

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 ²
Umbauter Raum (ohne Einstellhalle)	=	135'060 m ³

Messdaten:

Gas - Hauptzähler / [m³ Erdgas]
 Gas - Zähler der GWP / [m³ 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

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

Zusammenfassung der wichtigsten Daten für die Heizperiode 1998/99					Für den schnellen Leser	
Betrieb GWP			Während der Heizperiode		vom	bis
Betriebstage	251 d		"		14.09.98	23.05.99
Betriebsstunden	4'216 Bh		"		"	"
Betriebsstunden	16.80 h/d		"		"	"
Startimpulse	386 Anzahl		"		"	"
Betr-std pro Startimpuls	10.92 Anzahl		"		"	"
Gasverbrauch	104'379 m3		"		"	"
Wärmeproduktion	1'708 MWh		"		"	"
Input					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	
Vergleich mit Vorjahren	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	
Betriebsstunden GWP	3'323	841	3'582	4'218	4'216	h
Input: Gas + Strom	807	210	833	998	1'003	MWh
Output: Wärmeproduktion	1'381	366	1'412	1'739	1'708	MWh
Jahresarbeitszahl (JAZ)	1.71	1.74	1.70	1.74	1.70	GWP
Betriebsstunden Öl/gasbeheizte Heizkessel	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	Jahr
zur Deckung des Spitzenbedarfs.	2'919	5'929	2'456	1'868	2'246	h
Jahresnutzungsgrad Gesamtanlage	1.19	0.97	1.18	1.31	1.25	Abgasverl. berücks.
Wärmeabgabe pro m2 Energie- bezugsfläche, klimabereinigt	1994/95 285	1995/96 254	1996/97 235	1997/98 262	1998/99 270	MJ/m2
Vergleich mit reinem Heizkesselbetrieb (Fiktiv)		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 1999/00Gasmotor-Wärme-Pumpe

Messdaten	Messdauer	Durchschnitt
99 / 00	vom bis	pro 1 Tag
Jahresablesungen	26.05.99 25.05.00	
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%

Energiebezug Total	2'384 MWh	100%
---------------------------	------------------	-------------

Gesamtanlage

Wärmebezug Heizsaison 1997/98

1. Etappe	814 MWh	32%
2. Etappe	589 MWh	23%
3. Etappe	1'174 MWh	46%

Wärmebezug Total	2'578 MWh	100%
-------------------------	------------------	-------------

Gesamtanlage

Wärmeproduktion Heizkessel	1'383 MWh	48%
Wärmeproduktion Gasmotor-Wärmepumpe	1'469 MWh	52%

Wärmeproduktion Total	2'851 MWh	100%
------------------------------	------------------	-------------

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)

