser ungenutzt laufen gelassen. Um nicht ständig mit Mieterreklamationen konfrontiert zu werden, ist die Soll-Speichertemperatur entsprechend hoch auf 60°C eingestellt.

Der Warmwasserverbrauch für die ganze Siedlung kann lediglich hochgerechnet werden. In Tabelle 5 wird die Hochrechnung einmal über den in allen Blocks gemessenen totalen Wasserverbrauch (→ A) und ein zweites Mal über die Anzahl Bewohner (→ B) durchgeführt. Beide Rechnungen führen zu Werten, die deutlich unter dem Durchschnittswert des früheren, gemessenen Warmwasserverbrauchs von 17'000 m³/a liegen.

Jahr	WW Block 3	Wasser total Block 3	Wasser total ganze Siedlung	WW ganze Siedlung A	Bewohner Block 3	Bewohner ganze Siedlung	WW ganze Siedlung B	Abweichung zu A
	m ³ /a	m ³ /a	m ³ /a	m ³ /a			m ³ /a	
1992	2'493	9'322	51'092	13'664	123	708	14'350	5%
1993	2'345	9'409	50'348	12'548	123	708	13'498	8%
1994	2'187	8'822	48'121	11'929	123	708	12'589	6%
1995	2'147	8'949	48'528	11'643	123	708	12'358	6%
Mittel	2'293	9'126	49'522	12'446	123	708	13'199	6%

Tabelle 5: **Warmwasserverbrauch der gesamten Überbauung.** Hochrechnungen. [wwhochr.xls]

Der Vergleich des **Gesamtwasserverbrauchs** pro Kopf zwischen den einzelnen Blocks zeigt, dass das Hochhaus Block 3 sowohl 1992 und 1993 den höchsten und der Flachbau Block 4 (mit einem viel grösseren Kinderanteil als die übrigen Blocks) generell den tiefsten Verbrauch aufweisen (→ Tabelle 6). Der Verbrauch von Block 6 mit den Eigentumswohnungen liegt nahe beim Durchschnitt der Gesamtüberbauung.

	1992	1993	1994	1995
Hochhaus Block 1	73,2 m ³ /Pers.	74,8 m ³ /Pers.	72,2 m ³ /Pers.	75,3 m ³ /Pers.
Hochhaus Block 2	73,0	72,7	71,6	70,6
Hochhaus Block 3	75,8	76,5	71,7	72,8
Flachbau Block 4	66,0	63,0	55,9	54,6
Flachbau Block 5	70,7	66,6	62,7	62,9
Flachbau Block 6	73,3	71,7	72,3	73,4
Durchschnitt	72,0 m³/Pers.	70,9 m³/Pers.	68,0 m³/Pers.	68,5 m³/Pers.

Tabelle 6: **Gesamtwasserverbrauch pro Person** für die einzelnen Blocks

Monatsverbräuche:

Die Monatsverbrauchswerte des Blocks 3 für das Warmwasser schwanken zwischen 142 m³/Mt (Juli 94, August 92) und 280 m³/Mt (Januar 92). Der Verbrauch im Winterhalbjahr liegt generell deutlich über dem Sommerverbrauch (Bild 8). Besonders tief sind die Werte in den Sommer- und Ferienmonaten Juli und August. Der hohe Verbrauch der Monate Januar bis April 92 dürfte mit den Schwierigkeiten im Rahmen der Inbetriebnahme der UST zusammenhängen.

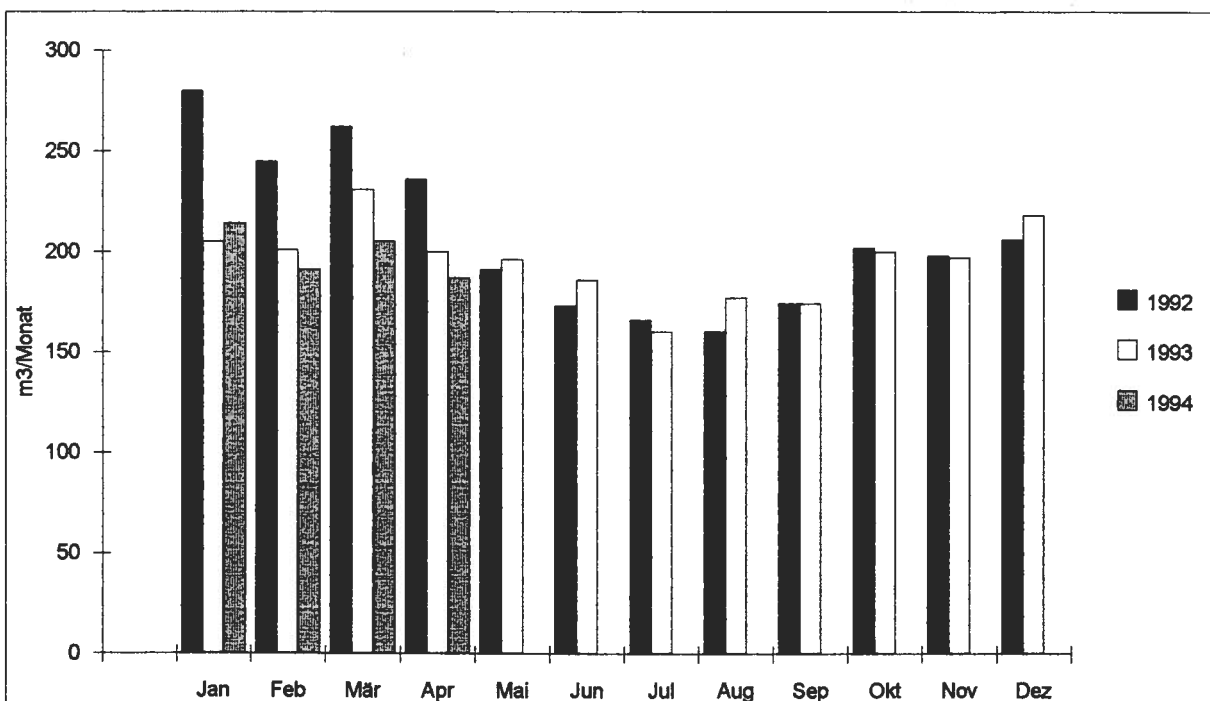


Bild 8: **Monatlicher Warmwasserverbrauch von Block 3** für die Jahre 1992 bis 1994. [ww_mt.xls]

Tagesverbräuche:

Der Tagesverbrauch ist neben der Jahreszeit zusätzlich vom Wochentag abhängig und beträgt - ohne Berücksichtigung der Inbetriebnahme-Monate Januar bis April 92 - zwischen 4 m³/Tag und 10 m³/Tag (Durchschnitt Mai 1992 bis Dezember 1993: 6,3 m³/Tag). Die Wochenmaxima wurden immer am Wochenende (oder Feiertag) gemessen (Bild 9).

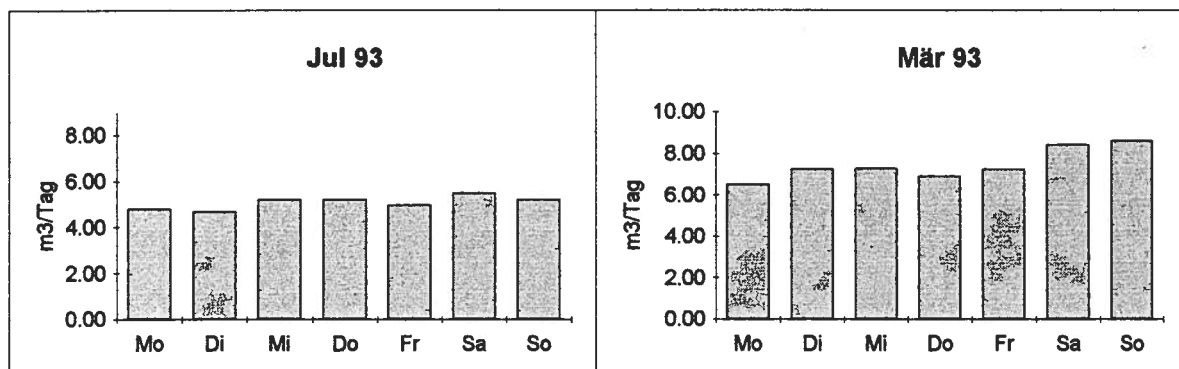


Bild 9: **Mittlerer täglicher Warmwasserverbrauch** einer Woche von Block 3 für einen Monat mit geringem Verbrauch (Juli 93) und hohem Verbrauch (März 93). [ww_tag.xls]

Tagesverlauf des Warmwasserverbrauchs:

Bild 10 zeigt den Unterschied im Tagesverlauf des Warmwasserverbrauchs für einen typischen Sonntag und Werktag. Am Sonntag findet der Hauptverbrauch am späteren Morgen und Vormittag statt mit einem weniger starken Verbrauchsschwerpunkt am späten Nachmittag und frühen Abend. Am Werktag hingegen ist der Verbrauch generell ausgeglichener ist und weist nur kurze Spitzenperioden auf: frühmorgens, morgens, am frühen Abend und spät abends. Diese Verbrauchsstruktur stimmt gut mit der in [3] dargestellten überein.

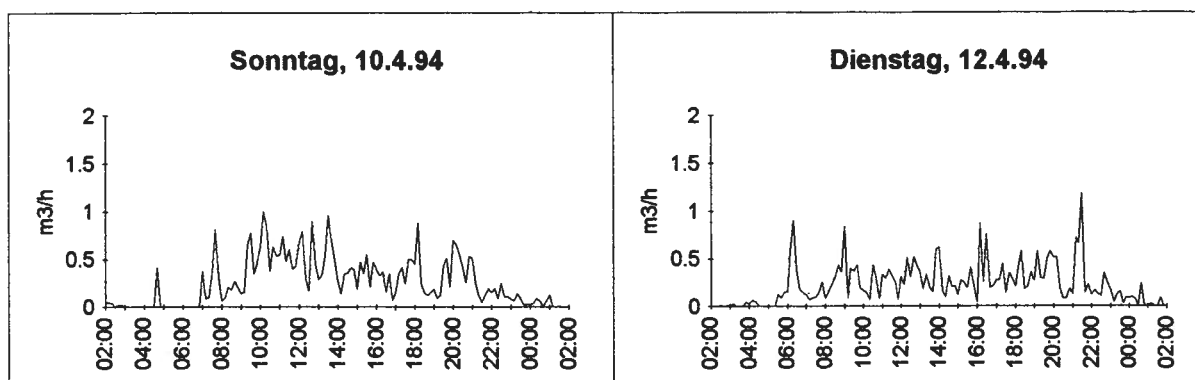


Bild 10: **Warmwasserverbrauch während eines Sonntags und eines Werktages** (10 Minuten-Mittelwerte) [wwso1.xls, (wwdi1.xls)]

Erkenntnisse:

- Der in Block 3 gemessene mittlere WW-Verbrauch pro Person und Tag ist mit 51 Litern eher hoch.
- Verglichen mit vor der Sanierung ist der gesamte WW-Verbrauch der Überbauung jedoch um 20% zurückgegangen.

7.3.3 Speichervolumen

Die Warmwasserspeicher der UST sind als Spitzenspeicher konzipiert. Aus Platzgründen ist das Speichervolumen auf zwei in Serie geschaltete Speicher von je 800 l aufgeteilt.

Wie aus Bild 11 ersichtlich ist, reichen 1'600 Liter Speicherkapazität während der Hauptverbrauchszeit eines Tages mit hohem Verbrauch nur gerade für rund 1,5 Stunden. Das ist zu kurz, um die anfänglich durch das Elektrizitätswerk angewendete Sperrung der Elektro-WP oder kleinere Pannen überbrücken zu können und bedingt, dass in diesen Fällen die FL-Temperatur auf 63°C angehoben und das WW über den Platten-WT erwärmt wird.

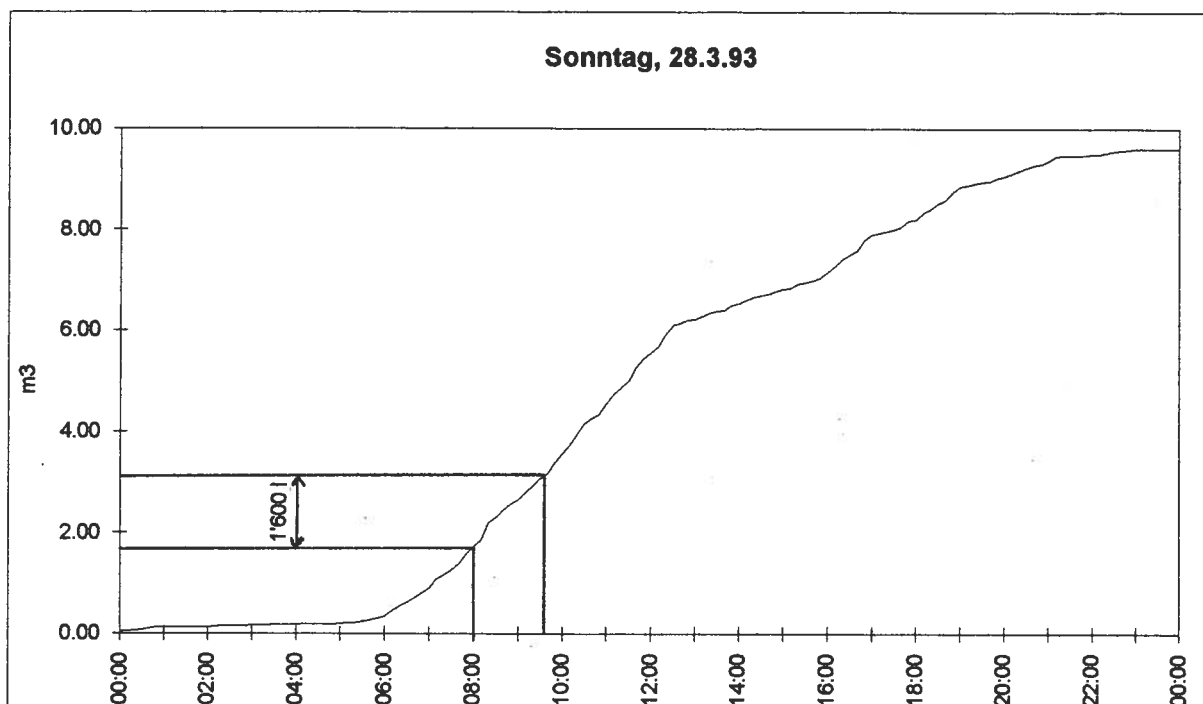


Bild 11: Summendiagramm des WW-Verbrauchs eines Sonntags. Tagestotalverbrauch: 9,60 m³/d.
[wwso2.xls]

7.3.4 Elektrowärmepumpen

Die in den UST eingesetzten Elektro-WP sind japanische Zweikreis-Maschinen des Herstellers Daikin vom Typ EUWH 15. Sie sind als Kompakteinheit für Innenraumaufstellung gebaut und bestehen aus einem R22- und einem R12-Kältekreis. Diese Maschinen wurden aus folgenden Gründen gewählt:

- hohe Temperaturen erreichbar, was für Sanierungen bei bestehenden WW-Netzen mit nicht bekannten, oft aber grossen Verteilverlusten wichtig ist. (R12 ermöglicht höhere Kondensationstemperaturen als R22.)
- Maschinen mit wenig Kältemittelinhalt, weil ohne Sammler und mit Platten-WT für Verdampfer und Kondensatoren (Kältemittelinhalt pro Kreis 2,2 kg)
- gutes Preis-Leistungsverhältnis

Zur Dimensionierung:

Die Heizleistung der EUWH15 liegt bei rund 55 kW. Verglichen mit dem durchschnittlichen Leistungsbedarf von 15 kW am Beispiel des Hochhauses Block 3 resultiert eine rechnerische Überdimensionierung um einen Faktor 3,6. Allerdings werden in der Überbauung "Im Bilander" die Elektro-WP auch zur Deckung des Momentanbedarfs benötigt, da das vorhandene Speichervolumen (aus Platzgründen) klein ist. Wie oben erwähnt, reicht an einem Tag mit grossem Verbrauch die Speicherkapazität nur für rund 1,5 Stunden. Bei einem andauernd relativ hohen Verbrauch, wie er z.B. an einem Sonntagmorgen über mehrere Stunden (Bild 11) auftreten kann, muss die WP

kontinuierliche 1 m³/h von 12°C auf 55°C erwärmen können, wozu eine Leistung von 50 kW nötig ist. Die Elektro-WP sind also nur knapp überdimensioniert.

Laufzeiten:

An Tagen, an welchen das WW ausschliesslich über die Elektro-WP erwärmt wird, betragen die ermittelten Laufzeiten zwischen 1,0 bis 4,3 h (je nach gleichzeitig vorhandenem WW-Verbrauch) Normalerweise schaltet die WP zwei- bis viermal pro Tag ein, was die Anfahrverluste in Grenzen hält.

Erkenntnisse: - Die Auslegung von Speicher und WP kann unter Berücksichtigung der knappen Platzverhältnisse als gut bezeichnet werden.

7.3.5 Speicherladung

Ursprünglicher Betrieb

Das Speicherladungsregime wurde über einen Zeitraum von zwei Jahren wesentlich geändert. Die der ursprünglichen Schaltung, dargestellt in Bild 12, zugrundegelegten Gedanken waren:

- Vorwärmung durch Platten-WT
- Nachwärmung durch WP auf eine durch ein Dreiwegmischventil konstant gehaltene Temperatur.

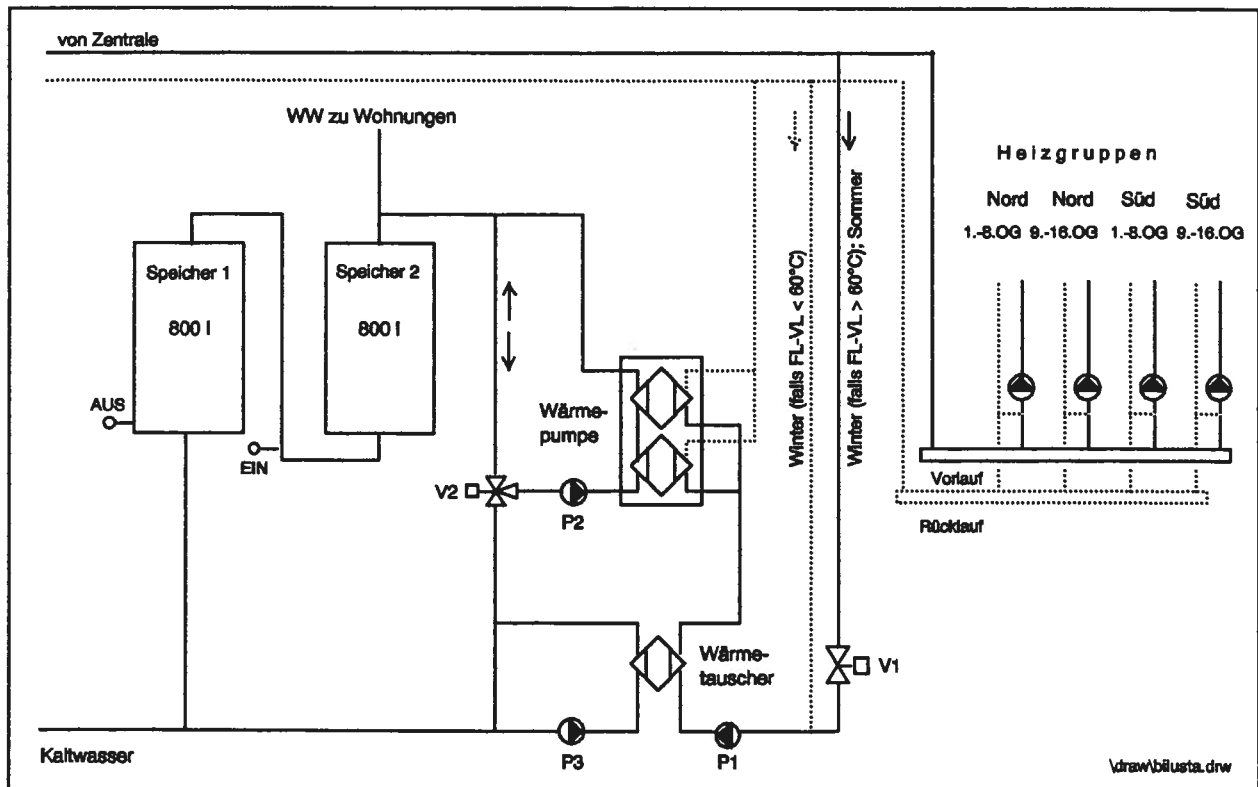


Bild 12: Ursprüngliche Speicherladung. Der WT wärmt das Wasser vor (via Pumpe P3). Anschließend fördert die Kondensatorpumpe P2 das Wasser durch die beiden Kondensatoren der zweistufigen WP. Das Mischventil V2 soll dafür sorgen, dass die Temperatur am Speichereingang konstant ist. Im Notbetrieb (ohne WP) wird die WP durch das Ventil V2 umfahren. Der Ladevorgang dauert bis die Wassertemperatur unten im Speicher 1 beim AUS-Thermostat 40°C erreicht hat. Fällt die Wassertemperatur beim EIN-Thermostaten auf unter 60°C, beginnt ein neuer Ladezyklus. Die Verdampfertemperatur wird durch ein nicht eingezeichnetes Dreiwegmischventil begrenzt, damit die WP nicht auf Hochdruckstörung geht.

Aufgetretene Probleme:

- (1) Die WP war auch dann in Betrieb, wenn die Fernleitungstemperatur so hoch war, dass durch den Platten-WT das WW direkt auf eine genügende Temperatur hätte erwärmt werden können. Es trat der exergetisch unsinnige Fall auf, dass das heiße FL-Wasser zuerst in der Temperatur hinuntergemischt wurde, bevor es den WT und den Verdampfer der WP durchströmte. Der WT konnte damit das WW nur vorwärmen, die Resterwärmung erfolgte unnötigerweise über die WP mit wertvollem Strom (→ Bild 13).
- (2) Die Regelstrecke mit dem Temperaturfühler im Ladekreislauf (Nähe Speichereingang) und dem Dreiwegmischventil, das die Speicherladetemperatur konstant halten sollte, reagierte im Verhältnis zum schnellen Kältemittelkreis (Platten-WT, kleiner Kältemittelinhalt) zu langsam. Die Folge war stark schwankender Durchfluss durch die Kondensatoren und entsprechend schwankende Kompressorenbelastung (→ Bild 14).
- (3) Der EIN-Thermostat war in der Verbindungsleitung zwischen den beiden Speichern ungünstig platziert: In Perioden ohne WW-Verbrauch kühlt diese Leitung relativ schnell ab, so dass durch den Thermostaten der Ladevorgang ohne eigentlichen Bedarf zu früh wieder gestartet wurde.
- (4) Aufgrund der Spitzensperrung der WP durch die industriellen Betriebe Brugg IBB musste der Platten-WT sehr häufig die Speicherladung übernehmen. Dadurch wurde das ganze Anlagenkonzept der "kalten" Fernleitung in Frage gestellt.
Sperrzeiten: 08:00 - 10:15
11:15 - 12:00
22:30 - 03:30
- (5) Durch einen nachträglich eingeschlichenen Fehler bei der Steuerung der WT-Pumpe kam es zu Betriebszuständen, in denen der Platten-WT rückwärts arbeitete, d.h. Energie den WW-Speichern entzog.
- (6) Die WP lief, obwohl für zweistufigen Betrieb vorgesehen, nur einstufig, weil die Steuerung beide Kältekreise parallel ein- und ausschaltete.

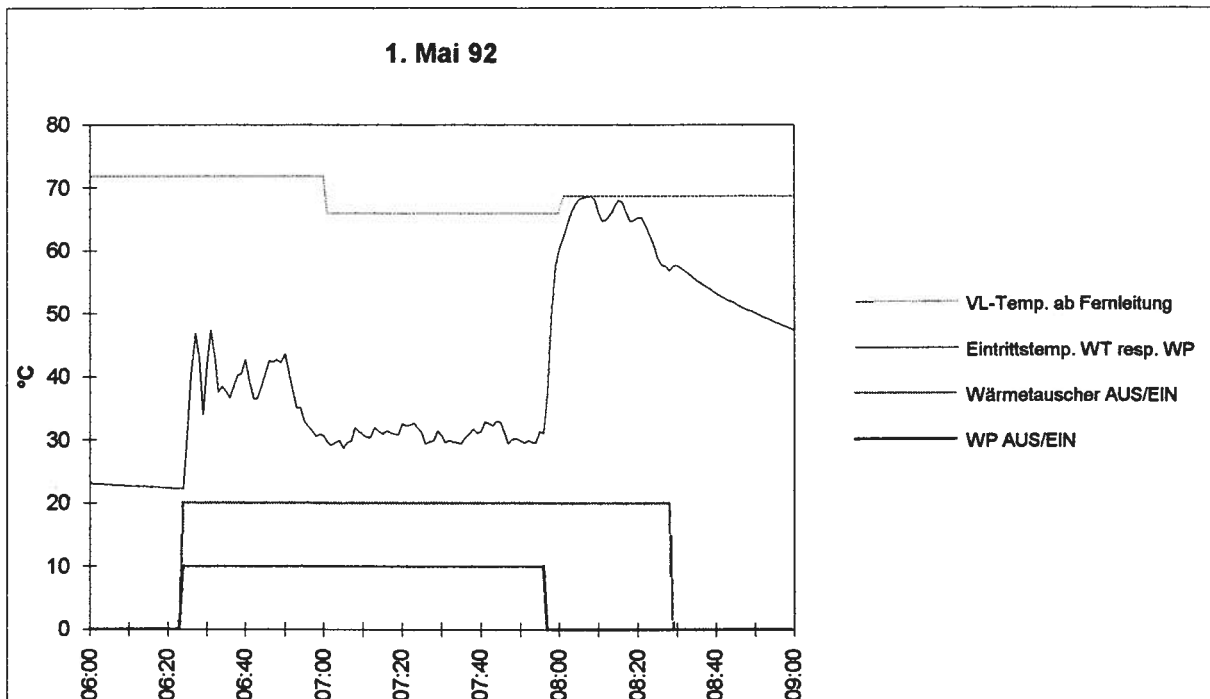


Bild 13: **Exergetisch sinnloser WP-Betrieb:** Obwohl die UST mit Wasser von rund 70°C beliefert wird, läuft die WP. Der Verdampferkreis wird auf rund 30°C runtergemischt. Um 06:57 beginnt die Spitzensperrung der WP. Der WT übernimmt die gesamte WW-Erwärmung. Um 08:29 ist der Ladezyklus zu Ende. Vorlauftemperatur ab Fernleitung: Stundenmittelwerte, Eintrittstemperatur in Wärmetauscher resp. WP: Minutenmittelwerte. [010592a.xls]

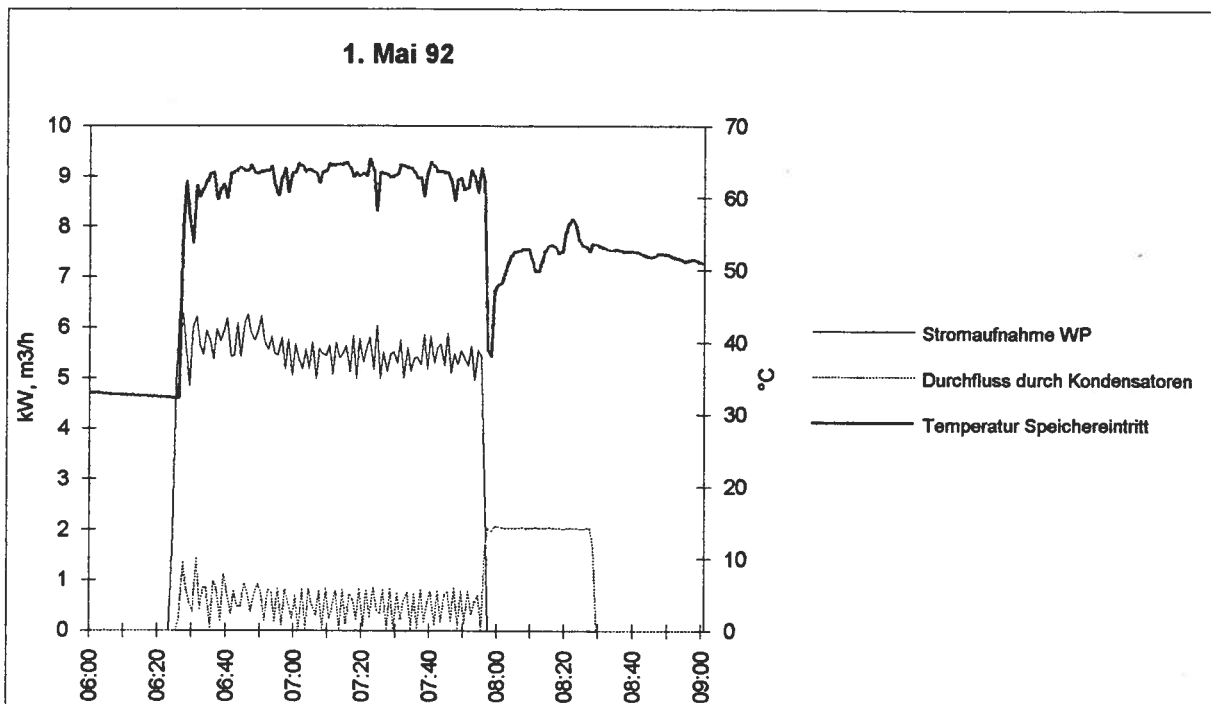


Bild 14: **Einfluss des Dreiwegmischventils.** Durch das zu schnelle Dreiwegmischventil verursachte Schwanken des Durchflusses durch die Kondensatoren und der Stromaufnahme der Kompressoren. Messgrößen: Minutenmittelwerte. [010592b.xls]

Heutiger Betrieb:

Heute werden WP und Platten-WT alternativ betrieben. Die WP arbeitet nur noch, wenn die FL-Temperatur für eine direkte Erwärmung des WW über den WT nicht ausreicht.

Die **Regelstrecke des Ladekreises** wurde der Dynamik des Kältekreises angepasst, indem direkt der Kältemitteldruck des R12-Kreises als Regelgröße verwendet wird. Die Ladetemperatur wird nun durch eine Drehzahlregelung der Kondensatorpumpe P2 in Abhängigkeit des Kältemitteldrucks konstant gehalten. Das **Dreiwegmischventil** (V2 in Bild 15) hat nur noch eine Umschaltfunktion zwischen WP- und WT-Betrieb.

Die **Steuerung der WP** wurde geändert, so dass sie nun zweistufig arbeitet: Bei Beginn des Ladevorgangs werden beide Kältekreise miteinander gestartet. Bei Erreichen des vorgegebenen Kältemitteldrucks schaltet der R22-Kreis ab und es läuft nur noch der R12-Kreis, bis der Enddruck resp. die Endtemperatur erreicht wird.

Der **EIN-Thermostat** des Ladekreises wurde in den Speicher 2 versetzt und der Schaltpunkt auf 45°C heruntergenommen, um ein unnötiges resp. zu frühes Starten des Ladevorgangs zu verhindern. Der AUS-Thermostat im Speicher 1 wurde ebenfalls und zwar leicht nach oben versetzt, damit er nicht durch das einströmende Kaltwasser beeinflusst wird.

Die **Sperrung der WP** durch die IBB ist seit Dezember 94 aufgehoben

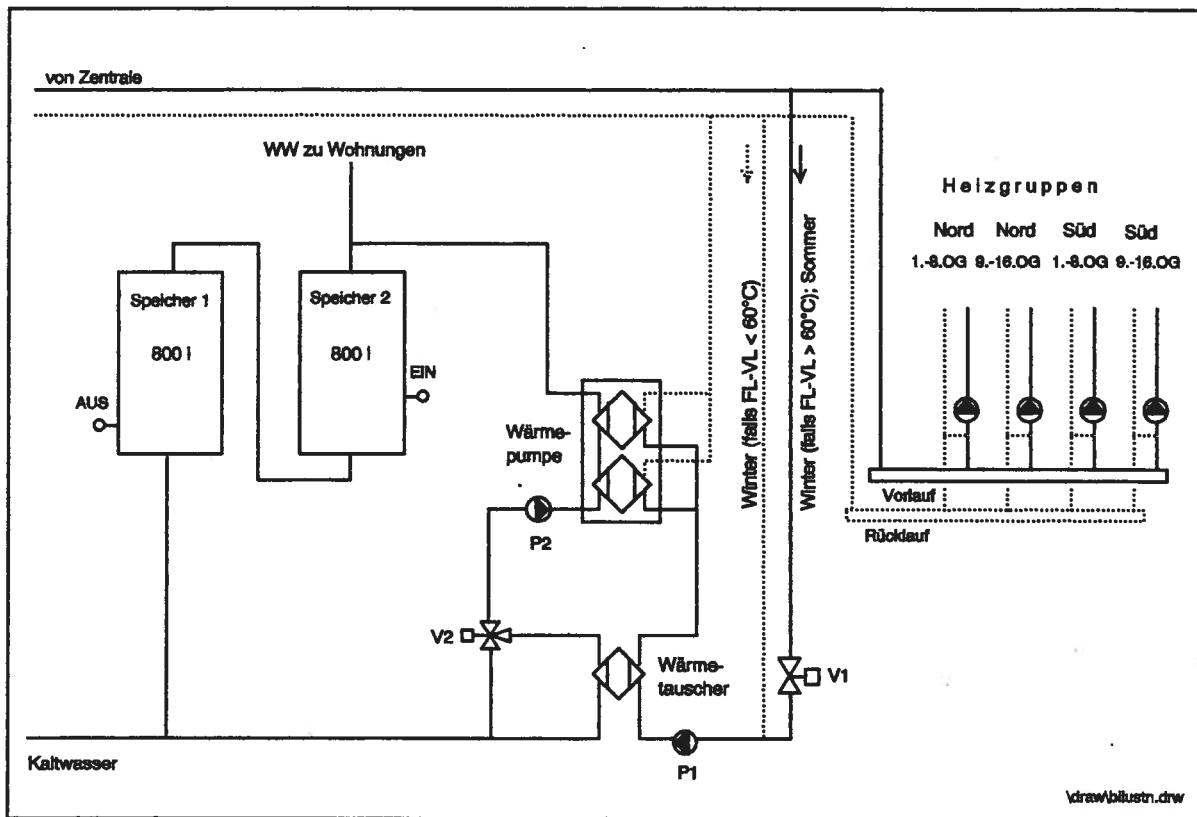


Bild 15: Das seit Sommer 92 gültige *Prinzipschema* der Unterstationen.

Zweistufiger WP-Betrieb

Bild 16 zeigt einen Ladezyklus an einem Sommertag (also ohne WP-Sperrung) mit relativ niedriger Fernleitungstemperatur zwischen 40°C und 48°C . Während der ersten Phase des WP-Betriebs, wenn beide Kompressoren laufen, wird der Durchfluss und die Speicherladetemperatur gut konstant gehalten. Kurz bevor der Niederdruckkreis der WP ausschaltet (erkennbar am Abfall der elektrischen Leistungsaufnahme), sind die Verhältnisse bedeutend weniger stabil. Der Grund liegt an der nun stark schwankenden Kondensatoreintrittstemperatur, da der Speicher 1 schon beinahe durchgeladen ist. Wird kein WW verbraucht, entspricht die Kondensatoreintrittstemperatur der Temperatur unten im Speicher. Wird jedoch WW bezogen, fließt nachströmendes Kaltwasser - je nach WW-Verbrauch mehr oder weniger vermischt mit Speicherwasser - zum Kondensator, womit die Kondensatoreintrittstemperatur sehr viel tiefer liegt. Dieser Sachverhalt geht sehr deutlich aus Bild 17 hervor. Neben stark schwankenden Eintrittstemperaturen in den WW-Speicher werden als Folge der Schwankung der Kondensatoreintrittstemperatur die Leistungsziffer beeinträchtigt und die Gefahr von Hochdruckstörungen vergrößert.

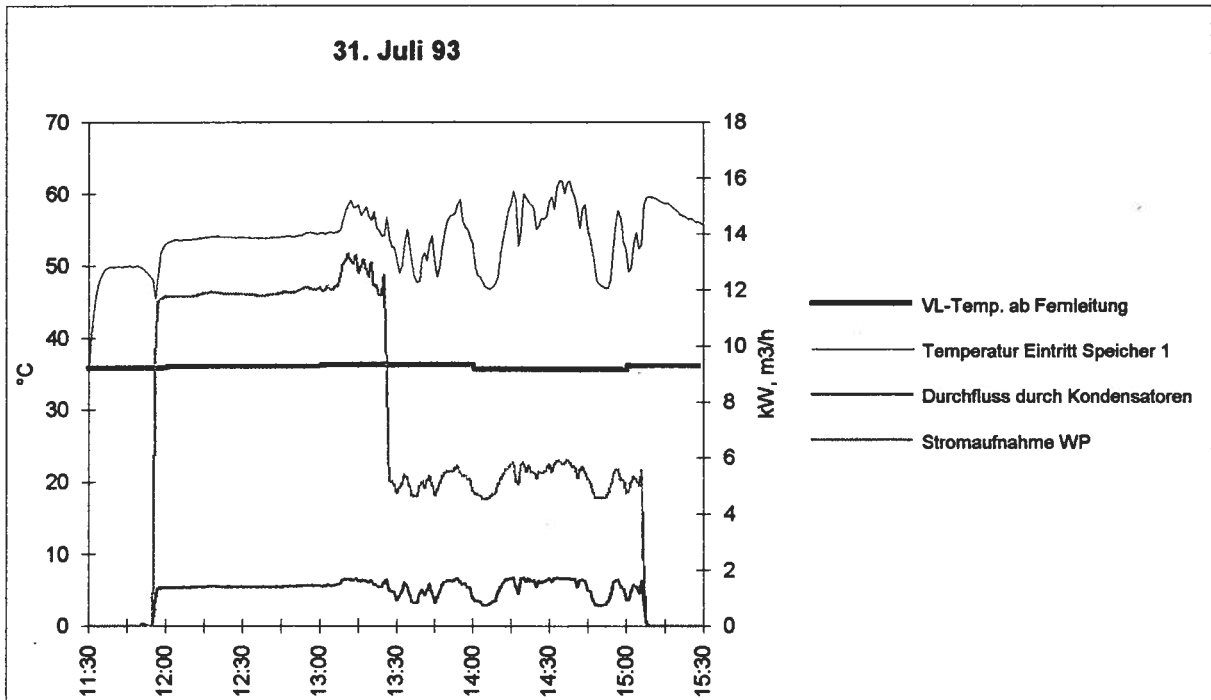


Bild 16: Darstellung eines Ladezyklus: zweistufiger WP-Betrieb. Die WP startet kurz vor 12 Uhr mit beiden Kompressoren (dargestellt durch die Stromaufnahme der WP). Kurz vor 13:30 Uhr schaltet der Niederdruckkreis und um ca. 15:07 dann auch der Hochdruckkreis aus. Fernleitungstemperatur: Stundenmittelwerte, übrige Messgrößen: Minutenmittelwerte. [310793.xls]

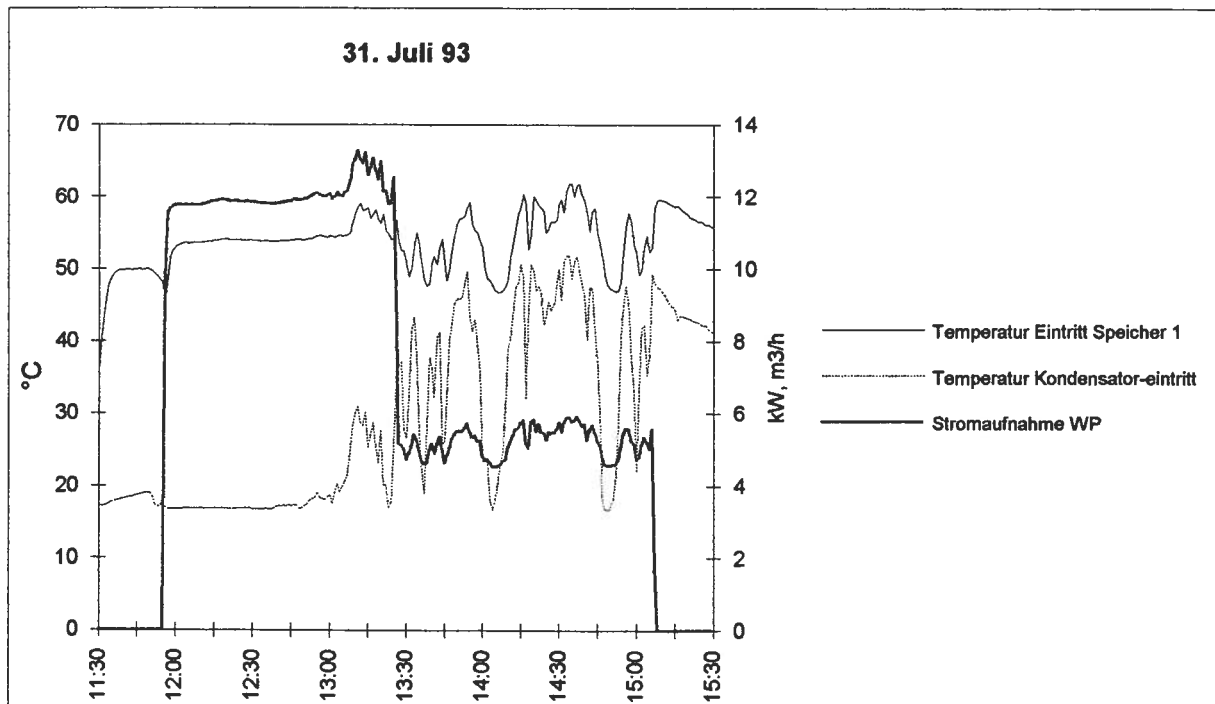


Bild 17: Darstellung eines Ladezyklus: Schwankende Kondensatoreintrittstemperatur. Bei fast durchgeladenen Speichern schwankt die Kondensatoreintrittstemperatur stark und führt zu schwankender Speichereintrittstemperatur. Messgrößen: Minutenmittelwerte. [310793a.xls]

Die **Situation könnte verbessert** werden, indem der Schalterpunkt des AUS-Thermostaten unten im Speicher 1 um ein paar Grad herabgesetzt wird. Dadurch würde der Ladevorgang früher, noch bevor der Niederdruckkreis ausgeschaltet wird, beendet. Der Vorteil wäre eine bessere Arbeitszahl (vgl. Bild 18), der Nachteil ein kleineres nutzbares Speichervolumen. Voraussetzung wäre deshalb, dass die Mieter unter Umständen kurzfristig auftretende niedrigere WW-Temperaturen akzeptierten. Zum jetzigen Zeitpunkt schaltet der AUS-Thermostat bei 50°C. Als erster Änderungsversuch könnte diese Temperatur auf 30°C hinuntergesetzt werden.

