

Schlussbericht, DIS 29145 / 68864, Dezember 2001

# **Gasmotor-Wärmepumpe auf Aare-Wasser in Hinterkappelen/BE**

**Langfristige Erfolgskontrolle, Periode 1999-2000**

Ausgearbeitet durch  
**Fritz Hämmann**  
**Ing.-Büro für Haustechnik**  
**Wyhalenstrasse 4**  
**3032 Hinterkappelen**

## 1. Einleitung

Die in diesem Bericht erfasste Gasmotor-Wärmepumpe (GWP) wurde Ende 1993 fertiggestellt und in Betrieb genommen. Die Anlage wurde vom Bund und vom Kanton Bern finanziell unterstützt. Sie ist ein Teil des Gesamtprojektes „Gasmotor-Wärmepumpe, Planungsregeln und Musteranlagen“, das mit durchgeführten Erfolgskontrollen begleitet wurde. Damit die Kontinuität der Erfolgskontrolle gewährleistet ist, hat das Bundesamt für Energiewirtschaft den Auftrag für die Weiterführung dieser Arbeit erteilt.

## 2. Grundlagen

Für die Beurteilung der Erfolgskontrolle stehend folgende Daten zur Verfügung:

### Kenndaten der Siedlung:

Einfamilienhäuser + Wohnungen	=	183
Ateliers	=	57
Mehrzweckräume	=	6
Einheiten Gesamt	=	246
Energiebezugsfläche (EBF)	=	31'775 m <sup>2</sup>
Umbauter Raum (ohne Einstellhalle)	=	135'060 m <sup>3</sup>

### Messdaten:

Gas - Hauptzähler / [m<sup>3</sup> Erdgas]  
 Gas - Zähler der GWP / [m<sup>3</sup> Erdgas]  
 Stromzähler der GWP / [kWh]  
 Wärmezähler der GWP / [kWh]  
 Betriebsstundenzähler der GWP / [Std]  
 Wärmezähler Heizung 1. Etappe / [MWh]  
 Wärmezähler Heizung 2. Etappe / [MWh]  
 Wärmezähler Heizung 3...5. Etappe / [MWh]  
 Betriebsstundenzähler der Heizkessel / [Std.]

## 3. Jahresvergleich - Erfolgsbilanz

Erfolgsbilanz und Jahresvergleich der letzten 5 Betriebsjahre sind auf den folgenden Seiten zusammengefasst:

- Seite 3 - Für den schnellen Leser
- Seite 4 - Auswertung der Messdaten
- Seite 5 - Wärmebilanz
- Seite 6 - Vergleich der letzten 5 Jahre
- Seite 7 - Schadstoffbilanz
- Seite 8 - Diagramm Anteil Wärmeproduktion GWP - Heizkessel
- Seite 9 - Diagramm Wärmeproduktion GWP
- Seite 10 - Diagramm Schadstoffbilanz der letzten 5 Jahre
- Seite 11 - Diagramm Schadstoffbilanz Vergleich effektiver Betrieb fiktiver Betrieb nur über HK
- Seite 12 - Diagramm Wärmebilanz Vergleich effektiver Betrieb fiktiver Betrieb nur über HK

<b>Zusammenfassung der wichtigsten Daten für die Heizperiode 1998/99</b>					<b>Für den schnellen Leser</b>	
<u>Betrieb GWP</u>					Während der Heizperiode	
Betriebstage	251	d	"	"	vom	bis
Betriebsstunden	4'216	Bh	"	"	14.09.98	23.05.99
Betriebsstunden	16.80	h/d	"	"	"	"
Startimpulse	386	Anzahl	"	"	"	"
Betr-std pro Startimpuls	10.92	Anzahl	"	"	"	"
Gasverbrauch	104'379	m3	"	"	"	"
Wärmeproduktion	1'708	MWh	"	"	"	"
<u>Input</u>					Pro Betriebsstunde	
Gas	985'338	kWh	=	985	MWh	0.234 MWh/Bh
Strom GWP	17'800	kWh	=	18	MWh	0.004 MWh/Bh
Gas + Strom	1'003'138	kWh	=	1'003	MWh	0.238 MWh/Bh
<u>Vergleich mit Vorjahren</u>					1994/95 1995/96 1996/97 1997/98 1998/99	
Betriebsstunden GWP	3'323	841	3'582	4'218	4'216	h
<b>Input: Gas + Strom</b>	<b>807</b>	<b>210</b>	<b>833</b>	<b>998</b>	<b>1'003</b>	<b>MWh</b>
<b>Output: Wärmeproduktion</b>	<b>1'381</b>	<b>366</b>	<b>1'412</b>	<b>1'739</b>	<b>1'708</b>	<b>MWh</b>
<b>Jahresarbeitszahl (JAZ)</b>	<b>1.71</b>	<b>1.74</b>	<b>1.70</b>	<b>1.74</b>	<b>1.70</b>	<b>GWP</b>
<u>Betriebsstunden Öl/gasbeheizte Heizkessel</u>					1994/95 1995/96 1996/97 1997/98 1998/99 Jahr	
<u>zur Deckung des Spitzenbedarfs.</u>	2'919	5'929	2'456	1'868	2'246	h
<u>Jahresnutzungsgrad Gesamtanlage</u>	1.19	0.97	1.18	1.31	1.25	Abgasverl. berücks.
<u>Wärmeabgabe pro m<sup>2</sup> Energie- bezugsfläche, klimabereinigt</u>					1994/95 1995/96 1996/97 1997/98 1998/99 MJ/m <sup>2</sup>	
	285	254	235	262	270	
<u>Vergleich mit reinem Heizkesselbetrieb (Fiktiv)</u>					Energie Energie Energiekosten	
Energieverbrauch	1998/99	G/J, a	kWh	Fr.		
Effektiver Betrieb GWP + Heizkessel Öl und Gas		8'592	2'386'945	114'869		
Fiktiver Betrieb ausschliesslich über Heizkessel*		11'272	3'131'399	149'993		
Einsparungen						
Differenz Energieverbrauch, Kosten		-2'680	-744'454	-35'125	Eingespart	
*zB. bei Ausfall der Gasmotor-Wärmepumpe						

