

Abschlussbericht Forschungsvorhaben Wärmeversorgung „Wohnen im Park“



Inhaltsverzeichnis

Projektbeteiligte
Einführung

Wärmeversorgung

- Heizung
- Warmwasser

Ergebnisse

- Warmwasser
- Heizung

Zusammenfassung

- Gesamtbewertung
- Zukünftige Optimierungen

Abschlussbericht Betriebsoptimierung
Ebert-Ingenieure

Technische Details

Inhaltsverzeichnis

- Grundlagen
- Aufgabenstellung
- Anlagenschema

Betriebsoptimierung

- Ansatzpunkte
- Haus 1.1 bis 1.3
- Haus 1.1 & 1.2
- Haus 1.3
- Reduzierung Primärenergieverbrauch

Messdaten

- Auswertung
- Fazit



Projektbeteiligte

Antrag Innovationsfond
Projekt „Wohnen im Park“
Städtische Wohnungsbau GmbH, Lahr

Realisierung und messtechnische Evaluierung von alternativen Wärmeversorgungskonzepten mit Elektro- und Gasmotor-Wärmepumpe zur Beheizung von Wohngebäuden und Vergleich der tatsächlich erreichten wirtschaftlichen und primärenergetischen Werte mit konventionellen Wärmeversorgungssystemen

Forschungsprojekt im Rahmen des
„Badenova-Innovationsfond“

Betreuung durch Badenova:
Projektnummer: 2009-03
Realisierung und messtechnische Evaluierung von alternativen Wärmeversorgungskonzepten

Unterstützung:
E-Werk Mittelbaden

Wärmepumpen-Technik:

- Dimplex (Elektro-Wärmepumpen)
- Berndt-Energys (Gas-Motor-Wärmepumpe)
- Tecalor (Abluft-Warmwasser-Wärmepumpe)

Kooperationspartner und wissenschaftliche Beratung:
Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr

Ausführende Fachhandwerker:
Poprat – Heizung Lüftung Sanitär
Rebbe - Elektro

Funkauslesung Messwerte:
Kalorimeta

Betriebsoptimierung Wärmepumpen
Ebert-Ing (Projekteintritt 03/2010)

Messkonzept, Auswertung Energiebilanz:
Stahl + Weiss



Einführung

Im Zuge des Neubaus der Wohnanlage „Wohnen am Park“ stellte sich für die Städtische Wohnungsbau Lehr die Frage nach einer innovativen Wärmeversorgung.

Innovativ sowohl im Hinblick auf niedrige Betriebskosten für die Nutzer, als auch hinsichtlich ökologischer Aspekte, einer Reduzierung von Primärenergieverbrauch und Emissionen.

Grundlage einer modernen Wärmeversorgung ist der gewählte hohe energetische Standard der Gebäude durch eine deutliche Unterschreitung der Anforderungen an die Energieeinsparverordnung zur Entstehungszeit der Anlage.

Nach Abwägung verschiedener Varianten fiel die Entscheidung für eine Kombination aus zentraler Heizwärmebereitung je Haus mittels Wärmepumpe und dezentraler Warmwasser-Bereitung über Abluft-Wärmepumpen.

Als Wärmequelle für die zentralen Wärmepumpen zur Heizungsversorgung konnte nur Außenluft in Luft-Wasser-Wärmepumpensystemen verwendet werden. Die Nutzung von Umweltwärme aus Erdsonden bzw. Brunnen konnte aus Gründen der Untergrundbeschaffenheit nicht realisiert werden.

Die Abluftwärmepumpe nutzt zum einen die in der Abluft enthaltene Raumwärme für die Erwärmung des Warmwassers, stellt zugleich den Hygienischen Frischluftbedarf sicher.

Aus diesem Energiekonzept heraus wurde das Konzept zu einem Forschungsvorhaben erweitert, indem die Kombination aus zentraler Heizwärme und dezentraler WW-Bereitung untersucht werden sollte. Aufgrund der Möglichkeit in sehr ähnlichen Häusern unterschiedliche Wärmeerzeuger einzusetzen, konnten zudem noch Elektro – und Gasmotorwärmepumpen in ihrer Arbeitsweise verglichen werden.

Daraus entstand ein vom Innovationsfond der Badenova gefördertes Forschungsprojekt.

Im Jahr 2008 wurde ein Messkonzept erstellt und bereits über die 1. Heizperiode 2008/2009 lagen Messwerte zur Beurteilung der Wärmeerzeugungssysteme vor.

Nach Ende der Heizperioden 2008/2009 und 2009/2010 wurden jeweils Optimierungen der Anlagen und der Messtechnik durchgeführt.

Von Beginn des Forschungsprojektes bis zum Abschluß nach Ende der Heizperiode 2010/2011 wurden wichtige Erkenntnisse über die Systeme gewonnen und die Energieeffizienz deutlich verbessert.

Die Wärmeversorgung „Wohnen am Park“ (Bivalentes System, Wärmepumpen mit Zusatzheizung Gas-BW-Kessel ab Außentemperatur < -5 °C) spart gegenüber einer konventionellen Gas-Brennwert-Technik ca. 1/4 Primärenergie ein.