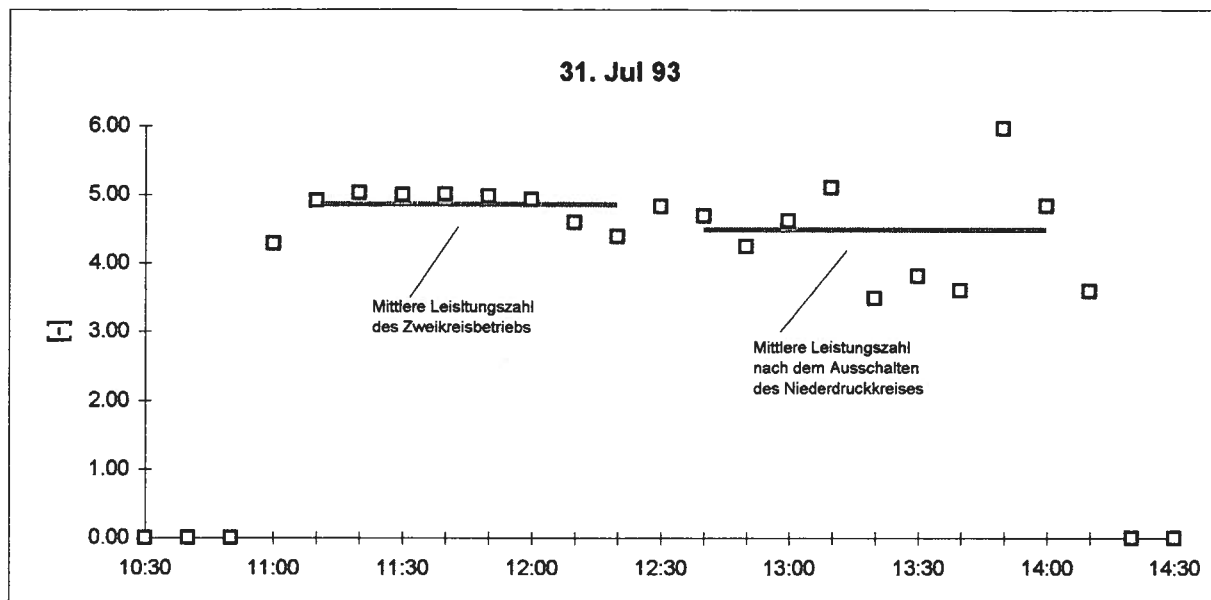


Bild 18: **Verlauf der Leistungsziffer während eines Ladezyklus.** Arbeiten beide Kältekreise, beträgt die mittlere Leistungsziffer 4,85. Ist nur noch der R12-Kreis in Betrieb, sinkt die mittlere Leistungsziffer auf 4,49. Für den ganzen Zyklus inkl. Hochfahren und Stoppen ist die mittlere Leistungsziffer 4,68. Die Leistungsziffer beschreibt hier das Verhältnis zwischen Stromverbrauch der Kompressoren und Regelung zur Wärmeabgabe an den WW-Speicher. Die Verdampfeintrittstemperatur war während des ganzen Ladevorgangs stabil bei rund 36°C. [copust2.xls]

Durch den Umbau der Speicherladung konnten wie erhofft die monatlichen Arbeitszahlen der Elektro-WP verbessert werden (→ Bild 19). Die Ausnahmen der Monate Juli und August sind auf höhere FL-Temperaturen vor der Sanierung zurückzuführen.

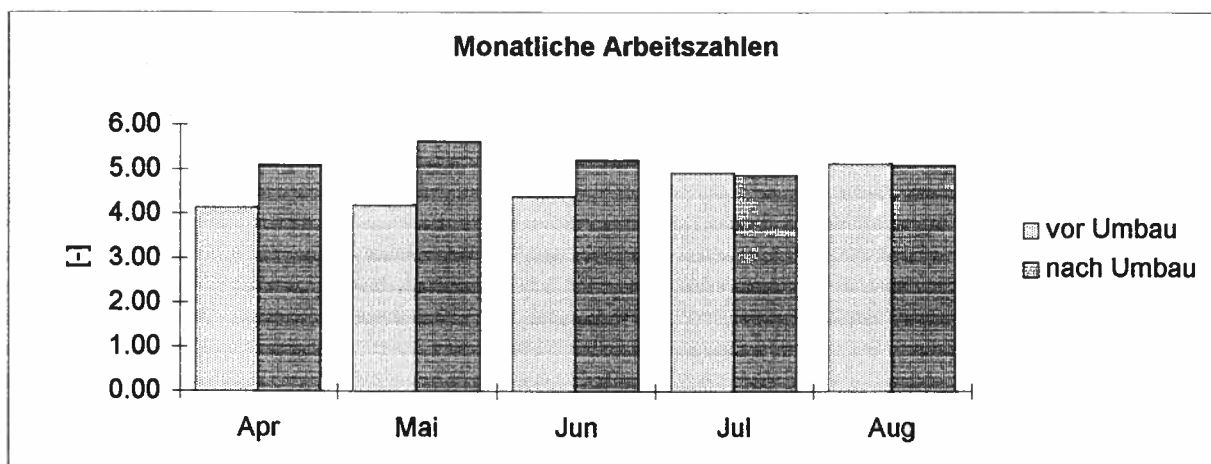


Bild 19: **Monatliche Arbeitszahlen der Elektro-WP der UST 3 vor (1992) und nach dem Umbau der Speicherladung (1993) während den Monaten ohne Sperrung.** In der Arbeitszahl ist nur der Strom für Kompressoren und Regelung berücksichtigt. [spumbau.xls]

Zu beachten ist, dass bei den in Bild 19 dargestellten Daten die **FL-Temperaturen** sowohl vor als auch nach dem Umbau der Speicherladung **generell noch zu hoch** waren und damit die Verdampfertemperaturen ebenfalls höher lagen als gemäss Konzept.

Im Sommer 94 konnte die Fernleitung erstmals über längere Zeit auf sehr niedrigem Temperaturniveau zwischen 20 und 48°C gefahren werden. Entsprechend tiefer waren die gemessenen Arbeitszahlen der Elektro-WP der UST 3 (→ Bild 20). Welchen Einfluss niedrige FL-Temperaturen auf die Leistungsziffern der Elektro-WP einerseits und auf den Endenergieverbrauch des Gesamtsystems (inkl. FL und Heizzentrale) andererseits haben, wird in Kapitel 9 untersucht.

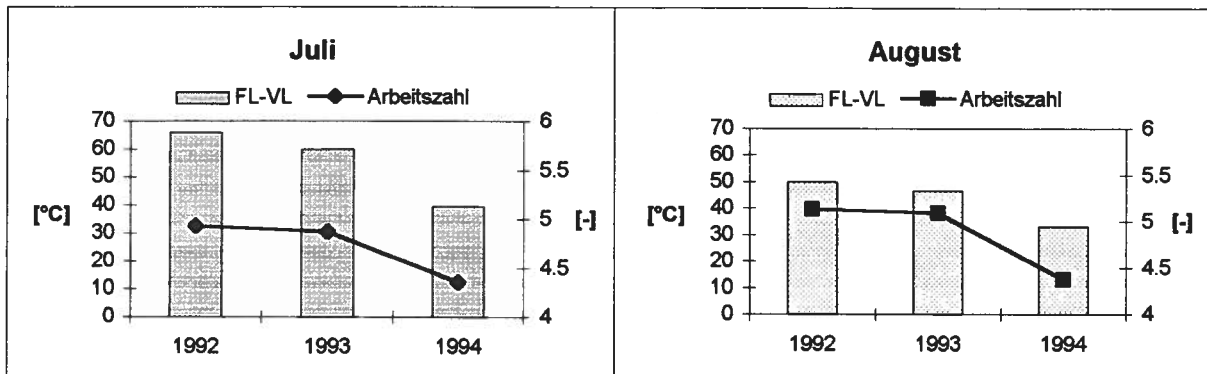


Bild 20: Monatliche Arbeitszahlen der Elektro-WP der UST 3 in Abhängigkeit der Fernleitungstemperatur. Die Fernleitungstemperatur ist der monatliche Mittelwert der in der UST 3 gemessenen VL-Temperatur. [M-az.xls]

Wie dargestellt, werden heute die Elektro-WP und der Platten-WT alternativ betrieben. Aus exergetischen Überlegungen wäre nach wie vor eine Vorwärmung durch den WT sinnvoll. Das Umschaltventil dürfte allerdings den WT nur freigeben, wenn die Eintrittstemperatur in den WT primärseitig (d.h. Seite Fernleitung) um mindestens 5°C höher ist als die Eintrittstemperatur sekundärseitig. Da durch die Vorwärmung die WP weniger Leistung übernehmen müsste, wäre sie allerdings überdimensioniert. Die Steuerung müsste daher auf Einkreis-Betrieb umgestellt werden.

- Erkenntnisse:**
- Der Umbau der Speicherladung brachte eine leichte Verbesserung der Arbeitszahl der Elektro-WP.
 - Die Arbeitszahl könnte weiter erhöht werden durch Herabsetzen des Schaltpunktes des AUS-Thermostaten um ein paar Grad, allerdings zum Preis eines kleineren nutzbaren Speichervolumens.
 - Eine Vorwärmung des WW durch den Platten-WT wäre exergetisch nach wie vor sinnvoll; sie stellt das grösste Verbesserungspotential der UST dar.

7.3.6 Zirkulationshochhaltung

Zur Plazierung der Zirkulationswärmepumpen:

Die Zirkulationswärmepumpen sollen mit Abwärme oder Umgebungswärme die Verluste der WW-Zirkulation decken. Die Plazierung erfolgte zum grossen Teil in den kombinierten Wasch- und Trocknungsräumen und zum Teil in den UST.

Bei den in den Waschküchen installierten Zirkulations-WP wurde davon ausgegangen, dass sie die Abwärme der Waschmaschinen und generell die im Unter- oder Erdgeschoss vorhandene Wärme nutzen und durch die Entfeuchtung der Luft den Trocknungsprozess der aufgehängten Wäsche beschleunigen und somit die vorhandenen Lüftungstrockner unter Umständen ausser Betrieb gesetzt werden können. Diese Überlegungen erwiesen sich als nicht richtig:

Die in den Waschküchen installierten Zirkulationswärmepumpen kühlen im Winter den Raum zu stark aus. Der Grund liegt - vor allem bei den Hochhäusern - in der starken Kaminwirkung des Gebäudes, wodurch durch die nicht sehr dichten Fenster des Kellergeschosses laufend kühle Aussenluft in die Waschküchen gesogen wird, die nun durch die Zirkulationswärmepumpen noch weiter

abgekühlt wird. Die Auskühlung war z.T. so stark, dass sogar einmal beim Zusammentreffen mehrerer ungünstiger Bedingungen Wasserleitungen eingefroren sind. Die WP können also nicht im erhofften Umfang die je nach Gebäude im Erd- oder Kellergeschoss vorhandene "vagabundierende" Wärme nutzen. Auch konnten die Lüftungstrockner nicht ausser Betrieb genommen werden. Wohl verringert die Zirkulationswärmepumpe die Luftfeuchtigkeit in der Waschküche, durch die tiefen Lufttemperaturen jedoch dauert der Trocknungsvorgang ohne Lüftungstrockner viel zu lang. Heute werden die Trockner bei Bedarf manuell in Betrieb gesetzt. Durch eine Zeitsteuerung werden sie nach 3 Std (wovon 1 Std nur kalt ventilierend) wieder abgestellt.

Bei den in den UST platzierten Zirkulationswärmepumpen ist durch die Wärmeverluste von WW-Speicher und Leitungen mehr Abwärme vorhanden, es findet jedoch bis zu einem gewissen Grad ein Wärmediebstahl statt. Durch die Abkühlung des Raums erhöhen sich einerseits die Wärmeverluste von Speicher und Leitungen, andererseits wird auch der Wärmefluss durch die unisolierte Decke negativ beeinflusst.

Wie im Kp. 7.3.7 gezeigt wird, trägt der Einsatz von Zirkulations-WP trotz nicht idealer Platzierung mit bei zu dem guten Gesamtwirkungsgrad des WW-Systems.

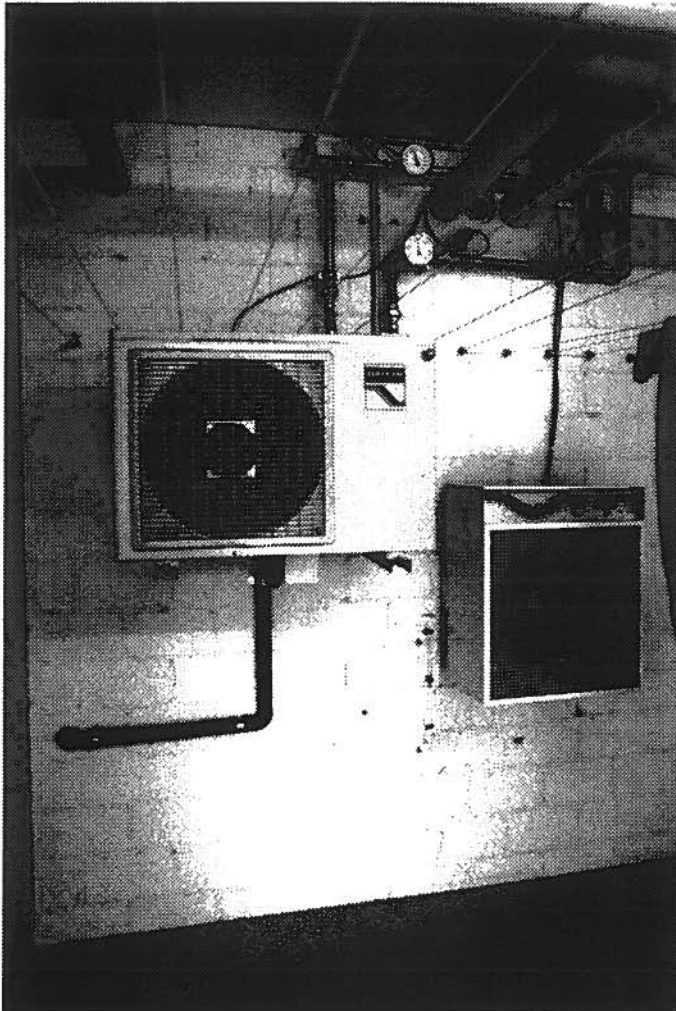


Bild 21: Zirkulations-WP in einer Waschküche des Blocks 3. Rechts, etwas tiefer der Lüftungstrockner.

Laufzeiten:

Die total 11 Zirkulationswärmepumpen weisen sehr unterschiedliche monatliche Laufzeiten auf (→ Bild 22). Es ist nicht möglich, die Schwankungen mit der Jahreszeit oder mit der Platzierung Waschküche resp. UST zu erklären. Eigentlich wäre anzunehmen, dass die in den Waschküchen montierten WP von Block 3 wegen tieferer Raumtemperatur als in der UST höhere Laufzeiten aufweisen. Doch wie Bild 23 zeigt, ist gerade das Gegenteil der Fall. Der Unterschied der Laufzeiten im

Winter der beiden in der UST von Block 3 installierten WP könnte daher rühren, dass die WP2 unten ganz in Bodennähe platziert ist, wo - besonders bei zeitweilig geöffnetem Fenster - die Luft kühler ist.

Die Hauptgründe für die grossen Laufzeitunterschiede und -schwankungen dürften allerdings in der sehr unterschiedlichen Qualität der Isolation der verschiedenen Zirkulationskreise und vor allem bei Kaltwasserbeimischung in Mischbatterien mit defekten oder nicht vorhandenen Rückschlagventilen liegen (verursacht vor allem durch von Mietern permanent angeschlossene Waschmaschinen und Geschirrspüler). Die erste Ursache ist nicht und die zweite nur mit grossem Aufwand zu überprüfen und beheben.

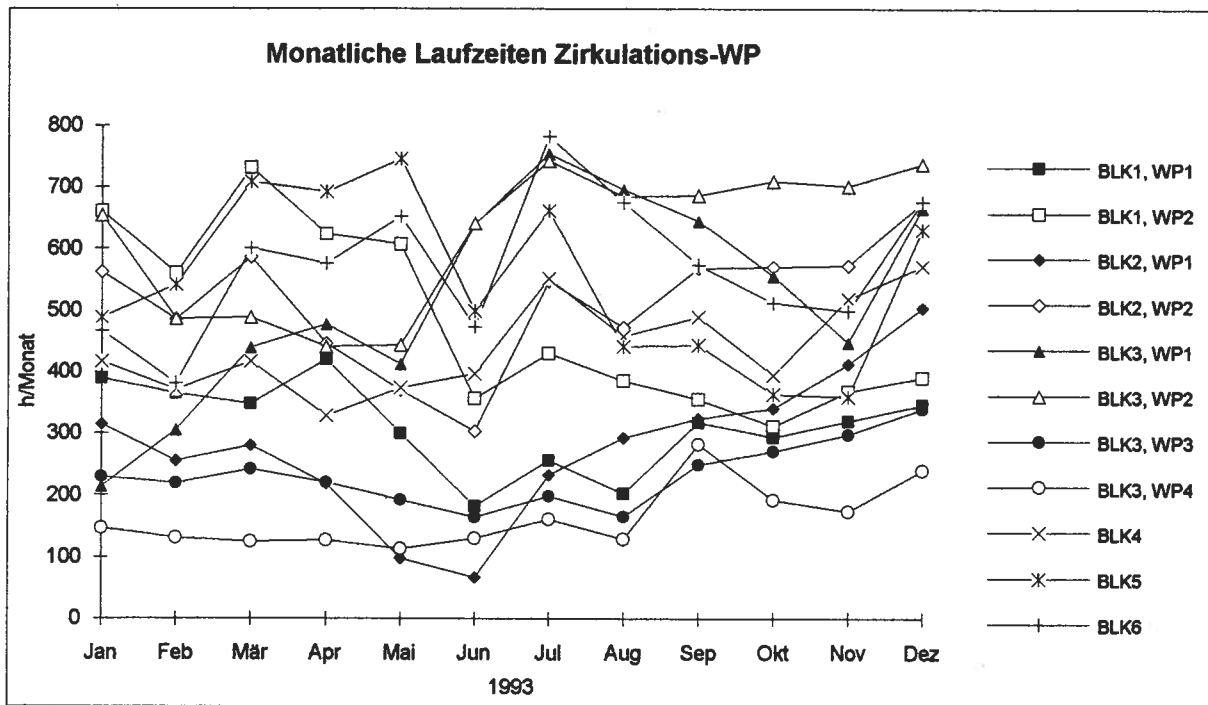


Bild 22: **Monatliche Laufzeiten aller 11 Zirkulationswärmepumpen.** Der Linienwirrwarr (Linien-Verbindung der Monatswerte nur zur Verdeutlichung) illustriert die starken Laufzeitschwankungen, die auch heute noch nicht restlos erklärt werden können. [zirkwp1.xls, d2]

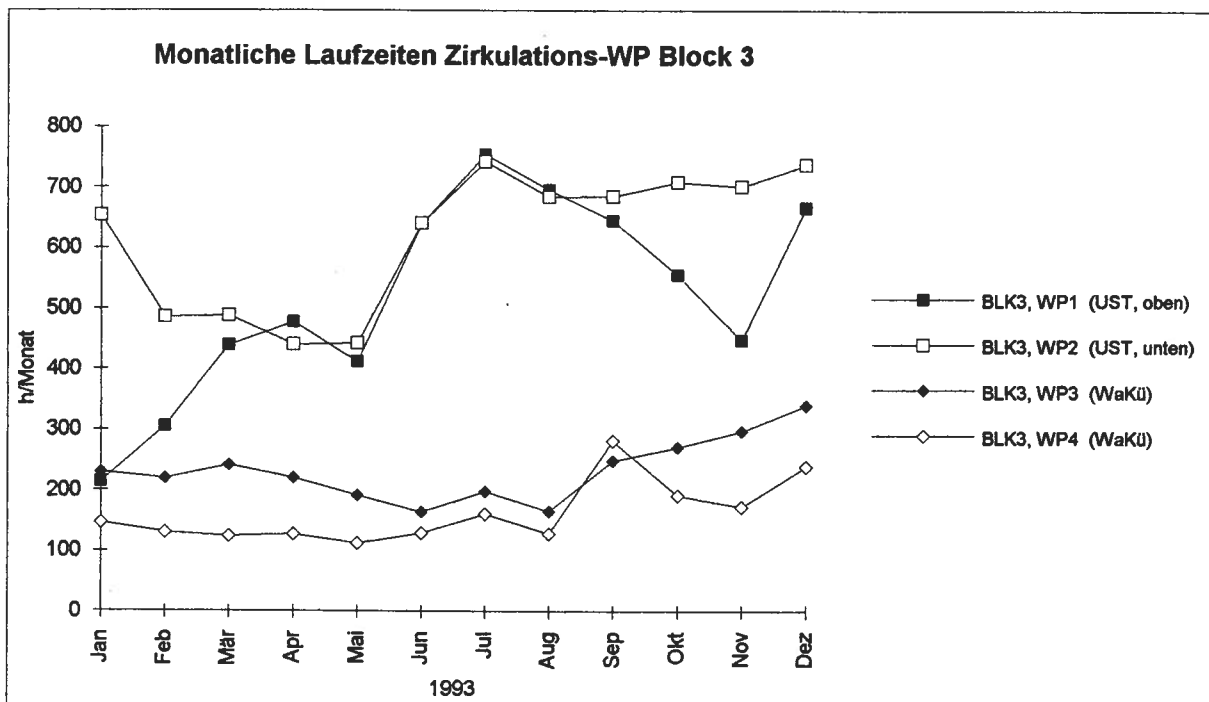


Bild 23: **Monatliche Laufzeiten der 4 Zirkulationswärmepumpen von Hochhaus Block 3.** (Linien-Verbindung der Monatswerte nur zur Verdeutlichung) [zirkwp1.xls, d3]

Im übrigen dürften für die unterschiedlichen Laufzeiten noch die Faktoren

- Verkalkung des Wärmetauschers,
- Grösse und Driften der Schaltdifferenz des Thermostaten,
- eingestellter Schaltpunkt des Thermostaten in Bezug zur WW-Temperatur

von Bedeutung sein, wie die Detailanalyse der Zirkulations-WP 1 von Block 3 zeigte. Es wurden dazu die Monate August 92 (kurze monatliche Laufzeit von 232 h, → Bild 24) und Juli 93 (sehr lange Laufzeit von 754 h; Ableseperiode 33 Tage, → Bild 25) ausgewählt, die beide die gleiche mittlere WW-Temperatur oben im Speicher 2 (= warmer Speicher) aufweisen.

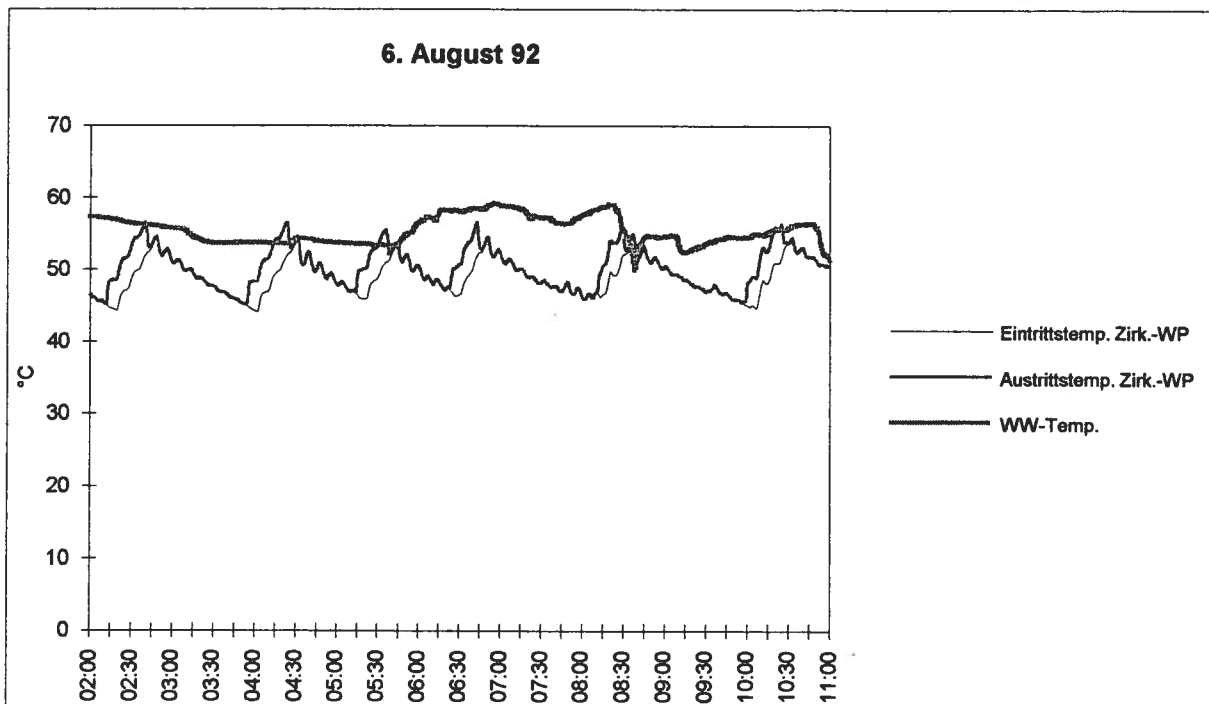


Bild 24: *Temperaturanhebung durch die Zirkulations-WP 1 von Block 3 im August 92*, einem Monat mit kurzer Gesamtlaufzeit der WP. Messwerte: Minutenmittelwerte. [060892.xls]

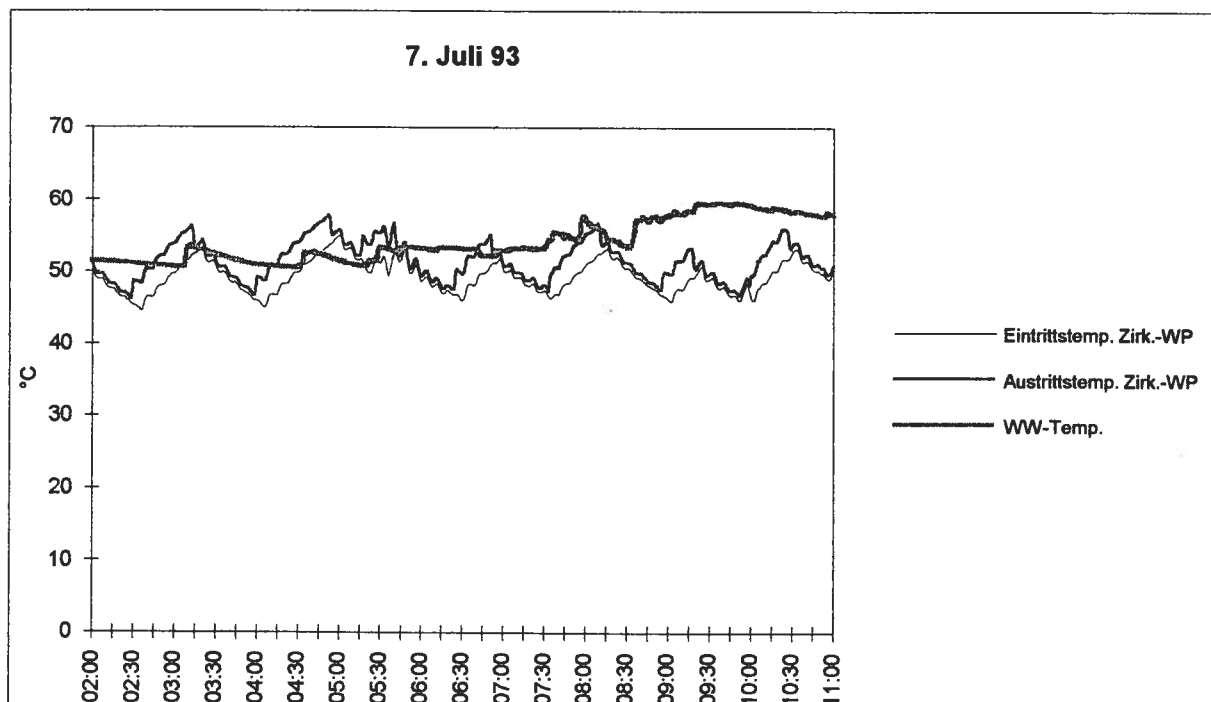


Bild 25: *Temperaturanhebung durch die Zirkulations-WP 1 von Block 3 im Juli 93*, einem Monat mit langer Gesamtlaufzeit der WP. Messwerte: Minutenmittelwerte. [070793.xls]

Aus dem Vergleich von Bild 24 und Bild 25 können folgende Feststellungen gemacht werden:

- Der Schalterpunkt, bei dem der Thermostat die Zirkulations-WP ausschaltet, ist in beiden Fällen gleich.
- Die Schaltdifferenz, nach welcher die WP wieder eingeschaltet wird, ist im Juli 93 über die Anzahl Einschaltungen gemittelt rund 7,5°C, während sie im August 92 rund 10°C beträgt. Als Folge davon schaltet die Zirkulations-WP im Juli 93 während der betrachteten 9 h-Periode 7 mal, d.h. einmal mehr ein als im August 92. Je kleiner die Schaltdifferenz, desto häufiger schaltet die WP ein.
- Die Dauer der Einschaltperiode hängt neben der Schaltdifferenz auch von der Differenz zwischen der WW-Temperatur und der Zirkulationstemperatur ab. Ist die WW-Temperatur nahe beim Schalterpunkt oder sogar darunter, steigt die Laufzeit pro Einschaltung. Der Schalterpunkt sollte also unterhalb der WW-Temperatur liegen.
- Im Juli 93 ist die Laufzeit pro Einschaltung bei gleicher Differenz zwischen Schalterpunkt und WW-Temperatur um rund 25% länger, nämlich 32 min gegenüber von 26 min im August 92. Dies könnte auf einen Leistungsabfall der WP aufgrund Verkalkung des Kondensators oder Entweichen von Kältemittel hindeuten.

Im Januar 95 wurden deshalb die Kondensator-Platten-WT entkalkt. Für die Zirkulations-WP 1 der UST 3 wurde in der Folge eine um 23% kürzere Kompressorlaufzeit ermittelt.

Die Kältemittelfüllungen wurden bisher nicht speziell geprüft. Dass eine für die gegebenen Betriebsbedingungen nicht optimale Kältemittelfüllung jedoch einen grossen Einfluss auf die Leistungsziffer hat, wurde in [4] festgestellt.

- Die durch die Temperaturverlaufsanalyse bestimmten Laufzeiten weichen stark von den Ablesungen des zur Zirkulations-WP gehörenden Betriebsstundenzähler ab. Eine Erklärung liegt darin, dass der Betriebsstundenzähler nicht nur die Kompressorlaufzeit, sondern auch die thermostatisch gesteuerten Nachlaufzeit des Verdampferventilators misst. In der auf Bild 24 gezeigten Periode ist im August 92 die WP während 27% der Zeit in Betrieb. Hochgerechnet auf den ganzen Monat ergibt dies 201 h, was grössenordnungsmässig mit der Monatsablesung von 232 h übereinstimmt. Im Juli 93 ergibt die gleiche Hochrechnung mit einem ermittelten Laufzeitanteil von 42% eine totale Laufzeit von 333 h, was weit unter dem abgelesenen Monatswert von 754 h liegt.

Hohe Monatslaufzeiten weisen sicher vor allem auf **nicht optimal eingestellte Thermostaten** hin. Allerdings ist die Einstellung nur mit den eingebauten Anzeigethermometern mit notorisch grosser Drift sehr schwierig. Dazu kommt, dass die Mieterschaft nach all den vielen Störungen im Rahmen des Umbaus auf (zu) niedrige WW-Temperaturen empfindlich reagiert. Dass sich eine Optimierung der Thermostateinstellungen (richtiger Schalterpunkt und korrekte Schaltdifferenz) jedoch lohnt, zeigte der Versuch von Mitte Juli 92:

	Monatliche Laufzeit vor Optimierung (Juni 92)	Monatliche Laufzeit nach Optimierung (Aug. 92)	
Block 3, Zirk.-WP 1	352 h	232 h	- 34%
Zirk.-WP 2	705 h	276 h	- 61%
Zirk.-WP 3	251 h	98 h	- 61%
Zirk.-WP 4	370 h	88 h	- 76%
Stromverbrauch alle 4 Zirk.-WP	2'030 kWh	843 kWh	- 58%

Da die einzelnen Zirkulationskreise sehr unterschiedlich sind, kann für die Thermostateinstellung keine einheitliche Empfehlung gegeben werden. Es geht vielmehr darum, periodisch resp. sobald die Laufzeiten ansteigen, Schalterpunkt und Schaltdifferenz zu überprüfen. Die Anzeigethermometer müssen dazu vorgängig mit einem genaueren Instrument abgeglichen werden.

Lebensdauer:

Als Folge der hohen monatlichen Laufzeiten einzelner Zirkulations-WP mussten im April die ersten Kompressoren ausgetauscht werden:

- Zirk.-WP 1 von Block 2 nach 23'000 Gesamtbetriebsstunden
- Zirk.-WP 2 von Block 3 nach 34'700 Gesamtbetriebsstunden

- Erkenntnisse:**
- **Generell:**
 - Zirkulationswärmepumpen verhindern, dass die Speicherschichtung durch die Zirkulation gestört wird und können den Gesamtnutzungsgrad eines WW-Erwärmungssystems deutlich verbessern.
 - Zirkulationswärmepumpen sollten nur dort plziert werden, wo echte Abwärme vorhanden ist, wo also kein Wärmediebstahl stattfinden kann.
 - **Für Überbauung "Im Bilander":**
 - Eine bessere Wärmequelle als Waschküchen und UST (höhere Temperaturen, kein Wärmediebstahl) wäre die Abwärme der Liftmotorenräume gewesen.
 - Einen grossen Einfluss auf die Laufzeit und damit auf den Stromverbrauch und die Lebensdauer haben die Thermostateinstellungen der Zirkulations-WP und die Verkalkung der Kondensatoren.
Die Einstellungen der Thermostaten sollten deshalb regelmässig (z.B. alle 12 Monate) überprüft werden.
Ebenfalls regelmässig (z.B. all 2 bis 3 Jahre) müssen die Kondensator-Platten-WT entkalkt werden.
 - Fenster der UST müssen ausser im Hochsommer geschlossen gehalten werden, damit Abwärme im Raum bleibt und sich kein Kaltluftsee am Boden bildet, der die Laufzeiten von in bodennähe montierten Zirkulations-WP erhöht.
 - Die Mischarmaturen in den Wohnungen sollten auf Kaltwasserbeimischung untersucht werden.

7.3.7 Gesamtnutzungsgrad der Warmwasseraufbereitung Unterstation Block 3

Tabelle 7 fasst die Jahresdaten für die Warmwasseraufbereitung der ausgemessenen Unterstation des Hochhauses Block 3 zusammen. Bei der Interpretation der Daten muss berücksichtigt werden, dass vor allem 1992 noch sehr viele Störungen aufgetreten sind. Der Gesamtwirkungsgrad der Warmwasseraufbereitung inklusive Speicher- und Zirkulationsverluste von 66 bis 70% dürfte für einen Altbau mit langen und nicht sehr gut isolierten Warmwasser- und Zirkulationsleitungen als gut bezeichnet werden. Eher hoch sind dagegen die gemessenen Speicherverluste. Rund ein Viertel der Energie geht dadurch verloren. Drei Gründe können genannt werden: (1) festgestellte Rückzirkulation in den Leitungen zwischen Speicher und WP resp. WT, (2) erhöhte Verluste aufgrund der Auskühlung der UST durch die Zirkulations-WP und (3) grosse Messungenauigkeit (ca. +/- 15%) in Zusammenhang mit dem ungeeigneten Wärmezähler der UST.

Die mittlere Leistungsziffer der Elektro-WP der UST (definiert hier als Verhältnis zwischen Stromverbrauch der Kompressoren und Regelung zur Wärmeabgabe an die WW-Speicher) verbesserte sich von 4,7 (1992) auf 5,22 (1995). Dies ist vor allem der im Kapitel 6.3.5 beschriebenen, im Herbst 92 durchgeführten Änderungen an der Speicherladung und WP-Steuerung zuzuschreiben.

		1992	1993	1994	1995
WW-Verbrauch	m3/a	2'493	2'345	2'187	2'147
Wärme ab FL für WW	MWh/a	143,10	139,35	131,69	123,40
Strom für WP	MWh/a	25,373	23,989	15,853	17,793
Wärmeabgabe WP an Speicher	MWh/a	NV	120,65	78,53	62,67
Mittlere Leistungsziffer	-	4,73 2)	5,03	4,95	5,22
Wärmeabgabe WT an Speicher	MWh/a	NV	42,69	69,01	48,35
Gesamte Wärmeabgabe an Speicher	MWh/a	164,76	163,34	147,54	141,22
davon Anteil WP	%	NV	74%	53%	34%
davon Anteil WT	%	NV	26%	47%	66%
Wärmeabgabe an WW-Netz ohne Zirk.hochhaltung	MWh/a	130,08	119,64	107,52	102,69
Speicherverluste, Messungenauigkeit	MWh/a	34,68	43,70	40,02	38,53
in % der an Speicher abgegebenen Wärme	%	21%	27%	27%	27%
Strom für Zirk.-WP	MWh/a	18,129	17,535	16,127	17,673
Systemwirkungsgrad WW inkl. Zirk.hochhaltung, exkl. Speicherverluste 1)	%	88%	90%	90%	89%
Systemwirkungsgrad WW inkl. Zirk.hochhaltung, inkl. Speicherverluste 1)	%	70%	66%	66%	65%

1) = gesamte Wärmeabgabe an Speicher / (Wärme ab FL + Strom WP + Strom Zirk.-WP); exkl. Strom für Umwälzpumpen
2) Februar bis Dezember

geswiust.xls

Tabelle 7: Jahresdaten Warmwasseraufbereitung UST 3

7.3.8 Heizgruppen

Während der Planungsphase tauchte die Frage auf, ob die einzelnen Heizgruppen eines Gebäudes mit der gleichen VL-Temperatur gefahren werden können und der unterschiedliche Wärmebedarf verschieden exponierter Wohnungen durch die Thermostatventile aufgefangen werden könne. Dies hätte der Vorteil, dass die UST verteilerlos gebaut werden könnten: Die Heizenergie würde durch eine einzige, druckabhängig drehzahlgesteuerte Pumpe zu allen Heizgruppen gefördert, was Installations- und Betriebskosten (Strom) sparen würde. Weil diese Frage nicht genügend klar beantwortet werden konnte, entschied man sich aus Vorsicht für eine konventionelle Wärmeverteilung mit je einer Pumpe und Mischventil pro Heizgruppe.

Bild 26 zeigt den Verlauf der der VL-Temperaturen der vier Heizgruppen des Hochhauses Block 3 während zweier eher kalten Wintertagen. Die nicht windexponierten beiden Gruppen 1 und 2 weisen praktisch gleiche VL-Temperaturen auf. Die Gruppe 4, welche die am meisten dem Wind ausgesetzten Wohnungen bedient, wird mit rund 7°C höherer VL-Temperatur gefahren. Gruppe 3 fasst die unteren Wohnungen der windexponierten Gebäudeseite zusammen und wird mit einer VL-Temperatur betrieben, die ungefähr in der Mitte der Gruppen 1 und 2 einerseits und der Gruppe 4 andererseits liegt.

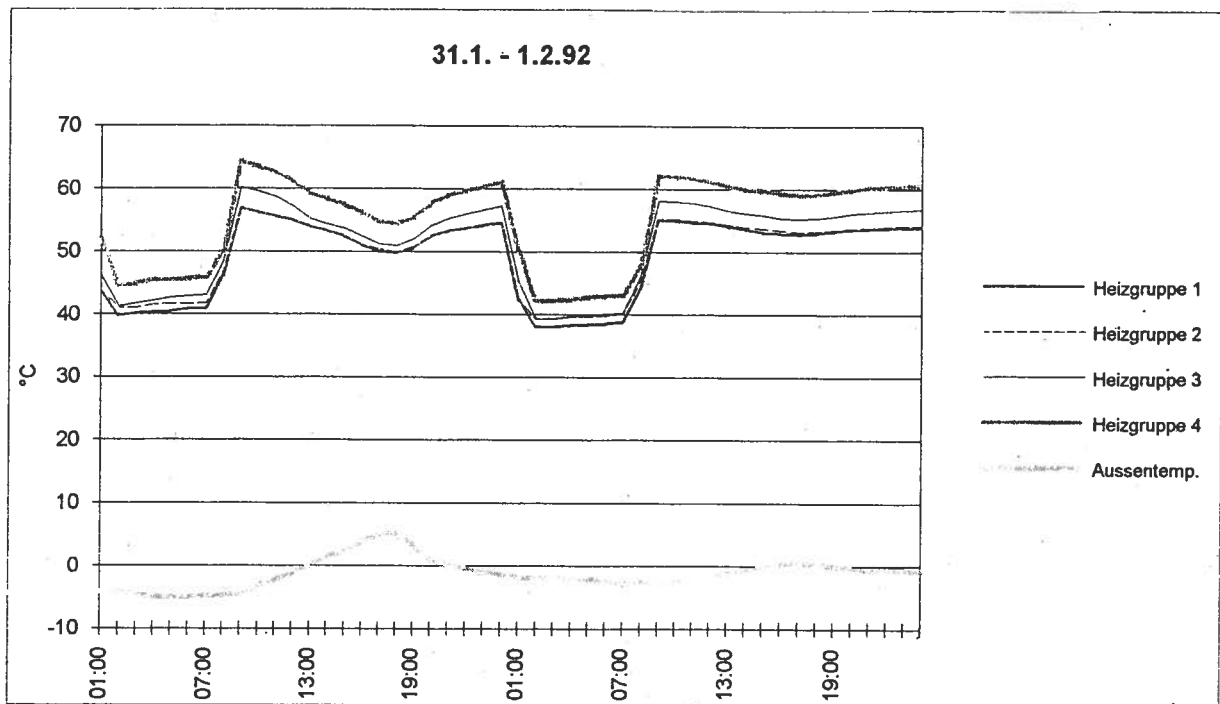


Bild 26: VL-Temperaturen der vier Heizgruppen von Block 3 und Aussentemperatur während der beiden Wintertage 31.1. und 1.2.92. Deutlich ersichtlich sind die Nachtabenkung und die aussentemperaturabhängige Senkung der VL-Temperaturen am Nachmittag. Messwerte: Stundenmittelwerte. [010292.xls]

Erkenntnisse: Es wäre möglich gewesen, mit weniger Heizgruppen auszukommen. Für den Block 3 hätten Gruppe 1 und 2 und eventuell Gruppe 3 und 4 zusammengefasst werden können. Nur eine Pumpe für alle Heizgruppen hätte beim vorhandenen Einrohrverteilsystem und der schlechten Bauhülle jedoch höchst wahrscheinlich zu Reklamationen in den oberen, windexponierten Wohnungen geführt.

7.4 Heizzentrale

7.4.1 Allgemeines

Das Prinzip der Heizzentrale ist in Kapitel 4.3 beschrieben. Seit Mitte März 95 arbeitet die Abs.-WP mit der korrekten hydraulischen Einbindung. Die Groboptimierung der Anlage ist zum Zeitpunkt der Berichterstattung zum grossen Teil abgeschlossen, die Feinoptimierung wird noch bis Frühling 97 andauern. Die folgenden Kapitel fassen den Wissensstand von Ende April 96 zusammen.

7.4.2 Wärmeleistungsbedarf der Überbauung

Von Interesse ist einerseits der Leistungsbedarf kurzfristig beim Hochfahren des FL-Netzes am Morgen, um die Frage nach einer Über- resp. Unterdimensionierung der gesamten installierten Leistung zu beantworten und andererseits der mittlere Leistungsbedarf, um die Leistung der Abs.-WP beurteilen zu können.

Leistungsbedarf beim Hochfahren des FL-Netzes:

Bild 27 zeigt den momentanen Leistungsbedarf am Morgen des 6.1.94 beim Hochfahren des FL-Netzes. In der für Januar *milden* Nacht wurden die FL-Pumpen während Perioden ohne Bedarfsanforderung von den UST automatisch ausgeschaltet. Dargestellt ist der von der Zentrale an die FL abgegebene, gemessene Energiefluss. Es handelt sich also um den gesamten Wärmeleistungsbedarf der Überbauung für Heizung und WW inkl. FL-Wärmeverluste. Nicht enthalten sind die Wärmeverluste in der Zentrale (Speicherverluste, Kesselverluste).

Die *gesamte Hochfahrperiode beträgt 3½ h*, bis die Solltemperatur für die VL-Temperatur erreicht ist. Allerdings ist schon nach 1½ h diese Temperatur beinahe erreicht, bricht aber (durch den grossen Wärmebedarf am Morgen) vorübergehend wieder zusammen. Zu berücksichtigen ist, dass bis zum 8. März 96 die Heizkurve der Fernleitung höher als eigentlich nötig eingestellt war. Für die am Morgen des milden 6.1.94 herrschende Aussentemperatur von 7°C hätte eine Vorlauftemperatur der Fernleitung von knapp 50°C (statt 62°C) genügt. Das heisst, der Einbruch der Vorlauftemperatur wäre nicht vorgekommen.

Während der mittlere Leistungsbedarf des betrachteten Tages bei 678 kW liegt, werden beim Hochfahren kurzfristig 2'156 kW (d.h. 3,2 mal mehr Leistung) verlangt. In der eigentlichen, anderthalbstündigen Periode des Hochfahrens beträgt der mittlere Leistungsbedarf noch 1'235 kW, ist also um einen Faktor 1,8 über dem Tagesmittel.

