

**Schlussbericht November 2003**

# **Erfolgskontrolle**

## **Heizzentrale mit indirekter Gasmotor-Wärmepumpe**

**Berufsschulen Bern-Lorraine**

ausgearbeitet durch

Bernhard Eggen  
und Stefan Lanz  
Dr.EICHER+PAULI AG  
Zinggstrasse 1, 3007 Bern

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

## Zusammenfassung

Mit der Erfolgskontrolle wurde der Betrieb des Wärmeverbundes der Berufsschulen Bern Lorraine von 1998 bis 2003 ausgewertet und damit verschiedenste Optimierungen ausgelöst. Der Verbund versorgt diverse Schulanlagen, Wohngebäude und den Botanischen Garten Bern mit Wärme. In dieser Anlage mit Pilot- und Demonstrationscharakter wurde eine indirekte Gasmotor-Wärmepumpe mit Blockheizkraftwerk (BHKW) und Elektro-Wärmepumpe (EWP) beispielhaft umgesetzt. Zum Erreichen eines hohen Nutzungsgrades wurde zudem das BHKW mit einer Wärmerückgewinnungs-Wärmepumpe (WRG-WP) ausgerüstet, die das Abgas kondensiert und die Strahlungsabwärme zurückgewinnt.

**5-jährige Betriebsauswertung des Wärmeverbundes**

Der Ausbau des Wärmeverbundes erfolgte in Etappen. Im Vollausbau wurde 2002 ein jährlicher Wärmeverbrauch von rund 6'500 MWh erreicht. Rund 50 % davon deckt die indirekte Gasmotor-Wärmepumpe ab. Im letzten Beobachtungsjahr betrug die Wärmenutzung aus dem Grundwasser über 900 MWh. Mit weiteren eingeleiteten Optimierungsmassnahmen kann dieser Anteil noch auf etwa 1'100 MWh/a gesteigert werden. Damit wird eine Verbesserung des Gesamtnutzungsgrades der Energiezentrale gegenüber einer konventionellen Anlage um gegen 30 % erreicht.

**Mit rund 50 % Energieabdeckung durch BHKW + EWP jährliche Einsparungen von > 90'000 l Öl-Äquivalent**

Mit dieser Anlage wurde beispielhaft aufgezeigt, dass Wärmepumpen auch in bestehenden, unsanierten Gebäuden einsetzbar sind. Um die erforderlichen tiefen Heizungs-Rücklauftemperaturen zu erreichen, sind die hydraulischen Systeme der Bezüger minutiös zu überprüfen. Optimierungsaufwand einzuplanen. Bei der Planung der Wärmepumpe ist zudem dem Gesamtnutzungsgrad unter Berücksichtigung des Förderstroms der Wärmequelle und den Systemtemperaturen besondere Beachtung zu schenken.

**Bei guter Planung können Wärmepumpen in bestehenden Gebäuden eingesetzt werden.**

## Summary

The efficiency control was evaluating the operation of the joint heating supply of the vocational schools of Bern from 1998 to 2003 permitting the implementation of the most varied optimisations. The project supplies various school and college installations, residential buildings and the Bern Botanical Gardens with heat. In this system, which has a pilot and demonstration character, an indirect gas motor heat pump with cogeneration unit and electrical heat pump was executed exemplary. To achieve a high productivity or performance ratio the cogeneration unit was additionally equipped with a heat recovery heat pump which condenses the waste gas and recycles the radiation lost heat.

**5-year operational  
evaluation**

The upgrading of the Joint Heating Project took place in stages and in the completely extended version an annual heat consumption of some 6'500 MWh was achieved in 2002. Around 50 % of this is covered by the indirect gas motor heat pump. In the last year of observation the heat utilisation from the ground water was in excess of 900 MWh. With further initiated optimisation actions this proportion can be increased to ca. 1'100 MWh/a, permitting the achievement of an improvement in the total efficiency of the power station of ca. 30 % compared with a conventional installation.

**Annual savings of  
> 90'000 l oil-equivalent**

With this installation it was demonstrated in an exemplary fashion that heat pumps are also installable in existing, non-renovated buildings. To achieve the necessary low return temperatures, the hydraulic systems of the subscribers are to be examined in great detail and optimisation expenditure is to be included in the planning. In the planning of the heat pump special attention is to be paid to the overall performance ratio, taking into account the rate of flow of the heat source, and the system temperatures.

**With good planning, heat  
pumps can be installed in  
existing, non-renovated  
buildings**

## Résumé

Avec le contrôle des résultats, on a analysé l'exploitation de l'interconnexion de chaleur entre les centres de formation professionnelle de Berne Lorraine de 1998 à 2003 et on a donc procédé à des optimisations très diverses. L'interconnexion alimente en chaleur divers établissements scolaires, immeubles d'habitation et le Jardin botanique de Berne. Dans cette installation, qui présentent un caractère pilote et de démonstration, on a transformé à titre d'exemple une pompe à chaleur indirecte avec moteur à gaz avec une centrale thermique en montage-bloc avec chauffage à distance (BHKW) et une pompe à chaleur électrique.(EWP). Pour atteindre un niveau d'utilisation élevé, la BHKW a été équipée en plus d'une thermopompe à récupération de chaleur (WRG-WP) qui condense les gaz brûlés et recycle la chaleur perdue par rayonnement.

L'extension de l'interconnexion de chaleur s'est effectuée par étapes et avec l'extension globale, on a atteint en 2002 une consommation de chaleur d'environ 6.500 MWh. Environ 50 % sont couverts par la thermopompe indirecte avec moteur à gaz. Au cours de la dernière année d'observation, l'utilisation de la chaleur provenant de la nappe phréatique était supérieure à 900 MWh. Avec de nouvelles mesures d'optimisation mises en place, cette proportion peut encore être améliorée jusqu'à environ 1.100 MWh/a. De ce fait, on obtient une optimisation du degré d'utilisation global de la centrale d'énergie d'environ 30 % par rapport à une installation classique.

Avec cette installation, on a montré que des pompes à chaleur peuvent être utilisées également dans des bâtiments existants. Pour obtenir les températures basses de retour de chauffage qui sont nécessaires, on doit contrôler minutieusement les systèmes hydrauliques des fournisseurs et intégrer des dépenses d'optimisation dans le planning. Pour la planification de la pompe à chaleur, on doit accorder en plus une attention supplémentaire au degré d'utilisation global en tenant compte du débit de la source de chaleur et aux températures du système.

**Analyse de 5 ans  
d'exploitation de  
l'interconnexion de  
chaleur**

**avec environ 50 % de  
couverture d'énergie par  
BHKW + EWP des  
économies annuelles  
supérieurs à 90.000 l  
d'équivalent huile**

**Avec une bonne  
planification, des pompes  
à chaleur peuvent être  
utilisées dans des  
bâtiments existants.**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>2</b>
<b>Summary</b>	<b>2</b>
<b>Résumé</b>	<b>2</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>2</b>
<b>1    Wärmeversorgung Berufsschulen</b>	<b>2</b>
1.1    Nahwärmeverbund Lorraine	2
1.2    Neues Konzept der Wärmeerzeugung	2
1.3    Historische Entwicklung	2
<b>2    Chronologie des Projektes</b>	<b>2</b>
<b>3    Anlagedaten</b>	<b>2</b>
3.1    Wärmeverbund	2
3.2    Heizzentrale	2
3.3    Wärmeerzeugung	2
3.4    Prinzipschema	2
3.5    Investitionen	2
3.6    Service Unterhaltskosten	2
<b>4    Erfolgskontrolle 1998 - 2003</b>	<b>2</b>
4.1    Energiebilanzen	2
4.2    Laufzeit der Aggregate	2
4.3    Kontrolle Aggregate	2
<b>5    Optimierungen</b>	<b>2</b>
5.1    Optimierung der Systemtemperaturen	2
5.2    Optimierungen am Speichermanagement	2
5.3    Spezielle Massnahmen	2
<b>6    Hinweise für Planung, Realisation und Betrieb</b>	<b>2</b>
6.1    Initialisierungsphase	2
6.2    Planung und Konzept	2
6.3    Umsetzung und Betrieb	2
<b>7    Pilot- und Demonstrationsaspekte</b>	<b>2</b>
7.1    Demoanlage	2
7.2    Spezielle Demo-Massnahmen	2
<b>8    Anhang</b>	<b>2</b>

## © Copyright

Bundesamt für Energie, 3003 Bern  
Vervielfältigung auszugsweise oder des gesamten Inhaltes  
nur unter Quellenangabe erlaubt.

## Impressum

Verfasser:            Stefan Lanz  
Projektnummer:    2001.3.426  
Telefon:            031 370 14 06  
E-Mail:             stefan.lanz@eicher-pauli.ch  
Freigabe:           Bernhard Eggen, Geschäftsleitung

Stand:                2. Fassung vom 10.05.2004 11:11  
                          1. Fassung vom 27.11.2003 14:18

G:\2002\3015\4-Dok\BE-Schlussbericht-Mai-2004.doc

# 1 Wärmeversorgung Berufsschulen

## 1.1 Nahwärmeverbund Lorraine

Bereits Ende der 80er Jahre legten verschiedene Vorstudien den Grundstein für einen Nahwärmeverbund mit effizienter Energienutzung. In der Folge wurde eine Fernleitung ab der Schule für Gestaltung Bern (**SFGB**) zur Energiezentrale der gewerblich-industriellen Berufsschule Bern (**gibb**) gelegt und die Heizanlage der SFGB aufgelöst. Mit dem Neubau "Campus" der Berufsschulen konnte die heutige Anlage realisiert werden. Zusätzlich wurden der botanische Garten und die Überbauung "Vordere Lorraine" als Wärmebezügler gewonnen.

Aufbau des Nahwärmeverbundes während letzten 10 Jahren

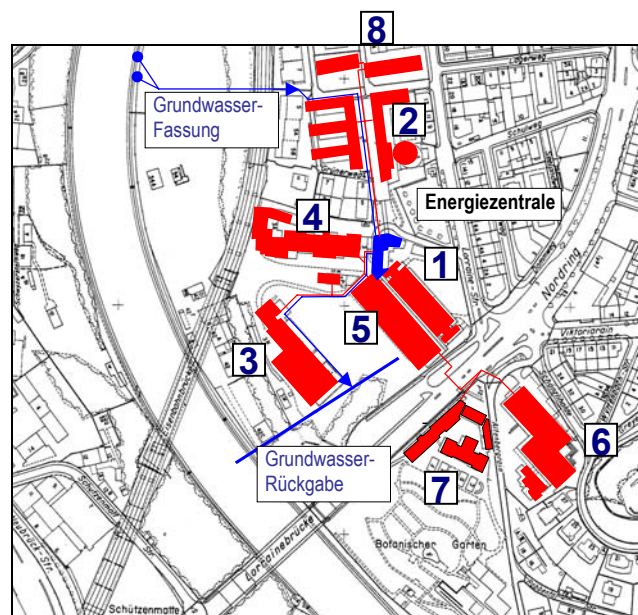


Bild 1 Situationsplan

- ① gibb-Hauptgebäude
- ② gibb-Campus
- ③ gibb-Lehrhalle
- ④ LWB-Lehrwerkstätte
- ⑤ LWB-Lehrwerkstätte
- ⑥ Schule für Gestaltung
- ⑦ Botanischer Garten
- ⑧ "Vordere Lorraine"

## 1.2 Neues Konzept der Wärmeerzeugung

Das im Auftrag des Bundesamtes für Energie erarbeitete Konzept „Indirekte Gasmotor-Wärmepumpe“ der Dr.EICHER+PAULI AG konnte in den Berufsschulen Bern Lorraine umgesetzt werden. Diese Anlage mit Demonstrationscharakter ist im Umfeld der Berufsschulen (Gewerbe- und Technikerschule) besonders interessant.

Konzept mit "indirekter Gasmotor-Wärmepumpe"

Das Prinzipschema Wärmeerzeugung im Anhang gibt eine Übersicht über die eingesetzten Aggregate und deren Einbindung.

Prinzipschema im Anhang

In erster Priorität nutzt eine Elektrowärmepumpe (**EWP**) Umweltwärme aus dem nahe der Aare gefassten Grundwasser. Über eine Leitung werden der Heizzentrale max. 1'000 l/min. Wasser zugeführt, das um 3 bis 5°C abgekühlt und über einen Regenwasser-Entlastungskanal in die Aare geleitet wird.

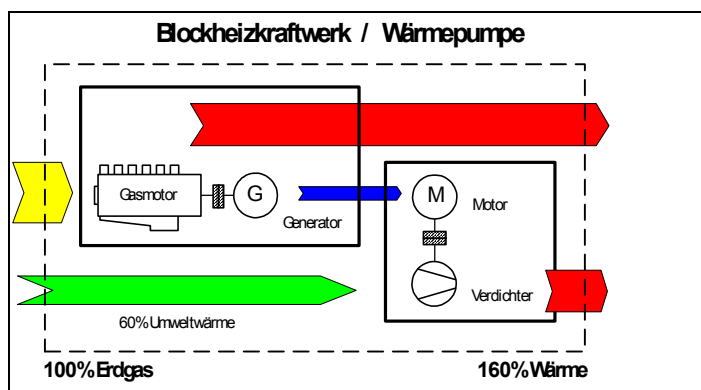
Die elektrische Antriebsenergie der Wärmepumpe stammt bei kleinem Wärmebedarf vom städtischen Stromnetz und während der Heizsaison vom Blockheizkraftwerk (**BHKW**).

Das BHKW konnte nachträglich mit einer Wärmerückgewinnungs-Wärmepumpe (**WRG-WP**) ergänzt werden, die den Nutzungsgrad des BHKWs deutlich verbesserte.

Für einen optimalen Betrieb werden diese Aggregate nur auf einen Teil der erforderlichen Heizlast ausgelegt. Für die Spitzendeckung wurden zwei moderne Gasheizkessel installiert.

Mit der Kombination von Wärmepumpe und Blockheizkraftwerk kann sich der Wirkungsgrad der eingesetzten fossilen Energie erheblich erhöhen: Von 95 % bei einer guten Heizkesselanlage auf über 160 % (Momentanwerte). Infolge der grossen Förderhöhe des Grundwassers und der hohen Vorlauftemperaturen wurde mit dieser Anlage ein leicht tieferer Wert von 150 % erreicht.

**Massive Verbesserung der Energieeffizienz mit realisiertem Konzept.**

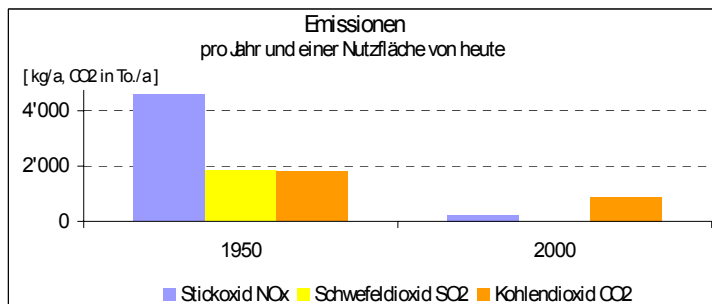


**Bild 2 Konzept indirekte Gasmotor-Wärmepumpe**

### 1.3 Historische Entwicklung

Von 1930 bis 1977 erfolgte die Wärmeerzeugung der Berufsschulen mit einer automatischen Kohleheizung. 1977 wurde dann eine Gasheizung installiert, die ab 1997 mit dem neuen Konzept abgelöst wurde.

Von 1939 bis 2000 erhöhte sich die beheizte Nutzfläche um den Faktor 2.4 auf 42'400 m<sup>2</sup>. Gleichzeitig reduzierte sich der schädliche Ausstoss von Schwefeldioxid, Kohlenwasserstoffen, Stickoxid, Kohlenmonoxid und Feststoffen um über 90 %. Auf die Nutzungsfläche bezogen beträgt der CO<sub>2</sub>-Ausstoss heute noch 50 % vom Wert von 1950.



