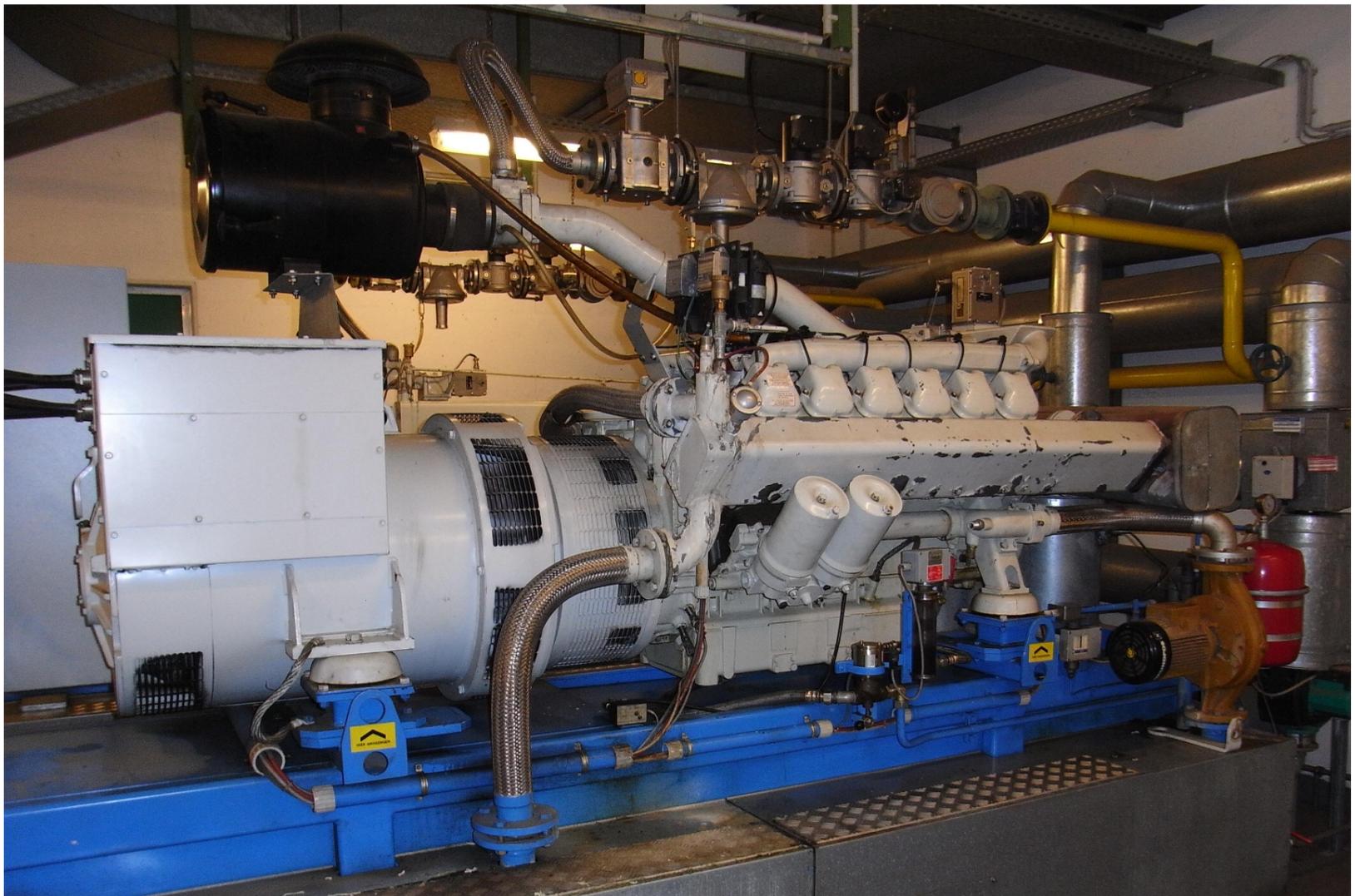


**Energiekonzept  
Schul- und Sportzentrum Meckenheim**



**Bericht**

Köln, 17.07.2013

## Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung.....	3
2	Grundlagen .....	4
2.1	Zur Verfügung gestellte Unterlagen.....	4
2.2	Liegenschaft .....	4
2.3	Vorhandene Energieversorgung .....	5
2.4	CO <sub>2</sub> -äquivalente Emissionen.....	8
3	Auswertung Bestandsunterlagen.....	9
3.1	Stromverbrauch und -kosten.....	9
3.2	Wärmeverbrauch und -kosten .....	13
3.3	Zusammenfassung Energieverbrauch und -Kosten.....	18
3.4	CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	18
3.5	Betrieb BHKW.....	20
4	Energiekonzept .....	21
4.1	Zukünftige Struktur der Liegenschaft.....	21
4.2	Bestandteile Energiekonzept.....	21
5	Wirtschaftlichkeit .....	29
5.1	Investition.....	31
5.2	Wartung und Instandsetzung .....	33
5.3	Ergebnisse.....	35
6	Zusammenfassung und Empfehlung.....	37

## 1 Aufgabenstellung

Die Deerns Deutschland GmbH (ehemals Schmidt Reuter Integrale Planung und Beratung) wurde beauftragt, für die bestehende Liegenschaft des Schul- und Sportzentrums der Stadt Meckenheim ein neues Energiekonzept für die Wärmeversorgung zu erstellen. Hierfür wurde die Firma Die insgesamt 13 Gebäude der Liegenschaft wurden in den Jahren 1978 bis 1995 erbaut und haben im Jahre 1995 eine neue Energieversorgung im Rahmen einer Sanierung erhalten.

Die Gebäude sind über ein 800 m langes Nahwärmenetz miteinander verbunden und werden über eine Gaskesselanlage mit jeweils 1,25 MW Heizleistung und 2 Gas-BHKW (190 kW und 340 kW thermisch) versorgt. Die Kesselanlage und die BHKW befinden sich am Rande ihrer rechnerischen Lebensdauer. Seit Mitte 2010 läuft nur noch ein BHKW. Das zweite BHKW ist wegen eines Defektes nicht mehr in Betrieb. Aus diesem Grunde soll für die Liegenschaft ein neues Energiekonzept erstellt werden.

Hierbei soll die vorhandene Energieversorgungsstruktur analysiert, optimiert und ggf. erneuert werden. In Bezug auf die Energiebedarfsstruktur liegen neben gebäudespezifischen Werten der letzten Jahre, auch stündliche Verbrauchswerte der Wärmeerzeugung vor, so dass eine genaue Beurteilung der energetischen Effizienz und Wirtschaftlichkeit der aktuellen Versorgung möglich ist.

Basierend auf diesen Werten wird unter Berücksichtigung möglicher Neubau- oder Umbaumaßnahmen ein neues Energiekonzept erarbeitet. Angestrebt wird entsprechend der Zielsetzung der Bundesregierung und der EU eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Grundlage für diesen Bericht ist eine erste Untersuchung von Schmidt Reuter vom 26.04.2011. Ergebnis dieser Studie war, dass ein Konzept mit zwei BHKW inklusive Gas-Spitzenlastkessel, die wirtschaftlichste Lösung darstellt. Die Variante mit einem Holzpelletkessel wird im vorliegenden Bericht nicht weiter verfolgt, da sie bereits 2011 unwirtschaftlicher war und zudem die derzeitigen baulichen Gegebenheiten, ideal für den Einsatz von Blockheizkraftwerken sind. Der Bau eines Holzpelletkessels hätte dementsprechend zusätzliche bauliche Kosten zur Folge. Zudem ist der Pelletpreis in den letzten beiden Jahren auf 5,6 ct/kWh<sub>Brutto</sub> gestiegen.

Im Gegensatz zu dem vorherigen Bericht, liegt jetzt eine verbesserte Datengrundlage vor, so dass eine klarere Aussage bezüglich der Dimensionierung der Einzelkomponenten zu erwarten ist.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Zur Verfügung gestellte Unterlagen

Folgende Daten wurden von der Stadt Meckenheim für die Bearbeitung zur Verfügung gestellt:

- Energiebedarfsausweise der Gebäude
- Gasverbrauch monatsweise für die Jahre 1999-2012
- Stromverbrauch monatsweise für die Jahre 1999-2012
- Wärmeverbrauch der Gebäude monatsweise 1999-2012
- Stromverbrauch der Gebäude monatsweise 1999-2012
- Strommenge, die von der RWE bezogen wurde 1999-2012
- Stromlieferung an die RWE 1999-2012
- Gasverbrauch Stundenwerte 2009-2012
- Lageplan, Heizungsschema Wärmeversorgung

### 2.2 Liegenschaft

Das nachfolgende Bild zeigt den Lageplan der Liegenschaft.

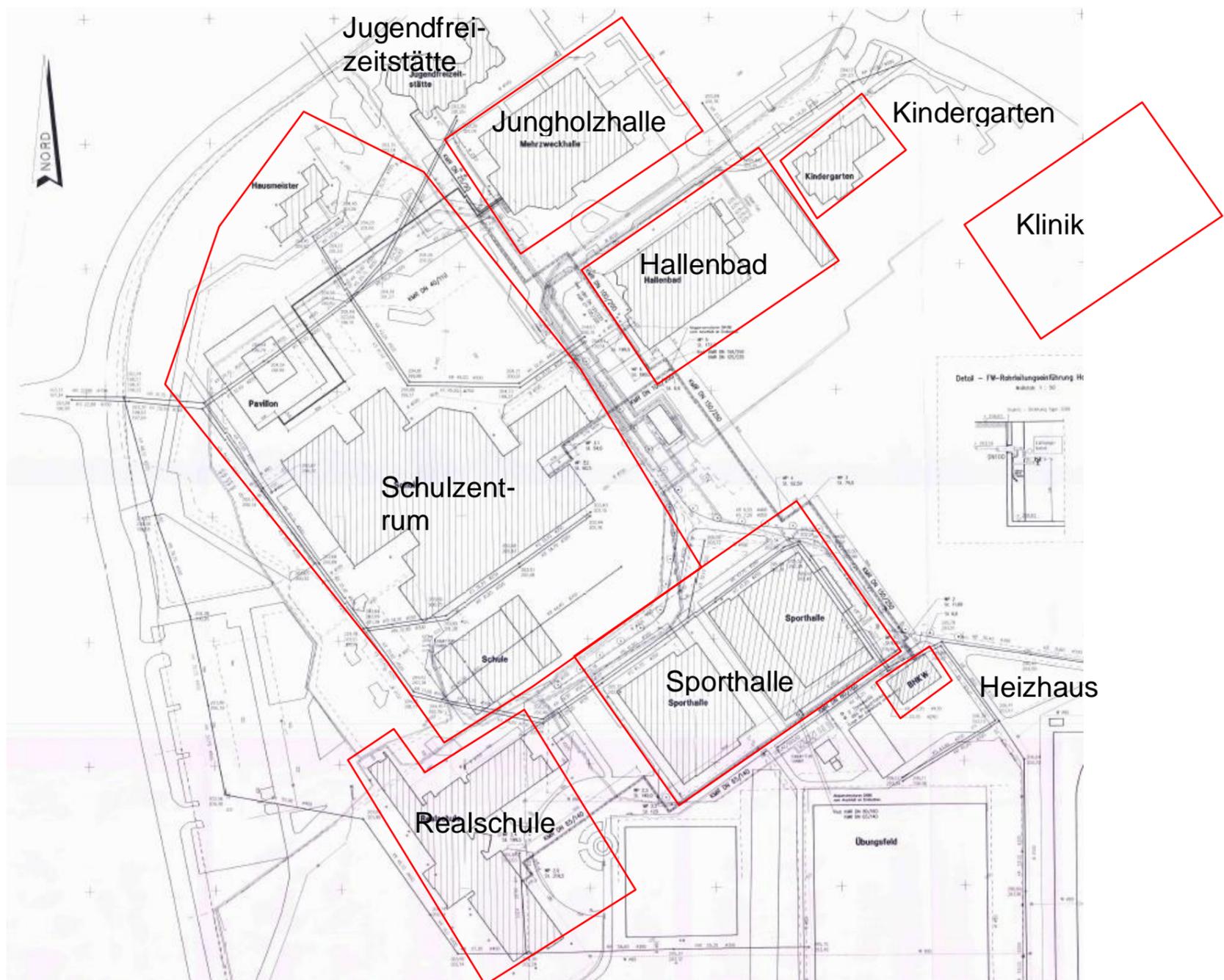


Bild 2-1: Lageplan der Liegenschaft Schul- und Sportzentrum Meckenheim

Tabelle 2-1: Gebäudebaujahre und -größe

Gebäudebezeichnung	Baujahr	Nutzfläche [m <sup>2</sup> ]
Hauptschule + Gymnasium	1978	15.522
Realschule	1988	2.643
Atrium	1995	847
Pavillon	1984	910
3-fach-Turnhalle (abgebrannt 2008)	1978 (2010)	1.610
Wettkampfhalle	1981	2.098
Hallenbad	1981	1.592
Jugendfreizeitstätte	1982	1.217
Jungholzhalle	1979	2.069
Kindergarten Neue Mitte	1989	206
Klinikum		
<b>Summe</b>		<b>ca. 29.000 m<sup>2</sup></b>

### 2.3 Vorhandene Energieversorgung

Im Jahre 1995 wurde die vorhandene dezentrale Wärmeversorgung, die teilweise elektrisch und teilweise über flüssiggasbetriebene Kesselanlagen in den jeweiligen Gebäuden erfolgte, ersetzt.

Es wurde ein rund 800 m langes Nahwärmenetz aufgebaut und ein Heizhaus errichtet. Für die Beheizung der Gebäude wurden folgende Anlagen installiert:

Tabelle 2-2: Leistungen der Wärmeerzeuger

	Wärmeleistung [kW]	Elektrische Leistung [kW]	Brennstoffeinsatz [kW]
BHKW 1	188	110	344
BHKW 2	348	210	626
Kessel 1	1.250		1.400
Kessel 2	1.250		1.400
<b>Summe</b>	<b>3.036</b>	<b>320</b>	<b>3.770</b>

Zum Ausgleich von Lastspitzen und zur Aufnahme vom Wärmeüberschuss dient ein 10 m<sup>3</sup> Pufferspeicher. Die angeschlossenen Gebäude wurden entsprechend der neuen Wärmeversorgung umgebaut. Wesentliche Änderungen wurden im Bereich des Hallenbades vorgenommen. Die Systemtemperaturen im Nahwärmenetz liegen bei 105/65°C.

Das nachfolgende Bild zeigt die Lage des Nahwärmenetzes und der angeschlossenen Gebäuden.