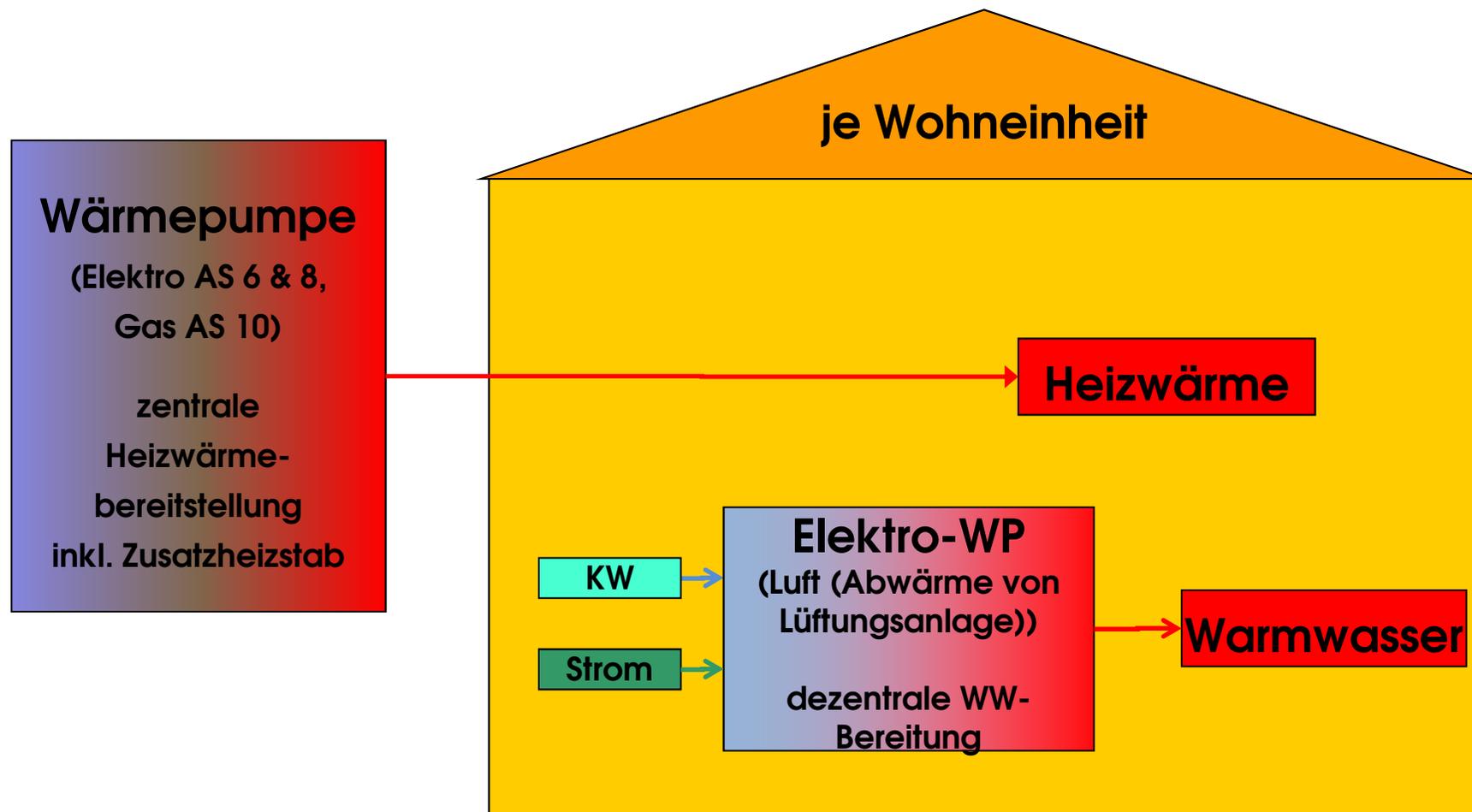
Wärmekennwerte Gebäude

Haus	1.1 AS 6		1.2 AS 8		1.3 AS 10	
beheizte Fläche (m ²) / (%)	1324	50%	659	25%	682	26%
Nutzfläche A _N nach EnEV (m ²) (%)	1590	45%	1003	28%	966	27%
Norm-Gebäudeheizlast Gesamtwert anteilig A _N (kW)	50		31		30	
Wärmepumpe	Elektro		Elektro		Gas	
Zeitraum	1. Heizp. 08/09	2. Heizp. 09/10	1. Heizp. 08/09	2. Heizp. 09/10	1. Heizp. 08/09	2. Heizp. 09/10
	01.11.2008- 21.08.09	03.12.09- 01.03.10	15.08.08- 21.08.09	01.09.09- 01.03.10	15.08.08- 21.08.09	16.09.09- 01.03.10
Wärme	67452	33359	46830	44780	51800	42400
spezif. Heizwärmeverbrauch (Bezug beheizte Fläche) (kWh/m ² a)	50,9	25,2	71,1	68,0	76,0	62,2
spezif. Heizwärmeverbrauch (Bezug Nutzfläche A _N nach EnEV) (kWh/m ² a)	42,4	21,0	46,7	44,6	53,6	43,9
spezif. Heizwärmebedarf nach EnEV-Ausweis (kWh/m ² a)	38,0		43,6		43,0	

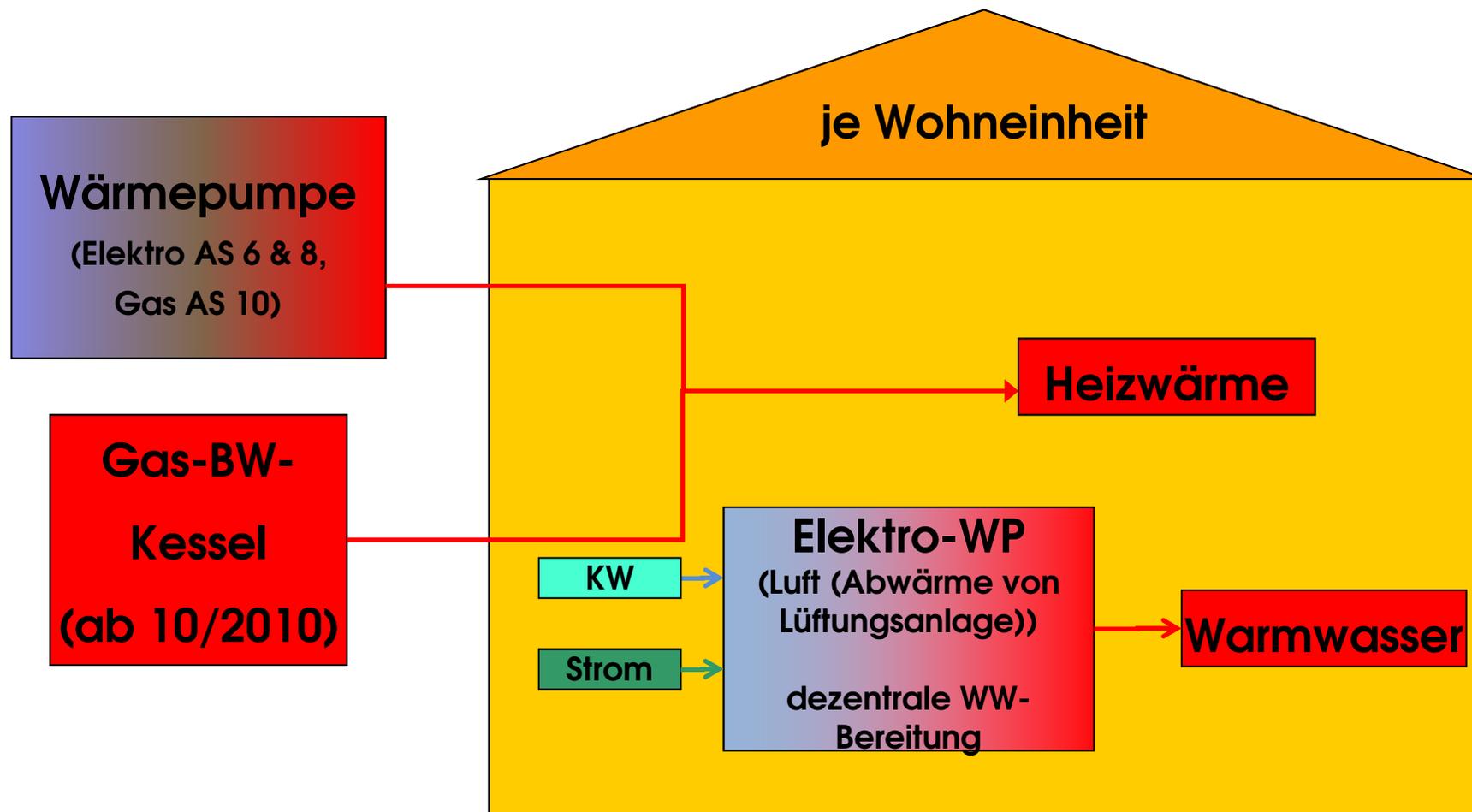
Wärmedämmstandard nach EnEV → Übereinstimmung mit Verbrauchswerten