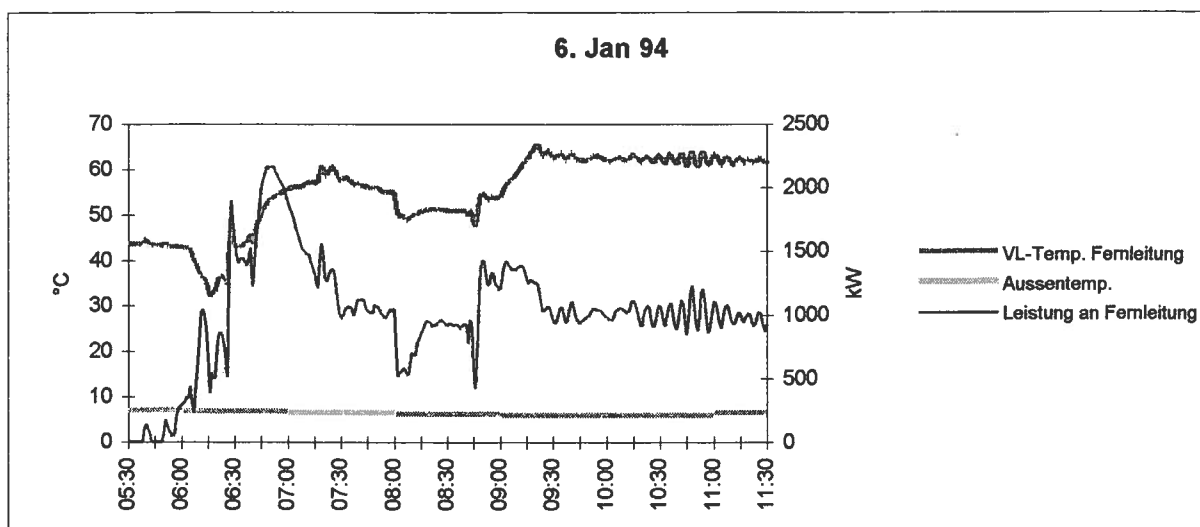


Bild 27: *Momentaner Wärmeleistungsbedarf der Überbauung* inkl. FL-Verluste. Aussentemperatur: Stundenmittel, übrige Messgrössen: Minutenmittelwerte. [060194a.xls]

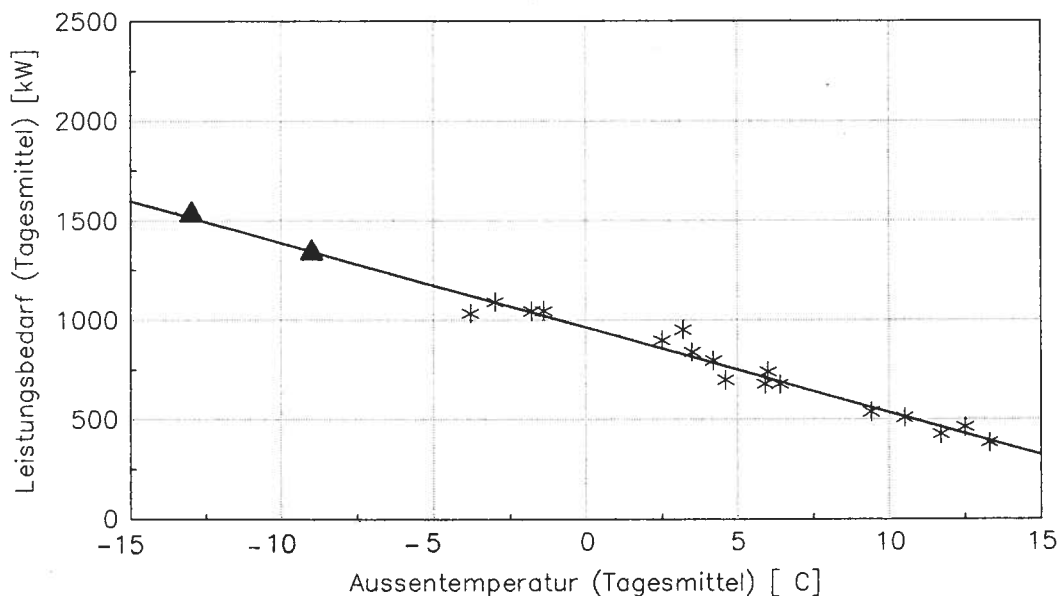
Bei kühlerer Witterung steigt naturgemäss der über den Tag gemittelte Leistungsbedarf, die Spitze am Morgen ist allerdings kleiner als an einem milden Wintertag wie dem 6. Januar 1994, da nachts die FL-Pumpen nicht abgeschaltet werden und die nach Aussentemperatur geregelte Vorlauftemperatur der Fernleitung hochbleibt (Nachtabsenkung nur in den Blocks):

22. November 1993	Tagesmitteltemperatur	-1,8°C
(kalter Tag)	Mittlerer Leistungsbedarf während ganzen Tag	1'043 kW
	Kurzfristige Leistungsspitze am Morgen	1'667 kW
	Verhältnis kurzfristige Spitze zu Tagesmittelwert	1,6
	Mittlerer Leistungsbedarf während Hochfahrperiode	1'195 kW
	Verhältnis Hochfahren zu Tagesmittelwert	1,1
	Dauer der Hochfahrperiode	1½ h

Da eine Nachtabsenkung auch der FL-Temperatur erst am 8. März 96 realisiert wurde, können über den Leistungsbedarf beim Hochfahren des FL-Netzes bei sehr tiefen Aussentemperaturen keine abschliessenden Aussagen gemacht werden. Sicher ist jedoch, dass die Gesamtanlage mit 2'800 kW Nennleistung sehr gut in der Lage ist, die am Morgen auftretenden Bedarfsspitzen auch in einem harten Winter abzudecken.

Mittlerer Leistungsbedarf Winter:

In Bild 28 sind die Tagesmittelwerte des an die FL abgegebenen Energieflusses in Abhängigkeit der über den Tag gemittelten Aussentemperatur aufgezeichnet. Bei einer Aussentemperatur von -9°C (Dimensionierungstemperatur gemäss SIA 384/2) ist die benötigte Leistung rund 1'340 kW, bei -13°C (gemäss der alten SIA 380) wäre sie 1'530 kW.



Lineare Regression
R-square = 0.958

\\GW\CHARTS\BILLEI2.CHT

Bild 28: Wärmeleistungsbedarf der Überbauung in Abhängigkeit der Aussentemperatur.
Die Dreiecke markieren die Dimensionierungstemperaturen gemäss SIA 384/2 (-9°C) und SIA 380 (-13°C). Tagesmittelwerte.

Die Kesselanlage mit zusammen 2'800 kW Nennleistung ist sowohl für das Anfahren wie für den Dauerbetrieb grosszügig ausgelegt. Der Vollastkessel (Kessel 2, 1'835 kW) weist in Bezug auf die gesamthaft benötigte Dauerleistung bei -9°C eine Reserve von einem Drittel auf. Auch die kurzfristige Anfahrleistung ist er problemlos in der Lage zu erbringen. Durch die modulierende Betriebsweise bis auf 30% der Nennleistung hinunter resultieren trotz der Überdimensionierung Laufzeiten

von normalerweise 1 h bis zu 20 h. Zu nur sehr kurzen Laufzeiten führt die Überdimensionierung in der Übergangszeit, wie im Kapitel 7.4.3, Bild 37a gezeigt wird. Problematisch ist die Überdimensionierung auch im Hinblick auf eine spätere Sanierung der Gebäudehüllen.

Mittlerer Leistungsbedarf Sommer:

Im Sommer 94 konnte erstmals die Fernleitung im Juli und August während den meisten Tagen „kalt“, d.h. zwischen 20 und 47°C gefahren werden. Wird von der in dieser Periode von der Zentrale an die FL abgegebenen, gemessenen Energie ausgegangen, resultiert ein durchschnittlicher thermischer **Leistungsbedarf von 59 kW**, der für die Aufbereitung des WW durch die UST benötigt wird. In den entsprechenden Vorjahresmonaten wurde noch eine durchschnittliche Leistung von 106 kW (= 180%) ermittelt.

Neben den Schlussfolgerungen, dass

- die Anstrengungen, die Anlage in den Griff zu kriegen, Erfolge zeigen und
 - die niedrigen FL-Temperaturen zu einer starken Reduktion der Leitungsverlusten führen,
- muss festgestellt werden, dass die **Abs.-WP mit einer Nennleistung von 870 kW für den Sommerbetrieb stark überdimensioniert ist**. Wie in Kapitel 7.4.3, Abschnitt (C5) gezeigt wird, können als Folge die erwarteten Heizzahlen im Sommer nicht ganz erreicht werden.

<p>Erkenntnisse:</p> <ul style="list-style-type: none">- Das Hochfahren der Fernleitung am Morgen dauert rund 1½ Stunden.- Die Kesselanlage ist überdimensioniert. Für den grossen Kessel wäre eine um einen Drittel kleinere Leistung (→ 1'300 kW) - besonders im Hinblick auf eine spätere Sanierung der Bauhüllen - ausreichend.- Durch die breite Leistungsregulierung bis auf 30% Nennlast des grossen Kessels resultieren im Winter trotz der Überdimensionierung Laufzeiten zwischen 1 h und 20 h. In der Übergangszeit treten allerdings Kurzeinschaltungen auf.- Die Abs.-WP ist für den Winterbetrieb gut ausgelegt, für den Sommerbetrieb jedoch stark überdimensioniert. <p>Entsprechend wichtig, aber auch schwierig ist eine gute Optimierung der Gesamtanlage.</p>

7.4.3 Absorptionswärmepumpe

(A) Technische Daten

Die Abs.-WP wurde von der Fa. YORK geliefert. Es handelt sich um eine einstufige Heisswasser-Maschine vom Typ ES 5C2 mit den folgenden Nenndaten:

Wärmeentzug aus Grundwasser (= Kälteleistung)	300 kW
Kaltwassertemperaturen ein/aus	10°C/6°C
Kaltwasserdurchfluss	64,5 m ³ /h
Stromaufnahme Grundwasserpumpe	11 kW
Austreiberleistung (= Heisswasser vom kleinen Kessel)	570 kW
Heisswassertemperaturen ein/aus	115°C/109°C
Heisswasserdurchfluss	87,2 m ³ /h
Stromaufnahme Heisswasserpumpe bei Nenndurchfluss (drehzahl geregelt)	4 kW
Wärmeleistung an Heizungsnetz (= Kühlleistung)	870 kW
Kühlwassertemperaturen ein/aus	46°C/49°C
Kühlwasserdurchfluss	249m ³ /h
Stromaufnahme Kühlwasserpumpe	14 kW
Stromaufnahme Abs.-WP (Lösungspumpe, Kältemittelpumpe, Steuerung)	5,9 kW
Heizzahl (ohne Strom für Umwälzpumpen) bei Nennbetriebsbedingungen	1,53
Stoffpaar	Lithium-Bromid/Wasser
Abmessungen (Länge x Breite x Höhe):	5'390 x 1'720 x 3'020 mm
Gewicht	10'790 kg

Die prinzipielle Funktionsweise einer Abs.-WP ist in **Anhang 3** erläutert.

Leistungsregulierung der Abs.-WP

Bei der installierten Maschine ist eine stufenlose Leistungsregulierung von 100% bis hinunter auf 10% möglich. Als Regelgrösse dient die Kühlwasser-Austrittstemperatur (= Temperatur, welche die Abs.-WP ans Heizungsnetz abgibt). Eingegriffen wird auf den Austreiberkreislauf, indem durch die Drehzahlregelung der Austreiberpumpe (Heisswasserpumpe) und bei sehr kleiner verlangter Leistung zusätzlich durch ein Regelventil die Wassermenge vom Heisswasserkessel reguliert wird.

Grundwasserkreislauf

Das aus 20 m Tiefe geförderte Grundwasser gelangt, nachdem es zur Schmutzabscheidung über einen Separator (Zyklon) geführt wurde, ohne Zwischenwärmetauscher direkt in den Verdampfer der Abs.-WP. Dies ist ohne Gefahr für das Grundwasser möglich, weil in der ganzen Abs.-WP ein Unterdruck herrscht.

Eigenschaften des Lithiumbromids (gemäss Fa. YORK)

Lithiumbromid (LiBr) kann in seinen hauptsächlich chemischen Eigenschaften mit Kochsalz verglichen werden. Es ist eine stabile, nur sehr schwach toxisch Verbindung, die sich weder an der Luft verändert noch Zersetzungen bewirkt oder sich verflüssigt. LiBr tritt auf in Hydratform, die Kristallwasser enthält, daneben als Anhydrid und als wässrige Lösung. Seine wichtigste Eigenschaft ist jedoch immer seine ausgezeichnete Fähigkeit Feuchtigkeit aufzunehmen. Der Hauptgrund, LiBr als Absorptionsmittel in einer Abs.-WP zu verwenden, ist, dass der Partialdruck der wässrigen Lösung extrem klein ist. Dadurch ist die Fähigkeit, Wasserdampf zu absorbieren, sehr gut.

pH-Wert und Korrosivität:

Eine wässrige Lösung mit reinem LiBr ist fast neutral. Die Korrosivität ist kleiner als die einer Salzsole oder einer Kalziumchloridsole. Um allfälligen Korrosionsproblemen zu begegnen, stellt BBC YORK die LiBr-Lösung leicht alkalisch ein und fügt einen speziellen Korrosionsinhibitor zu.

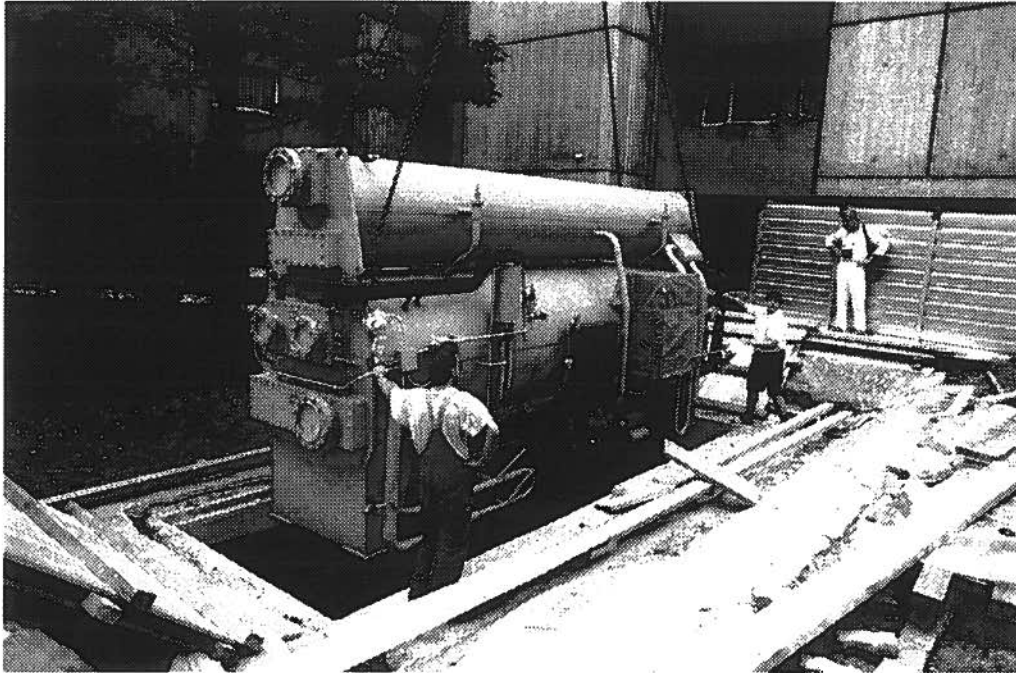


Bild 29: Die **Abs.-WP** wird mit einem mobilen Kran durch die eigens geschaffene Öffnung vorsichtig in die Heizzentrale hinuntergelassen.

(B) Kurzer Rückblick über aufgetretene Probleme

5.1.93: Die Abs.-WP wird zum ersten Mal im automatischen Betriebsmodus in Betrieb genommen.

Diverse Probleme, die vor allem mit der hydraulischen und regeltechnischen Einbindung der Abs.-WP ins Gesamtsystem der Wärmeerzeugung zu tun hatten, führten zu schlechten Leistungsziffern. Das Hauptproblem war, dass das Anfahrverhalten der Abs.-WP nicht den Angaben von YORK entsprach. Anstelle einer Leistungsaufnahme von 140% der Nennleistung nahm der Austreiber bis zu 200% Leistung auf. Da der Kessel diese Leistung nicht halten konnte, fiel die Temperatur im Austreiberkreis ab und damit brach die Leistung der Abs.-WP zusammen. Nach längeren Betriebsunterbrüchen der Abs.-WP wurde eine Anfahrsteuerung eingebaut: Ein Zeitrelais begrenzt während einer bestimmten Zeit den Hub des Ventils im Austreiberkreis auf 50%. Zusätzlich wurde das Signal für die noch nicht realisierte Teillastregelung aufgeschaltet.

29.6.94: Erneute Inbetriebnahme.

In den folgenden Sommermonaten werden Anfahrsteuerung und Teillastregelung ständig verbessert. Die erreichten Heizzahlen (1.47, ohne Strom) können als gut bezeichnet werden.

Herbst 94: Bei Umstellung auf Winterbetrieb treten erneut Betriebszustände mit sehr schlechten Heizzahlen von teilweise unter 1 mit Energieabgabe ins Grundwasser auf. Die Abs.-WP wird wieder ausser Betrieb gesetzt.

11.1.95: Besprechung mit Experten der Fa. YORK Deutschland in Zürich und auf der Anlage. Folgende wesentliche Erkenntnisse konnten gewonnen werden:

- Entgegen früheren Aussagen durch die Fa. YORK Schweiz ist es nicht möglich, mit variablen Kühlwassertemperaturen (d.h. Fernleitungsrücklauftemperaturen) auf die Abs.-WP zu fahren. Es ist deshalb nachträglich eine Hochhaltung einzubauen, welche die Eintrittstemperatur in den Absorber auf rund 40°C anhebt.
- Die Konzentration der LiBr-Lösung muss auf die vorherrschende Kühlwassertemperatur abgestimmt sein.

Somit ist klar, wieso die Abs.-WP bisher wohl unter Sommer-, nicht aber auch Winterbedingungen korrekt arbeitete: Die LiBr-Konzentration war für den Sommerzustand mit tiefen Kühlwassertemperaturen eingestellt.

17.3.95: Nach Einbau der Hochhaltung (siehe Bild 30) und Neueinstellung der LiBr-Konzentration wird die Abs.-WP wieder in Betrieb genommen. Die Maschine funktioniert nun prinzipiell gut. Im Rahmen der Anlagenoptimierung sind allerdings noch diverse regeltechnische Probleme zu beheben, auf die im folgenden noch näher eingegangen wird.

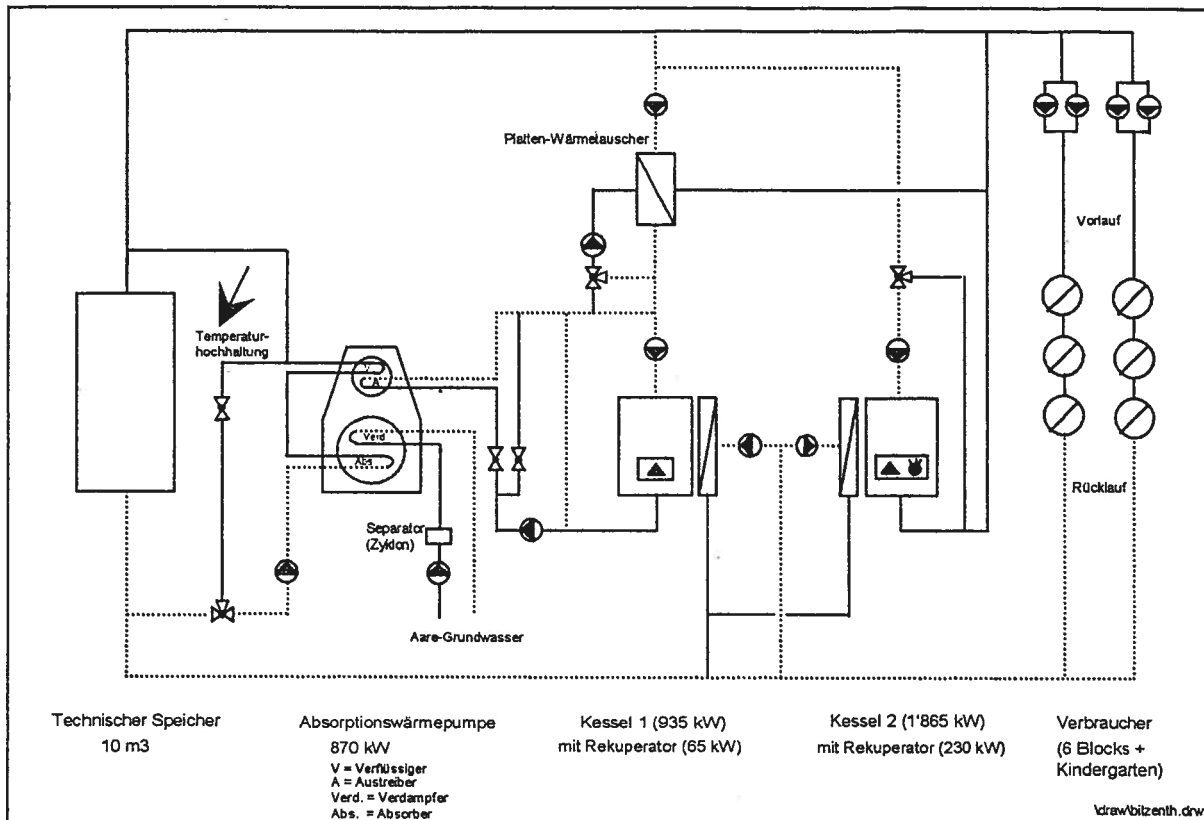


Bild 30 *Prinzipschema Heizzentrale mit nachträglich eingebauter Hochhaltung im Kühlwasserkreis der Abs.-WP (siehe Hinweisfeil).*

(C) Betriebsoptimierungen von Ende März 95 bis Ende April 96

Ziel der Optimierungsanstrengungen war, einen zuverlässigen Anlagenbetrieb mit möglichst niedrigem Primärenergiebedarf zu erreichen. Im Zentrum steht dabei die Umweltenergie nutzende Abs.-WP.

Die Optimierung stellt einen iterativen Prozess dar. Dabei zu berücksichtigende Hauptkomponenten sind

- Wärmebezüger
- Absorptionswärmepumpe
- Kessel

Jede dieser drei Hauptkomponenten hat ihre spezielle Charakteristik. Die Gesamtanlage kann nur dann optimal arbeiten, wenn die Eigenheiten aller drei Systeme gleichzeitig berücksichtigt werden. Hier liegt - im Rückblick gesehen - der wohl wesentlichste Grund, wieso so viel Zeit verstrich, bis die Gesamtanlage wie vorgesehen funktionierte. In der ursprünglichen regeltechnischen Einbindung wurde die Abs.-WP mehr oder weniger wie ein zusätzlicher Heizkessel betrachtet. Ihre speziellen Eigenschaften wurden, zum Teil weil man die nötigen Daten nicht zur Verfügung hatte, zum Teil weil man sich dieser speziellen Eigenschaften zu wenig bewusst war, nicht oder zu wenig berücksichtigt. Nachdem die Probleme der hydraulischen Einbindung gelöst waren, war es dank den durch das Messprojekt vorhandenen detaillierten Daten möglich, die Charakterisierung der einzelnen Komponenten viel genauer vorzunehmen und anschließend die Regelung zu überarbeiten.

(C1) Spezielle Eigenschaften der Absorptionswärmepumpe

Um eine optimale Einbindung einer Abs.-WP in ein Heizungssystem zu erreichen, müssen folgende Eigenheiten der Absorptionsmaschine berücksichtigt werden:

- (1) **Die Leistungsaufnahme des Austreibers ist in der Startphase sehr gross:** Die kalte Maschine hat das Bestreben, so viel Energie wie möglich aufzunehmen. Um den Heisswasserkessel nicht zu überlasten, muss deshalb eine Anfahrregelung für eine Begrenzung der Leistung sorgen. Dies kann durch ein langsames Hochfahren des Austreiberdurchflusses erreicht werden. Bei der Anlage „Im Bilander“ geschieht dies durch kombinierte Ansteuerung eines zur Austreiberpumpe (Heisswasserpumpe) in Serie geschalteten Motorventils und des Frequenzumrichters der Austreiberpumpe. Bis der Durchfluss von 0 auf 100% hochgefahren ist, dauert es 25 Minuten (Bild 31).

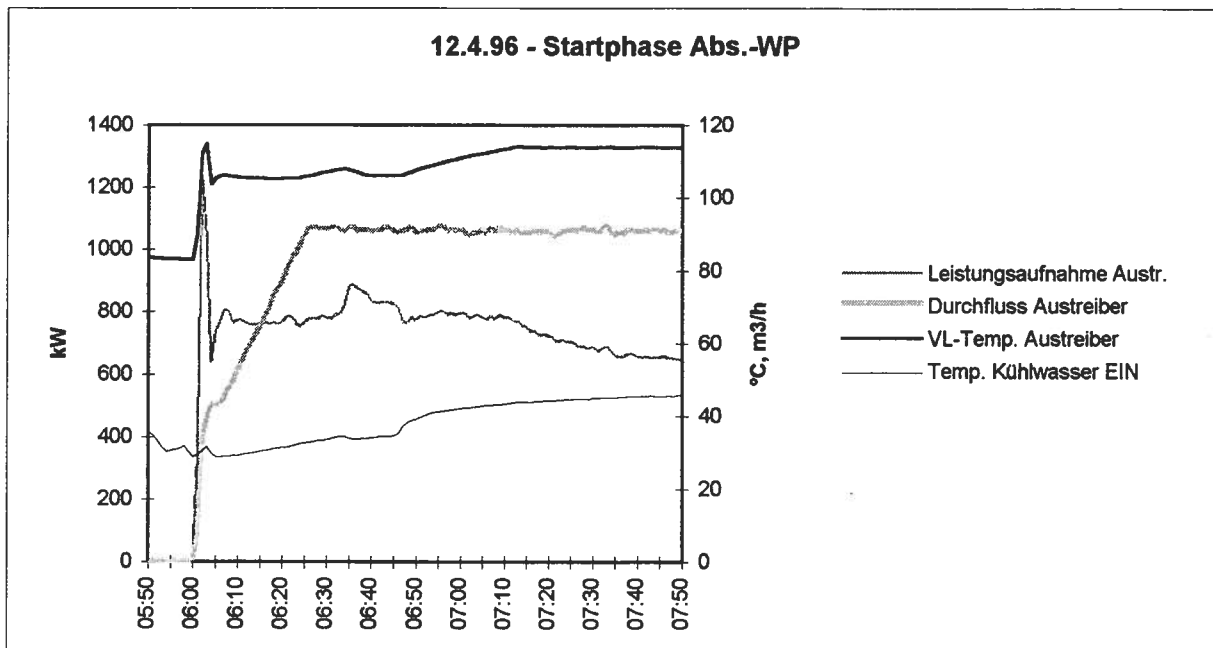


Bild 31: **Startphase der Abs.-WP.** Um eine Überlastung des Heisswasserkessels zu verhindern, wird der Austreiberdurchfluss über eine Periode von 25 Minuten langsam auf 100% hochgefahren. Messwerte: Minutenmittelwerte. [anfahrxls]

- (2) **Eine Abs.-WP ist ein relativ träges System.** Vom Startbefehl bis zur Abgabe der Nennleistung von 870 kW vergehen rund 5 Minuten, während der grosse Kessel diese Leistung in der halben Zeit zur Verfügung stellen kann. In diesen 5 Minuten inbegriffen ist der Vorlauf von einer Minute des Grundwasser- und Absorber/Verflüssigerkreislaufs gegenüber dem Austreiberkreislauf. (Die maximale Leistung kann die Abs.-WP sogar erst nach 25 Minuten bei Erreichen des vollen Durchflusses im Austreiberkreis abgeben.) Die Trägheit ist Folge der grossen Masse der Maschine (total 10,8 t). Sie bedingt auch den Nachlauf von 7 Minuten des Grundwasser- und Absorber/Verflüssigerkreislaufs gegenüber dem Austreiberkreislauf, um beim Abstellen der Abs.-WP die Restwärme abzuführen.
- (3) Die in Brugg eingesetzte Abs.-WP vermag **maximal eine Vorlauftemperatur von 51°C** zu erbringen.
- (4) **Die Temperaturerhöhung durch die Abs.-WP beträgt nur rund 3 K** (Differenz zwischen Kühlwassereintritt und -austritt), bei hohen Kühlwassereintrittstemperaturen sogar nur 1 K bis 2 K.
- (5) Der Absorber/Verflüssigerkreislauf muss mit einem hohen Durchfluss von rund 250 m³/h betrieben werden, der deutlich über dem Durchfluss der FL (12 m³/h bis 120 m³/h) liegt. Ausser wäh-

rend den ersten paar Minuten der Anfahrphase liegt daher die **Kühlwassereintrittstemperatur um rund 4 K über der FL-RL-Temperatur.**

(3), (4) und (5) haben einen direkten Einfluss auf die Einsatzgrenzen der Abs.-WP: **bei FL-RL-Temperaturen von über 45°C muss die Abs.-WP ausser Betrieb genommen werden.**

- (6) Um Kristallisation der LiBr-Lösung zu vermeiden, darf die Temperatur an keinem Punkt im Absorber/Verflüssigerkreislauf unter 20 ... 22°C fallen. Deshalb die (nachträglich realisierte) **Hochhaltung der Kühlwassereintrittstemperatur auf 40°C.**
- (7) Gemäss Angaben von York lässt sich die Abs.-WP bis auf eine Leistung von 10% (90 kW) hinunterregulieren. Da der Heisswasserkessel jedoch nur bis auf 30% hinuntermoduliert, ist **die minimale Leistung der Abs.-WP**, um ein Takten des Brenners zu vermeiden, **auf rund 45% resp. 400 kW begrenzt** (Minimalleistung Kessel x Heizzahl).
- (8) Im Gegensatz zu einem Öl- oder Gasheizkessel ist **die Leistung und der Wirkungsgrad (Heizzahl) einer Abs.-WP von mehreren Temperaturparametern, insbesondere vom Temperaturniveau des Wärmebezugs abhängig.**

In Analogie zur Kompressor-WP gilt, dass je höher die Grundwasser-(Verdampfer-)Temperatur und je tiefer die Absorber/Verflüssiger-(Kondensator-)Temperatur, desto grösser ist die Leistung und - innerhalb gewissen Grenzen, wie gezeigt werden wird - die Heizzahl der Abs.-WP. Ebenfalls eine positive Wirkung hat die Erhöhung der Austreibertemperatur. Bei einer als konstant gegebenen Grundwassertemperatur übt dabei die Absorber/Verflüssigertemperatur (d.h. die Kühlwassereintrittstemperatur, welche (siehe (5)) von der FL-RL-Temperatur abhängt) den grösseren Einfluss auf Leistung und Heizzahl aus als die Austreibertemperatur.

Basierend auf den begrenzt vorhandenen brauchbaren Daten wurde die Leistung und die Heizzahl in Abhängigkeit der Kühlwassereintrittstemperatur (= FL-RL-Temperatur + rund 4 K) aufgezeichnet:

- Bild 32: für Vollast mit 100% Austreiber-(Heisswasser-)Durchfluss.
- Bild 33: für Teillast mit 42% und 20% Austreiber-(Heisswasser-)Durchfluss.
- Bild 34: für Teillast und Vollast (Zusammenfassung)

Folgende Erkenntnisse können aus den Grafiken von Bild 32 und 33 abgeleitet werden:

- Bei **Vollast** ist die **Heizzahl** (ohne Strom) für Kühlwassereintrittstemperaturen zwischen 42°C und 45°C mit 1,5 praktisch konstant. Die maximale Heizzahl wird bei 43,5°C mit 1,51 erreicht. Bei Kühlwassereintrittstemperaturen unter 42°C und über 45°C fällt die Heizzahl ab, wobei der Abfall bei höheren Temperaturen grösser ist. Bei 49°C beträgt die Heizzahl noch 1,33.
- Die **Leistung** nimmt mit zunehmenden Kühlwassereintrittstemperaturen kontinuierlich, jedoch nicht linear ab. Bei 43,5°C (der Temperatur mit der grössten Heizzahl) beträgt die Leistung 1'110 kW, bei 49°C noch 670 kW.
- Die **Teillastkurven** scheinen im betrachteten Ausschnitt linear zu sein. Bei einem Austreiberdurchfluss von 18 m³/h (20% vom Vollastdurchfluss) fällt die Leistung von 680 kW bei 42°C auf 430 kW bei 49°C. Die Heizzahl ist bei Kühlwassereintrittstemperaturen von unter rund 44°C höher, darüber jedoch tiefer als bei Vollast (vgl. Bild 34). Bei 42°C beträgt die Heizzahl gute 1,62, bei 49°C noch 1,27.
- Wird der Austreiberdurchfluss von 18 m³/h auf 38 m³/h (42% vom Vollastdurchfluss) gesteigert, erhöht sich die Leistung um rund 33% (prozentualer Zuwachs gleichbleibend über den Bereich der Kühlwassereintrittstemperatur von 45°C bis 49°C). Die Heizzahl liegt oberhalb rund 44°C höher, darunter tiefer als bei einem Austreiberdurchfluss von lediglich 18m³/h (Bild 34).

Zu beachten ist, dass für Teillast, insbesondere mit 38 m³/h Austreiberdurchfluss, in der noch zur Verfügung gestandenen kurzen Zeit mit gut funktionierender Regelung nur wenige Messdaten gewonnen werden konnten und die Aussagen zum Teillastverhalten daher mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind.

Von York wurden keine Leistungs- und Heizzahlkurven zur Verfügung gestellt.

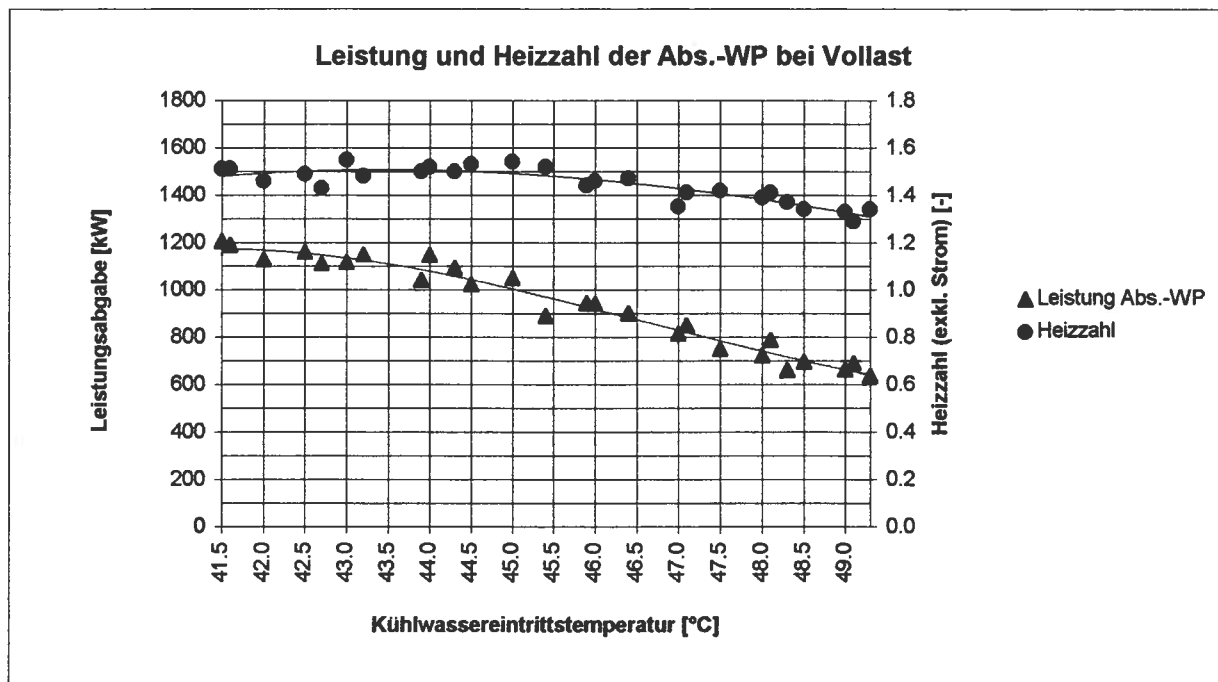


Bild 32: **Leistung und Heizzahl der Abs.-WP bei Vollast (90m³/h Austreiberdurchfluss).** Kaltwassereintritts-(Grundwasser-)Temperatur: 11,9°C; Austreibereintrittstemperatur: ca. 113°C. Messwerte: Minutenmittelwerte bei stabilen Betriebszuständen. [leist.xls]

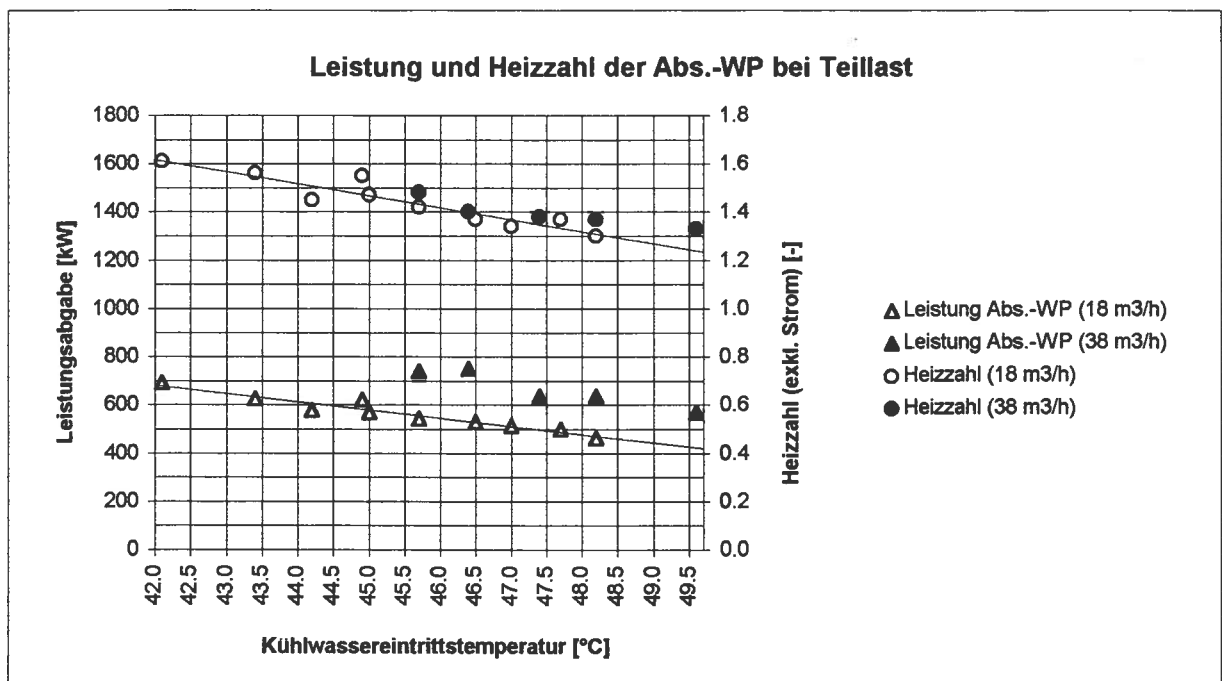


Bild 33: **Leistung und Heizzahl der Abs.-WP bei Teillast (38 m³/h und 18 m³/h Austreiberdurchfluss).** Kaltwassereintritts-(Grundwasser-)Temperatur: 11,9°C; Austreibereintrittstemperatur: ca. 117°C. Messwerte: Minutenmittelwerte bei stabilen Betriebszuständen. [leist.xls]

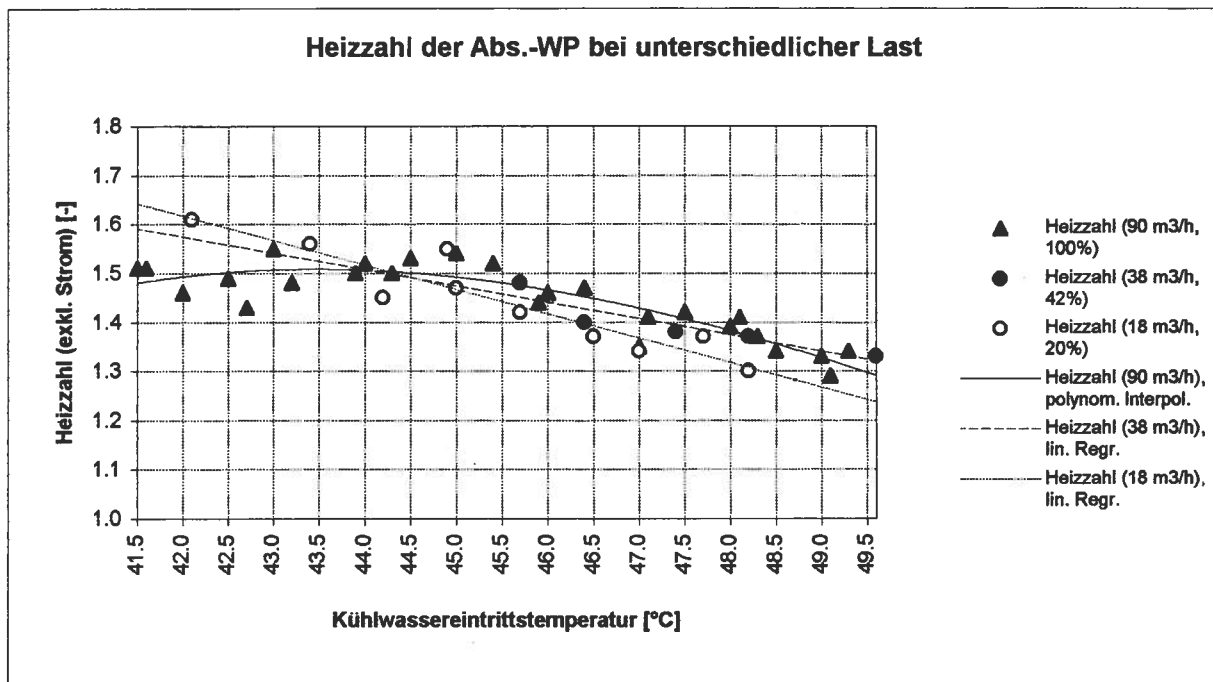


Bild 34: **Heizzahl der Abs.-WP bei Vollast (90m³/h Austreiberdurchfluss) und bei Teillast (38 m³/h und 18 m³/h Austreiberdurchfluss).** Kaltwassereintritts-(Grundwasser-)Temperatur: 11,9°C; Austreibereintrittstemperatur: ca. 113°C (Vollast), ca. 117°C (Teillast). Messwerte: Minutenmittelwerte bei stabilen Betriebszuständen. [leist.xls]

- (9) Der Stromverbrauch der Umwälzpumpen (Grundwasser- und Kühlwasserkreislauf sowie Lösungs- und Kältemittelpumpe) ist unabhängig von der abgegebenen Leistung, lediglich die Pumpe des Austreiberkreislaufts (Heisswasserkreislaufs) ist drehzahlgesteuert. (Der gemessene mittlere Stromverbrauch bei minimalem und maximalem Austreiberdurchfluss differiert nur wenig und bewegt sich zwischen 16 kW und 18 kW.) **Bei Teillast steigt somit der Anteil des Stromverbrauchs in bezug auf die abgegebene Wärme.**
- (10) **Leistung und Heizzahl sind zusätzlich abhängig von der LiBr-Konzentration.** Bei unterschiedlichen Temperaturumniveaus im Sommer, in der Übergangszeit und im Winter muss für die LiBr-Konzentration ein optimaler Kompromiss gefunden werden.
- (11) **Bei gewissen Betriebszuständen führt die Abs.-WP Energie ins Grundwasser ab (Heizzahl < 1):**
- Bei Minimallast (Austreiberdurchfluss 17 m³/h) und gleichzeitig hohen Kühlwassereintrittstemperaturen von $\geq 49^\circ\text{C}$.
 - Während der Anfahrphase der Maschine (Vollast) bei hohen Kühlwassereintrittstemperaturen (\gg Hochhaltungstemperatur von 40°C). Dabei gilt: Je höher die Kühlwassereintrittstemperatur, desto länger die Phase mit Energieabfuhr ins Grundwasser.