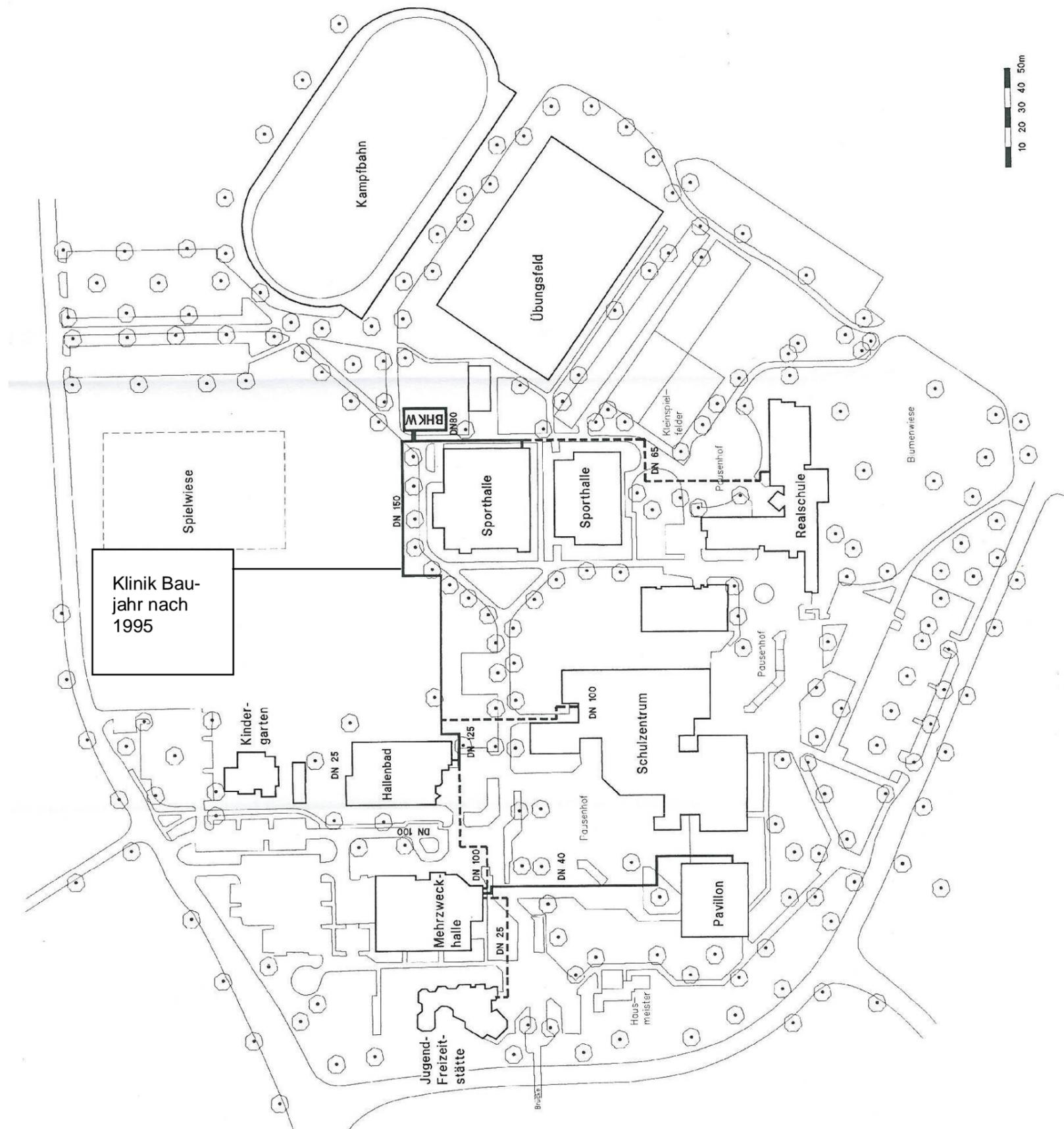
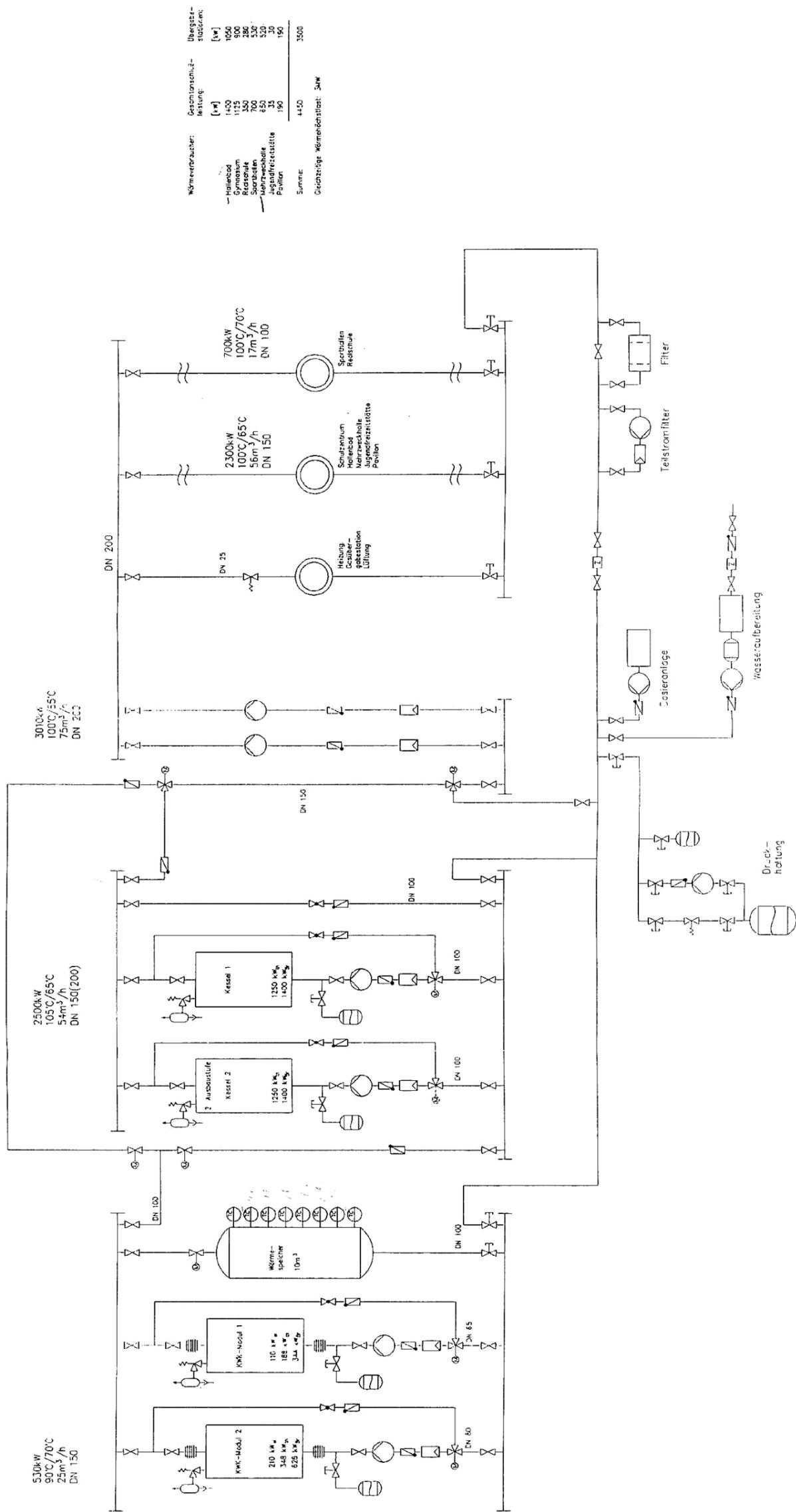


Bild 2-2: Lage der Nahwärmeleitung

Im nachfolgenden Bild ist das Heizungsschema für die Energieversorgung über das Nahwärmenetz abgebildet.



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

Projekt: **Stadt Meckenheim**  
 BHKW Schul- und Sportzentrum  
 Zeichner:

Nachwärmerleistung:  
 Volumenstrom: 2 x 45 m³/h  
 Förderhöhe: 20 mWS

Kesselanlagen:  
 Volumenstrom: 27 m³/h  
 Förderhöhe: 2,5 mWS

Modulpumpen:  
 Volumenstrom: 8 m³/h  
 Förderhöhe: 9 mWS

Bild 2-3: Heizungsschema der Bestandsheizungsanlage

## 2.4 CO<sub>2</sub>-äquivalente Emissionen

Für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden die allgemeinen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren des Bundesministeriums für Umwelt zu Grunde gelegt.

Tabelle 2-3: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren, Quelle BMU

CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren (BMU) und Primärenergiefaktoren (DIN V 18599 2011-12)		
	g CO <sub>2</sub> /kWh <sup>*1</sup>	f <sub>P</sub> nicht erneuerbarer Anteil
Steinkohlen	354	1,1
Braunkohlen	361	1,2
Heizöl, leicht	266	1,1
Flüssiggas	234	1,1
Erdgas	202	1,1
Biogas	0	0,5
Bioöl	0	0,5
Holz	0	0,2
Erdgas	202	1,1
Umweltenergie	0	0
Strommix	565 <sup>*2</sup>	2,4
Verdrängungsstrommix	565 <sup>*2</sup>	2,8
Nah-/Fernwärme (KWK)	207	0,7
Nah-/Fernwärme (Heizwerke)	303	1,3

\*1Quelle BMU 2005

\*2Quelle BMU FG 2.5. Stand März 2011

### 3 Auswertung Bestandsunterlagen

Es wurden durch die Stadt Meckenheim zahlreiche Unterlagen über den Energieverbrauch der Liegenschaft zur Verfügung gestellt.

Für den Strom- und Wärmeverbrauch der Gesamtliegenschaft liegen monatliche Energieverbräuche von 1999 bis 2012 vor. Zusätzlich gibt es zu den Gebäuden Heizenergieverbräuche für die Jahre 1997-2012.

Im Bereich des Stromverbrauches liegen Daten für die Gebäude monatsweise für die Jahre 1999 bis 2012 vor. Ebenfalls liegen die in diesen Jahren von der RWE bezogenen Stromverbrauchswerte vor. Damit kann zurück gerechnet werden, wie viel Strom vom BHKW in den Gebäuden genutzt wurde.

Die Überproduktion (Netzeinspeisung RWE) liegt für die Jahre 1999-2012 vor. Zusätzlich liegen Stundenwerte der Gasverbräuche für die Jahre 2009 bis 2012 vor. Für das Jahr 2011 und 2012 wurden der viertelstündliche Strombezug von RWE und Stromlieferung an RWE zur Verfügung gestellt. Insgesamt liegen damit die Daten vollständig vor. Die Auswertung des Lastganges Wärme und die Überprüfung der vorhandenen Auslegungsgrößen der BHKW erfolgt für die Daten aus dem Jahre 2012. Bei den Verbrauchswerten Heizenergie der Gebäude wurden das Jahr 2012 ausgewertet.

#### 3.1 Stromverbrauch und -kosten

Tabelle 3-1: Stromverbrauch der Liegenschaft in den Jahren 2009-2012

<b>Strom</b>	<b>2009 [kWh]</b>	<b>2010 [kWh]</b>	<b>2011 [kWh]</b>	<b>2012 [kWh]</b>
Jan	89.309	71.783	98.138	91.387
Feb	77.979	83.458	76.726	78.752
Mrz	88.635	75.343	82.431	86.984
Apr	68.605	61.152	60.108	71.596
Mai	63.784	69.437	64.580	72.777
Jun	88.993	68.870	80.713	59.993
Jul	64.500	46.240	54.059	49.978
Aug	80.144	59.705	64.422	66.382
Sep	89.511	72.081	72.229	66.227
Okt	80.706	64.536	83.182	80.911
Nov	80.773	84.532	82.652	77.567
Dez	96.055	72.579	69.394	69.055
<b>Summe</b>	<b>968.994</b>	<b>829.716</b>	<b>888.632</b>	<b>871.608</b>
Anteil von RWE	385.567	271.151	301.404	536.183
Anteil der BHKW	583.426	558.565	587.228	335.425
Überproduktion Einspeisung RWE	481.346	670.693	492.375	234.197

Aus den neuesten Daten von 2011 und 2012 geht hervor, dass der Stromverbrauch zurückgegangen ist (siehe auch Bild 3-1).