Wärmeversorgung der Wohneinheiten bis 09/2010



Wärmeversorgung der Wohneinheiten ab 10/2010

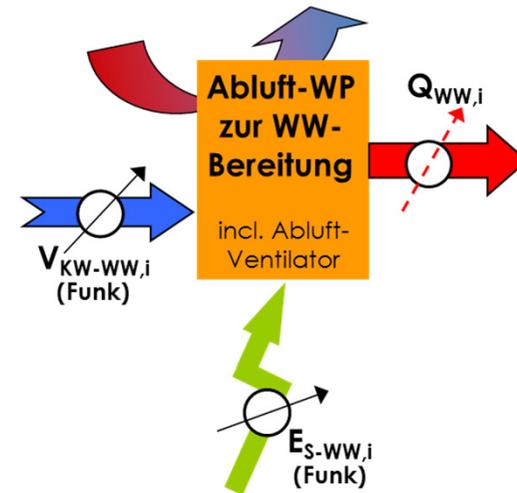


Dezentrale Warmwasserbereitung mittels Abluft-Wärmepumpe je Wohneinheit

WW-Bereitung dezentral je Wohneinheit, Abluftwärmepumpen Tecalor TVD 100 (kontinuierliche mechanische Abluft, Wärmeübertragung Abluft auf Luft-/Wasser-Wärmepumpe zur WW-Bereitung (Temperaturregelung durch Nutzer)

Ermittlung Erzeuger-Jahres-Arbeitszahl:

- Messung Kaltwasserverbrauch, Gesamtstromverbrauch der WW-Wärmepumpe incl. Ventilatorstrom der Abluftanlage
- Umrechnung / Abschätzung Warmwasserverbrauch, Anteil Strom WW-Wärmepumpe incl. anteiligem Ventilatorstrom



Tecalor TVD 100				
		Stufe		
		1	3	5
	Lüfter-Leistung (W)	16,6	29,2	71,1
Energieverbrauch h* Lüfter über ein Jahr (kWh)	bei tägl. 3 h	18	32	78
	bei tägl. 6 h	36	64	156
	bei tägl. 12 h	73	128	311
	bei tägl. 18 h	109	192	467
	bei tägl. 24 h	145	256	623

Annahmen / Einschränkung der Aussagekraft der Auswertung:

- Lüfterstrom 12 h/d, Stufe 3 -> 128 kWh/a
- Gesamte Kaltwasserzapfung wird auf 55 °C erwärmt

$$Erzeuger - JAZ = \frac{Q_{WW}}{E_{S-WW}}$$

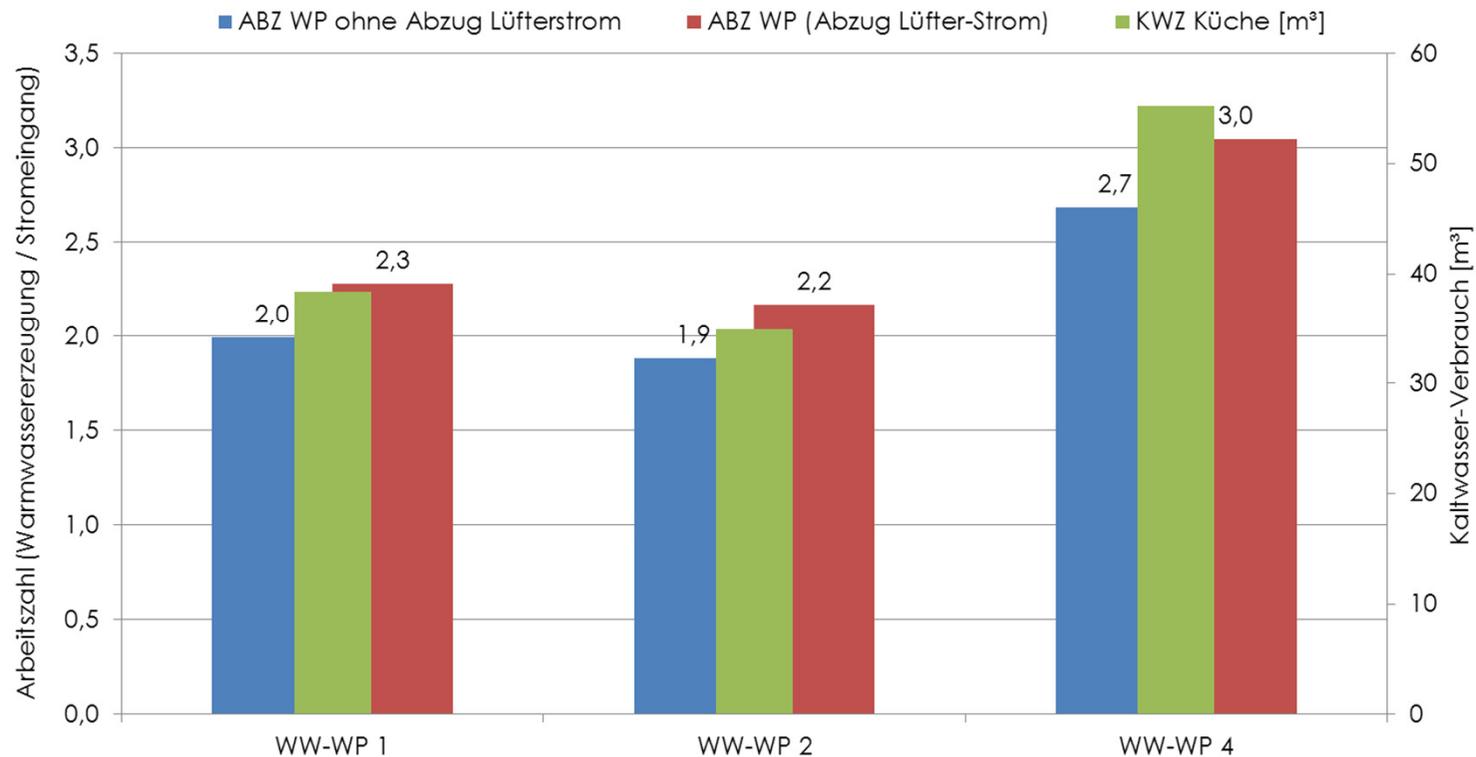
$$Q_{WW} = V_{KW-WW} * Umrechnungsfaktor$$