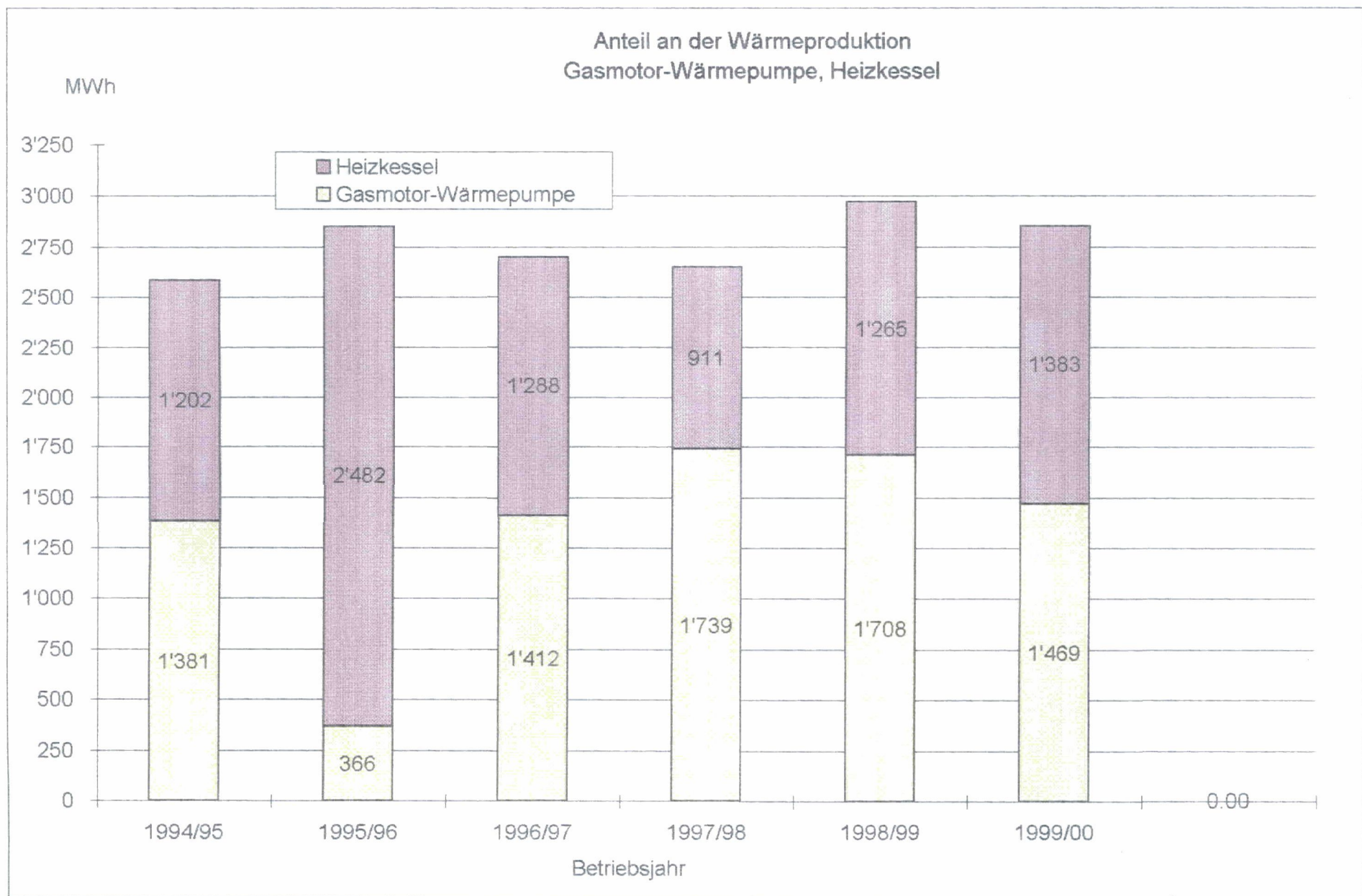
	1999/00	Verbrauch G/J, a	MWh	Energiekosten / Fr/a	Total Kosten Fr/a (laut Verwaltung)
Energieverbrauch					
Effektiver Betrieb GWP + Heizkessel Öl und Gas	Total	8'584 =	2'385	118'373	
Fiktiver Betrieb ausschliesslich über Heizkessel*	Total	10'828 =	3'008	147'779	
Differenz Energieverbrauch, Kosten	Total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