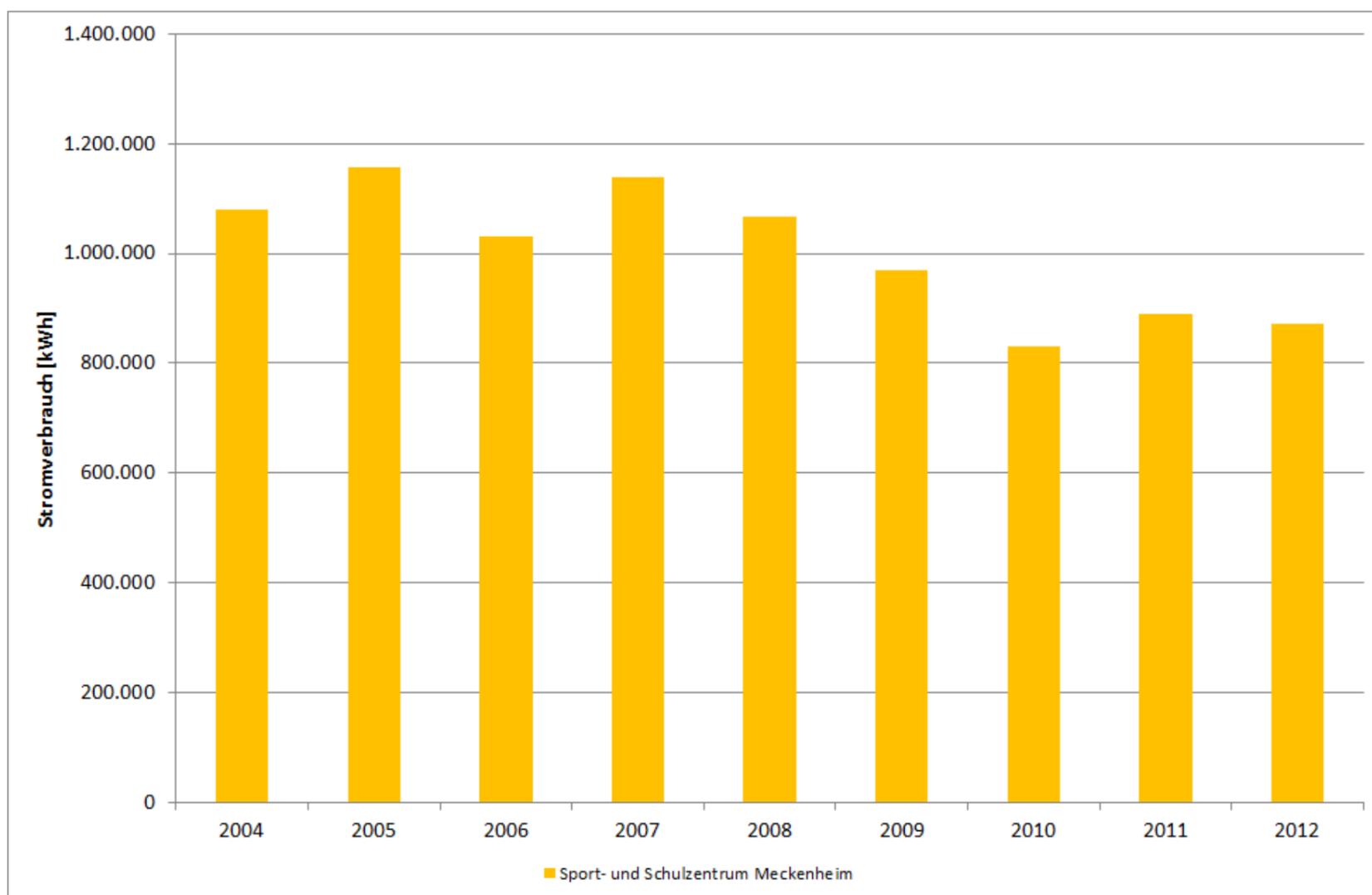


Bild 3-1: Stromverbrauch der Liegenschaft 2004-2012

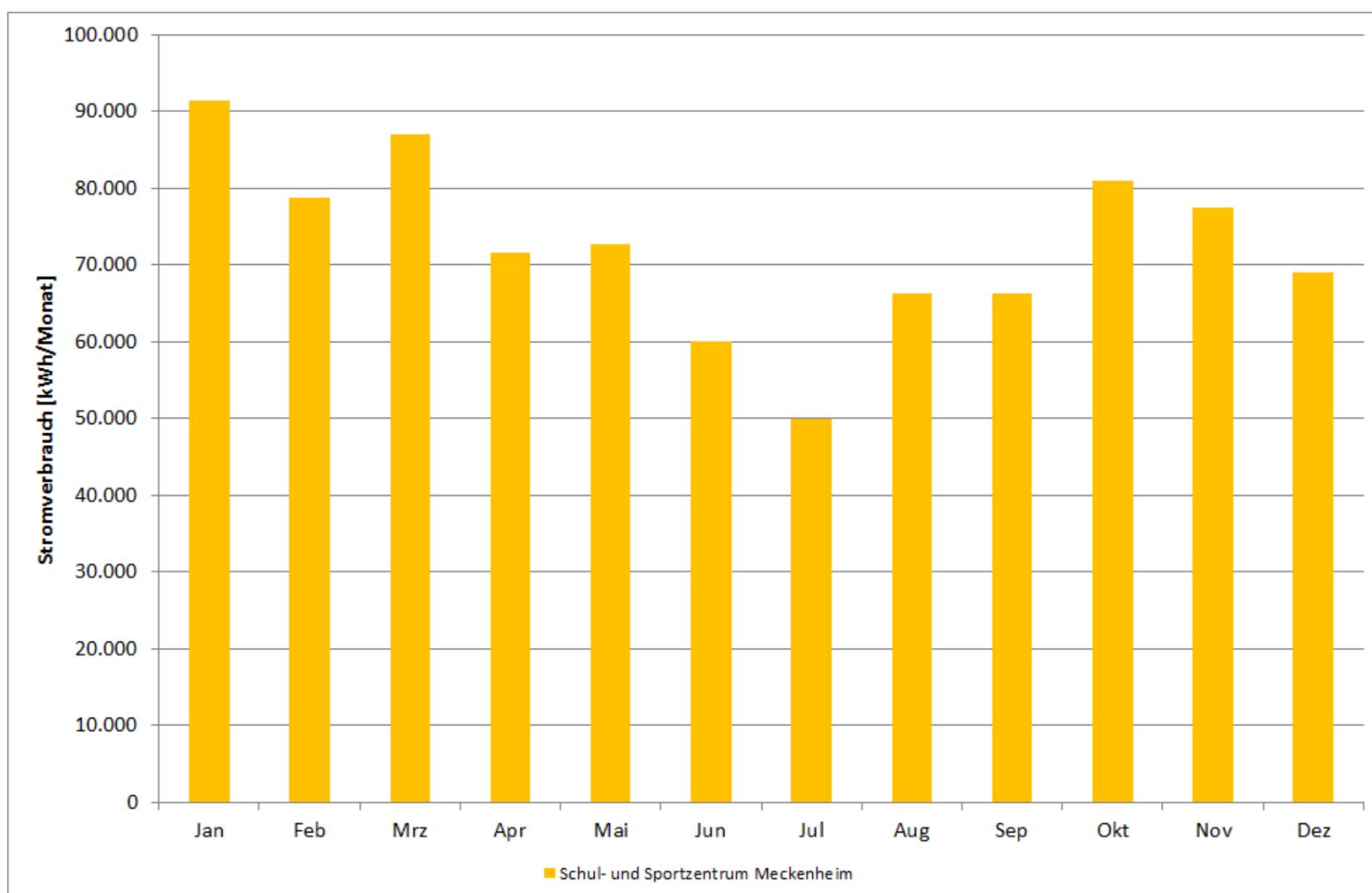


Bild 3-2: Monatlicher Stromverbrauch der Gesamtliegenschaft im Jahr 2012

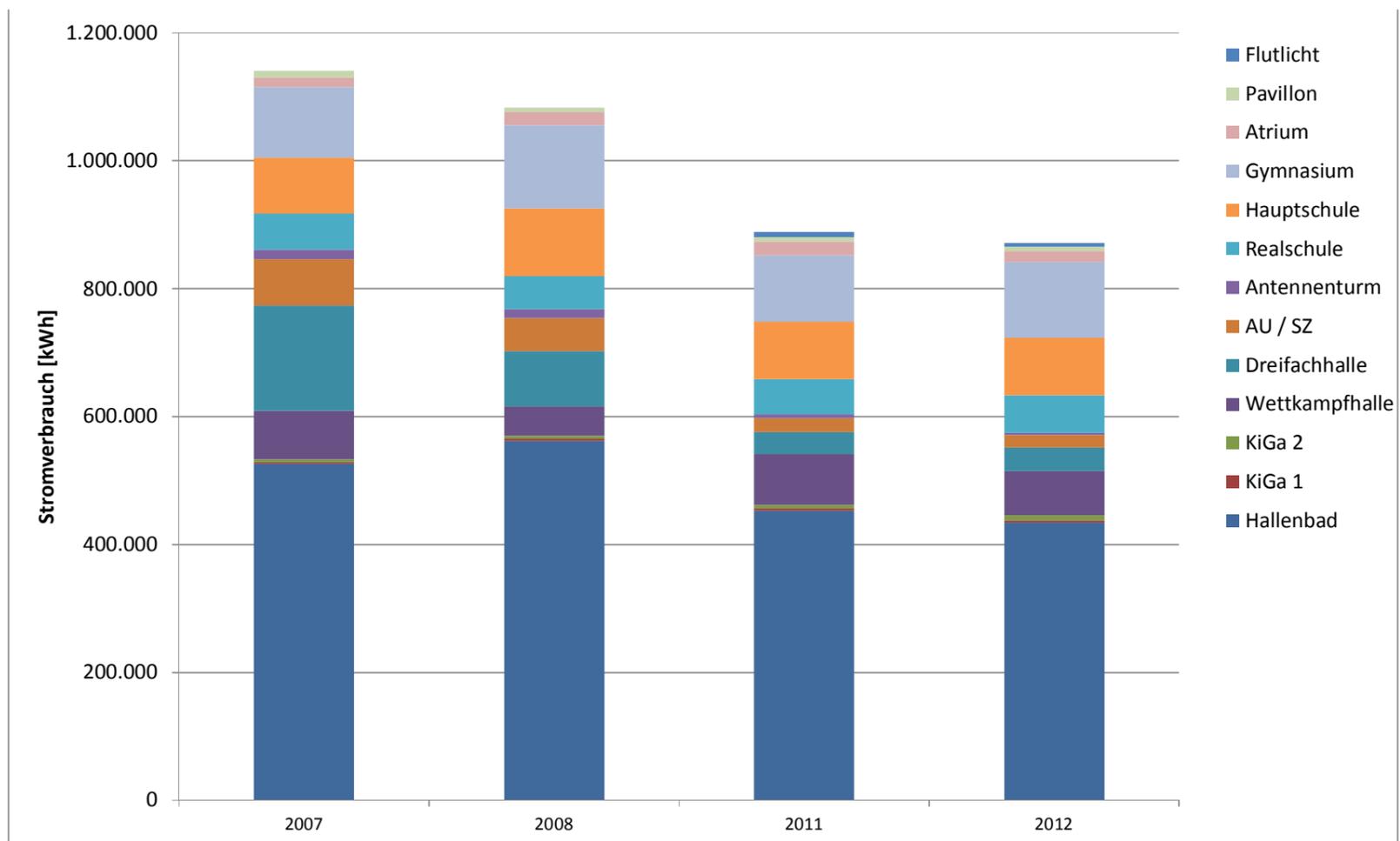


Bild 3-3: Verteilung des Stromverbrauchs der Liegenschaft im Jahr 07-08 und 11-12 nach Gebäuden

Aus dem Bild 3-3 geht hervor, dass das Hallenbad für etwa 50 % des jeweiligen Stromverbrauchs verantwortlich ist.

Das nachfolgende Bild zeigt die durchschnittlichen jährlichen Strompreise (Bruttopreis) für die Liegenschaft der letzten Jahre. Die Strompreise sind in den letzten Jahren (2001 bis 2012) um 3,5 % p.a. angestiegen. Damit liegt die Energiepreissteigerung im Gegensatz zu marktüblichen Preisen im moderaten Rahmen.

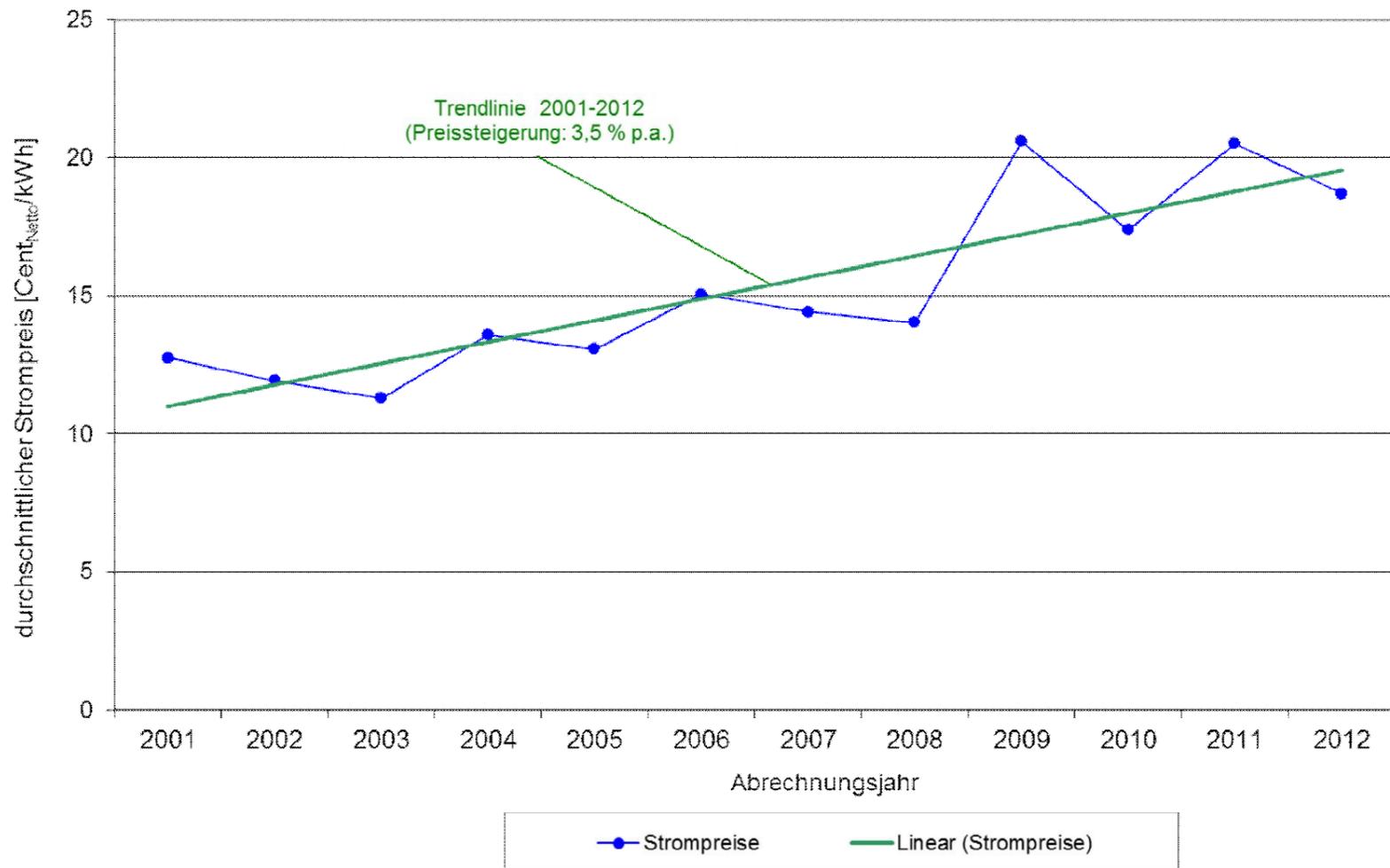


Bild 3-4: Strompreise der Stadt Meckenheim für die Liegenschaft Sport- und Schulzentrum Meckenheim

### 3.2 Wärmeverbrauch und -kosten

Für die Liegenschaft liegen unterschiedliche Daten für den Wärmeverbrauch vor. Zum einen gibt es den Wärmeverbrauch für die gesamte Liegenschaft, die an der Heizungszentrale (Gashauptanschluss) gemessen und abgerechnet wird. Zum anderen liegen gebäudeweise Wärmeverbrauchsdaten vor, die jeweils monatsweise an den Wärmemengenzählern in den Übergabestationen der Gebäude abgelesen werden. Aufgrund der beiden unterschiedlichen Angaben wird nachfolgend immer der Hinweis gegeben:

1. Wärmeverbrauch der Gesamtliegenschaft (Werte sind inklusive der Wirkungsgrade Kessel und BHKW)
2. Wärmeverbrauch der Gebäude (Wärmemenge gemessen in den jeweiligen Übergabestationen)

Tabelle 3-2: Wärmeverbrauchsdaten der Gesamtliegenschaft 2007-2009

<b>Wärme</b>	<b>2009 [kWh]</b>	<b>2010 [kWh]</b>	<b>2011 [kWh]</b>	<b>2012 [kWh]</b>
Jan	1.100.306	1.191.802	948.299	821.659
Feb	865.936	918.494	839.761	1.023.499
Mrz	817.620	805.440	740.204	636.854
Apr	362.777	546.395	396.388	567.810
Mai	287.570	508.513	304.437	322.499
Jun	253.468	245.066	245.078	209.776
Jul	177.340	147.831	270.280	148.603
Aug	163.321	227.316	234.841	135.200
Sep	241.068	340.183	240.383	233.639
Okt	384.972	579.011	468.751	442.487
Nov	469.640	700.281	716.878	728.378
Dez	684.346	1.138.583	724.402	799.329
<b>Summe</b>	<b>5.808.364</b>	<b>7.348.915</b>	<b>6.129.702</b>	<b>6.069.733</b>

Für einen Vergleich der Verbräuche untereinander, müssen die jeweiligen Verbräuche witterungsbereinigt werden. Dazu werden die Werte vom Deutschen Wetterdienst herangezogen, die den Verbrauch auf das langjährige Mittel beziehen.

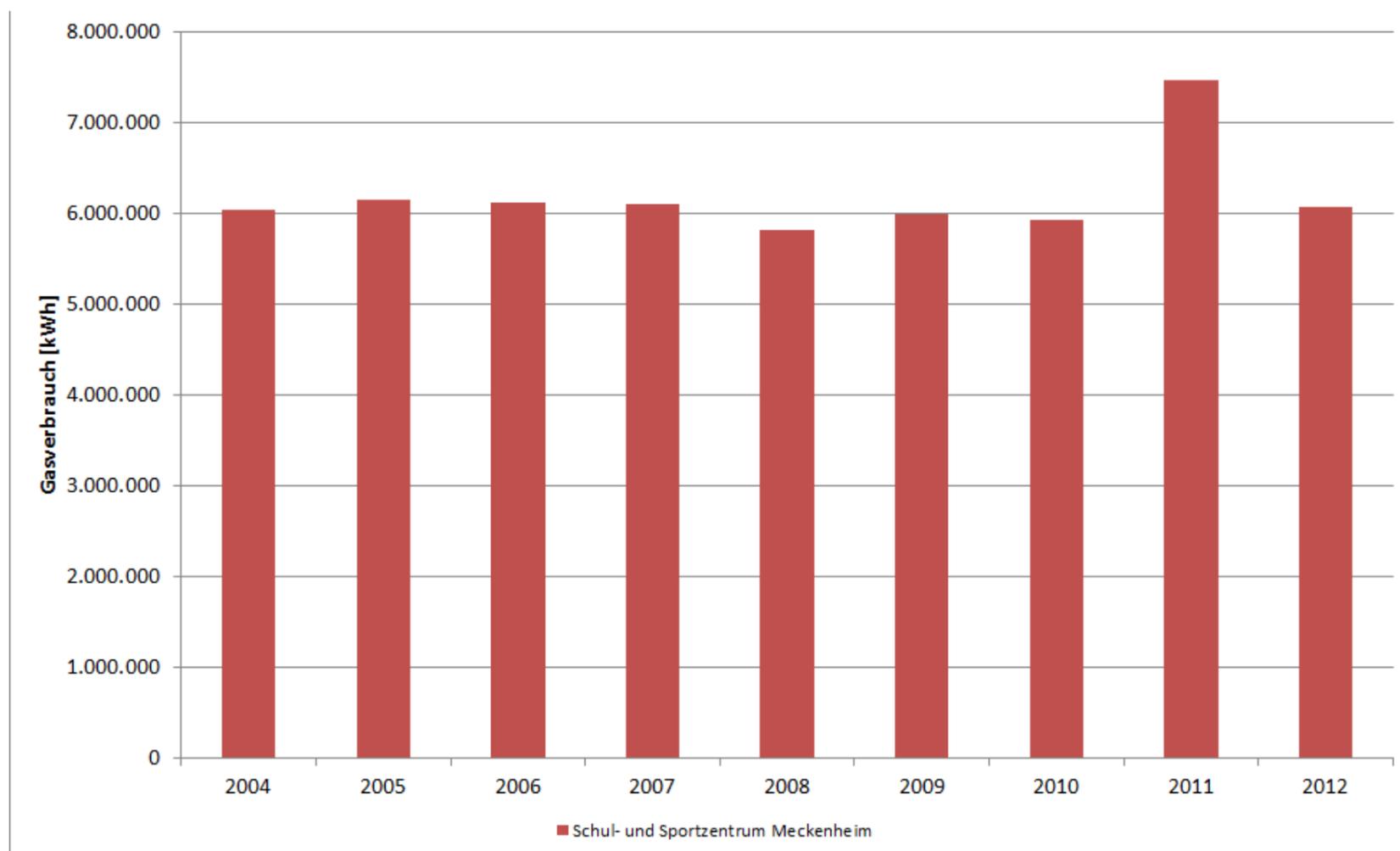


Bild 3-5: Witterungsbereinigter Gasverbrauch 2004-2012

Dazu ist anzumerken, dass hier immer der Gasverbrauch der BHKW enthalten ist, und somit der angezeigte Gasverbrauch nicht ausschließlich zur Wärmeerzeugung verwendet wird, sondern mittels der BHKW auch Strom erzeugt wird.

Es wird deutlich, dass bedingt durch das Hallenbad ein ganzjähriger Wärmebedarf vorhanden ist.

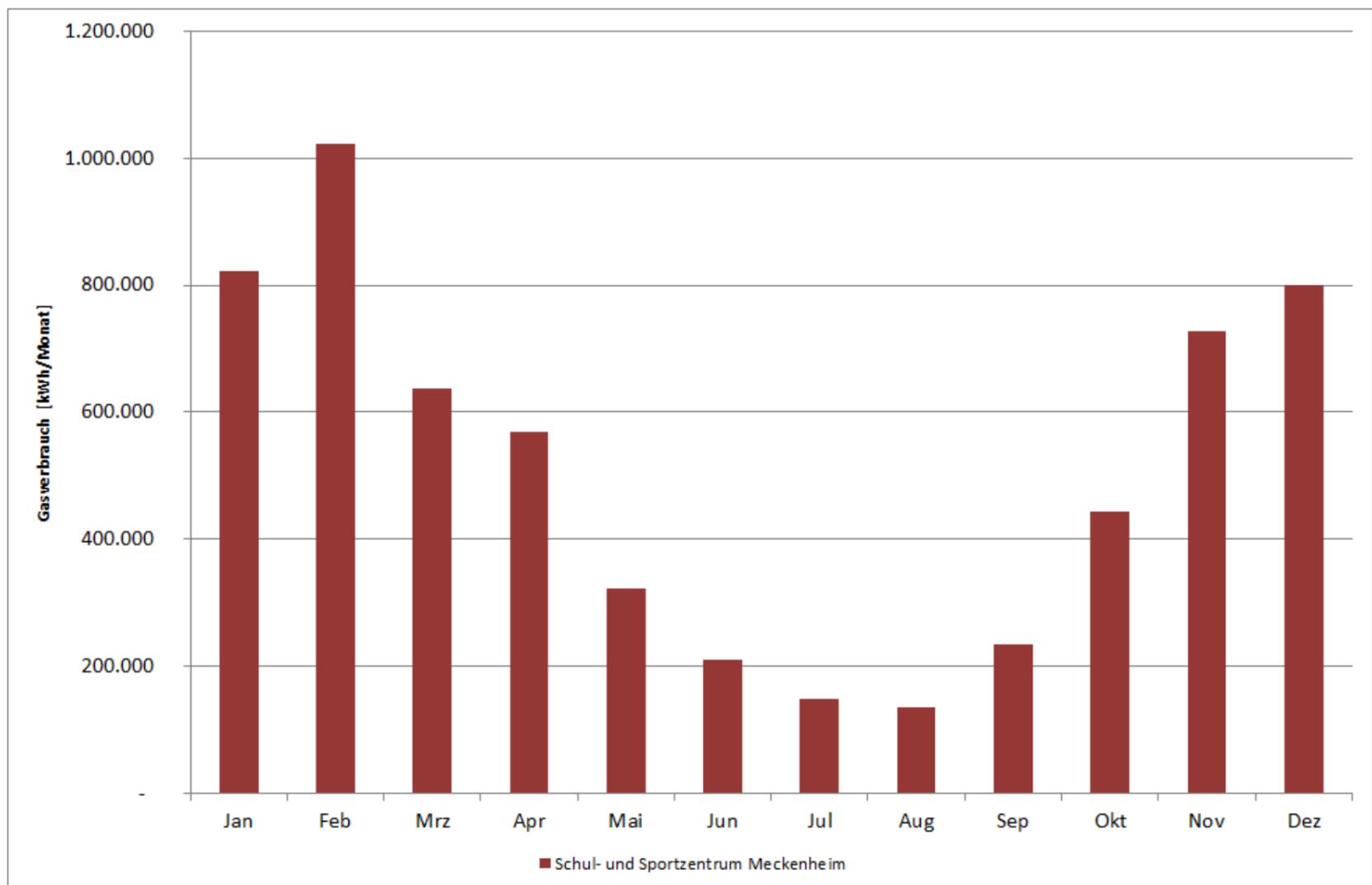


Bild 3-6: Wärmeverbrauch der Gesamtliegenschaft im Jahr 2012

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Wärmeverbrauch der einzelnen Gebäude für die jeweiligen Jahre. Der hier angegebene Wärmeverbrauch wird monatsweise an den jeweiligen Wärmemengenzählern in den Gebäuden abgelesen und dokumentiert.