**Umweltbelastung trotz verdoppelter Nutzfläche massiv reduziert**

**Bild 3 Schadstoffverminderung**



## 2 Chronologie des Projektes

Die Stadt Bern verfolgt seit Jahren eine Strategie zur rationellen und umweltfreundlichen Energieversorgung ihrer Liegenschaften. Die Luftreinhalteverordnung und der Neubau "Campus" machten eine Erneuerung und Erweiterung der Heizzentrale der Berufsschulen notwendig.

1995	7. Juli	Projekt und Kostenvoranschlag
1996	17. Oktober	Der Stadtrat genehmigt den Baukredit
1997	Sommer	Ersatz der konventionellen Wärmeherzeugung
1998	Sommer	Einbau Blockheizkraftwerk
1999	Herbst	Grundwasser-Fassung und -Zuleitung erstellt
	Dezember	Installation Elektrowärmepumpe (EWP)
2000	Mai	1. Umbau EWP: zu kleine Leistung (Ersatz Kompressoren)
2000	September	Einbau WRG-WP beim BHKW
	Dezember	Zuleitungs-Leck nach 4 Mte. Unterbruch repariert
2001	April	2. Umbau EWP: Garantiemangel Ölrückführung
	Dezember	Zwischenbericht Erfolgskontrolle
02/03	Winter + Sommer	Diverse Optimierungsmassnahmen
2003	November	Schlussbericht Erfolgskontrolle

Ursprünglich war eine Inbetriebsetzung der Elektro-Wärmepumpe für den Sommer 1999 vorgesehen. Verschiedene Vorkommnisse verzögerten das gesamte Projekt. Erst im Herbst 2003 konnte der geplante Betrieb dieser Spezialanlage zufriedenstellend erreicht werden, weshalb die Erfolgsbilanz für die ausgewiesenen Jahre noch nicht optimal erscheint. Die Hauptverzögerungsfaktoren waren:

1. Verschiedene Mängel der Wärmepumpe sowie der Grundwasserfassung, die schrittweise behoben werden mussten.
2. Der von der Wärmepumpe prioritär genutzte Rücklauf des Neubaus Campus war zu hoch und somit der Anteil Niedertemperaturwärme entsprechend zu klein.
3. Kontinuierliche Erweiterung des Wärmekollektives bis Ende 2001. Im Sommer 2002 wurden neue Probleme im Sommerbetrieb erkannt. In der Folge wurden Anpassungen an der Hydraulik der neu angeschlossenen Objekte vorgenommen.
4. Die sekundärseitige Sanierung der SFGB sowie des Botanischen Gartens, die erst im Sommer/Herbst 2003 abgeschlossen wurde.

Die Arbeiten der Erfolgskontrolle und Optimierung konnten zeitlich nur knapp abgeschlossen werden. Es standen lediglich 2 Wochen Sommerbetrieb zur Verfügung, um den reinen Niedertemperatur-Betrieb zu kontrollieren.

### Div. Projektverzögerung

Zu Beginn infolge Wärmepumpe- und Wasserfassungsmängel, später infolge zusätzlicher Anschluss-Objekte

Erschwerend wirkte, dass die Gesamtanlage im Jahre 2002 von der Stadt an den Kanton überging und vier verschiedene Planer involviert waren.

### 3 Anlagedaten

#### 3.1 Wärmeverbund

Aus dem Situationsplan im Anhang sind die angeschlossenen Gebäude ersichtlich, die folgende Planungswerte aufwiesen:

Gebäude- bezeichnung	Endenergie- verbrauch bei Planung	definierter Nutzenergie- bedarf ab HZ	geschätzter Wärmeleis- tungsbedarf	ca. Leistungs- anteil	anvisierte Systemtemp. saniert
	MWh/a	MWh/a	kW bei -8°C	%	VL / ca. RL
gibb	) s.u.	1'200	625	21	<75 / 55 °C
LWB	) 2'600	940	500	17	<75 / 55 °C
Lehrhallen	) s.o.	460	240	8	<70 / 55 °C
SFGB	1'170	1'000	570	19	<80 / 55 °C
Campus	neu	850	370	12	<65 / 45 °C
Bot. Garten	1'890	900 (nur tw.)	500	17	<80 / 55 °C
Vordere Lorraine	neu	400	200	6	<65 / 45 °C
<b>Total (gerundet)</b>	tw. unbekannt	<b>ca. 5'750</b>	<b>&gt; 3'000</b>	100	---

Tabelle 1 Verbraucher

##### 3.1.1 Sommerbetrieb

Lediglich der Botanische Garten hat im Sommer einen grösseren Wärmebezug für die Beheizung der tropischen Treibhäuser. Es sind zusätzlich noch verschiedene sanitäre Wassererwärmer angeschlossen (z.B. für Mensa-Betrieb), die jedoch keinen grossen Energiebedarf bewirken. Diese Wassererwärmer sind allerdings der Grund, dass nur die Fernleitung zu den Lehrhallen und neu seit 2003 auch der Teilast SFGB im Sommer abgeschaltet werden kann.

Einzig 'Botanischer Garten' mit grösserem Sommer-Wärmebedarf

Wie unter dem Kapitel "Optimierungen" näher erläutert, kann im Sommer der ganze Wärmeverbund vorwiegend mit Niedertemperatur betrieben (60° - 65°C) und alleine von der Elektro-Wärmepumpe versorgt werden.

Reduzierter Sommerbetrieb möglich

##### 3.1.2 Winterbetrieb

Mit dem Wärmebedarf des Botanischen Gartens, der höher ausgefallen ist als geplant, sind die vorhandenen Wärmeerzeuger sehr gut ausgelastet. Es gab Spitzen-Wochen bei denen neben den alternativen Wärmeerzeugern BHKW und EWP die beiden Heizkessel mehr als 16 Stunden pro Tag Volllast liefen. Insbesondere die hohen Anfahrtsspitzen zur Morgenaufheizung verursachten kurzzeitig leichte Unterdeckungen.

Kapazitätsauslastung erreicht

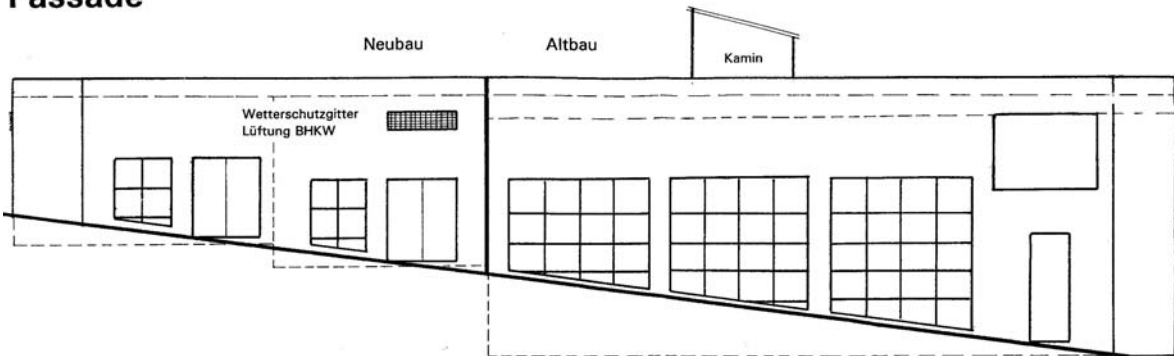
Im Pannenfall oder bei notwendigen Servicearbeiten zu Spitzenbedarfszeiten besteht im Botanischen Garten eine alte Not-Heizung, womit dieser Wärmebezügler vom Wärmeverbund abgekoppelt werden kann.

## 3.2 Heizzentrale

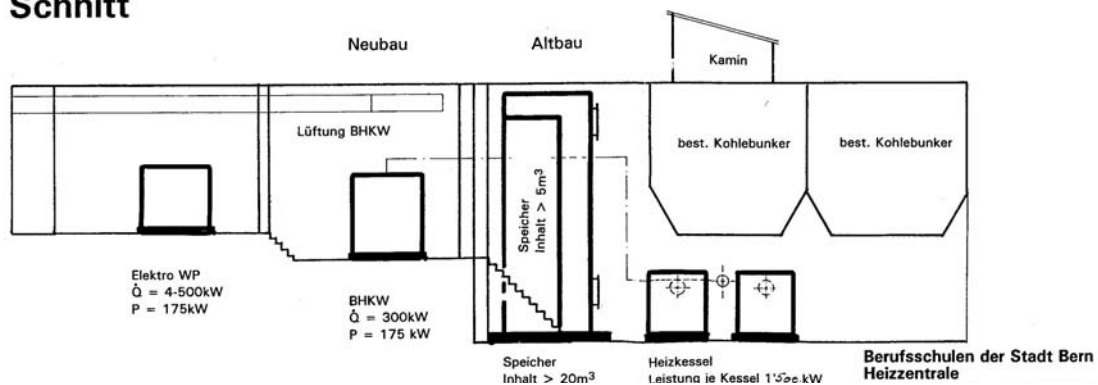
Die Heizzentrale besteht aus einem alten und einem neuen Gebäudeteil, der mit einer neuen Trafostation für die Gesamtanlage kombiniert werden konnte. Im alten Teil wurde ein nicht mehr benötigter Kohlebunker abgebrochen, womit genügend Höhe für den 32 m<sup>3</sup> Speicher entstanden ist. Dieser musste auf ein neues Fundament mit Mikropfählen gesetzt werden.

Gelungene Gebäude-  
kombination alt/neu  
konnte realisiert werden

### Fassade



### Schnitt



### Grundriss

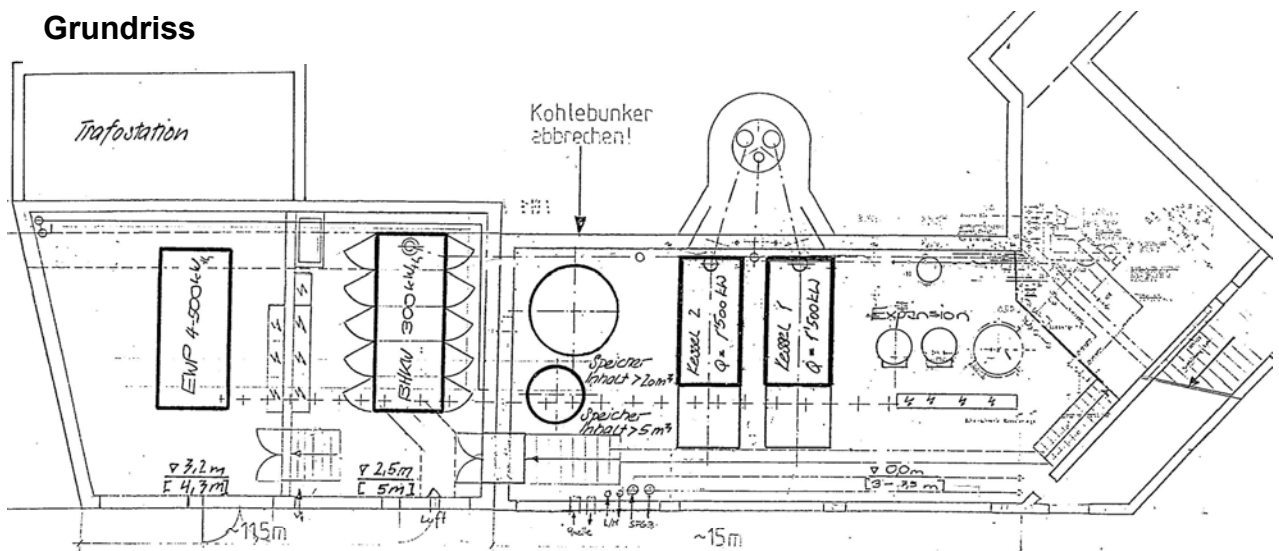


Bild 4 **Fassade, Schnitt und Grundriss der Energiezentrale**  
(Stand Projektierung 1997, Realisiert leicht geändert)

Von Aussen ist die Heizzentrale unauffällig in das Gebäudekonzept integriert. Eine Passerelle zur Verbindung der Schulgebäude schliesst an die Decke der Energiezentrale an. Erkennbar ist das Hochkamin. Die Verlängerung mit drei ca. 5 m langen Metallrohren wurde aus Emissionsgründen notwendig, obwohl mit dem Einsatz der alternativen Wärmeerzeuger (EWP + BHKW) der Gesamtausstoss an Luftschadstoff abgenommen hat.



Sanierung des Hochkamins aufgrund Bau-gesuchsauflagen

**Bild 5** Passerelle mit Hochkamin im Hintergrund

### 3.3 Wärmeerzeugung

#### 3.3.1 Gas-Heizkessel (HK)

Folgende konventionellen Gasheizkessel sichern die Spitzendeckung:

Heizkessel:	2 x Ygnis LR 1455
Gasbrenner:	2 x Elco EK 5.220 g-R4, 2-stufig
Heizleistung:	2 x 600 / 1480 kW

#### 3.3.2 Blockheizkraftwerk (BHKW)

Das 1998 eingebaute BHKW weist folgende Kenndaten auf:

Fabrikat / Typ: DIMAG AG, Niederdorf / G 234 V12

	Garantiewerte	Messwerte
Gasinput	575 kW <sub>HU</sub>	560 kW <sub>HU</sub>
Stromproduktion	190 kW	185 kW
Wärmeproduktion	330 kW	330 kW

**Tabelle 2 Kennwerte BHKW**

Seit der Inbetriebsetzung des Aggregates am 13. Juli 1998 traten keine wesentlichen Mängel auf. In den ersten Jahren, als die Wärmepumpe noch nicht im geplanten Rahmen laufen konnte, wurden über 5'300 Betriebsstunden pro Jahr erreicht. Heute sind es rund 4'500 Stunden.

Problemloser BHKW-Betrieb

### 3.3.3 Wärmerückgewinnungs-Wärmepumpe (WRG-WP)

Dank genügend Reserven auf dem Baukredit konnte das BHKW mit einer WRG-WP ergänzt werden, die die Abstrahlungswärme der Motoren sowie die Kondensations-Abwärme in den Abgasen zurückgewinnt.

Fabrikat / Typ: CTA AG, Münsingen / EME 351 spez.

Kältemittel: R134a / 24 kg

Heizwassertemp. Rücklauf: max. 66°C, Vorlauf: max. 70°C

	Garantiewerte (60/65)	Messwerte
Stromaufnahme	23 kW	21 kW
Wärmeproduktion	95 kW	96 kW
COP	4.1	4.6

**Tabelle 3 Kennwerte WRG-WP**

Seit der Inbetriebsetzung des Aggregates am 25. Oktober 2000 traten auch hier keine wesentlichen Mängel auf. Zu Beginn gab es jedoch mit den hohen Eintrittstemperaturen Probleme und es musste ein zusätzlicher Druckmessfühler im Kältekreis eingebaut werden.

Extrem hohe Betriebstemperaturen der WRG-WP sind möglich

### 3.3.4 Elektro-Wärmepumpe (EWP)

Die EWP kühlt mit Flusswasser infiltriertes Grundwasser bis nahe an die Vereisungstemperatur ab, weshalb ein überfluteter Verdampfertyp gewählt wurde.

Fabrikat / Typ: KWT AG, Belp / Bitzer 4x6F-50 2y

Kältemittel: R134a / 240 kg (überfluteter Verdampfer)

Heizwassertemp. Rücklauf: max. 56°C, Vorlauf: max. 65°C

	Garantiewerte	Messwerte
Stromaufnahme EWP	110-130 kW	117 kW
Stromaufnahme GW-Pumpen	2 x 7.5 kW	2 x 7.5 kW
Wärmeproduktion	320-460 kW	320 kW
COP: 7.5 → 5°C; 47 → 65°C	2.6	2.75
COP: 12.0 → 8°C; 47 → 57°C	3.7	3.0

**Tabelle 4 Kennwerte EWP**

Um den geforderten Betrieb zu erreichen, musste die Wärmepumpe seit der Inbetriebnahme mehrmals umgebaut werden. Anfangs konnten die eingesetzten Kompressoren die geforderte Heizleistung nicht erbringen. Danach gab es Probleme mit den Ölabscheidern. Diese Anlage war der Auslöser eines Schweizweiten Rückrufs entsprechender Ölabscheider. Dem Bauherrn entstanden jedoch keine zusätzlichen Kosten, da es sich einerseits um Garantieleistungen handelte und andererseits die Produkte-Haftpflicht zum Tragen kam.