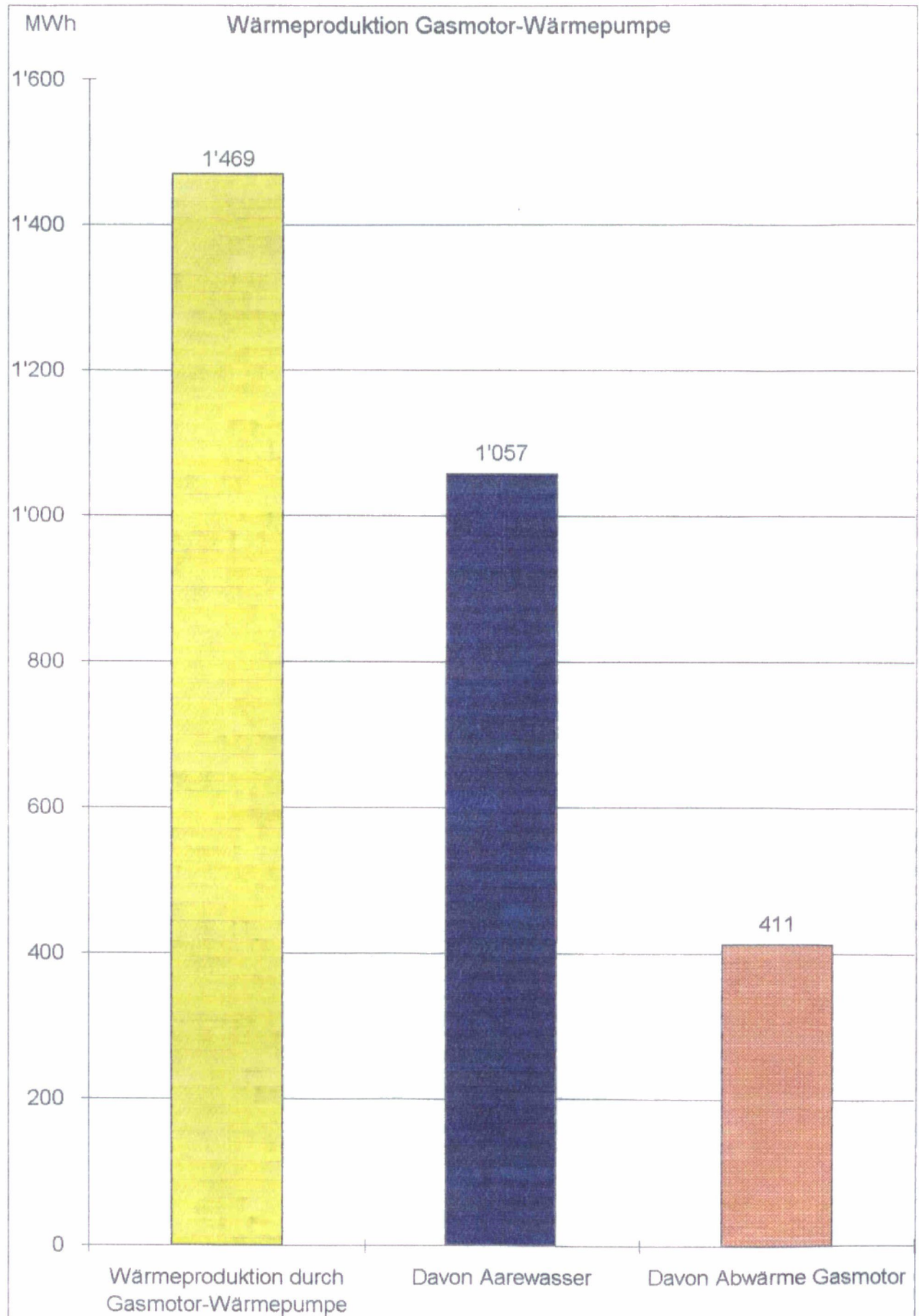
Entspricht ca.	-61'006	kg Heizöl	Einsparungen durch GWP
oder ca.	-64'043	m ³ Erdgas	Einsparungen durch GWP