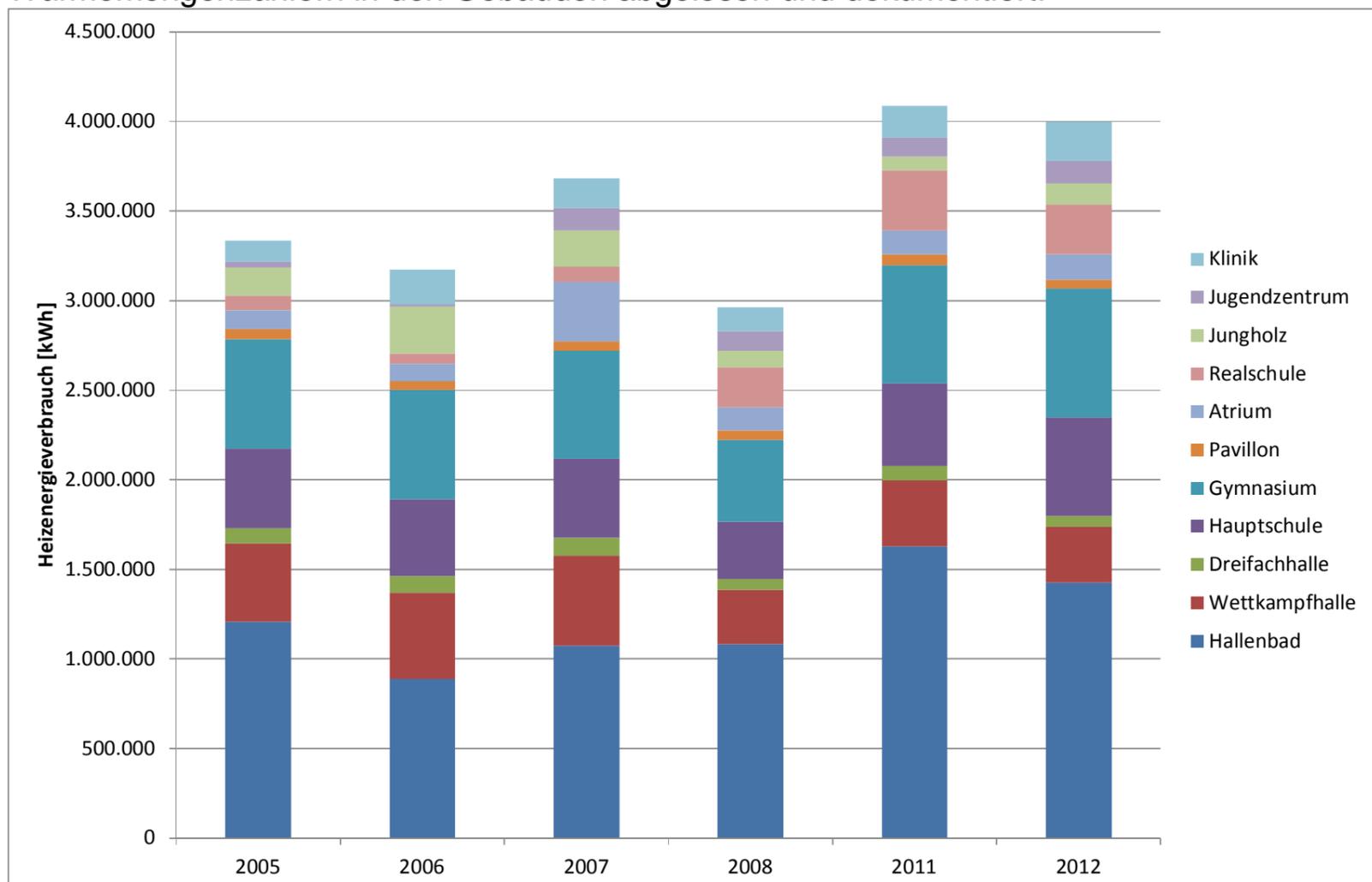


Bild 3-7: Aufteilung des Wärmeverbrauchs auf die einzelnen Gebäude 2005 - 2008

Das Hallenbad macht insgesamt rund 35 % des gesamten Wärmeverbrauchs aus.

Zusätzlich wurde durch die Stadt Meckenheim für das Jahr 2009-2012 die stündlichen Wärmeverbrauchswerte der Gesamtliegenschaft zur Verfügung gestellt. Das nachfolgende Bild zeigt den stündlichen Verbrauch der Gesamtliegenschaft im Jahre 2012.

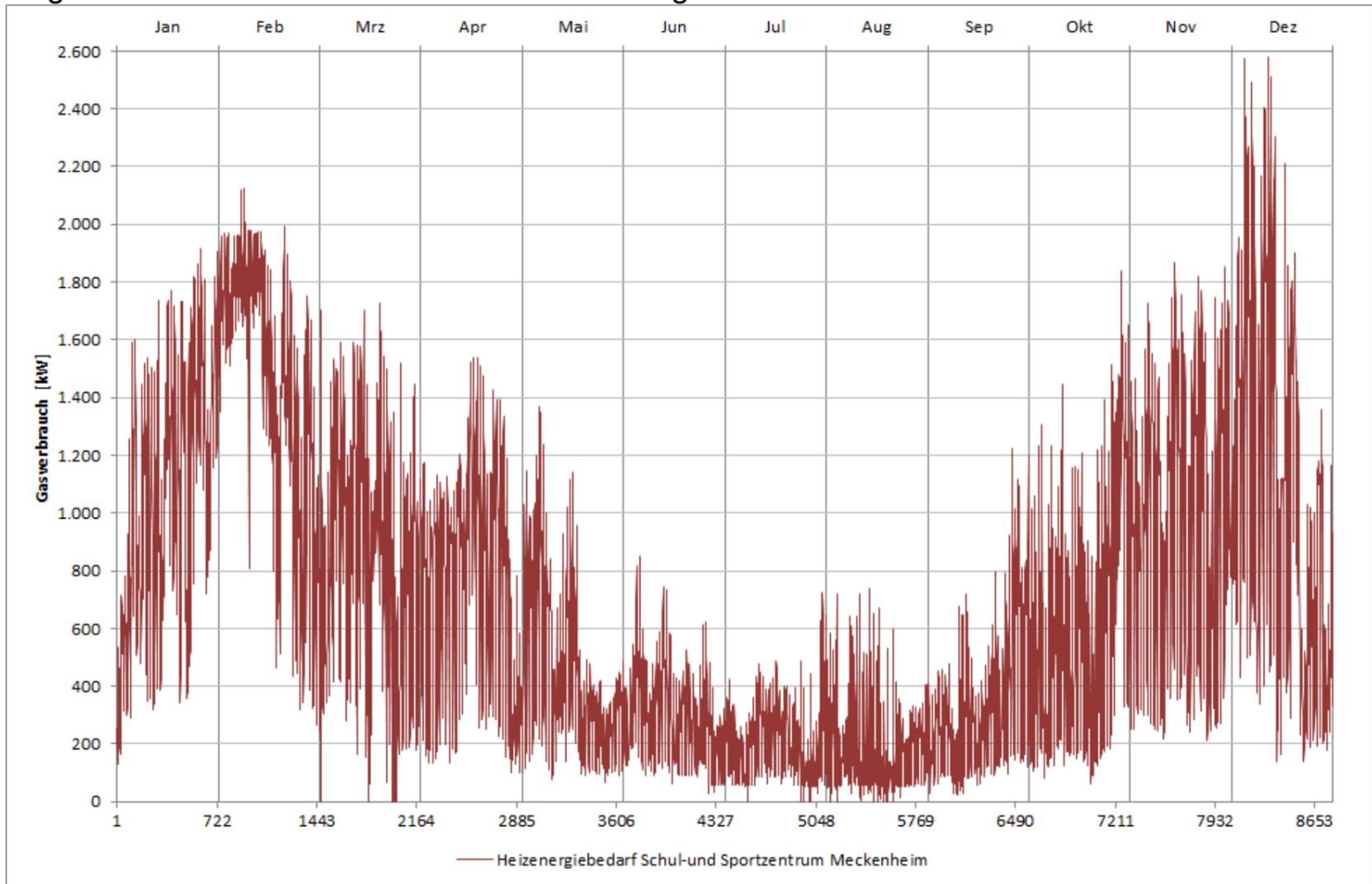


Bild 3-8: Stündlicher Wärmeverbrauch der Gesamtliegenschaft im Jahr 2012

Durch die Angabe der Stundenwerte kann eine Lastgangkurve aus den Daten generiert werden. Das nachfolgende Bild zeigt den Verlauf der erforderlichen Leistung für die Kessel und die BHKW in Korrelation mit den entsprechenden Betriebsstunden im Jahr. Hieraus wird ersichtlich, dass die maximale erforderliche Leistung inklusive des Wirkungsgrades für Kessel und BHKW bei maximal 2.600 kW liegt. Die Brennstoffleistung der Kessel und des noch funktionstüchtigen BHKW 2 beträgt ca. 3.400 kW und hat damit eine Reserve von 800 kW.

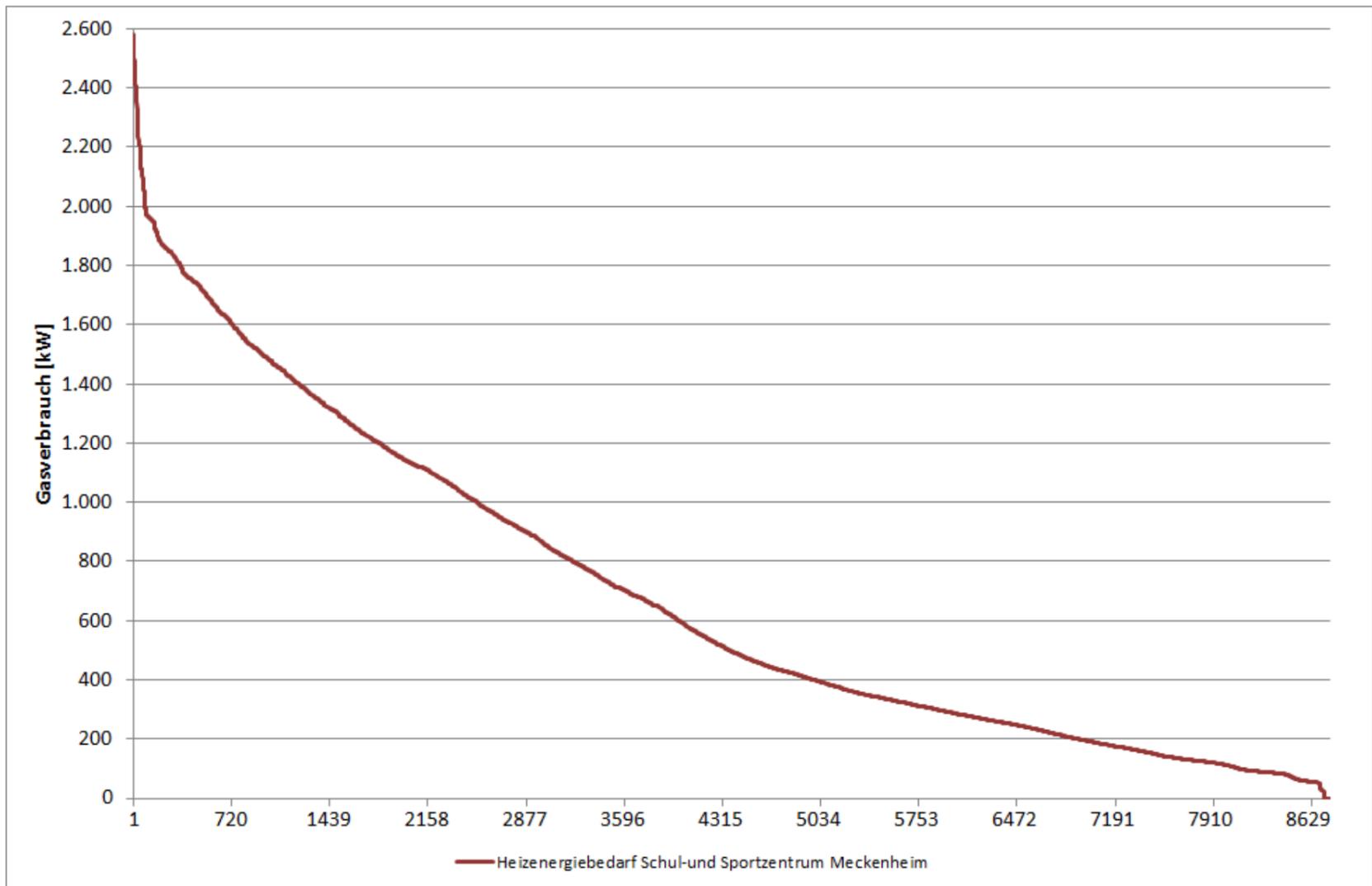


Bild 3-9: Lastgang Heizwärme der Gesamtliegenschaft im Jahr 2012

Das nachfolgende Bild zeigt die durchschnittlichen jährlichen Gaspreise (Brutto) für die Liegenschaft der letzten Jahre. Die Preise sind in den letzten Jahren (2001 bis 2012) um 3,1 % p.a. angestiegen.

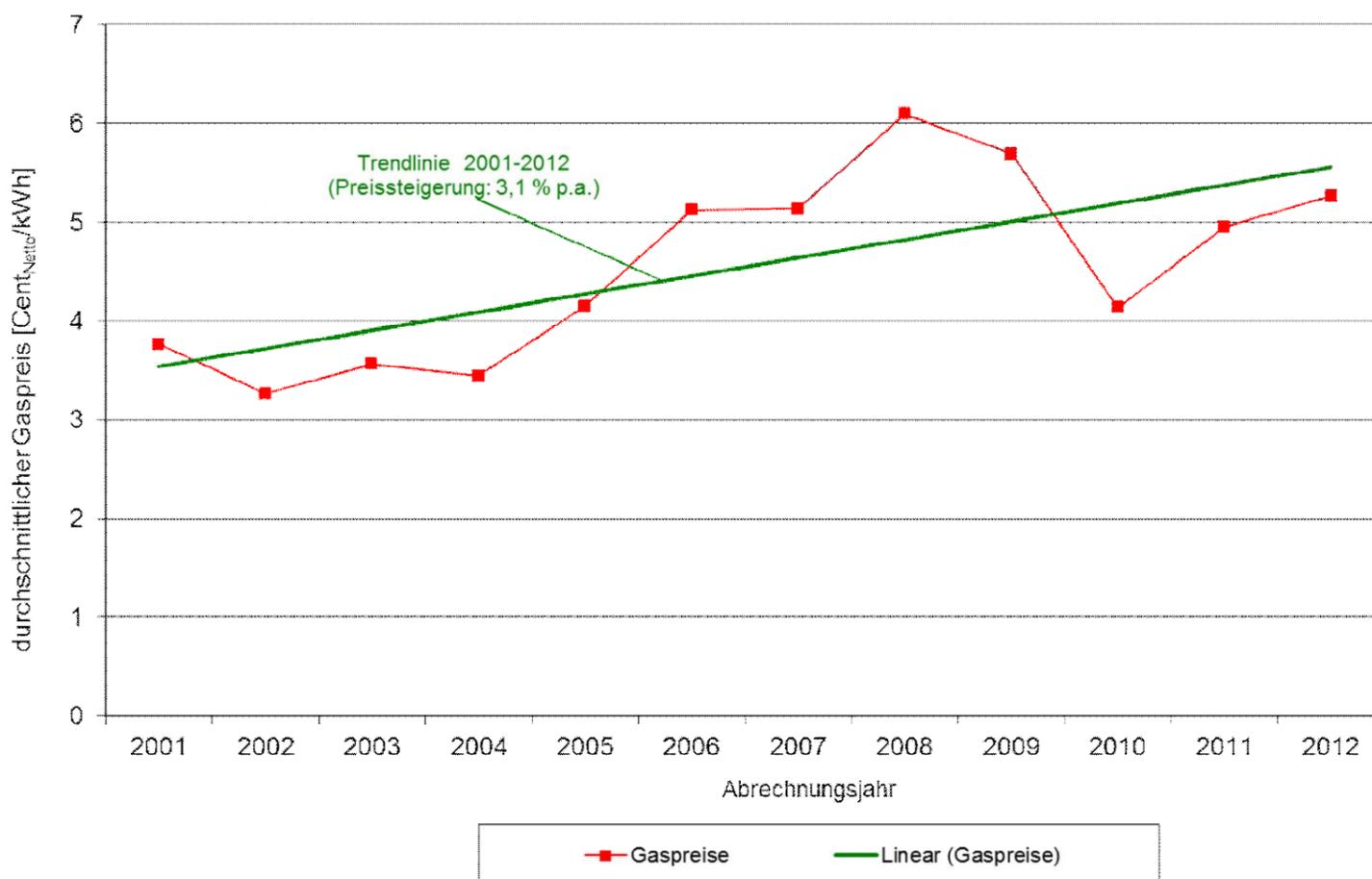


Bild 3-10: Gaspreis der Stadt Meckenheim für die Liegenschaft Sport- und Schulzentrum Meckenheim

### 3.3 Zusammenfassung Energieverbrauch und -Kosten

Die jährlichen bedarfsgebundenen Kosten (ohne Wartung etc.) sind in Tabelle 3-3 aufgeschlüsselt.