### Auswertung der Daten für die Heizperiode 1999/00

#### Gasmotor-Wärme-Pumpe

Messdaten	Messdauer	Durchschnitt	
	vom	bis	pro 1 Tag
99 / 00	26.05.99	25.05.00	
Jahresablesungen			
Heizperiode	30.09.99	01.06.00	
GWP	245 d		
Betriebsstunden	3'816 Bh	15.58 h/d	
Startimpulse	173 Anzahl	0.71 Anzahl Imp/d	
Betr-std pro Startimpuls	22.06 Anzahl		
Stromverbrauch GWP	16'521 kWh	67 kWh/d	
Gasverbrauch	91'341 m3	373 m3/d	
Wärmeproduktion	1'468'516 kWh	5'994 kWh/d	

#### Auswertung: Gasmotor-Wärmepumpe

Input	Gas	Total	862'259	kWh	=	862 MWh
Input	Strom GWP	Total	16'521	kWh	=	17 MWh
Input	Gas + Strom	Total	878'780	kWh	=	879 MWh
Output	Wärmeleistung	Total	1'468'516	kWh	=	1'469 MWh

#### Jahresarbeitszahl Gasmotor-Wärmepumpe

1.67

#### Heizkessel

Kessel 1	Laufzeit pro Jahr	Laufzeit pro Tag (Schnitt)
Gas Stufe 1	1'392 h	5.68 h
Gas Stufe 2	1'285 h	5.24 h
ÖL Stufe 1	127 h	0.52 h
ÖL Stufe 2	111 h	0.45 h
Kessel 2		
Gas Stufe 1	27 h	0.11 h
Gas Stufe 2	24 h	0.10 h
ÖL Stufe 1	51 h	0.21 h
ÖL Stufe 2	48 h	0.20 h

#### Auswertung: Heizkessel: Gas + Heizölbezug + Gasbezug GWP (Input Gesamtanlage)

Hauptzähler	228'062 m3	=	2'153 MWh	Hu B	Anteil
Gaszähler GWP	91'341 m3	=	862 MWh	Hu B	36.16%
Heizkessel EG	136'721 m3	=	1'291 MWh	Hu B	54.13%
Heizkessel Heizöl	13'627 Liter	=	135 MWh	Hu B	5.66%
GWP Strom	16'521 kWh	=	17 MWh		0.69%
Heizung Strom*	80'000 kWh	=	80 MWh		3.36%
Total Input			2'384 MWh	Hu B	100.00%

#### Wärmeabgabe

1. Etappe	814 MWh	31.59%
2. Etappe	589 MWh	22.85%
3. Etappe	1'174 MWh	45.56%
Total	2'578 MWh	100.00%

#### Jahresnutzungsgrad Gesamtanlage

1.08

\*Stromverbrauch empirisch ermittelt

## Wärmebilanz der Heizperiode 1999/00

### Gesamtanlage

Input

Erdgas	2'153	MWh	90%
Heizöl	135	MWh	6%
Strom GWP	17	MWh	1%
Strom Heizung	80	MWh	3%
<b>Energiebezug Total</b>	<b>2'384</b>	<b>MWh</b>	<b>100%</b>

### Gesamtanlage

Wärmebezug Heizsaison 1997/98

1. Etappe	814	MWh	32%
2. Etappe	589	MWh	23%
3. Etappe	1'174	MWh	46%
<b>Wärmebezug Total</b>	<b>2'578</b>	<b>MWh</b>	<b>100%</b>

### Gesamtanlage

Wärmeproduktion Heizkessel	1'383	MWh	48%
Wärmeproduktion Gasmotor-Wärmepumpe	1'469	MWh	52%
<b>Wärmeproduktion Total</b>	<b>2'851</b>	<b>MWh</b>	<b>100%</b>

### Gasmotor-Wärmepumpe

Wärmeproduktion durch Gasmotor-Wärmepumpe	1'469	MWh	100%
Davon Aarewasser	1'057	MWh	72%
Davon Abwärme Gasmotor	411	MWh	28%

### Vergleich mit reinem Heizkesselbetrieb (Fiktiv)

	1999/00	Verbrauch G/J, a	Energiekosten / Total Kosten (laut Verwaltung)		
Energieverbrauch			MWh	Fr/a	Fr/a
Effektiver Betrieb GWP + Heizkessel Öl und Gas	Total	8'584 =	2'385	118'373	
Fiktiver Betrieb ausschliesslich über Heizkessel*	Total	10'828 =	3'008	147'779	
<b>Differenz Energieverbrauch, Kosten</b>	<b>Total</b>	<b>-2'244 =</b>	<b>-623</b>	<b>-29'407</b>	Einsparungen durch GWP

Entspricht ca.  
oder ca.