dT 45 K (Kaltwasser 10°C, Warmwasser 55 °C),
 spezif. Wärmekapazität Wasser 4,2 kJ/kg K,
 Dichte Wasser 1 kg/l
 -> ~ **52,5 kWh/m³** Kaltwassererwärmung



Ergebnis WW-Bereitung Abluftwärmepumpen

Arbeitszahl (Abschätzung Warmwassererzeugung / Stromeingang)
3 ausgewählter Warmwasserwärmepumpen in Haus 1.2 und 1.3
(ohne /mit Abzug Lüfterstrom (Abschätzung)) Zeitraum 01.06.09 - 01.06.10



- Arbeitszahlen im Bereich zwischen 2,2 und 3,0 (mit Abzug Lüfterstrom) -> Mittelwert 2,5
- leichter Anstieg der JAZ bei höherem Wasserverbrauch
- Primärenergieeinsparung gegenüber konventioneller zentraler WW-Bereitung mittels Gas-BW ab ca. Arbeitszahl 2,5

* WW-WP 3: teils fehlerhafte Messwert-Erfassung

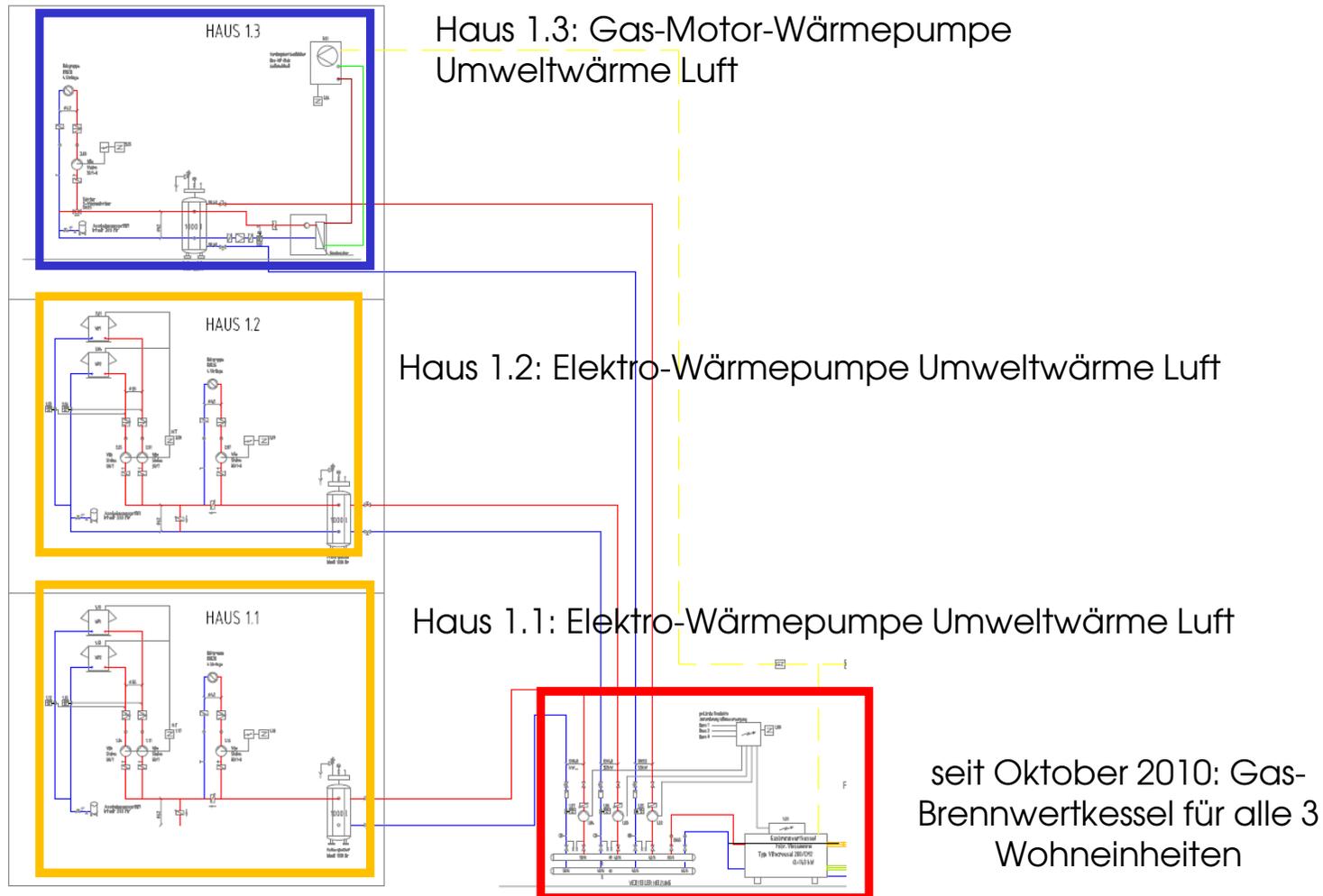


Projektverlauf - Heizwärmebereitung

		2008					2009					2010					2011													
		08 Aug.	09 Sep	10 Okt	11 Nov	12 Dez	01 Jan	02 Feb	03 Mrz	04 Apr	05 Mai	06 Jun	07 Jul	08 Aug	09 Sep	10 Okt	11 Nov	12 Dez	01 Jan	02 Feb	03 Mrz	04 Apr	05 Mai	06 Jun	07 Jul	08 Aug	09 Sep	10 Okt	11 Nov	12 Dez
System- Arbeitszahlen (Erzeuger incl. Hilfsenergien + Zusatzheizung)	1.1 AS 6 EL-WP																													
	1.2 AS 8 EL-WP																													
	1.3 AS 10 Gas-WP																													
Zusatzheizung		Elektro-Heizstab															Gas-BW ab $T_{\text{aussen}} < -5 \text{ °C}$													
Auswertung		08/09: Arbeitszahlen unter Erwartung, sehr hohe Vorlauftemperaturen, hohe Taktung bei Gas-WP										09/10: leichte Verbesserungen bei WP Haus 1.2 und 1.3					10/11: Verbesserung JAZ über Umstellung Bivalentes System auf Gas-BW-Zusatzheizung													