Tabelle 3-3: Energieverbrauch und –Kosten 2009 bis 2012

<b>Schul- und Sportzentrum Meckenheim</b>		<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>Heizenergieverbrauch</b>	<b>[MWh/a]</b>	5.772	5.272	6.130	6.070
<b>Stromverbrauch</b>	<b>[MWh/a]</b>	968	830	889	872
<b>Stromlieferung an RWE</b>	<b>[MWh/a]</b>	481	671	492	234
<b>Summe Energieverbrauch</b>	<b>[MWh/a]</b>	6.259	5.431	6.549	6.708
<b>Kosten Heizenergie</b>	<b>[€<sub>Brutto</sub>/a]</b>	328.343	217.882	303.288	319.214
<b>Kosten Strom</b>	<b>[€<sub>Brutto</sub>/a]</b>	79.315	47.093	61.807	100.192
<b>Gutschrift für Stromlieferung</b>	<b>[€<sub>Brutto</sub>/a]</b>	42.130	26.344	16.962	8.453
<b>Summe Energiekosten</b>	<b>[€<sub>Brutto</sub>/a]</b>	365.528	238.631	348.133	410.953
<b>Mischpreis Heizenergie</b>	<b>[ct<sub>Brutto</sub> /kWh]</b>	5,69	4,13	4,95	5,26
<b>Mischpreis Strom</b>	<b>[ct<sub>Brutto</sub> /kWh]</b>	20,57	17,37	20,51	18,69

### 3.4 CO<sub>2</sub>-Emissionen

Zur Ermittlung der CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden die Energieverbrauchswerte aus dem Jahre 2012 herangezogen. Der Wärmeverbrauch liegt bei 6.070 MWh/a und der Stromverbrauch bei rund 872 MWh/a. Entsprechend der in Kapitel 2.4 angegebenen CO<sub>2</sub>-Umrechnungsfaktoren ergeben sich die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Liegenschaft.

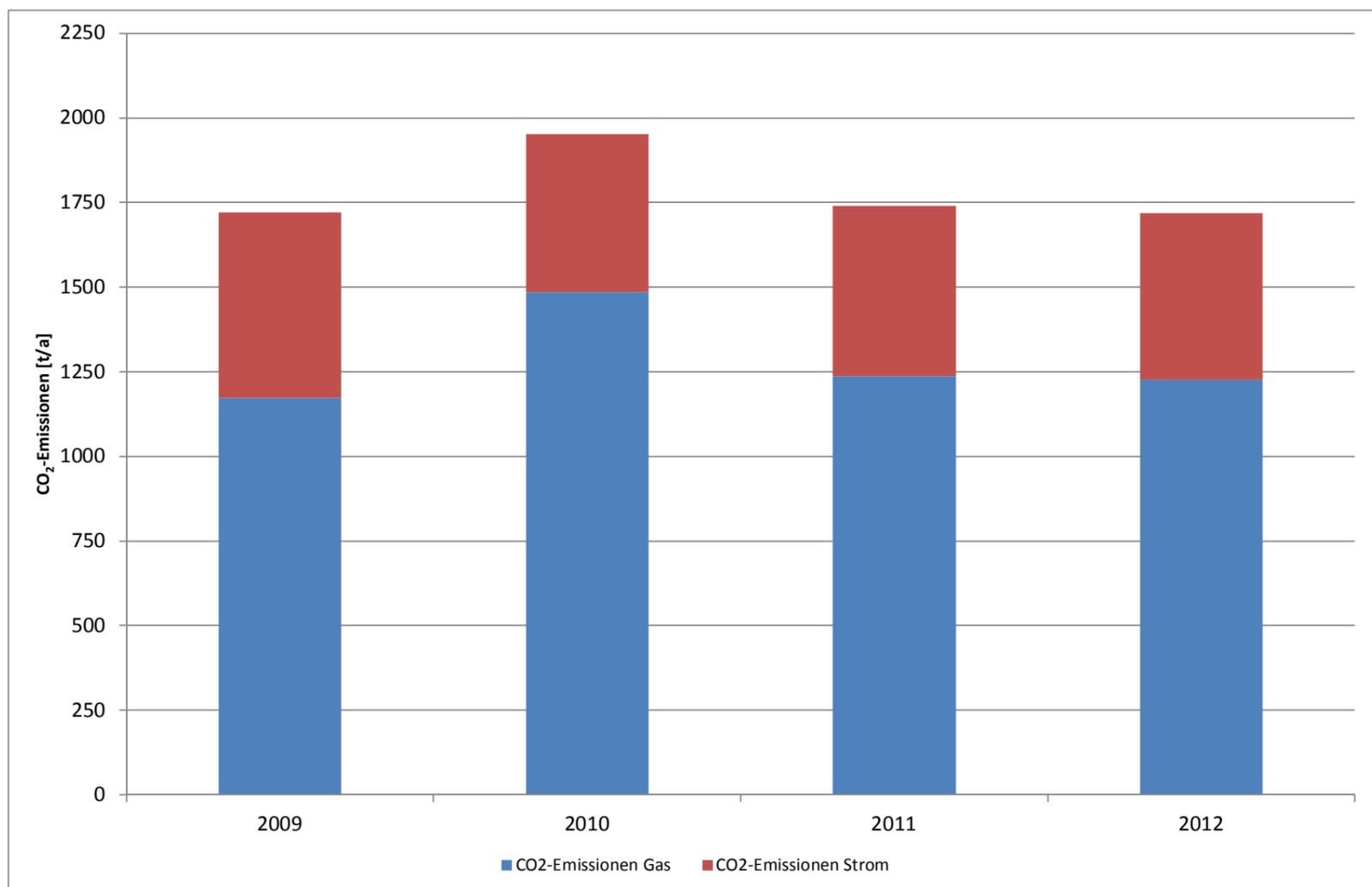


Bild 3-11: CO<sub>2</sub>-Emissionen Schul- und Sportzentrum Meckenheim

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Schul- und Sportzentrums der Stadt Meckenheim 2012 liegt bei rund 1.750 t/a.

### 3.5 Betrieb BHKW

Die zurzeit eingesetzten BHKW haben folgende Daten:

Tabelle 3-4: Leistungsdaten BHKW

	BHKW1	BHKW2	Summe
Thermische Leistung [kW]	188	348	536
Elektrische Leistung [kW]	110	210	320
Brennstoffeinsatz Erdgas [kW]	344	626	970

Dabei ist anzumerken, dass das BHKW 1 seit Mitte 2010 defekt ist. Die folgenden Daten wurden durch die Stadt Meckenheim übergeben:

Tabelle 3-5: Stromverbrauch und –produktion

	Jahresverbrauch Strom [kWh]	Gekaufter Strom von RWE [kWh]	Stromproduktion BHKW Eigennutzung		Stromlieferung BHKW an RWE [kWh]
			[kWh]	%	
2004	1.081.906	351.442	730.465	67,5	579.823
2005	1.115.502	366.611	748.891	67,1	511.912
2006	1.029.508	219.646	806.694	78,4	606.287
2007	1.140.150	620.648	517.718	45,4	279.270
2008	1.083.037	495.919	587.118	54,2	422.381
2009	968.994	385.567	583.427	60,2	481.346
2010	829.716	271.151	558.565	67,3	670.693
2011	888.632	301.404	587.228	66,1	492.375
2012	871.608	536.183	335.425	38,5	234.197

Durch die Angaben des Jahresverbrauches, dem Anteil an gekauftem Strom und der jährlichen Stromlieferung (Überproduktion der BHKW) lässt sich die insgesamt durch die BHKW produzierte Strommenge ableiten. Teilt man diese Strommenge durch die elektrische Leistung (320 kW) der BHKW lassen sich zudem noch die Volllaststunden berechnen. Für die Jahre 2011 und 2012 wird die Strommenge durch 210 kW geteilt, da das BHKW 1 seit Mitte 2010 defekt ist. Daher wird für 2010 auch kein Wert ermittelt.

Tabelle 3-6: Stromproduktion und Vollbenutzungsstunden der BHKW

	Gesamtproduktion HKW [kWh]	Volllaststunden [h]
2004	1.310.288	4.095
2005	1.260.803	3.940
2006	1.412.981	4.416
2007	796.988	2.491
2008	1.009.499	3.155
2009	1.064.773	3.327
2011	1.079.603	5.140
2012	569.622	2.718

Insgesamt produzieren die BHKW im Schnitt in den letzten Jahren rund 1.063 MWh/a Strom und liefern rund 3.600 Vollbenutzungsstunden pro Jahr. Rund 60 % des produzierten Stromes wurde in den letzten Jahren auf der Liegenschaft direkt verbraucht, der Rest wurde in das öffentliche Netz eingespeist. Auffällig ist die geringe Laufzeit in 2012 und die damit verbundene geringe Eigennutzung.

## 4 Energiekonzept

### 4.1 Zukünftige Struktur der Liegenschaft

Die Liegenschaft wurde nach dem Umbau der Heizungsversorgung um die Gebäude der LVR- Klinik erweitert. Zusätzlich wurde die Dreifachturnhalle, die im November 2008 abgebrannt war, im März 2011 neu eröffnet.

Als weiteres Gebäude soll der Neubau des Rathauses auf der Liegenschaft berücksichtigt werden. Das Rathaus wird eine Größe von rund 5.000 m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> aufweisen und soll im Jahre 2014/15 gebaut werden. Die Heizungsversorgung soll dann ebenfalls über das Nahwärmenetz erfolgen.

Tabelle 4-1: Gebäudeübersicht

Gebäudebezeichnung	Baujahr	Nutzfläche [m <sup>2</sup> ]
Hauptschule + Gymnasium	1978	15.522
Realschule	1988	2.643
Atrium	1995	847
Pavillon	1984	910
3-fach-Turnhalle	1978 (2010)	1.610
Wettkampfhalle	1981	2.098
Hallenbad	1981	1.592
Jugendfreizeitstätte	1982	1.217
Jungholzhalle	1979	2.069
Kindergarten Neue Mitte	1989	206
Klinikum		
Rathaus ca. 5.000 m <sup>2</sup> BGF	Neubau 2014/15	ca. 4.300
<b>Summe</b>		<b>ca. 33.300</b>

Für das Rathaus liegen keine Planungsdaten vor. Im weiteren Konzept wird für das Gebäude eine Heizleistung von ca. 50 W/m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> berücksichtigt. Damit ergibt sich eine Anschlussleistung von 250 kW.

### 4.2 Bestandteile Energiekonzept

Das folgende Kapitel enthält die Untersuchungen zur effizienten Versorgung der Liegenschaft mit Wärme und Strom.

Dabei werden im Wesentlichen der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und die Möglichkeiten des Einsatzes von erneuerbaren Energiequellen analysiert.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass das Energiekonzept keine detaillierte Fachplanung der verschiedenen Bereiche ersetzt. Spezielle Heizlastberechnungen und Rohrdimensionierungen u.ä. sind nicht Grundlage der Konzeptvarianten.

## 4.2.1 Blockheizkraftwerk (BHKW)

### Allgemeines

Bei einem Blockheizkraftwerk handelt es sich um eine Technologie, bei der mit Hilfe eines an einen Verbrennungsmotor angeschlossenen Generator Strom erzeugt wird und die dabei entstehende Abwärme zusätzlich genutzt wird und damit hohe Gesamtwirkungsgrade erzielt werden. Beim Blockheizkraftwerk wird mit einem Wirkungsgrad von rund 35% Strom erzeugt, gleichzeitig aber besteht die Möglichkeit, die Abwärme zum Heizen oder zum Betrieb einer Absorptionskältemaschine zu nutzen (Wirkungsgrad 54%). Insgesamt sind beim BHKW damit Nutzungsgrade von rund 89% möglich, die Verluste liegen bei rund 11%.

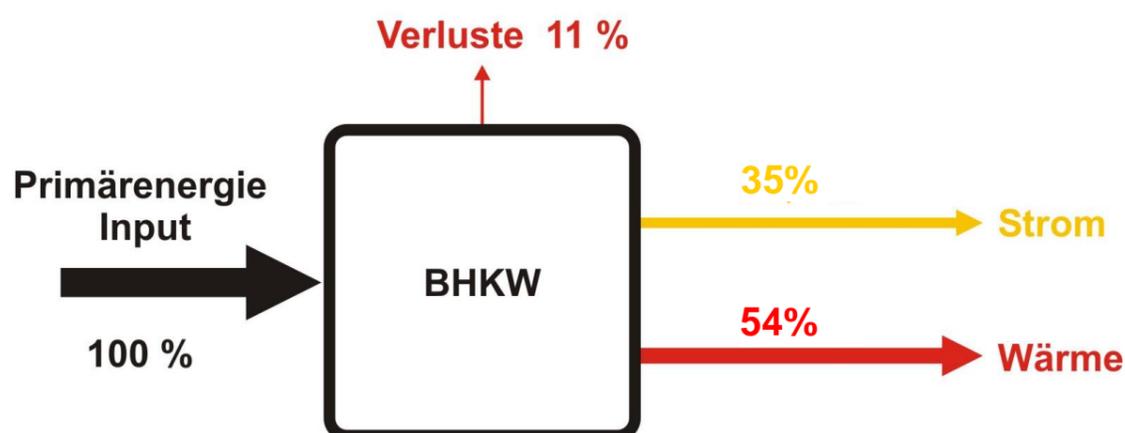


Bild 4-1: Wirkungsgrad BHKW

Als Antrieb für ein BHKW werden Verbrennungsmotoren genutzt, die u.a. mit den Betriebsstoffen Erdgas/Biogas; Diesel/Biodiesel oder Rapsöl betrieben werden können.

Die Maschinen gibt es in Leistungsbereichen zwischen wenigen kW und mehreren MW. Sie sind damit sowohl für Kleinanlagen als auch für größere Versorgungskonzepte einsetzbar. Zwischenzeitlich sind in Deutschland eine Vielzahl derartiger Anlagen in Betrieb, so dass reichhaltige Erfahrungen vorliegen.

Entscheidend für die Realisierung der hohen Energieausnutzungsgrade sind die gleichzeitige Abnahme von Strom und Wärme sowie eine möglichst lange Anzahl von Vollbenutzungsstunden. Als Betriebsweisen kommt eine stromorientierte oder wärmeorientierte Betriebsweise in Frage.

Stromorientiert bedeutet, dass die Anlage immer dann in Betrieb ist, wenn Strom benötigt wird, die dabei anfallende Wärme wird entweder genutzt oder unter Umständen ungenutzt, an die Umgebung abgegeben.

Beim wärmeorientierten Betrieb wird das BHKW immer dann eingeschaltet, wenn Wärme benötigt wird. Der Strom wird dann entweder direkt genutzt oder ins Netz des EVU eingespeist.

Aus ökologischen Gründen ist der wärmeorientierte Betrieb im Allgemeinen der vorteilhaftere, da ein Überschussangebot an Strom immer in das Netz des Energieversorgers eingespeist werden kann. Durch die Novellierung des Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetzes im Jahr 2011 hat die Bundesregierung ein Instrument geschaffen, um die BHKW-Technologie weiter zu forcieren.

### Einsatz von neuen BHKW in der Liegenschaft der Stadt Meckenheim

Die Liegenschaft des Schul- und Sportzentrums Meckenheim eignet sich durch den ganzjährigen Wärmebedarf (vor allem für das Schwimmbad) hervorragend für die Nutzung eines

BHKW (siehe Bild 4-2). Mit den vorhandenen BHKW bei der Wärmeversorgung wurden bisher auch sehr gute Erfahrungen gesammelt. Durch die Untersuchung der vorhandenen Energieverbrauchsstruktur ist es nun möglich, die Größe der BHKW auch im Hinblick auf die zukünftige Energieversorgung anzupassen.

Die Aufteilung der einzelnen Leistungen nach der Häufigkeit bzw. Größe ergibt die sogenannte Jahresdauerlinie, anhand dessen eine Beurteilung für die Einsetzbarkeit und die Größe eines BHKW erfolgen kann (Bild 4-3).