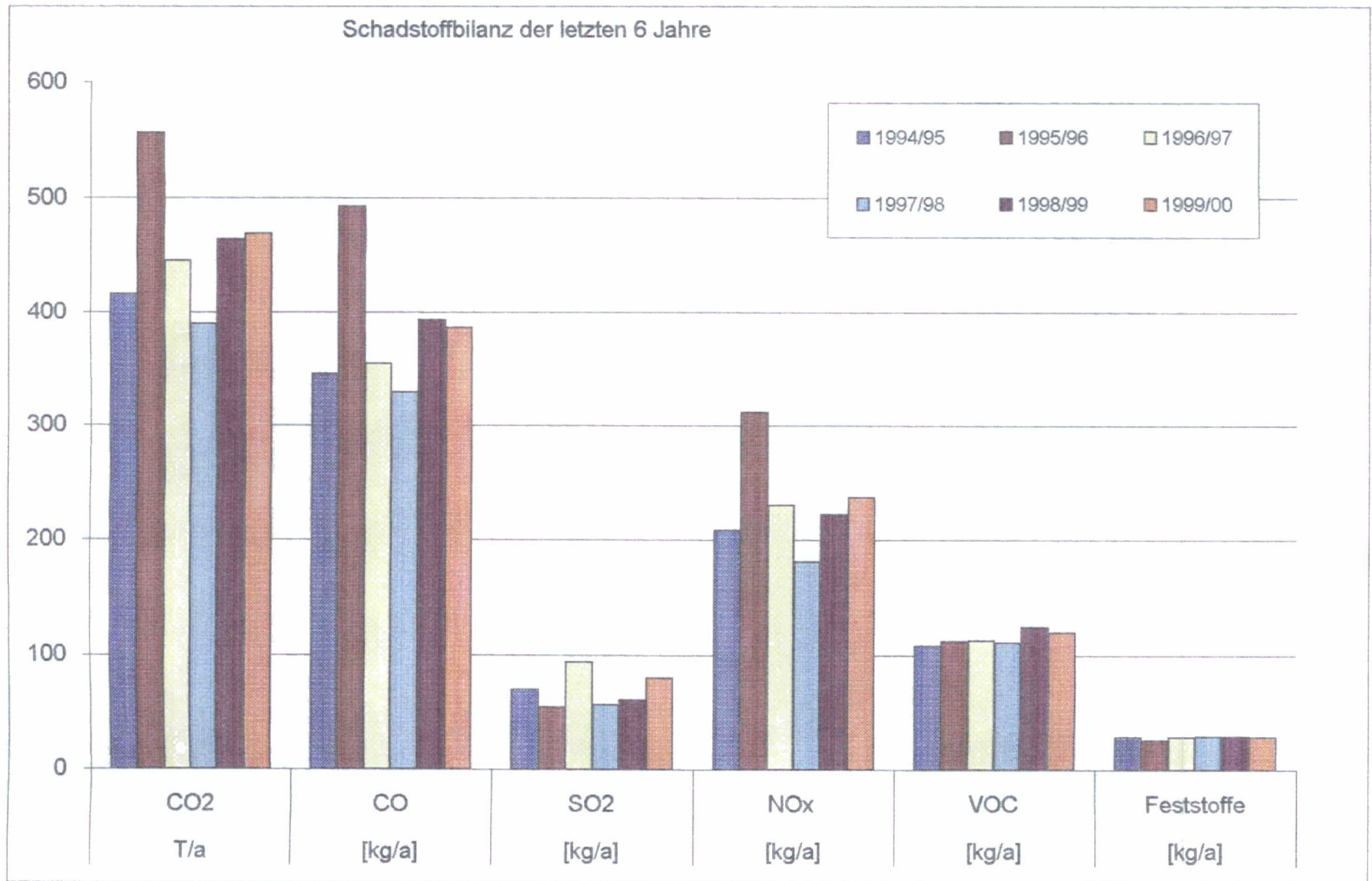
*zB. bei Ausfall der Gasmotor-Wärmepumpe

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							
<u>Gasbezug</u>							
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
<u>Wärmeproduktion</u>							
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 m2 Energiebezugsfläche, klimabereinigt	285	254	235	262	270	250	MJ/m2
, effektiv	285	312	285	299	330	292	MJ/m2
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	
<u>Anteile an der Wärmeproduktion</u>							
Gas-Motor-Wärmepumpe	53%	13%	52%	66%	57%	52%	
Heizkessel	47%	87%	48%	34%	43%	48%	