## Grundwasserfassung für EWP

Das zur Verfügung stehende Aarewasser-infiltrierte Grundwasser weist Temperaturen zwischen 6.0 und 16.0 °C auf und muss über eine 350 m lange Leitung mit 43 m Höhendifferenz der WP zugeführt werden. Der Ablauf des abgekühlten Wassers erfolgt über einen nahe gelegenen Regenwasser-Entlastungskanal in die Aare. Von den zwei Brunnen wird der eine bei höheren Temperaturen abgeschaltet.

Fabrikat / Typ: Grundfos AG / 2x Unterwasserpumpe SP 30-8

Lange Grundwasser-Versorgungsleitung mit 43 m Höhendifferenz

	Planwerte	Messwerte
Stromaufnahme GW-Pumpen	2 x 6.8 kW	2 x 7 kW

Tabelle 5 Kennwerte Grundwasserpumpen

## 3.4 Prinzipschema

Die bestehenden Heizsysteme benötigen hohe Heizwassertemperaturen von mind. 63°C im Sommer und bis zu 80°C im Winter. Der Anteil an produzierbarer Niedertemperatur (< 65°C) ist von der Rücklauftemperatur abhängig, weshalb spezielle Massnahmen getroffen wurden, um diese zu senken. Zusätzlich wurde die Fernleitung mit der tiefsten Temperatur der EWP direkt zugeführt und erst danach zum Speicher geleitet. Das BHKW wird immer mit EWP vorgewärmten Wasser betrieben. Die Umstellklappen am Eintritt der WRG-WP waren zu Beginn nötig, als diese noch nicht mit 65°C Eintrittstemperatur betrieben werden konnte.

Vorhandene Heizung benötigt hohe Systemtemperaturen, was zu spezieller Hydraulik führte

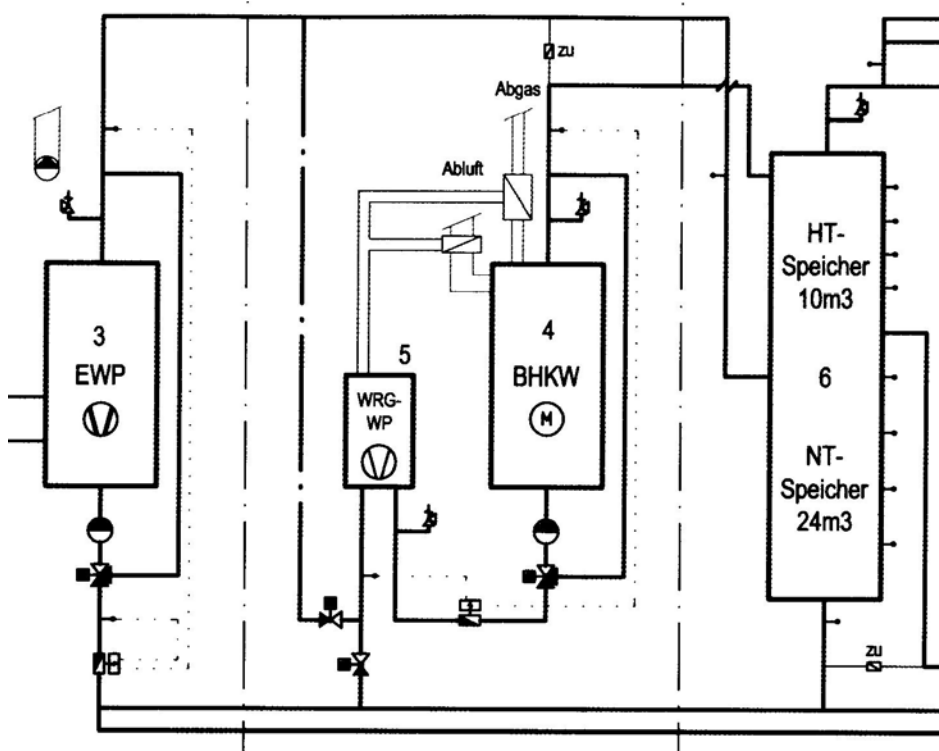


Bild 6 Prinzipschema-Ausschnitt

### 3.5 Investitionen

Einen Überblick über die Investitionen gibt nachfolgende Tabelle. Man beachte die hohen Rohbaukosten für die Heizzentrale. Diese resultieren aus einer Erweiterung, die gleichzeitig auch eine neue dreiteilige Trafostation mit Hauptverteilerraum beinhaltet. Der Neubauteil konnte mit der erforderlichen Stützmauer- und Deckensanierung (Pausenplatz) kombiniert werden.

BKP	Heizzentrale inkl. Wasserfassung (Ohne Fernleitungen des Wärmeverbundes)	Investitionen Fr. inkl. MWSt
0	Grundstück	95'000.--
1	Vorbereitungsarbeiten / Erschliessung	75'000.--
21/22	Heizzentrale Rohbau 1/2 davon Hochkamin davon Fassade/Dachsanierung inkl. Blitzschutz	800'000.-- 100'000.- 100'000.-
23	Elektroanlagen davon MSR (Leitsystem Gesamtverbund)	385'000.-- 100'000.-
24	HLK-Anlagen davon EWP davon BHKW davon WRG-WP	945'000.-- 220'000.- 275'000.- 90'000.-
27/28	Ausbau 1+2	30'000.--
29	Honorare - inkl. diversen Vorarbeiten inkl. hydrogeologischen Abklärungen u. Pumpversuch	900'000.--
4	Umgebung - Wasserfassung inkl. Leitung davon Erd- und Baumeisterarbeit (Brunnenbau) davon Sanitärleitung inkl. Anteli Heizzentrale davon Elektroinstallation	450'000.-- 300'000.- 85'000.- 65'000.-
5	Baunebenkosten	170'000.--
<b>Total</b>	<b>Heizzentrale inkl. Wasserfassung</b>	<b>3'850'000.--</b>

Tabelle 6 Investitionen

### 3.6 Service Unterhaltskosten

Die Service-/Unterhaltskosten können wie folgt ausgewiesen werden:

• Vollwartungsvertrag BHKW inkl. WRG-WP	ca. Fr. 9'000.--
• Anteil Motorenrevision alle 24'000 Betr.-Std.	ca. Fr. 11'000.--
• Servicevertrag EWP (Material nach Aufwand)	ca. Fr. 7'500.--
• Diverse Serviceabonnemente (z.B. Brenner, Exp.)	ca. Fr. 3'750.--
• Nutzung Regenwasserüberlauf*	ca. Fr. 11'250.--
• Heizwartslohn	ca. Fr. 27'500.--
<b>Total jährliche Service-/Unterhaltskosten</b>	<b>ca. Fr. 70'000.--</b>

\*Mit der Nutzung eines bestehenden Regenwasserüberlaufes konnte auf den Bau einer Ableitung verzichtet werden. Dafür muss jährlich eine Pauschale entrichtet werden.

## 4 Erfolgskontrolle 1998 - 2003

### 4.1 Energiebilanzen

Die Gegenüberstellung des Wärmebezugs (4.1.1) an den verschiedenen Unterstationen und der Energieproduktion (4.1.2) in der Heizzentrale lassen Aussagen über den Gesamt-Nutzungsgrad der Anlage zu (4.1.3).

#### 4.1.1 Wärmebezug

Der Wärmebezug der einzelnen Gebäude ist nachfolgend anhand von Wochenablesungen dargestellt. Gut ersichtlich sind die - in späteren Ausbautappen dazugekommen – Anschlussobjekte "Campus" (1999), sowie "Vordere Lorraine" und "Botanischer Garten" (2001).

Mehrjährige Ablesungen verdeutlichen die Ausbautappen

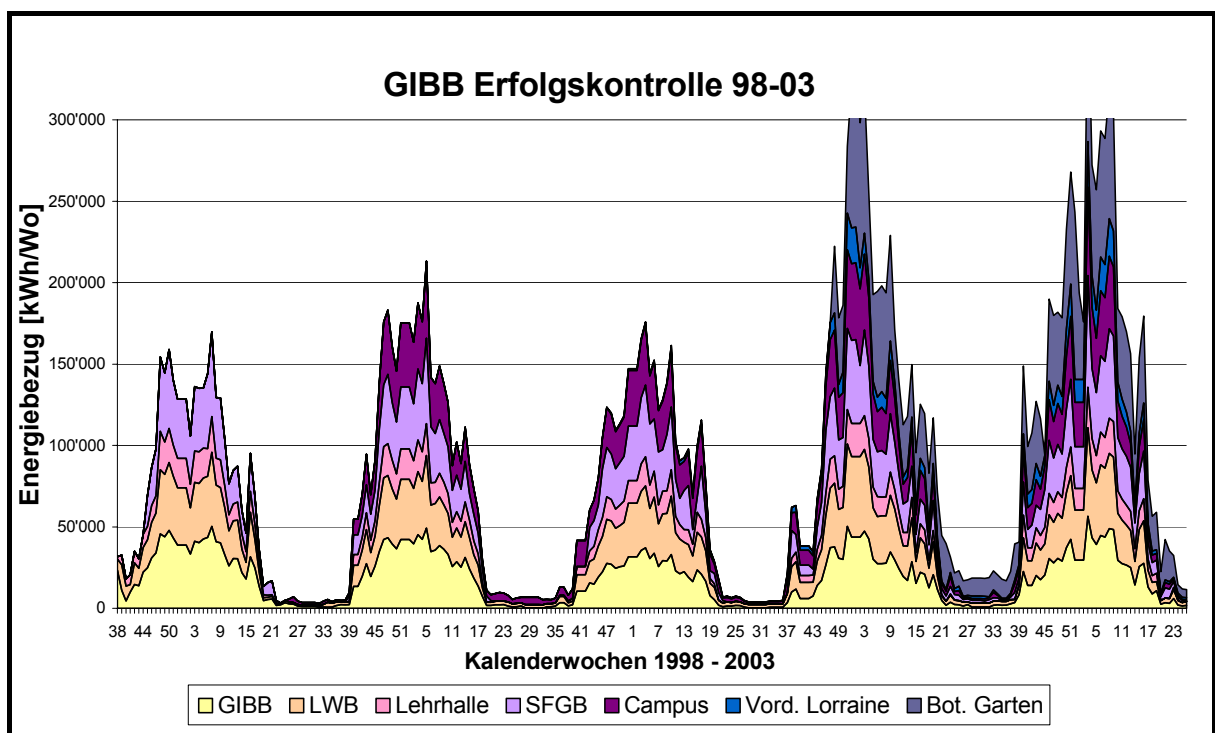


Bild 7 Energiebezug der einzelnen Gebäude

Aus dem Diagramm ist ebenfalls ersichtlich, dass seit dem Sommer 2002 ein beachtlicher Sommer-Wärmebedarf besteht. Dieser wird von den tropischen Pflanzenhäuser des Botanischen Gartens verursacht. Leider konnte dieser Sommerbedarf erst gegen Herbst 2003 erstmals vollumfänglich mit der EWP gedeckt werden. Vor den Hydrauliksaniierungen im Sommer 2003 traten zu hohe Rücklauftemperaturen auf. Auch war das Temperaturniveau der EWP von max. 65°C zu tief. Entweder musste der Notkessel des Botanischen Gartens die Hochtemperaturwärme ergänzen oder aber in der Haupt-Energiezentrale auf Winterbetrieb umgeschaltet werden. Letzteres wurde vorgezogen, was bewirkte, dass auch im Sommer BHKW Betriebsstunden anfielen.

Sommer-Wärmebedarf seit dem Anschluss des Botanischen Gartens



Die Gegenüberstellung der Planungswerte mit den effektiv gemessenen Verbrauchswerten ergibt folgendes Bild:

Gebäude- bezeichnung	Endenergie- verbrauch bei Planung	definierter Nutzenergie- bedarf ab HZ	gemessener Wärmebezug ab Fernleit.	Energie- anteil	HGT <sub>12/20°</sub> - bereinigter Wärmebezug
	MWh/a	MWh/a	MWh/a	%	MWh/a
gibb	2'600	1'200	944	16	1'052
LWB		940	886	15	990
Lehrhallen		460	405	7	452
SFGB	1'170	1'000	884	15	987
Campus	neu	850	844	14	958
Bot. Garten	1'890	900 (~50%)	1'585 (>95%)	27	1'753
Vordere Lorraine	neu	400	366	6	405
<b>Total (gerundet)</b>		<b>5'750</b>	<b>6'000</b>	100	<b>6'600</b>

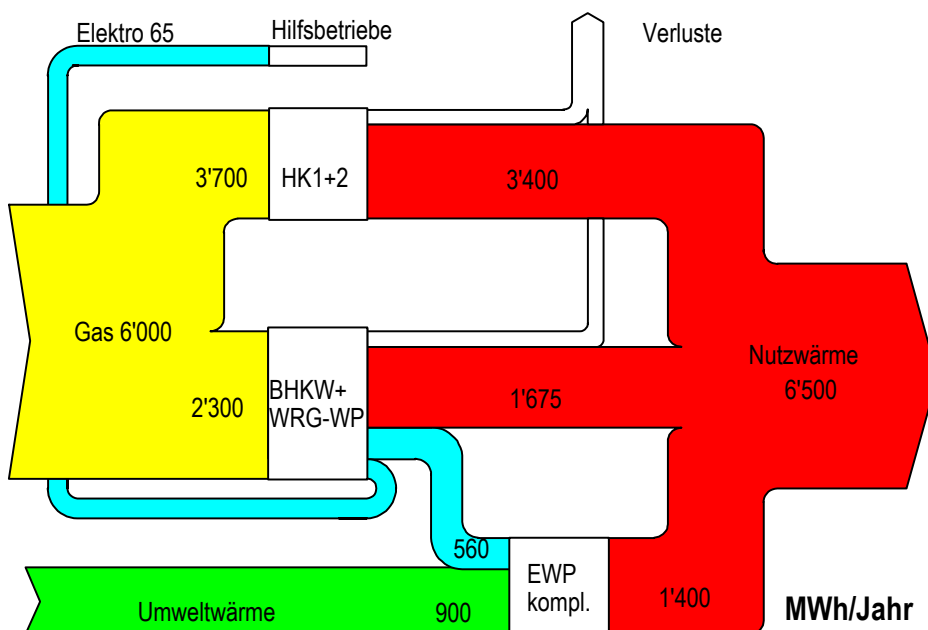
Tabelle 7 Wärmebezug Planung <-> Ist

Die mittels den Heizgradtagen (HGT<sub>12/20°C</sub>) klimabereinigten Energieverbrauchsdaten stimmen +/- 15 % mit den Prognosen überein. Einzig der Bedarf des Botanischen Gartens liegt vorübergehend bis zur Sanierung der Treibhäuser wesentlich höher als vorgesehen. Bei Tiefsttemperaturen müsste heute in der Folge während Verbrauchsspitzen die Notversorgung des Botanischen Gartens zugeschaltet werden. Die Systemtemperaturen waren im Winter unproblematischer als im Sommer. Lediglich die massiven Morgenaufheizphasen waren zu optimieren.

Optimale Kapazitätsausnutzung des Wärmeverbundes

#### 4.1.2 Energieproduktion

Nachfolgendes Energieflussdiagramm zeigt die gemessenen Werte für das Jahr 06/2002 bis 05/2003 (Pfeildicken nicht massstäblich).