-61'006 kg Heizöl Einsparungen durch GWP  
-64'043 m<sup>3</sup> Erdgas Einsparungen durch GWP

\*zB. bei Ausfall der Gasmotor-Wärmepumpe

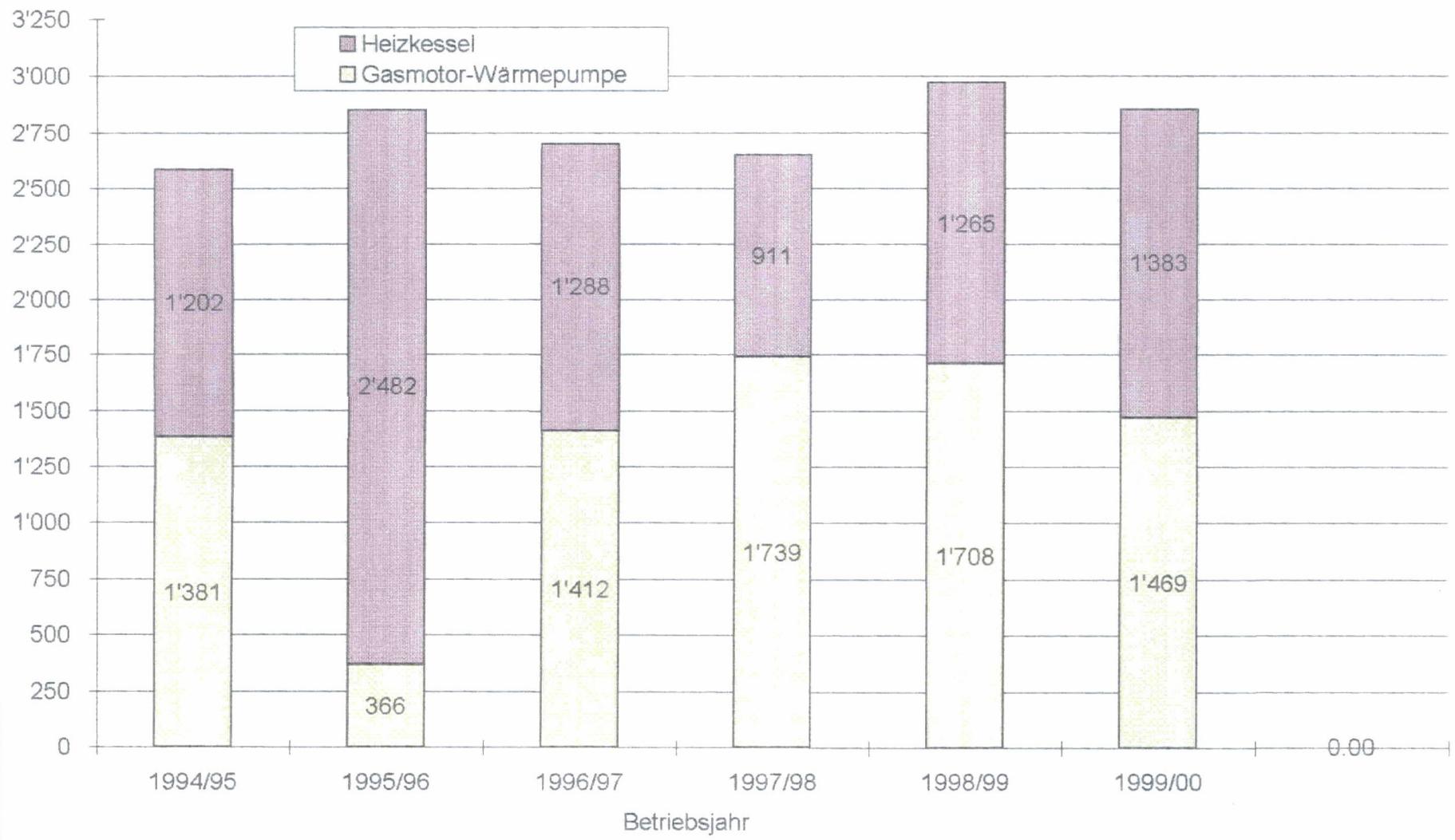
Vergleich der Daten für die Heizperiode 1998/99 zu den Vorjahren.							
Heizperioden	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	
Input							
Erdgas Hauptzähler	204'920	287'763	206'558	194'101	230'786	222'096	Nm3
Entspricht	210'425	295'493	212'107	199'315	236'986	228'062	m3
Erdgas Hauptzähler	1'986	2'789	2'002	1'882	2'237	2'153	MWh
Heizöl EL	97	47	196	38	52	135	MWh
Strom (95...97 für KEA emp ermittelt)	95	86	95	98	98	97	MWh
Total	2'178	2'922	2'294	2'018	2'387	2'384	MWh
Gasmotor-Wärmepumpe							
Betriebsstunden GWP	3'323	841	3'582	4'218	4'216	3'816	h
Startimpulse	462	408	509	512	386	173	
Strombezug	14'847	5'799	15'223	18'442	17'800	16'521	kWh
Gasbezug	83'894	21'678	86'648	103'772	104'379	91'341	m3
Input Strom + Gas	807	210	833	998	1'003	879	MWh
Output	1'381	366	1'412	1'739	1'708	1'469	MWh
Jahresarbeitszahl (JAZ)	1.71	1.74	1.70	1.74	1.70	1.67	
Leistung GWP	416	436	394	412	405	385	kW
Heizkessel							
Betriebsstunden Gas	2'724	5'835	2'060	1'792	2'170	2'677	h
Betriebsstunden Öl	195	94	396	76	76	238	h
Betriebsstunden Gas + Öl	2'919	5'929	2'456	1'868	2'246	2'915	h
Wärmeabgabe							
Wärmebezug 1. bis 5. Etappe	2'518	2'757	2'516	2'643	2'909	2'578	MWh
Anteile an der Wärmeproduktion							
Gasbezug							
Gasmotor-Wärmepumpe	83'894	21'678	86'648	103'772	104'379	91'341	m3
Heizkessel Erdgas	121'026	266'085	119'910	95'543	132'607	136'721	m3
Heizkessel Heizöl EL	9'750	4'700	19'800	3'800	5'228	13'627	Liter
Wärmeproduktion							
Gasmotor-Wärmepumpe	1'381	366	1'412	1'739	1'708	1'469	MWh
Heizkessel Erdgas	1'108	2'436	1'098	875	1'214	1'252	MWh
Heizkessel Heizöl EL	94	45	190	37	50	131	MWh
Total	2'583	2'848	2'701	2'651	2'973	2'851	MWh
Leistung Heizkessel	380	411	447	468	541	429	kW
Gesamtanlage unter Berücksichtigung der Abgasverluste							
Jahresnutzungsgrad							
Gesamtanlage	1.19	0.97	1.18	1.31	1.25	1.20	
Wärmeabgabe pro m <sup>2</sup> Energiebezugsfläche, klimabereinigt	285	254	235	262	270	250	MJ/m <sup>2</sup>
, effektiv	285	312	285	299	330	292	MJ/m <sup>2</sup>
Heizgradtage während Heizperiode	2'763	3'396	3'354	3'152	3'373	3'222	HGT
Prozentuale Vergleiche	1994 / 95	1995 / 96	1996 / 97	1997 / 98	1998 / 98	1999 / 00	
Anteile an der Wärmeproduktion							
Gas-Motor-Wärmepumpe	53%	13%	52%	66%	57%	52%	
Heizkessel	47%	87%	48%	34%	43%	48%	

