



# Energiebericht 2012

Gebäudemanagement der  
Stadt Ludwigshafen am Rhein

## **Impressum**

Herausgeberin:  
Stadtverwaltung Ludwigshafen  
Bereich Gebäudemanagement  
Rathausplatz 20  
67059 Ludwigshafen am Rhein  
[www.ludwigshafen.de](http://www.ludwigshafen.de)

Verfasser:  
Dipl.-Ing. (FH) Klaus-Dieter Schleißinger  
Abteilung 4-133 Technik /Team Energiecontrolling  
Telefon: 0621/504-4654  
Telefax: 0621/504-4606  
E-Mail: [klaus-dieter.schleissinger@ludwigshafen.de](mailto:klaus-dieter.schleissinger@ludwigshafen.de)

November 2012

## Vorwort

Am 11. März 2011 löste ein Erdbeben vor Japans Küste und der dadurch verursachte Tsunami verheerende Zerstörungen und Leid auf dem Festland aus. Es kam zu einer Kernschmelze in den Atomanlagen von Fukushima.

Dieses tragische Ereignis war Auslöser für ein grundsätzliches Umdenken in der Energiepolitik in Deutschland, es kam zur sogenannten Energiewende. Ein Kernpunkt ist der Ausstieg aus der Nutzung der Kernkraft zur Elektrizitätserzeugung.

Die Realisierung der Energiewende setzt das größte Modernisierungs- und Infrastrukturpaket der nächsten Jahrzehnte voraus.

Falsch wäre es, die Energiewende lediglich im Hinblick auf die Stromerzeugung zu diskutieren. Angesichts der Tatsache, dass 40 Prozent des Endenergieverbrauchs in Deutschland der Wärmeversorgung von Gebäuden dienen, ist es unumgänglich, die Energiewende auch auf die Wärmeerzeugung auszudehnen, damit fossile Brennstoffe bald überflüssig werden. Dabei sollen nicht mehr zentrale Großanlagen, sondern dezentrale und wenn möglich regenerative Modelle zum Tragen kommen.

Neben der effizienten Strom- und Wärmeproduktion durch moderne dezentrale Anlagen sind aber auch die weiter bestehenden Anlagen dringend energetisch zu optimieren und ihre Effizienz zu steigern.

Ein nicht minder wichtiges Betätigungsfeld ist die energetische Sanierung der Bausubstanz bestehender Liegenschaften. Durch einen verbesserten Wärmeschutz werden große Energieeinsparungen erzielt und die Betriebskosten deutlich gesenkt. Vor allem durch die in Zukunft noch steigenden Energiepreise ist eine Minimierung der Betriebskosten unbedingt geboten. Bei Neubauten und Sanierungen ist es sinnvoll, soweit wirtschaftlich vertretbar, den Passivhaus-Standard anzustreben. Gerade als Kommune sollte die Stadt Ludwigshafen in Hinsicht auf Betriebskostenminimierung, Klimaschutz und wirtschaftlichen Bau- en vorbildlich agieren.

Diese Betrachtungen und Bemühungen zählen neben der Vielzahl von Betätigungsfeldern zu den Kernaufgaben des Gebäudemanagements und des Energiecontrollings, das mit seinen Initiativen den davon laufenden Energiekosten entgegen wirkt und nachhaltige Einsparungen erzielt. Die ausgearbeiteten und umgesetzten Maßnahmen wirken sich darüber hinaus durch die damit verbundene Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen positiv auf den Klimaschutz aus.

Dieser Energiebericht zeigt, dass wir als Stadt Ludwigshafen mit unseren kommunalen Gebäuden auf einem guten Weg sind.

Mein Dank gilt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Bereichs Gebäudemanagement, die im Zeitalter schmaler Haushalte mit großem Engagement und intelligenten Lösungen eine nachhaltige, sichere und zukunftsfähige Energiewirtschaft in den städtischen Liegenschaften gewährleisten.

Ludwigshafen am Rhein, November 2012

A handwritten signature in black ink that reads "Klaus Dillinger". The script is cursive and fluid, with the first letters of "Klaus" and "Dillinger" being capitalized and prominent.

Klaus Dillinger

Bau- und Umweltdezernent

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	4
2. Verbrauchs- und Kostenentwicklung 2000 - 2011 .....	5
2.1 Strom.....	6
2.1.1 Strompreis.....	6
2.1.2 Stromverbrauch und Kosten .....	8
2.2 Wärme.....	9
2.2.1 Erdgas.....	9
2.2.2 Heizöl .....	11
2.2.3 Fernwärme .....	13
2.2.4 Holzpellets .....	15
2.2.5 Wärme Contracting-34-Schulen.....	16
2.2.6 Gesamtbetrachtung WÄRME.....	20
2.3 Kälte .....	22
2.4 Wasser/Abwasser .....	23
2.5 Gesamtbetrachtung Energie und Wasser .....	25
2.5.1 Entwicklung Gesamtkosten.....	25
2.5.2 Entwicklung der CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	26
2.6 Verbrauch und Kosten im Berichtsjahr 2011 .....	28
3. Energiecontrolling.....	30
3.1 Manuelles Verbrauchscontrolling .....	30
3.2 Gebäudeleittechnik (GLT) .....	31
4. Photovoltaik auf öffentlichen Dächern .....	33
5. Fernwärmeausbauprogramm .....	36
6. Beispiel für umgesetzte Energiekonzepte .....	38
6.1 Volkshochschule Ludwigshafen (Umstellung auf Fernwärme) .....	38
6.2 Rupprecht- /Kopernikus-Schule (BHKW) .....	40
6.3 Sporthalle Adlerdamm (Holzhackschnitzel-Heizanlage).....	42
7. Ausblick.....	44
7.1 Luzie (BHKW und Brennwertkessel) in Umsetzung .....	44
7.2 Neubau KTS Abenteuerland (Holzpellets- Heizung) in Umsetzung ....	48

## 1. Einleitung

Dieser Bericht behandelt die Objekte im Zuständigkeitsbereich des Gebäudemanagement.

Der Energiebericht bezieht seinen energiestatistischen Teil (Kapitel 2) auf die Jahre 2000 bis 2011. Die hier genannten Verbräuche, Preise und Kosten basieren auf Daten, die von der Abteilung kaufmännisches Gebäudemanagement, zuständig für den zentralen Energie- und Wassereinkauf, zur Verfügung gestellt wurden.

Es wird die Verbrauchs- und Kostenentwicklung von Energie und Wasser dargestellt, sowie ein Überblick über die Gesamtsituation für das Berichtsjahr 2011 gegeben.

Die Gesamtaufwendungen für Energie und Wasser für die Objekte des Gebäudemanagement betragen im Jahr 2000 noch rund 5,45 Mio. Euro. Im Jahr 2011 mussten infolge der Energiepreissteigerung schon 7,51 Mio. Euro bezahlt werden. Dies entspricht einer Kostensteigerung von 38 % in gerade mal 11 Jahren. Und das, obwohl im gleichen Zeitraum die Verbrauchswerte um 29 % gesenkt werden konnten. Daraus wird deutlich, wie wichtig eine effiziente Energiebewirtschaftung der öffentlichen Liegenschaften ist. Bei unveränderten Verbrauchswerten hätten in 2011 schon über 10,5 Mio. Euro, also 3,0 Mio. Euro mehr, aufgewendet werden müssen. In Zeitraum 2000 bis 2011 haben sich die Energiepreise fast verdoppelt!