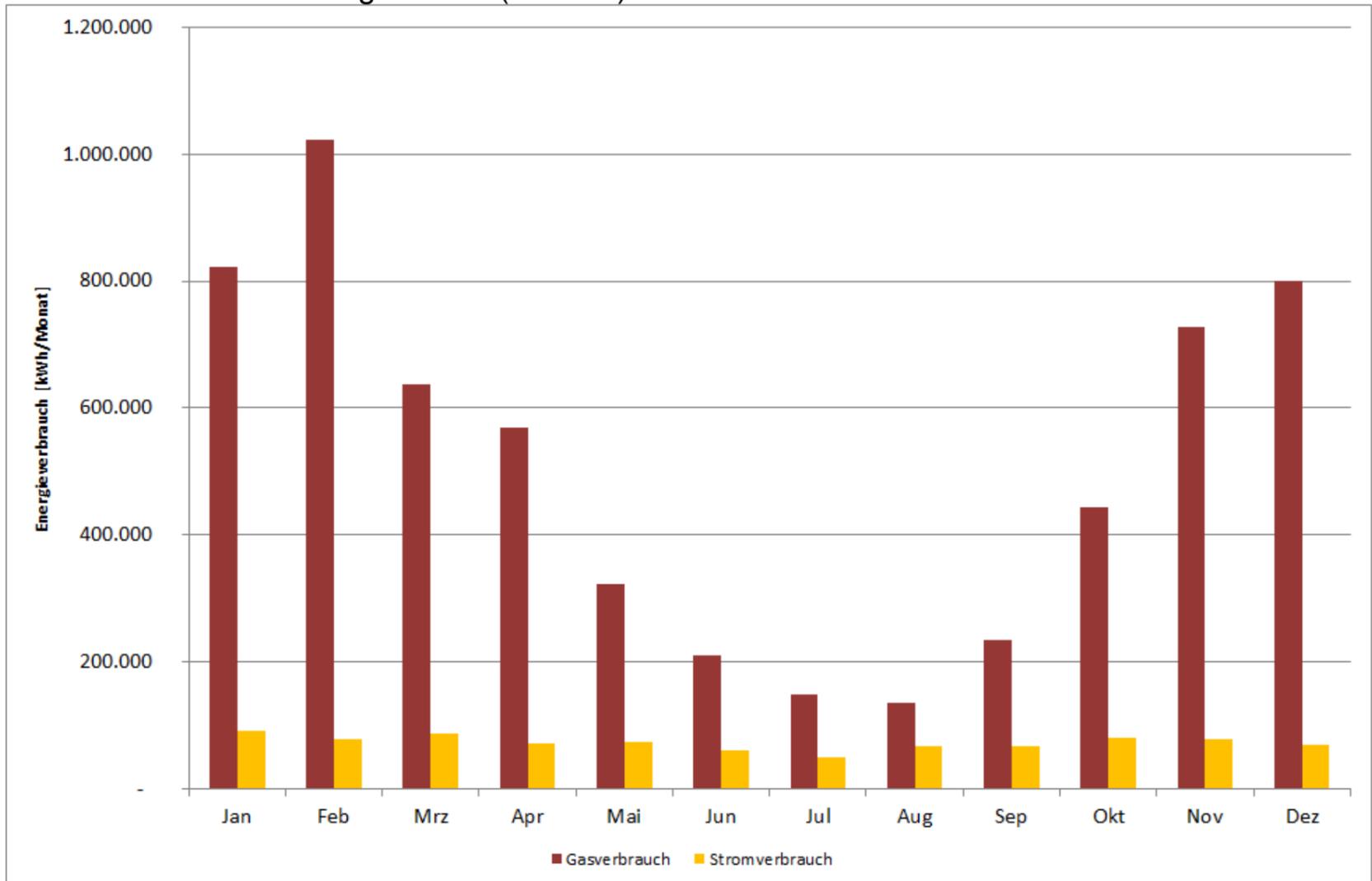


Bild 4-2: Monatliche Energieverbrauchsstruktur des Schul- und Sportzentrums Meckenheim 2012

Für die Auslegung der Größe der neuen BHKW, ist eine Lastgangkurve der erforderlichen Heizlasten nötig. Da die stündlichen Verbrauchswerte nur für die gesamte Liegenschaft, also inklusive der Wirkungsgrade für die Kessel und die vorhandenen BHKW vorliegt, wurde aus den monatlichen Verbrauchswerte für die unterschiedlichen Gebäude eine synthetische Kurve auf Stundenbasis berechnet.

Als Grundlage hierfür dienen die hoch aufgeschlüsselten Daten (1/4h) des Energieversorgers für den Energiebezug und die Energielieferung ins Netz. Mithilfe generierter elektrischer Wochenlastprofile kann für jede Stunde überprüft werden, wie hoch der Stromverbrauch ohne die Eigenerzeugung der BHKW ist.

Die Differenz zwischen dem Bedarf und dem tatsächlichen Stromverbrauch, addiert mit der Stromlieferung ins Netz, ergibt die elektrische Leistung der BHKW in jeder Stunde. Über die Wirkungsgrade der BHKW kann die thermische Leistung ermittelt werden. Somit kann der BHKW-Gasverbrauch zur Stromerzeugung herausgerechnet werden. Mit Berücksichtigung des Wirkungsgrades der Kessel ( $\eta=0,9$ ) kann schlussendlich die reale Heizlast berechnet werden.

Da in naher Zukunft noch ein Rathaus mit ca. 5.000 m<sup>2</sup><sub>BGF</sub> geplant ist, wird die stündliche Heizlast mit berücksichtigt. Der Ansatz hier ist 50 W/m<sup>2</sup>, das bedeutet eine maximale Heizleistung von 250 kW. Für den stündlichen Bedarf wird für jede Stunde im Jahr eine festgelegte Heizgrenztemperatur über die stündliche Differenz zwischen Außenlufttemperatur und Heizgrenztemperatur die prozentuale Leistung ermittelt. D.h. bei -12 °C Außenlufttemperatur ist 100% der Heizleistung erforderlich, bei einer höheren Außentemperatur wird einen ent-

sprechend geringere Heizleistung erforderlich. Ist die Heizgrenztemperatur erreicht ist keine Heizleistung erforderlich.

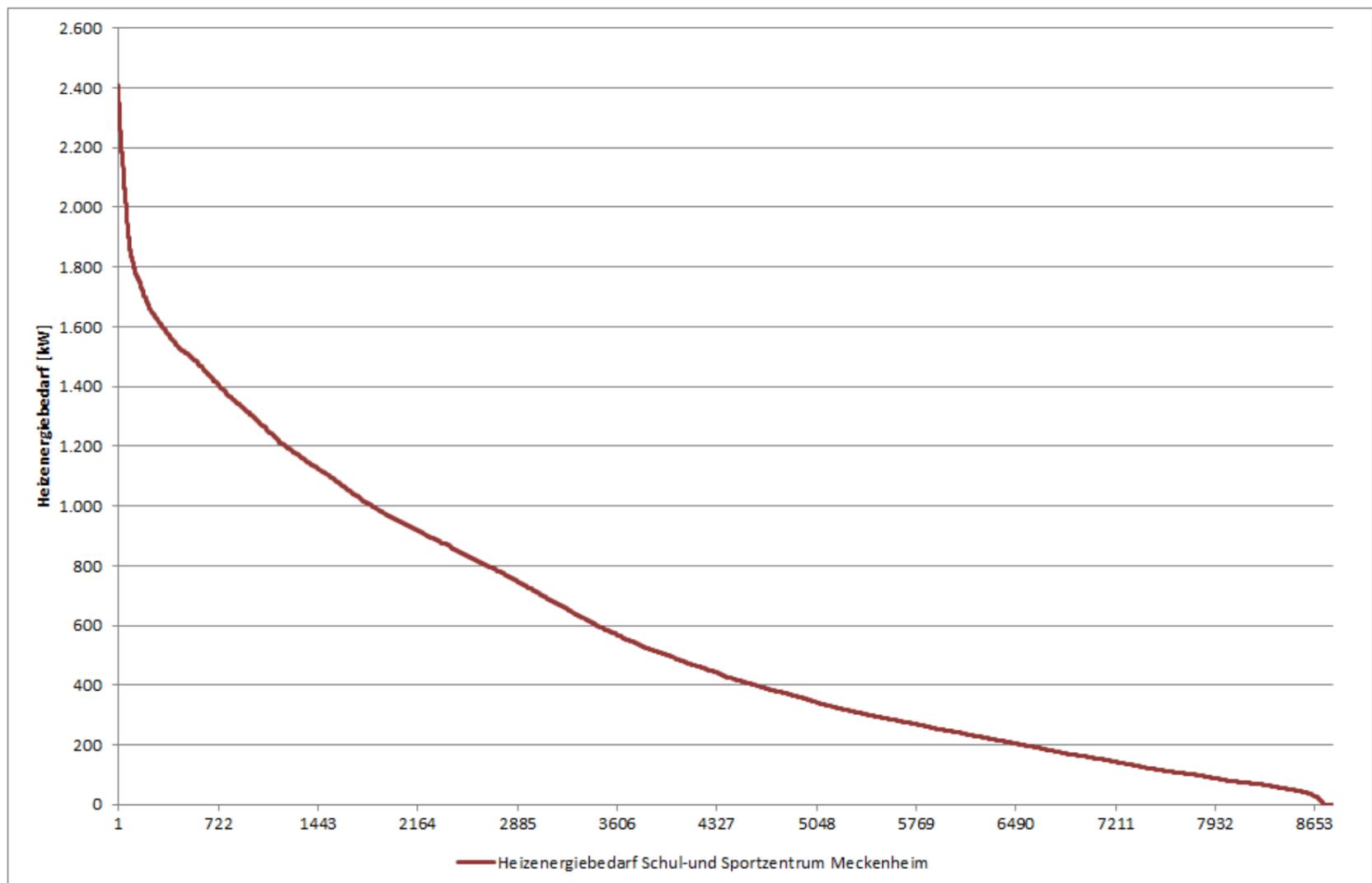


Bild 4-3: Lastgangkurve der Heizleistung der Gebäude inklusive des geplanten Rathauses und dem Nahwärmenetz

Um möglichst lange Laufzeiten der BHKW zu ermöglichen wird die Größe der beiden Module entsprechend gewählt. Die Kurve zeigt, dass bei 2 BHKW mit einer jeweiligen Größe von 215 kW<sub>therm</sub> Laufzeiten bzw. Volllaststunden von über 6.000 Stunden im Mittel generiert werden können.

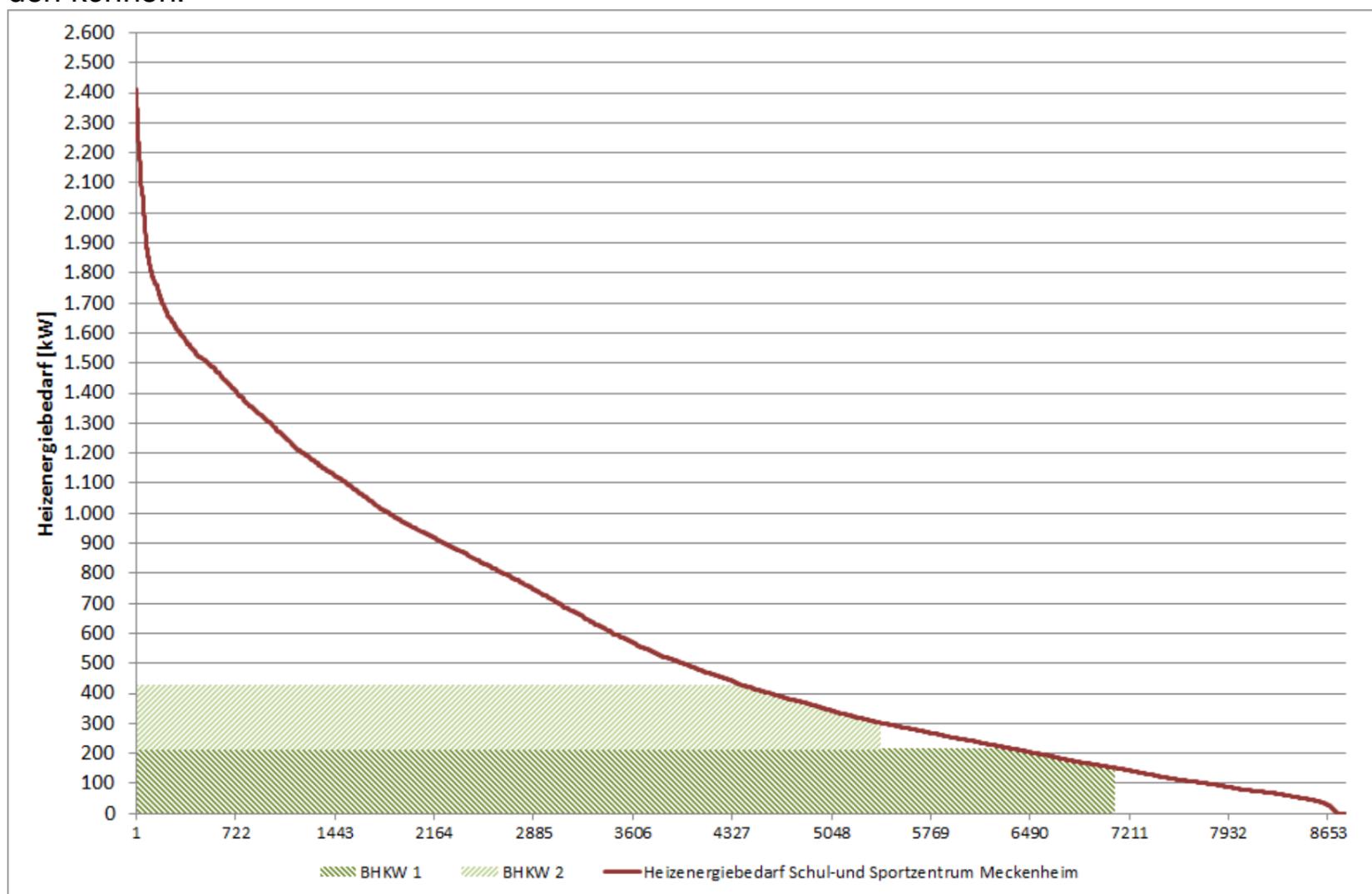


Bild 4-4: Einsatz BHKW mit 2 Modulen und jeweils 215 kW thermisch

## Förderung

### Novelle des Gesetzes zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung

Durch die Regelungen des bundesweiten Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetzes (Juli 2012) erhalten Betreiber einer KWK-Anlage von ihrem Netzbetreiber einen Zuschlag für den ins Netz der allgemeinen Versorgung eingespeisten KWK-Strom.

Förderungsvoraussetzung ist die Inbetriebnahme im Zeitraum 01.01.2009 bis 31.12.2020.

Die Gültigkeitsdauer beträgt 20 Jahre.

Das Gesetz regelt die Abnahme und die Vergütung von Kraft-Wärme-Kopplungsstrom (KWK-Strom) aus Kraftwerken mit KWK-Anlagen auf Basis von Steinkohle, Braunkohle, Abfall, Abwärme, Biomasse, gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen sowie Zuschläge für den Neubau und den Ausbau von Wärmenetzen, sofern die KWK-Anlagen und die Wärmenetze im Geltungsbereich dieses Gesetzes gelegen sind. KWK-Strom, der nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz vergütet wird, fällt nicht in den Anwendungsbereich dieses Gesetzes. Zweck des Gesetzes ist es, einen Beitrag zur Erhöhung der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung in der Bundesrepublik Deutschland auf 25 % durch den befristeten Schutz, die Förderung der Modernisierung und des Neubaus von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen), die Unterstützung der Markteinführung der Brennstoffzelle sowie die Förderung des Neu- und Ausbaus von Wärmenetzen, in die Wärme aus KWK-Anlagen eingespeist wird, im Interesse der Energieeinsparung, des Umweltschutzes und der Erreichung der Klimaschutzziele der Bundesregierung zu leisten.

Netzbetreiber sind verpflichtet, KWK-Anlagen an ihr Netz anzuschließen. Sie können den aufgenommenen KWK-Strom verkaufen oder zur Deckung ihres eigenen Strombedarfs verwenden.

Für den in das EVU-Netz eingespeisten KWK-Strom ist der Preis, den der Betreiber der KWK-Anlage und der Netzbetreiber vereinbaren, zu entrichten. Kommt eine Vereinbarung nicht zustande, gilt der „**übliche Preis**“ als vereinbart, zuzüglich dem nach den maßgeblichen Rechtsvorschriften, ansonsten nach den anerkannten Regeln der Technik berechneten Teil der **Netznutzungsentgelte**, der durch die dezentrale Einspeisung durch diese KWK-Anlage vermieden wird. Als „üblicher Preis“ gilt für KWK-Anlagen mit einer elektrischen Leistung von bis zu 2 MW der durchschnittliche Preis für Grundlaststrom an der Strombörse EEX in Leipzig im jeweils vorangegangenen Quartal (Bild 4-5).