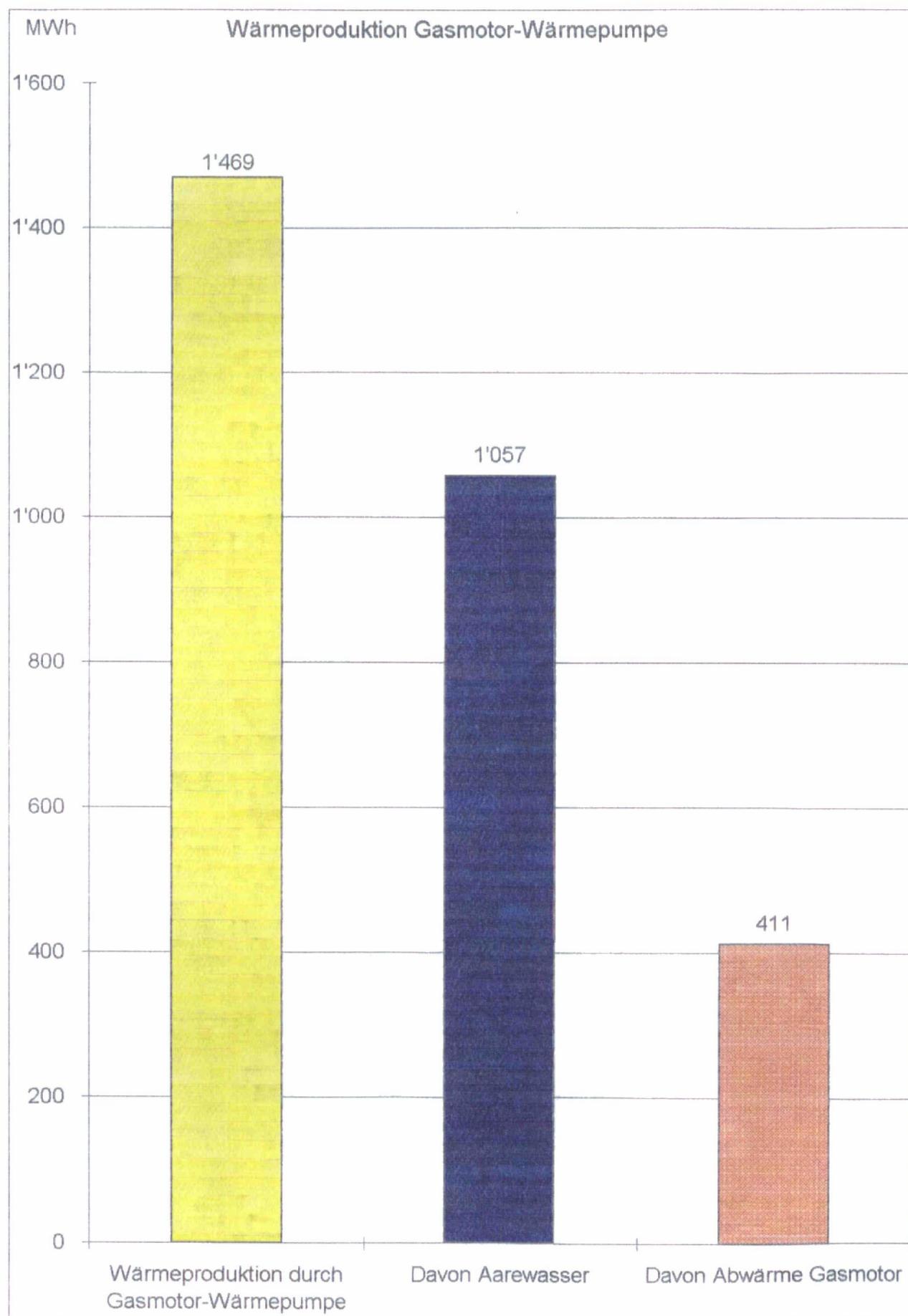
Schadstoffbilanz								
Schadstoff-Emissionen der letzten 4 Jahre			Verbrauch	CO2	CO	SO2	NOx	VOC
Energieverbrauch	"	G/J, a	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	Feststoffe
Betriebsjahr	1994/95	Total	7'653	415'446	345	69	209	108
Betriebsjahr	1995/96	Total	10'256	556'467	493	55	312	112
Betriebsjahr	1996/97	Total	8'069	444'710	355	93	230	113
Betriebsjahr	1997/98	Total	7'263	389'741	328	57	181	111
Betriebsjahr	1998/99	Total	8'592	463'823	393	61	222	124
Betriebsjahr	1999/00	Total	8'584	468'923	386	80	237	120
Datenquelle/Grundlagen: BUWAL								
Vergleich mit reinem Heizkesselbetrieb (Fiktiv)			Verbrauch	CO2	CO	SO2	NOx	VOC
Energieverbrauch, Schadstoffbilanz	1999/00	G/J, a	[T/a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	Feststoffe
Effektiver Betrieb GWP + Heizkessel Öl und Gas	Total	8'584	469	386	80	237	120	29
Fiktiver Betrieb ausschliesslich über Heizkessel*	Total	10'828	592	514	81	351	111	29
Differenz Energieverbrauch, Schadstoffausstoss	Total	-2'244	-123	-128	-1	-114	9	-0
Vergleich mit reinem Heizkesselbetrieb (Fiktiv)			Verbrauch	CO2	CO	SO2	NOx	VOC
Energieverbrauch, Schadstoffbilanz	1998/99	G/J, a	[T/a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	Feststoffe
Effektiver Betrieb GWP + Heizkessel Öl und Gas	Total	8'592	464	393	61	222	124	29
Fiktiver Betrieb ausschliesslich über Heizkessel*	Total	11'272	611	545	62	355	116	30
Differenz Energieverbrauch, Schadstoffausstoss	Total	-2'680	-147	-152	-1	-134	9	-0