Optimierung																	Okt. 2009: Kontrolle EL-WP, Software-Update Gas-WP													
																	Okt. 2010: Gas-BW Zusatzheizung alle 3 Häuser													
																	Dez. 2010: Erweiterung Steuerung Gas-WP nach Außentemperatur													



Heizungswärmeerzeuger der Wohnanlage



Zentrale Heizwärmeversorgung je Haus

Heizwärmeversorgung:

Fußbodenheizung, zentrale Heizungswärmebereitung je Haus / Ergänzung zentrale Gas-BW-Kessel zur Unterstützung der Wärmepumpen seit 12/2010, 2008 bis 12/2010 (Elektrische Zusatzheizstäbe im Heizwasser-Speicher)

-> technische Detailinformationen Teil 2 : Abschlussbericht Betriebspotimierung von Ebert-Ingenieure

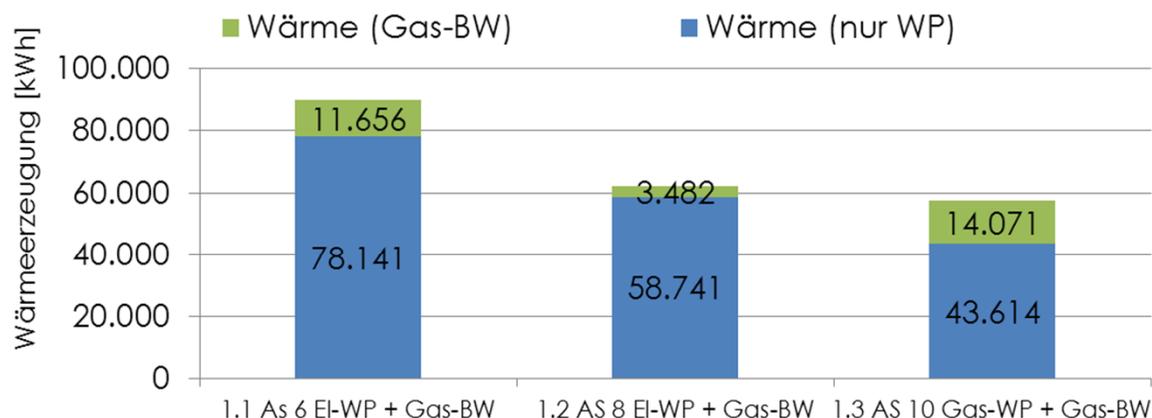
Haus		1.1 (AS 6)	1.2 (AS 8)	1.3 (AS 10)
Entscheidung Wärmeversorgung Norm-Gebäudeheizlast Gesamtwert anteilig A_N (kW)		50	31	30
Wärmepumpe	Anzahl	2 x EI-WP	2 x EI-WP	1x Gas-WP
	Typ	Dimplex LA 28	Dimplex LA 20	AISIN AXGP 280 D1
	Heizleistung (kW)	2 x 28 (A+10/W35)	2 x 20 (A+10/W35)	33,5
	Energieträger	elektrisch	elektrisch	Erdgas
Zusatzheizung bis 12/2010	Anzahl	3	3	3
	Typ	Heizstab in Pufferspeicher		
	Heizleistung (kW)	3 x 9	3 x 6	3 x 6
	Energieträger	elektrisch	elektrisch	elektrisch
Zusatzheizung ab 12/2010	Anzahl	1		
	Typ	Vissmann Vitocrossal 200 / DM2		
	Heizleistung (kW)	140		
	Energieträger	Erdgas		



Heizwärmeerzeugung

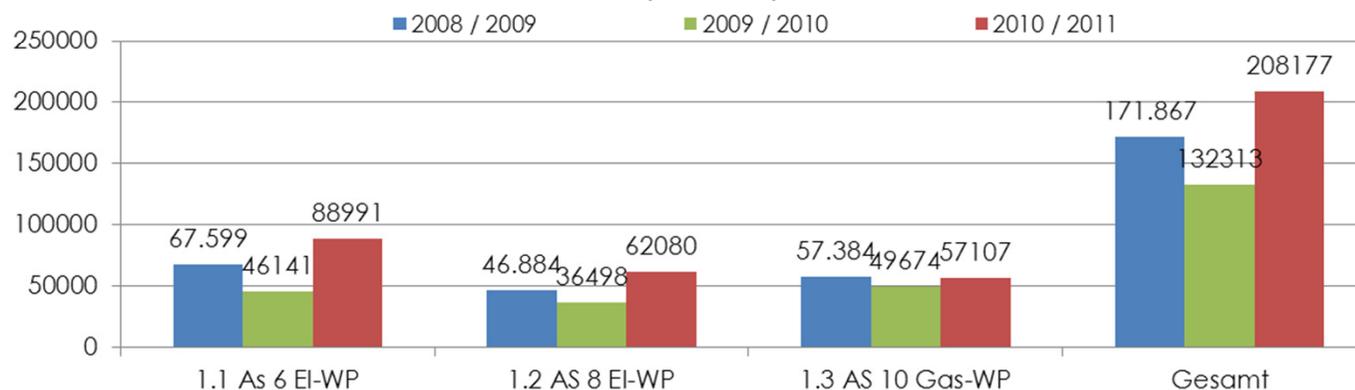
Wärmeverbrauch und Wärmeerzeugung

Gesamt-Wärmeerzeugung: Wärmepumpen und Gas-Brennwert-Kessel System (2010/2011)