Ab Kapitel 3 wird über das Betätigungsfeld des Energiecontrollings und die Maßnahmen innerhalb des Gebäudemanagement zu Energieeffizienz, Kostenoptimierung und Ressourcenschonung berichtet. Durch ständiges Controlling der Betriebsparameter von Energieanlagen und Wärmeerzeugern und durch energiesparendes Verhalten der Nutzer lassen sich erhebliche Mengen an Energie einsparen.

All diese Maßnahmen stoßen allerdings an ihre Grenzen, wenn die technischen Anlagen veraltet und die Bausubstanz dringend sanierungsbedürftig ist.

Die – immer im Rahmen der finanziellen Möglichkeiten – vorgenommenen und dringend notwendigen Bauunterhalts- und Sanierungsmaßnahmen führen durch die gleichzeitige Verbesserung des energetischen Standards von Bau und Technik zu Verbrauchs- und Kostensenkungen.

Im vorliegenden Bericht werden herausragende Projekte beschrieben und ein Ausblick über angelaufene/geplante Projekte gegeben. Anhand dieser Beispiele wird deutlich, welche Einsparpotentiale öffentliche Liegenschaften nach wie vor bergen.

## **2. Verbrauchs- und Kostenentwicklung 2000 - 2011**

Die Lieferung leitungsgebundener Energie (Strom, Erdgas, Fernwärme, Fernkälte) und Wasser für die städtischen Liegenschaften erfolgt bis auf wenige Ausnahmen durch die Technischen Werke Ludwigshafen AG (TWL). Heizöl wird über verschiedene und wechselnde Brennstoffhändler aus der Region beschafft.

Regenerativen Energiequellen werden über thermische Solaranlagen sowie Photovoltaik-Anlagen und in jüngster Zeit verstärkt über Biomasse (Holzpellets und Holzhackschnitzel) genutzt.

Betrachtet wird die Verbrauchs- und Kostenentwicklung für alle Objekte im Zuständigkeitsbereich des Gebäudemanagement der Stadt Ludwigshafen.

Alle Preise verstehen sich als Brutto-Preise inkl. sämtlicher Abgaben und Steuern.

Erfasst werden die Verbrauchsmengen und Zahlungen jeweils eines Haushaltsjahres. Bei vergleichenden Betrachtungen, Analysen und bei der Beurteilung einzelner Abnahmestellen kommen die witterungsbereinigten Jahresverbräuche der Kalenderjahre sowie die entsprechenden Tarifpreise für Energie zum Ansatz.

## 2.1 Strom

### 2.1.1 Strompreis

Die Bezugskonditionen mit den TWL blieben seit 1999 bis einschließlich 2003 aufgrund einer in 1999 abgeschlossenen Rahmenvereinbarung unverändert. Die Preiserhöhung in diesem Zeitraum resultiert aus den zunehmenden staatlichen Abgaben und Energiesteuern (Erneuerbare-Energien-Gesetz EEG, Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz KWKG und Stromsteuer).

Ab dem Jahr 2003/2004 wurden die Tarif- und Verbrauchsstrukturen sämtlicher Stromabnahmestellen systematisch analysiert. Darauf aufbauend konnten Tarifoptimierungen, und Rabattregelungen in einer neuen Rahmenvereinbarung festgeschrieben werden. Gleichzeitig wurde die Zahl der zu Anwendung kommenden Tarife drastisch reduziert, was letztlich auch zur Vereinfachung des Controllings führte. Die dadurch zeitweise erzielten Preisvorteile wurden in den folgenden Jahren durch Preisadjustierungen (Preissteigerungen auf dem Energiemarkt) wieder weitgehend aufgezehrt.

Ab 2006 wurde die Stromlieferung auf eine völlig andere Basis gestellt. Mit den TWL wurde das Prinzip der „strukturellen Beschaffung“ für sämtliche städtischen Einrichtungen (inkl. Straßenbeleuchtung und Wirtschaftsbetriebe WBL) vereinbart. Dabei handelt es sich um eine Gesamtstrommenge von rund 29.000 MWh.

Das Konzept sieht vor, dass die TWL im Auftrag der Stadt den Strom direkt an der Strombörse (EEX) beschafft. Das TWL-Beschaffungsmanagement ermöglicht der Stadtverwaltung die flexible Strombeschaffung an den Großhandelsmärkten. Die Stadtverwaltung deckt sich z.B. kurz- oder langfristig über gemeinsame Beschaffungsaktionen durch die TWL ein, um ihre offenen Positionen zu schließen. Der Beschaffungszeitraum für die Lieferung im Kalenderjahr 2008 dauerte beispielsweise vom 01.01.2006 bis zum 30.06.2007. Es werden Jahres-Base (Grundlast) und Jahres-Peak (Spitzenlast) beschafft. Die TWL geben eine Garantie für die jeweils günstigsten Konditionen. Die TWL treten als Dienstleister auf und geben diese Preise zuzüglich einer Pauschale pro Abnahmestelle eins zu eins an die Stadt weiter.

Abrechnungstechnisch werden die bisherigen Tarife weitergeführt, um eine objektbezogene „spitze Abrechnung“ vornehmen zu können. Unter-

und Überzahlungen aufgrund schwankender Verbrauchswerte werden nach Ablauf des Abrechnungsjahres ausgeglichen.

Aufgrund der zum Teil dramatischen Preissteigerungen auf dem gesamten Energiesektor ab 2006 ist mit einer durchschnittlichen jährlichen Stromkostensteigerung von über 6 % zu rechnen.

Bild 1 zeigt die Entwicklung des Brutto-Jahresdurchschnittspreises inklusive aller Steuern und Abgaben:

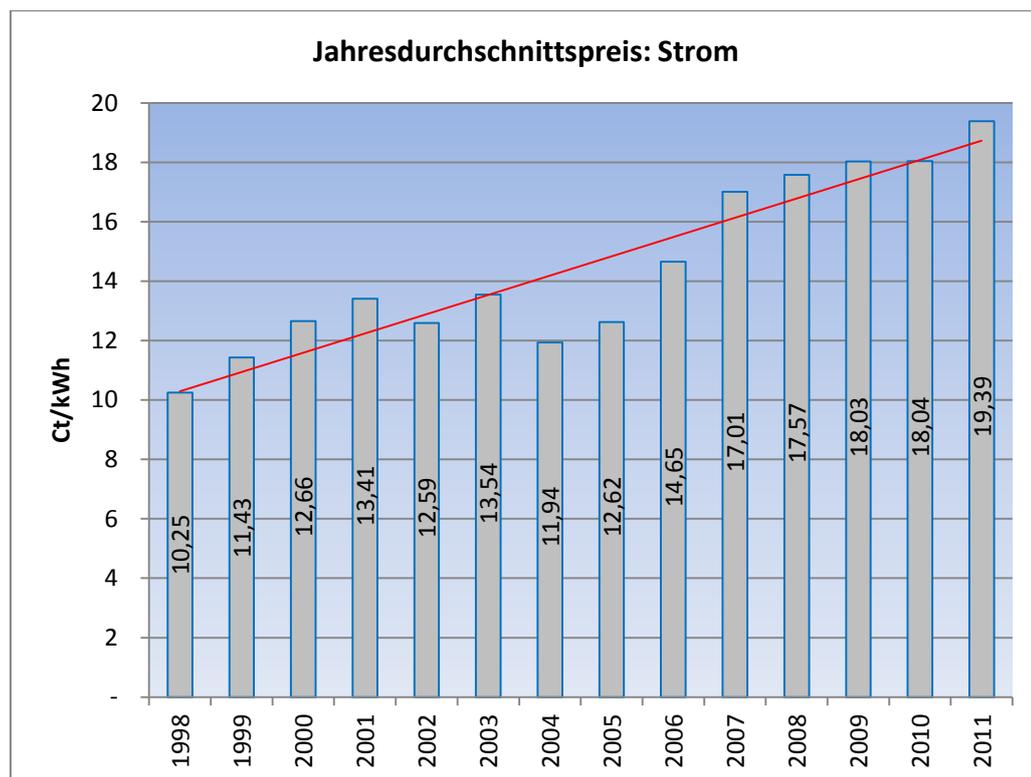


Bild 1: Strompreisentwicklung öffentlicher Liegenschaften 1998 – 2011

## 2.1.2 Stromverbrauch und Kosten

Die Verbrauchs- und Kostenentwicklung für alle vom Gebäudemanagement verwalteten öffentlichen Liegenschaften wird aus Bild 2 deutlich:

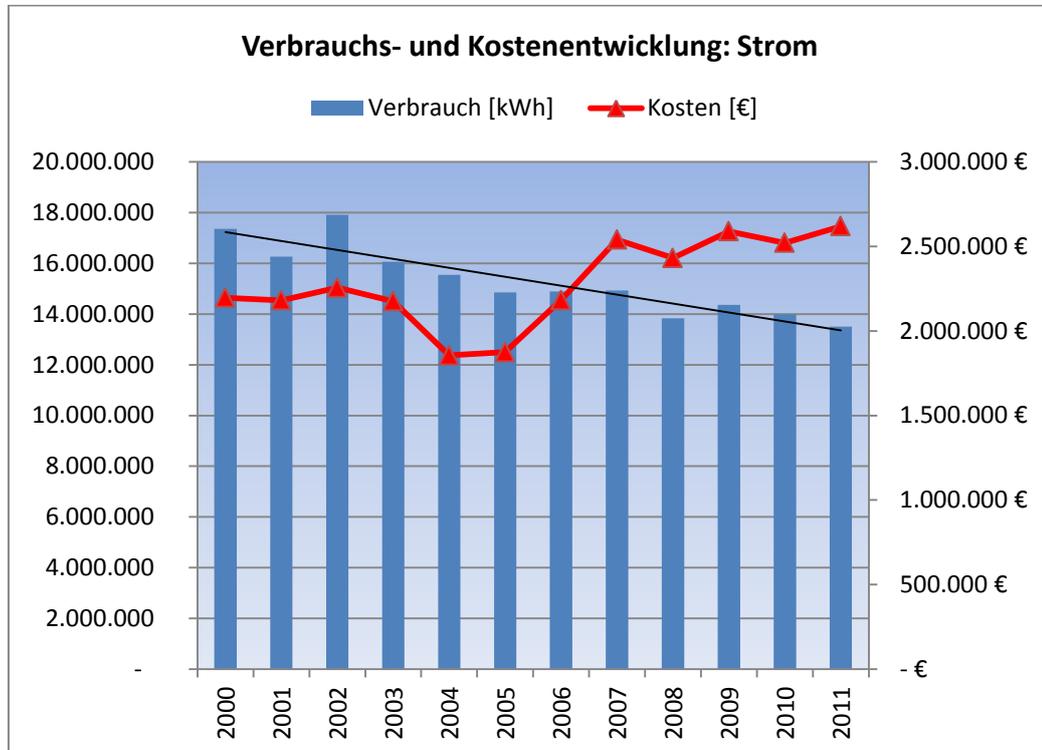


Bild 2: Verbrauchs- und Kostenentwicklung Strom

Der Stromverbrauch weist über den betrachteten Zeitraum eine fallende Tendenz auf. Dies ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen. Zum einen machen sich die verbrauchsensenkenden Maßnahmen, wie z.B. Beleuchtungssanierung, EDV-Modernisierung, Heizungspumpenerneuerung, Antriebe, Lüftungsmotoren, etc. bemerkbar, zum anderen erfolgt seit 2003 eine systematische Flächenoptimierung durch Verkauf von Objekten und Entmietung.

Dennoch konnte das Ansteigen der Stromkosten infolge starker Strompreiserhöhung durch die Maßnahmen nicht ganz kompensiert werden.

Im Jahr 2011 bezahlte das Gebäudemanagement für „seine“ Objekte (Verbrauch 13.510 MWh Strom) rund 2,619 Mio. Euro. Bei gleichbleibendem Verbrauchsniveau wie im Jahr 2000 (17.350 MWh Strom) müssten bei den heutigen Bezugskonditionen rund 3.364.000 Euro bezahlt werden. Durch verbrauchssenkende Maßnahmen konnten somit auf dem Stromsektor allein im Jahr 2011 rund 745.000 Euro eingespart werden.

## 2.2 Wärme

Zur Wärmebereitstellung kommen im Wesentlichen die Energieträger Erdgas, Fernwärme und Heizöl zum Einsatz. In jüngster Zeit (ab 2008) ist auch der regenerative Energieträger Holz in Form von Holzpellet oder Holzhackschnitzel in nennenswerten Mengen vertreten. Für vergleichende Betrachtungen wird der Energieinhalt aller Wärmeträger auf den Heizwert (kWh  $H_u$ ) bezogen.

### 2.2.1 Erdgas

Bild 3 zeigt die Entwicklung des Jahresdurchschnittspreises für Erdgas.