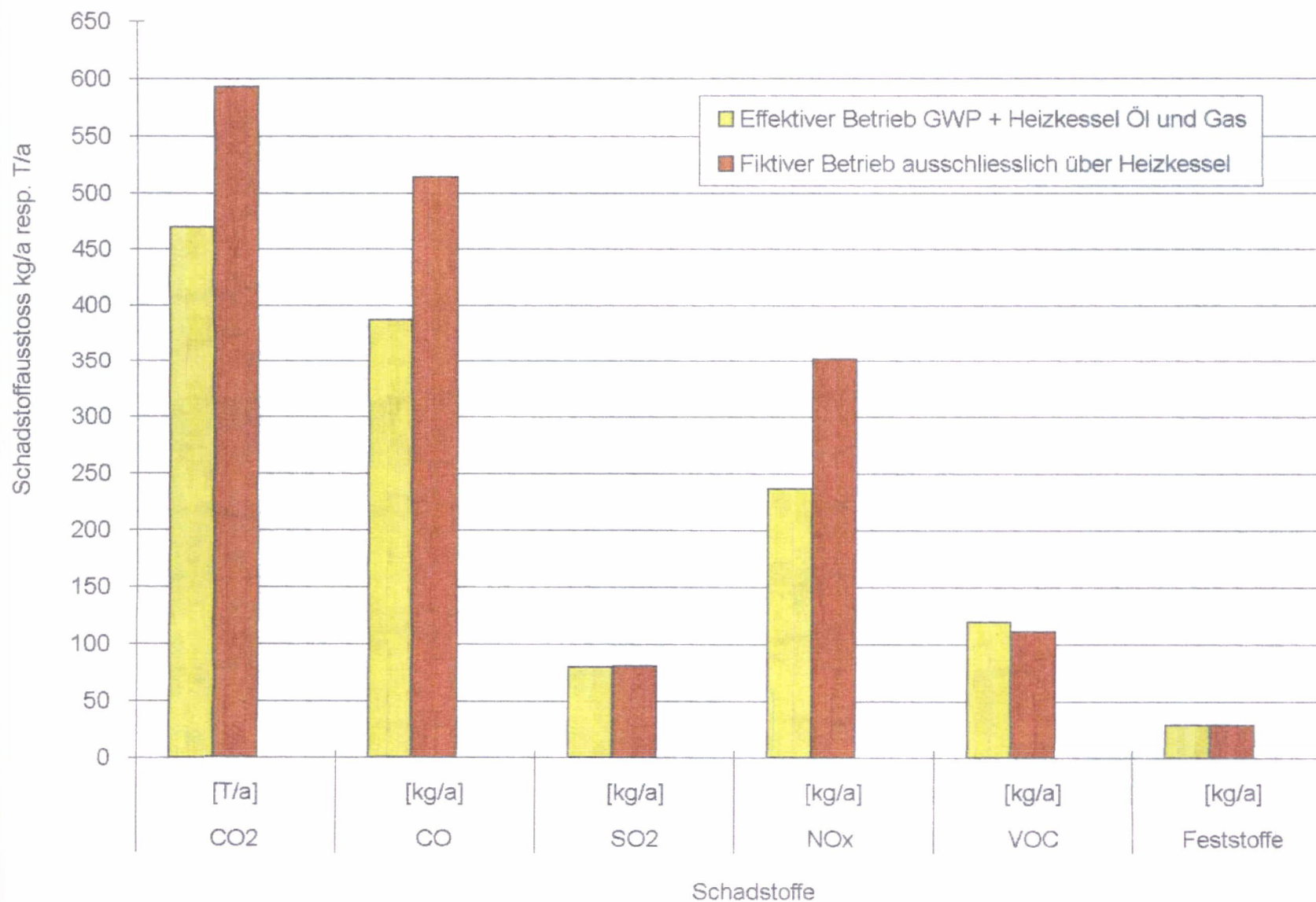
Schadstoffbilanz									
Schadstoff-Emissionen der letzten 4 Jahre			Verbrauch	CO2	CO	SO2	NOx	VOC	Feststoffe
Energieverbrauch "			G/J, a	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]
Betriebsjahr	1994/95	Total	7'653	415'446	345	69	209	108	28
Betriebsjahr	1995/96	Total	10'256	556'467	493	55	312	112	26
Betriebsjahr	1996/97	Total	8'069	444'710	355	93	230	113	29
Betriebsjahr	1997/98	Total	7'263	389'741	328	57	181	111	29
Betriebsjahr	1998/99	Total	8'592	463'823	393	61	222	124	29
Betriebsjahr	1999/00	Total	8'584	468'923	386	80	237	120	29
Datenquelle/Grundlagen: BUWAL									
Vergleich mit reinem Heizkesselbetrieb (Fiktiv)			Verbrauch	CO2	CO	SO2	NOx	VOC	Feststoffe
Energieverbrauch, Schadstoffbilanz			1999/00 G/J, a	[T/a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]
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	Feststoffe
Energieverbrauch, Schadstoffbilanz			1998/99 G/J, a	[T/a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]	[kg/a]
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
*zB. bei Ausfall der Gasmotor-Wärmepumpe									