Energieflussdiagramm mit mehr Output als Gas-Input

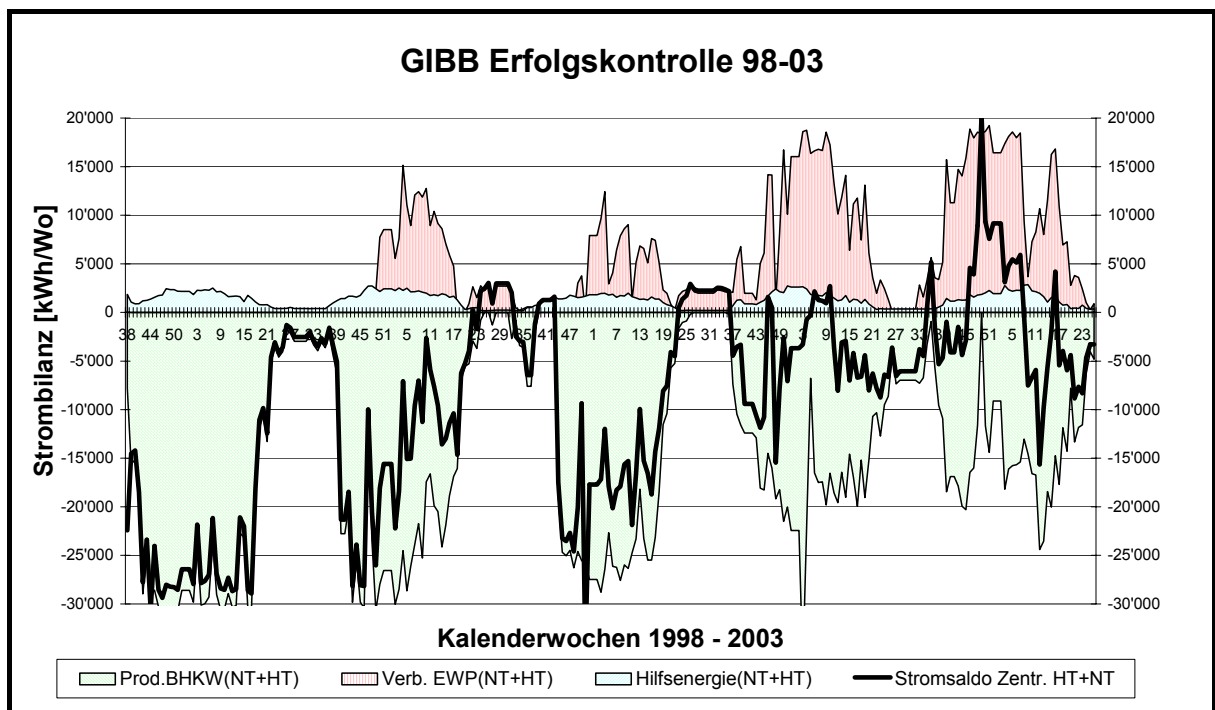
Bild 8 Energieflussdiagramm 2002/2003

Die Energieversorgung wurde so konzipiert, dass übers Jahr eine ausgeglichene Strombilanz zwischen Bezug und Abgabe erreicht wird. So wurde vorgesehen, im Winter eine leichte Stromüberproduktion zu erreichen, die dann im Sommer vom Stromnetz zurückkompensiert wird. In der Heizperiode 2002/2003 konnte dann erstmals eine ausgeglichene Strombilanz erzielt werden. Die hohen Stromrücklieferungen der Anfangsjahre dürften sich künftig in einen leichten Stromfehlbetrag wenden. Folgende Gründe sind dafür verantwortlich:

**Strombilanz in der Heizperiode 2002/2003 erstmals neutral wie geplant**

- Minderstromproduktion durch Direktverwertung mittels WRG-WP
- Alleiniger EWP-Betrieb im Sommer, prognostiziert ab 2004

Im Diagramm sind die Hauptstromflüsse zurück ins ("-") bzw. vom ("+") öffentlichen Netz dargestellt. Noch nicht enthalten sind die Grundwasserpumpen, die eine separate Einspeisung besitzen.



**Bild 9 Strombilanz 2002/2003**

#### 4.1.3 Gesamtbetrachtungen

Den Kenndaten des Wärmeverbundes ist zu entnehmen, dass die gesamten Wärmeverluste innerhalb der Messtoleranzen von rund -5 % liegen.

**Geringe Wärmeverluste trotz Sommerbetrieb**

Der gesamte Energieumwandlungsgrad der Heizzentrale liegt bei rund 110 % und wird nach den im Herbst 2003 getroffenen Massnahmen noch leicht ansteigen.

Kenndaten Wärmeverbund	1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003
Wärme ab Fernleit. / Prod. Zentrale (Wärmeverluste)	78 % (?)	94 %	99 %	97 %	98 %
Output Zentrale / Input Zentr. inkl. Umweltwärme	91 %	91 %	94 %	94 %	94 %
Output Zentrale / Input Zentr. exkl. Umweltwärme	91 %	98 %	101 %	107 %	<b>108 %</b>

Tabelle 8 Kenndaten Wärmeverbund

## 4.2 Laufzeit der Aggregate

Im Vergleich zu den Planungswerten wurden bisher folgende jährlichen Vollbetriebszeiten der Aggregate erreicht:

	Planung	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03
<b>Heizkessel</b>	830 h	886 h	798 h	535 h	1'016 h	1'227 h
<b>BHKW</b>	4'400 h	5'308 h	4'407 h	4'571 h	4'506 h	4'326 h
<b>WRG-WP</b>	nicht geplant	0 h	0 h	4028 h	4'380 h	4'176 h
<b>Wärmepumpe</b>	4'600 h	0 h	2'057 h	1'385 h	3'626 h	4'259 h

Tabelle 9 Betriebsstunden der Aggregate

In der folgenden Grafik wurden die Wochenwerte während der Beobachtungsperiode zusammengestellt.

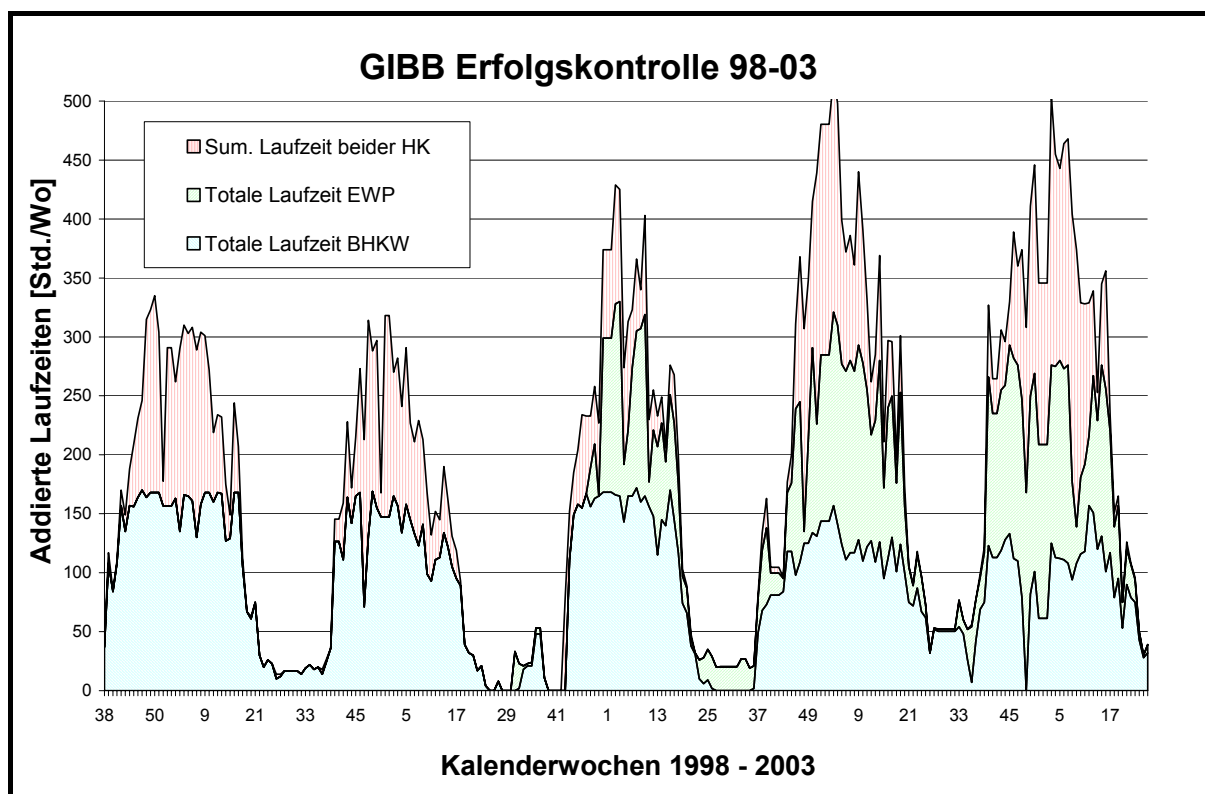


Bild 10 Laufzeiten der Aggregate

Der Betrieb der verschiedenen Aggregate entspricht 2002/2003 weitgehend den Vorstellungen. Durch den höheren Gesamtwärmeumsatz des

Wärmeverbundes mussten die Spitzenkessel mehr Zusatzenergie liefern als ursprünglich geplant.

Deutlich erkennbar sind die bereits erwähnten Probleme mit der EWP im ersten Jahr. Der Betrieb konnte Ende 2000 aufgenommen werden (vgl. Kap. 2 "Chronologie des Projektes")

Im Sommer 2001 konnten die damals angeschlossenen Gebäude alleine durch die EWP versorgt werden. Die Temperatur von rund 63°C war ausreichend. Ab 2004 sollte ein solcher Sommerbetrieb Standard werden.

Wöchentliche Laufzeitenkontrolle erwiesen sich als gutes Instrument zur Funktionskontrolle

## 4.3 Kontrolle Aggregate

### 4.3.1 Heizkessel (HK)

Seit Beginn zeigten die Heizkessel dank Puffervolumen ein gutes Taktverhalten. Eine Laufzeit von mindestens einer halben Stunde kann praktisch bei jedem Neustart gewährleistet werden. Nach mehr als 5 Jahren weisen die Heizkessel erst rund 5'000 Starts auf.

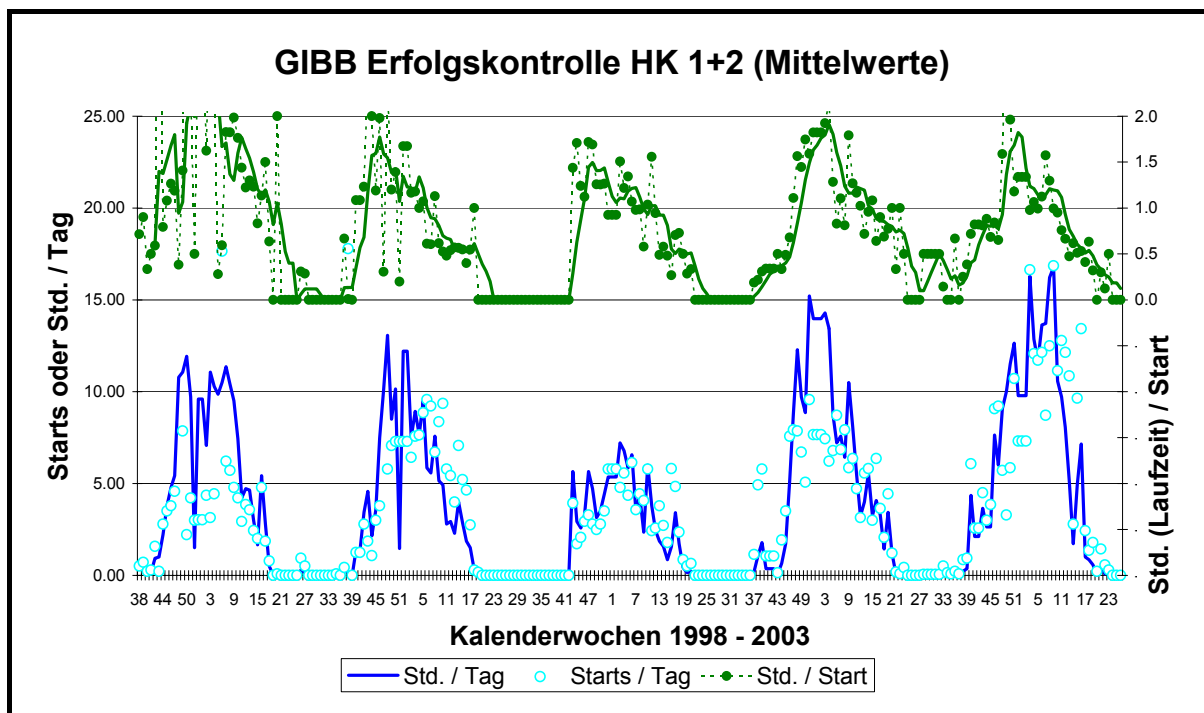


Bild 11 Kontrolle Heizkessel Taktzeiten

Die Energieeffizienz kann mangels HK-Wärmezähler nicht nachgewiesen werden. Die periodischen Abgaskontrollen attestieren jedoch gute Verbrennungswerte, so dass von einem allgemeinen Nutzungsgrad von rund 92 % ausgegangen werden kann.

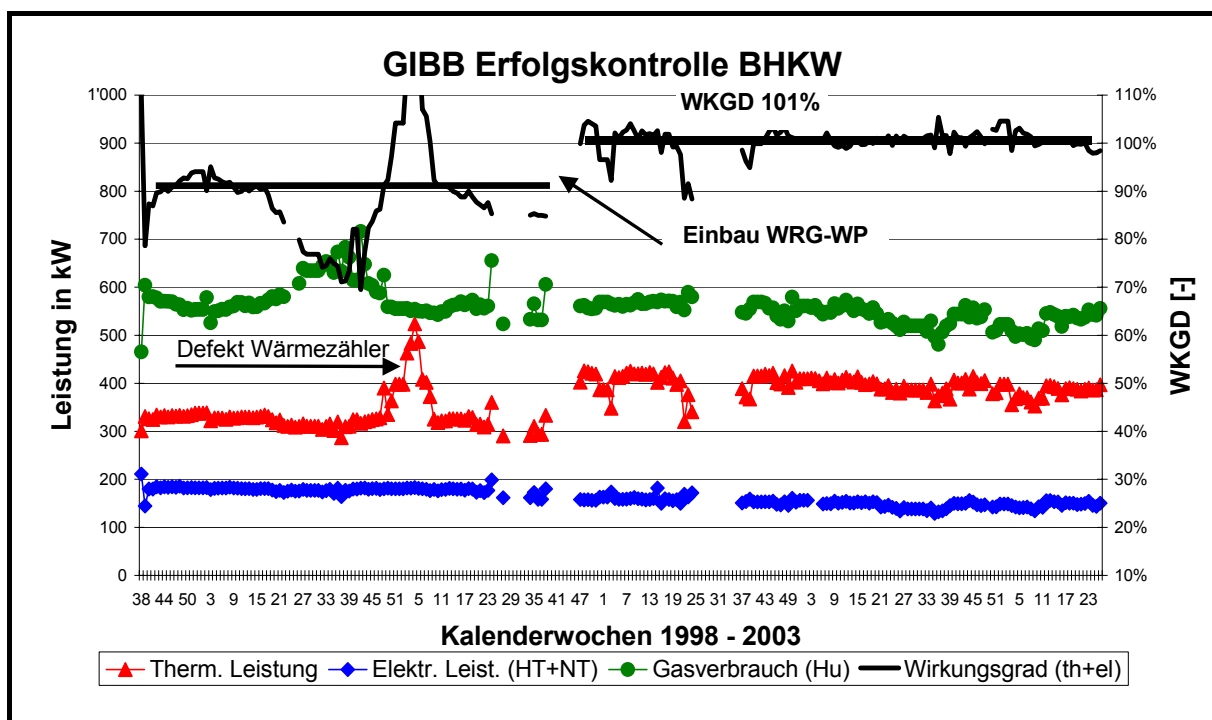
### 4.3.2 Blockheizkraftwerk und WRG-Wärmepumpe

Das BHKW besitzt nach rund 5 Jahren Laufzeit bereits über 25'000 Betriebsstunden. Die anfänglich durchschnittliche Laufzeit von 15 Stunden/Start sind mit der Inbetriebnahme der Niedertemperaturerzeuger un-

ter 5 Stunden/Start gesunken. Nach der Optimierung konnten diese im heutigen Betrieb wieder auf über 10 Stunden/Start gesteigert werden.