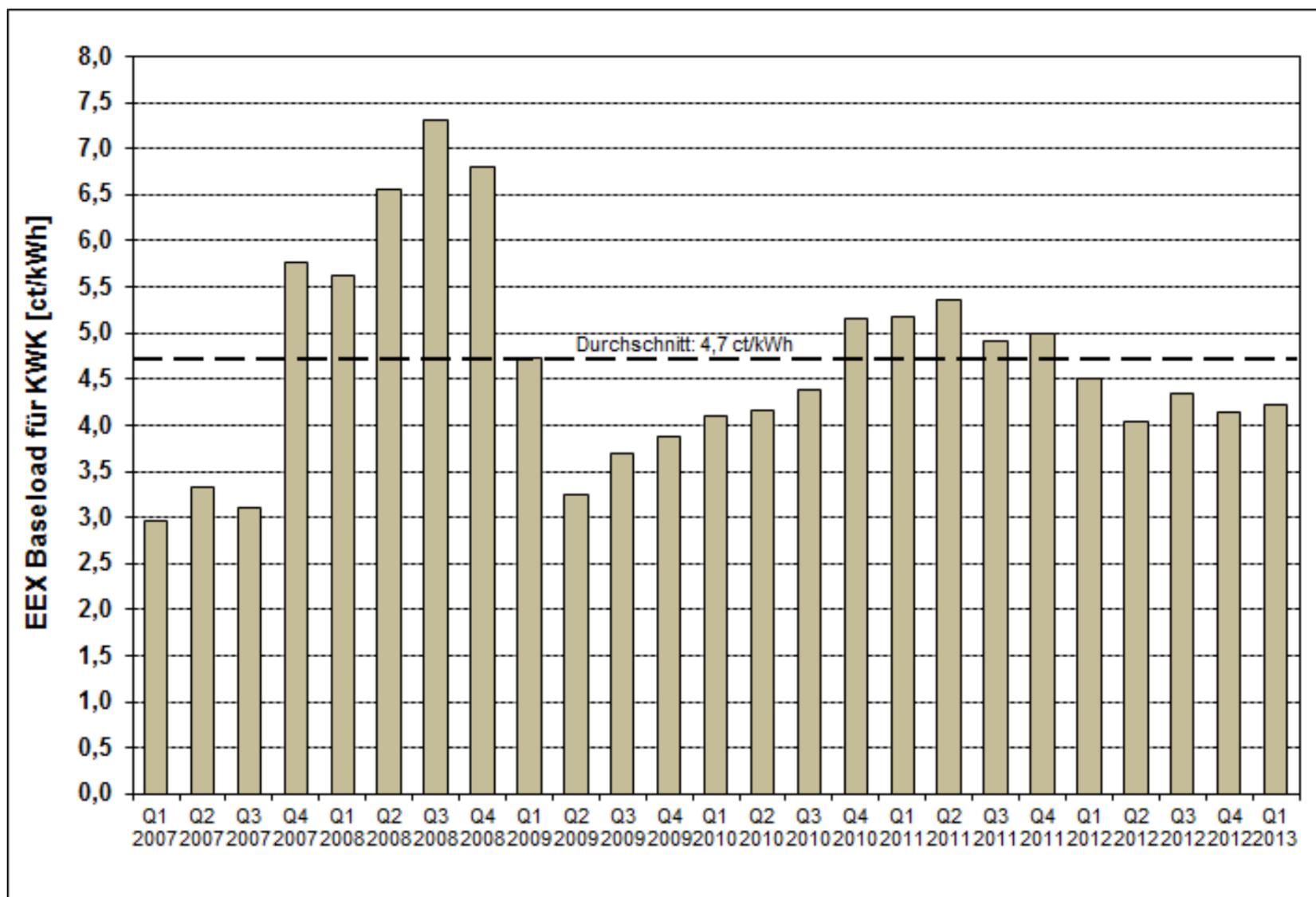


Bild 4-5: EEX-Base loadpreise (Vereinbarungspreis) der letzten Quartale

Zusätzlich wird für den gesamten erzeugten KWK-Strom (selbstgenutzt + eingespeist) ein **Zuschlag**, abhängig von der Leistungsgröße des BHKW gewährt.

Tabelle 4-2: Zuschlag für KWK-Strom nach dem KWK-Gesetz

Elektrische Leistung BHKW	ct/kWh Förderhöhe	max. Betriebsjahre	Max. Vollbenutzungsstunden
bis 50 kW	5,41	10	-
50 kW – 250 kW	4	6	30.000
250- 2 MW	2,4	6	
>2 MW	2,4	6	

Die Förderung für BHKW-Strom errechnet sich somit aus den folgenden Teilen:

#### Fördersätze für den in das EVU-Netz eingespeisten Stromanteil

- „üblicher Preis“: Strombezugspreis an der EEX-Börse (in der Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einem Preis von 4,7 ct/kWh)
- Vermeidung Netznutzungskosten 0,5 ct/kWh

#### Fördersatz für den gesamten erzeugten Stromanteil (selbstgenutzt + eingespeist)

- Zuschlag (Tabelle 4-2)

## Energiesteuer-Ersparnis

Nach dem Energiesteuergesetz (EnergieStG) werden für Brennstoffe die in begünstigten Anlagen zum Einsatz kommen niedrigere Energiesteuersätze erhoben. Ein BHKW gilt dann als "begünstigte Anlage" wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- Das BHKW muss eine ortsfeste Anlagen sein
- Wenn das Blockheizkraftwerk einen Jahresnutzungsgrad von mindestens 70% hat, wird die zuvor errichtete Energiesteuer zurückgezahlt. Bei Erdgas sind das beispielsweise 0,55 Cent/kWh.
- Die Anlagen muss vor der erstmaligen Inbetriebnahme dem zuständigen Hauptzollamt angemeldet werden.

## Weitere Brennstoffe

Um einen erneuerbaren Brennstoff einzusetzen ist es möglich, anstatt Erdgas Biogas bei einem entsprechenden Energieversorger einzukaufen. Hierbei wird i.d.R. das Biogas nicht direkt vor-Ort im BHKW genutzt. Vielmehr wird durch den Kauf von Biogas dieses an entsprechender Stelle in ein Verbundgasnetz eingespeist und der Endkunde bezieht eine Mischung aus Erdgas und dem Biogasanteil (je nach Netzzugehörigkeit auch nur Erdgas). Die Biogaseinspeisung und vor allem die Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität (mind. 96 % Methan) stellt derzeit noch ein teures Verfahren dar womit der Bezug von Biogas ebenfalls relativ teuer ist. Zukünftig kann aber bei sinkenden Biogaspreisen relativ einfach auf diesen Brennstoffbezug umgeschwenkt werden.

## Erneuerbare-Energien-Gesetz EEG

Das „Gesetz zur Neuregelung des Rechtes der Erneuerbaren Energien“ aus dem Jahre 2008 und die Änderung des Gesetzes im August 2010 gibt für den mit Biomasse betriebenen KWK-Anlagen eingespeisten Strom eine für 20 Jahre gültige feste Vergütung je nach Anlagengröße, Stromeigennutzung oder Stromeinspeisung. Die Höhe der Vergütung wird in jedem Jahr um einen bestimmten Prozentsatz geringer (Degression), so dass eine möglichst frühe Inbetriebnahme der Anlage erfolgen sollte.

Zurzeit (Mai 2013) liegt die Vergütung für **den eingespeisten Strom** einer KWK-Anlage mit Biogas bei 21,36 ct/kWh bei einer Anlage < 150 kW<sub>elekt</sub> und bei 20,51 ct/kWh bei einer Anlagengröße von >150 kW<sub>elekt</sub> bis 500 kW<sub>elekt</sub>.

Bei der EEG-Vergütung für Strom aus KWK-Anlagen mit Biomasse wird nur der ins Netz eingespeiste Strom vergütet. Bei Stromeigennutzung gibt es keine Förderung.

Die EEG-Vergütung wird entsprechend den gültigen Vergütungssätzen abzüglich einer jährlichen Degression von 1% berechnet. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Vergütungssätze für den ins Netz eingespeisten Strom für KWK-Anlagen mit Biogas in Abhängigkeit des Jahres der Inbetriebnahme.

Tabelle 4-3: Vergütungssätze nach EEG Stand 2012

Vergütungssätze nach EEG 2012	< 150 kWel	150 - 500 kWel	500 - 750 kWel	0,75 - 5 MWel	5 - 20 MWel
	[Cent/kWh]	[Cent/kWh]	[Cent/kWh]	[Cent/kWh]	[Cent/kWh]
	14,30	12,30	11,00	11,00	6,00
Einsatzstoffver- gütungsklasse I	6,00	6,00	5,00	4,00	0,00
Einsatzstoffver- gütungsklasse II	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gasaufberei- tungsbonus 700 m³/h	2,94				
Gasaufberei- tungsbonus 1000 m³/h	1,96				
Gasaufberei- tungsbonus 1400 m³/h	0,98				
Summe im Jahr 2012	21,36				
<b>Summe nach dem Jahr der Inbetriebnahme (inkl. jährlicher Degression)</b>					
2013	20,93				
2014	20,51				

## 5 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit der untersuchten Varianten wird mit der Methodik der VDI 2067 ermittelt. Dazu werden nach der Annuitätenmethode alle kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundene Kosten ermittelt und in den einzelnen Varianten gegenüber gestellt. Über den Vergleich der Gesamtkosten kann die relative Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten aufgezeigt werden und so eine Empfehlung für die wirtschaftlichste Lösung gegeben werden. Bei der Annuitätenmethode wird der Kapitalwert auf nominal gleich hohe jährliche Raten über die Nutzungsdauer verteilt. In der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung der drei Varianten werden die Kosten mit positivem Vorzeichen versehen. Am wirtschaftlichsten stellt sich demnach die Variante mit der **geringsten Annuität** dar.

Da es sich ausschließlich um die Betrachtung von technischen Maßnahmen, mit einer vergleichsweise kurzen Lebensdauer handelt, wird einheitlich eine Betrachtungszeit von 15 Jahren gewählt.

Folgende Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden verwendet:

<b>Betrachtungszeit:</b>	<b>15 Jahre</b>
<b>Kapitalzins:</b>	<b>4,0 %/a</b>
<b>Allgemeine Preissteigerung:</b>	<b>2,0 %/a</b>

Folgende Energiepreise werden bei der Berechnung zugrunde gelegt:

<b>Gaspreis:</b>	<b>5,2 Cent/kWh Brutto</b>
<b>Biogaspreis:</b>	<b>8,9 Cent/kWh Brutto</b>
<b>Strompreis:</b>	<b>18,7 Cent/kWh Brutto</b>
<b>Energiepreis Baseload EEX:</b>	<b>5,6 Cent/kWh Brutto</b>

<b>Energiepreissteigerung:</b>	<b>3,5 %/a</b>
--------------------------------	----------------

## 5.1 Investition

Für die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit werden unterschiedliche Varianten berechnet. Die nachfolgende Tabelle zeigt die unterschiedlichen Ausstattungen der Varianten:

Tabelle 5-1: Variantenübersicht

Variante	BKHW	Gaskessel
1		2x 1.250 kW
2	Gas BHKW, 1x 190 kW <sub>therm</sub> , 1x 340 kW <sub>therm</sub>	2x 1.000 kW
3	Gas BHKW 2x 215 kW <sub>therm</sub>	2x 1.050 kW
4	Gas BHKW 2x 180 kW <sub>therm</sub>	1x 1.100 kW 1x 1.050 kW
5	Gas BHKW 2x 150 kW <sub>therm</sub>	2x 1.100 kW
6	Biogas BHKW 2x 215 kW <sub>therm</sub>	2x 1.050 kW

Die nachfolgende Tabelle zeigt die für die unterschiedlichen Varianten angesetzten Investitionskosten. Alle Kostenangaben sind Bruttopreise.

Tabelle 5-2: Investitionskosten in Euro ohne Bauneben- und Planerkosten

Variante	Kostenstelle	Einheit	EP in € Brutto	Menge	Gesamt € Brutto
1	Gaskessel 1	kW	71	1.250	89.250
	Gaskessel 2	kW	71	1.250	89.250
	Speicher	m <sup>3</sup>	3.808	3	11.424
	Abgasrohr	m	440	30	13.209
	Regelung 1)	psch	40.698	1	40.698
	<b>Summe</b>				<b>243.831</b>
2	Gaskessel 1	kW	71	1.000	71.400
	Gaskessel 2	kW	71	1.000	71.400
	BHKW 1	kWel	1.190	210	249.900
	BHKW 2	kWel	1.607	110	176.715
	Speicher	m <sup>3</sup>	833	25	20.825
	Abgasrohr Kessel	m	440	30	13.209
	Abgasrohr BHKW	m	202	30	6.069
	Regelung 1)	psch	121.856	1	121.856
<b>Summe</b>				<b>731.374</b>	
3	Gaskessel 1	kW	71	1.050	74.970
	Gaskessel 2	kW	71	1.050	74.970
	BHKW 1	kWel	1.309	140	183.260
	BHKW 2	kWel	1.309	140	183.260
	Speicher	m <sup>3</sup>	833	20	16.660
	Abgasrohr Kessel	m	440	30	13.209
	Abgasrohr BHKW	m	202	30	6.069
	Regelung 1)	psch	110.432	1	110.432
	<b>Summe</b>				<b>662.830</b>
4	Gaskessel 1	kW	71	1.050	74.970
	Gaskessel 2	kW	71	1.100	78.540
	BHKW 1	kWel	1.607	115	184.748
	BHKW 2	kWel	1.607	115	184.748
	Speicher	m <sup>3</sup>	833	18	14.994
	Abgasrohr Kessel	m	440	30	13.209
	Abgasrohr BHKW	m	202	30	6.069
	Regelung 1)	psch	111.384	1	111.384
	<b>Summe</b>				<b>668.661</b>
5	Gaskessel 1	kW	71	1.100	78.540
	Gaskessel 2	kW	71	1.100	78.540
	BHKW 1	kWel	1.785	100	178.500
	BHKW 2	kWel	1.785	100	178.500
	Speicher	m <sup>3</sup>	833	15	12.495
	Abgasrohr Kessel	m	440	30	13.209
	Abgasrohr BHKW	m	202	30	6.069
	Regelung 1)	psch	109.242	1	109.242
	<b>Summe</b>				<b>655.095</b>

<sup>1)</sup> Ansatz Regelung : 20% der Investitionskosten

Kosten für Planer- und Baunebenkosten ca.15 - 20%

## 5.2 Wartung und Instandsetzung

In den nachfolgenden Tabellen sind in Anlehnung an die VDI 2067 Angaben zu Kosten für Wartung, Instandsetzung und Bedienung für die unterschiedlichen Varianten dargestellt.

Tabelle 5-3: Ansätze für Wartung, Instandsetzung und Bedienung

Variante	Kostenstelle	Investkosten	Instandsetzung	Wartung	Bedienung
		Euro	%	%	h
1	Gaskessel 1	89.250	1,0	1,5	20,0
	Gaskessel 2	89.250	1,0	1,5	20,0
	Speicher	11.424	1,0	0,5	-
	Abgasrohr	13.209	-	-	-
	Regelung	40.698	1,0	1,0	1,0
	<b>Summe</b>	<b>243.831</b>			
2	Gaskessel 1	71.400	1,0	1,5	20,0
	Gaskessel 2	71.400	1,0	1,5	20,0
	BHKW 1	249.900	6,0	2,0	100,0
	BHKW 2	176.715	6,0	2,0	100,0
	Speicher	20.825	1,0	0,5	-
	Abgasrohr Kessel	13.209	-	-	-
	Abgasrohr BHKW	6.069	-	-	-
	Regelung	121.856	1,0	1,0	1,0
	<b>Summe</b>	<b>731.374</b>			
3	Gaskessel 1	74.970	1,0	1,5	20,0
	Gaskessel 2	74.970	1,0	1,5	20,0
	BHKW 1	183.260	6,0	2,0	100,0
	BHKW 2	183.260	6,0	2,0	100,0
	Speicher	16.660	1,0	0,5	-
	Abgasrohr Kessel	13.209	-	-	-
	Abgasrohr BHKW	6.069	-	-	-
	Regelung	110.432	1,0	1,0	1,0
	<b>Summe</b>	<b>662.830</b>			
4	Gaskessel 1	74.970	1,0	1,5	20,0
	Gaskessel 1	78.540	1,0	1,5	20,0
	BHKW 1	184.748	6,0	2,0	100,0
	BHKW 2	184.748	6,0	2,0	100,0
	Speicher	14.994	1,0	0,5	-
	Abgasrohr Kessel	13.209	-	-	-
	Abgasrohr BHKW	6.069	-	-	-
	Regelung	111.384	1,0	1,0	1
	<b>Summe</b>	<b>668.661</b>			
5	Gaskessel 1	78.540	1,0	1,5	20,0
	Gaskessel 1	78.540	1,0	1,5	20,0
	BHKW 1	178.500	6,0	2,0	100,0
	BHKW 2	178.500	6,0	2,0	100,0
	Speicher	12.495	1,0	0,5	-
	Abgasrohr Kessel	13.209	-	-	-
	Abgasrohr BHKW	6.069	-	-	-
	Regelung	109.242	1,0	1,0	1
<b>Summe</b>	<b>655.095</b>				

Die Ansätze für Variante 6 (Biogas) sind simultan zur Variante 3.