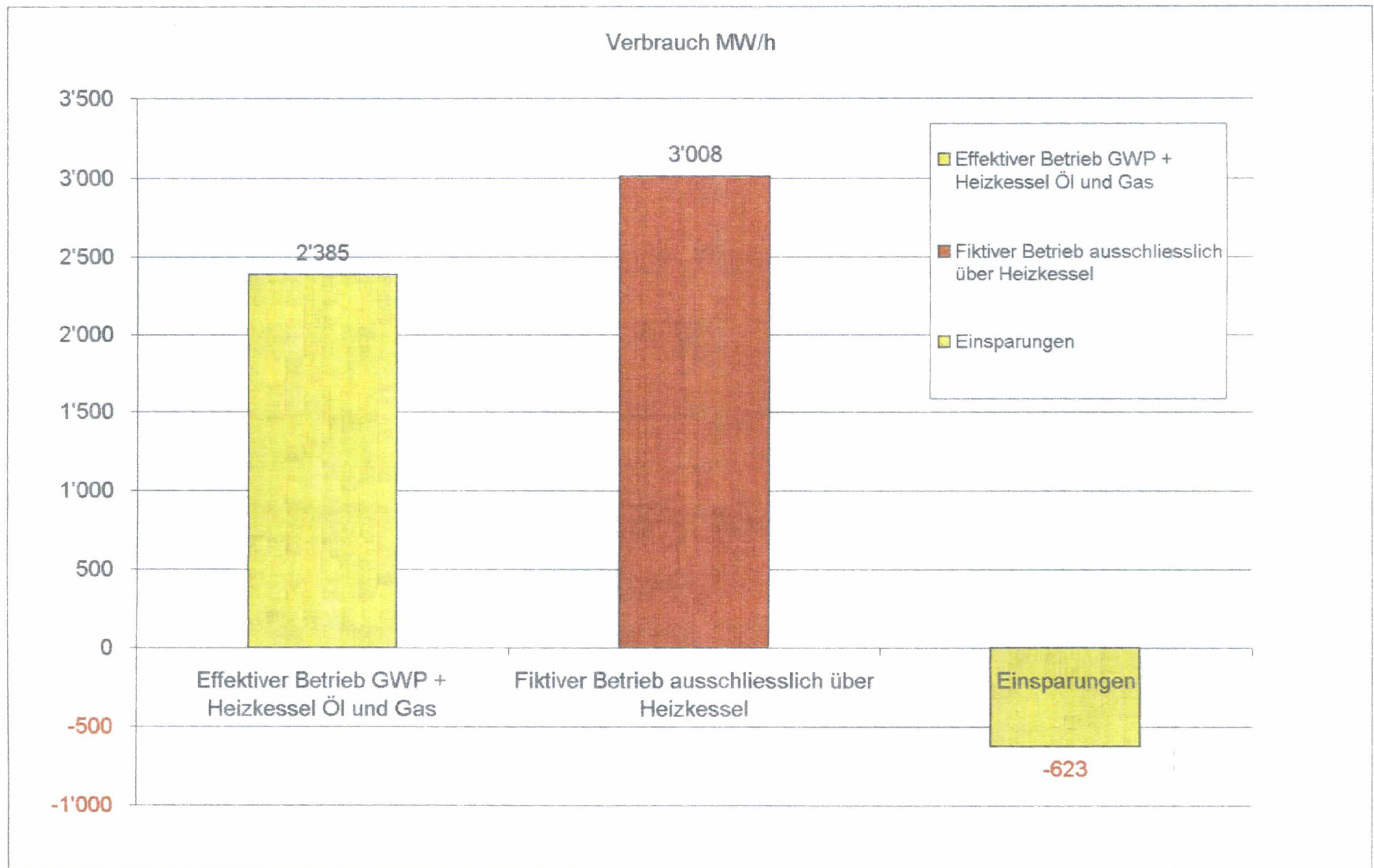






Vergleich effektiver Betrieb mit GWP+HK, zu fiktivem Betrieb ausschliesslich über konventionellen Heizkessel zB. bei Ausfall der GWP





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 glücklicherweise 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 $4'114\text{m}^3$ höher als im Vorjahr, was trotz des relativ milden Winters auf den Ausfall der GWP zurückzuführen ist. Gesamthaft war der Bezug an Erdgas um $8'924\text{m}^3$ kleiner als im Vorjahr.

Gasmotor - Wärmepumpe

Mit 3'816 Betriebsstunden, liegt die Laufzeit der GWP deutlich unter jener des Vorjahres. Das Ziel, eine Betriebsstundenzahl 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_2 -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.