Die Einbindung der WRG-WP bereitete anfangs Schwierigkeiten. Es mussten komplizierte Klappensteuerungen programmiert werden, um zu hohe Eintrittstemperaturen in die WRG-WP zu verhindern. Diese waren aber unbefriedigend und es kam zu häufigen Störungen bzw. vorzeitigen Abschaltungen. Erst mit dem Einbau einer grösseren Umwälzpumpe für das BHKW (2002) konnte die Problematik behoben werden.

Deutlich war die Verbesserung des energetischen Gesamtwirkungsgrades mit dem Einbau der WRG-WP. Lag dieser für das BHKW alleine bei rund 92 % konnte er dank Kondensations- und Strahlungs-Wärmerückgewinnung auf über 100 % vom Gasinput (Hu) gesteigert werden.



**Bild 12 Kontrolle BHKW Wirkungsgrad**

Die WRG-WP, die mehr als die Hälfte der Umweltwärme dem Kondensat der Abgasen entzieht, hat dank hoher Verdampfungstemperaturen (25 - 30°C) eine hohe Effizienz. Der COP (Coefficient of Performance) der WRG-WP liegt immer zwischen 4.5 und 5.0. Fast 30 % zusätzliche Heizleistung des BHKWs können mit der WRG-WP generiert werden, ohne dass spezielle Wärmequellen ausserhalb der Heizzentrale zu erschliessen waren.

**Hohe Effizienz der WRG-WP mit COP-Werten zwischen 4.5 bis 5.0**

#### 4.3.3 Elektro-Wärmepumpe (EWP)

Die Grundwasser-EWP ist im Winter tagelang ohne Unterbruch im Betrieb. Manchmal reicht jedoch während der Nachtabsenkung der Niedertemperaturspeicher nicht aus um die Wärme zu puffern, wodurch eine Abschaltung nötig wird. Auch ist bei hohen Rücklauftemperaturen der Anteil an absetzbarer Niedertemperaturwärme kleiner, so dass zeitweise

eine Überproduktion besteht. Dies führte insbesondere in der Übergangszeit zu einigen kurzzeitigen Abschaltungen. Mit den getätigten Optimierungen, insbesondere den Sanierungen SFGB und Botanischer Garten im Sommer 2003, dürfte künftig ein durchgehender Betrieb möglich sein. Dies zeigte sich bereits zu Heizsaisonbeginn 03/04. Auch der Sommerbetrieb wird ab 2004 wieder hauptsächlich durch die EWP erfolgen. Es werden rund 8 - 10 Betriebsstunden pro Tag prognostiziert. Damit dürften die jährlichen Laufzeiten der EWP auf über 5'000 Betriebsstunden pro Jahr steigen.

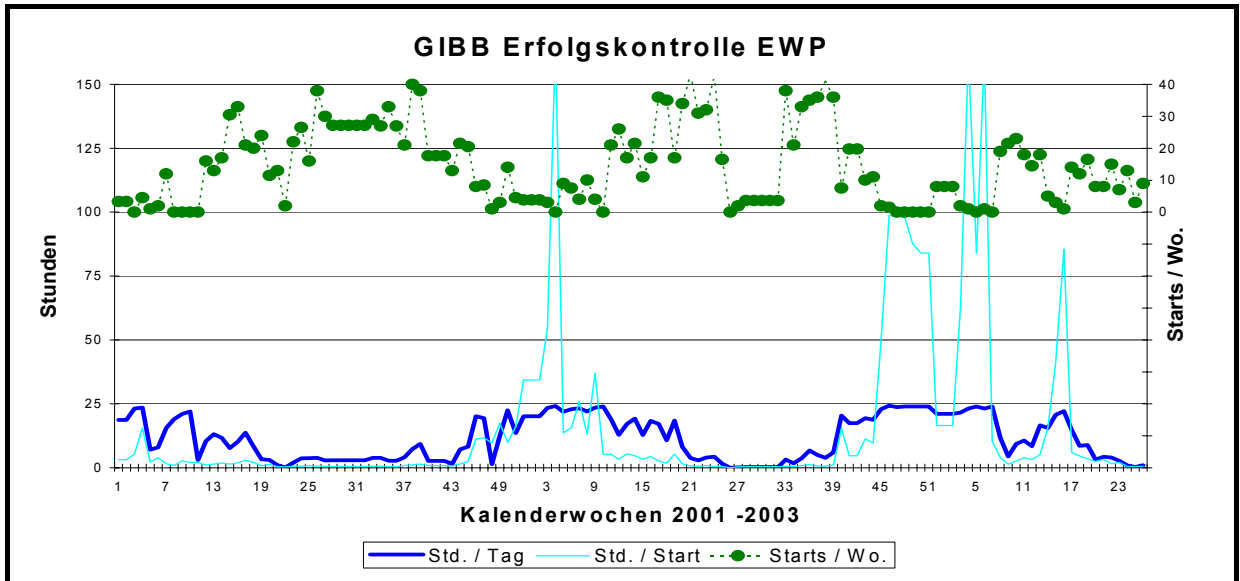


Bild 13 Kontrolle EWP Taktzeiten

Nachfolgendes Diagramm zeigt die Effizienz der EWP auf. Infolge hoher Kondensationstemperaturen (oft 65°C) zeigt sich der COP (Coefficient of Performance) mit 2.8 recht bescheiden.

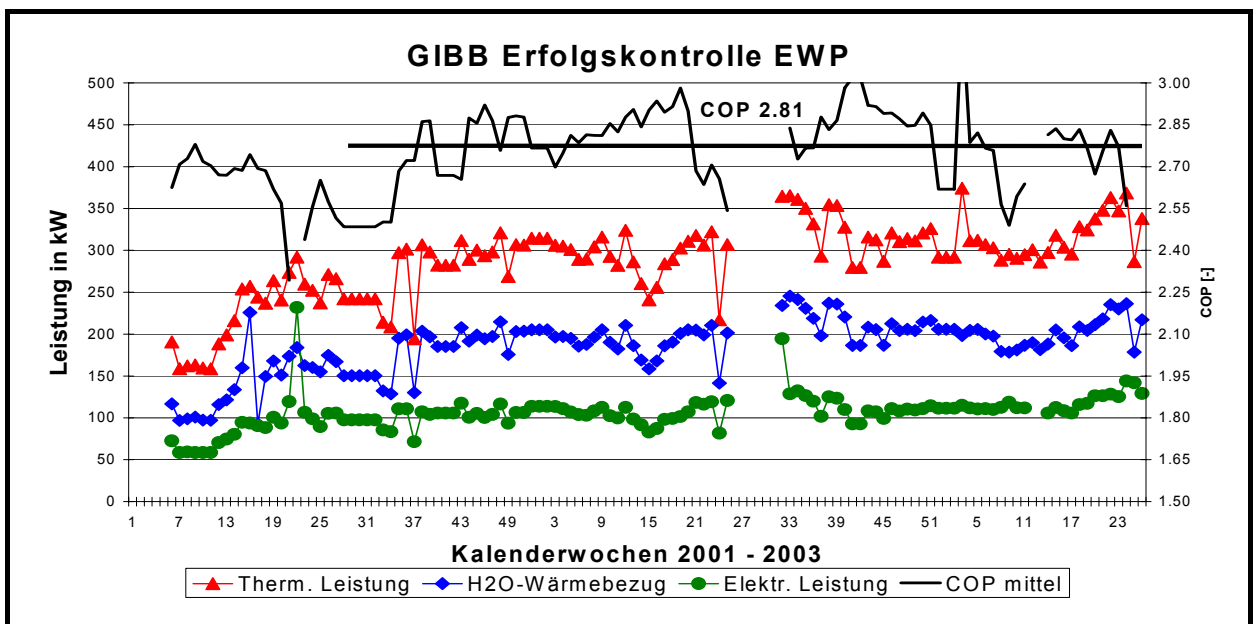


Bild 14 Kontrolle EWP Wirkungsgrad

## 5 Optimierungen

Die verschiedenen Optimierungen, die während den ersten Jahren vorgenommen wurden, können in folgende Hauptkategorien unterteilt werden:

- Massnahmen - Systemtemperaturen:  
Mit der Senkung von Systemtemperaturen konnte der Anteil an benötigter Niedertemperaturwärme deutlich erhöht werden.
- Massnahmen - Speichermanagement:  
Mit der Steuerungsoptimierung konnten die Taktzeiten der Aggregate verlängert sowie unnötige Laufzeiten der Spitzenlastkessel vermieden werden.
- Spezielle Massnahmen und Interventionen aufgrund Veränderungen am Wärmeverbund.

5-jährige Erfolgskontrolle macht sich bezahlt mit umfangreichen Optimierungen

### 5.1 Optimierung der Systemtemperaturen

Die Massnahmen zur Senkung der Heizungstemperaturen - insbesondere der Rücklauftemperaturen - waren die umfangreichsten. Speziell hat sich gezeigt, dass diese Optimierung nicht einmalig vorgenommen werden kann, sondern dass bei dieser umfangreichen Anlage mit dem etapierten Anschluss von Bezügern laufend Kontrollen diesbezüglich nötig sind.

Bei Wärmepumpen-Anlagen dürfen die Problematiken mit den Systemtemperaturen nicht unterschätzt werden!

Nachfolgend eine Liste verschiedener Optimierungsmassnahmen, die während der Realisierung der neuen Wärmeerzeugung und der anschliessenden Erfolgskontrolle umgesetzt wurden:

#### **GIBB / LWB / Lehrhallen**

- Umbau diverser Luftheritzer der Shedhallen (Dreiwegventile zu Durchgangsventilen abgeblindet).
- Aufsuchen und schliessen diverser Bypässe an entfernten Verteilern und Heizgruppen.
- Änderung zweier "Boiler"-Schaltungen
- Neueinstellungen an rund 50 % der Heizgruppen

2001 wurden sämtliche Regelgeräte der GIBB-Hauptverteilung ersetzt und kompatibel zum übergeordnete Leitsystem ausgeführt.

#### **SFGB**

- Neueinstellung Rücklaufbegrenzung sowie Intervention bei Ausfall Regelgerät
- Diverse Untersuchungen an der "Boiler"-Ladung (Mensa).

2003 wurden sämtliche Regelgeräte der Hauptverteilung ersetzt sowie die sanitäre Wassererwärmung vergrössert und mit einer neuen Wärmérückgewinnung ergänzt.

## Botanischer Garten

- Die Steuerung der Übergabestation wurde bezüglich Rücklaufbegrenzung optimiert und mit einer Überwachung ausgerüstet.
- Sekundärseitig wurden Bypässe bei Lüftungsanlagen saniert (geschlossen) und Neueinregulierungen vorgenommen.

2003 wurden im Rahmen ordentlicher Erneuerungsarbeiten umfangreiche Sanierungen sekundärseitig vorgenommen. Anstehend ist noch die Sanierung der Gewächshäuser.

## Campus

- Obwohl Neubau, musste der Plattentauscher der Macro-Ladung für die Wassererwärmung vergrößert werden.
- Die gewählte sekundärseitige Hydraulik wurde zuwenig optimiert bzw. nicht richtig hydraulisch abgeglichen.

Es ist nach wie vor ein Optimierungspotential vorhanden, das aus verschiedenen Gründen bisher nicht angegangen werden konnte.

## Vordere Lorraine

- Keine Temperaturoptimierungen nötig (Wohnungsneubau).

Anfangs schienen Interventionen infolge Geräuschen nötig. Es stellte sich jedoch heraus, dass diese nicht vom Heizsystem herrührten.

## 5.2 Optimierungen am Speichermanagement

Aus Platzgründen wurde ein Speicher für Hoch- und Niedertemperaturwärme eingesetzt. Das Speichermanagement steuert zentral die Freigabe/Sperrung aller Wärmeerzeuger. Um mit den unterschiedlich auftretenden Temperaturniveaus der Vor- und Rückläufe die Speicherschichtung nicht zu stören, wurde im Speicher versuchsweise eine hydraulische Weiche mittels vertikaler Speicherabtrennung (Lochblech) eingebaut. Erste Betriebserfahrungen zeigten aber schon bald, dass diese Massnahme nicht den erhofften Erfolg brachte. Darauf erfolgte ein Umbau mit zwei unterschiedlichen Speichereintritten und einem temperaturgesteuerten Umlenkorgan. Mit dem späteren Ausbau der ursprünglich nicht eingeplanten WRG-WP erfolgte eine definitive Trennung der Speicher-Stutzen für BHKW (Hochtemperatur) und EWP (Niedertemperatur).

Mit dem späteren Einbau der WRG-WP und den obigen konstruktiven Umbauten wurden diverse Programmeinstellungen und teilweise auch Umprogrammierungen des Speichermanagements vorgenommen. Dabei zeigte sich, dass die gewählte Anzahl Speicherfühler knapp ist. Es stehen lediglich vier Fühler des oberen 1/3-Speicherteils (Hochtemp.) zur Verfügung um vier Heizkesselstufen sowie zwei unterschiedliche BHKW-Betriebszustände zu schalten. Auch im unteren Speicherteil (Niedertemp.) müssen mit nur vier Fühlern zwei EWP-Laststufen sowie drei unterschiedliche Betriebsarten gesteuert werden.

Das Speichermanagement mit unterschiedlichen EWP-Betriebsarten (Stufenladung, Schichtladung tief=60°C und Schichtladung hoch=65°C) hat sich bewährt. Da die Austrittstemperatur der EWP nicht kontinuierlich angepasst werden konnte, wird diese gestuft über den Speicherzustand angewählt und somit der Speicherdurchfluss optimiert.

Versuch einer thermischen selbstregulierenden Hydraulikweiche misslang

Genügend Speicherfühler inkl. Stutzenfühler insbesondere an den Enden vorsehen!

Niedertemp. Speicher-Durchfluss mittels unterschiedlichen EWP-Betriebsarten optimiert



## 5.3 Spezielle Massnahmen

### 5.3.1 Optimierung Sommerbetrieb

Um eine, über ein ganzes Jahr betrachtet, ausgeglichene Strombilanz zu erzielen, soll im Sommer möglichst nur die EWP betrieben werden. Einerseits ist das Aarewasser-infiltrierte Grundwasser dann bis 16°C warm und andererseits der Strom günstiger.

Infolge hoher Lastdynamik sowie für die verschiedenen "Boiler" sehr tiefen Vorlauf-Temperaturen der EWP von ca. 63°C stellte sich heraus, dass oftmals auch im Sommer noch kurzzeitig ein Hochtemperatur-Wärmeerzeuger benötigt wird. Auch aus Sicherheitsgründen mussten diese freigeschaltet werden, weshalb ein spezieller Sommerschalter zur zeitweisen Sperrung der Hochtemperatur-Wärmeerzeuger benötigt wurde. Dieser Schalter hat heute eine lastabhängige Verzögerung implementiert (Integral: Kelvin \* min).

Optimierung auf neutrale Strombilanz über ein ganzes Jahr verlangt reiner Niedertemperatur-Betrieb im Sommer

Spezieller Sommerschalter zur verzögerten Freigabe der Hochtemperatur-Wärmeerzeuger wurde implementiert

### 5.3.2 Optimierung der WRG-WP

Wie verschiedentlich erwähnt, wurde nachträglich eine Wärmepumpe zur Wärmerückgewinnung der Kondensations- und Strahlungsabwärme des BHKWs eingebaut. Um mit dem Einbau der WRG-WP nicht die Laufzeit der EWP zu mindern, war Bedingung, dass nur durch die EWP vorgewärmtes Heizungswasser dem BHKW und WRG-WP zugeführt wird. Dies bedingt, dass die WRG-WP sehr hohe Eintrittstemperaturen von rund 65°C bewerkstelligen muss. Für das Kältemittel R134a entspricht dies der äussersten Einsatzgrenze. Diese wurde anfangs nicht erreicht und es kam immer wieder zu Hochdruckstörungen.