(C2) Charakteristik der Wärmebezüger resp. des Fernleitungsnetzes

- (1) **Das "Mensch-Raumheizungs-System" ist träge.** Kurzfristige Abweichungen während ein paar Minuten bis zu einer Stunde von der Solltemperatur des FL-Vorlaufs um 2 K bis 6 K sind ausser bei extremen Witterungsverhältnissen ohne Bedeutung. Qualitativ gilt: Je höher die Aussentemperatur, desto länger und/oder grösser dürfen Abweichungen vom SOLL sein.
- (2) Die schlechte Bauhülle der Überbauung "Im Bilander" erfordert relativ **hohe Vorlauftemperaturen**. Bedingt durch die vielen Störungen mit entsprechend vielen Reklamationen seitens der Mieterschaft wurde die Vorlauftemperatur aus Vorsichtsgründen zusätzlich noch wärmer als nötig eingestellt. Hohe VL-Temperaturen verunmöglichen jedoch einen hohen Deckungsgrad der Abs.-WP. Um das Sanierungsziel betreffend Energieeinsparung zu erreichen, ist ein hoher Deckungsgrad durch die Abs.-WP zwingend. (Wie in Kapitel 7.2.2 gezeigt wurde, ist ein guter Deckungsgrad wichtiger als eine gute Heizzahl der Abs.-WP.)
Aus diesen Überlegungen heraus wurde die Heizkurve der Fernleitung in mehreren Schritten auf das (vorläufig) akzeptierte Minimum hinuntergenommen. Zusätzlich wurde die Vorlauftemperatur der FL nachts (bei Aussentemperaturen unter 5°C; darüber Nachtabschaltung) um 8 K abgesenkt. (Bisher wurden lediglich die Heizkurven der Blocks nachts abgesenkt!) Die Heizgrenze ist (in den UST) auf 15°C eingestellt. Der Wärmebedarf und die FL-Temperaturen nach diesen Anpassungen sind auf Bild 35 (tags) und Bild 36 (nachts) dargestellt (siehe folgende Seite).
- (3) **Um das gesamte Wärmeverteilungssystem (Zentrale, Fernleitung, Blocks) aufzuheizen, sind pro Grad K rund 49 kWh nötig** (siehe Anhang 11). Somit benötigt die Abs.-WP (bei einer mittleren Kühlwassereintrittstemperatur von 45°C) rund eine halbe Stunde, um die Nachtabsenkung von 8 K zu überwinden.
- (4) **Der Wärmebedarf zwischen Sommer und Winter ist naturgemäss sehr unterschiedlich** und liegt im Sommer mit durchschnittlich 59 kW (vgl. Kapitel 7.4.2) deutlich unter der Minimalleistung des Abs.-WP/Heisswasserkessel-Systems von 400 kW (und auch unter der Minimalleistung der Abs.-WP allein (rund 90 kW; vgl. (C1), Punkt (7)).
- (5) **Gegenläufige Anforderungen von Elektro-WP der UST und Abs.-WP:** Hohe FL-Temperaturen verbessern die Arbeitszahlen der Elektro-WP, senken jedoch die Heizzahl der Abs.-WP. (Diese Problematik ist in Kapitel 9 im Detail diskutiert.
- (6) **Unterstationen und Zentrale werden nicht vom gleichen Steuerungs- und Regelungssystem kontrolliert.** Jeder Heizkreis (bis zu 4 pro Block) hat seinen eigenen Regler mit eigener Heizkurve.

(C3) Eigenheiten der Kesselanlage und Anforderung an Kesselbetrieb

- (1) **Der grosse Kessel moduliert bei Ölbetrieb nur bis 50%** (Gasbetrieb: 30%) hinunter.
- (2) In der **Betriebsart "MANUELL"** arbeitet der grosse Kessel ohne Leistungsmodulation nur mit Minimalleistung (rund 550 kW) im Ein-/Aus-Betrieb,
- (3) **Die eigentlichen Kesselsteuerungen können nicht durch die DDC-Steuerung der Zentrale beeinflusst werden;** sie sind Teil des Kesselsystems.
- (4) Um die Emissionen möglichst tief zu halten, sind **häufige Starts der Kessel zu vermeiden.**

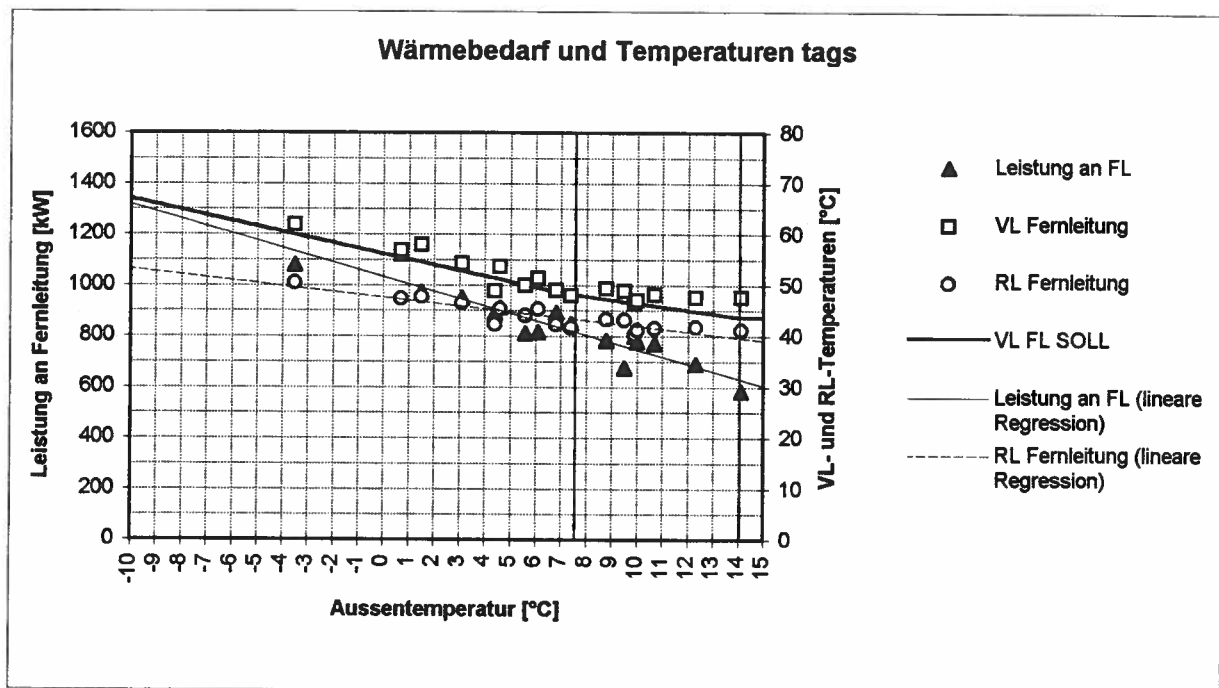


Bild 35: **Wärmebedarf und FL-Temperaturen tags (ohne Hochfahren am Morgen).** Die seit dem 8.3.96 eingestellte Heizkurve der FL (VL FL SOLL) verläuft ab Aussentemperaturen von über 7,5°C flacher und ab 14°C horizontal. Der Wärmebedarf umfasst auch den Energiebedarf für das Warmwasser. Messwerte: Stundenmittelwerte. [netzchar.xls]

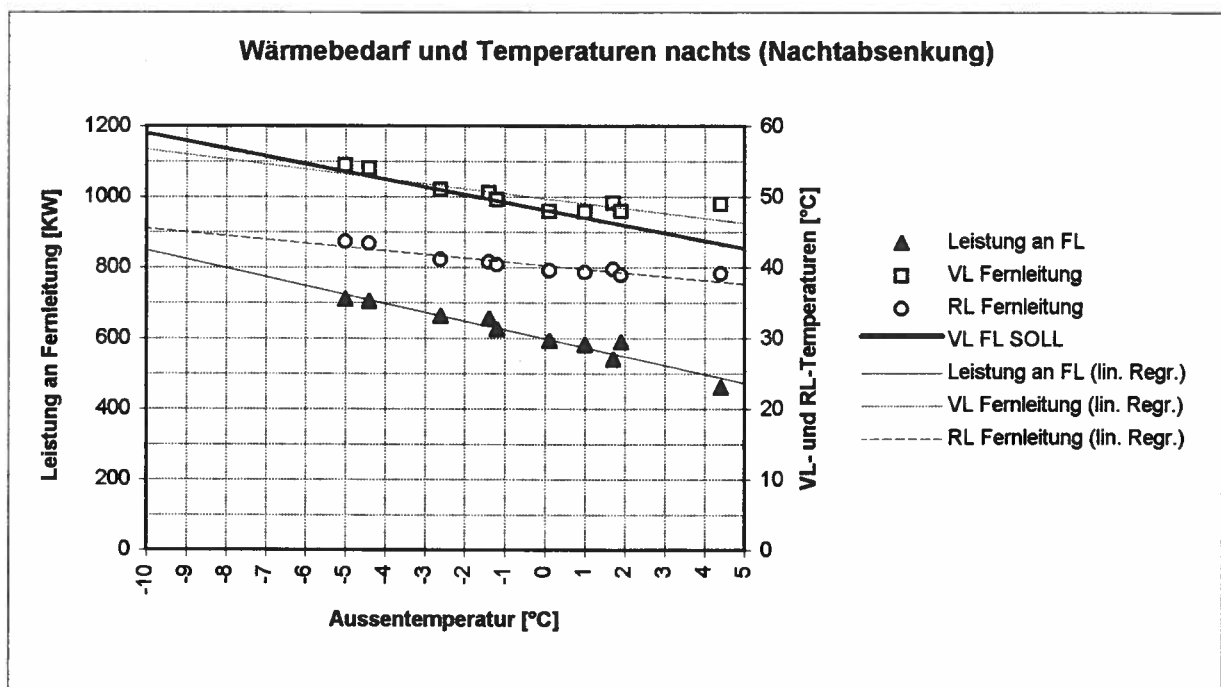


Bild 36: **Wärmebedarf und FL-Temperaturen nachts bei einer Nachtabsenkung um 8K.** Bedingt durch die Regelung der Abs.-WP (siehe Abschnitt (C4)) liegen die gemessenen VL-Temperaturen über der eingestellten Heizkurve für VL-Temperaturen unter 52°C. Der Wärmebedarf umfasst auch den Energiebedarf für das Warmwasser. Messwerte: Stundenmittelwerte. [netzchar.xls]

(C4) Die neue Regelstrategie

Basierend auf den soeben dargestellten Sachverhalten und Erkenntnissen wurde die Regelung grundlegend überarbeitet. Die wichtigsten in die Regelstrategie eingebauten Gedanken sind dabei

- möglichst tiefe FL-Temperaturen → Absenkung der Heizkurve der FL, zusätzlich Nachtabsenkung
- möglichst hoher Deckungsgrad der Abs.-WP → Abs.-WP ins Zentrum der Regelstrategie
- grösstmögliche Ausnutzung der Trägheit/Toleranz des "Mensch-Raumheizungs-Systems" → grosse Bandbreite der zulässigen FL-VL-Temperaturschwankungen
- möglichst wenige Kesselstarts

Konkret umfasst heute (April 96) die Regelung im wesentlichen die folgenden Anweisungen:

Generell:

- (1) Die **Hochhaltung** der Kühlwassereintrittstemperatur der Abs.-WP ist auf 40°C eingestellt.
- (2) Die **Anfahrregulierung** zur Begrenzung der Leistungsaufnahme durch den Austreiber fährt den Austreiberkreislauf in 25 min langsam auf 100% hoch (vgl. Bild 31).
- (3) Die Führungsgrösse bei der **Teillastregulierung** der Abs.-WP ist die FL-VL-Temperatur (bei Sollwerten für die FL-VL-Temperatur von über 51°C: → Führungsgrösse = konstant 51°C, bei Sollwerten unter 51°C: → Führungsgrösse = Sollwert gemäss Heizkurve).
- (4) Die **Wiedereinschaltung** der Abs.-WP erfolgt erst, wenn die Temperatur oben im technischen Speicher 46°C unterschritten hat und die FL-VL-Temperatur mindestens 3 K unter dem Sollwert liegt.
- (5) Die Abs.-WP wird **ausgeschaltet**, wenn die Kühlwassereintrittstemperatur 49°C erreicht.
- (6) Bei **Störungen der Elektro-WP in den Unterstationen**, während denen die FL auf 63°C hochgefahren wird (damit das WW über die Platten-WT erwärmt werden kann), wird die Abs.-WP gesperrt. (Früher Kurzeinschaltungen mit Energieabgabe ins Grundwasser.)

Winterbetrieb:

- (1) **Absenkung und Verflachung der Heizkurve der FL.** Bei tiefen Aussentemperaturen liegt der FL-VL bis maximal 5°C über den VL-Temperaturen der Heizgruppen der Blocks, bei höheren Aussentemperaturen, damit die Abs.-WP möglichst häufig in Betrieb gehen kann, jedoch leicht darunter. Dies bedingte eine zweimalige Knickung (Verflachung) der Heizkurve (vgl. Bild 35).
- (2) **Aussentemperatur-Mittelbildung** zur Bestimmung der Soll-FL-VL-Temperatur: Integrationszeit von 240 min auf 90 min verkürzt (Anpassung an Dynamik der (schlechten) Bauhülle).
- (3) **Nachtabsenkung des FL-VL** um 8 K von 22:00 bis 05:30 Uhr bei Aussentemperaturen unter 5°C (darüber Nachtabschaltung).
- (4) **Grosse Bandbreite für FL-VL-Temperatur.** Der Sollwert der FL-VL-Temperatur muss um 3 K unterschritten werden, bevor eine Zuschaltung eines Wärmeerzeugers erfolgt.
- (5) Die Kaskade der Wärmeerzeuger wird erst freigegeben, **wenn Heizungsanforderungen von mindestens 5 Blocks gleichzeitig** während mindestens 5 Minuten vorliegen. (Damit wird erreicht, dass nicht wegen einem einzigen Heizkreis, dessen Heizkurve vielleicht ein halbes Grad tiefer als die übrigen eingestellt ist, gleich die ganze Wärmeerzeugerkaskade freigegeben wird. Gleichzeitig können so die festgestellten, sporadisch auftretenden und bisher nicht erklärbaren falschen Heizbefehle abgefangen werden.)
- (6) **Bei Aussentemperaturen über 7°C arbeitet tags nur die Abs.-WP**, die übrigen Komponenten sind gesperrt (ausser im Fall von Störungen). Nachts ist die gesamte Kaskade der Wärmeerzeuger ausgeschaltet (Nachtabschaltung bei Aussentemperaturen über 5°C); fällt wegen Wärmebedarf der dezentralen Elektro-WP die FL-VL-Temperatur jedoch unter 20°C, wird die Abs.-WP gestartet, um das Netz wieder auf 50°C zu erwärmen (→ wie Sommerbetrieb).
- (7) **Bei Aussentemperaturen unter 3°C tags und unter -5°C nachts ist die Abs.-WP gesperrt.**
- (8) **Aussentemperaturabhängig verzögerte Zuschaltung der zweiten Kaskadenstufe** (WT Stufe 1, vgl. Bild 4, Seite 13)
- (9) **Aussentemperaturabhängig verzögerte Zuschaltung der dritten Kaskadenstufe** (grosser Kessel)

Sommerbetrieb:

- (1) Ausser bei Störungen ist *nur die Abs.-WP freigegeben*.
- (2) Die *FL-VL-Temperatur darf zwischen 20°C und 50°C* schwanken.
- (3) Die *Abs.-WP* wird *nur in Teillast* betrieben.

(C5) Resultate der Optimierung

Im folgenden werden für vier Tage mit unterschiedlichem Klima die erreichten Verbesserungen dargestellt, und zwar für einen

- Sommertag,
- Tag in der Übergangszeit Frühjahr/Herbst,
- milden Wintertag,
- kalten Wintertag.

Die wesentlichen Daten sind in der Tabelle 8 zusammengefasst, die nachfolgenden Grafiken illustrieren einige Details.

Saison	Beurteilungsgrösse	vor Optimierung	nach erster Optimierung
Sommertag	Datum	27.06.93	27.06.95
	Wärme an FL	2,49 MWh	1,01 MWh
	Wärme von Abs.-WP	2,49 MWh	1,01 MWh
	Heizzahl (exkl. Strom)	1,29	1,43
	Deckungsgrad	1,00	1,00
	Grafik	Bild 37 a	Bild 37 b
Übergangszeit	Datum	24.10.95	25.03.96
	Heizgradtage	11	16
	Tagesmitteltemperatur	9,3°C	4,5°C
	Wärme an FL	11,60 MWh	11,70 MWh
	Wärme von Abs.-WP	6,83 MWh	11,70 MWh
	Heizzahl (exkl. Strom)	1,35	1,52
	Deckungsgrad	0,59	1,00
	Grafik	Bild 38 a	Bild 38 b
Wintertag (mild)	Datum	8.11.95	16.03.96
	Heizgradtage	14	15
	Tagesmitteltemperatur	5,8°C	4,8°C
	Wärme an FL	18,57 MWh	18,00 MWh
	Wärme von Abs.-WP	5,63 MWh	11,50 MWh
	Heizzahl (exkl. Strom)	1,26	1,42
	Deckungsgrad	0,30	0,64
	Grafik	Bild 39 a	Bild 39 b
Wintertag (kalt)	Datum	30.01.96	12.03.96
	Heizgradtage	21	22
	Tagesmitteltemperatur	-0,6°C	-2,1°C
	Wärme an FL	24,11 MWh	23,20 MWh
	Wärme von Abs.-WP	-0,01 MWh	4,80 MWh
	Heizzahl (exkl. Strom)	-	1,30
	Deckungsgrad	0,00	0,21
	Grafik	Bild 40 a	Bild 40 b

Tabelle 8: Resultat der bisherigen Optimierungsbemühungen dargestellt für vier Tage unterschiedlichen Klimas [loptres.xls]

Sommertag:

Schwachstellen vor Optimierung (Bild 37a):

- FL wird immer auf rund 40°C gehalten.
- Die Abs.-WP deckt wohl den gesamten Energiebedarf (Deckungsgrad 1,0), schaltet jedoch in Anbetracht der kleinen Sommerlast mit 7 mal viel zu häufig ein und geht jedes Mal auf Vollast (Austreiberdurchfluss 95 m³/h). Folge: niedrige Heizzahl.

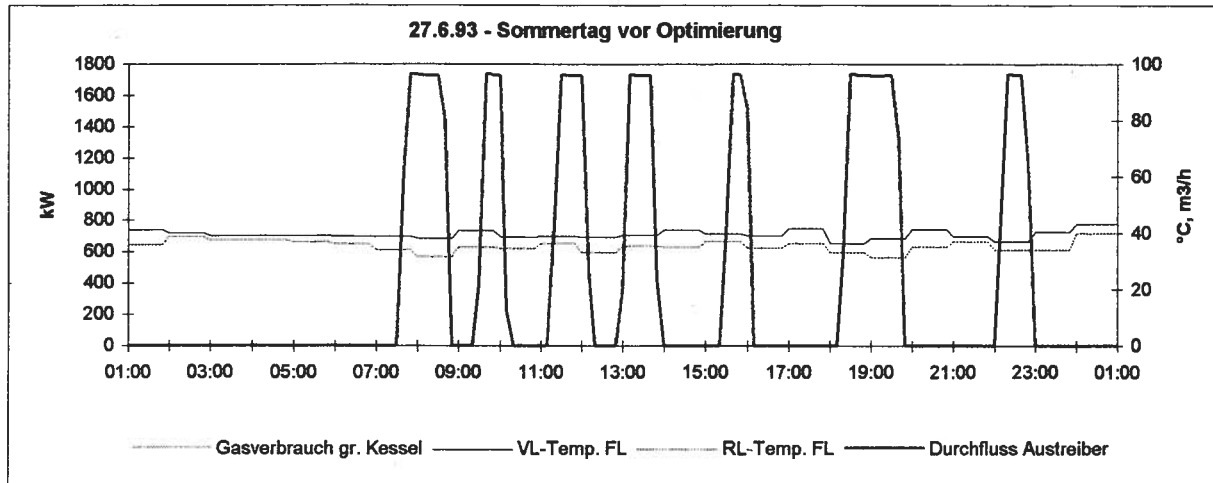


Bild 37a: **Sommertag vor Optimierung.** Erläuterungen siehe Text.

Messwerte: Durchfluss 10 Minuten-Mittelwerte, Temperaturen Stundenmittelwerte. [270693c.xls]

Zustand nach Optimierung (Stand April 96) (Bild 37b):

- FL wird als Puffer genutzt und wird bis 18°C ... 20°C durch die Elektro-WP der UST ausgekühlt, bevor die Abs.-WP wieder einschaltet.
- Im Durchschnitt schaltet die Abs.-WP noch 1,5 mal pro Tag ein. Bedingt durch die kleine Last arbeitet sie ausschliesslich im Teillastbetrieb (Austreiberdurchfluss 48 m³/h). Laufzeit pro Start 1 bis 1½ h.

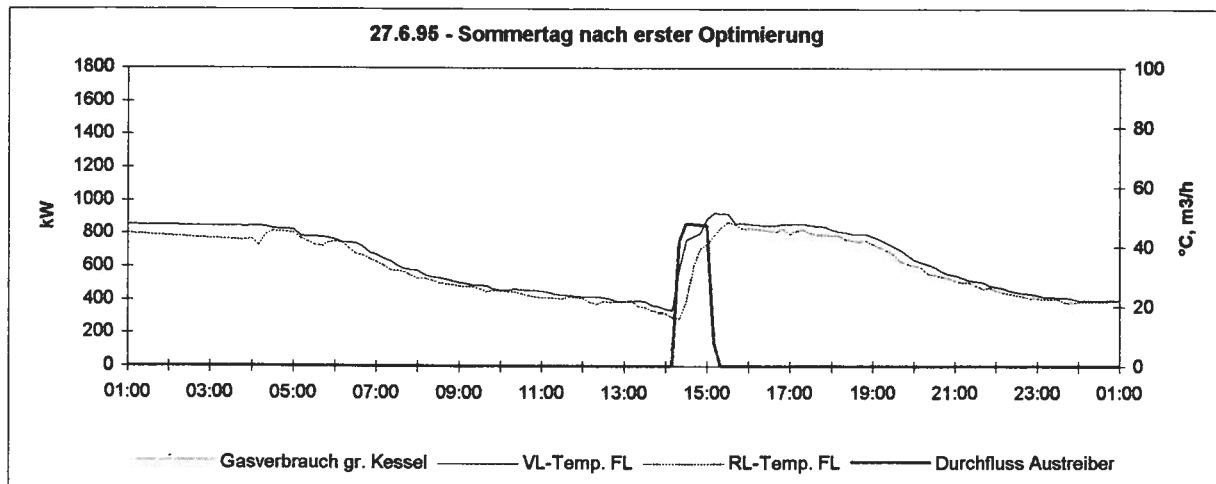


Bild 37b: **Sommertag nach Optimierung.** Erläuterungen siehe Text.

Messwerte: 10 Minuten-Mittelwerte. [270695c.xls]

Tag der Übergangszeit:

Schwachstellen vor Optimierung (Bild 38a):

- Für die gegebene Aussentemperatur zu hohe VL-Temperatur der FL und zu häufiger Kesselbetrieb. (Um Kurzeinschaltungen des Kessels zu vermeiden, wird er in der Übergangszeit in der Betriebsart "MANUELL" betrieben, womit seine Leistung auf das Minimum begrenzt ist.)
- Zum Teil nur sehr kurze Einschaltungen der Abs.-WP.
- In Anbetracht des milden Wetters sehr tiefer Deckungsgrad (0,59) und niedrige Heizzahl (1,35).

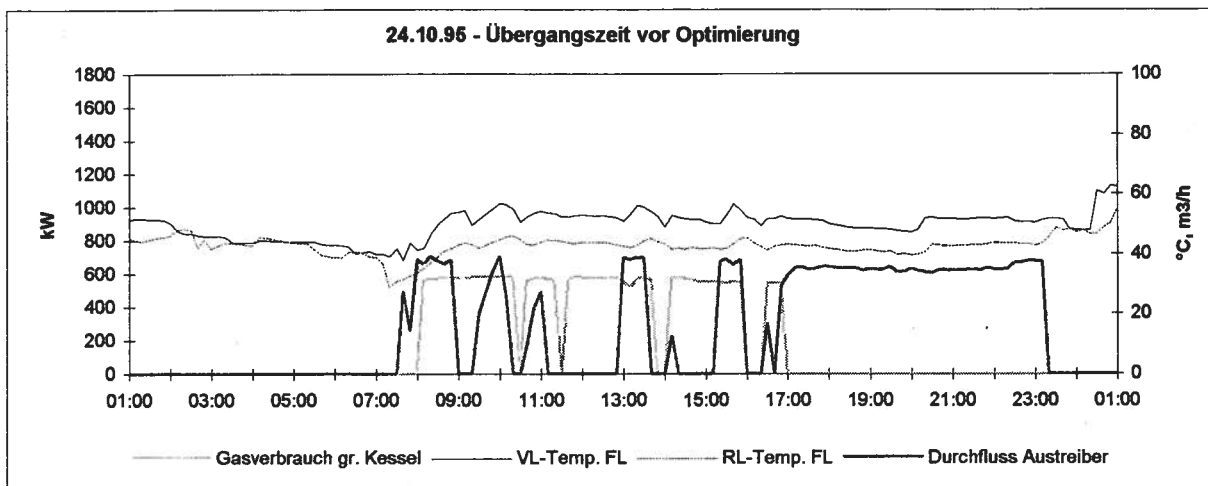


Bild 38a: **Tag der Übergangszeit vor Optimierung.** Erläuterungen siehe Text.
Messwerte: 10 Minuten-Mittelwerte. [241095c.xls]

Zustand nach Optimierung (Stand April 96) (Bild 38b):

- Nach Absenkung der Heizkurve der FL um rund 6 K tiefere FL-VL-Temperaturen.
- Der gesamte Wärmebedarf wird durch die Abs.-WP erbracht (Deckungsgrad 1,0). Zu Beginn des Morgens, bis das FL-Netz nach der Nachtabschaltung wieder auf Soll-Temperatur ist, arbeitet die Abs.-WP auf Vollast, anschliessend fährt sie auf eine niedrige Teillast hinunter. Sehr gute Heizzahl von 1,52.
- Obwohl die Tagesmitteltemperatur mit 4,5°C deutlich unter der des Vergleichstages (9,3°C) liegt, ist die Energieabgabe an beiden Tagen annähernd gleich gross.

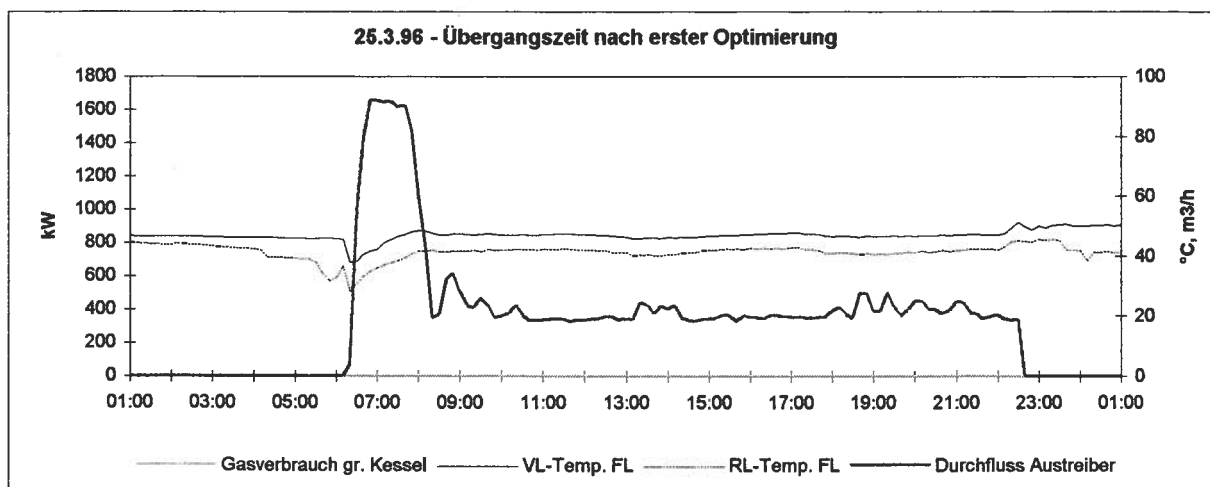


Bild 38b: **Tag der Übergangszeit nach Optimierung.** Erläuterungen siehe Text.
Messwerte: 10 Minuten-Mittelwerte. [250396c.xls]

Milder Wintertag (Tagesmitteltemperatur > 0°C):

Schwachstellen vor Optimierung (Bild 39a):

- Für die gegebene Aussentemperatur zu hohe VL-Temperatur der FL. Als Folge schaltet die Abs.-WP, obwohl die Aussentemperatur seit 12:00 Uhr bei 10°C liegt (nicht auf Grafik eingezeichnet), erst sehr spät um 14:40 Uhr ein.
- Keine Nachtabsenkung der FL.
- Viele Einschaltungen der Abs.-WP (vor allem nachts). Immer nur Teillast.
- Sehr viele Kesselanläufe, häufig nur kurze Laufzeiten, häufig gleichzeitig mit Abs.-WP in Betrieb (Konkurrenzierung, z.B. am Nachmittag).

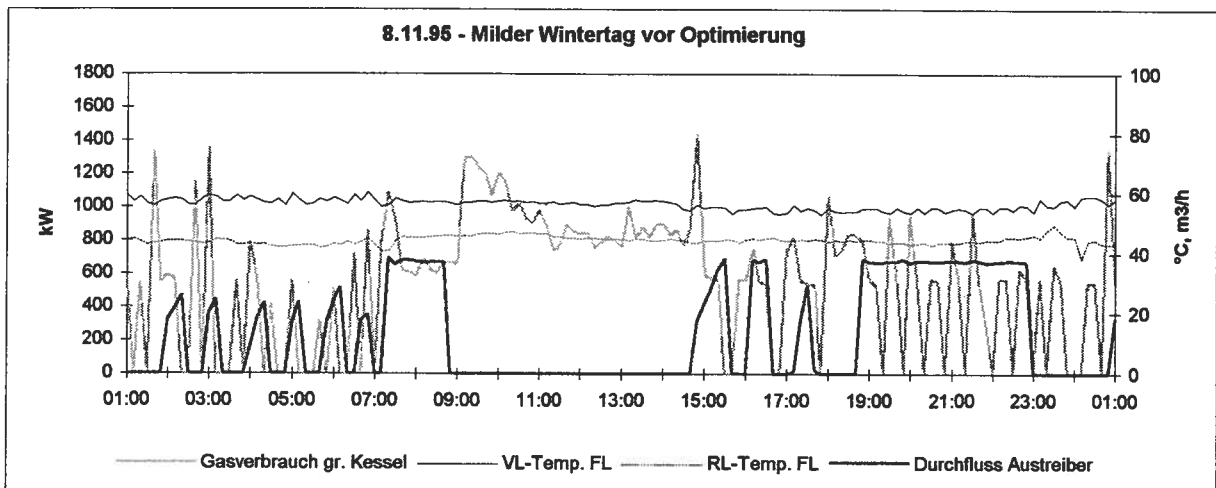


Bild 39a: **Milder Wintertag vor Optimierung (Tagesmitteltemperatur 5,8°C)**. Erläuterungen siehe Text. Messwerte: 10 Minuten-Mittelwerte. [081195c.xls]

Zustand nach Optimierung (Stand April 96) (Bild 39b):

- Tiefer eingestellte Heizkurve mit zusätzlich einer Nachtabsenkung um 8 K der FL ermöglicht, dass nachts der gesamte Wärmebedarf durch die Abs.-WP (in Teillast) allein erbracht werden kann. Am frühen Morgen Hochfahren auf Vollast zur Aufheizung der FL auf Tagestemperatur.
- Der Kessel arbeitet am Morgen allein, da die Abs.-WP die für die herrschende Aussentemperatur von 0°C nötige VL-Temperatur von 56°C nicht zu leisten vermag. Verbesserungsfähig sind noch die Kurzeinschaltungen am Mittag.
- Deckungsgrad der Abs.-WP mehr als doppelt so hoch wie beim Vergleichstag (0,64 gegenüber 0,30), Heizzahl um 13% besser (1,42 gegenüber 1,26).

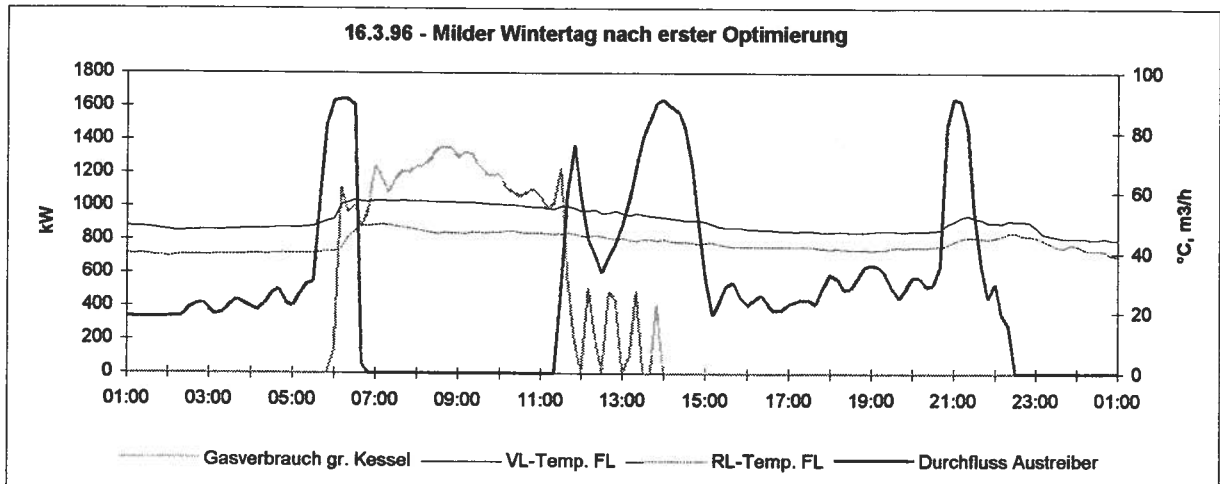


Bild 39b: **Milder Wintertag nach Optimierung (Tagesmitteltemperatur 4,8°C)**. Erläuterungen siehe Text. Messwerte: 10 Minuten-Mittelwerte. [160396c.xls]

Kalter Wintertag (Tagesmitteltemperatur < 0°C):

Schwachstellen vor Optimierung (Bild 40a):

- Zu hohe FL-VL-Temperatur, keine Nachtabsenkung.
- Abs.-WP kommt nicht in Betrieb mit Ausnahme einer Kurzeinschaltung um 06.30 Uhr, während welcher Energie ins Grundwasser abgegeben wird! (nicht aus Grafik ersichtlich).

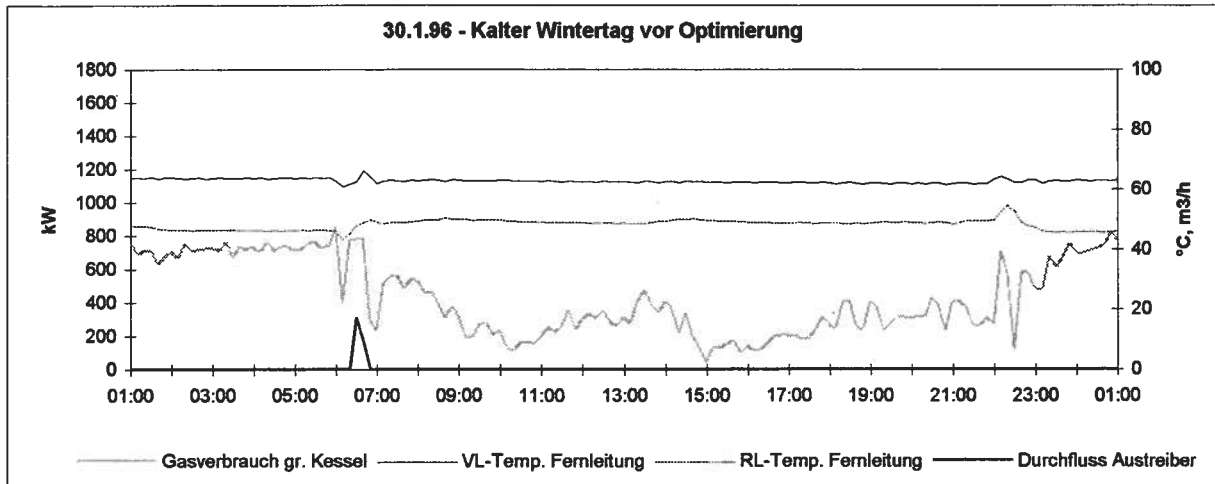


Bild 40a: Kalter Wintertag vor Optimierung (Tagesmitteltemperatur -0,6°C). Erläuterungen siehe Text. Messwerte: 10 Minuten-Mittelwerte. [300196c.xls]

Zustand nach Optimierung (Stand April 96) (Bild 40b):

- Tiefer eingestellte Heizkurve mit zusätzlicher Nachtabsenkung um 8 K.
- Von 01:00 Uhr bis 06:00 Uhr arbeitet nur die Abs.-WP. Tagsüber wegen zu tiefer Aussentemperatur resp. zu hoher FL-VL-Temperatur Kesselbetrieb. Nachts nach 22:00 Uhr (Nachtabsenkung) läuft die Abs.-WP wieder an, muss allerdings wegen der geforderten VL-Temperatur von über 51°C vom Kessel unterstützt werden, was beim begrenzten Leistungsbedarf des FL-Netzes zu relativ kurzen Ein- und Ausschaltperioden von beiden Einheiten führt. Heizzahl mit 1,30 entsprechend niedrig, aber in Betracht der tiefen Aussentemperatur befriedigend.
- Obwohl mit einer Tagesmitteltemperatur von -2,1°C deutlich kühler als der Vergleichstag (-0,6°C), ist die an die FL abgegebene Energie leicht geringer.

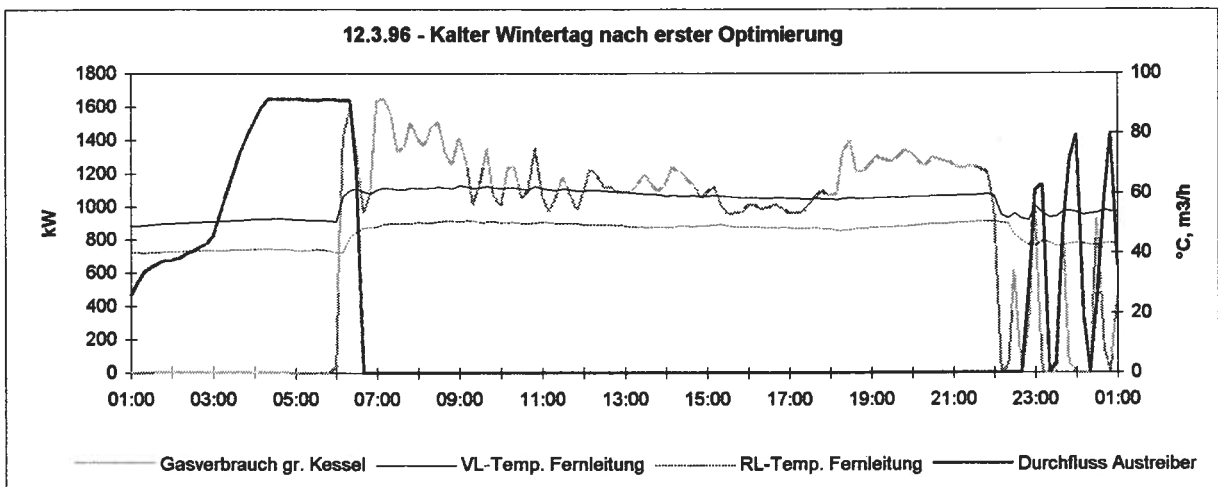


Bild 40b: Kalter Wintertag nach Optimierung (Tagesmitteltemperatur -2,1°C). Erläuterungen siehe Text. Messwerte: 10 Minuten-Mittelwerte. [120396c.xls]

Während die dargestellten vier Vergleichstage die erreichten Verbesserungen im Detail zeigen, ist letztlich erst ein Monats- und Jahresvergleich eine aussagekräftige Erfolgskontrolle. Dazu stehen vorläufig nur die Monate März und April zur Verfügung, wobei im März 96 und etwas weniger stark im April 96 die Optimierungsarbeiten noch im Gang waren. Trotzdem sind die erzielten Verbesserungen augenfällig:

		März			April		
		94	95	96	94	95	96
Heizzahl Abs.-WP (exkl. Strom)	-		1,13	1,34		1,29	1,35
Deckungsgrad	-	0	0,12	0,49	0	0,39	0,78
Gesamtwirkungsgrad der Zentrale (inkl. Strom Abs.-WP)	-	1,02	1,04	1,05	0,95	1,06	1,25
an FL abgegebene Wärme	MWh	383,9	556,0	541,2	407,8	336,8	317,5
HGT	-	285	483	558	330	265	210

(D) Vergleich mit Nenndaten

Da die Leistung und Heizzahl einer Abs.-WP von mehreren, im praktischen Betrieb nicht beeinflussbaren Parametern (z.B. Grundwassertemperatur) abhängt, ist ein Vergleich zwischen Ist- und Nenndaten nur annäherungsweise möglich.

Für eine Kühlwassereintrittstemperatur von 46°C gibt York eine Leistung von 870 kW und eine Heizzahl von 1,53 an. Die bei dieser Temperatur ermittelten Werte betragen (siehe Grafik 41):

Leistung: 920 kW +/- 46 kW,
d.h. leicht über der Nennleistung

Heizzahl: 1,47 +/- 0,07,
d.h. unter Berücksichtigung der Unsicherheit knapp die Nennheizzahl erreichend

Diese Werte gelten für folgende Parameter:

Grundwassereintrittstemperatur:	effektiv	11,9°C;	Nennwert	10°C
Grundwasseraustrittstemperatur:		8,5°C;		6°C
Grundwasserdurchfluss:		68,5 m ³ /h;		64,5 m ³ /h
Austreibereintrittstemperatur:	effektiv	114°C;	Nennwert	115°C
Austreiberaustrittstemperatur:		108°C;		109°C
Austreiberdurchfluss:		91,2 m ³ /h;		87,2 m ³ /h
Kühlwasseraustrittstemperatur:		49,3°C		49°C
Kühlwasserdurchfluss:		248 m ³ /h;		249 m ³ /h

Während die gegenüber dem Nennwert höhere Grundwassereintrittstemperatur einen die Leistung und die Heizzahl erhöhenden Einfluss hat, wirkt die tiefere Austreibereintrittstemperatur gegenläufig. Unter Berücksichtigung der Messunsicherheit dürfte es zulässig sein zusammenfassend zu folgern, dass **die Abs.-WP die Nennleistung erbringt**, wenn auch nur knapp.

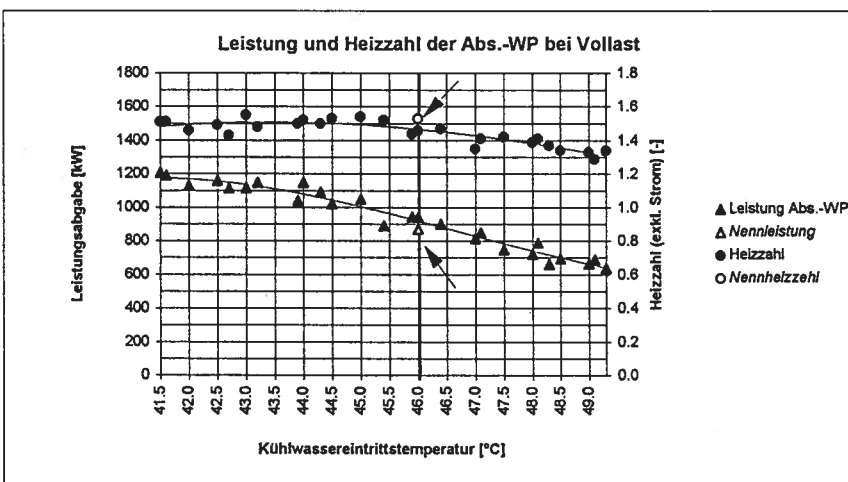


Bild 41: **Leistung und Heizzahl:** Vergleich der gemessenen Werte mit Nenndaten (Hinweispeile). Für Erläuterung der Randbedingungen siehe Text. [Neist.xls]

(E) Fuzzy Logic-Regelung

Um einen möglichst hohen Deckungsgrad und eine gute Heizzahl der Abs.-WP und damit eine möglichst grosse Endenergieeinsparung zu erreichen, sind vor allem niedrige FL-Temperaturen im Winterbetrieb und eine die einzelnen Komponenten optimal einsetzende Regelung Voraussetzung. Bei einer Anlage mit Komponenten mit so unterschiedlichen Charakteristiken wie Abs.-WP, Elektro-WP, Heizkessel einerseits und Energiebezüger für Raumheizung und WW andererseits wäre eine auf **Fuzzy Logic** basierende Regelung wahrscheinlich von Vorteil. Mit einer Fuzzy Logic-Regelung muss der zu regelnde Prozess - im Gegensatz zu einer konventionellen Regelung - mathematisch nicht exakt beschrieben werden. Die Fuzzy Logic-Regelung wäre daher für Vorgänge mit zum Teil unvorhersehbaren Ereignissen, wie sie in einem in der Überbauung "Im Bilander" eingesetzten System auftreten (z.B. Energieabgabe ins Grundwasser), gut geeignet.