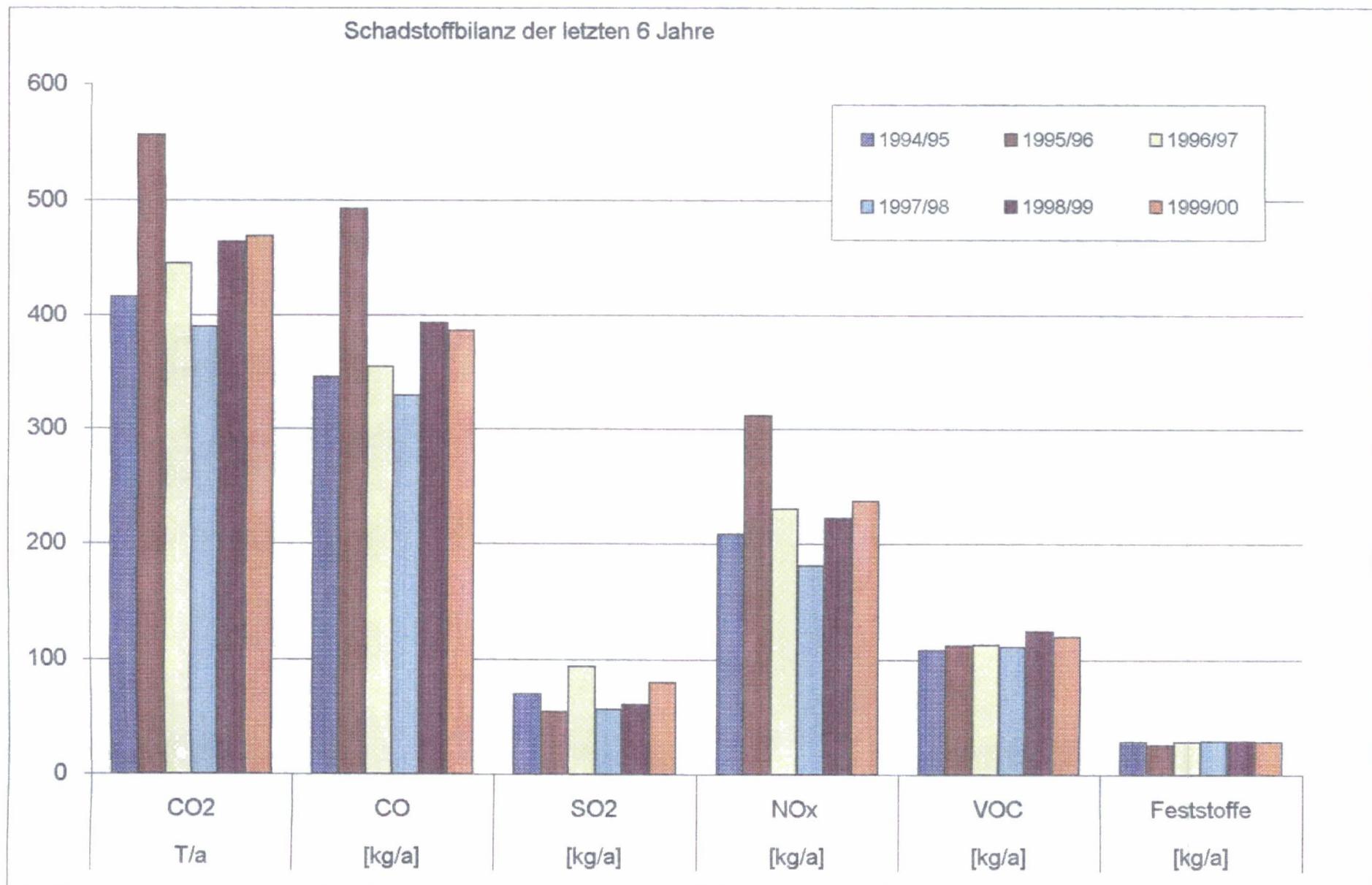
\*z.B. bei Ausfall der Gasmotor-Wärmepumpe