Nachträglicher Einbau von WRG-WP mit Betrieb nahe Einsatzgrenze

Mit einem zusätzlichen Druckfühler und vergrössertem Durchfluss konnte aber das Ziel erreicht werden. Bis es soweit war, traten Probleme bei der Anfahr- und Abstellphase auf. Die Hochdruckstörungen wurden oft im Stillstand ausgelöst. Auch Servicearbeiten konnten den Betrieb leicht ändern (z.B. durch Nachfüllen von Kältemittel), womit neue Einstellungen benötigt wurden.

Längere Optimierungen bis Betrieb nahe Einsatzgrenze erreicht wurde

### 5.3.3 Optimierung Grundwasserpumpen

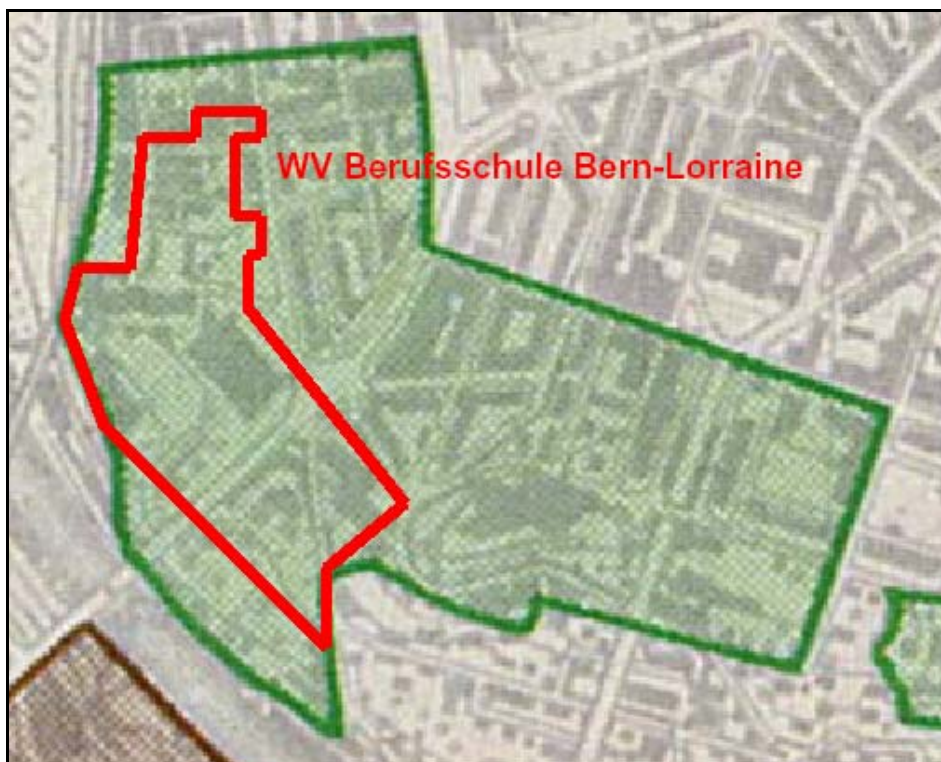
Da die Grundwasserfassung rund 40 m tiefer als die Heizzentrale liegt und das Wasser rund 350 m weit gepumpt werden muss, haben die beiden Tauchpumpen eine nicht zu vernachlässigende Stromleistungsaufnahme von je 7.5 kW. Durch die Sperrung einer Pumpe bei Grundwassertemperaturen über 10°C konnte eine leichte Energieeinsparung erreicht werden.

## 6 Hinweise für Planung, Realisation und Betrieb

### 6.1 Initialisierungsphase

Da im Normalfall die Wärmeerzeugung mit Grosswärmepumpen teurer ist als mit fossilen Energieträgern, sind die vorhandenen Rahmenbedingungen gut aufzunehmen und mögliche Synergien mit bestehenden Infrastrukturen und vorhandenem Sanierungsbedarf zu nutzen. Günstig kann es sein, wenn öffentliche Liegenschaften die Basis eines Wärmeverbundes bilden und zusätzlich private Liegenschaften zur Erhöhung der Wärmedichte des Verbundes angeschlossen werden können. Das Versorgungsgebiet ist realistisch zu wählen: Die Energieplanung der Stadt Bern der 80er Jahren sah das grün gerasterte Gebiet für den Anschluss an den Wärmeverbund vor. Tatsächlich konnte nun das rot umrandete Gebiet mit dem umgesetzten Wärmeverbund erschlossen werden.

**Vorhandene Rahmenbedingungen gut aufnehmen und Synergien mit Bestehendem nutzen.**



**Bild 15 Versorgungsperimeter**

Weiter ist bereits in der Initialisierungsphase der Einbezug der wichtigen Akteure und das Klären möglicher Trägerschaften von Bedeutung. Dazu ist ein klar kommunizierbares Konzept erforderlich, das auch erste Angaben über die Investitionen und Wirtschaftlichkeit aufweist.

**Einbezug wichtiger Akteure, Klären Trägerschaft und klares Konzept**

Bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit sind die zu erwartenden Energieeinsparungen der Verbraucher eher grosszügig einzurechnen. Wie unsere Erfahrungen gezeigt haben, können bereits die an die Tarife des Fernheizwerkes angeglichenen Wärmepreise eines Nahwärmeverbundes Energieeinsparungen alleine durch betriebliche Massnahmen von 30 % bewirken.

**Beim Wärmeenergie- und Leistungsbedarf auch zukünftige Sparpotentiale der Bezüger einrechnen**

## 6.2 Planung und Konzept

Ein Anlagekonzept für den Einsatz von Wärmepumpen in Wärmeverbünden mit bestehenden Liegenschaften stellt hohe Anforderungen an den Planer. Zahlreiche Details sind zu beachten, damit die Systemtemperaturen den problemlosen Einsatz von Wärmepumpen ermöglichen.

Um den Nutzungsgrad der Wärmepumpe möglichst hoch zu halten, sind tiefe Vorlauftemperaturen anzustreben und Temperaturspitzen (z.B. durch Wassererwärmer) zu vermeiden. Mit der gewählten Kombination der Wärmeerzeuger können Heizwassertemperaturen bis 90°C erreicht werden. Um auch bei diesen, für die Effizienz der Wärmepumpe nicht gerade idealen, Bedingungen einen möglichst guten Nutzungsgrad zu erreichen, ist die Anlage nach Möglichkeit mit Stufenladung zu betreiben.

Wie die folgende Abbildung zeigt, kann auch mit der Senkung der Rücklauftemperaturen der Energieanteil der Wärmepumpe massiv erhöht werden. Eine vergrößerte Spreizung der Vor- und Rücklauftemperatur bewirkt im weiteren eine Vergrößerung der Kapazität der Wärmespeicher und eine Stromeinsparung durch den kleineren Durchfluss. Dazu sind korrekte hydraulische Schaltungen (auch in den Abnahmestationen) und ein konsequenter hydraulischem Abgleich erforderlich.

Systemtemperaturen und Hydraulik der Anschlussobjekte eruieren und mögliche Verbesserungen klären

Wärmepumpeneinsatz auch bei hohen Temperaturen möglich, jedoch mit reduzierter Effizienz!

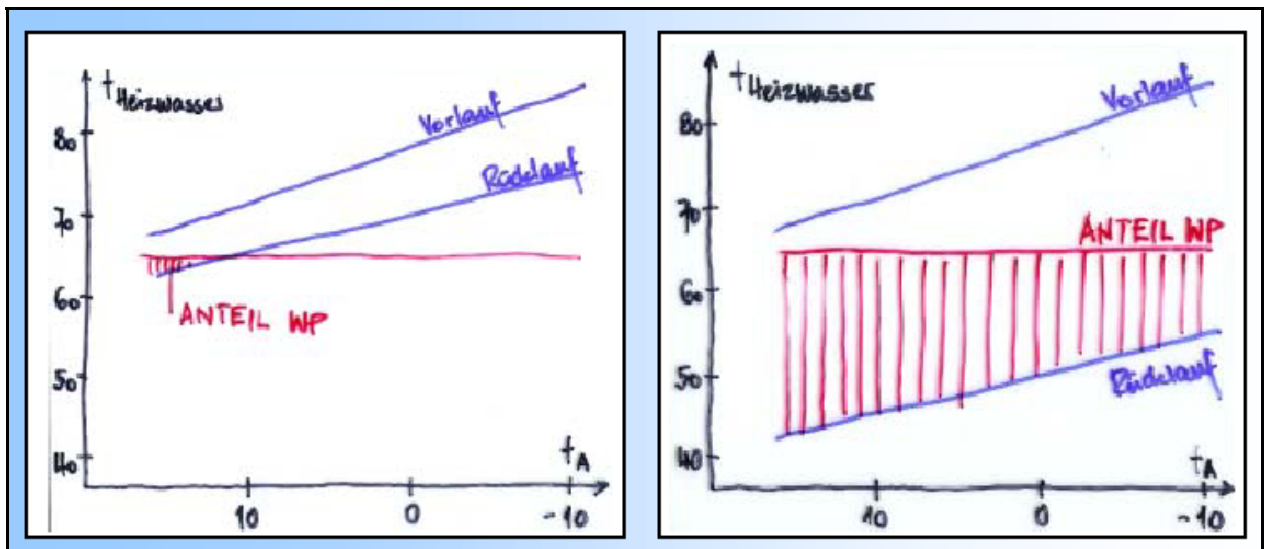


Bild 16 Vergrößerung Niedertemperaturanteil

Die Dimensionierung der EWP ist stark abhängig vom Anteil Niedertemperaturwärme. Um einen guten Betrieb zu erreichen, ist deren Leistungsanteil eher klein zu halten. EWP und BHKW sollten in der Regel zusammen einen Anteil am Gesamtleistungsbedarf von 30 – 40 % nicht übersteigen. Damit können diese 60 – 80 % des jährlichen Wärmebedarfs erzeugen. Zur richtigen Dimensionierung der Anlage ist - neben der Optimierung der Betriebstemperaturen - eine möglichst genaue Bestimmung der Leistungs- und Energiedaten (inkl. Sparpotential und Ausbauten) wichtig.

### 6.3 Umsetzung und Betrieb

Beim Bau eines Wärmeverbundes mit indirekter Gasmotor-Wärmepumpe kann es von Vorteil sein, die Realisierung in Etappen durchzuführen. Werden in einem ersten Schritt der Verbund realisiert, Massnahmen im hydraulischen System durchgeführt und erste Optimierungen vorgenommen, ist eine Überprüfung der Planungsannahmen möglich und die Inbetriebsetzung der EWP dürfte sich vereinfachen.

**Etap pierung und nicht zu knapp bemessene Umsetzungszeit einplanen**

Die Realisierungszeit ist nicht zu knapp einzuplanen, da Unvorhergesehenes zu erheblichen Verzögerungen führen kann. So konnte bei dieser Anlage die EWP mit fast 2 Jahren Verspätung definitiv in Betrieb genommen werden (siehe Projekt-Chronologie Kap. 2).

Eine Erfolgskontrolle mit Optimierung ist bei solch komplexen Systemen unbedingt erforderlich. Da in bestehenden Systemen kaum alle Betriebsbedingungen in der Planungsphase erkannt werden, sind kleinere und grössere Nachbesserungen möglich, bis der Betrieb den gestellten Anforderungen entspricht. Zu beachten gilt ausserdem, dass spätere Anschlüsse von neuen Bezü gern die Betriebsbedingungen wieder verändern können und weitere Nachkontrollen erforderlich werden.

**Erfolgskontrolle mit Optimierung zum Erreichen des geplanten Betriebes erforderlich**

## 7 Pilot- und Demonstrationsaspekte

### 7.1 Demoanlage

Mit der realisierten Anlage können im bestehenden Umfeld der Berufsschulen verschiedene Demoaspekte beispielhaft aufgezeigt werden.

#### Wärmepumpeneinsatz in Heizsystem mit 85°C

Auch bei einem Wärmeverbund mit hohen Systemtemperaturen von bis 85°C ist der Einsatz einer Wärmepumpe möglich. Voraussetzung dazu ist ein hydraulisches Konzept, das mit der Senkung der Rücklauftemperaturen einen entsprechenden Niedertemperaturanteil (<60°C) ermöglicht. Mit den erforderlichen hohen Temperaturen läuft die Wärmepumpe (Kältemittel R134a) teilweise an ihrer Einsatzgrenze und weist eine Jahresarbeitszahl von leicht unter 3.0 auf. Mit vermehrter Stufenladung kann dieser Wert noch leicht verbessert werden. Für den weiteren Einsatz sind aber Planer und Lieferanten gefordert, höhere Nutzungsgrade bei hohen Systemtemperaturen zu erreichen.

Wärmepumpeneinsatz in ein Hochtemperatur-Heizungssystem (85°C)

#### Kombination EWP-BHKW

Mit dieser Anlage konnte eine "indirekte" Gasmotorwärmepumpe – bestehend aus Blockheizkraftwerk und Elektrowärmepumpe – erfolgreich umgesetzt werden. Diese Kombination ermöglicht Heizwassertemperaturen von 80°C. Als nützliche und kostensenkende Vorteile stellten sich insbesondere heraus:

Die Kombination BHKW mit EWP als "indirekte" Gasmotorwärmepumpe ergibt hohen Gesamtnutzungsgrad.

- Der Einsatz von Standardprodukten
- Die etappierte Erstellung
- Die jährliche Strombilanzflexibilität (Winter leichte Stromrücklieferung)

Aus Platzgründen konnte nur ein Speicher realisiert werden. Damit die Nieder- und Hochtemperatur-Massenströme sich nicht gegenseitig stören, mussten einige Optimierungen vorgenommen werden. Mit den gemachten Erfahrungen mit der Speicherbewirtschaftung sind zwei separate Pufferspeicher empfehlenswert.

#### 100 % Nutzungsgrad des BHKW

Die nachträglich eingebaute WRG-WP zur Nutzung der Strahlungs- und Auspuff-Kondensationswärme des BHKWs ist problemlos im Betrieb und verbessert den Nutzungsgrad erheblich. Auch mit ihren extremen Einsatzgrenzen von 65°C Eintrittstemperaturen am Kondensator (R134a) erreicht diese Wärmepumpe infolge Verdampfungstemperaturen über 30°C eine hohe Leistungszahl von 4.5 bis 5.0. Die BHKW-Wärmeleistung konnte dadurch um rund 30 % gesteigert werden. Indem die Umweltwärme nicht ausserhalb der Zentrale erschlossen werden muss, fallen die spezifischen Installationskosten pro zusätzlich gewonnene kW Heizleistung rund 50 % tiefer aus als bei der Grundwasser-EWP. Der Gesamtwirkungsgrad von BHKW mit WRG-WP liegt knapp über 100 %\*.

BHKW mit WRG-WP, die Strahlungs- und Kondensationsabwärme ausnützt, zeigt hohe energetische Effizienz (über 100 %) bei niedrigen Investitionen

\* WKRG = Wärme+Strom-Output / Gas-Hu-Input

## 7.2 Spezielle Demo-Massnahmen

Zur Orientierung der Besucher der Berufs- und Technikerschule wurden spezielle Demo-Massnahmen getroffen.

Heizzentrale der Berufsschulen ideal als Demonstrationsobjekt

### Schautafel im Eingang Altbau

Auf einer Schautafel beim Eingang der Schulanlage wird neben Erklärungen zur Wärmeversorgung und den Auswirkungen auf die Umwelt der aktuellen Betriebszustand der Anlage mittels LED-Leuchten angezeigt.



Bild 17 Schautafel im Eingang

### Grossbildschirm im Eingang Neubau

Auf einem grossen Flachbildschirm im Campus-Haupteingang sind mehrere Bilder mit Erläuterungen zur Anlage und standardisierte MSR-Bilder online aufgeschaltet. Diese können auch im Unterricht in den Klassenzimmern über Beamer genutzt werden.