(F) Konkurrenzierung der Abs.-WP durch Rekuperatoren

Beide Kessel sind mit Rekuperatoren ausgerüstet, die eine erste Temperaturerhöhung des FL-Rücklaufs (rund 1 K) bewirken. Erst nachfolgend kommt die in Serie zu den Rekuperatoren geschaltete Abs.-WP zum Zug (siehe Bild 30, Seite 47). Diese Einbindung ist optimal unter dem Aspekt der Rauchgaswärmerückgewinnung, hat aber den Nachteil, dass die Heizzahl der Abs.-WP beeinflusst wird (meist negativ, vgl. Bild 32, Seite 50) und die maximal zulässige Kühlwassereintrittstemperatur (49°C) schneller erreicht und die Abs.-WP damit ausgeschaltet wird. Aus exergetischer Sicht wäre es deshalb von Vorteil, bei gewissen Betriebszuständen den Rücklauf der Rekuperatoren **nach** der Abs.-WP (jedoch vor dem Eintritt der Kesselvorläufe) in den FL-Vorlauf einzuführen. Und zwar bei

- (a) FL-RL-Temperatur $\geq 45^{\circ}\text{C}$, wenn Alleinbetrieb der Abs.-WP;
- (b) allen FL-RL-Temperaturen, wenn gleichzeitig Kessel- und Abs.-WP-Betrieb.

(G) Noch ausstehende Optimierungsmaßnahmen

Obwohl die Anlage als gesamtes und die Abs.-WP im speziellen heute gut arbeiten, sind im Rahmen einer Feinoptimierung noch ein paar Verbesserungen angezeigt.

- (1) Betriebszustände, bei welchen die Abs.-WP Energie ins Grundwasser abgibt, ausschliessen (vgl. Kapitel (C1), Punkt (10)).

Lösungsansatz: (a) Dynamik von Absorber/Verflüssiger- und Verdampferkreislauf während Anfahrphase besser aufeinander abstimmen, indem der Kühlwasserdurchfluss beeinflusst wird.

- (b) Betriebszustände mit Minimallast bei hohen Kühlwassereintrittstemperaturen von um 49°C vermeiden, indem die Maschine rechtzeitig ausgeschaltet wird und Ein-/Aus-Betrieb mit möglichst grosser Schwankungsbreite der FL-VL-Temperatur gefahren wird.

- (2) Takten des Brenners des Heisswasserkessels bei kleiner Last der Abs.-WP (vor allem nachts bei Aussentemperaturen zwischen 0°C und 5°C und nachmittags bei 10°C bis 15°C) vermindern oder ganz vermeiden.

Lösungsansatz: (a) Nachtabschaltung auch bei Aussentemperaturen unter 5°C . Wiedereinschaltung am Morgen aussentemperaturabhängig vorgezogen. Netzaufheizung ausschliesslich durch Abs.-WP.

- (b) Tags bei warmem Wetter FL-Temperatur in breiterem Band schwanken lassen (mindestens Abweichungen vom Sollwert von 5 K zulässig)

- (3) Regelung des grossen Kessels besser an momentanen Leistungsbedarf anpassen, um bei Schwachlast weniger Einschaltungen zu erhalten.

Lösungsansatz: In Zusammenarbeit mit ELCO zu erarbeiten (Kesselsteuerung nicht Teil des DDC-Systems der Zentrale).

- (4) Bestimmung des optimalen Austreiberdurchflusses für den Sommerbetrieb.

Lösungsansatz: Versuche mit Austreiberdurchflüssen zwischen 30 und $50 \text{ m}^3/\text{h}$ fahren.

(5) Senkung der Hochhaltetemperatur (Begründung siehe Kapitel 10).

Lösungsansatz: Senkung um 2 K

Anpassung der Regelcharakteristik des Hochhalteventils (unter Berücksichtigung von Vorschlag (1))

- Erkenntnisse:**
- Die Abs.-WP als Komponente arbeitete von Beginn an zuverlässig. Die entstandenen Probleme sind einzig auf die hydraulische und regeltechnische Einbindung zurückzuführen.
 - Regeltechnische Einbindung: Eine Abs.-WP ist ein träges System mit klar vorgegebenen Temperatur- und Durchflussbedingungen. Die Abs.-WP hat deshalb im Zentrum der Regelstrategie zu stehen.
 - Hydraulische Einbindung: Eine Abs.-WP benötigt eine minimale Eintrittstemperatur in den Absorber/Verflüssiger (Kühlwasserkreis). Bei variablen Heizungsrücklauf-temperaturen, wie dies in der Überbauung „Im Bilander“ der Fall ist, ist somit eine Temperaturhochhaltung erforderlich.
 - Rekuperatoren und Abs.-WP konkurrenzieren sich zeitweise. Aus exergetischer Sicht sollte der Vorlauf der Rekuperatoren bei gewissen Betriebszuständen nach der Abs.-WP in den FL-Vorlauf eingeführt werden.
 - Die Steuerung/Regelung der Gesamtanlage kann nur dann energiesparsam funktionieren, wenn die spezifischen Eigenheiten der Subsystem Abs.-WP, Kessel und Wärmebezügler genau bekannt sind (inkl. Wärmebedarfskurven, Wirkungsgradkurven). Dies gilt zumindest für eine digitale Steuerung/Regelung. Dem komplexen Systemverhalten angepasster wäre wahrscheinlich eine Fuzzy Logic-Regelung.
 - Die gemessene Leistung und Heizzahl der Abs.-WP entsprechen den von der Lieferfirma angegebenen Nennwerten.
 - Für die Erreichung des Sanierungsziels ist vor allem der Winterbetrieb mit dem grossen Wärmebedarf ausschlaggebend. Für diese Periode ist die Leistung der Abs.-WP gut ausgelegt.
 - Bedingt durch die begrenzte Modulationsbreite des Heisswasserkessels kann die Fähigkeit der Abs.-WP, bis auf 10% Leistung hinunterzufahren, nicht genutzt werden. Dies ist letztlich kein Nachteil, sofern die Regelung die daraus resultierenden Folgen berücksichtigt, da die Heizzahl bei Minimalleistung sowieso weniger gut als bei einer mittleren Leistung ist.
 - Die Tagesheizzahlen des Winterbetriebs liegen zwischen 1,3 und 1,45 (ohne Strom). Höhere Werte sind bei den heute erforderlichen hohen VL-Temperaturen der FL nicht möglich.
 - Für den Sommerbetrieb weist die Abs.-WP eine zu grosse Leistung auf (auch wenn sie den gesamten Leistungsregelungsbereich bis auf 10% hinunter ausnützen könnte). Dadurch werden nie stabile Temperaturverhältnisse erreicht. Die gemessenen Tagesheizzahlen sind durch Nutzung der Speicherkapazität des gesamten FL-Netzes (Temperaturschwankungsbreite 20°C bis 50°C) mit 1,42 bis 1,45 (ohne Strom) trotzdem befriedigend.
 - Über die Jahresheizzahl können noch keine durch Messungen abgesicherte Aussagen gemacht werden. Gemäss Hochrechnung von Kapitel 7.2.2 resp. Anhang 10.1 sollte die Jahresarbeitszahl (inkl. Strom) bei etwa 1,38 liegen.
 - Ausschlaggebender als die Heizzahl ist der Deckungsgrad für eine möglichst grosse Endenergieeinsparung. Hier sind im Rahmen einer Feinoptimierung der Gesamtanlage noch Verbesserungen möglich.

7.4.4 Kessel, Rekuperatoren, Sauerstoffregulierung

Bei den beiden installierten Kesseln handelt es sich um Ygnis Low-NOx Kessel des Typs Pyronox LNK mit integrierten Rekuperatoren und ausgerüstet mit modulierenden Elco Brennern. Der grosse Kessel weist eine Nennleistung von 1'865 kW (ohne Rekuperator) auf und kann sowohl mit Gas als auch mit Öl betrieben werden. Der vor allem für die Abs.-WP zuständige Heisswasserkessel hat eine Nennleistung ohne Rekuperator von 935 kW und arbeitet nur mit Gas. Die Rekuperatoren sind auf 230 kW resp. 65 kW ausgelegt.

Die Kesselanlage läuft heute zuverlässig. Die Bedingungen der Luftreinhalteverordnung konnten nach anfänglichen Einregulierungsschwierigkeiten bei den Abnahmemessungen problemlos eingehalten werden.

Nutzungsgrade

Die vorhandene Instrumentierung lässt genauere Nutzungsgradaussagen nur für den grossen Kessel zu. Tabelle 9 fasst die relevanten Daten für den Winter 93/94 zusammen:

		Nov 93	Dez 93	Jan 94	Feb 94	Mär 94	Apr 94	Mai 94	Gesamtperiode
Laufzeit mit Öl	h	0	0	0	306	39	129	7	481
Laufzeit mit Gas	h	529	388	508	72	15	0	116	1'628
Ölverbrauch	MWh Hu	0.0	0.0	0.0	354.8	50.7	147.5	12.1	565
Gasverbrauch	MWh Hu	557.4	414.2	548.6	65.9	16.7	0.0	82.9	1'686
Totalverbrauch fossil	MWh Hu	557.4	414.2	548.6	420.7	67.4	147.5	95.0	2'251
davon Öl	%	0.0%	0.0%	0.0%	84.3%	75.2%	100.0%	12.7%	25.1%
Wärmeabgabe ohne Rekuperator	MWh	509.2	377.4	499.7	374.4	59.0	129.2	87.8	2'037
Wärmeabgabe Rekuperator	MWh	28.3	25.8	30.2	13.6	2.8	4.4	3.9	109
Wärmeabgabe total	MWh	537.5	403.2	529.9	388.0	61.8	133.6	91.7	2'146
davon Rekuperator	%	5.3%	6.4%	5.7%	3.5%	4.5%	3.3%	4.3%	5.1%
Nutzungsgrad ohne Rekuperator	-	0.91	0.91	0.91	0.89	0.88	0.88	0.92	0.90
Nutzungsgrad mit Rekuperator	-	0.96	0.97	0.97	0.92	0.92	0.91	0.97	0.95

Tabelle 9: Nutzungsgrad grosser Kessel, Messwerte Winter 93/94

Der gemessene, auf H_u bezogene Nutzungsgrad hängt primär vom Brennstoff ab:

- reiner Gasbetrieb, ohne Rekuperator: 0,91
mit Rekuperator: 0,97
- reiner Ölbetrieb, ohne Rekuperator: 0,88
mit Rekuperator: 0,91

Gas führt nicht nur zu einem um 3% besseren Kesselnutzungsgrad gegenüber Ölbetrieb, sondern auch zu einer grösseren Ausnutzung der Abgaswärme. Bei Gasbetrieb findet Kondensation der Abgase schon bei höheren Rücklauftemperaturen statt, was zu einer um den Faktor 1,8 bessere Energieausnutzung durch den Rekuperator führt als bei Verwendung von Öl. Der Nutzungsgrad des Kessels inkl. Rekuperator ist im Gasbetrieb um 7% höher als wenn Öl verbrannt wird. Zudem ist die Modulationsbreite bei Gasbetrieb (100% → 30%) grösser als bei Fahren mit Öl (100% → 50%).

Mit verantwortlich für den guten Nutzungsgrad des grossen Kessels ist die Sauerstoffregulierung. Durch sie wird das Brennstoff-Luft-Gemisch so gesteuert, dass der Restsauerstoff in den Abgasen möglichst konstant niedrig bleibt. Die gemessenen Werte bewegen sich sowohl bei Öl als auch bei Gas in engen Grenzen zwischen 3,0 und 4,2%, wobei die Schwankungen bei Gasbetrieb leicht grösser sind.

7.4.5 Technischer Speicher

Der technische Speicher von 10 m³ soll den mit hohem Durchfluss (249 m³/h) betriebenen Kühlwasserkreislauf stabilisieren. Als grossvolumiger Bypass übernimmt er vor allem die Funktion einer hydraulischen Entkopplung des mit konstantem Durchfluss gefahrenen Kühlwasserkreislaufs vom mit variablem Volumenstrom betriebenen FL-Netz. Eine Energiepufferfunktion, obwohl wünschenswert, um längere Laufzeiten für die Abs.-WP zu erhalten, kann der Speicher mit nur 10 m³ Inhalt nicht übernehmen. Die Pufferkapazität bei einem Delta-T von 24 K beträgt lediglich 280 kWh. Diese Energiemenge hat die Abs.-WP bei Nennleistung in rund 20 min erbracht. Ursprünglich wurde die Idee geprüft, einen der überzähligen Öltanks zu einem Pufferspeicher umzubauen. Aus Kostengründen musste auf eine Realisierung verzichtet werden.

7.4.6 Stromverbrauch der Heizzentrale

Während im Zwischenbericht vom Juli 94 noch festgehalten werden musste, dass der Stromverbrauch der Heizzentrale (ohne Berücksichtigung der Abs.-WP) im Vergleich mit dem Verbrauch vor der Sanierung praktisch gleich hoch geblieben war - obwohl bei der Sanierung der Zentrale grosses Gewicht auf Technologien mit hohem Wirkungsgrad und stromsparenden Auswirkungen (Inline-Pumpen, Drehzahlregelungen) gelegt wurde - sank 1994/95 der Stromverbrauch der Zentrale deutlich. Nachdem die diversen Anfangsschwierigkeiten (grösstenteils) behoben sind, zeigt nun die moderne, stromsparsamere Technologie ihre Vorzüge. Der wieder ansteigende Stromverbrauch des folgenden Jahres (1995/96) ist auf die viel kühlere Witterung zurückzuführen.

	Sommer Mai-Sept. kWh	%	Winter Okt.-April kWh	%	Jahr Mai-April kWh	%	HGT -
1990/91 (vor Sanierung)	25'589	100	56'478	100	82'067	100	3'180
1993/94 (nach Sanierung, noch diverse Störungen)	34'248	134	47'065	83	81'313	99	3'156
1994/95 (nach Sanierung, Anfangsstörungen behoben)	15'157	59	53'897	95	69'054	84	3'056
1995/96	25'319	99	60'750	108	86'069	105	3'380

Tabelle 10: Stromverbrauch Heizzentrale vor der Sanierung und heute, ohne Strom Abs.-WP

Sehr ausgeprägt ist der Rückgang des Stromverbrauchs im Sommer 1994 gegenüber dem ursprünglichen Verbrauch (- 41%). Dies ist vor allem auf die Drehzahlregelung und die Abschaltsteuerung der Fernleitungspumpen zurückzuführen. Werden nur die Monate Juli und August betrachtet (reiner Sommerbetrieb), bleibt der Stromverbrauch auch für den folgenden Sommer (1995) niedrig:

Juli/August 1990	(vor Sanierung)	9'775 kWh	100%
Juli/August 1994		4'166 kWh	43%
Juli/August 1995		4'632 kWh	47%

7.4.7 Gesamtnutzungsgrad der Heizzentrale

In der Tabelle 11 sind die wichtigsten gemessenen Jahresdaten der Heizzentrale zusammengefasst:

		1992	%	1993	%	1994	1995
Brennstoffverbrauch total (Hu)	MWh	5'115	100%	4'379	100%	3'875	3'986
davon Gas	MWh	1'493	29%	3'539	81%	3'294	3'966
Öl	MWh	3'622	71%	841	19%	580	20
Stromverbrauch total	MWh	79.426	100%	99.315	100%	83.192	111.477
davon Abs.-WP (Umwälzpumpen)	MWh	0.000	0%	9.600	10%	14.900	33.200
Wärme an Netz total	MWh	NV	NV	3696 ¹⁾	100%	3'920	4'222
davon grosser Kessel	MWh	NV	NV	2619	71%	2'146	2'802
kleiner Kessel (errechnet)	MWh	NV	NV	845	23%	1'374	348
Abs.-WP	MWh	NV	NV	232 ²⁾	6%	400	1'072
Nutzungsgrad Gesamtanlage							
nur in Bezug auf Brennstoffe und Strom für Abs.-WP	-	NV		0.99 ¹⁾	100%	1.01	1.05
inkl. Strom für alle Pumpen und Steuerung	-	NV		0.97 ¹⁾	98%	0.99	1.03
HGT 12/20 ³⁾	-	3'267		3'250		2940	3'224

1) nur Feb. - Dez.; 2) nur Versuchsbetrieb; 3) Durchschnitt von SMA Zürich und Basel; NV = nicht verfügbar

Tabelle 11: Jahresdaten

Der für das Jahr 1993 ermittelte, auf H_U bezogene Gesamtnutzungsgrad der Zentrale von 0,99 (ohne Strom für Hilfsantriebe resp. 0,97 mit Strom für Hilfsantriebe) stellt unter Berücksichtigung, dass die Abs.-WP nur 6% an die Wärmelieferung beitrug und dies im Versuchsbetrieb mit schlechtem Wirkungsgrad, einen sehr guten Wert dar. Dass 1994 nicht ein wesentlich besserer Gesamtnutzungsgrad gemessen werden konnte, liegt darin begründet, dass nach wie vor die Abs.-WP nur wenig (Jahresdeckungsgrad 10%) und mit Ausnahme des Juli und August 94 mit einer niedrigen Heizzahl lief. Die Werte für 1995 widerspiegeln die Optimierungsbemühungen, die für den Sommerbetrieb mehr oder weniger abgeschlossen sind, nicht jedoch für den Winterbetrieb.

Erkenntnisse:

- Die Heizzentrale arbeitet in der konventionellen Betriebsart (d.h. ohne Abs.-WP) mit einem sehr guten Gesamtnutzungsgrad.
- Der Jahresdeckungsgrad für die Abs.-WP von 26% war auch 1995 noch weit von den für die Erreichung des Sanierungsziels erforderlichen 75% entfernt.

8. Beurteilung des Anlagenkonzepts unter dem Aspekt Endenergieverbrauch und Nutzungsgrad des Abs.-WP-Heisswasserkessel-Systems

Ziel des in der Überbauung "Im Bilander" realisierten Sanierungskonzepts war ein niedriger Endenergieverbrauch. Dies sollte vor allem durch die drei zentralen Konzeptkomponenten

- **Umweltenergie nutzende, hauptsächlich mit fossiler Energie angetriebene Abs.-WP,**
- **gemeinsame Fernleitung für Heizung und WW mit im Sommer tiefem Temperaturniveau,**
- **dezentrale Elektro-WP zur Anhebung der WW-Temperatur**

erreicht werden.

Im Zusammenhang mit dem Endenergieverbrauch stellen sich nun drei Fragen:

1. Was bedeutet der Strommehrverbrauch der Elektro-WP der UST für den Gesamtendenergiebedarf unter Berücksichtigung der Strombereitstellung?
2. Was bringt die Abs.-WP in Bezug auf den gesamten Endenergieverbrauch?
3. Wie sinnvoll ist die "kalte" FL bezüglich des Totalendenergieverbrauchs?

Zur Frage 1: Einfluss des Strommehrverbrauchs der Elektro-WP der UST

Wie in Kapitel 7.2.2 dargestellt, können, wenn die Abs.-WP ganzjährig in Betrieb sein wird, 54% des früheren Endenergieverbrauchs eingespart werden. Dies allerdings bei einem gegenüber früher höheren Stromverbrauch (Elektro-WP der UST). Wird der Stromverbrauch ebenfalls auf fossile Endenergie umgerechnet und von einem neuen Gaskraftwerk ausgegangen (mit einem Kraftwerkswirkungsgrad von 0,58), reduziert sich die Einsparung, allerdings nur leicht auf 52% (Tabelle 12). **Das Anlagenkonzept vermag unter dem Aspekt Endenergieverbrauch zu bestehen.**

		Endenergie ¹⁾			Endenergie fossil
		Öl und Gas	Strom	Total	(inkl. Kraftwerk- η ²⁾) Total
Vor Sanierung	MWh/a	6'802	82	6'884	7'030
Nach Sanierung	MWh/a	2'969	215	3'184	3'340
Einsparung	%			54%	52%

1) gemäss Hochrechnung von Kapitel 7.2.2
2) Wirkungsgrad für thermisches Kraftwerk 0,58

Tabelle 12: Endenergieverbrauch vor und nach Sanierung, Strom umgerechnet auf fossile Endenergie.

Zur Frage 2: Vergleich mit Betrieb ohne Abs.-WP

Würde die Anlage in der gleichen Art und Weise wie mit dem heutigen Konzept, jedoch vollumfänglich mit Wärmelieferung durch die Kessel betrieben, würde die Endenergieeinsparung (unter Berücksichtigung des Kraftwerkswirkungsgrades) gegenüber dem Verbrauch vor der Sanierung deutlich kleiner ausfallen und nur rund 39% betragen (Tabelle 13, Zeile "3"). **Die Abs.-WP hat also einen bedeutenden Einfluss auf die Senkung des Endenergieverbrauchs.**

Zur Frage 3: Verzicht auf "kalte" Fernleitung und dezentrale Elektro-WP

Würde zusätzlich noch von der Konzeptidee der "kalten" Fernleitung Abstand genommen, würde also das WW in den UST ganzjährig durch die Platten-WT erwärmt (was während rund dreimal zwei Stunden pro Tag eine FL-Vorlauftemperatur von 63°C für die für alle UST synchron erfolgende Ladung der WW-Speicher erforderte), würde sich die Endenergieeinsparung (inkl. Kraftwerkswirkungsgrad) auf 42% belaufen (Tabelle 13, Zeile "4"). **Würde also ein Konzept ohne Abs.-WP gewählt, sollte auf eine im Sommer dauernd "kalte" FL mit dezentralen Elektro-WP verzichtet werden.**

	Endenergieverbrauch		Endenergieverbrauch fossil (inkl. Kraftwerks- η)	
	MWh/a	%	MWh/a	%
1 Vor Sanierung	6'884	100%	7'030	100%
2 Mit heutigem Konzept	3'184	46%	3'340	48%
3 Mit heutigem Konzept, jedoch Wärme nur ab Kessel (vgl. Anhang 12)	4'146	60%	4'256	61%
4 Wie 3, jedoch WW-Erwärmung nur via Platten-WT (d.h. keine El.-WP in UST) (vgl. Anhang 13)	4'008	58%	4'052	58%

Tabelle 13: Endenergieverbrauch von verschiedenen Konzeptvarianten. Kraftwerkwirkungsgrad: 0,58.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das in der Überbauung "Im Bilander" gewählte Konzept auch im Rückblick unter dem Aspekt Endenergie (inkl. Strombereitstellung) zu überzeugen vermag.

Nutzungsgrade des Abs.-WP-Heisswasserkessel-Systems

Gestützt auf die vorhandenen Messdaten und die Hochrechnung von Kapitel 7.2.2 und unter Berücksichtigung der Strombereitstellung mit einem Kraftwerkwirkungsgrad von 0,58 (modernes thermisches Kraftwerk) können Jahres-, Sommer- und Winternutzungsgrad mit einer Genauigkeit von ungefähr +/- 5% ermittelt werden:

	Jahr	Sommer	Winter
Energie an Abs.-WP ¹⁾	100.0	100.0	100.0
davon Strom (Umwälzpumpen)	3.2	3.2	3.2
davon Wärme an Austreiber	96.8	96.8	96.8
Endenergie Strom ²⁾	5.5	5.5	5.5
Endenergie Wärme ³⁾	101.9	101.9	101.9
Endenergie total	107.4	107.4	107.4
Saisonale Heizzahl inkl. Strom	1.38	1.40	1.36
Wärmelieferung an Netz	138.0	140.0	137.0
Nutzungsgrad (inkl. Strombereitstellung)	1.28	1.30	1.27
¹⁾ Ausgangsgrösse: 100 Energieeinheiten			
²⁾ Kraftwerkwirkungsgrad = 0,58			
³⁾ Kesselwirkungsgrad = 0,95			

Tabelle 14: Saisonale Nutzungsgrade Abs.-WP/Heisswasserkessel

Mit einem saisonalen Nutzungsgrad zwischen 1,27 und 1,30 liegt das Abs.-WP-Heisswasserkessel-system deutlich über einem reinen Kesselsystem mit einem Nutzungsgrad von ungefähr 0,95. Die in [8] von zukunftsgerichteten Systemen geforderten Nutzungsgrade von mindestens 1,5 können jedoch von einer einstufigen Abs.-WP in der Praxis aufgrund der in diesem Messprojekt gemachten Erfahrungen nicht realisiert werden.

Erkenntnisse:

- Die Endenergieeinsparung (unter Berücksichtigung der Strombereitstellung in einem thermischen Kraftwerk) des realisierten Sanierungskonzepts beträgt - ganzjähriger Betrieb der Abs.-WP vorausgesetzt - rund 52% gegenüber dem Zustand vor der Sanierung
- Im Vergleich mit Modifikationen des Konzepts - nur Kesselbetrieb oder Fernleitung wie üblich warm betrieben/keine dezentralen Elektro-WP - schneidet die realisierte Variante (Abs.-WP, "kalte" FL, dezentrale Elektro-WP) deutlich besser ab in Bezug auf den Endenergieeinsatz.
- Der Jahresnutzungsgrad des Abs.-WP-Heisswasserkesselsystems liegt mit 1,28 deutlich über dem eines reinen Kesselsystems.

9. In bezug auf den Endenergieverbrauch optimale Fernleitungstemperatur

Eine Beeinflussung der FL-Temperatur hat unterschiedliche, zum Teil gegenläufige Auswirkungen. So führt eine Temperaturerhöhung zu:

- einer Verschlechterung der Heizzahl der Abs.-WP,
- einem Anstieg der Leitungswärmeverluste der FL,
- einer Verbesserung der Arbeitszahl der Elektro-WP der UST (da höhere Verdampfertemperaturen).

Die Frage interessiert nun, **bei welchem Temperaturniveau der FL der Endenergieverbrauch (unter Berücksichtigung der Strombereitstellung in einem modernen thermischen Kraftwerk) am niedrigsten ist.** Diese Frage ist allerdings nur für den Sommerbetrieb relevant. Im Winter ist die FL-Temperatur durch die Heizkurve vorgegeben; bei FL-Temperaturen von über 60°C sind die Elektro-WP sowieso ausser Betrieb und das WW wird direkt über die Platten-WT erwärmt.

Der Beantwortung dieser Frage stehen drei Schwierigkeiten im Weg:

1. Durch die für den Sommerenergiebedarf zu grosse Leistung der Abs.-WP kann nicht eine gewählte FL-Temperatur gefahren werden. Wie z.B. in Bild 37b dargestellt, heizt die Abs.-WP das FL-Netz innerhalb einer Stunde von 20°C auf 50°C kontinuierlich auf.
2. Im Sommer arbeitet die Abs.-WP ausschliesslich im Teillastbetrieb. Für Teillast stehen nur wenige (im Winterbetrieb bei stabilen Verhältnissen) gemessene Heizzahlen zur Verfügung. Die Genauigkeit der Berechnung ist also begrenzt.
3. Durch die wegen Kristallisationsgefahr der LiBr-Lösung notwendige Hochhaltung der Kühlwasser-eintrittstemperatur auf rund 40°C haben FL-Temperaturen unter 40°C auf die Abs.-WP selber keinen Einfluss.

Die gestellte Frage wird deshalb für zwei fiktive Fälle untersucht und aus den Antworten Schlussfolgerungen für die Anlage "Im Bilander" gezogen:

Fall A: Die Abs.-WP arbeitet ausschliesslich in **Teillast** mit einem Austreiberdurchfluss von 38 m³/h; die an die FL abgegebene Leistung wird von den Elektro-WP vollumfänglich aufgenommen (d.h. das FL-Temperaturniveau bleibt konstant).

Fall B: Die Abs.-WP arbeitet auf **Vollast** (90 m³/h Austreiberdurchfluss); die an die FL abgegebene Leistung wird von den Elektro-WP wiederum ganz aufgenommen.

Vorgehen:

Es wird von einem (fiktiven) Nutzwärmestrom, den die Elektro-WP der UST an das WW abgeben, ausgegangen und "rückwärts" bis in die Zentrale gerechnet. Zusätzlich wird der Strom auf fossile Energie umgerechnet, wobei von einem neuen thermischen Kraftwerk mit einem Wirkungsgrad von 0,58 ausgegangen wird.

Für die Berechnung muss sowohl die Heizzahl der Abs.-WP als auch die Leistungszahl der Elektro-WP der UST in Abhängigkeit der FL-Temperatur bekannt sein. Während für die Ableitung der Heiz-

zahl die Interpolation der Daten gemäss Bild 34 (Seite 51) dient, kam der Bestimmung der Leistungszahlen der Elektro-WP ein Zufall entgegen. Während einer Störung am Heisswasserkessel zu einem Zeitpunkt, als der grosse Kessel wegen Arbeiten am Kamin ausser Betrieb gesetzt war (Juli 95), sank die FL-Vorlaufemperatur bis auf 12°C hinunter. Dies erlaubte zusammen mit früheren Messungen, für die Elektro-WP von Block 3 die mittlere Leistungsziffer bei FL-Vorlaufemperatur zwischen 14,8°C und 50,5°C zu bestimmen: Sie variiert zwischen 4,0 bei einer FL-Vorlaufemperatur von 14,8°C und 5,7 bei 50,5°C (Bild 42).

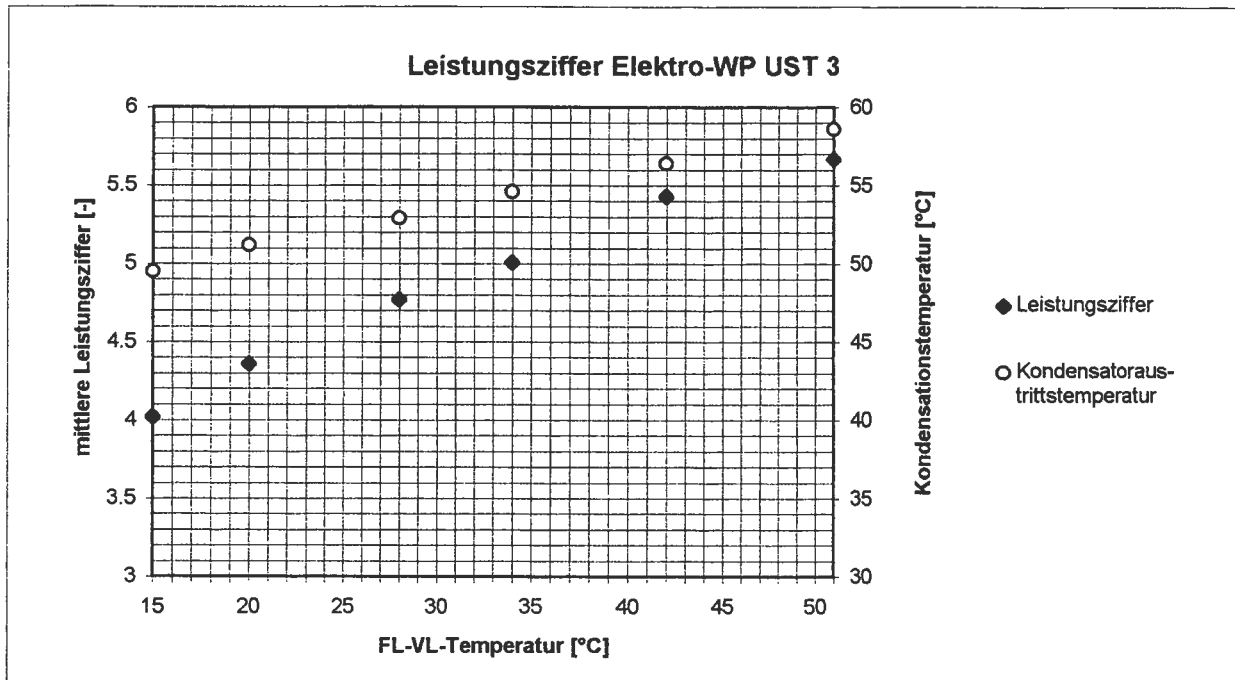


Bild 42: Mittlere **Leistungsziffer der Elektro-WP der UST 3 in Abhängigkeit der FL-Vorlaufemperatur**. Berücksichtigt wurde nur die stabile erste Phase einer Speicherladung mit Zweikreisbetrieb. Die FL-Vorlaufemperatur entspricht der Verdampfeintrittstemperatur. Ebenfalls eingezeichnet ist die zugehörige Kondensationstemperatur (Kondensatoraustrittstemperatur). Messwerte: 1 Minuten-Mittelwerte. [cop.xls]

Resultate:

Bild 43 zeigt den gesamten Endleistungsbedarf in Abhängigkeit der FL-VL-Temperatur für Teillastbetrieb der Abs.-WP (Fall A) und Bild 44 für Vollast (Fall B). Die Berechnungen sind im **Anhang 14** zusammengefasst. **Das Minimum ist nicht sehr ausgeprägt; bei Teillast liegt der minimale Endleistungsbedarf bei ca. 42°C, bei Vollast etwas höher bei 48°C.** Der Verlauf des Gesamtendenergiebedarfs wird durch die Hochhaltung der Kühlwassereintrittstemperatur der Abs.-WP wesentlich beeinflusst: Für FL-VL-Temperaturen von rund 43°C (42°C bei Teillast¹ resp. 44°C bei Vollast²) und niedriger arbeitet die Abs.-WP immer mit der gleichen, für die Hochhaltetemperatur gültigen Heizzahl. Im Teillastfall bestimmt die Hochhaltetemperatur direkt das Minimum. Im Vollastfall mit der nicht-linearen Heizzahl-Kurve liegt das Minimum deutlich über der Hochhaltetemperatur. Wird die Hochhaltetemperatur um 1 K bis 2 K gesenkt, verschiebt sich das Minimum nicht, der Gesamtendleistungsbedarf ist jedoch im Temperaturbereich unterhalb der Hochhaltetemperatur wegen dem positiven Einfluss auf die Heizzahl der Abs.-WP geringer (unter der Annahme, dass die Heizzahlkurve der Abs.-WP für Teillast linear ist und eine maximale Heizzahl von 1,67 wie von York angegeben auch erreicht werden kann; vgl. **Anhang 14.2**).

Wird im Sinne einer Sensitivitätsbetrachtung ein tieferer Kraftwerkswirkungsgrad von 0,3 eingesetzt, verschiebt sich im Teillastfall das Minimum leicht um 2 K zu einer FL-VL-Temperatur von 44°C, beim Vollastfall tritt keine Verschiebung ein.

¹ Differenz zwischen Kühlwasserein- und -austritt = 2 K

² Differenz zwischen Kühlwasserein- und -austritt = 4 K

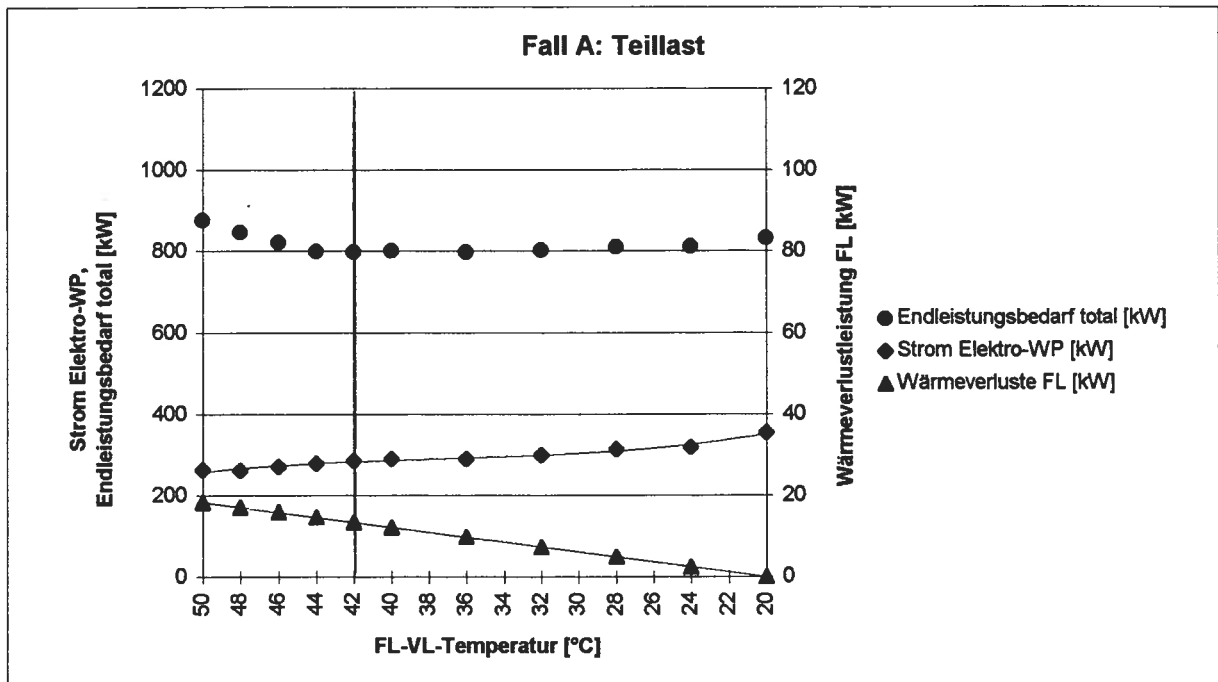


Bild 43: Leistungsbedarf in Abhängigkeit der FL-VL-Temperatur für Teillastbetrieb der Abs.-WP. Mitberücksichtigt ist die Strombereitstellung in einem thermischen Kraftwerk ($\text{ETA} = 0,58$). Ausgangspunkt ist eine angenommene konstante Wärmeabgabe an das WW-System von 900 kW und WW-Temperaturen zwischen 51°C und 59°C gemäss Bild 42. Achtung: Um einen Faktor 10 kleinere Skalierung der Wärmeverlustleistung der FL. Details der Berechnung siehe Anhang 14.1. [enden5.xls]

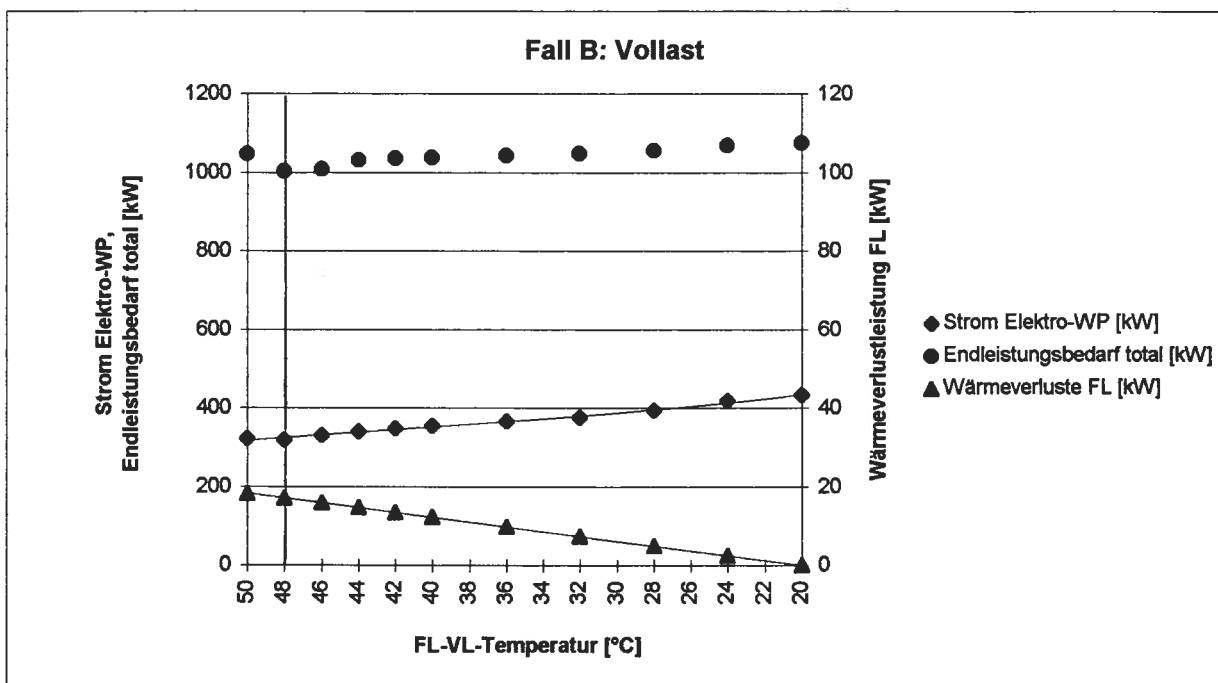


Bild 44: Leistungsbedarf in Abhängigkeit der FL-VL-Temperatur für Vollastbetrieb der Abs.-WP. Mitberücksichtigt ist die Strombereitstellung in einem thermischen Kraftwerk ($\text{ETA} = 0,58$). Ausgangspunkt ist eine angenommene konstante Wärmeabgabe an das WW-System von 1100 kW und WW-Temperaturen zwischen 51°C und 59°C gemäss Bild 42. Achtung: Um einen Faktor 10 kleinere Skalierung der Wärmeverlustleistung der FL. Details der Berechnung siehe Anhang 14.3. [enden5.xls]

Konsequenzen für Sommerbetrieb der Anlage "Im Bilander"

Das Fahren der FL auf einer mehr oder weniger konstanten, optimalen Temperatur ist aufgrund der für den Sommerbetrieb zu grossen Leistung der Abs.-WP nicht möglich. Wie aus Bild 43 jedoch ersichtlich ist, ändert der Gesamtleistungsbedarf im FL-VL-Temperaturbereich von 24°C bis 45°C nicht stark. **Es wird deshalb vorgeschlagen, einerseits die heutige Temperaturschwankungsbreite des FL-VL von 20°C bis 50°C versuchsweise auf 24 bis 45°C zu verkleinern und andererseits die Hochhaltetemperatur um 2 K zu senken.** Sollte die Abs.-WP dabei zu Laufzeiten von unter 30 bis 40 Minuten kommen, müsste die Spreizung wieder vergrössert werden. Dies sollte allerdings in Richtung tiefere FL-VL-Temperaturen geschehen (z.B. 20°C bis 46°C). Diese Aussagen sind auch dann noch gültig, wenn die im Anhang 14.1 eingesetzten und wie schon erwähnt auf nur wenigen Messungen abgestützten Heizzahlen etwas zu hoch sein sollten, wie eine Sensitivitätsbetrachtung zeigte.

10. Kosten

Die gesamten **Investitionskosten** inklusive Ingenieurhonorare beliefen sich für beide Sanierungsetappen zusammen auf Fr 3'850'000.-. Damit konnte der Kostenvoranschlag trotz der vielen aufgetretenen Schwierigkeiten und Probleme mit einer kleinen Überschreitung von nur einem Prozent eingehalten werden. Die Kosten für die Abs.-WP allein beliefen sich auf Fr 291'000.-. Eine etwas detailliertere Kostenaufschlüsselung ist auf **Anhang 15** dargestellt.

Der **Nutzen** der getätigten Investition ist Raumwärme und Warmwasser, welche gegenüber früher mit sehr viel weniger Endenergie und Emissionen bereitgestellt werden können.

11. Zusammenfassung der Resultate, Erkenntnisse und Verbesserungsvorschläge

11.1 Grundsätzliche Erkenntnisse

Die Gesamtanlage der Überbauung "Im Bilander" inklusive Abs.-WP läuft trotz den anfänglichen Schwierigkeiten und nicht zuletzt dank dem Messprojekt heute gut. Die vorgesehenen Energieeinsparungen können erreicht werden.

In der Schweiz war bisher weder von Lieferantenseite noch Anwenderseite Erfahrung über Absorptionswärmepumpen für Raumheizung in Grossanlagen vorhanden. Die untersuchte Anlage hat deshalb dank dem vom BEW und Kanton Aargau finanzierten Messprojekt zu Erkenntnissen geführt, die für weitere Anwendungen der Absorptionstechnologie von Nutzen sein dürften.