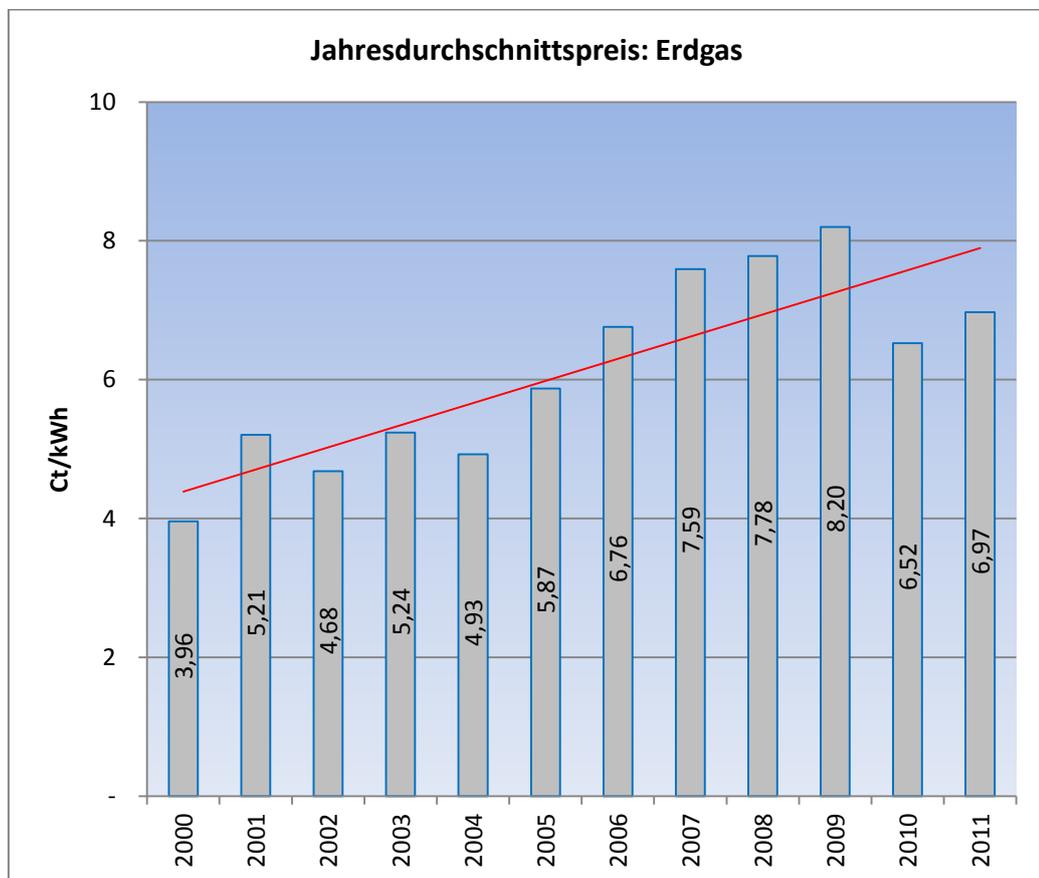


Bild 3: Entwicklung des Jahresdurchschnittspreises Erdgas von 2000 - 2011

Der Preis steigt in diesem Zeitraum um rund 7 % pro Jahr. Der hohe Preis in den Jahren 2008 und 2009 ist auf den in diesem Zeitraum stark gestiegenen Heizölpreis zurückzuführen, an den der Erdgaspreis gekoppelt ist. Ab 2010 erfolgte eine (vorübergehende) Entspannung am Markt und führte zu einem Preisrückgang.

Der Gasverbrauch zeigt insgesamt eine fallende Tendenz (Bild 4):

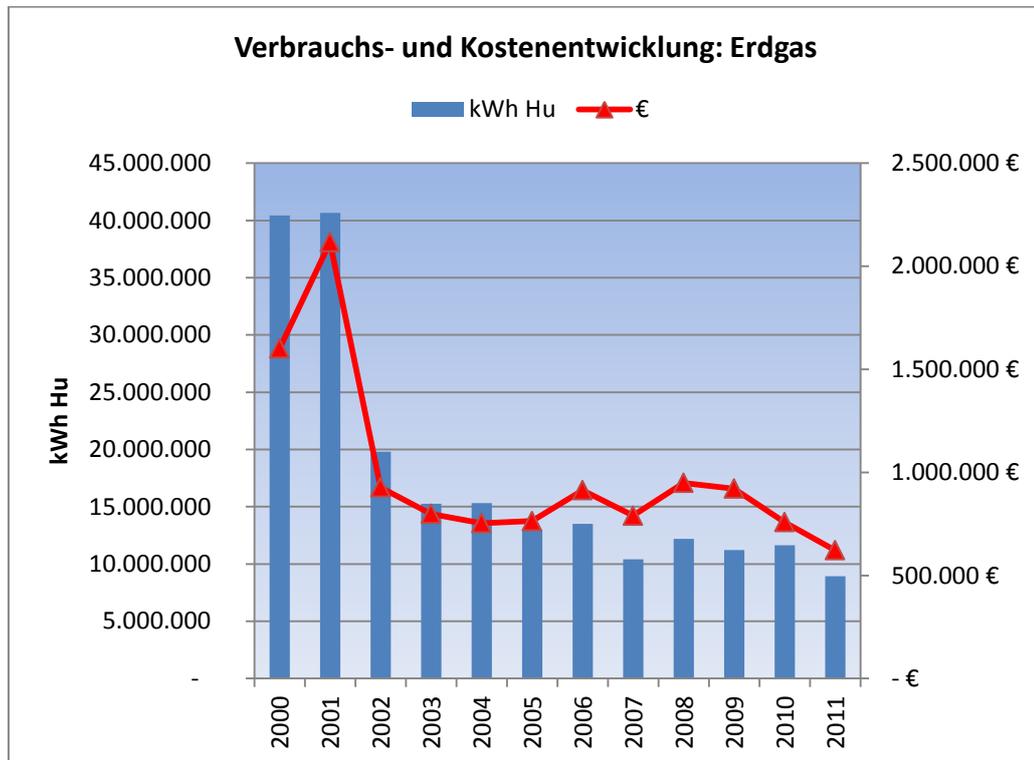


Bild 4: Verbrauchs- und Kostenentwicklung Erdgas von 2000 - 2011

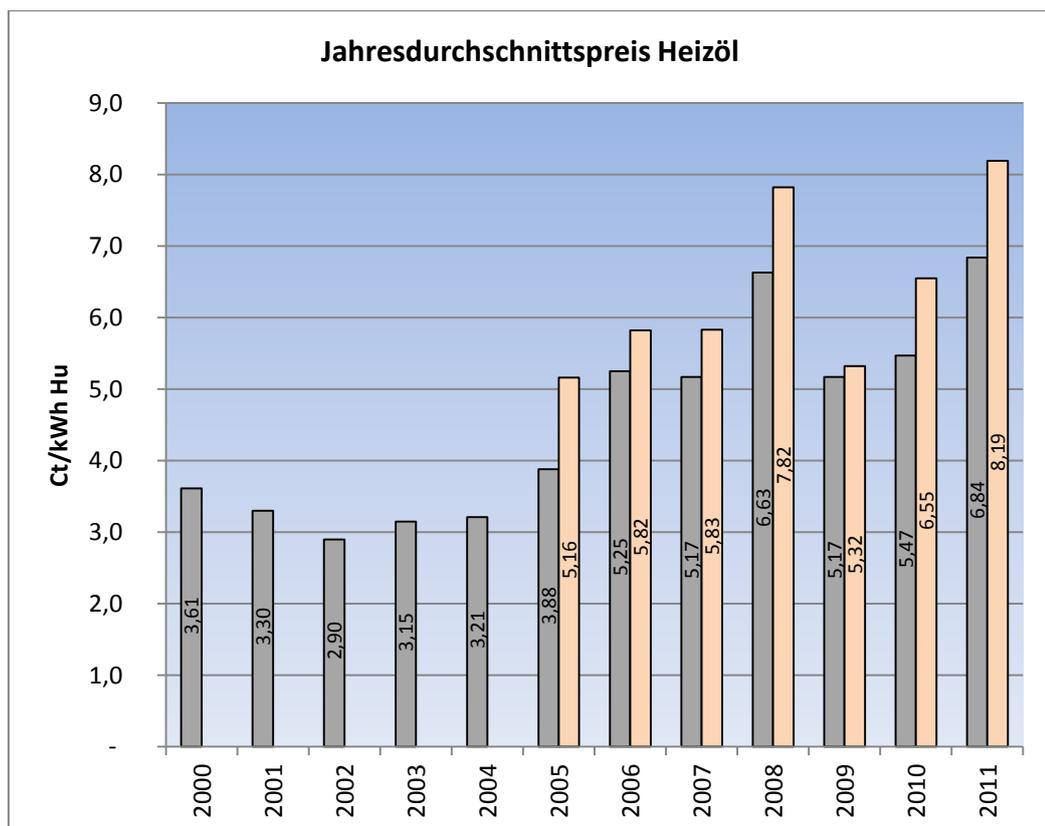
Der starke Verbrauchsrückgang ab 2002 resultiert daraus, dass ab diesem Jahr die direkte Verrechnung der Verbrauchsmengen für diejenigen Schulen wegfällt, die von den TWL im Projekt „Contracting-34-Schulen“ übernommen wurden. Der Erdgasverbrauch und die Erdgaskosten dieser Schulen sind ab 2002 im Bewirtschaftungsbudget des Contracting enthalten.