### Messinstallationen

Für schulische Zwecke wurden an verschiedenen Aggregaten spezielle Messinstallationen vorbereitet. Beispielsweise wurden spezielle Abgasmessstutzen an den Heizkessel oder spezielle Messfühler bei der EWP installiert. Damit können die Unterrichtsklassen in Laborübungen diverse Daten direkt auf der Anlage ausmessen.

## 8 Anhang

A1.	Nahwärmeverbund der Berufsschulen Bern	2
A2.	Prinzipschemata Wärmeerzeugung	2
A3.	Prinzipschemata Wärmeverteilung	2
A4.	Jahreswerte Erfolgskontrolle [1]	2
A5.	Jahreswerte Erfolgskontrolle [2]	2
A6.	Beispiel Publikation	2



# A1. Nahwärmeverbund der Berufsschulen Bern

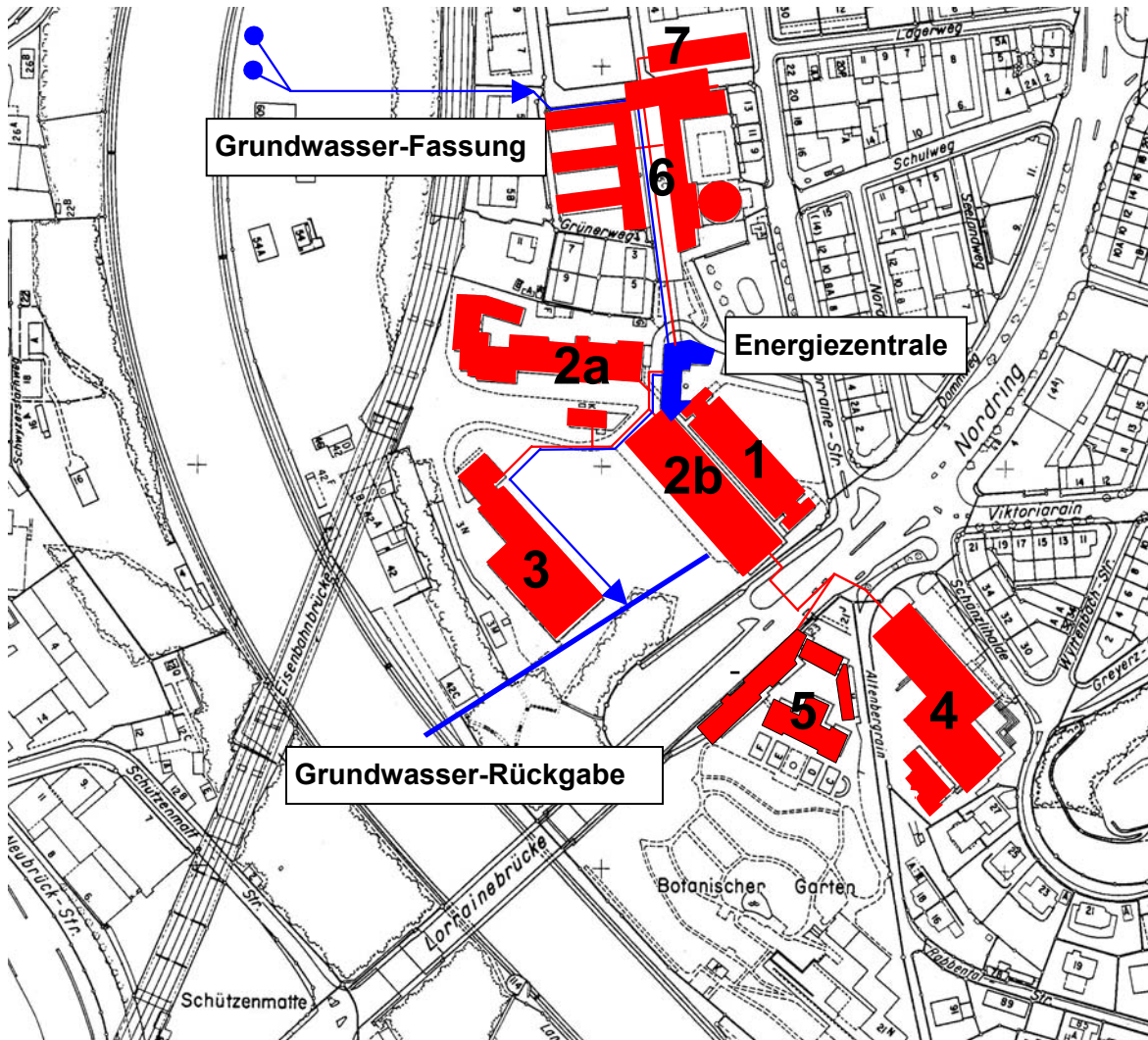


Bild 18 Situationsplan gross

Wärmebezügler**		1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	Total
Wärmeleistungsbedarf	[kW]	625	500	240	570	500**	370	200	> 3 MW
Energieverbrauch	[MWh/a]	1'200	940	460	1000	900**	850	400	ca.5'750
Energiekennzahl	[MJ/m <sup>2</sup> a]	610	480	350	260	?	165	?	-----

\* 1) gibb: Gewerbliche Industrielle Berufsschule Bern, 2) LWB: Lehrwerkstätten Bern, 3) gibb Lehrhallen, 4) SFGB: Schule für Gestaltung Bern, 5) Botanischer Garten, 6) Campus, 7) Vordere Lorraine (Wohngeb.)

\*\* Stand Planung 1998, bei Bot. Garten nur 50%-Anteil Wärmeverbund

Wärmeerzeuger	Leistungen (pos.=Output; neg.=Input)	Effizienz
1xEWP Elektrowärmepumpe	320-460 kW <sub>th</sub> - 120 kW <sub>el</sub> - 340 kW <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	COP ~3.0 [-]
1xBHKW Blockheizkraftwerk	330 kW <sub>th</sub> +190 kW <sub>el</sub> - 575 kW <sub>Gas</sub>	WKGD0.90 [-]
spez.WP WRG-WP zu BHKW	95 kW <sub>th</sub> - 20 kW <sub>el</sub> - 75 kW <sub>Kond.</sub>	COP >4.5 [-]
2xHK Gas-Heizkessel	2x1455 kW <sub>th</sub> - 2x5 kW <sub>el</sub> -1'500 kW <sub>Gas</sub>	WKGD0.93 [-]
Installierte Leistung total:	3'655 kW <sub>th</sub> (ohne Erzeugung Bot. Garten)	Total ~1.25 [-]