Das Messprojekt konnte einige wesentliche Fragen im Zusammenhang mit dem Einsatz einer Absorptionswärmepumpe für Raumheizung im generellen und in bezug auf die Anlage "Im Bilander" im speziellen beantworten.

Beurteilung des Sanierungskonzepts:

Das Konzept

- Heizzentrale mit Abs.-WP,
- für Heizung und Warmwasser gemeinsame Fernleitung auf tiefem Temperaturniveau (im Sommer "kalte" Fernleitung) und
- dezentrale Temperaturerhöhung des Warmwassers durch Elektro-WP

besticht nicht nur theoretisch, sondern funktioniert auch in der Praxis. Der Endenergieverbrauch (inkl. Strombereitstellung) ist niedriger als bei Konzeptvarianten ohne Abs.-WP oder wenn zusätzlich die Fernleitung normal (d.h. warm) betrieben und auf die dezentralen Elektro-WP verzichtet würde.

Bedingt durch die unterschiedlichen, zum Teil gegenläufigen Charakteristiken der einzelnen Komponenten sind die Anforderungen an Planung und Regelstrategie gross. **Nur eine ganzheitliche Betrachtungsweise in der Planungsphase und während der auf jeden Fall notwendigen Optimierungphase führt zu einem befriedigenden Anlagenverhalten.**

Absorptionswärmepumpe für Raumheizung und Warmwasser:

Eine Abs.-WP weist prinzipiell drei Vorteile auf:

- (1) Sie hat praktisch keine beweglichen Teile und deshalb eine lange Lebensdauer.
- (2) Sie wird hauptsächlich mit thermischer Energie angetrieben, was zu beträchtlichen Primärenergieeinsparungen führen kann.
- (3) Sie ist frei von FCKW.

Werden die speziellen Eigenschaften der Maschine berücksichtigt, **ist eine Abs.-WP** - wie mit der Anlage "Im Bilander" gezeigt werden konnte - **sehr gut geeignet als Komponente einer Anlage für Raumheizung und WW-Aufbereitung.**

Voraussetzungen für eine erfolgreiche Anwendung sind allerdings

- möglichst ganzjähriger Wärmebedarf auf möglichst niedrigem Temperaturniveau (max. 51°C) oder zusätzlicher Kältebedarf im Sommer,
- Umweltwärme für den Kaltwasserkreis auf möglichst hohem, konstantem Temperaturniveau,
- idealerweise Abwärme (von 115°C) für den Austreiber,
- genaue Kenntnis der Charakteristiken der einzelnen Komponenten (vor allem Energiebezüger, Abs.-WP und zusätzliche Energielieferanten wie Heizkessel oder BHKW),
- Abs.-WP im Zentrum der Regelstrategie.

Der Einsatz für Warmwassererwärmung und Raumheizung wie in der Überbauung „Im Bilander“ erfüllt die Anforderung eines ganzjährigen Energiebedarfs, allerdings mit sehr grossen jahreszeitlichen Schwankungen. Ideal bei der Anlage „Im Bilander“ ist die Energiequelle des Grundwassers mit stabilen, relativ hohen Temperaturen über das ganze Jahr (10°C bis 13°C). Das erforderliche hohe Temperaturniveau für die Heizung im Winterhalbjahr und das Fehlen von Abwärme auf 115°C stellen auf der anderen Seite Nachteile dar.

Wesentlich für den Einsatz einer **Absorptionswärmepumpe für Raumheizung/Warmwasser** ist in jedem Fall eine **detaillierte Vorabklärung** bezüglich Wärmeleistungsbedarf und erforderliche Temperaturen.

11.2 Erkenntnisse zum Vorgehen

Die Überbauung "Im Bilander" weist etliche **Besonderheiten** auf (1-Rohr-Wärmeverteilung, fehlende oder mangelhafte Lärmdämmung, Mischung von Hoch- und Flachbauten, schlechte Bauhüllen), welche eine Sanierung sehr anspruchsvoll machen.

Damit so komplexe Heizungs- und Warmwassersanierungen erfolgreich realisiert werden können, ist ein sehr **straffes, kompetentes Projektmanagement mit klarer Verantwortlichkeitszuordnung** erforderlich.

Im weiteren ist es vorteilhaft (wenn auch nicht immer möglich), **die Realisierung auf einen längeren Zeitraum zu verteilen**, damit **Subsysteme einzeln in Betrieb genommen und getestet** werden können und somit die Komplexität reduziert werden kann.

Mehr Zeit sollte vor allem für die Abklärungsphase eingeräumt werden, um möglichst genaue Dimensionierungsangaben zu erhalten. Für die Überbauung „Im Bilander“ wäre z.B. folgendes Vorgehen denkbar gewesen:

1. Verbrauchsdatenerfassung in einer ersten Unterstation; Befragung des Abwarts betreffend Besonderheiten/speziellen Problemen	ca. ½ Jahr
2. Umbau dieser ersten Unterstation; Sammeln von Erfahrungen/Optimierung; kritische Hinterfragung der Dimensionierung	ca. 1 Jahr
3. Umbau der restlichen Unterstationen; Ausmerzen von Anfangsproblemen während mindestens einer Übergangszeit-/Winterperiode; genaue Erfassung des Energiebedarfs für die Auslegung der Abs.-WP und Kessel	ca. 1 Jahr
4. Umbau Zentrale; Ausmerzen von Anfangsproblemen	ca. ½ Jahr
5. Optimierung ganze Anlage	ca. 1 Jahr
Total	4 Jahre

Damit wäre die Gesamtprojektdauer nicht länger sondern eher kürzer geworden als es nun effektiv der Fall war (Sommer 91 bis Frühjahr 96).

11.3 Erkenntnisse und Verbesserungsvorschläge betreffend Unterstationen

Gesamtwirkungsgrad der WW-Aufbereitung:

Der Gesamtwirkungsgrad der WW-Aufbereitung (inkl. Speicher- und Zirkulationsverlusten) kann wegen Schwierigkeiten mit den Wärmehältern nicht sehr genau angegeben werden. Gemessen wurde ein Jahreswirkungsgrad von 66% (+/- 15%¹), was unter Berücksichtigung der schwierigen Verhältnisse in der Überbauung "Im Bilander" als gut bezeichnet werden darf (Kp. 7.3.7).

Elektro-WP:

Durch den Umbau der Speicherladung im Sommer 92 konnte eine leichte Verbesserung der Arbeitszahl der Elektro-WP erreicht werden. 1993 lag die Jahresarbeitszahl (die hier das Verhältnis des Stromverbrauchs der Kompressoren und der Regelung zur Wärmeabgabe an die WW-Speicher darstellt) der Elektro-WP der UST 3 bei 5,0 (Vorjahr 4,7). Dies allerdings bei FL-Temperaturen, die grösstenteils gegenüber dem Konzept noch zu hoch waren. 1995 erreichte die WP bei etwas tieferen FL-Temperaturen, die aber noch immer nicht dem gewünschten tiefen Temperaturniveau entsprachen, eine Jahresarbeitszahl von 5,2.

¹ relativer Fehler, d.h. +/- 15% von 66%

Die **Arbeitszahl könnte noch leicht verbessert** werden durch Herabsetzen des Schaltpunktes des AUS-Thermostates um ein paar Grad (Kp. 7.3.5).

Die ursprüngliche **Vorwärmung des WW durch den Platten-WT** (die durch den Umbau der Speicherladung voreilig entfernt wurde) wäre **exergetisch** nach wie vor **sinnvoll**; sie stellt das grösste Verbesserungspotential der UST dar.

Zirkulations-WP:

Zirkulationswärmepumpen verhindern, dass die Speicherschichtung durch die Zirkulation gestört wird und können den Gesamtnutzungsgrad eines WW-Erwärmungssystems deutlich verbessern.

Zirkulationswärmepumpen sollten allerdings **nur dort platziert werden, wo echte Abwärme** vorhanden ist, wo also kein Wärmediebstahl stattfinden kann. Die Waschküchen/Trocknungsräume und die Unterstationen in der Überbauung "Im Bilander" sind keine gut geeigneten Aufstellungsorte. Vorteilhafter wäre es gewesen, die Abwärme der Liftmotoren zu nutzen.

Einen grossen Einfluss auf die Laufzeit und damit den Stromverbrauch und die Lebensdauer der Zirkulations-WP haben die **Thermostateinstellungen** und die **Verkalkung der Kondensatoren**. Die Einstellungen der Thermostaten sollten deshalb regelmässig (z.B. alle 12 Monate) überprüft werden. Ebenfalls regelmässig (z.B. alle 2 bis 3 Jahre) müssen die Kondensator-Platten-WT entkalkt werden (Kp. 7.3.6).

Fenster von UST, in denen Zirkulations-WP installiert sind, sollten (ausser im Hochsommer) **geschlossen** sein, damit die Abwärme im Raum bleibt und sich kein Kaltluftsee am Boden bildet, der die Arbeitszahl von in bodennähe montierten Zirkulations-WP verschlechtert und die Laufzeiten erhöht.

Die **Mischarmaturen in den Wohnungen** sollten **auf Kaltwasserbeimischung untersucht** werden. (Drückt durch fehlerhafte Installationen von Armaturen Kaltwasser in die Warmwasserleitung?)

Heizgruppen:

Es wäre möglich, mit **weniger Heizgruppen** auszukommen. Für den Block 3 hätten Gruppe 1 und 2 und eventuell Gruppe 3 und 4 zusammengefasst werden können. Nur eine Pumpe für alle vier Heizgruppen hätte hingegen beim vorhandenen Einrohrverteilsystem höchst wahrscheinlich zu Reklamationen in den oberen, windexponierten Wohnungen geführt.

11.4 Erkenntnisse und Verbesserungsvorschläge betreffend Heizzentrale

Heizkessel:

Die Heizzentrale arbeitet in der konventionellen Betriebsart (d.h. inkl. Rekuperatoren, aber ohne Abs.-WP) mit einem **sehr guten Gesamtnutzungsgrad** (bezogen auf H_U) von 99% ohne Strom für Hilfsantriebe resp. 97% mit Strom für Hilfsantriebe (Kp. 7.4.7).

Der **Stromverbrauch der Zentrale** (ohne Abs.-WP) ist heute dank moderner Stromspartechnologie und trotz der viel grösseren Komplexität der Anlage **niedriger** als vor der Sanierung (Kp. 7.4.6).

Das **Hochfahren der Fernleitung am Morgen dauert rund 1½ Stunden** (Kp. 7.4.2).

Die **Kesselanlage ist überdimensioniert** (Kp. 7.4.2). Für den grossen Kessel wäre eine um einen Drittel kleinere Leistung ausreichend. Durch die grosse Modulationsbreite der Kesselleistung resultieren trotzdem Kesselaufzeiten von 1 h bis 20 h. In der Übergangszeit treten allerdings Kurzeinschaltungen auf, die im Rahmen einer Feinoptimierung noch beseitigt werden können.

Absorptions-WP:

Die **Abs.-WP** als Komponente arbeitete von Beginn an **zuverlässig**. Die entstandenen Probleme sind einzig auf Fehler in der hydraulischen und regeltechnischen Einbindung zurückzuführen, die auf mangelnden Erfahrungen allerseits und unklaren/unkorrekten Anweisungen seitens der Lieferfirma basierten.

Regeltechnische Einbindung: Eine Abs.-WP ist ein träges System mit klar vorgegebenen Temperatur- und Durchflussbedingungen und von einem Heizkessel deutlich abweichenden Eigenschaften (Kp. 7.4.3, Abschnitt (C1)). Die **Abs.-WP hat deshalb im Zentrum der Regelstrategie zu stehen**. Dabei sollten Zentrale und UST durch ein DDC-System - wie ursprünglich vorgesehen - gemeinsam gesteuert werden. Das heutige System (DDC in der Heizzentrale, separate SPS in den UST) macht eine Optimierung der Gesamtanlage bedeutend schwieriger.

Hydraulische Einbindung: Eine **Abs.-WP benötigt eine minimale Eintrittstemperatur in den Absorber/Verflüssiger (Kühlwasserkreis)**. Bei variablen Heizungsrücklauftemperaturen, wie dies meistens und so auch in der Überbauung „Im Bilander“ der Fall ist, ist somit eine Temperaturhochhaltung erforderlich.

Die gemessene **Leistung und Heizzahl der Abs.-WP entsprechen den von der Lieferfirma angegebenen Nennwerten**.

Für die Erreichung des Sanierungsziels ist vor allem der **Winterbetrieb** mit dem grossen Wärmebedarf ausschlaggebend. Für diese Periode ist die **Leistung der Abs.-WP gut ausgelegt**. Die Tagesheizzahlen des Winterbetriebs liegen zwischen 1,3 und 1,45 (ohne Strom). Höhere Werte sind bei den heute erforderlichen hohen VL-Temperaturen der FL nicht möglich.

Bedingt durch die begrenzte Modulationsbreite des Heisswasserkessels **kann die Fähigkeit der Abs.-WP, bis auf 10% Leistung hinunterzufahren, nicht genutzt werden**. Dies ist letztlich kein Nachteil, sofern die Regelung die daraus resultierenden Folgen berücksichtigt, da die Heizzahl bei Minimalleistung sowieso weniger gut als bei einer mittleren Leistung ist.

Für den Sommerbetrieb weist die Abs.-WP eine zu grosse Leistung auf (auch wenn sie den gesamten Leistungsregelungsbereich bis auf 10% hinunter ausnützen könnte). Dadurch werden nie stabile Temperaturverhältnisse erreicht. Die gemessenen Tagesheizzahlen sind durch Nutzung der Speicherkapazität des gesamten FL-Netztes (Temperaturschwankungsbreite 20°C bis 50°C) mit 1,42 bis 1,45 (ohne Strom) trotzdem befriedigend.

Über die **Jahresheizzahl können noch keine durch Messungen abgesicherte Aussagen gemacht werden**. Gemäss Hochrechnung von Kapitel 7.2.2 resp. Anhang 10.1 sollte die Jahresarbeitszahl (inkl. Strom) bei etwa 1,38 resp. 1,43 (ohne Strom) liegen.

11.5 Erkenntnisse und Verbesserungsvorschläge betreffend das Anlagenkonzept

Das Anlagenkonzept kann auch im Rückblick als gut bezeichnet werden.

Bedingt durch die aufgetretenen Schwierigkeiten konnte **die durch die Sanierung angestrebte Einsparung an fossiler Energie von 55% noch nicht erreicht werden. Der Energieverbrauch der Überbauung sinkt jedoch von Jahr zu Jahr**. 1995/96 betrug der Minderverbrauch heiztag-korrigiert 44% (Kp. 7.2.1). Wie eine Hochrechnung, abgestützt auf vorhandene Messungen, zeigt, **sollte das Sanierungsziel bei störungsfreiem Betrieb aller Komponenten jedoch erreicht werden können** (Kp. 7.2.2).

Das Anlagenkonzept überzeugt auch dann, wenn die Grenzen des betrachteten Systems weiter gefasst und die Erzeugung des Stroms für die Elektro-WP mitberücksichtigt wird. Die **Endenergieeinsparung beträgt in diesem Fall immer noch rund 52%** verglichen mit dem Zustand vor der Sanierung (ganzjähriger Betrieb der Abs.-WP vorausgesetzt (Kp. 8)).

Der **minimale Gesamtendleistungsbedarf im Sommerbetrieb liegt bei einer FL-VL-Temperatur von rund 42°C**. Das Minimum ist jedoch nicht sehr ausgeprägt. Erst unter FL-VL-Temperaturen von

24°C und über 45°C steigt der Endleistungsbedarf stärker an. Da wegen der für den Sommer zu grossen Leistung der Abs.-WP ein Betrieb mit konstanter, optimaler FL-Temperatur nicht möglich ist, wird vorgeschlagen, die heutige **Temperaturschwankungsbreite der FL von 20°C bis 50°C zumindest auf 24°C bis 45°C zu verkleinern** (Kp. 9).

Der **Jahresnutzungsgrad des Abs.-WP-Heisswasserkesselsystems liegt mit 1,28** deutlich über dem eines normalen Kessels (Kp. 8).

Ausschlaggebender als die Heizzahl der Abs.-WP ist der Deckungsgrad für eine möglichst grosse Endenergieeinsparung. Das bedeutet vor allem möglichst niedrige FL-Temperaturen im Winterbetrieb und eine die einzelnen Komponenten optimal einsetzende Regelung. Bei einer Anlage mit Komponenten mit so unterschiedlichen Charakteristiken wie Abs.-WP, Elektro-WP, Heizkessel einerseits und Energiebezüger für Raumheizung und WW andererseits wäre eine Regelung basierend auf **Fuzzy Logic** wahrscheinlich von Vorteil. Mit einer Fuzzy Logic-Regelung muss der zu regelnde Prozess - im Gegensatz zu einer konventionellen Regelung - mathematisch nicht exakt beschrieben werden. Die Fuzzy Logic-Regelung wäre daher für Vorgänge mit zum Teil unvorhersehbaren Ereignissen, wie sie in einem in der Überbauung "Im Bilander" eingesetzten System auftreten (z.B. Energieabgabe ins Grundwasser), gut geeignet.

Im Rahmen einer Feinoptimierung der Gesamtanlage sind noch einige kleinere **Verbesserungen** möglich (u.a. Kp. 7.4.3, Abschnitt (E)):

- Nachtabschaltung der FL auch bei tieferen Aussentemperaturen, Wiedereinschaltung aussentemperaturabhängig.
- Weitere Senkung der VL-Temperaturen. Dies bedingt zumindest die Isolation aller Dächer und die Vergrösserung der Radiatorenfläche in exponierten Wohnungen.
- Betriebszustände, bei welchen die Abs.-WP Energie ins Grundwasser abgibt, ausschliessen.
- Takten des Brenners des Heisswasserkessels bei kleiner Last der Abs.-WP vermindern/vermeiden.
- Bessere Leistungsregelung des grossen Kessels.
- Bestimmung des optimalen Austreiberdurchflusses für den Sommerbetrieb.
- Senkung der Hochhaltetemperatur des Kühlwasserkreislaufs um 1 K bis 2 K.

Als **Nachteil** der realisierten Variante kann der **hohe Grad an Komplexität** mit Elektro-WP, Abs.-WP und Kessel, der zu einem entsprechend hohen Wartungsaufwand führen wird, betrachtet werden. In diesem Zusammenhang ist eine gute (noch ausstehende) Anlagendokumentation und Instruktion des Abwärts sehr wichtig.

11.6 Aussagen zum Mieterverhalten

Obwohl der **WW-Verbrauch** der Überbauung heute um rund 20% niedriger ist als vor der Sanierung, ist der Verbrauch pro Person und Tag mit 51 Litern (Block 3) **hoch**. Durch eine **regelmässige Information der Mieter** über Energiebelange z.B. durch die Liegenschaftsverwaltung oder durch den Abwart (mit Unterstützung der Liegenschaftsverwaltung) sollte der Verbrauch auf 30 bis 40 Liter gesenkt werden können.

Ebenfalls sollte es auf diesem Weg möglich sein, **in der Übergangszeit Heizenergie einzusparen**, indem bei den Mietern Akzeptanz geschaffen wird dafür, dass nicht gleich bei jedem kühlen Tag die Heizgruppen in Betrieb genommen werden. Dies ist allerdings erst möglich, nachdem die Anlage mindestens ein Jahr problemlos funktioniert hat und der zur Zeit vorhandene, verständliche Unmut der Mieter über die so häufig aufgetretenen Störungen vergessen ist.

12. Weiteres Vorgehen

Für die Anlage "Im Bilander":

Die *Feinoptimierung* der Anlage wird bis Ende Winter 96/97 fortgesetzt und der Abwart instruiert.

Um anschliessend langfristig ein gutes Betriebsverhalten der Anlage aufrechterhalten zu können, sollte der *Abwart die Schlüsseldaten je nach Art täglich, wöchentlich oder monatlich ablesen und interpretieren.*

Mindestens 10% zusätzliche Energieeinsparungen wären durch anderes *Mieterverhalten* erzielbar. Dieses Potential auszuschöpfen stellt eine allerdings sehr schwierige Herausforderung für einen Abwart und Liegenschaftsverwaltung dar.

Ein Anfangspunkt wäre die Schaffung einer Kommunikationsplattform oder eines Diskussionsforums über Energiebelange. In einem ersten Schritt könnten die Mieter über den Ausgang der Sanierung informiert werden. Individuelle Heizkostenabrechnung wäre ein weiterer Schritt zu mehr Eigenverantwortung.

Generell:

Es wäre wünschenswert, wenn die in diesem Projekt mit etwelchen Mühen gewonnenen Erkenntnisse in weiteren Anlagen mit Absorptionswärmepumpen umgesetzt werden könnten. Dabei sollte vor allem eine (triviale) Erkenntnis berücksichtigt werden: Von Anfang an miteinander reden und die vorhandenen (Teil-)Erfahrungen zusammenbringen. Insbesondere wäre die Realisierung einer Anlage mit Fuzzy Logic-Regelung von Interesse.

Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

Verwendete Symbole

c_p	spezifische Wärmekapazität	[kWh/(kgK)]
H_o	oberer Heizwert	[kWh/m ³ , kWh/kg]
$H_{o,n}$	oberer Heizwert bei Normalbedingungen	[kWh/m ³ , kWh/kg]
H_u	unterer Heizwert	[kWh/m ³ , kWh/kg]
p_o	Normaldruck	[bar]
Q	Wärmemenge	[kWh, MWh]
T_o	Normtemperatur	[K]
T_{VL}	Vorlauftemperatur	[°C]
T_{RL}	Rücklauftemperatur	[°C]
ΔT	Temperaturdifferenz	[K]
\dot{V}	Durchfluss	[m ³ /h]
ρ	Dichte	[kg/dm ³ , kg/m ³]

Verwendete Abkürzungen

Abs.-WP	Absorptionswärmepumpe
BEW	Bundesamt für Energiewirtschaft
DDC	Direct Digital Control: Computer-basierte Steuerung und Regelung
EL	extraleicht (Heizöl)
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoff(e)
FL	Fernleitung
IBB	Industrielle Betriebe Brugg
SMA	Schweizerische Meteorologische Anstalt
So	Sommer
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
UST	Unterstation
Wi	Winter
WP	Wärmepumpe
WT	Wärmetauscher
WW	Warmwasser

Literaturverzeichnis

- [1] Studer+Partner AG, Sanierungskonzept Energieerzeugung und Erschliessung Wohnüberbauung Im Bilander, Brugg, Zürich 1989
- [2] SIA Norm 385/3, Warmwasserversorgungen für Trinkwasser in Gebäuden, Zürich 1991
- [3] Blatter-Spaling Max, Warmwasser-Bedarfszahlen und Verbrauchsscharakteristik, "HeizungKlima" Nr. 4/1993, S. 44-45
- [4] Krüsi Peter, Wassererwärmungsanlagen mit Kleinwärmepumpen erfolgreich saniert, "INFEL info" Nr.2/Juni 1993, S.2-7
- [5] McNaught C., Domestic Refrigeration Controllers, CADDET Newsletter Nr. 3/1993, S. 13-14
- [6] Krüsi Peter, Messprojekt „Im Bilander“, Brugg, Untersuchung der energietechnischen Sanierung einer Grossüberbauung mit Absorptionswärmepumpe und Niedertemperaturwärmeverteilung, Zwischenbericht Juli 1994, ENET Nr. 9106660
- [7] Kernen M. und Renaud P., Absorptionsmaschinen, Situation in der Schweiz und im Ausland, BEW, Planair, 1995, ENET Nr. 9003003-41
- [8] Zogg M., Kleinsysteme für die Raumheizung über 150% Nutzungsgrad? Gas, Wasser, Abwasser 76(1996)3

Anhang

JAHRESKOSTENRECHNUNG DER VERSCHIEDENEN VARIANTEN

1. RECHENGANG : •Basis Oel- und Gaspreise gemäss PRESANZ (Stadt Zürich)
 •Keine Energiepreisteuerung eingerechnet

GRUNDLAGEN KOSTEN/NUTZEN RECHNUNG

-Energiepreise KAUF :	Heizuel EL	=	0,55 Fr./kg		
	Erdgas	=	4,90 Rp./kWh Hu		
	Erdgas	=	4,42 Rp./kWh Ho		
	Strom HT	=	16,80 Rp./kWh		
	Strom NT	=	8,40 Rp./kWh		
	Mittel	=	14,00 Rp./kWh		
				IBB BRUGG	EKZ
-Energiepreise VERKAUF:	Strom HT So	=	3,5	5,0	Rp./kWh
(IBB)	Strom NT So	=	2,0	3,5	Rp./kWh
	Strom HT Wi	=	4,5	11,5	Rp./kWh
	Strom NT Wi	=	3,5	5,0	Rp./kWh
	Mittel Jahr ca.	=	3,9	8,1	Rp./kWh
-Energiepreisteuerung:	Heizuel EL	=	0 %	Teuerungsfaktor	1
	Erdgas	=	0 %	Teuerungsfaktor	1
	Strom NT/HT	=	0 %	Teuerungsfaktor	1
-Allgemeine Teuerung:	Service/Unterhalt	=	0 %	Teuerungsfaktor	1
-Heizwerte :	Heizuel EL	=	42,70 MJ/kg Hu		
	Heizuel EL	=	44,79 MJ/kg Ho		
	Differenz	=	4,9 %		
	Erdgas	=	36,14 MJ/m3 Hu		
	Erdgas	=	40,03 MJ/m3 Hu		
	Differenz	=	10,8 %		

JAHRESKOSTENRECHNUNG

1. RECHENGANG :

VARIANTEN	0	2	3	4	6	9	9
	IST	Minimal	Konv.Max	Absorber	Gasmotor	BHKW	BHKW
						IBB	EKZ

INVESTITIONSKOSTEN							
Technische Anlagen n = 12 Jahre	0	0	0	0	500000	0	0
Technische Anlagen n = 15 Jahre	0	1067000	1561000	1805000	1915000	2250000	2250000
Technische Anlagen n = 20 Jahre	0	90000	170000	620000	200000	250000	250000
Bauarbeiten n = 25 Jahre	0	63000	79000	95000	95000	95000	95000
TOTAL Sanierungskosten [Fr.]	0	1220000	1810000	2520000	2735000	2595000	2595000

KAPITALDIENST							
•Zinsfuss [%]	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2
•Amortisationsdauer							
-Technik Mittel [n]	3	15,4	15,5	16,3	14,8	15,5	15,5
-Technik Bau [n]	13	25	25	25	25	25	25
•Anuität Technik [Fr./a]	0	113396	168953	229213	262954	244011	244011
•Anuität Bau [Fr./a]	0	4697	5889	7082	7082	7082	7082
TOTAL Kapitaldienst [Fr./a]	0	118093	174843	236295	270036	251094	251094

UNTERHALT/SERVICE							
•Heizungsanlage 2 % [Fr./a]	17300	17300	25900	25900	25900	25900	25900
•Wärmepumpen/BHKW [Fr./a]	0	0	0	13500	25000	28000	28000
TOTAL Unterhalt/Service [Fr./a]	17300	17300	25900	39400	50900	53900	53900

VARIANTEN	IST	Minimal	Konv.Max	Absorber	Gasmotor	BHKW	BHKW
ENERGIEKOSTEN							
• Verbrauch - Heizöel	7142	1050	887	476	360	350	350
- Erdgas	0	4795	4040	2420	2850	5360	5360
- Strom *	0	0	0	234	105	105	105
• Kosten	315721	46417	39211	21042	15914	15472	15472
- Erdgas	0	211969	178593	106979	125988	236946	236946
- Strom	0	0	0	32727	14685	14685	14685
• Total Energieaufwand	315721	258386	217804	160749	156588	267103	267103
*nur Mehrverbrauch geg. IST-Zustand							
GRUNDWASSERGEBÜREN							
• Leistungsbezogene Grösse	0	0	0	3500	3500	0	0
ENERGIEERLÖSE							
• Minderaufwand gegenüber Variante 0	0	55	115	95	95	105	105
• Pumpenersatz und Wegfall von Pumpen	0	7700	16100	13300	13300	14700	14700
• Stromverkauf IBB	0	0	0	0	0	1200	1200
	0	0	0	0	0	46260	96600
• Total Energieerlöse	0	-7700	-16100	-13300	-13300	-60960	-111300
VERWALTUNGSKOSTEN							
• 3 % der Energiekosten	9472	7752	6534	4822	4698	8013	8013
TOTAL JAHRESKOSTEN	342493	393830	408981	431456	472421	519150	468810
ABWEICHUNG	87,0%	100,0%	103,8%	109,5%	120,0%	131,8%	119,0%
SPEZ. ENERGIEPREIS	8,6	9,8	10,2	10,8	11,8	13,0	11,7
(Bezogen auf Nutzenergiebedarf)							
DURCHSCHNITTLLICHE KOSTEN PRO WOHNUNG							
• Total	81	93	97	102	112	123	111
• Nur Energiekosten	79	63	54	44	46	62	50

JAHRESKOSTENRECHNUNG

2. RECHENGANG : •Basis Oel- und Gaspreise gemäss PRESANZ (Stadt Zürich)
•Energiepreisteuerung eingerechnet

VARIANTEN	0	2	3	4	6	9	9
	IST	Minimal	Konv.Max	Absorber	Gasmotor	BHKW	BHKW IBB EKZ
INVESTITIONSKOSTEN							
Technische Anlagen n = 12 Jahre	0	0	0	0	500000	0	0
Technische Anlagen n = 15 Jahre	0	1067000	1561000	1805000	1915000	2250000	2250000
Technische Anlagen n = 20 Jahre	0	90000	170000	620000	200000	250000	250000
Bauarbeiten n = 25 Jahre	0	63000	79000	95000	95000	95000	95000
TOTAL Sanierungskosten [Fr.]	0	1220000	1810000	2520000	2735000	2595000	2595000
KAPITALDIENST							
•Zinsfuss [%]	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2
•Amortisationsdauer							
-Technik Mittel [n]	3	15,4	15,5	16,3	14,8	15,5	15,5
-Technik Bau [n]	13	25	25	25	25	25	25
•Anuität Technik [Fr./a]	0	113396	168953	229213	262954	244011	244011
•Anuität Bau [Fr./a]	0	4697	5889	7082	7082	7082	7082
TOTAL Kapitaldienst [Fr./a]	0	118093	174843	236295	270036	251094	251094
UNTERHALT/SERVICE							
•Heizungsanlage 2 % [Fr./a]	17300	20137	30148	30148	30148	30148	30148
•Wärmepumpen/BHKW [Fr./a]	0	0	0	15714	29100	32592	32592
TOTAL Unterhalt/Service [Fr./a]	20137	23440	35092	53383	68964	73029	73029

VARIANTEN	IST	Minimal	Konv.Max	Absorber	Gasmotor	BHKW	BHKW
ENERGIEKOSTEN							
• Verbrauch - Heizöl	7142	1050	887	476	360	350	350
- Erdgas	0	4795	4040	2420	2850	5360	5360
- Strom *	0	0	0	234	105	105	105
• Kosten	397177	58392	49327	26471	20020	19464	19464
- Erdgas	0	266657	224671	134580	158493	298078	298078
- Strom	0	0	0	38095	17094	17094	17094
• Total Energieaufwand	397177	325049	273998	199145	195607	334635	334635
*nur Mehrverbrauch geg. IST-Zustand							
GRUNDWASSERGEBÜREN							
• Leistungsbezogene Grösse	0	0	0	4074	4074	0	0
ENERGIEERLÖSE							
• Minderaufwand gegenüber Variante 0							
• Pumpensatz und Wegfall von Pumpen	0	55	115	95	95	105	105
• Stromverkauf IBB	0	8963	18740	15481	15481	17111	17111
• Total Energieerlöse	0	0	0	0	0	1200	1200
	0	0	0	0	0	53847	112442
• Total Energieerlöse	0	-8963	-18740	-15481	-15481	-70957	-129553
VERWALTUNGSKOSTEN							
• 3 % der Energiekosten	11915	9751	8220	5974	5868	10039	10039
TOTAL JAHRESKOSTEN	429230	467371	473412	483390	529068	597839	539244
ABWEICHUNG	91,8%	100,0%	101,3%	103,4%	113,2%	127,9%	115,4%
SPEZ. ENERGIEPREIS	10,7	11,7	11,8	12,1	13,2	14,9	13,5
(Bezogen auf Nutzenergiebedarf)							
DURCHSCHNITTLICHE KOSTEN PRO WOHNUNG							
• Total	102	111	112	114	125	142	128
• Nur Energiekosten	99	80	69	56	59	80	66

WOHNÜBERBAUUNG FRÖHLICH/SEIDENSTRASSE
 IM BILANDER - B R U G G

STUDER + PARTNER AG
 BERATENDE INGENIEURE
 Jan-89

JAHRESKOSTENRECHNUNG DER VERSCHIEDENEN VARIANTEN

3. RECHENGANG : ·Basis aktuelle Oel- und Gaspreise Stand Januar 89
 ·Energiepreisteuerung eingerechnet

GRUNDLAGEN KOSTEN/NUTZEN RECHNUNG

-Energiepreise KAUF :	Heizöl EL	=	0,35 Fr./kg		
	Erdgas	=	4,65 Rp./kWh Hu		
	Erdgas	=	4,20 Rp./kWh Ho		
	(inkl.Leistung)				
	Strom HT	=	16,80 Rp./kWh		
	Strom NT	=	8,40 Rp./kWh		
	Mittel	=	14,00 Rp./kWh		
				IBB BRUGG	EKZ
-Energiepreise VERKAUF:	Strom HT So	=	3,5	3,5	5,0 Rp./kWh
(IBB)	Strom NT So	=	2,0	3,5	3,5 Rp./kWh
	Strom HT Wi	=	4,5	11,5	11,5 Rp./kWh
	Strom NT Wi	=	3,5	5,0	5,0 Rp./kWh
	Mittel Jahr ca.	=	3,9	8,1	8,1 Rp./kWh
-Energiepreisteuerung:	Heizöl EL	=		3 %	Teuerungsfaktor 1,258
	Erdgas	=		3 %	Teuerungsfaktor 1,258
	Strom NT/HT	=		2 %	Teuerungsfaktor 1,164
-Allgemeine Teuerung:	Service/Unterhalt=			2 %	Teuerungsfaktor 1,164
-Heizwerte :	Heizöl EL	=	42,70 MJ/kg Hu		
	Heizöl EL	=	44,79 MJ/kg Ho		
	Differenz	=	4,9 %		
	Erdgas	=	36,14 MJ/m3 Hu		
	Erdgas	=	40,03 MJ/m3 Hu		
	Differenz	=	10,8 %		

JAHRESKOSTENRECHNUNG

3. RECHENGANG : •Basis aktuelle Oel- und Gaspreise Stand Januar 89
•Energiepreisteuerung eingerechnet

VARIANTEN	0	2	3	4	6	9	9
	IST	Minimal	Konv.Max	Absorber	Gasmotor	BHKW	BHKW
						IBB	EKZ

INVESTITIONSKOSTEN							
Technische Anlagen n = 12 Jahre	0	0	0	0	500000	0	0
Technische Anlagen n = 15 Jahre	0	1067000	1561000	1805000	1915000	2250000	2250000
Technische Anlagen n = 20 Jahre	0	90000	170000	620000	200000	250000	250000
Bauarbeiten n = 25 Jahre	0	63000	79000	95000	95000	95000	95000
TOTAL Sanierungskosten [Fr.]	0	1220000	1810000	2520000	2735000	2595000	2595000

KAPITALDIENST							
•Zinsfuß [%]	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2
•Amortisationsdauer							
-Technik Mittel [n]	3	15,4	15,5	16,3	14,8	15,5	15,5
-Technik Bau [n]	13	25	25	25	25	25	25
•Anuität Technik [Fr./a]	0	113396	168953	229213	262954	244011	244011
•Anuität Bau [Fr./a]	0	4697	5889	7082	7082	7082	7082
TOTAL Kapitaldienst [Fr./a]	0	118093	174843	236295	270036	251094	251094

UNTERHALT/SERVICE							
•Heizungsanlage 2 % [Fr./a]	17300	20137	30148	30148	30148	30148	30148
•Wärmepumpen/BHKW [Fr./a]	0	0	0	15714	29100	32592	32592
TOTAL Unterhalt/Service [Fr./a]	20137	23440	35092	53383	68964	73029	73029

VARIANTEN	IST	Minimal	Konv.Max	Absorber	Gasmotor	BHKW	BHKW
ENERGIEKOSTEN							
• Verbrauch - Heizöel	7142	1050	887	476	360	350	350
- Erdgas	0	4795	4040	2420	2850	5360	5360
- Strom *	0	0	0	234	105	105	105
• Kosten - Heizöel	252749	37159	31390	16845	12740	12386	12386
- Erdgas	0	253349	213457	127863	150583	283201	283201
- Strom	0	0	0	38095	17094	17094	17094
• Total Energieaufwand	252749	290507	244848	182803	180416	312681	312681
*nur Mehrverbrauch geg. IST-Zustand							
GRUNDWASSERGEBÜREN							
• Leistungsbezogene Grösse	0	0	0	4074	4074	0	0
ENERGIEERLÖSE							
• Minderaufwand gegenüber Variante 0	0	55	115	95	95	105	105
• Pumpenersatz und Wegfall von Pumpen	0	8963	18740	15481	15481	17111	17111
• Stromverkauf IBB	0	0	0	0	0	1200	1200
• Total Energieerlöse	0	-8963	-18740	-15481	-15481	-70957	-129553
VERWALTUNGSKOSTEN							
• 3 % der Energiekosten	7582	8715	7345	5484	5412	9380	9380
TOTAL JAHRESKOSTEN	280469	431792	443387	466558	513422	575226	516630
ABWEICHUNG	65,0%	100,0%	102,7%	108,1%	118,9%	133,2%	119,6%
SPEZ. ENERGIEPREIS	7,0	10,8	11,1	11,7	12,8	14,4	12,9
(Bezogen auf Nutzenergiebedarf)							
DURCHSCHNITTLICHE KOSTEN PRO WOHNUNG							
• Total	66	102	105	110	122	136	122
• Nur Energiekosten	65	72	62	52	55	75	61

1.6 Nutzwertanalyse

Kriterien	Gewichtung S+P	Variante 1		Variante 3		Variante 4		Variante 6		Variante 9IBB		Variante 9EKZ	
		Punkt (P)	Produkt S+P	Punkt (P)	Produkt S+P	Punkt (P)	Produkt S+P	Punkt (P)	Produkt S+P	Punkt (P)	Produkt S+P	Punkt (P)	Produkt S+P
Investitionskosten	3	5	15	4	12	3	9	2	6	3	9	3	9
Kosten/Nutzen-Faktor	3	5	15	5	15	4	12	3	9	1	3	3	9
Servicefreundl.keit	2	5	10	5	10	5	10	2	4	2	4	2	4
Betriebssicherheit	3	2	6	5	15	5	15	4	10	4	10	4	10
Flexibilität	1	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Umweltverträgl.keit	3	3	9	5	15	6	18	6	18	5	15	5	15
Primärenergieeinsatz	2	4	8	5	10	6	12	6	12	4	8	4	8
Vorhandenes Personal	2	6	12	6	12	5	10	3	6	3	6	3	6
Fremdfinanzierung (Hilfe)	1	1	1	1	1	5	5	3	3	4	4	4	4
Total			80		95		96		73		64		70
Total													

Dewertung der Varianten (P)

Beurteilung	Punktzahl
sehr gut	6
gut	5
genügend	4
mangelhaft	3
schlecht	2
sehr schlecht	1

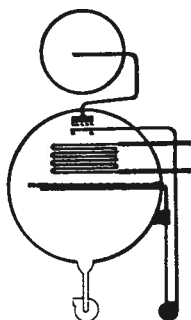
Gewichtung der Kriterien (S)

Gewichtung	Punktzahl
sehr wichtig	3
wichtig	2
weniger wichtig	1

Diese Gewichtung könnte vom Bauherrn und/oder Architekten geändert werden. Dies ist eine Frage der Politik oder Philosophie.

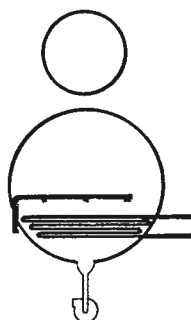
Funktionsweise der Absorptionswärmepumpe

Eine Abs.-WP entzieht genau wie eine Verdichter-WP der Wärmequelle, z.B. Grundwasser, Energie durch ein verdampfendes Kältemittel und gibt sie auf höherem Temperaturniveau an den Nutzer, z.B. Heizungskreis, ab. Die Förderung des Kältemittels erfolgt aber nicht durch den Kompressor, sondern über einen Lösungskreislauf. Dazu sind vier Funktionseinheiten erforderlich, die in der "Im Bilander" eingesetzten Maschine in einem unteren Behälter (Verdampfer und Absorber) und in einem oberen Behälter (Austreiber und Verflüssiger) zusammengefasst sind. Der Gesamtkreislauf des Absorptionswärmepumpenprozesses ist auf der folgenden Seite (Anhang 3.2) dargestellt, während Anhang 3.3 einen Vergleich zwischen Absorptions- und Kompressionskreislauf zeigt. Im folgenden werden die einzelnen Kreisläufe des Absorptionswärmepumpenprozesses für sich kurz erläutert.



Verdampfer

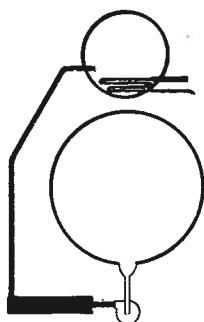
Das durch die Verdampferrohre fließende Kaltwasser (Grundwasser, 12°C) bringt das über diese Rohrschlange versprühte Kältemittel zum Verdampfen. Die dazu erforderliche Verdampfungswärme wird dem Kaltwasser entzogen, es wird abgekühlt. Als Kältemittel dient ebenfalls Wasser. Im Verdampfer herrscht deshalb ein Vakuum mit einem Druck von nur 9,3 mbar, um die notwendige niedrige Verdampfungstemperatur zu ermöglichen.



Absorber

Der im Verdampfer entstehende Kältemitteldampf (d.h. Wasserdampf) strömt hinunter in den Absorberteil, in dem eine Lithiumbromid (LiBr)-Lösung versprüht wird, die stark hygroskopisch ist und den Wasserdampf aufsaugt.

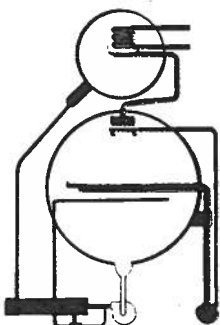
Die LiBr-Lösung verdünnt sich dabei und es entsteht Lösungswärme, welche durch das in einer Rohrschlange strömende Kühlwasser (= zu erwärmendes Heizungswasser im Fall "Im Bilander") abgeführt wird.



Austreiber

Die verdünnte LiBr-Lösung wird durch eine Pumpe in den oberen Behälter in den Austreiberteil mit den Heizschlangen gedrückt. Durch die Heizschlangen strömt Heisswasser (115°C). Durch die Erhitzung der LiBr-Lösung wird das Kältemittel (Wasser) aus der Lösung ausgedampft. Die dadurch wieder konzentrierte LiBr-Lösung fließt zum Absorber zurück. Dabei sorgt ein Lösungswärmetauscher dafür, dass die konzentrierte warme Lösung die verdünnte kalte Lösung vorwärmt.

Die für den Austreiber nötige Energiemenge wird in Abhängigkeit der Kaltwasserenergiemenge über die Temperaturdifferenz VL-RL geregelt. Soll die Abs.-WP viel Energie an den Nutzer (z.B. Heizungsnetz) abgeben, muss der Kaltwasserenergiestrom (Grundwasser) gross sein; als Folge davon wird der Heisswasserdurchfluss hochgefahren.