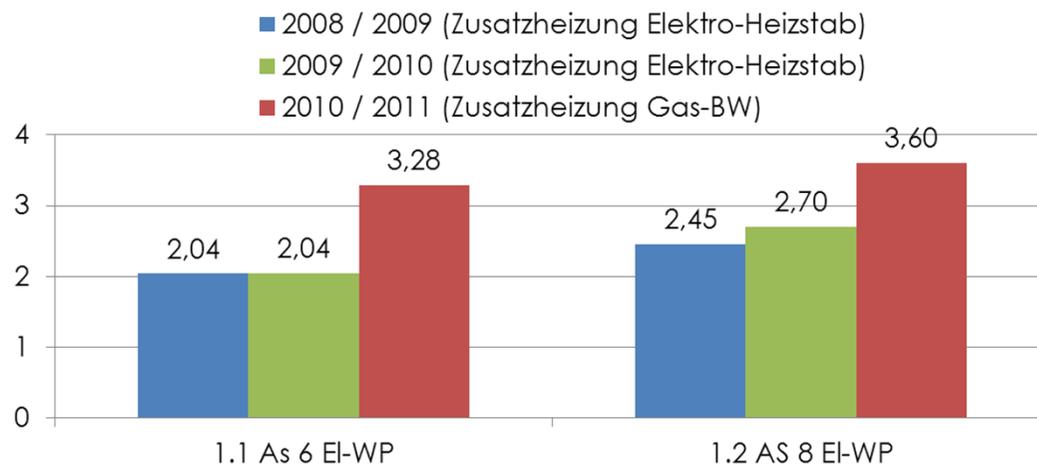
Ab 12/2010 werden alle Wärmepumpensysteme im bivalenten Betrieb geführt. Ab einer Außentemperatur $-5\text{ }^\circ\text{C}$ (Bivalenzpunkt) übernimmt der zentrale Gas-BW-Kessel die Wärmeversorgung.

Wärme-Verbrauch Gesamtsystem
(Nutzwärme: WP + Zusatzheizung + Gas-BW - Wärmeverluste Speicher)

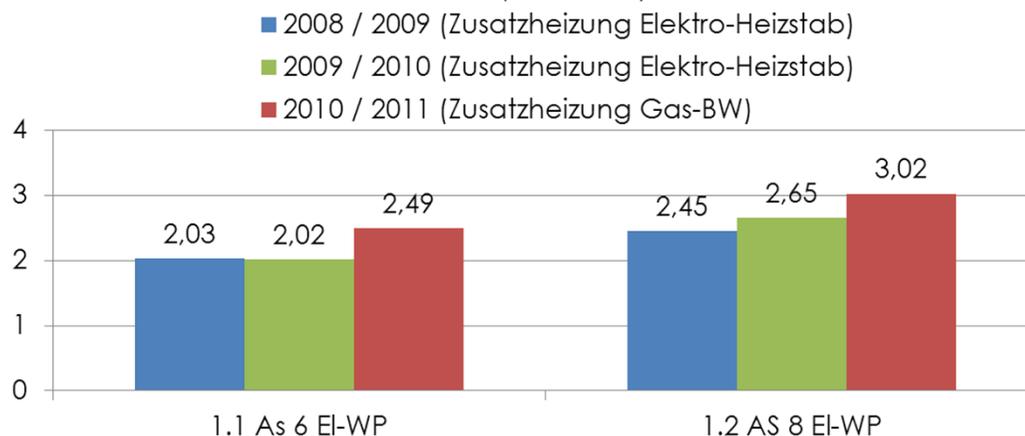


Heizwärmeerzeugung Elektro-Wärmepumpen

Vergleich Erzeuger-Arbeitszahl Wärmepumpe
Wärme (**nur Erzeuger ohne Zusatzheizung**) / Aufwand(Strom)



Vergleich System-Arbeitszahl Wärmepumpe
Wärme (Erzeuger + Zusatzheizung (Strom bzw. Gas-BW) - Speicherverluste) / Aufwand(Gas+ Strom)



Durch die Umstellung auf die bivalente Betriebsweise ab Außentemperaturen < -5 °C arbeiten die Luft-Wärmepumpen über den Zeitraum der sehr ungünstigen Wärmequellen-Temperatur nicht mehr. Die Erzeuger-Arbeitszahl ist damit bei beiden Wärmepumpen deutlich angestiegen. Auch in der Gesamtbilanz unter Einbeziehung der Zusatzheizung ist die Systemarbeitszahl deutlich angestiegen.