Anteil an der Wärmeproduktion  
Gasmotor-Wärmepumpe, Heizkessel

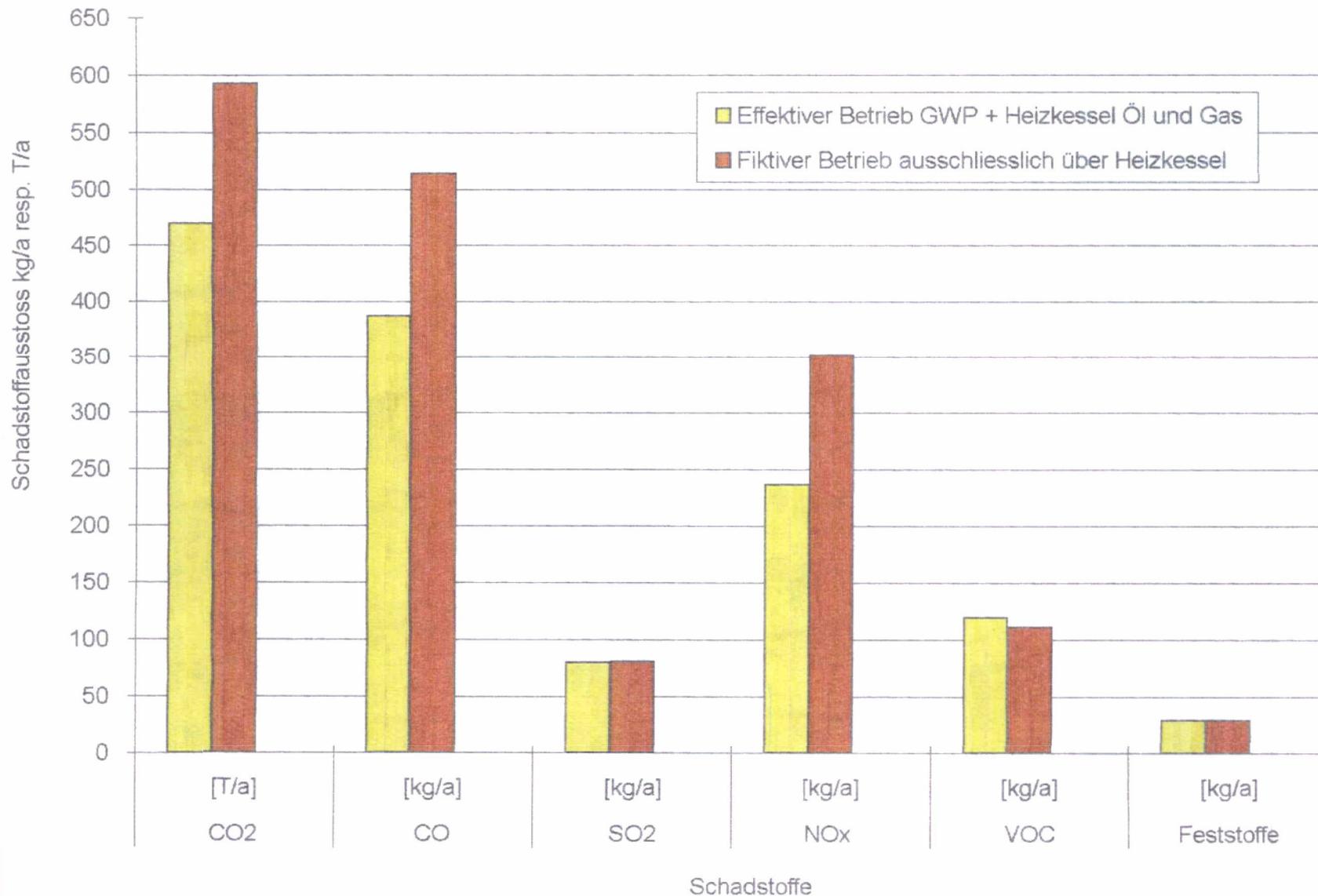
MWh

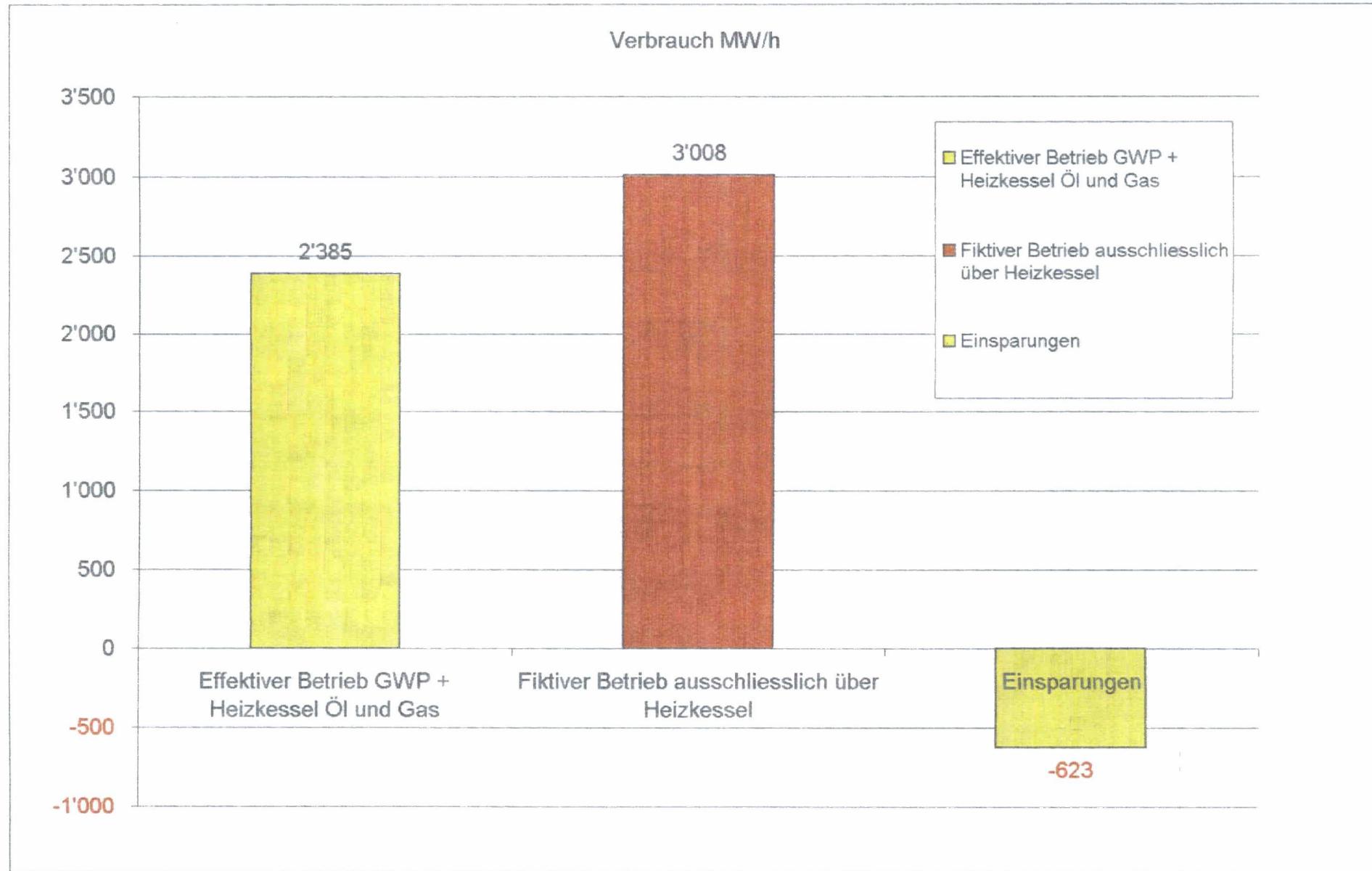






Vergleich effektiver Betrieb mit GWP+HK, zu fiktivem Betrieb ausschliesslich über konventionellen Heizkessel zB. bei Ausfall der GWP