Tabelle 5-4: Kosten für Wartung, Instandsetzung und Bedienung in Euro Brutto

Variante	Kostenstelle	Investkosten	Instand- setzung	Wartung	Bedienung	Summe
		Euro	Euro	Euro	Euro	Euro
1	Gaskessel 1	89.250	893	1.339	600	2.831
	Gaskessel 2	89.250	893	1.339	600	2.831
	Speicher	11.424	114	57	0	171
	Abgasrohr	13.209	0	0	0	0
	Regelung	40.698	407	407	30	844
	<b>Summe</b>	<b>243.831</b>	<b>2.306</b>	<b>3.142</b>	<b>1.230</b>	<b>6.678</b>
2	Gaskessel 1	71.400	714	1.071	600	2.385
	Gaskessel 2	71.400	714	1.071	600	2.385
	BHKW 1	249.900	14.994	4.998	3.000	22.992
	BHKW 2	176.715	10.603	3.534	3.000	17.137
	Speicher	20.825	208	104	0	312
	Abgasrohr Kessel	13.209	0	0	0	0
	Abgasrohr BHKW	6.069	0	0	0	0
	Regelung	121.856	1.219	1.219	30	2.467
<b>Summe</b>	<b>731.374</b>	<b>28.452</b>	<b>11.997</b>	<b>7.230</b>	<b>47.679</b>	
3	Gaskessel 1	74.970	750	1.125	600	2.474
	Gaskessel 2	74.970	750	1.125	600	2.474
	BHKW 1	183.260	10.996	3.665	3.000	17.661
	BHKW 2	183.260	10.996	3.665	3.000	17.661
	Speicher	16.660	167	83	0	250
	Abgasrohr Kessel	13.209	0	0	0	0
	Abgasrohr BHKW	6.069	0	0	0	0
	Regelung	110.432	0	1.104	30	1.134
<b>Summe</b>	<b>662.830</b>	<b>23.657</b>	<b>10.767</b>	<b>7.230</b>	<b>41.654</b>	
4	Gaskessel 1	74.970	750	1.125	600	2.474
	Gaskessel 1	78.540	785	1.178	600	2.564
	BHKW 1	184.748	11.085	3.695	3.000	17.780
	BHKW 2	184.748	11.085	3.695	3.000	17.780
	Speicher	14.994	150	75	0	225
	Abgasrohr Kessel	13.209	0	0	0	0
	Abgasrohr BHKW	6.069	0	0	0	0
	Regelung	111.384	1.114	1.114	30	2.258
<b>Summe</b>	<b>668.661</b>	<b>24.969</b>	<b>10.881</b>	<b>7.230</b>	<b>43.080</b>	
5	Gaskessel 1	78.540	785	1.178	600	2.564
	Gaskessel 1	78.540	785	1.178	600	2.564
	BHKW 1	178.500	10.710	3.570	3.000	17.280
	BHKW 2	178.500	10.710	3.570	3.000	17.280
	Speicher	12.495	125	62	0	187
	Abgasrohr Kessel	13.209	0	0	0	0
	Abgasrohr BHKW	6.069	0	0	0	0
	Regelung	109.242	1.092	1.092	30	2.215
<b>Summe</b>	<b>655.095</b>	<b>24.208</b>	<b>10.651</b>	<b>7.230</b>	<b>42.089</b>	

Die Kosten für Variante 6 (Biogas) sind simultan zur Variante 3.

### 5.3 Ergebnisse

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Berechnungsübersicht der Wirtschaftlichkeit für die unterschiedlichen Varianten.

Tabelle 5-5: Wirtschaftlichkeitsberechnung

Beschreibung	Einheit	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
		Erdgas-Kessel und EVU Strom	Erdgas-BHKW 190+340 kW therm, 39% Stromeigen-nutzung	Erdgas-BHKW 2*215kW therm, 45% Stromeigen-nutzung	Erdgas-BHKW 2*180kW therm, 51% Stromeigen-nutzung	Erdgas-BHKW 2*150kW therm, 58% Stromeigen-nutzung	Biogas-BHKW 2*215kW therm, 0% Stromeigen-nutzung
<b>Technische Kenndaten</b>							
Heizenergiebedarf	[kWh/a]	5.171.000	5.171.000	5.171.000	5.171.000	5.171.000	5.171.000
Endenergiebedarf Strom	[kWh/a]	900.000	900.000	900.000	900.000	900.000	900.000
thermische Leistung BHKW	[kWth]		536	430	360	300	430
elektrische Leistung BHKW	[kWel]		320	280	230	200	280
Laufzeit BHKW	[h/a]		5.400	6.000	6.450	6.850	6.000
Wirkungsgrad BHKW thermisch	[%]		55%	55%	55%	55%	55%
Deckung Wärmebedarf BHKW	[kWh/a]		2.894.400	2.580.000	2.322.000	2.055.000	2.580.000
Brennstoffinput BHKW	[kWh/a]		5.262.545	4.690.909	4.221.818	3.736.364	4.690.909
Ertrag Strom	[kWh/a]		1.728.000	1.680.000	1.483.500	1.370.000	1.680.000
Anteil Strom-Eigennutzung	[%]		39%	45%	51%	58%	0%
Strom-Eigennutzung	[kWh/a]		673.920	756.000	756.585	794.600	0
CO <sub>2</sub> -Faktor Brennstoff Wärme	[gCO <sub>2</sub> /kWh]		202	202	202	202	0
thermische Leistung Heizsystem 1	[kWth]	2.500	2.000	2.100	2.150	2.200	2.100
Wirkungsgrad Heizsystem 1 thermisch	[%]	90,00%	90,00%	90,00%	90,00%	90,00%	90,00%
Deckung Wärmebedarf Heizsystem 1	[kWh/a]	5.171.000	2.276.600	2.591.000	2.849.000	3.116.000	2.591.000
Brennstoffinput Heizsystem 1	[kWh/a]	5.745.556	2.529.556	2.878.889	3.165.556	3.462.222	2.878.889
CO <sub>2</sub> -Faktor Brennstoff	[gCO <sub>2</sub> /kWh]	202	202	202	202	202	202
Strombezug EVU	[kWh/a]	900.000	226.080	144.000	143.415	105.400	900.000
CO <sub>2</sub> -Faktor Strommix	[gCO <sub>2</sub> /kWh]	565	565	565	565	565	565
CO <sub>2</sub> -Emissionen gesamt	t/a	1.669	1.702	1.610	1.573	1.514	1.090
CO <sub>2</sub> -Emissionen mit Gutschrift des eingespeisten Stroms	t/a	1.669	1.106	1.088	1.163	1.189	141
<b>kapitalgebundene Kosten</b>							
Investitionskosten	[€]	243.831	731.374	662.830	668.661	655.095	662.830
Faktor Instandsetzung	[%/a]	0,9%	3,9%	3,6%	3,7%	3,7%	3,6%
Instandsetzungskosten im 1. Jahr	[€/a]	2.306	28.452	23.657	24.969	24.208	23.657
Annuität kapitalgebundener Kosten	[€/a]	<b>24.551</b>	<b>98.112</b>	<b>86.498</b>	<b>88.513</b>	<b>86.429</b>	<b>86.498</b>
<b>bedarfsgebundene Kosten</b>							
Energiekosten BHKW im 1. Jahr	[€/a]	0	276.799	246.732	222.059	196.525	418.664
Energiekosten Heizsystem 1 im 1. Jahr	[€/kWh]	302.205	133.050	151.424	166.502	182.106	151.424
Energiekosten Heizsystem 2 im 1. Jahr	[€/kWh]	0	0	0	0	0	0
Energiekosten Strom EVU im 1. Jahr	[€/kWh]	168.147	42.239	26.904	26.794	19.692	168.147
Energiekosten im 1. Jahr	[€/a]	470.352	452.087	425.060	415.355	398.323	738.234
Annuität bedarfsgebundener Kosten	[€/a]	<b>590.041</b>	<b>567.129</b>	<b>533.224</b>	<b>521.050</b>	<b>499.683</b>	<b>926.091</b>
<b>betriebsgebundene Kosten</b>							
Wartung und Reinigung	[%/a]	1,8%	2,6%	2,7%	2,7%	2,7%	2,7%
Bedienung (100 h/a und 30 €/h)	[€/a]	1.230	7.230	7.230	7.230	7.230	7.230
betriebsgebundene Kosten im 1. Jahr	[€]	4.372	19.228	17.997	18.111	17.882	17.997
Annuität betriebsgebundener Kosten	[€/a]	<b>6.365</b>	<b>30.065</b>	<b>28.667</b>	<b>28.797</b>	<b>28.536</b>	<b>28.667</b>
<b>sonstige Kosten</b>							
EEG-Förderung Stromeinspeisung ab 2012	[€/kWh]						0,210
Vergütung nach KWKG-Gesetz ab 2012	[€/kWh]		0,076	0,070	0,065	0,0588	
Stromvergütung gesamt im 1. Jahr	[€/a]	0	-130.464	-117.600	-96.724	-80.537	-352.800
Annuität der sonstigen Kosten	[€/a]	<b>0</b>	<b>-130.464</b>	<b>-117.600</b>	<b>-96.724</b>	<b>-80.537</b>	<b>-352.800</b>
<b>Annuitäten der Gesamtzahlungen</b>							
kapital-, bedarfs-, betriebsgebundene und sonstige Kosten	[€/a]	<b>620.957</b>	<b>564.842</b>	<b>530.789</b>	<b>541.635</b>	<b>534.111</b>	<b>688.456</b>
<b>Amortisationszeiten</b>							
dynamisch (inkl. Preissteigerungen und Diskontieru	[a]		8,5	6,1	6,7	6,2	>15 a

<sup>1)</sup> Kosten für Instandsetzung, Wartung und Bedienung gemäß Kapitel 5.2

<sup>2)</sup> Investitionskosten in Euro Brutto ohne Bauneben- und Planerkosten (ca. 15-20%)

Die Berechnung nach VDI 2067 zeigt, dass sich bis auf die Biogas-Variante, alle Varianten innerhalb von 15 Jahren amortisieren. Am besten schneidet dabei die Variante 3 ab (Gas-BHKW 2x215 kW<sub>therm</sub>), da mit der hier gewählten Größe sehr hohe Laufzeiten und damit eine gute Ausnutzung der BHKW erzielt werden kann.

## 6 Zusammenfassung und Empfehlung

Seit 1995 wird auf der Liegenschaft der Schul- und Sportzentrum Meckenheim die Wärmeerzeugung über 2 BHKW und 2 Gaskessel betrieben. Die Wärme wird über ein Nahwärmenetz in die angrenzenden Gebäude geführt. Mittlerweile haben die Kessel bzw. die BHKW ihre rechnerische Lebensdauer überschritten. Im Jahr 2010 ging das erste BHKW (kleineres Modul 190 kW<sub>therm</sub>) mit einem Schaden außer Betrieb.

Hierdurch entstand der Anlass, die bisherige Energieversorgung der Liegenschaft zu prüfen bzw. auszuwerten und die Ergebnisse in einem neuen Energieversorgungskonzept zu untersuchen.

Die Untersuchung erfolgte in 2 Abschnitten. Zum einen wurde der vorhandene Betrieb der Kessel und der BHKW anhand der umfangreichen vorliegenden Daten analysiert und ausgewertet. Danach wurde auch im Hinblick auf die zukünftige Situation der Liegenschaft, die Erweiterung durch das Rathaus, die erforderliche Heizleistung abgeleitet und eine Lastgangkurve ermittelt. Hierdurch ist es möglich, ein genau auf die Liegenschaft angepasstes Energiekonzept aufzustellen.

### Bestandsauswertung

Die Auswertung der Bestandunterlagen ergab folgendes Ergebnis:  
Insgesamt sind folgende Kessel- bzw. BHKW Leistungen installiert:

- 1x Gas-BHKW 190 kW<sub>therm</sub>
- 1x Gas-BHKW 340 kW<sub>therm</sub>
- 2 x Gaskessel mit jeweils 1.250 kW

Die installierte Heizleistung liegt damit bei rund 3 MW.

Die Auswertung der Gasverbräuche (stündliche Werte aus den Jahren 2011 und 2012) ergaben, dass zu keiner Zeit die 3.000 kW Heizleistung erforderlich waren. Die maximale Heizleistung, die in den beiden Jahren aufgetreten ist, liegt bei rund 2.200 kW. Die installierte Heizleistung liegt damit zu hoch und kann auf 2.500 kW (inkl. der Heizleistung für das zukünftige Rathaus) reduziert werden.

Die beiden BHKW liefen in den letzten Jahren im Durchschnitt an rund 3.600 Volllaststunden im Jahr. Dabei wurde im Schnitt rund 60% des erzeugten Stroms auf der eigenen Liegenschaft verbraucht, der Rest wurde ins öffentliche Netz eingespeist.

Weiterhin ist auffällig, dass der Stromverbrauch seit 2008 abgenommen hat. Dies kommt durch einige technische Verbesserungen, wie z.B. Reduzierung der Leistung ausgewählter Pumpen. Zudem erfolgte eine Abschaltung der elektrisch betriebenen Nachtspeicheröfen in der Realschule. Die Realschule wird jetzt mittels des Nahwärmenetzes versorgt.

Die Auswertung der stündlichen Wärmeverbräuche der Gesamtliegenschaft zeigen deutlich, dass ganzjährig ein Wärmebedarf vorhanden ist. Der Wärmebedarf des ganzjährigen Verbrauchers „Hallenbad“ hat dabei im Gegensatz zur ersten Untersuchung zugenommen. Aus der Jahresdauerlinie kann entnommen werden, dass für den Sommerbetrieb ein BHKW mit ca. 200kW<sub>therm</sub> am besten für die Liegenschaft geeignet ist.

## Zukünftiges Energiekonzept

Bei der Untersuchung der möglichen Energieversorgung der Liegenschaft wurden zwei Aspekte betrachtet:

- Wirtschaftlichkeit
- Nachhaltigkeit bzw. der Einsatz erneuerbarer Energien

Die Untersuchung einer Photovoltaikanlage wurde ausgeklammert, da bereits Photovoltaikanlagen auf der Liegenschaft installiert sind.

Bei der Untersuchung wurden insgesamt 5 Varianten gegenübergestellt:

### **Variante 1:**

Niedertemperaturkessel 1.250 kW (Spitzenlast), Brennwertkessel 1.250 kW (Grund- und Mittellast)

### **Variante 2:**

Niedertemperaturkessel 1.000 kW (Spitzenlast), Brennwertkessel 1.000 kW (Mittellast) , Gas BHKW 190 kW<sub>therm</sub> und 340 kW<sub>therm</sub> (Grundlast)

### **Variante 3:**

Niedertemperaturkessel 1.050 kW (Spitzenlast), Brennwertkessel 1.050 kW (Mittellast), Gas BHKW, 2x 215 kW<sub>therm</sub> (Grundlast)

### **Variante 4:**

Niedertemperaturkessel 1.100 kW (Spitzenlast), Brennwertkessel 1.050 kW (Mittellast)), Gas BHKW, 2x 180 kW<sub>therm</sub>(Grundlast)

### **Variante 5:**

Niedertemperaturkessel 1.100 kW (Spitzenlast), Brennwertkessel 1.100 kW (Mittellast) , Gas BHKW, 2x 150 kW<sub>therm</sub>(Grundlast)

### **Variante 6:**

Niedertemperaturkessel 1.050 kW (Spitzenlast), Brennwertkessel 1.050 kW (Mittellast), Biogas BHKW, 2x 215 kW<sub>therm</sub> (Grundlast)

Die Variante mit den kürzesten Amortisationszeiten (ca. 6 Jahre) ist die Variante 3, bei der zwei BHKW Module (2x 215kW<sub>therm</sub>) installiert werden. Variante 4 und 5 weisen nur geringfügig höhere Amortisationszeiten auf, jedoch ist in diesem Fall Variante 3 zu empfehlen, da hier der höchste Stromertrag und somit auch die höchste Einspeisevergütung für den überschüssigen Strom zu generieren ist.

Bei Verwendung von Biogas anstatt Erdgas erhöht sich die Amortisationszeit von Variante 3 auf 16 Jahre.

Bei der Berücksichtigung der Nachhaltigkeit (CO<sub>2</sub>- Emissionen) weist die Variante 3 mit 1.088 t/a die geringsten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf (35% geringer als bei Einsatz eines Gaskessels). Hierbei ist eine CO<sub>2</sub>-Gutschrift des ins Netz gespeisten Stroms berücksichtigt. Bei Verwendung von Biogas anstatt Erdgas, verringern sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf 141 t/a (-92 % gegenüber Standardvariante 1).

Der Zukauf von Biogas erfolgt nach dem gleichen Prinzip wie der Kauf von Ökostrom. Die Produktion des Biogases erfolgt an einer anderen Stelle und wird dann ins Netz eingespeist.

Die Erhöhung des Anteils an Biogas auf der Liegenschaft ist dadurch natürlich möglich und ausbaufähig.

## Empfehlung

Aufgrund der schon vorhandenen Infrastruktur (geringe bzw. keine großen Umbaukosten) für zwei Gaskessel und zwei BHKW empfehlen wir den Einsatz von 2 x 1.050 kW Gaskessel (Niedertemperatur- und Brennwertkessel) mit 2 x 215 kW<sub>therm</sub> Gas-BHKW. Der Einsatz von Biogas ist aus Umweltschutzgründen zu empfehlen, jedoch ist der weitere Verlauf der Bezugskosten zu beobachten, da die jetzigen Energiepreise zu keiner wirtschaftlichen Variante führen.

Köln, den 17. Juli 2013



i.V. Julia Blume



i.A. Daniel Kühler