Aber auch an den beim Gebäudemanagement verbleibenden Objekten ist ab 2002 eine kontinuierliche Verbrauchsreduzierung und ein etwa gleichbleibendes Kostenniveau zu verzeichnen. In diesem Zeitraum wirken sich die verbrauchsmindernden Maßnahmen beim Wärmeschutz und bei der Technik aus. Zudem erfolgte die Umstellung einiger Objekte auf Fernwärme.

## 2.2.2 Heizöl

Beim Heizölpreis zeigt sich ein ähnliches Bild wie beim Erdgas. Die Preissteigerung liegt hier mit rund 8 % pro Jahr noch etwas höher als bei Erdgas.

Durch Sammelbestellung, Marktbeobachtung und Mengenmanagement wird vom kaufmännischen Gebäudemanagement versucht zum jeweils optimalen Zeitpunkt einzukaufen.



*Bild 5: Entwicklung des Jahresdurchschnittspreises Heizöl von 2000 - 2011*

Bild 5 zeigt die Entwicklung des Heizölpreises ab dem Jahr 2000. Die grauen Säulen geben den im Jahr im Durchschnitt vom Gebäudemanagement für „seine“ Liegenschaften gezahlten Heizölpreis wieder. Ab dem Jahr 2005 sind gelbe Säulen hinzugefügt. Sie zeigen die Entwicklung des Jahresdurchschnittspreises der wöchentlich in der „Rheinpfalz“ veröffentlichten Heizölbörse (Verkaufspreis des Handels in den Stadtkreisen Mannheim und Ludwigshafen für Liefermengen um 10.000 Liter).

Es ist zu erkennen, dass der vom Gebäudemanagement erzielte Preis meist deutlich unter den veröffentlichten Preisen liegt. Durch gezielten Einkauf konnten somit im Zeitraum 2005 bis 2011 der Stadt Kosten von über 220.000 Euro eingespart werden.

Der Verbrauch und die Kosten entwickeln sich ähnlich wie beim Erdgas (Bild 6). Ab 2002 entfallen die Verbrauchsmengen der mit Heizöl versorgten Schulen aus dem Projekt „Contracting-34-Schulen“. Der Verbrauch für die im Gebäudemanagement verbleibenden Objekte zeigt eine fallende Tendenz. Im Gegensatz zum Erdgas sind aber beim Heizöl steigende Kosten zu verzeichnen. Insgesamt ist die Preissteigerung beim Heizöl höher als beim Erdgas.

Da auch die CO<sub>2</sub>-Bilanz beim Heizöl ungünstiger ist, wird bei anstehenden Sanierungsmaßnahmen versucht, immer dort wo es möglich ist, von Heizöl auf andere Energieträger, insbesondere auf Fernwärme und regenerative Energien oder auch Erdgas umzusteigen.

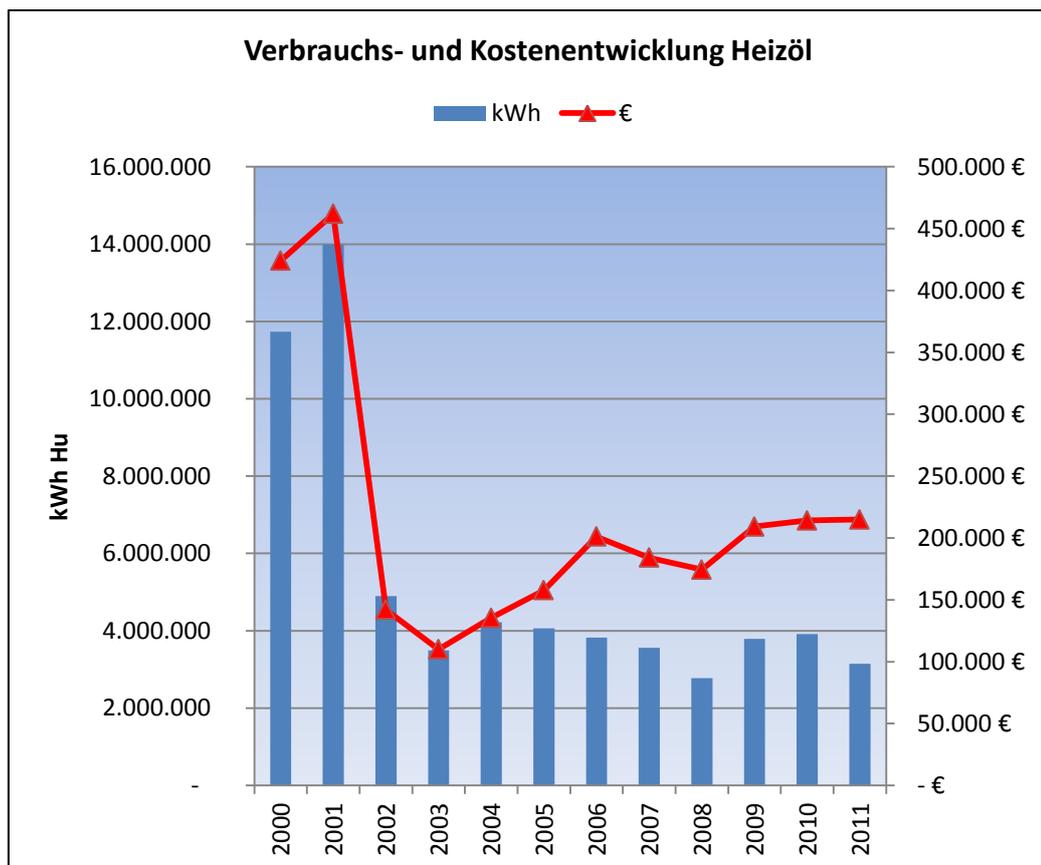


Bild 6: Verbrauchs- und Kostenentwicklung Heizöl von 2000 – 2011

### 2.2.3 Fernwärme

Die Entwicklung des Fernwärmepreises zeigt ein sehr uneinheitliches Bild (Bild 7). Das liegt zum einen an der an den Heizölpreis gekoppelten Preisgestaltung. Zudem erfolgte ab 2009 von TWL eine Umstellung der Preisgestaltung beim Leistungspreis. Nachdem zuvor der Leistungspreis pro kW installierter Leistung abgerechnet wurde, erfolgt ab diesem Zeitpunkt die Staffelung der Leistungspreise nach Leistungszonen.