## A2. Prinzipschemata Wärmeerzeugung

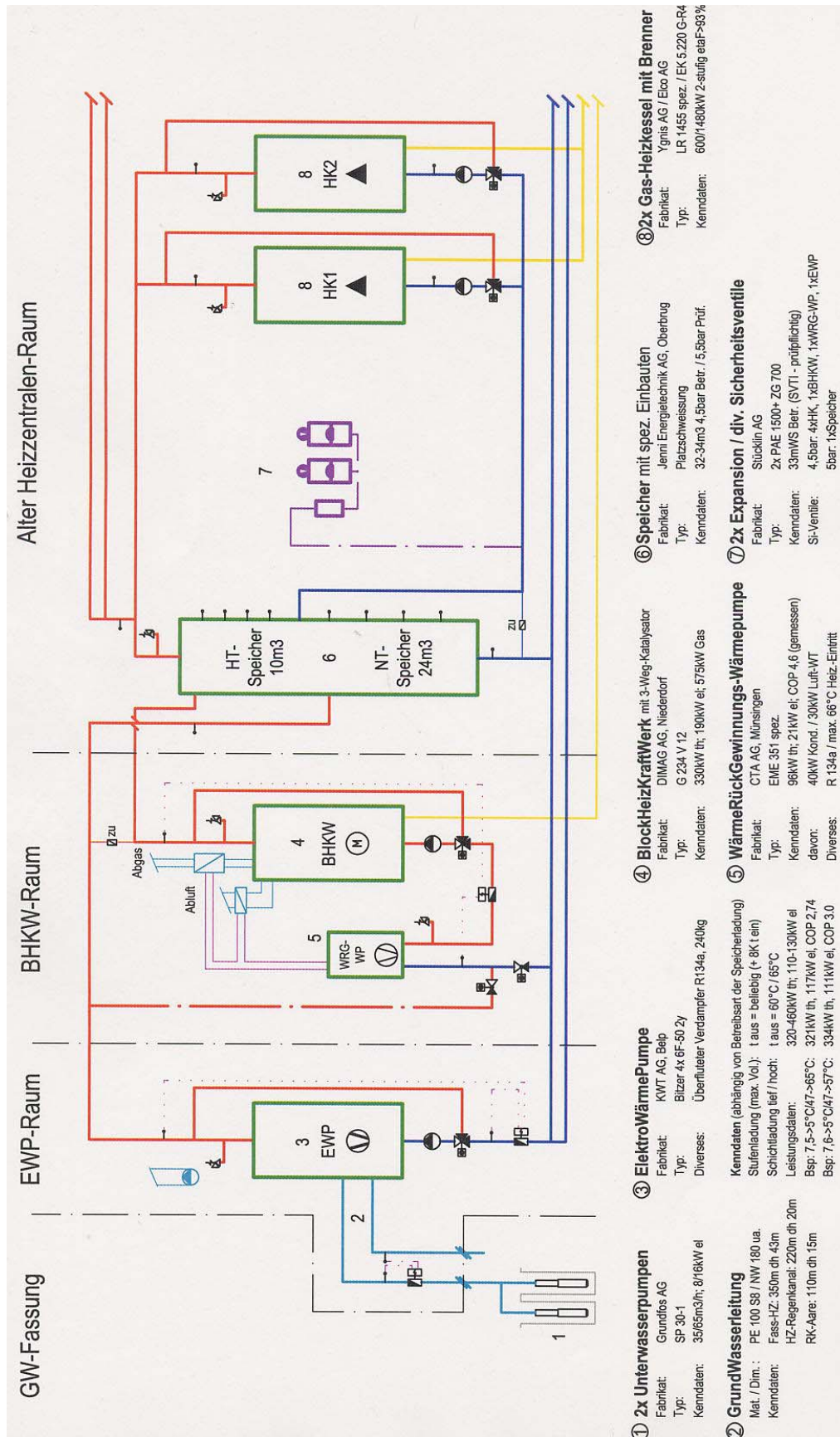


Bild 19 Prinzipschema Wärmeerzeugung

## A3. Prinzipschemata Wärmeverteilung

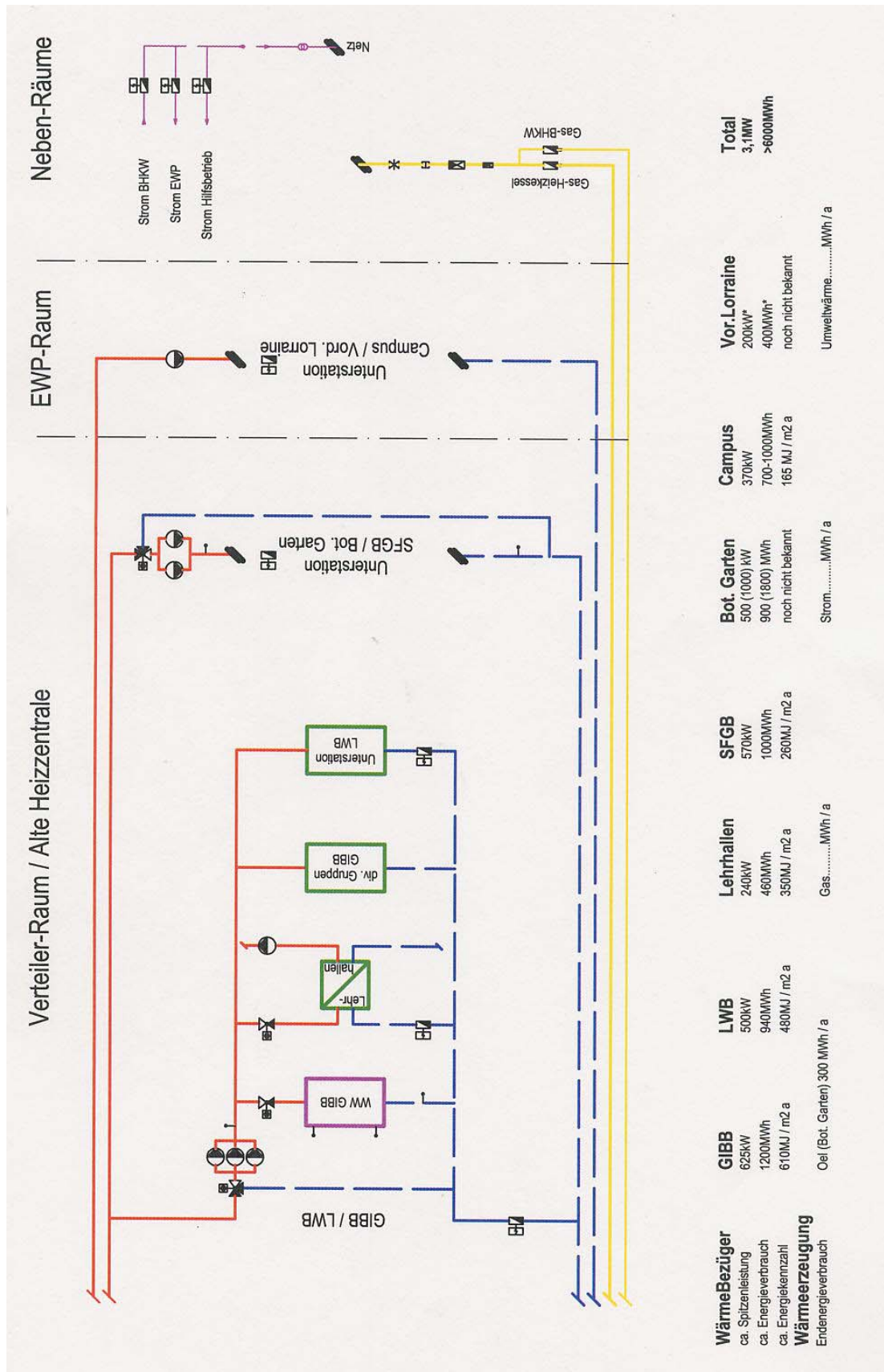


Bild 20 Prinzipschema Wärmeverteilung

## A4. Jahreswerte Erfolgskontrolle [1]

### Erfolgskontrolle GIBB Lorraine

<b>Betriebsstunden</b>			1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003
HK1 Stufe1	592	kW	965	802	611	974	966
HK1 Stufe2	1482	kW	541	529	361	728	751
HK2 Stufe1	611	kW	899	584	532	782	922
HK2 Stufe2	1503	kW	486	513	252	601	947
HK1+2 St.1	601.5	40%	1864	1386	1143	1756	1888
HK1+2 St.2	1492.5	100%	1027	1042	613	1329	1698
<b>HK1+2</b>	<b>3000</b>	<b>kW-th</b>	<b>886 Bh</b>	<b>798 Bh</b>	<b>535 Bh</b>	<b>1'016 Bh</b>	<b>1'227 Bh</b>
<b>BHKW</b>	<b>330</b>	<b>kW-th</b>	<b>5'308 Bh</b>	<b>4'407 Bh</b>	<b>4'571 Bh</b>	<b>4'506 Bh</b>	<b>4'326 Bh</b>
<b>WRG-WP</b>	<b>95</b>	<b>kW-th</b>	<b>0 Bh</b>	<b>0 Bh</b>	<b>4'028 Bh</b>	<b>4'380 Bh</b>	<b>4'176 Bh</b>
Verd.1	ca. 85	25%	0	2287	895	3956	4175
Verd.2	ca. 85	25%	0	2241	1831	3425	4334
Verd.3	ca. 85	25%	0	1934	1740	3350	4262
Verd.4	ca. 85	25%	0	1765	1072	3772	4264
<b>EWP-Vollast</b>	<b>ca. 340</b>	<b>kW-th</b>	<b>0 Bh</b>	<b>2'057 Bh</b>	<b>1'385 Bh</b>	<b>3'626 Bh</b>	<b>4'259 Bh</b>
<b>Input / Output Produktion</b>			1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003
Gas HK	9.43	kWh	2'593'523	2'248'914	1'565'144	3'123'291	3'727'736
Gas BHKW	9.43	kWh	2'966'207	2'588'950	2'579'275	2'491'651	2'284'087
<b>Gas Total</b>	<i>kWh/m3</i>	<b>MWh</b>	<b>5'560</b>	<b>4'838</b>	<b>4'144</b>	<b>5'615</b>	<b>6'012</b>
Strom Hilfsbetriebe ab Netz		kWh	64'348	72'324	57'662	62'834	64'910
Strom Wärmetarif ab Netz		kWh	440	57'540	35'708	141'104	223'932
Strom Grundwasserpumpen		kWh	0	34'305	26'775	51'375	65'010
<b>Strom Total-Bezug ab Netz</b>		<b>MWh</b>	<b>65</b>	<b>164</b>	<b>120</b>	<b>255</b>	<b>354</b>
Strom BHKW Produktion		kWh	-960'616	-804'996	-734'548	-684'352	-634'060
Strom EWP Bezug intern		kWh	0	203'096	168'556	421'828	493'120
<b>Strom Rücklief. an Netz</b>		<b>MWh</b>	<b>-960</b>	<b>-658</b>	<b>-600</b>	<b>-395</b>	<b>-350</b>
<b>Strom Bilanz</b>		<b>MWh</b>	<b>-896</b>	<b>-494</b>	<b>-480</b>	<b>-139</b>	<b>4</b>
<b>Grundwasser</b>		<b>MWh</b>	<b>0</b>	<b>348</b>	<b>293</b>	<b>774</b>	<b>906</b>
<b>HK 1+2</b>	<i>WKGD</i> 0.92	<b>MWh</b>	<b>2386</b>	<b>2069</b>	<b>1440</b>	<b>2873</b>	<b>3430</b>
<b>BHKW+WRG-WP</b>		<b>MWh</b>	<b>1'754</b>	<b>1'624</b>	<b>1'806</b>	<b>1'822</b>	<b>1'671</b>
<b>EWP</b>		<b>MWh</b>	<b>0</b>	<b>553</b>	<b>462</b>	<b>1'187</b>	<b>1'390</b>
<b>Wärmeproduktion Total</b>		<b>MWh</b>	<b>4'140</b>	<b>4'245</b>	<b>3'708</b>	<b>5'882</b>	<b>6'491</b>
<b>Anteile Energieabdeckung</b>			1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003
Gas Total	Input		134%	114%	112%	95%	93%
Strom Bilanz	+ Input - Output		-22%	-12%	-13%	-2%	0%
Grundwasser	Input		0%	8%	8%	13%	14%
<b>HK 1+2</b>	Output	<i>fixe Annah.</i>	<b>58%</b>	<b>49%</b>	<b>39%</b>	<b>49%</b>	<b>53%</b>
	<i>WKGD</i>	<i>Abgastest</i>	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
<b>BHKW+WRG-WP</b>	Output	bis Nov.00	<b>42%</b>	<b>38%</b>	<b>49%</b>	<b>31%</b>	<b>26%</b>
	<i>WKGD</i>	<i>ohne WRG</i>	0.92	0.94	0.99	1.01	1.01
<b>EWP</b>	Output		<b>0%</b>	<b>13%</b>	<b>12%</b>	<b>20%</b>	<b>21%</b>
	<i>COP</i>		0.00	2.72	2.74	2.81	2.82
<b>Wärmeproduktion</b>	Output	<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Bild 21 Jahreswerte Erfolgskontrolle [1]

## A5. Jahreswerte Erfolgskontrolle [2]

Erfolgskontrolle GIBB Lorraine									
Verbrauch Bezüger		1998/1999	1999/2000	2000/2001	2001/2002	2002/2003	Mittelwert		Mittelwert
GIBB	MWh	1'054	1'001	783	907	974	944	16%	1'052
LWB	MWh	872	836	811	979	931	886	15%	990
Lehrhalle	MWh	440	403	362	394	428	405	7%	452
Zwischentot.	MWh	2'366	2'240	1'956	2'280	2'333	2'235	38%	2'494
SFGB	MWh	865	863	808	902	981	884	15%	987
Campus	MWh	(7)	867	838	869	802	844	14%	958
Bot.Garten	MWh	0	0	0	1'341	1'830	1'585	27%	1'753
Vordere Lorraine	MWh	0	0	(47)	312	421	366	6%	405
<b>Wärmebezug</b>	<b>MWh</b>	<b>3'238</b>	<b>3'971</b>	<b>3'649</b>	<b>5'704</b>	<b>6'367</b>	<b>5'915</b>	100%	<b>6'598</b>
<b>Kenndaten</b>							gemessen		HGT-korr.
Wärmebezug / Wärmeprod.		78%?	94%	98%	97%	98%			
Output/Input inkl. Umweltwärme		91%	91%	94%	94%	94%			
Output/Input exkl. Umweltwärme		91%	98%	101%	107%	<b>108%</b>			

Bild 22 Jahreswerte Erfolgskontrolle [2]



# A6. Beispiel Publikation

Publikation in Zeitschrift Gebäudetechnik Nr. 4 /2002

## WÄRME UND STROM

### «Gasheizung» mit 160% Nutzungsgrad

Bernhard Eggen  
Edith Schmidt

Die Kombination von BHKW, Wärmepumpe und Gaskessel erlaubt eine rationelle Nutzung von Primärenergie. Ein Nahwärmeverbund im Berner Lorraine-Quartier ist Beleg.

Abbildung 1. 6. Oberbach-Industrielle Berufsschule  
Som. 1988, Architekt:  
Hans Brechtelstein (Quelle:  
Denkmalsplafage der Stadt Bern)

Über 100% Nutzungsgrad ist für Gasheizungen nichts Neues. Kesselheizende Heizkessel erreichen bekanntlich Wertschöpfungsgrade von bis zu 100%, bezogen auf den unteren Heizwert  $H_u$  des Erdgases. Weniger geläufig ist eine Konzept, das es erlaubt, mit einem Teil Gas das 1. flüssige ex-Wärme zu erzeugen. Hiermit ist eine Kombination von Blockheizkraftwerk und Elektrowärmepumpe. Dieses nach als «indirekte Gaswärmepumpe» bezeichnete Tandem weist gegenüber konventionellen Gasheizkesseln nicht nur einen höheren Nutzungsgrad auf, es hat auch einen Vorteil. Bei optimierter hydraulischer Schaltung können solche Anlagen reine Vorlaufumwälzungen bis 85°C des Vorlauf des flüssigen Wärmescheitels fassen. Den Rest liefert ein Spitzenkessel. Das Konzept hat sich bei größeren Heizleistungen bewährt; es wird vom Bundesamt für Energie wegen der effizienten Primärenergieumwandlung gefördert. In der Stadt Bern wurden seit 1991 zwei Nahwärmeverbünde nach dem Prinzip der indirekten Gaswärmepumpe realisiert. Die Heiz-

leistung beträgt je nach 1 MW. Eine Anlage liegt im Merzli-Quartier, die andere im Stadteil Lorraine. Sie versorgen unter anderem die Gewerblich-Industrielle Berufsschule und den Botanischen Garten der Stadt Bern.

#### Wärme aus Aare-Grundwasser

Die Heizzentrale der Gewerblich-Industriellen Berufsschule Bern entstand seit 1988. Schon damals versorgte die Anlage über einen Nahwärmeverbund mehrere Gebäude, darunter die Lehrwerkstätten. Bis zum Jahr 1977 wurde die Wärme mit Kohle erzeugt, danach kamen Gasheizkessel in Betrieb. In der Mitte der 1990er Jahre entstand schließlich eine Gesamteinrichtung an zwei Gebäuden waren *Audimax*, die Auflockerung zur LVS-Sanierung und die Erweiterung der Berufsschule durch den Neubau «Campus». Ausgangspunkt für die Planung der neuen Wärmeerzeugung bildete das «Energiekonzept der Stadt Bern» aus dem Jahr 1988. Darin waren Nahwärmeverbünde für die Versorgung mittels Wärmepumpen und Blockheizkraftwerken eingeschlossen worden. Ausserdem hatte man die Möglichkeiten zur Energieumwandlung aus Grundwasser evaluiert. Beide Punkte nahm das Ingenieurbüro Dr. Hiltner-Paul AG bei der Projektierung auf. Geplant wurde der schrittweise Ausbau des bestehenden Nahwärmeverbundes durch den Anschluss einer Wohnbebauung und des Botanischen Gartens und der Einsatz einer indirekten Gaswärmepumpe mit einer thermischen Gesamtleistung von 876 kW. Als Wärmepumpe sollte man den Grundwasserzonen der Aare,



Abbildung 2. Situationsplan zeigt die Energiezentrale bzw. die Grundwasserentnahme mit der angeschlossenen Bauteile.

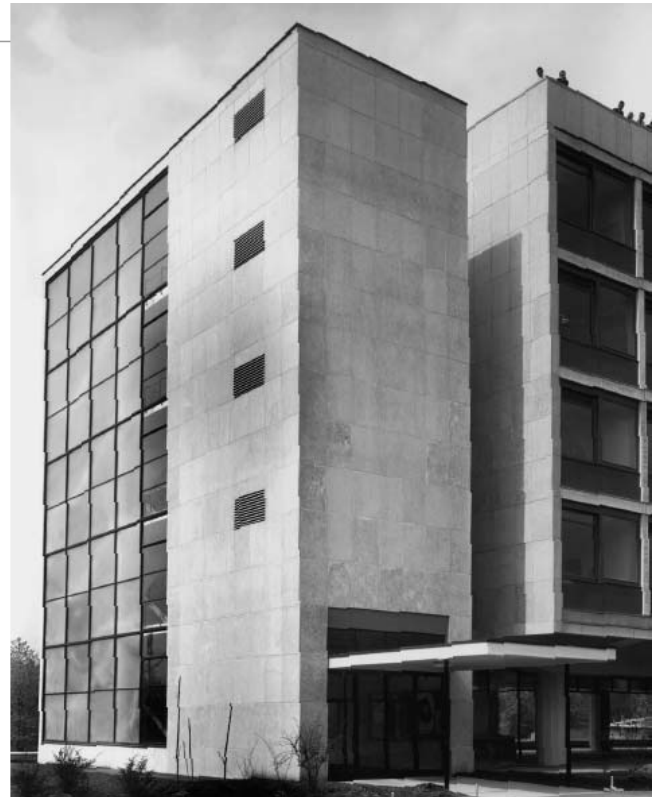


Abbildung 3. Die AED AW- Elektrowärmepumpe liefert den Strom direkt vom Gasmotor-Blockheizkraftwerk im Nachbarn (Foto: Peter Muri Zürich)

deren Temperatur geringfügig zwischen 7°C und 12°C liegt. Die Planung legte man direkt neben das Aare. Über eine Leitung von 670 m Länge und 40 m Höhenunterschied wird das Grundwasser zur Heizzentrale gepumpt. Nach der Förderung wird es über einen bestehenden Regenwasser-Überlaufkanal in die Aare abgelassen.

#### Kleinfluss-Temperaturerzeugung

Wie findet man eine Wärmepumpe in einem bestehenden Wärmenetz ein, das hohe Systemtemperaturen erfordert? Die Vorlauftemperatur auf 85°C zu bringen, war nicht das Problem. Mit einer Sequenz von Wärmepumpe, BHKW und Spitzenkessel lässt sich das einfach lösen. Die Herausforderung bestand darin, eine möglichst grosse Temperaturerzeugung zu erreichen. Teile der Heizleistung werden durch Wärmepumpen für eine gute Leistungsfähigkeit, lange Laufzeiten und einen hohen Wirkungsgrad der Wärmepumpe. Das Feldern erreichen die Aufgabe:

- Von einigen Verbrennungsanlagen keine verlässlichen Daten vor.
- Die einzelnen Verbrennungsgruppen waren hydraulisch unterschiedlich konzipiert.
- Für die Wärmeerzeugung der angeschlossenen Gebäude unterschiedliche Planer vorzusehen.
- Wie auch die Erfahrung von anderen Anlagen zeigt, erfordert das Stellen der Rücklauftemperatur immer einen längeren Optimierungsprozess. Ist dies abgeschlossen, ist ein Prozess von Maschinen zur Anwendung kommt. Das vor im Falle des Nahwärmeverbundes Lorraine nicht anders.
- Einige Heizgruppen werden hydraulisch so angeschlossen, dass die Temperaturerzeugung erreicht.
- In einem beschriebenen Mass lassen sich die Systemtemperaturen durch Wärmepumpen-Maschinen generieren.
- Bei den Verbrennungsanlagen (Wärmekessel, Lorraine und Campus) werden viele Rücklauftemperaturen über die technischen Anschlussbedingungen verlangt.

## WÄRME UND STROM

Neben diesen Maschinen auf der Verbrennerseite wird auch mit einer angepassten Hydraulik und Lagerung der Wärmeerzeugung erreicht, möglichst niedrige Systemtemperaturen für die Wärmepumpe zu erzielen.

Die Rücklauftemperaturen von Verbrennungsgruppen mit niedrigen Temperaturen werden direkt auf die Wärmepumpe geleitet, welche mit hohen Temperaturen auf den technischen Speicher.

Die Speicher werden unterteilt in einen Hochtemperaturbereich für BHKW und Spitzenkessel und einen Niedertemperaturbereich für die Wärmepumpe. Speicherabschlüsse auf mehreren Ebenen sorgen für eine gute Schichtung.

Die Speicherherstellung durch die Wärmepumpe erfolgt so weit als möglich in der Deckung.

#### Im Zentrum steht der Speicher

Im Hinblick auf das hydraulische System ist der Technische Speicher mit 12 m³ Volumen. Am Pflanzstadium vor ist nicht möglich. Bei den Hochtemperatur- und den Niedertemperaturbereich ist ein separater Speicher anzubringen, von wo die Wärme abgezogen wird. Dank der Funktion des Speichers von zusätzlich 7 m wird durch eine solche Zonierung in unterschiedliche Temperaturbereiche erreicht. Voraussetzung ist eine hydraulische Zonierung der Speicherherstellung. Der oberste Speicherbereich ist der Leistung durch den Hauptkessel und das BHKW vorbehalten, die mittlere Zone des BHKW. Der unterste (grosse) Bereich dient ausschließlich der Wärmepumpe. Um die Schichtung mit den unterschiedlichen Vorlauftemperaturen zu erreichen, wird ein Speicher montiert, der getrennt hydraulische Wärme in drei verschiedenen Zonen abgeben kann. Der Bereich der Zonen ist durch diese Maschine nicht zu erreichen. Der Bereich ist durch diese Maschine nicht zu erreichen. Der Bereich ist durch diese Maschine nicht zu erreichen.



Abbildungen 4.5.6. An den Nahwärmeverbund angeschlossene sind der Abbau der Berufsschule und die Lehrwerkstätten (Quelle: der Medien «Campus Bern»). Eine Wohnbebauung (unter) die Schule für Gestaltung und der Botanische Garten.



wird in Serie des BHKW angeschaltet. Der Rücklauf des BHKW wird dabei so weit als möglich durch den Vorlauf der Wärmepumpe geleitet. Danach werden geschaltet – ebenfalls in Serie – in eine WKG-Wärmepumpe, die die Wärme der Motorabstrahlung und der Abgasen entzieht (Strahlungs- und Abgasabstrahlung). In der letzten Phase wird in letzter Folge nach der beiden 3-stufigen Gasheizkessel durch – in der letzten Phase – die 2- und Anschlusskessel. Solange nicht die angesagte oder werden in der nächsten Phase der

Bild 23 Ausschnitt Publikation