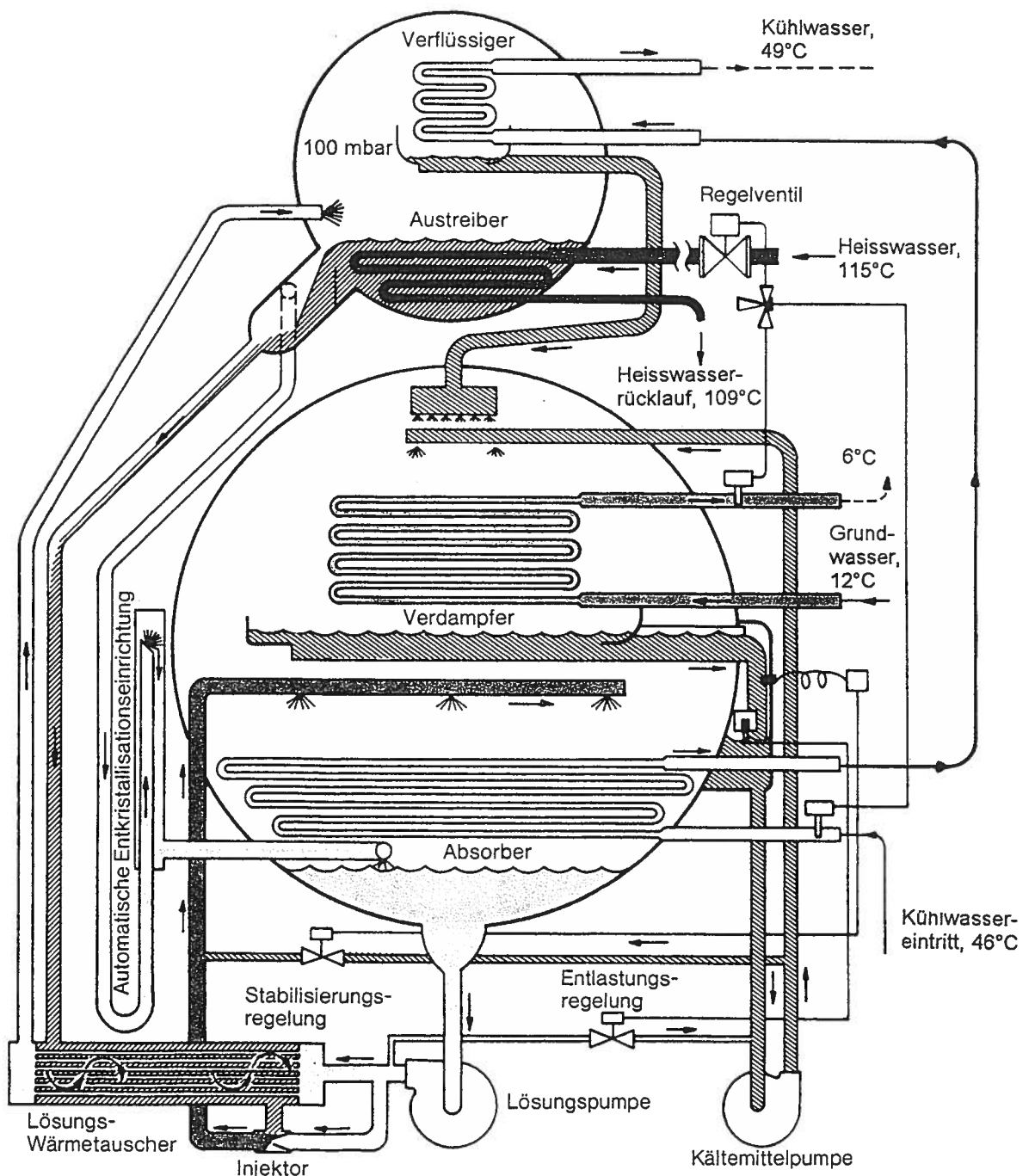
Verflüssiger

Oberhalb des Austreibers liegen die Verflüssigerrohre, durch die Kühlwasser (zu erwärmendes Heizungswasser) fließt, nachdem es in einer ersten Stufe wie oben beschrieben den Absorber gekühlt hat. Entsprechend der Kühlwassertemperatur herrscht im Austreiber-Verflüssiger-Teil ein Vakuum mit einem rund 10 mal höheren Druck als im Verdampfer, so dass sich der aus dem Austreiber kommende Kältemitteldampf (Wasserdampf) an den Kühlrohren verflüssigt. Das flüssige Kältemittel strömt nun wieder zum Verdampfer, womit der Kreislauf geschlossen ist.

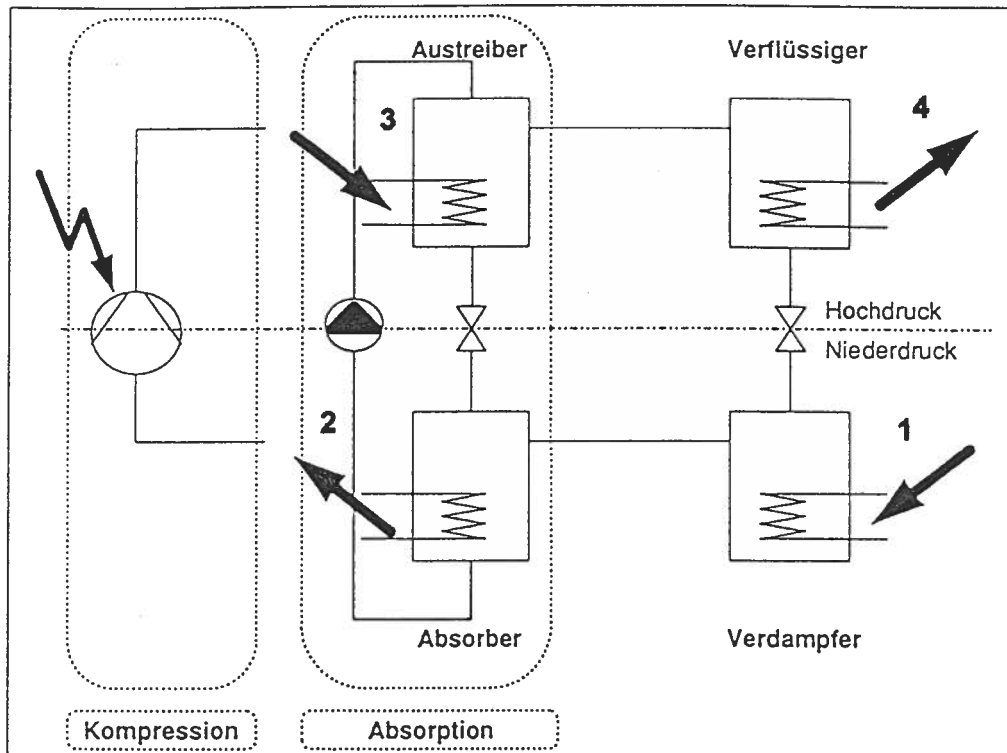
Die automatische Entkristallisationseinrichtung sorgt dafür, dass in Situationen, in denen die LiBr-Konzentration so hoch werden könnte, dass Kristallisation eintreten würde (z.B. bei zu grosser Austreiberleistung und in der Abstellphase), die konzentrierte LiBr-Lösung aus dem Austreiber direkt in die verdünnte LiBr-Lösung des Absorbers eingeleitet wird und nicht über den Lösungswärmetauscher geführt wird.

Standardkreislauf einer Lithiumbromid-Wasser-Absorptionswärmepumpe

-  Kaltwasser (= Grundwasser)
-  Kühlwasser (= zu erwärmendes Heizungswasser)
-  Konzentrierte Lösung (Li Br)
-  Lösung mittlerer Konzentration
-  Verdünnte Lösung (Li Br)
-  Dampf oder Heißwasser
-  Kältemittel (Wasser)



Vergleich zwischen Kompressions- und Absorptionskreislauf



Quelle: [7]

- 1 Wärmeaufnahme (z.B. aus Grundwasser)
- 2 Wärmeabgabe (z.B. an Heizsystem)
- 3 Energiezufuhr (z.B. von Heisswasserkessel)
- 4 Wärmeabgabe (z.B. an Heizsystem)

Funktionsweise einer Stromsparschaltung [5]

Die einem Induktionsmotor zugeführte Elektrizität muss nicht nur die mechanische Drehenergie aufbringen, sondern auch eine Reihe von unabdingbaren Verlusten decken:

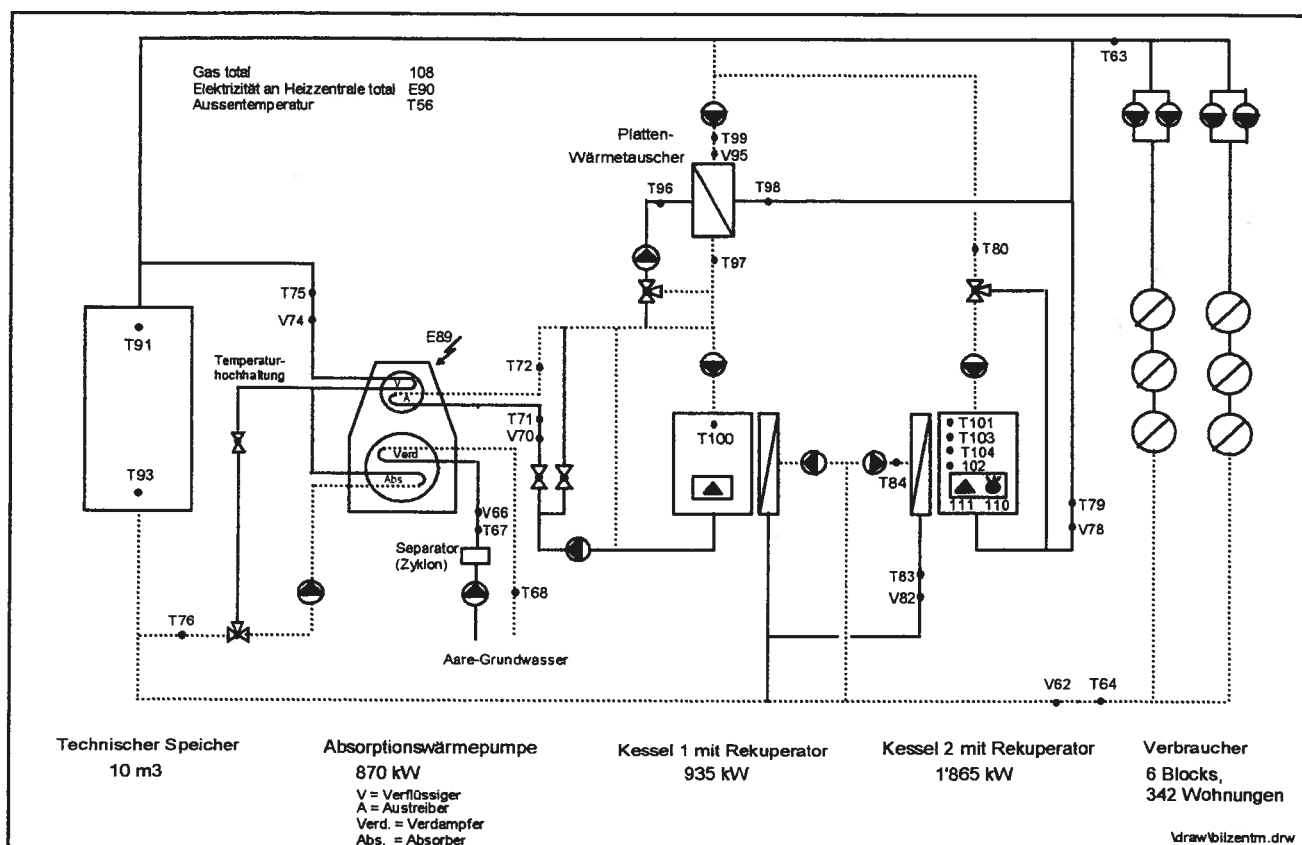
- Wicklungsverluste, verursacht durch den Stromfluss durch die Motorwicklung,
- Eisenverluste verursacht durch magnetische Ströme im Metallkern des Stators und des Rotors,
- Reibungsverluste in den Motorlagern.

Eisen- und Reibungsverluste sind unter allen Lastbedingungen konstant. D.h. bei reduzierter Last wird der Anteil dieser Verlustkomponenten grösser und der Wirkungsgrad des Motors fällt ab.

Die Eisenverluste sind um Faktoren grösser als die Reibungsverluste. Die Stromsparschaltung versucht deshalb, die Eisenverluste im Teillastbereich zu reduzieren. Da Eisenverluste proportional zum Quadrat der dem Motor zugeführten Spannung sind, reduziert die Stromsparschaltung deshalb die Spannung, wenn der Motor nicht mehr die volle Leistung abgeben muss. Der Regler misst (über die elektromotorische Kraft (emf) den Lastzustand des Motors und beeinflusst entsprechend (mittels Phasenkontrolltechnik) die zugeführte Spannung und ebenfalls den zugeführten Strom.

Die in den Unterstationen der Überbauung "Im Bilander" eingesetzten Stromsparschaltungen sind Produkte

Messstellenplan Heizzentrale



Messstellenplan Heizzentrale.

Nicht eingezeichnet: Gasdruck (P113) und Gastemperatur (T112) der Gasmessung von Kessel 2.

T = Temperatur

V = Durchfluss

E = Elektrizität

P = Druck

Details siehe Messstellenliste Anhang 6.

Messstellenliste

Nr.	Messstelle	Abkürzung	Instrument	Registrierung	Genauigkeit ¹⁾
1. Gesamtüberbauung (Block 1 - 6, Kindergarten)					
1	Wärme an Kindergarten	QKI	MID ²⁾ , Pt-100, Calec-Rechenwerk	manuell	+/- 2,5%
2	Wärme an Block 1	QU1	MID, Pt-100, Calec-Rechenwerk	manuell	+/- 2,5%
3	Wärme an Block 2	QU2	MID, Pt-100, Calec-Rechenwerk	manuell	+/- 2,5%
4	Wärme an Block 3	QU3	MID, Pt-100, Calec-Rechenwerk	manuell	+/- 2,5%
5	Wärme an Block 4	QU4	MID, Pt-100, Calec-Rechenwerk	manuell	+/- 2,5%
6	Wärme an Block 5	QU5	MID, Pt-100, Calec-Rechenwerk	manuell	+/- 2,5%
7	Wärme an Block 6	QU6	MID, Pt-100, Calec-Rechenwerk	manuell	+/- 2,5%
2. Unterstation 3 (Block 3)					
10	Wärme total an UST 3	QTU3	errechnet auf Data Logger		+/-3,0%
V11	Durchfluss	VTU3	MID ²⁾	Logger	+/-1,2%
T12	VL-Temperatur	TVLTU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T13	RL-Temperatur	TRLTU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
14	Wärme an Heizung	QHU3	errechnet auf Data Logger		+/-4,3%
V15	Durchfluss	VTU3	MID	Logger	+/-1,4%
	VL-Temperatur	= TVLTU3			
T17	RL-Temperatur	TRLHU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
18	Wärme an WW-Speicher	QSPWU3	errechnet auf Data Logger		+/-1,8%
V19	Durchfluss	VSPWU3	MID	Logger	+/-1,4%
T20	VL-Temperatur	TVLSPWU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T21	RL-Temperatur	TRLSPWU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
E22	Elektrizität an WP ⁴⁾	EWPU3	Lochstromwandler/Transmitter	Logger	+/-2%
E23	Elektrizität an Zirk.-WPs	EZWPU3	Ferraris-Zähler	manuell	+/-1%
E24	Elektrizität an UST total ⁵⁾	ETU3	Lochstromwandler/Transmitter	Logger	+/-2%
V25	Wasserverbrauch total	VKWU3	Woltmannzähler	manuell	+/-2%
T26	Kaltwassertemperatur	TKWU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
V27	Warmwasserverbrauch	VWU3	MID	Logger	+/-2% ⁶⁾
T28	WW-VL-Temperatur	TVLWU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
28a	Energie an WW-Netz	QWNU3	errechnet auf Data Logger		+/-2,2%
T29	Temperatur Speicher 1	TSPW1OU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T30	Temperatur Speicher 2	TSPW2OU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T31	VL-Temp. Zirk.-WP 1	TVLZ1U3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T32	RL-Temp. Zirk.-WP 1	TRLZ1U3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T33	VL-Temp. Zirk.-WP 2	TVLZ2U3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T34	RL-Temp. Zirk.-WP 2	TRLZ2U3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T35	VL-Temp. Kondensator	TVLKU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T36	RL-Temp. Kondensator	TRLKU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T37	VL-Temp. Verdampfer	TVLVU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T38	RL-Temp. Verdampfer	TRLVU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T39	VL-Temp. WT primär	TVLWTPU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T40	RL-Temp. WT primär	TRLWTPU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
41	Wärmeabgabe WT	QWTU3	errechnet auf Data Logger		+/-1,8%
V42	Durchfluss	VWTSU3	MID	Logger	+/-1,4%
T43	VL-Temp. WT sek.	TVLWTSU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T44	RL-Temp. WT sek.	TRLWTSU3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T47	VL-Temp. Heizgruppe 1	TVLH1U3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T48	RL-Temp. Heizgruppe 1	TRLH1U3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T49	VL-Temp. Heizgruppe 2	TVLH2U3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T50	RL-Temp. Heizgruppe 2	TRLH2U3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T51	VL-Temp. Heizgruppe 3	TVLH3U3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T52	RL-Temp. Heizgruppe 3	TRLH3U3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T53	VL-Temp. Heizgruppe 4	TVLH4U3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T54	RL-Temp. Heizgruppe 4	TRLH4U3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T56	Aussentemperatur	TA	Thermoelement Typ T	Logger	+/-1°C
T57	VL-Temp. Zirk.-WP 3	TVLZ3U3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T58	RL-Temp. Zirk.-WP 3	TRLZ3U3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T59	VL-Temp. Zirk.-WP4	TVLZ4U3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T60	RL-Temp. Zirk.-WP 4	TRLZ4U3	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾

Nr.	Messsteile	Abkürzung	Instrument	Registrierung	Genauigkeit ¹⁾
3. Heizzentrale					
61	Wärme an Fernleitung	QFL	errechnet auf Data Logger		+/-4,2%
V62	Durchfluss	VFL	MID	Logger	+/-1,2%
T63	VL-Temperatur	TVLFL	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T64	RL-Temperatur	TRLFL	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
65	Wärme aus Grundwasser	QGW	errechnet auf Data Logger		+/-6,8%
V66	Durchfluss	VGW	MID	Logger	+/-1,2%
T67	VL-Temperatur	TVLGW	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T68	RL-Temperatur	TRLGW	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
69	Wärme an Austreiber	QAUS	errechnet auf Data Logger		+/-6,8%
V70	Durchfluss	VAUS	MID	Logger	+/-2,5% ⁸⁾
T71	VL-Temperatur	TVLAUS	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T72	RL-Temperatur	TRLAUS	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
73	Wärme aus Abs.WP	QAWP	errechnet auf Data Logger		10,1%
V74	Durchfluss	VAWP	MID	Logger	+/-1,2%
T75	VL-Temperatur	TVLAWP	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T76	RL-Temperatur	TRLAWP	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
77	Wärme von Kessel 2	QKE2	errechnet auf Data Logger		+/-3,0%
V78	Durchfluss	VKE2	MID	Logger	+/-1,2%
T79	VL-Temperatur	TVLKE2	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T80	RL-Temperatur	TRLKE2	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
81	Wärme von Reku Ke 2	QREK2	errechnet auf Data Logger		+/-13,4%
V82	Durchfluss	VREK2	MID	Logger	+/-1,2%
T83	VL-Temperatur	TVLREK2	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T84	RL-Temperatur	TRLREK2	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
E89	Elektrizität an Abs.WP	EAWP	Lochstromwandler/Transmitter	Logger	+/-2%
E90	Elektr. total an Zentrale	ETZ	Ferraris-Zähler	manuell	+/-1%
T91	Temp. Speicher oben	TSO	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T93	Temp. Speicher unten	TSU	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
94	Wärme ab WT	QWTS	errechnet auf Data Logger		+/-4,2%
V95	Durchfluss	VWTS	MID	Logger	+/-1,2%
T96	VL-Temp. primär	TVLWTP	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T97	RL-Temp. primär	TRLWTP	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T98	VL-Temp. sekundär	TVLWTS	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T99	RL-Temp. sekundär	TRLWTS	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
T100	Rauchgastemp. Kessel 1	TRGKE1	Mantelthermoelement Typ K	Logger	+/-0,5°C
T101	Rauchgastemp. Kessel 2	TRGKE2	Mantelthermoelement Typ K	Logger	+/-0,5°C
102	O ₂ -Messung Kessel 2	O2KE2	Zirkonoxidzelle	Logger	+/-5%
T103	Innenrohrtemp. Kessel 2	TIRKE2	Thermoelement Typ K	Logger	+/-1°C
T104	Rauchrohrtemp. Kessel 2	TRRKE2	Thermoelement Typ K	Logger	+/-1°C
108	Gasverbrauch total	GASTOT	Drehkolbenzähler	manuell	+/-0,5%
110	Oelverbrauch Kessel 2	OELKE2	Ringkolbenzähler	Logger	+/-1%
111	Gasverbrauch Kessel 2	GASKE2	Vortex-Durchflussmesser	Logger	+/-2%
T112	Gastemperatur	TGASKE2	Thermoelement Typ T	Logger	+/-0,4°C ³⁾
P113	Gasdruck	PGASKE2	Piezoresistive Absolutdrucksonde	Logger	+/-0,25%

Data Logger

Kaye Digi Link 4 Plus, 17 bit-Auflösung

Gesamtfehler ⁷⁾: Thermoelemente Typ T, K +/- (0,003% der Anzeige + 0,25°C)
Pt-100 +/- (0,003% der Anzeige + 0,12°C)
Volt +/- (0,006% der Anzeige + 2 counts + 4 microvolts)

Verwendete Präzisionswiderstände für 4-20 mA Signale: +/- 0,01%

¹⁾ jeweils maximal zu erwartender Gesamtfehler der Messkette in Prozent des Messwerts für typische Größenordnung des Messwerts; der typische Fehler dürfte um 50% tiefer liegen.

²⁾ magnetisch-induktiver Durchflussmesser

³⁾ abgeglichen im Eisbad, für Differenzmessungen gepaart → Fehler der Differenzmessung ebenfalls +/-0,4°C

⁴⁾ Kompressoren und WP-Steuerung

⁵⁾ alle Verbraucher (WP, Zirk.-WPs, Steuerung, alle Pumpen inkl. Ellysator-Pumpe; exkl. Druckerhöhungspumpen)

⁶⁾ Zähler überdimensioniert

⁷⁾ in Genauigkeitsangaben der Messstellenliste enthalten

⁸⁾ ungünstige Messstrecke

Berechnung der Wärmemengen, des Gas- und des Ölverbrauchs

Wärmeleistung \dot{Q} :

$$(1) \quad \dot{Q} = \rho \cdot \dot{V} \cdot c_p \cdot (T_{\text{heiss}} - T_{\text{kalt}}) \quad [\text{kW}]$$

mit \dot{V} , T_{heiss} und T_{kalt} als gemessene Größen für volumetrischen Durchfluss und Temperaturen.

Für die Dichte ρ und die spezifische Wärmekapazität c_p wurden für die zu ermittelnden Wärmeleistungen der UST 3 jeweils $992,2 \text{ kg/m}^3$ resp. $1,163 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kgK}$ (+/- 0.25%) eingesetzt. Für die Berechnung der Wärmeleistungen der Heizzentrale wurden je nach vorherrschendem Temperaturniveau die folgenden Werte verwendet (+/- 0.25%):

für	QFL (= $\dot{Q}_{\text{Fernleitung}}$)	$\rho = 988,0 \text{ kg/m}^3$	$c_p = 1,163 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kgK}$	(50°C)
	QGW (= $\dot{Q}_{\text{Grundwasser}}$)	998,5 kg/m^3	$1,168 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kgK}$	(10°C)
	QAUS (= $\dot{Q}_{\text{Austreiber}}$)	950,7 kg/m^3	$1,175 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kgK}$	(110°C)
	QAWP (= $\dot{Q}_{\text{Absorber}}$)	988,0 kg/m^3	$1,163 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kgK}$	(50°C)
	QKE2 (= $\dot{Q}_{\text{Kessel 2}}$)	982,0 kg/m^3	$1,163 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kgK}$	(60°C)
	QREK2 (= $\dot{Q}_{\text{Rekuperator 2}}$)	991,4 kg/m^3	$1,163 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kgK}$	(40°C)
	QWTS (= $\dot{Q}_{\text{Wärmetauscher}}$)	977,7 kg/m^3	$1,163 \cdot 10^{-3} \text{ kWh/kgK}$	(70°C)

Fehlergrenzen für \dot{Q} : siehe Messstellenliste Anhang 6

Gasverbrauch Kessel 2:

Der Energieinhalt bezogen auf den oberen Heizwert des durch den Kessel 2 verbrauchten Gases wurde nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$(2) \quad \text{GASKE2E} = T_0 / p_0 \cdot \text{GASKE2} \cdot \text{PGASKE2} / (\text{TGASKE2} + 273.15) \cdot H_{0,n} \quad [\text{kW}]$$

mit $T_0 = \text{Normtemperatur} = 273.15 \text{ K}$

$p_0 = \text{Normaldruck} = 1.01325 \text{ bar}$

GASKE2, PGASKE2 und TGASKE2 als gemessener volumetrischer Gasdurchfluss, Gasdruck und Gastemperatur jeweils bei Betriebsbedingungen

$H_{0,n} = \text{oberer Heizwert bei Normbedingungen} = 11,163 \text{ kWh/m}^3$ (+/- 1%)

Fehlergrenzen für GASKE2E: +/-2,25%

Die Umrechnung auf den Energieinhalt bezogen auf den unteren Heizwert erfolgte nach

$$(3) \quad \text{GASKE2E} |_{H_u} = 0,9 \cdot \text{GASKE2E} |_{H_o} \quad [\text{kW}]$$

Fehlergrenzen für GASKE2E |_{H_u}: +/-2,25%

Gasverbrauch total:

Der Energieinhalt bezogen auf den oberen Heizwert des gesamten Gasverbrauchs (Kessel 1 und 2) wird nach der Beziehung

$$(4) \quad \text{GASTOTE} = \text{GASTOT} \cdot H_0 \quad [\text{kW}]$$

mit GASTOT = durch manuelle Ablesung des Zählers des Gaswerks ermittelter totaler Gasverbrauch

$H_0 = \text{oberer Heizwert bei Betriebsbedingungen} = 10,4 \text{ kWh/m}^3$ (+/- 1%)

Fehlergrenzen für GASTOTE: +/-1,12%

Ölverbrauch Kessel 2 OELKE2E:

$$(5) \text{ OELKE2E} = \rho \cdot \dot{V} \cdot H_U \quad [\text{kW}]$$

mit \dot{V} , als gemessene Grösse für volumetrischen Durchfluss

$$\rho = \text{Dichte} = 855 \text{ kg/m}^3 \quad (+/- 0.5\%)$$

$$H_U = \text{unterer Heizwert} = 11,85 \text{ kWh/kg} \quad (+/- 1\%)$$

Fehlergrenzen für OELKE2E: +/-1,5%

Fehlerrechnung für die Wärmeleistung:

$$(1) \dot{Q} = \rho \cdot \dot{V} \cdot c_p \cdot (T_{\text{heiss}} - T_{\text{kalt}}) \quad [\text{kW}]$$

Der relative Fehler der Wärmeleistung $\% \dot{Q}$ berechnet sich mit

$$(6) \% \dot{Q} = [\% \rho^2 + \% \dot{V}^2 + \% c_p^2 + \% (T_{\text{heiss}} - T_{\text{kalt}})^2]^{\frac{1}{2}} \quad [\%]$$

Beispiel QFL (an Fernleitung abgegebene Wärmeleistung):

$$\% \rho = +/- 0,25\%$$

$$\% \dot{V} = +/- 1,2\%$$

$$\% c_p = +/- 0,25\%$$

$$\% (T_{\text{heiss}} - T_{\text{kalt}}) = \text{Fehler der Differenzmessung} / \text{vorherrschende Temperaturdifferenz} \cdot 100 \\ = +/- 0,4 / 10 \cdot 100 = +/- 4,0\%$$

$$\rightarrow \% \dot{Q} = +/- [0,25^2 + 1,2^2 + 0,25^2 + 4^2]^{\frac{1}{2}} = +/- 4,2\%$$

Messprojekt "im Bilander", Brugg: Monatliche Messdaten 1992

	1992	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dez	Jahr '92	%
1. Energiebezug Gesamtüberbauung															
101 Wärme an KIGa 59)	MWh	NV	6.701	2.212	1.473	1.029	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	
102 Wärme an BLK1 30), 59)	MWh	143.028	118.983	88.801	69.738	25.105	8.897	6.919	7.391	30.264	82.139	78.301	123.058	790.220	
103 Wärme an BLK2 59)	MWh	132.951	106.276	82.871	68.250	24.806	NV	NV	NV	22.013	81.467	74.834	114.956	NV	
104 Wärme an BLK3 30), 59)	MWh	129.971	103.879	82.785	65.708	27.884	5.973	4.980	8.037	28.894	83.083	76.187	127.808	NV	
105 Wärme an BLK4 30), 59)	MWh	84.021	68.956	57.944	43.810	16.759	NV	NV	NV	20.482	48.439	48.359	69.308	NV	
106 Wärme an BLK5 30), 59)	MWh	85.276	61.530	47.430	34.528	11.812	NV	NV	NV	13.434	46.479	41.478	75.893	NV	
107 Wärme an BLK6 30), 59)	MWh	115.415	94.420	78.198	61.812	NV	NV	NV	NV	30.316	70.015	70.188	105.792	NV	
108 Total Wärme Blocks	errechnet	690.264	559.545	438.039	343.115	NV	NV	NV	NV	145.983	422.622	399.347	616.563	NV	
132 Wasser an BLK1 1)	m3	850	783	624	625	855	731	659	763	703	774	724	737	18)	9'228
133 Wasser an BLK2 1)	WTU2	783	726	792	818	808	794	673	781	791	874	798	787	18)	9'411
134 Wasser an BLK3 1)	WTU3	792	722	831	807	829	792	714	789	733	802	751	780	18)	9'322
135 Wasser an BLK4 1)	WTU4	554	502	580	530	543	528	476	543	485	532	507	492	18)	6'340
136 Wasser an BLK5 1)	WTU5	813	700	813	829	845	800	735	875	752	838	810	800	18)	9'810
137 Wasser an BLK6 1)	WTU6	800	587	814	583	644	612	580	644	549	602	568	565	18)	7'181
138 Total Wasser 1)	errechn.	4'372	4'000	4'434	4'400	4'524	4'255	3'837	4'518	4'013	4'422	4'146	4'171	18)	51'092
2. BLK3 (UST3)															
200 Wärme an BLK3	MWh	132.88	105.03	89.51	63.74	37)	10.28	37)	8.31	9.15	75.92	37)	113.85	721.45	
Differenz zu Calc 59)	errechn.	2.71	-1.35	6.72	-0.92	-0.92	NV	8)	NV	-19.74	-7.28	37)	-14.16	NV	
Verwendeter Wert		132.88	105.03	89.50	63.70	27.00	10.30	8.30	8.40	9.20	75.80	37)	113.70	721.51	
Kontrolle (Soll = 1.00)	errechn.	0.87	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
201 für Heizung	MWh	114.98	90.03	74.48	50.03	15.04	0.40	0.23	0.04	0.66	64.78	66.35	100.13	578.35	
202 für WW	MWh	17.72	15.00	15.03	12.49	11.91	9.86	8.03	8.40	8.49	11.04	11.56	13.52	143.10	
203 Elektr. an UST3	MWh	3.888	4.807	4.508	4.109	3.779	3.741	3.919	3.139	3.584	4.24	4.532	5.277	49.724	
204 Elektr. an WP	EWPLU3	1.059	2.409	2.112	1.943	1.785	1.63	2.058	2.068	2.068	2.238	2.689	3.352	25.373	
205 Wärmeabgabe WP	errechn.	NV	11.55	10.20	8.04	7.48	7.15	10.14	10.43	10.18	10.66	12.41	18.80	NV	
208 Mittl. Leistungsaf.	ETA/WP	NV	4.80	4.83	4.14	4.19	4.39	4.93	5.13	4.88	4.78	4.95	5.01	17)	4.73
207 Wärmeabgabe WT	QWTLU3	NV	4.98	8.94	6.39	6.21	4.34	6.21	6.21	4.34	6.21	6.21	6.21	15)	16.87
208 Wärme an WW-Speicher	QSPWU3	MWh	16.27	16.53	17.14	14.43	11.49	9.82	10.43	10.58	13.28	14.23	16.87	164.78	
209 Wärme an WW-Netz	QWNU3	MWh	15.44	15.15	15.15	13.28	8.35	6.84	7.28	7.53	9.59	10.28	11.86	130.08	
210 Speicherwirkungsgrad	ETASPW	-	0.95	0.88	0.92	0.73	0.73	0.70	0.70	0.71	0.72	0.71	0.72	0.79	
211 KW-Verbrauch	WNU3	m3	280	245	282	238	191	188	160	174	202	198	208	2483	
212 KW-Verbrauch	errechn.	m3	512	477	589	571	619	548	609	559	600	553	574	6629	
Systemwirkungsgr. WW															
213 exkl. Sp.verl. Pumpen	ETA/WB	-	NV	0.90	0.90	0.89	0.85	0.85	0.93	0.90	0.90	0.91	0.92	0.88	
214 inkl. Sp.verl., exkl. P.	ETA/WV	-	NV	0.80	0.83	0.82	0.76	0.76	0.84	0.84	0.85	0.86	0.85	0.70	
215 E-input pro m3 WW	errechn. kWh/m3	72	77	73	68	81	76	70	70	66	73	79	89	75	
3. Zirkulationshochleistungs-WP															
301 BLK1: Laufzeit WP1	gemessen h	871	422	383	396	345	320	288	232	284	426	515	348	18)	4'830
302 BLK2: Laufzeit WP2	gemessen h	640	521	497	516	430	409	368	NV	424	548	584	833	18)	NV
303 BLK3: Laufzeit WP1	gemessen h	643	538	608	540	505	453	418	351	399	549	540	307	18)	5'649
304 BLK3: WP2	gemessen h	691	644	608	892	688	822	840	811	835	720	680	530	18)	7'737
305 BLK3: WP1 (UST oben)	gemessen h	681	569	451	309	287	352	407	11)	232	815	525	204	18)	5'233
306 WP2 (UST ur)	gemessen h	751	703	760	483	7)	741	445	11)	276	411	482	557	18)	6'943
307 WP3 (WaikD)	gemessen h	421	331	268	292	245	251	210	11)	98	189	189	233	18)	2'928
308 WP4 (WaikD)	gemessen h	488	264	272	271	314	370	226	11)	136	168	184	184	18)	2'945

Messprojekt "Im Bilander", Brugg: Monatliche Messdaten 1992

	1992	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr '92
309 Elektr. WP1-4	gemessen kWh	1500	1536	1979	1938	1772	2030	1474	843	1240	1412	1385	1422	18129
Verh. zu WA an WW	errechn. %	0,09	0,10	0,11	0,11	0,15	0,20	0,18	0,10	0,14	0,13	0,12	0,11	0
310 BLK: Laufzeit WP1	gemessen h	326	328	319	211	384	695	618	627	518	590	629	384	5927
311 BLK: Laufzeit WP1	gemessen h	484	338	321	518	617	577	477	383	470	631	672	478	5984
312 BLK: Laufzeit WP1	gemessen h	583	521	537	635	713	710	718	388	285	380	448	419	6345
4. Heizzentrale														
401 Laufzeit Brenner 2 alt	gemessen h	303	230	179	110	50	68							
402 Laufzeit Brenner 3 alt	gemessen h	391	358	323	288	138	9							
403 Ölverbrauch alte Kessel	gemessen ltr	87000	81000	80000	55000	20000	8000	7000	10000	15000	14	341	498	343000
404 Laufzeit l. Ke Gas	gemessen h									116	662	151	546	
405 Laufzeit l. Ke Gas	gemessen h										0	114	36	
406 Laufzeit gr. Ke Öl	gemessen h									5845	52450	36131	65288	159512
407 Gasverbrauch total	gemessen Bm3											11063		
408 Ölverbrauch gr. Ke	gemessen ltr												3387	14450
409 Elektr. an Zentr. HT	gemessen kWh													
410 Elektr. an Zentr. NT	gemessen kWh	5336	7363	8970	4947	3817	2550	4178	4818	5385	8438	9771	14152	79428
411 Elektr. an Zentr. total	errechn. kWh	881.4623	820.8718	807.805	557.2463	202.835	81.054	70.92225	101.3175	204.8135	480.932	450.2737	645.3932	5114.628
412 Öl-Gas tol. an Zentrale 1a)	errechn. m3												101	
413 Injekt.pumpe RG-Kond.														
5. Klima														
414 Wärme an Farnleitung	QFL MWh													
417 Gasverbrauch gr. Ke	GASKE2 Bm3													
418	GASKEZE MWh													
419 Ölverbrauch gr. Ke	OELKE2 ltr													
420	OELKEZE MWh													
421 Output gr. Ke (o. Rekl.)	QKE2 MWh													
422 Output Rekl. gr. Ke	QREK2 MWh													
423 ohne Rekluperator	ETAKE2K -													
424 mit Rekluperator	ETAKE2 -													
430 l. Ke an Ausreiber	QALS MWh													
431 l. Ke an Wärmetauscher	QWTS MWh													
433 Output Abs.WP an FL	QAWP MWh													
434 Wärme aus Grundwasser	QGW MWh													
435 El. an Abs.WP-System	EAWP MWh													
436 Wirkungsgrad Abs.WP	ETAAWP -													
Deckungsgrad Abs.WP	DAWP -													
5. Klima														
500 Heizgradtage Messung	HGT	824	517	408	304	48	9	0	0	37	288	381	571	3188
501 Heizgradtage (ZH+BS)/2	HGT	829	511	416	308	56	13	0	0	37	341	382	578	3287

Messprojekt "Im Bilander", Brugg: Monatliche Messdaten 1993

	1993	Jan	Feb	22) Mär	23) Apr	Mai	27) Jun	Jul	31) Aug	33) Sep	36) Okt	38) Nov	38) Dez	Jahr '92					
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%					
308	Elektr. WP1-4	gemessen kWh	1'553	1'255	82	1'316	74	1'943	132	1'398	166	1'829	131	1'395	99	1'494	105	17'535	97
	Verh. zu WA an WW	errechn.	0,11	0,10	102	0,12	80	0,21	118	0,15	148	0,18	125	0,12	85	0,12	111	0,13	104
310	BLK4: Laufzeit WP1	gemessen h	416	371	113	416	130	551	89	458	73	395	87	395	87	571	149	5'284	94
311	BLK5: Laufzeit WP1	gemessen h	488	541	180	708	221	682	134	441	115	358	53	363	58	630	132	6'572	110
312	BLK6: Laufzeit WP1	gemessen h	488	381	73	600	112	782	109	675	175	498	111	512	135	676	161	6'863	108
	4. Heizzentrale																		
401	Laufzeit Brenner 2 alt	gemessen h																	
402	Laufzeit Brenner 3 alt	gemessen h																	
403	Ölverbrauch alle Kessel	gemessen ltr																	
404	Laufzeit Kl. Ke Gas	gemessen h	367	189		310	74	142	80	126	169	118	35	112	118	243	49	2'031	2031
405	Laufzeit gr. Ke Gas	gemessen h	323	192		220	22	2	0	0	0	0	0	0	0	388	71	2'534	2534
406	Laufzeit gr. Ke Öl	gemessen h	104	263		445													
407	Gasverbrauch total	gemessen Bm3	56'224	32'514		25'848													
408	Ölverbrauch gr. Ke	gemessen ltr	10'953	25'759		35'937													
409	Elektr. an Zentr. HT	gemessen kWh	6'742	6'072		7'010													
410	Elektr. an Zentr. NT	gemessen kWh	6'152	7'328		7'100													
411	Elektr. an Zentr. total	errechn. kWh	12'894	13'401		14'110	159	8'244	197	6'462	140	7'935	147	5'066	80	7'052	50	16'141	16'141
412	Öl-Gas tot. an Zentrale 1b)	errechn. kWh	63'230	565.315	66	804.170	99	78.398	108	92.655	81	199.968	98	426.554	87	565.711	81	4'379.438	4'379.438
413	Injekt. pumpe RG-Kond.	m3	128	84		155		167		141		22		23		36	38	1'443	1'443
414	Wärme an Fernleitung	QfL		614,8		525,4		67,2		91,2		199,5		416,5		588,4		3'695.800	3'695.800
417	Gasverbrauch gr. Ke	GASKEZE	NV	NV		NV		NV		0		0		NV		480,2		NV	NV
418	beogen auf Ho	MWh	NV	NV		NV		NV		0		0		NV		414,18		NV	NV
419	beogen auf Hu 1a)	MWh	NV	NV		NV		0		0		0		0		0		NV	NV
420	Ölverbrauch gr. Ke	OELKEZE	NV	NV		NV		0		0		0		0		0		NV	NV
421	Output gr. Ke (o. Rekl.)	QKEZE	NV	431,1		341,4		1,1		0		3,9		3,3		37,4		2'478.800	2'478.800
422	Output Rekl. gr. Ke	QREK2	NV	22,6		14,3		0,1		0		5,7		20,6		25,6		139.300	139.300
423	Wirkungsgrad gr. Ke 1b)	ETAKE2K																	
424	ohne Rekuperator	ETAKE2																	
424	mit Rekuperator	ETAKE2																	
430	kl. Ke an Ausreiber	Q AUS	NV																
431	kl. Ke an Wärmetauscher	Q WTS	NV																
433	Output Abs WP an FL	Q AWP	NV																
434	Wärme aus Grundwasser	Q GW	NV																
435	Ei. an Abs WP-System	E AWP	NV																
436	Wirkungsgrad Abs. WP	ETA AWP																	
437	Deckungsgrad Abs. WP	D AWP																	
440	Wirkungsgrad Zentrale	errechn.																	
	414/(412+435)			0,87		0,84		0,85		0,86		0,99		0,88		1,02		?	NV
500	5. Klima	HGT	488	536	104	458	112	18	###	8	###	47	127	206	98	466	82	3'085	3'085
501	Heizgradtage (ZH+BS)/2	HGT	495	556		455		23		27		86		328		468		3'250	3'250