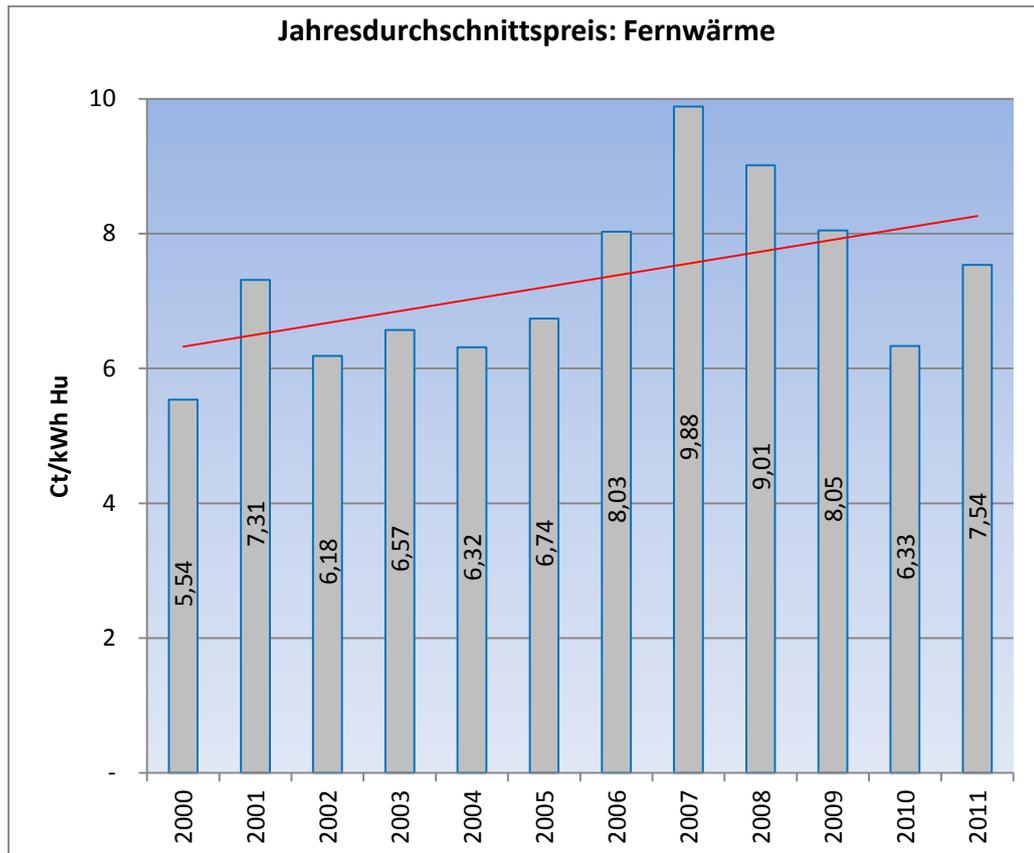


Bild 7: Entwicklung des Jahresdurchschnittspreises Fernwärme von 2000 - 2011

Die durchschnittliche jährliche Preissteigerung bei Fernwärme liegt bei rund 4,2 %. Der Verbrauch und die Kosten entwickeln sich ähnlich wie beim Erdgas. Ab 2002 entfallen die Verbrauchsmengen der mit Fernwärme versorgten Schulen aus dem Projekt „Contracting-34-Schulen“ (Bild 8).

Der Verbrauch für die im Gebäudemanagement verbleibenden Objekte zeigt ebenfalls ein uneinheitliches Bild. Ab 2008 wurden einige Objekte

von Heizöl und Erdgas auf Fernwärme umgestellt, wodurch der Verbrauch wieder ansteigt.

Die Kosten für Fernwärme sind ab 2006 kontinuierlich fallend. In diesem Zeitraum wurden Preissenkungen durch Reduzierung der Verrechnungsleistung umgesetzt. Ab 2009 führten die Umstellung der Abrechnung des Leistungspreises und die ab 2009 wieder fallenden Heizölpreise (Preiskoppelung) zu weiteren Kostensenkungen.

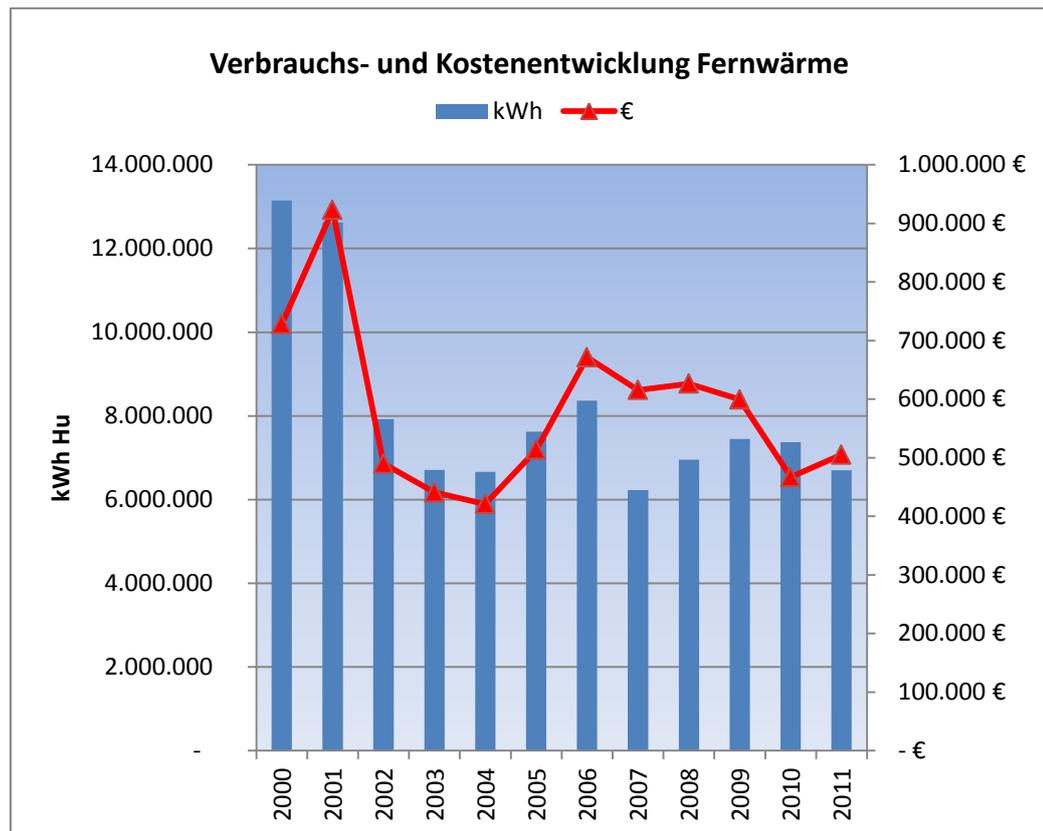


Bild 8: Verbrauchs- und Kostenentwicklung Fernwärme von 2000 – 2011

## 2.2.4 Holzpellets

Die Preise für Holzpellets entwickeln sich im Gegensatz zu den fossilen Energieträgern Heizöl und Erdgas moderat (Bild 9). Durch den bundesweiten Ausbauboom von Pellet-Heizanlagen ab 2006 und der noch zu geringen Produktionskapazitäten kam es in den Folgejahren zu einer vorübergehenden Verknappung des Brennstoffes und damit zu hohen Preissteigerungen von 6-7 %. Ab 2010 entwickeln sich die Preise sehr moderat. Seit 2008 beträgt die durchschnittliche jährliche Preissteigerung rund 4,8 %.