## 4. Beurteilung

### Allgemein

Beim Vergleich der Daten für die 6 erfassten Heizperioden fällt auf, dass die Heizperiode 1995/96 über alle erfassten Daten relativ schlechte Werte aufweist. Dies ist auf die damalige Havarie der GWP zurückzuführen. Dadurch kann aber beim Vergleich mit den übrigen Jahren aufgezeigt werden, wie massiv sich der Energiebedarf und der Schadstoffausstoss bei Ausfall der GWP erhöht. Die Heizperiode 1997/98 darf aufgrund der ausgewerteten Daten nach wie vor als bisher erfolgreichste bezeichnet werden. Die Heizperiode 1999/00 ist im Vergleich zu den Vorjahren weniger effizient ausgefallen als erwartet. Die vor allem, weil nebst kleineren Störfällen, gegen Ende der Heizperiode (April 00) beim Schwingungsdämpfer ein kleiner Riss festgestellt wurde. Dank sofort eingeleiteter Massnahmen konnte glücklicher weise kein Kältemittel entweichen. Hatte allerdings zur Folge, dass die GWP abgestellt werden musste und bis Ende der Heizperiode nicht mehr in Betrieb genommen werden konnte. Daraus resultierten weniger Betriebsstunden als erwartet.

### Gasbezug

Der Gasbezug für die Heizkessel war um 4'114m<sup>3</sup> höher als im Vorjahr, was trotz des relativ milden Winters auf den Ausfall der GWP zurückzuführen ist. Gesamthaft war der Bezug an Erdgas um 8'924 m<sup>3</sup> kleiner als im Vorjahr.

### Gasmotor - Wärmepumpe

Mit 3'816 Betriebsstunden, liegt die Laufzeit der GWP deutlich unter jener des Vorjahres. Das Ziel, eine Betriebstundenzahl von über 4'000 Stunden pro Jahr konnte nicht erreicht werden, wobei einerseits der mildere Winter, vor allem jedoch der Betriebsausfall im April seinen Einfluss geltend machte. Zu beachten ist das Verhältnis „Anteile an der Wärmeproduktion zwischen Gasmotorwärmepumpe und Heizkessel. (Siehe unten).

### Heizkessel

Während der ganzen Heizperiode war, mit einer Ausnahme, ausschliesslich der Heizkessel 1 (Grosser HK rechts) in Betrieb. Der kleinere Heizkessel respektive der Ölbrenner ist eigentlich vom KIGA beanstandet (Zu hohe NO<sub>2</sub>-Werte) und sollte nicht mehr, oder zumindest weniger als 100 Stunden pro Heizperiode betrieben werden. Dieser Forderung konnte allerdings mit 150 Betriebsstunden nicht ganz entsprochen werden, dies weil ein Defekt am Brenner des Heizkessels 1 auftrat, was den Betrieb des Heizkessels 2 erforderte. Empirisch erfasst in dieser Energiebilanz ist nach wie vor der Input des elektrischen Stroms für die Brenner, die Steuerung der Heizkessel und den Betrieb der Pumpen usw. Dies, weil die vorhandenen Messeinrichtungen keine differenzierte Erfassung der Daten ermöglicht.

### Wärmeabgabe

Diese Daten haben rein informativen Charakter.

### Anteile an der Wärmeproduktion

Der Anteil an der Wärmeproduktion durch die GWP gegenüber dem Vorjahr verschlechtert.

1997/98 Gasmotorwärmepumpe 66% Heizkessel 34%

1998/99 Gasmotorwärmepumpe 57% Heizkessel 43%

1999/00 Gasmotorwärmepumpe 53% Heizkessel 47%

Erklärbar ist dieses abermals etwas ungünstigere Verhältnis mit der Tatsache des Betriebsausfalls der Gasmotor-Wärme-Pumpe.

### Ökologische Bilanz

Grundlage für die Berechnung des Schadstoffausstosses sind die effektiv gemessenen Werte des Energiebedarfs, sowie Grundlagen des BUWAL über Emissionen von Wärmeerzeugeranlagen. Auch hier ist zu bemerken, dass durch den Einsatz der Gasmotor-Wärmepumpe erhebliche Einsparungen beim Schadstoffausstoss zu verzeichnen sind. Dies fällt insbesondere auf, wenn zum Vergleich das Betriebsjahr 1995/96 herangezogen wird, in welchem längerer Ausfall der GWP zu verzeichnen war.