Messprojekt "Im Bilander", Brugg: Monatliche Messdaten 1994

	1994	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Ok	Nov	Dez	Jahr '94	%	
309	Elektr. WP1-4 gemessen errechn.	1278 82 0.10 80	1241 99 0.11 111	1429 103 0.13 130	1436 108 0.14 120	1030 78 0.10 80	1002 78 0.10 80	987 50 0.13 61	967 50 0.13 61	1256 90 0.15 101	1509 93 0.18 91	1390 100 0.13 110	1842 123 0.16 137	16127 92 0.13 102		
310	BLK4: Laufzeit WP1 gemessen	487 112	318 86	364 88	347 106	295 79	357 90	428 77	378 85	348 76	376 85	523 101	489 87	4863 89		
311	BLK5: Laufzeit WP1 gemessen	520 107	500 92	656 93	690 100	81 78	81 137	700 108	556 126	730 164	785 211	620 173	640 102	7639 116		
312	BLK6: Laufzeit WP1 gemessen	642 138	605 159	721 120	755 131	839 98	704 149	724 93	688 99	691 121	707 138	693 133				
4. Heizzentrale																
401	Laufzeit Brenner 2 alt gemessen															
402	Laufzeit Brenner 3 alt gemessen															
403	Überbrauch alle Kessel gemessen															
404	Laufzeit Id. Ke Gas gemessen	152 41	248 125	398 128	377 920	198 279	145 109	48 32	45 36	158 92	293 282	235 189	68 27	2357 116		
405	Laufzeit gr. Ke Oel gemessen	508 157	72 38	15 32	0 0	116 53	24 109	7 350	7 350	7 350	118 25	225 43	515 133	1866 66		
406	Laufzeit gr. Ke Oel gemessen	0 0	306 116	39 9	128 112	7 350	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	18 88	487 53		
407	Gasverbrauch total gemessen	68131 118	28334 81	34788 136	29605 127	22501 114	12845 129 52	4302 53 49	4302 53 49	4302 53 49	35558 78	42020 87	55525 89	351987 93		
408	Überbrauch gr. Ke gemessen	0 0	34857 135	4938 13	15010 148	711 413	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	1859 88	57280 89		
409	Elektr. an Zentr. HT gemessen	3558 53	4093 87	4583 65	3723 120	2707 115	1575 44 52	1743 35 49	1472 49 51	3915 83	8740 312	9597 270	3118 80	48922 94		
410	Elektr. an Zentr. NT gemessen	3430 58	3992 50	2645 37	2908 84	1488 53	1380 49 52	1878 58 49	1035 30 51	1775 55	5922 282	5488 186	2780 88	34370 72		
411	Elektr. an Zentr. total errechn.	6886 54	7785 58	7228 51	6631 107	4176 81	2955 48 52	3819 44 49	2507 39 51	5980 72	14982 280	15085 237	5998 84	83192 64		
412	Öl-Gas tot. an Zentrale 1a) errechn.	618.988 97	569.849 106	374.813 62	428.180 133	217.813 117	120.229 129 52	40.338 53 49	41.858 45 51	167.413 84	332.823 78	393.307 87	538.549 92	3974.758 88		
413	inpekt.pumpe RG-Kond. m3	27 21	14 17	30 18	24 14	17 12	14 7	7 4	7 5	20 15	34 148	41 188	41 114	278 19		
414	Wärme an Fernleitung QFL	833.9 NV	582.2 95	383.9 73	407.8 134	218.4 126	115.1 134	41.2 81	46.1 51	178.1 88	343.9 83	398.1 84	574.4 98 77	3920.1 NV		
417	Gasverbrauch gr. Ke gemessen	609.6 NV	73.2 NV	18.8 NV	0.0 NV	92.1 NV	31.4 NV	6.7 NV	8.1 NV	78.8 NV	121.3 NV	243.0 39	588.2 123	1848.8 NV		
418	bezoogen auf Ho bezoogen auf Hu 1a)	548.6 NV	65.9 NV	18.7 NV	0.0 NV	82.8 NV	28.3 NV	6.0 NV	7.3 NV	71.8 NV	108.2 NV	218.7 39	508.8 123	1684.8 NV		
419	Überbrauch gr. Ke lr	0.0	354.8	50.7	147.5	12.1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	18.1	583.2 NV		
420	Output gr. Ke (o. Rek.) QKE2	499.7	374.4 87	59.0	128.2	87.8	24.8 142	5.3 482	6.2 88	65.5 93	98.7 30	202.8 40	487.0 129	2704.2 NV		
422	Output Rek. gr. Ke Wirkungsgrad gr. Ke 1a)	30.2	13.8 80	2.8	4.4	3.9	1.8 200	0.5 500	0.5 500	4.8 81	5.6 27	11.9 42	28.1 101	105.9 NV		
423	ohne Rekuoperator ETAKE2K	0.91	0.89	0.87	0.88	0.82	0.87	0.88	0.85	0.81	0.80	0.83	0.82	0.91 NV		
424	mit Rekuoperator ETAKE2	0.97	0.92	0.92	0.91	0.97	0.93	0.98	0.92	0.98	0.98	0.98	0.97	0.95 NV		
430	Id. Ke an Ausreiber QAU5	0.0	1.7 43	0.0	1.4 44	2.9 45	1.9 48	23.9 45	22.9 45	38.7 45	131.5 45	106.5 45	4.1	333.5 NV		
431	Id. Ke an Wärmetauscher QWTS	61.6	120.0	212.7	179.8	80.8	55.8	0.7	3.1	38.3	47.2	35.2	25.7	859.0 NV		
433	Output Abs.WP an FL QAWP	0.0	1.7 43	0.0	1.8 44	3.3 45	2.2 48	34.4 48	31.1 48	48.2 48	156.4 48	117.3 48	3.3	389.5 NV		
434	Wärme aus Grundwasser QGW	0.0	0.2	0.0	0.2	0.3	0.2	5.1	5.7	5.9	8	0 54	0.0	24.7 NV		
435	El. an Abs.WP-System EAWP	0.0	0.07	0.0	0.08	0.13	0.09	1.21	0.75	1.61	5.52	5.21	0.20	14.9 NV		
436	Wirkungsgrad Abs.WP ETAAWP	0.0	0.07	0.0	0.08	0.13	0.09	1.37	1.32	1.28	1.14	1.05	0.77	1.15 NV		
437	Deckungsgrad Abs.WP DAWP	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.83	0.87	0.27	0.45	0.30	0.01	0.10 NV		
440	Wirkungsgr. Zentrale 1a) 414/(412+435)	1.02 NV	0.87 NV	1.02 NV	0.95 NV	1.01 NV	0.98 NV	0.99 NV	1.08 NV	1.04 NV	1.02 NV	0.99 NV	1.07 NV	1.01 NV		
5. Klima																
501	Heizgradtage Messung HGT	507 102	478 89	285 62	330 157 48	78 217 48	53 88	0 0	0 0	58 123	283 89	328 83	471 101	2683 92		
	Heizgradtage (ZH+BS)/2 HGT	523	485	285	330	76	53	0	0	64	284	348	489	2940		

Messprojekt "Im Bilander", Brugg: Monatliche Messdaten 1995

	1995	Jan	Feb	Mär	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Ok	Nov	Dez	Jahr '95
309 Elektr.WP1-4	gemessen kWh	1708	133	1810	130	1849	115	1837	114	1578	153	1413	81	17673
Verh. zu VW an WW	errechn.	0,15	143	0,15	141	0,16	119	0,16	127	0,16	106	0,16	86	0,15
310 BLK4: Laufzeit WP1	gemessen h	510	108	540	170	573	157	538	155	525	178	689	134	7285
311 BLK5: Laufzeit WP1	gemessen h	703	135	693	139	747	114	787	111	732	128	764	137	6984
312 BLK6: Laufzeit WP1	gemessen h	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	688	103	NV
4. Heizzentrale														
401 Laufzeit Brenner 2 alt	gemessen h													
402 Laufzeit Brenner 3 alt	gemessen h													
403 Ölverbrauch alle Kessel	gemessen ltr													
404 Laufzeit Kl. Ke Gas	gemessen h	35	23	31	13	88	22	191	132	346	222	219	93	28
405 Laufzeit gr. Ke Gas	gemessen h	627	123	479	665	571	###	239	###	28	24	86	79	670
406 Laufzeit gr. Ke Oel	gemessen h	0	###	0	0	0	0	0	###	0	###	0	###	0
407 Gasverbrauch total	gemessen Bm3	71083	107	49722	189	58976	163	33427	113	21445	95	51988	124	423712
408 Ölverbrauch gr. Ke	gemessen ltr	0	###	1764	5	214	4	0	###	0	0	0	###	0
409 Elektr. an Zentr. HT	gemessen kWh	3963	111	3416	63	4919	105	8148	219	7220	267	8161	105	66441
410 Elektr. an Zentr. NT	gemessen kWh	3285	90	2527	69	4727	178	4982	172	4537	309	4358	90	4035
411 Elektr. an Zentr. total	errechn. kWh	7258	104	5943	77	9543	132	13138	196	11757	282	12522	93	111477
412 Öl-Gas tot. an Zentrale 1a)	errechn. MWh	665,150	107	483,270	81	534,528	143	312,877	73	200,725	92	468,608	124	3985,985
413 Injekt.pumpe RG-Kond.	m3	39	144	40	286	42	140	35	148	19	112	85	207	638
414 Wärme an Fernheizung	QFL MWh	694,8	110	473,8	81	556,0	145	336,8	93	207,6	95	500,7	128	4722,2
417 Gasverbrauch gr. Ke	MWh	730,2	120	494,7	676	526,0	###	179,7	###	25,7	26	38,6	30	3187,8
418 bezogen auf Ho	MWh	657,2	120	445,2	676	473,4	###	161,7	###	23,1	28	32,9	30	2951,0
418 bezogen auf Hu. 1a)	MWh													
419 Ölverbrauch gr. Ke	OELKEZ ltr													
420 Ölverbrauch gr. Ke	OELKEZE MWh	0,0	###	1,6	0	2,2	4	0	###	0	0	0	0	3,8
421 Output gr. Ke (o. Rekl.)	QKEZ MWh	617,8	124	415,9	111	447,0	758	149,8	116	19,3	22	326,9	161	2660,0
422 Output Rekl. gr. Ke	QREK2 MWh	30,7	102	23,9	176	23	821	8,0	200	1,2	31	17,1	144	142,2
423 ohne Rekuperator	ETAKEZK -	0,94	103	0,83	90	0,83	90	0,88	101	0,88	73	0,82	102	0,83
424 mit Rekuperator	ETAKEZ -	0,89	102	0,89	92	0,89	92	0,95	101	0,93	85	0,87	102	0,89
430 Kl. Ke an Ausreiber	QALS MWh	6,0	###	57,0	###	98,7	###	78,4	###	125,5	###	86,5	81	795,7
431 Kl. Ke an Wärmetauscher	QWTS MWh	14,8	24	16,2	14	1,0	0	23,6	13	7,8	10	17,5	24	145,4
432 Wärme aus Grundwasser	QGW MWh	1,5	###	0	0	13,0	###	25,1	###	32,5	###	39,0	488	107,2
436 El. an Abs.WP-System	ETAAWP MWh	0,19	###	0	0	1,13	###	1,29	###	6,03	375	3,70	71	33,2
438 Wirkungsgrad Abs.WP	DAMP -	0,01	###	0,00	###	0,12	###	0,39	###	0,80	283	0,23	78	0,25
437 Deckungsgrad Abs.WP	TA °C	1,04	102	0,98	101	1,04	101	1,13	118	1,12	108	1,02	103	1,05
440 Wirkungsgrad Zentrale 1a)	errechn.	41,4(41,2+43,5)												
5. Klima														
500 Heizgradtage Messung	HGT	590	116	390	61	483	169	265	61	65	109	435	132	2956
501 Heizgradtage (ZHH+BS)/2	HGT	594		397		483		265		125		474		3224
502 Aussentemperatur	TA °C													

Messprojekt "Im Bilander", Brugg: Monatliche Messdaten 1996

	1996	Jan	%	Feb	%	(63) MÄr	%	Apr	%	(66)
1. Energiebezugs Gesamtüberwachung										
101 Wärme an K(Ga 59)	QTKI	MWh	7.748	101	5.538	131	4.168	71	1.774	52
102 Wärme an BLK1 59)	QTU1	MWh	93.105	71	88.081	118	73.938	86	40.858	78
103 Wärme an BLK2 59)	QTU2	MWh	NV	(8)	NV	(8)	NV	(8)	NV	(8)
104 Wärme an BLK3 59)	QTU3	MWh	125.863	133	117.812	174	100.272	138	53.291	88
105 Wärme an BLK4 59)	QTU4	MWh	76.545	NV	72.749	NV	61.340	100	31.729	80
106 Wärme an BLK5 59)	QTU5	MWh	77.700	105	72.439	140	62.984	178	36.122	84
107 Wärme an BLK6 59)	QTU6	MWh	71.120	98	87.042	135	57.285	97	30.807	78
108 Total Wärme/Blocks	errechnet	MWh	NV	(8)	NV	(8)	NV	NV	NV	NV
132 Wasser an BLK1 1)	WTU1	m3	871	111	810	117	881	110	779	97
133 Wasser an BLK2 1)	WTU2	m3	789	97	890	101	809	105	742	94
134 Wasser an BLK3 1)	WTU3	m3	780	99	694	97	809	105	865	98
135 Wasser an BLK4 1)	WTU4	m3	422	87	390	98	448	101	389	88
136 Wasser an BLK5 1)	WTU5	m3	700	94	640	99	728	100	856	88
137 Wasser an BLK6 1)	WTU6	m3	525	91	487	92	549	93	514	83
138 Total Wasser 1)	errechn.	m3	4067	97	3711	102	4220	103	3785	90
2. BLK3 (UST3)										
200 Wärme an BLK3	QTU3	MWh	115.35	99	108.58	138	98.74	99	52.56	100
Differenz zu Caldec 59)	errechn.	MWh	-10.51		-9.23		-11.53		-0.73	58)
Verwendeter Wert			115.40	99	108.60	137	88.80	100	52.00	100
Kontrolle (Soll = 1.00)	errechn.		1.03		1.00		1.00		1.00	
201 für Heizung	CHU3	MWh	101.18	98	95.11	141	78.14	98	43.16	100
202 für WW	errechn.	MWh	14.19	102	13.47	121	12.60	101	9.40	100
203 Elektr. an UST3	ETU3	MWh	2.340	82	2.634	79	4.219	128	3.865	100
204 Elektr. an WP	EWPU3	MWh	0	0	0.400	37	1.947	199	1.982	100
205 Wärmeabgabe WP	errechn.	MWh	0.00	0	2.47	44	10.71	208	10.21	100
206 MHR Leistungsf.	ETAWP				0.18	120	5.50	103	5.15	100
207 Wärmeabgabe WT	QWTU3	MWh	14.19	118	11.40	172	3.84	46	1.17	100
208 Wärme an WW-Speicher	QSPWU3	MWh	14.58	102	13.97	114	14.55	108	11.38	100
209 Wärme an WM-Netz	QNWU3	MWh	10.72	107	10.22	116	10.77	109	8.29	100
210 Speicherwirkungsgrad	ETASPW		0.74	101	0.74	103	0.74	100	0.73	100
211 WW-Verbrauch	WVU3	m3	194	100	199	113	220	111	168	100
212 KW-Verbrauch	errechn.	m3	588	98	495	92	589	104	517	95
Systemwirkungsgr. WW										
213 ext. Sp.verl., Pumpen	ETAWB		0.94	105	0.91	104	0.92	103	0.82	105
214 Inkl. Sp.verl., ext. P.	ETAWN		0.69	110	0.87	108	0.88	104	0.87	105
215 E-input pro m3 WW	errechn.	kWh/m3	80	97	76	97	72	95	74	95
3. Zirkulationshochleistungs-WP										
301 BLK1 Laufzeit WP1	gemessen	h	540	98	484	98	528	100	389	92
302 WP2	gemessen	h	704	110	619	108	622	95	478	78
303 BLK2 Laufzeit WP1	gemessen	h	723	123	683	152	751	136	NV	(69)
304 WP2	gemessen	h	740	108	691	108	747	105	855	98
305 BLK3 WP1 (UST oben)	gemessen	h	754	138	696	126	778	129	669	105
306 WP2 (UST unten)	gemessen	h	760	101	707	113	762	136	NV	(89)
307 WP3 (WaKu 1)	gemessen	h	488	115	489	117	488	114	488	95
308 WP4 (WaKu 5)	gemessen	h	304	125	278	114	301	122	218	105

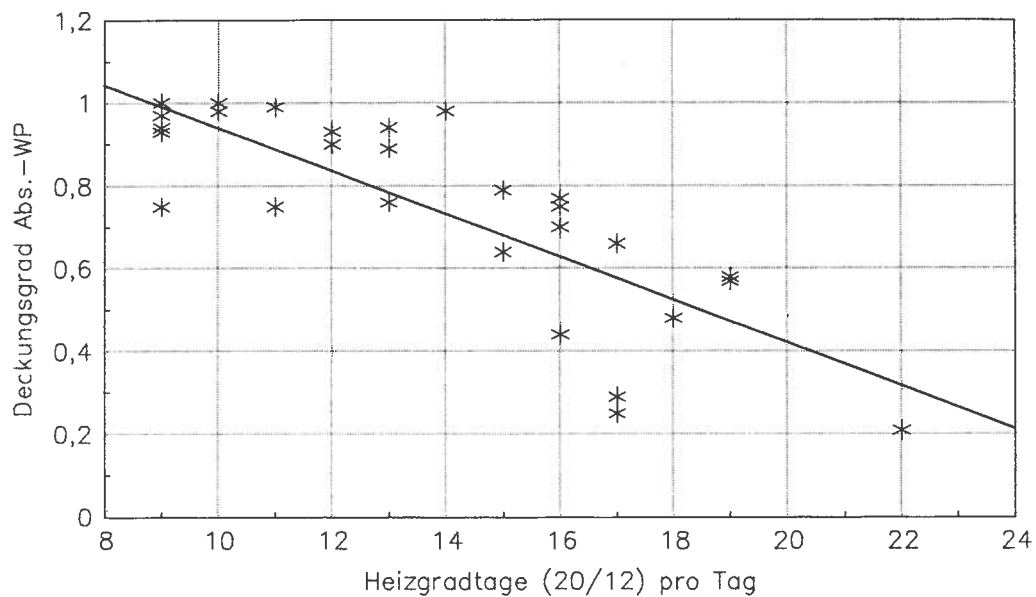
Fussnoten siehe Anhang 8.10

	1996	Jan	%	Feb	%	(63) MÄr	%	Apr	%	(66)
309 Elektr. WP1-4	gemessen	kWh	1'390	81	1'294	80	1'334	81	1'000	81
Verh. zu W8 an WW	errechn.		0.11	79	0.11	73	0.11	77	0.11	65
310 BLK4 Laufzeit WP1	gemessen	h	752	147	685	127	759	132	682	127
311 BLK5 Laufzeit WP1	gemessen	h	782	111	718	104	802	107	716	93
312 BLK6 Laufzeit WP1	gemessen	h	727	NV	679	NV	781	NV	682	NV
4. Heizzentrale										
401 Laufzeit Brenner 2 all	gemessen	h								
402 Laufzeit Brenner 3 all	gemessen	h								
403 Überbrauch alle Kessel	gemessen	h								
404 Laufzeit Kl. Ke Gas	gemessen	h	20	57	51	165	390	453	359	144
405 Laufzeit gr. Ke Gas	gemessen	h	728	118	626	131	142	25	86	28
406 Laufzeit gr. Ke Oel	gemessen	h	0	##	0	0	151	##	0	##
407 Gasverbrauch total	gemessen	Bm3	72'903	103	66'831	134	36'152	84	26'532	79
408 Überbrauch gr. Ke	gemessen	h	0	##	0	0	17'020	##	0	##
409 Elektr. an Zentr. HT	gemessen	kWh	4'041	102	4'157	122	10'111	210	9'291	114
410 Elektr. an Zentr. NT	gemessen	kWh	4'342	132	3'565	142	8'622	208	6'265	128
411 Elektr. an Zentr. total	errechn.	kWh	8'383	116	7'742	130	18'933	209	15'526	118
412 Öl-Gas tot. an Zentrale 1a)	errechn.	MWh	882.372	103	823.686	128	510.825	98	248.340	78
413 Injekt.pumpe RG-Kond.		m3	56	144	77	193	108	257	87)	111
414 Wärme an Fernleitung	QFL	MWh	701.5	101	656.1	139	541.2	97	317.5	94
417 Gasverbrauch gr. Ke	GASKEZE	MWh	768.4	105	686.3	135	132.9	25	60.4	34
418 bezogen auf Ho	MWh	689.8	105	599.7	135	119.8	25	54.4	34	
419 Überbrauch gr. Ke	DELKEZ	h	0.0	##	21.72	##	151.5	##	0	##
420 Output gr. Ke (o. Rek.)	QKEZ	MWh	642.7	104	575.4	138	245.8	55	48.5	33
422 Output Rek. gr. Ke	QREKZ	MWh	34.3	112	30.4	127	10.6	48	2.7	31
Wirkungsgrad gr. Ke 1a)	ETAKEZK		0.83	99	0.83	99	0.81	96	0.81	98
424 mit Reperator	ETAKEZ		0.88	99	0.87	99	0.85	96	0.86	98
430 Kl. Ke an Ausreiber	QAU3	MWh	8.9	148	18.9	##	84)	181.5	338	178.0
431 Kl. Ke an Wärmetauscher	QWTS	MWh	0	0	7.6	47	4.7	470	7.1	30
433 Output Abs.WP an FL	QAWP	MWh	5.5	79	23.8	##	285.7	397	248.3	188
434 Wärme aus Grundwasser	QGW	MWh	-0.8	-53	5.4	##	5.7	##	54.0	215
435 EI. an Abs.WP-System	EAWP	MWh	1.05	553	0.95	##	6.70	279	8.26	132
438 Wirkungsgrad Abs.WP	ETAAMP		0.55	49	1.21	##	##	##	1.34	119
437 Deckungsgrad Abs.WP	DAWP		0.01	78	0.04	##	##	##	0.49	407
440 Wirkungsgr. Zentrale 1a)	errechn.		1.03	98	1.05	108	1.06	101	1.25	117
414(412+435)										
5. Klima										
500 Heizgradtage Messung	HGT		584	99	565	145	558	116	210	79
501 Heizgradtage (ZH+BS)2	HGT		813		580		492			
502 Aussenstemperatur	TA	°C	1.3		0.5		4.5		10.6	

Fussnoten zu monatlichen Messdaten

- NV nicht verfügbar (Messung noch nicht in Betrieb oder Datenverlust)
- 1) Kalt- und Warmwasser
 - 1a) bezogen auf Hu (Hu Gas = 0.9 Ho Gas)
 - 2) Wärmezähler noch nicht in Betrieb
 - 3) exkl. Kindergarten
 - 4) Durchflusszähler VWTSU3 defekt; WP erst ab 16.1.92 in Betrieb
 - 5) hochgerechnet von Periode 7.1. - 31.1.92 auf ganzen Monat
 - 6) Fühler TVLTU3 während 21 h herausgerissen (12./13.2.92)
 - 7) WP vom 13. - 25.4.92 ausser Betrieb; zuvor seit mind. 1.4. in Dauerbetrieb
 - 8) Zähler defekt
 - 9) 19.5.92: Demontage Kessel/Brenner
 - 10) Seit 23.7.92 WT-Pumpe ausser Betrieb (WT kühlte zeitweise Speicher!)
 - 11) 14.7.92: Thermostat-Sollwerte runtergesetzt
 - 12) Umbau Zentrale
 - 13) 4.8.92: Thermostat-Sollwert runtergesetzt
 - 14) seit 25.9.92
 - 15) Probleme mit Steuerung der Speicherladung; WT wieder in Betrieb (WT kann u.U. dem Speicher Wärme entziehen)
 - 16) Nicht genaue Monatsabgrenzung der manuellen Ablesungen (Nov. 92 zu kurz, Dez. 92 zu lang)
 - 17) WT ab 2.12.92 nicht mehr in Betrieb
 - 18) Thermostaten aller Zirkulations-WP einjustiert 30.11.92/1.12.92
 - 19) linear hochgerechnet von Periode 9. - 31.12.92
 - 20) für Periode Feb. bis Dez. 92
 - 21) linear hochgerechnet von Periode 22.1. - 1.2.93
 - 22) Manuelle Ablesungsperiode umfasst nur 1. - 26.2.93
 - 23) Manuelle Ablesungsperiode umfasst 26.2.93 - 31.3.93 (33 Tage)
 - 24) Vorjahreswerte wahrscheinlich zu tief (Vermutung: Zählerproblem)
 - 25) WP defekt vom 21.4. - 11.5.93
 - 26) In Flachbauten zählt der Zähler nur 1 Trakt (= 14 Wohnungen); die restlichen allg. Zähler werden nicht abgelesen. In den Hochhäusern steht der allg. Zähler in Bezug zu allen 64 Wohnungen.
 - 27) Manuelle Ablesungsperiode umfasst 30.4.93 - 1.6.93
 - 28) WP seit 11.5.93 wieder in Betrieb; neue Regelung der UST
 - 29) gemessen (QHU3): 4.05 MWh. Grund für Abweichung: ?
 - 30) Impulsausgang falsch programmiert bei BLK1, BLK3, BLK5 und BLK6! Evtl. auch bei BLK4. Korrekte Messungen erst ab 13.7.93.
 - 31) Manuelle Ablesungsperiode umfasst 30.6.93 - 2.8.93 (33 Tage)
 - 32) Umprogrammierung des MID durch Krohne (13.7.93) führt zu falschem Messbereich auf Data Logger.
 - 33) Manuelle Ablesungsperiode 2.8.93 - 31.8.93 (29 Tage)
 - 34) Erster Monat mit überall korrekter Calec-Wärmemessung (vgl. 30))
 - 35) errechnet: $(430 + 431) / 412$
 - 36) Datalogger ohne Strom vom 4.9.93, 23:48 bis 5.9.93, ca. 16:00
 - 37) QTU3 ist nicht plausibel → QWW, QT errechnet: $QWW = QWP - EWP + QWT$; $QT = QH + QWW$
 - 38) Manuelle Ablesungsperiode 30.9.93 - 1.11.93 (32 Tage Okt. resp. 29 Tage Nov.)
 - 39) WP's seit 21.10.93 ausser Betrieb (Abs.-WP ausser Betrieb; Temp. FL hoch)
 - 40) Fehler durch Schleichmengen
 - 41) Manuelle Ablesungsperiode 1.11.93 - 30.11.93 (29 Tage)
 - 42) Vorjahresvergleich nicht ganz korrekt: siehe 30)
 - 43) Leistungsmessung
 - 44) Leistungsmessung 19.4.94
 - 45) Versuchsbetrieb 5.5.94
 - 46) Mittel von Basel und Zürich gem. SMA
 - 47) nur Feb. - Dez.
 - 48) Inbetriebnahme 29.6.94
 - 49) Manuelle Ableseperiode 1.7.94 - 2.8.94 (32 Tage)
 - 50) Defekter Kompressor-Thermostat führte zu Dauerlauf. 22.7.94 repariert.
 - 51) Manuelle Ableseperiode 2.8.94 - 31.8.94 (29 Tage)
 - 52) Manuelle Ableseperiode 31.5.94 - 1.7.94 (31 Tage)
 - 53) 23.8.94: neuer Kompressor, WP 10 Tage ausser Betrieb
 - 54) z.T. Wärmeabgabe in Grundwasser
 - 55) WP's im Vorjahr ausser Betrieb (Abs.-WP ausser Betrieb; FL-Temp. hoch)
 - 56) Pt100-Umplatzierung in UST 1, 3, 4; in UST 5 Bypass geändert
 - 57) alle WZ der div. UST am 10.4.95 durch Fa. Krohne überprüft; WZ UST muss ersetzt werden.
 - 58) Elektronik von Durchflusszähler ausgewechselt am 6.4.95 → noch immer nicht korrekt; gemessener Durchfluss ist zu hoch (vorher: zu tief).
 - 59) Wie die Fa. Krohne im Mai 95 bekannt gibt, sind die zusammen mit dem Krohne-Vertreter ausgewählten Durchflussmesser ungeeignet. Daher die vielen Ausfälle und Probleme. Die Resultate der Wärmemessungen sind mit Vorsicht zu interpretieren.
 - 60) Akkumulation Data Logger nur bis 28.3.95 → linear auf 31 Tage hochgerechnet
 - 61) Akkumulationsproblem auf Data Logger → Mittel von Basel und Zürich gem. SMA
 - 62) Akkumulation Data Logger um 1 Tag zu kurz; keine Korrektur angewendet
 - 63) Schaltjahr (29 Tage)
 - 64) Abs.-WP wegen Fehler in Steuerung (Heizen Grundwasser) vom 5.2. bis 19.2.96 ausser Betrieb.
 - 65) nur 1. - 28.2.96
 - 66) Schwimmerventil defekt
 - 67) Schwimmer verklemmt während ca. 3 Tagen Ende März 96
 - 68) Manuelle Ableseperiode 1.4.96 - 30.4.96 (29 Tage)
 - 69) Neuer Kompressor montiert
 - 70) per 30.4.96, 11:07 Uhr

Täglicher Deckungsgrad der Abs.-WP in Abhängigkeit der Heizgradtage
(aufgrund Messdaten 8. März 96 bis 18. April 96)



Lineare Regression

\\GW\CHARTS\BILDG3.CHT

Aus Grafik (lineare Regression) abgeleitete Deckungsgrad-Heizgradtage-Zuordnung:

Heizgradtage	Deckungsgrad
<= 8	1,00
9	0,98
10	0,94
11	0,88
12	0,83
13	0,78
14	0,73
15	0,68
16	0,63
17	0,57
18	0,52
19	0,47
20	0,42
21	0,37
22	0,32
23	0,28
24	0,20
>=25	0,00

Abschätzung Deckungsgrad Abs.-WP - Beispiel Oktober 94

	QFL 1) MWh	HGT 2) -	Deckungsgrad 3) -	result. Wärmeabgabe der Abs.-WP MWh
1.10.94	4.03	0	1	4.03
2.10.94	2.75	0	1	2.75
3.10.94	6.37	0	1	6.37
4.10.94	12.13	10	0.6	7.278
5.10.94	12.77	13	0.35	4.4695
6.10.94	13.45	13	0.35	4.7075
7.10.94	14.23	14	0.25	3.5575
8.10.94	14.33	13	0.35	5.0155
9.10.94	13.3	12	0.4	5.32
10.10.94	12.66	12	0.4	5.064
11.10.94	12.09	11	0.5	6.045
12.10.94	8.91	0	1	8.91
13.10.94	9.44	0	1	9.44
14.10.94	10.34	9	0.65	6.721
15.10.94	10.87	8	0.75	8.1525
16.10.94	11.3	9	0.65	7.345
17.10.94	11.69	9	0.65	7.5985
18.10.94	13.17	12	0.4	5.268
19.10.94	12.35	10	0.6	7.41
20.10.94	12.25	10	0.6	7.35
21.10.94	12.16	11	0.5	6.08
22.10.94	4.67	10	0.6	2.802
23.10.94	11.55	8	0.75	8.6625
24.10.94	11.85	10	0.6	7.11
25.10.94	12.01	10	0.6	7.206
26.10.94	12.99	11	0.5	6.495
27.10.94	12.56	11	0.5	6.28
28.10.94	14.34	13	0.35	5.019
29.10.94	13.04	11	0.5	6.52
30.10.94	11.56	0	1	11.56
31.10.94	8.7	0	1	8.7
	343.86		0.58	199.24
1) QFL = an Fernleitung abgegebene Wärme				
2) HGT = Heizgradtage 20/12				
3) aufgrund Beilage 10.2				vdg1.xls

Abschätzung des Energie- und Zeitbedarfs, um das Wärmeverteilsystem nach einer Nachtabsenkung wieder in der Temperatur hochzufahren

Wasserinhalt:

Leitungssystem Zentrale	ca.	2,5 m ³
Technischer Speicher	ca.	10,0 m ³
Fernleitung	ca.	5,7 m ³
Wärmeverteilung Blocks	ca.	19,8 m ³
Total	ca.	38,0 m ³

Energiebedarf zur Anhebung um 1 K:

$$38 \text{ m}^3 \times 1'000 \text{ kg/m}^3 \times (1,163 \times 10^{-3}) \text{ kWh/(kgK)} \times 1 \text{ K} = 44 \text{ kWh/K}$$

Masse Verrohrung:

Leitungssystem Zentrale	ca.	3'000 kg
Technischer Speicher	ca.	1'200 kg
Fernleitung	ca.	7'000 kg
Wärmeverteilung Blocks	ca.	28'000 kg
Total	ca.	39'200 kg

Energiebedarf zur Anhebung um 1 K:

$$39'200 \text{ kg} \times (1,33 \times 10^{-4}) \text{ kWh/(kgK)} \times 1 \text{ K} = 5 \text{ kWh/K}$$

Energiebedarf total zur Anhebung des Wärmeverteilsystems um 1 K: 49 kWh
um 8 K: 392 kWh

Zeitbedarf der Abs.-WP bei einer Leistung von 1'000 kW zur Anhebung des Wärmeverteilsystems um 8 K:

Kühlwassereintrittstemperatur = 45°C

Wärmeverluste vernachlässigt

Zeitbedarf für Hochfahren bis Erreichen der vollen Leistung: ca. 5 min

$$\text{Zeitbedarf} = 392 \text{ kWh}/1'000 \text{ kW} * 60 \text{ min/h} + 5 \text{ min} = \quad \quad \quad \mathbf{29 \text{ min}}$$

Hochrechnung Endenergieverbrauch bei Betrieb nur mit Kessel											
QFL 1)	HGT 2)	QFL 1)	HGT 2)	Anteil WW bei kalter FL 3)	Anteil Heiz. 1993 (1-5) MWh	Anteil Heiz. 1994 (3-5) MWh	Heiz. 93 auf HGT 94 umgerechnet MWh	Heizung (MIN von 7 und 8) MWh	Heizung und WW (5+9) MWh	Wirkungsgr. Ke mit Reku 4)	Endenergiebedarf Kessel (10/11) MWh
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Jan	NV	498	633.9	507	47 NV	586.9 NV	586.9 NV	586.9	633.9	0.95	667.3
Feb	614.8	536	582.2	479	47	535.2	507.4	507.4	554.4	0.95	583.6
Mär	525.4	458	383.9	285	47	478.4	297.7	297.7	344.7	0.96	369.1
Apr	303.9	210	407.8	330	47	256.9	403.7	360.8	407.8	0.97	420.4
Mai	174.7	36	219.4	78	47	127.7	276.7	172.4	219.4	0.98	223.9
Jun	86.2	0	115.1	53	47	39.2	68.1	68.1	115.1	0.99	116.3
Jul	67.2	18	41.2	0	40	27.2	0.0	0.0	40	1.02	39.2
Aug	91.2	8	46.1	0	40	51.2	6.1	0.0	40	1.02	39.2
Sep	199.5	47	176.1	58	47	152.5	129.1	129.1	176.1	0.99	177.9
Okt	416.5	296	343.9	263	47	369.5	296.9	296.9	343.9	0.98	350.9
Nov	618	522	396.1	329	47	571	349.1	349.1	396.1	0.96	412.6
Dez	598.4	466	574.4	471	47	551.4	527.4	527.4	574.4	0.95	604.6
Jahr	3095	3920.1	2853	550	3192.8	3370.1	3295.8	3845.8	3845.8	0.96	3994.9
<p>1) QFL = an Fernleitung abgegebene Wärme</p> <p>2) HGT = Heizgradtage 20/12</p> <p>3) ausgehend von Tagesmessungen bei Betrieb ohne Heizungsbedarf und 100% Abs.-WP-Betrieb; Juli und Aug: Ferienmonate; der etwas grössere Wärmebezug ab FL im Winter (WW vor allem via Platten-WT) ist vernachlässigt, da von unwesentlicher Bedeutung auf Gesamtergebnis</p> <p>4) siehe Beilage 10.2 und 10.3</p> <p>5) abgeleitet von Messdaten 91/92 (ohne Abs.-WP-Betrieb) + 10%</p> <p>6) Hochrechnung aufgrund der Messdaten von UST3 der Periode Jan. - Juni 95 (Betrieb ohne Sperrung der Elektro-WP und ohne wesentlichen Störungen)</p> <p>7) Wirkungsgrad für modernes thermisches Kraftwerk: 0,58</p>											
<p>Endenergiebedarf Kessel</p> <p>Strom Zentrale exkl. Abs.-WP 5) 3995</p> <p>Total Endenergiebedarf Zentrale 60</p> <p>Strom UST 6) 4055</p> <p>Gesamttotal Endenergie Zentrale + UST 91</p> <p>Inkl. Kraftwerkwirkungsgrad 7) 4146</p> <p>4256</p>											
<p>Vor Sanierung:</p> <p>Ölverbrauch vor Sanierung 6802</p> <p>(mehrfachiger Durchschnittsverbrauch)</p> <p>Stromverbrauch Heizzentrale vor Sanierung 82</p> <p>(1990/91)</p> <p>Strom UST 0</p> <p>Gesamttotal Endenergie Zentrale + UST 6884 100%</p> <p>Inkl. Kraftwerkwirkungsgrad 7) 6943 100%</p>											
<p>Einsparung durch Sanierung</p> <p>Endenergie 2738 40%</p> <p>Inkl. Kraftwerkwirkungsgrad 7) 2687 39%</p>											

Endenergiebedarf in Abhängigkeit der Fernleitungstemperatur

Fall A: Abs.-WP auf Teillast mit 38 m³/h Ausstreildurchfluss, Wärmeleistung der Abs.-WP wird durch Elektro-WP aufgenommen

Hochsttemperatur um 1 bis 2K tiefer

	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900	900		
Elektro-WP																						
Nutzwärmeleistung Elektro-WP (K=Kond.) ¹⁾	900	57.5	46	22.73	0.22	5.96	743.5	738.9	731.7	727.1	718.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5
Temperatur Wärmennutzung = Temp. WW ¹⁶⁾	59	48	33.12	0.16	5.90	747.6	749.0	738.9	731.7	727.1	718.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5
Temperatur FL (VL-Temp.)	50	48	33.12	0.16	5.90	747.6	749.0	738.9	731.7	727.1	718.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5
Carnot-Wirkungsgrad Elektro-WP ²⁾	36.91	28.75	28.75	0.2	0.22	5.96	743.5	738.9	731.7	727.1	718.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5
Gütegrad ³⁾	0.16	0.18	0.18	0.2	0.22	5.96	743.5	738.9	731.7	727.1	718.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5	715.5
Leistungszahl Elektro-WP ⁴⁾	5.90	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96
Wärmeleistung aus FL (V=Verd.) ⁵⁾	747.6	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0	749.0
Elektrische Leistungsaufnahme ⁶⁾	152.4	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0	151.0
Kraftwerkswirkungsgrad ⁷⁾	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
Endleistungsbedarf Stromerzeugung ⁸⁾	262.8	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3	260.3
Fernleitung																						
FL-Wärmeverlustleistung ⁹⁾	18.2	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1	17.1
Wärmeleistungsbedarf FL ¹⁰⁾	765.8	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1	766.1
Abs.-WP																						
Heizzahl ¹¹⁾	1.38	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
Wärmeleistungsaufnahme Abs.WP aus GW ¹²⁾	210.9	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7	237.7
Wärmeleistungsaufnahme Abs.-WP ab Kessel ¹³⁾	554.9	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3	528.3
Kesselschwirkungsgrad	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Endleistungsbedarf fossil ¹⁴⁾	584.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1	556.1
Elektrische Leistungsaufnahme ¹⁵⁾	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
Kraftwerkswirkungsgrad ¹⁾	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
Endleistungsbedarf Stromerzeugung ¹⁸⁾	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3
Gesamtsystem																						
Endleistungsbedarf total	876.2	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8	845.8

¹⁾ Nutzwärmeleistung so festgelegt, dass Wärmeleistungsbedarf FL mit der durch Abs.-WP abgegebene Leistung in etwa übereinstimmt.

²⁾ Nutzwärmeleistung, die WP bei der gegebenen FL-VL-Temperatur zu erbringen vermag (gem. Bild 42)

³⁾ Gütegrad $ETA_c = \text{gemessene Leistungsziffer} / \text{Carnot-Wirkungsgrad}$; siehe Grafik Anhang 14.4

⁴⁾ Für die gegebene T_{WW} und T_{FL} : $ETA_c = \frac{T_{WW} - T_{FL}}{T_{WW}}$

⁵⁾ $Q_{st,ELWP} = (EK - 1) / \eta_{ELWP} \cdot Q_{st,ELWP}$

⁶⁾ $P_{ELWP} = Q_{st,ELWP} \cdot Q_{st,ELWP}$

⁷⁾ Für neues, fossil betriebenes Kraftwerk

⁸⁾ $P_{AWP, end} = P_{ELWP} / \eta_{AWP}$

⁹⁾ Geringere (ausgehend von Wärmeverlustrechnung in [1], Anhang A3)

¹⁰⁾ $Q_{st,FL} = Q_{st,ELWP} + Q_{st,FL}$

¹¹⁾ Gemäss Bild 34 unter Berücksichtigung, dass im Teillastbetrieb mit 38 m³/h Ausstreildurchfluss die Kühlwassertemperatur rund 2 bis 3 K unter der FL-VL-Temperatur liegt.

¹²⁾ $Q_{st,GW} = (EK - 1) / \eta_{AWP} \cdot Q_{st,FL}$

¹³⁾ $Q_{st,AUS} = Q_{st,FL} - Q_{st,GW}$

¹⁴⁾ $Q_{st,AWP, end} = Q_{st,AWP} / \eta_{AWP}$

¹⁵⁾ Die Stromaufnahme der Abs.-WP inkl. zugehörige Kreislaufpumpen ist praktisch unabhängig von der Last und beträgt rund 17 kW.

¹⁶⁾ $P_{AWP, end} = P_{AWP} / \eta_{AWP}$

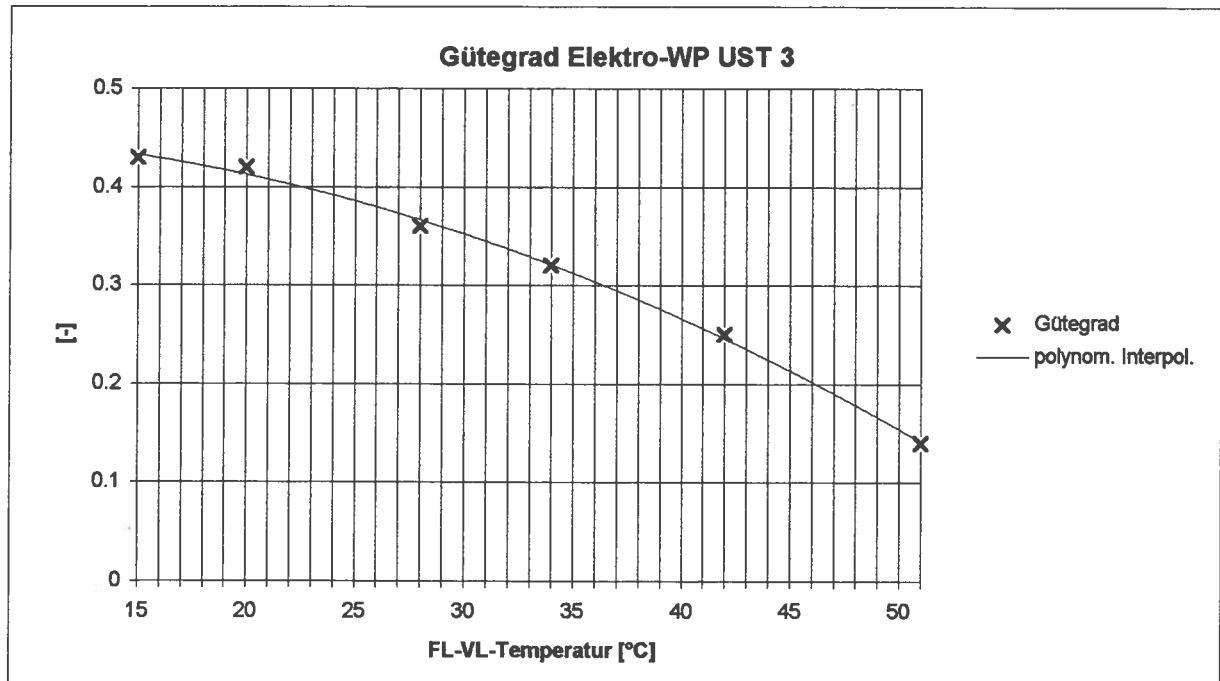
¹⁷⁾ $P_{AWP, end} = P_{AWP} / \eta_{AWP}$

¹⁸⁾ $P_{AWP, end} = P_{AWP} / \eta_{AWP}$

¹⁹⁾ $P_{AWP, end} = P_{AWP} / \eta_{AWP}$

Gütegrad Elektro-WP UST 3

- in Abhängigkeit der Verdampfer Temperatur (= FL-VL-Temperatur)
- basierend auf gemessenen Leistungsziffern und Kondensatortemperaturen (= WW-Temperatur) gemäss Bild 42 (Seite 69).



\\COP.XLS

Gütegrad (exergetischer Wirkungsgrad) = Leistungsziffer / Carnot-Wirkungsgrad

Carnot-Wirkungsgrad = $(T_K + 273.15) / ((T_K + 273.15) - (T_V + 273.15))$

mit T_K = Kondensationstemperatur [K]

T_V = Verdampfungstemperatur [K]

Kostenzusammenstellung Sanierung Energieversorgung Überbauung "Im Bilander", Brugg**Heizzentrale**

1 Heizkessel à 1865 kW + Rekuperatur
 1 Heizkessel à 935 kW + Rekuperatur
 1 Absorptionswärmepumpe à 870 kW
 Expansion, Armaturen, Pumpen, Leitungen
 Regelung
 Montage

Fr 1'500'000.-

davon Abs.-WP

Fr 291'000.-

6 Unterstationen

Speicher
 Elektro-WP
 Zirkulations-WP
 Verteiler, Armaturen, Pumpen, Platten-WT, Leitungen
 Regelung
 Montage

Fr 1'300'000.-

Sanierung Fernleitung

Stilllegung WW-Fernleitung
 Isolationsarbeiten in Tiefgarage
 teilweise Ersatz der Heizungsfernleitung

Fr 100'000.-

Grundwasseranschluss

Bohrungen, Brunnen
 Graben (140 m)
 Leitungen, Pumpe, Armaturen
 Montage

Fr 150'000.-

Honorare

HLKSE Ingenieure

Fr 520'000.-

Total Sanierung Energieversorgung Überbauung "Im Bilander", Brugg**Fr 3'570'000.-****Diverses**

Arbeiten nicht im Zusammenhang mit der Energieversorgung
 Versicherungen
 Messungen
 diverse Nebenkosten

Fr 280'000.-

Total Baukosten**Fr 3'850'000.-**