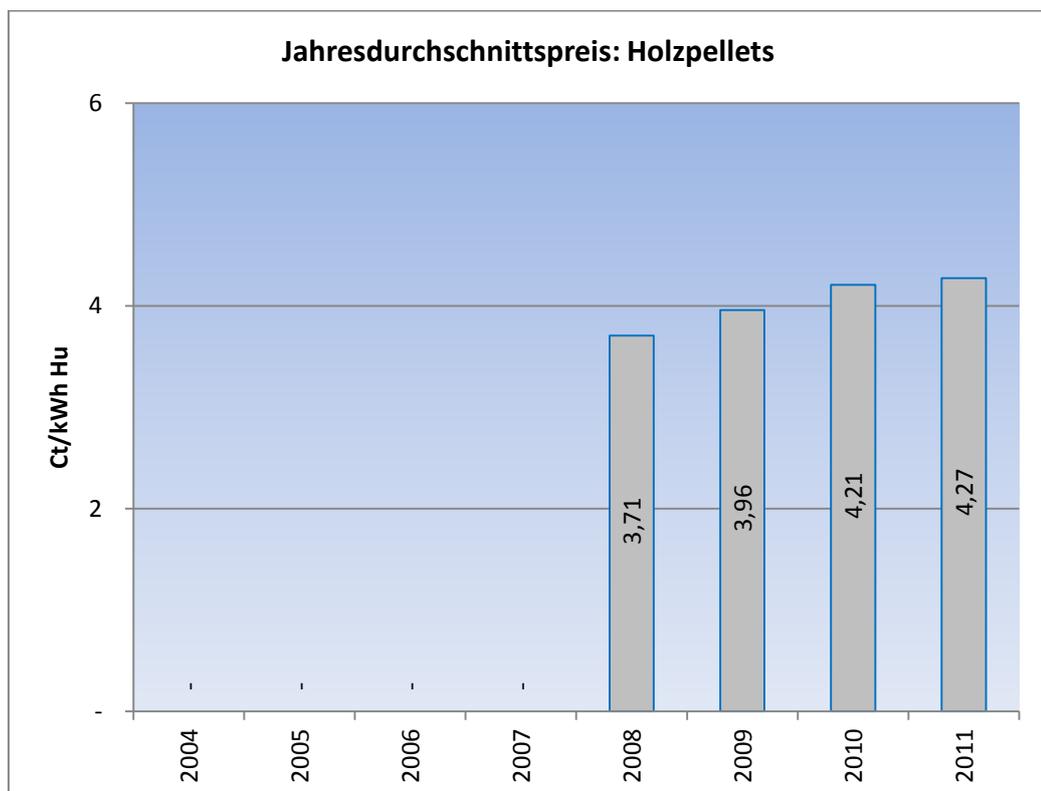


Bild 9: Entwicklung des Jahresdurchschnittspreises Holzpellets von 2008 - 2011

Derzeit werden zwei Objekte mit Holzpellets versorgt. In 2008 erfolgte die Umstellung in der Sporthalle Adlerdamm des Schulzentrums Mundenheim. Im Jahr 2011 kam die Kindertagesstätte Ernst-Reuther-Siedlung hinzu (siehe Bild 10). Weitere Objekte sind in der Planung bzw. der Umsetzung, wie z.B. das Bestandsgebäude und der Neubau der Kindertagesstätte Abenteuerland in der Bayreuther Straße 47.



Bild 10: Verbrauchs- und Kostenentwicklung Holzpellets von 2008 – 2011

### 2.2.5 Wärme Contracting-34-Schulen

Ende der 1990er-Jahre bestand hoher Investitionsbedarf bei den schulischen Heizungsanlagen. Die betroffenen Anlagen waren zum Teil schon 35 Jahre in Betrieb und hielten sowohl den technischen als auch den gesetzlichen Anforderungen nicht mehr stand. Die Sanierung der ineffizienten Anlagen war aus dem städtischen Haushalt nicht zu finanzieren.

Im Juni 2001 beschloss deshalb der Stadtrat die Sanierung der Wärmeerzeugungsanlagen über Energie-Contracting für insgesamt 34 Schulen mit den TWL durchzuführen. Dies erfolgte im Rahmen eines „Energiebewirtschaftungsvertrages – Contracting 34 Schulen“. Ziel war in erster Linie die gesicherte Wärmeversorgung der Schulen zu gewährleisten und gleichzeitig die Anlagen auf den neuesten technischen Stand zu bringen. Das am 01.01.2002 gestartete Contracting nimmt den bisherigen Versorgungsstatus der Jahre 1996 bis 1998 zur Basis. Die Energieverbräuche, die eingesetzten Energieträger, die Bereitstellungsleistungen sowie die Gradtagszahlen in diesem Zeitraum werden über die gesamte Vertrags-

laufzeit „eingefroren“ (Base-Line). D.h. die Stadt als Contracting-Nehmer zahlt den TWL jährlich das Entgelt für Energie, wie es sich aus dieser Base-Line, angepasst an die Energiepreissteigerung und witterungsbereinigt ergibt. Zusätzlich wird eine Instandhaltungspauschale bezahlt.

Im Gegenzug übernehmen die TWL als Contracting-Geber die Investition für die Erneuerung der Heizungsanlagen und Optimierungsmaßnahmen, die wärmetechnische Betriebsführung und Überwachung.

#### Eckpunkte des Energiebewirtschaftungsvertrages – Contracting 34 Schulen:

➤ Vertragslaufzeit (Beginn 01.01.2002)	20 Jahre
➤ Brennstoffverbrauch (Base-Line 1996-1998)	47.044 MWh/a
➤ Investitionsvolumen gesamt	7.500.000 €
➤ Energiebewirtschaftungsbudget (brutto) Preisstand 2000	2.232.047 €/a
davon Energiekosten	1.871.444 €/a
davon Instandhaltungskosten	360.603 €/a
➤ Garantierte Energieeinsparung (bez. auf Base-Line)	20 %
➤ Garantierte CO <sub>2</sub> -Reduzierung (bez. auf Base-Line)	30 %

Als flankierende Maßnahme wird den Schulen im Rahmen des Energiebewirtschaftungsvertrages die Teilnahme an einem Klimaschutzprojekt angeboten, an welchem mittlerweile 13 Schulen teilnehmen. Das Projekt dient zur Sensibilisierung der Nutzer an den Schulen auf umweltbewusstes Verhalten.

Hierbei werden von den Schülern Energieteams gebildet, welche von den Lehrkräften der Schulen, von Spezialisten der TWL und mit Unterstützung des ifeu-Institutes über Energienutzung und Energieeffizienz aufgeklärt werden. Zur Motivation wird den teilnehmenden Schulen ein von Energieverbrauch unabhängiges Prämiensystem angeboten.