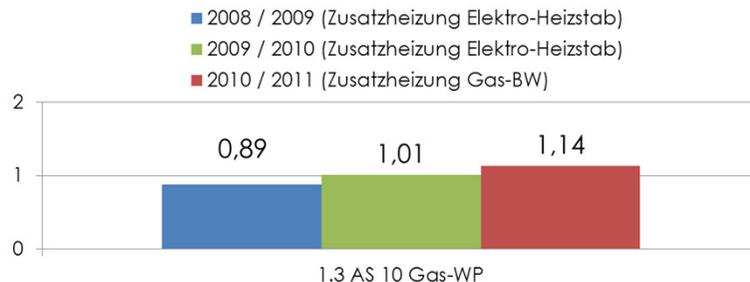


Gasmotorwärmepumpe im bivalenten Betrieb mit Gas-Brennwertkessel

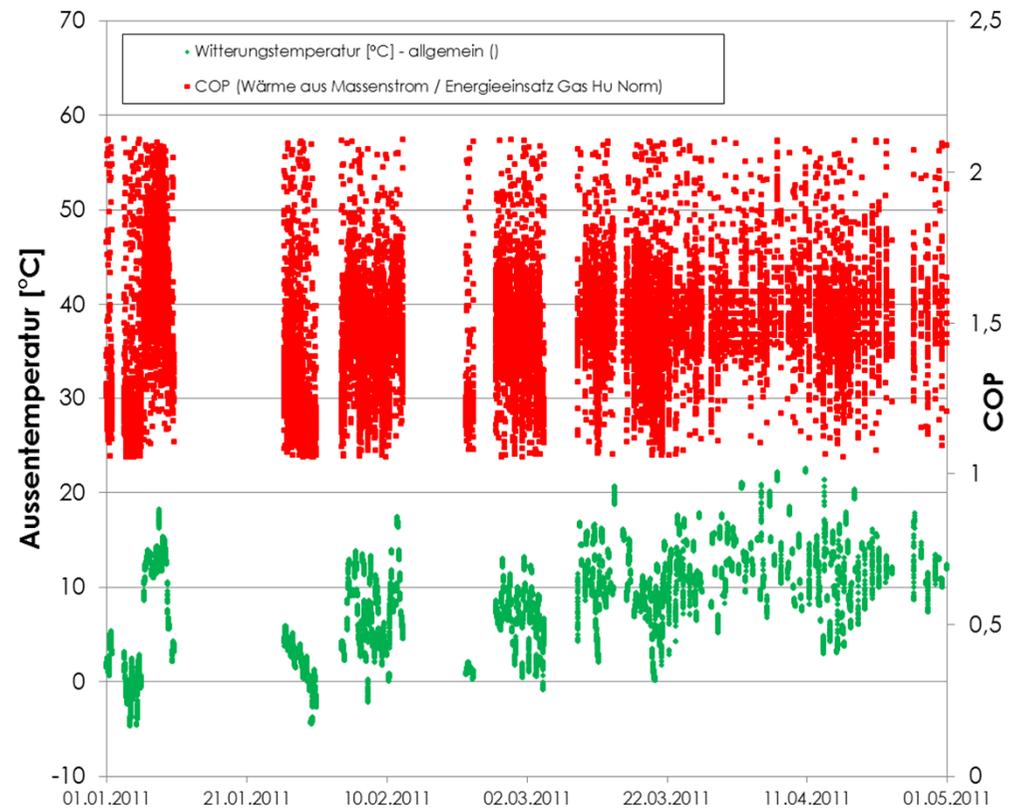
13.09.2011

- COP-Mittelwert Gas-Wärmepumpe 1,42 (Messzeitraum 01.01. – 30.04.2011, Bezug Norm-Heizwert)
- Bivalenter Betrieb mit Gas-BW-Kessel bei tiefen Außentemperaturen (Bivalenzpunkt -5 °C)
- Optimierungen der Gas-Wärmepumpe:
 - Optimierung Kältemittel & Softwareupdate -> höhere Wärmeausbeute aus der Luft, kürzere An-Ablaufzeiten (10/2009)
 - Einrichtung DDC-Regelung -> präzisere Anpassung von Ventilstellungen und Pumpen, genauere Speicherentladung (10/2010)
- Direkte Aussage zu Verbesserung gegenüber monovalentem Betrieb nicht möglich (keine Betriebsparameter-Aufnahme vor 12/2010), lediglich zu vergleichen in Gesamteffizienz mit bivalentem System Zusatzheizung Elektro-Heizstab Erhöhung der System-Arbeitszahl

Vergleich System-Arbeitszahl Wärmepumpe
 Wärme (Erzeuger + Zusatzheizung (Strom bzw. Gas-BW) -
 Speicherverluste) / Aufwand(Gas+ Strom)

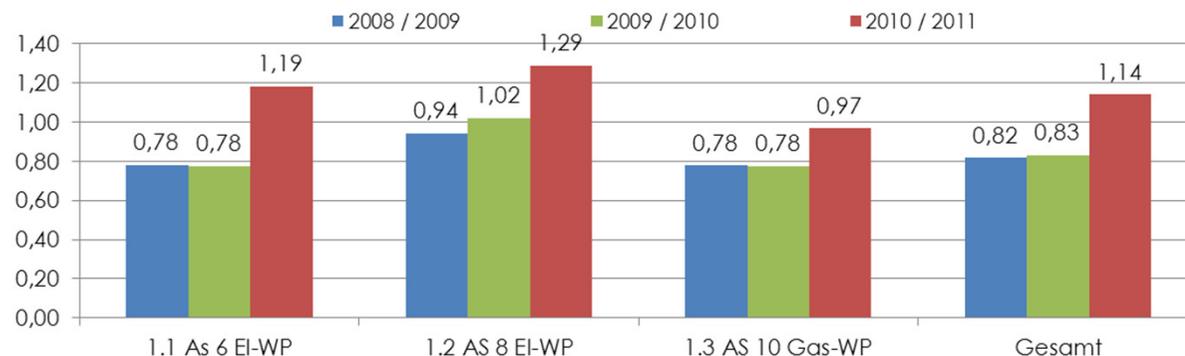


COP Gas-Wärmepumpe 01.01.2011 - 30.04.2011



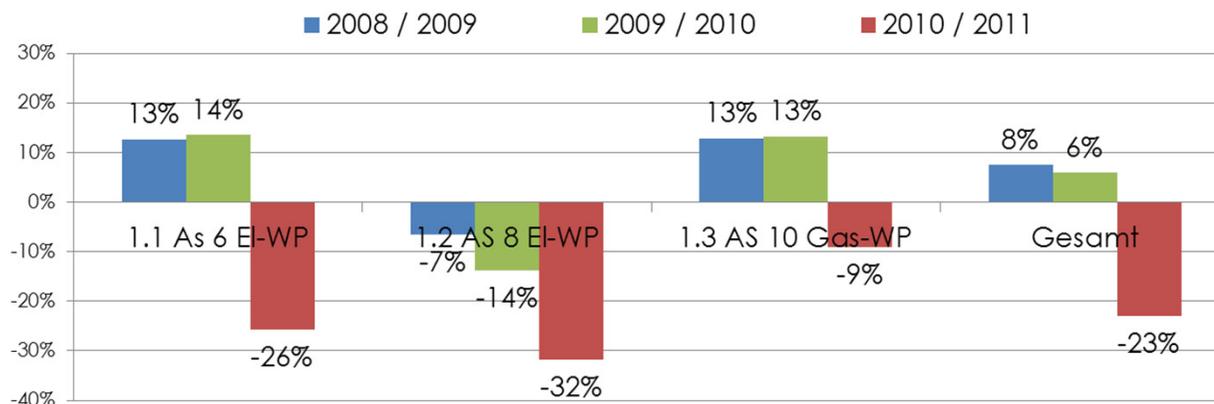
Primärenergetische Bewertung

Vergleich Primärenergieverbrauch Gesamtsystem (WP + Gas-BW)
(Wärme / Primärenergie)



Erhöhung der primärenergetischen Effizienz bei allen Systemen (höhere Wärmeausbeute in Bezug auf den Primärenergieeinsatz), hauptsächlich durch Umstellung auf das Bivalente System mit Gas-BW-Kessel als Wärmeversorgung bei tiefen Aussentemperaturen

Vergleich Primärenergie-Einsparung gegenüber Gas-BW
(Annahme $\eta = 98\%$) Gesamtsystem (WP + Gas-BW)
"-" = Primärenergieeinsparung



Referenz Gas-BW:

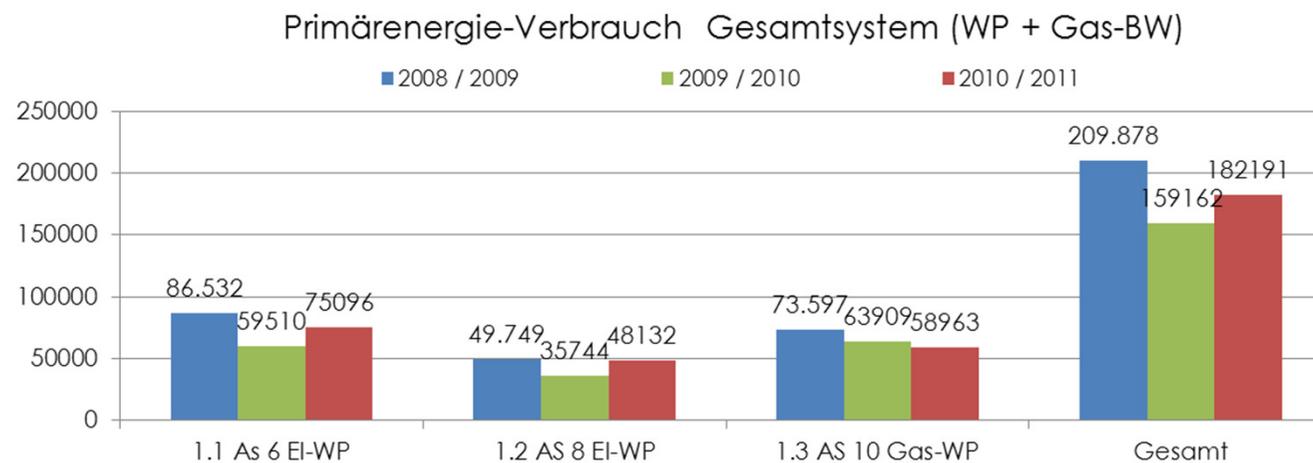
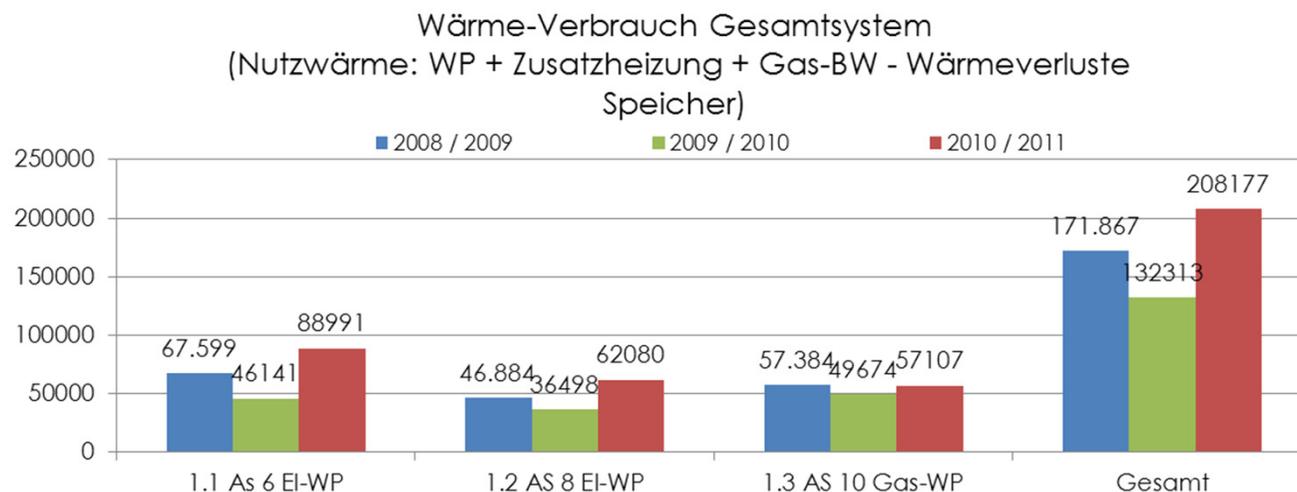
- Wirkungsgrad 98,4 % (Messwerte Wärme/Gas an zentralem Gas-BW-Kessel Bezug Heizwert)
- Wärme / Primärenergie-Einsatz: 0,87 (incl. Hilfsstrom)

Primärenergiefaktoren:

- Strom: 2,6
- Erdgas: 1,1



Gesamtentwicklung Wärme- und Primärenergieverbrauch



Reduktion des
Primärenergie-
verbrauchs trotz
Erhöhung der
Wärmeerzeugung



Zusammenfassung

Gesamtbewertung

- Wärmebedarf über die 3 Heizperioden witterungsbedingt stark unterschiedlich
- Primärenergiebedarf im Verhältnis zum Wärmebedarf kontinuierlich gesunken
- Primärenergie-Einsparung durch:
 - Betriebsoptimierungen
 - Umstieg auf bivalentes System mit Gas-BW-Kessel
- Wärmepumpensysteme bedürfen genauer Einstellung und Fachkenntnisse, da der Energieaufwand stark abhängig vom Temperaturhub -> sehr sensibel auf Differenzen Wärmequelle – Vorlauftemperatur
- Bei elektrischen Zusatzheizsystemen schnell hoher Primärenergieverbrauch, wenn unkontrolliert langer Betrieb dieser Systeme stattfindet
- Der Primärenergieverbrauch der WW-Abluft-Wärmepumpen liegt im Bereich einer Gas-BW-Anlage -> deutliche Primäreinsparungen waren nicht feststellbar.
- Die vermessenen Luft-Wärmepumpen allein haben keine signifikanten Primärenergieeinsparungen erzielen können.
- Mit dem System aus Wärmepumpe und Zusatzheizung ab Außentemperaturen < -5 °C ist auch im Mehrfamilien-Wohnungsbau eine Primärenergieeinsparung gegenüber konv. Gas-Brennwerttechnik erreicht worden. In Bezug auf Installationskosten und Anlagenkomplexität sind jedoch andere Systeme oftmals vorteilhafter.
- Für den effizienten Betrieb komplexer Systeme ist ein fachkundiges, engagiertes Planungsteam unerlässlich.

Ausblick

- Zukünftig weiteres Monitoring reduziert auf die wesentlichen Parameter zur Systemkontrolle
- Weitere Optimierung der Heizkurve / Vorlauftemperaturen insbesondere in den Übergangszeiten (Hoher Deckungsanteil Wärmepumpen)
- 5 Jahre nach Inbetriebnahme der Wohnanlage (2013) ist eine Spülung der Fußbodenheizung durchzuführen
- Kontrolle der Außentemperaturfühler zur Vermeidung von Fehl-Regelungen