Bild 11 zeigt die Verbrauchs- und Kostenentwicklung seit Beginn des Contracting 2002 bis 2011 im Vergleich zur Base-Line 1996-1998.

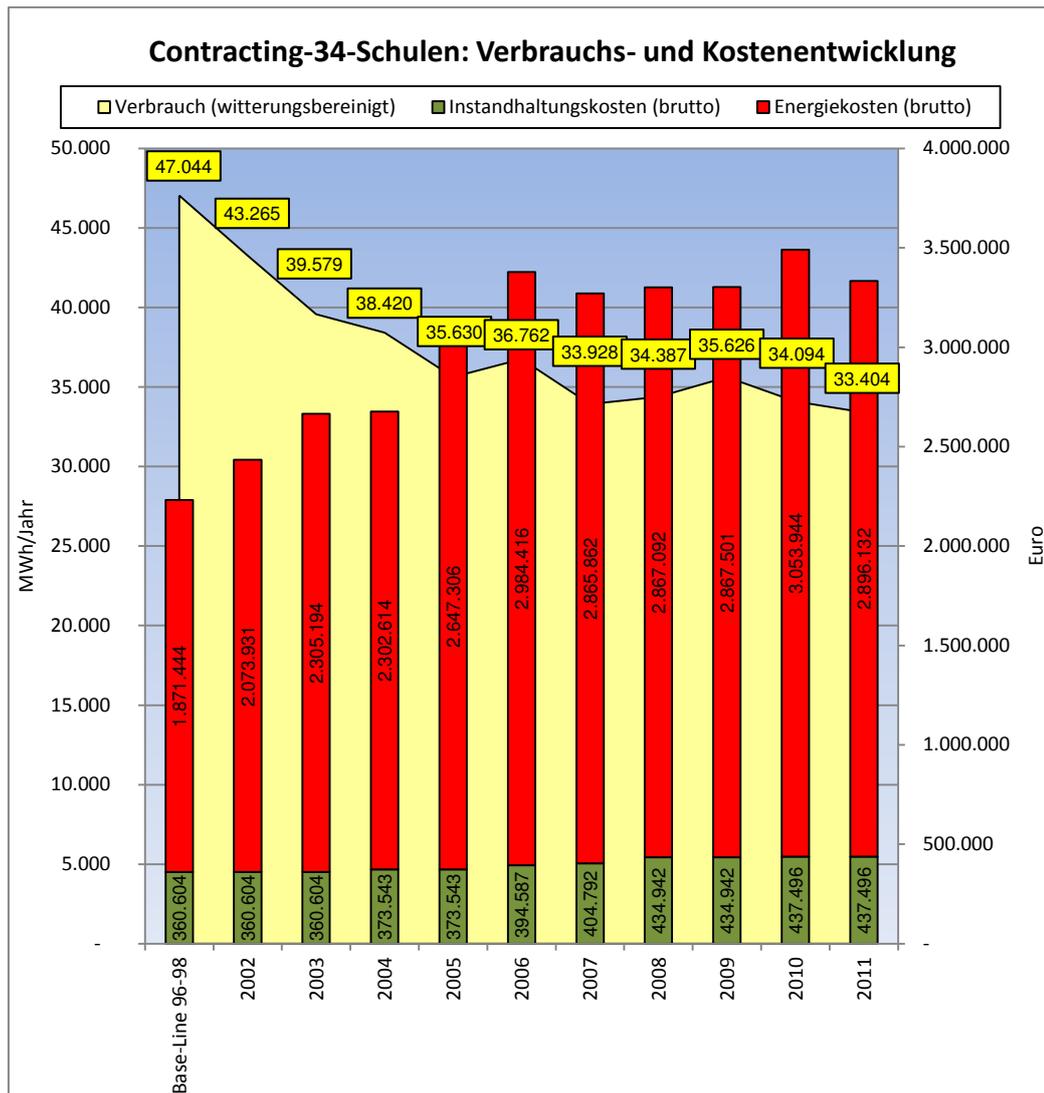


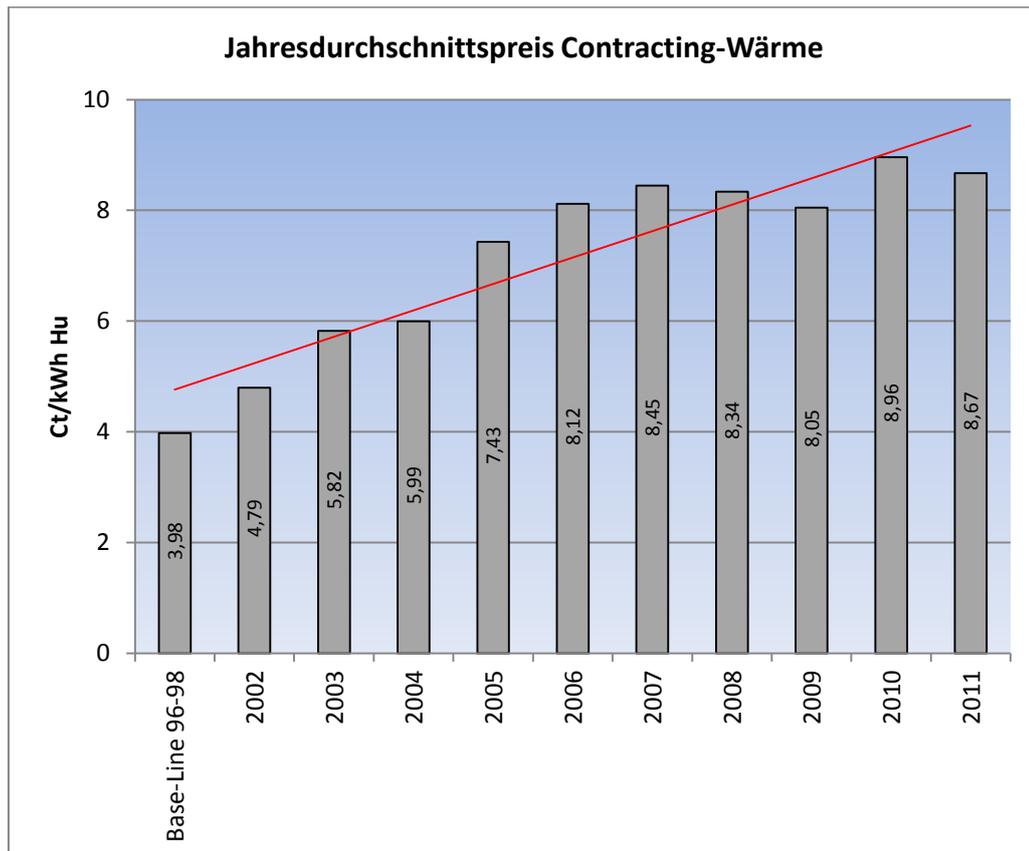
Bild 11: Contracting-34-Schulen: Verbrauchs- und Kostenentwicklung

Der Verbrauch in den 34 Schulen konnte seit Beginn des Contracting von 47.044 MWh auf 33.404 MWh im Jahr 2011 gesenkt werden. Dies entspricht einer Energieeinsparung von 29 % in Bezug auf die Base-Line.

Die Verbrauchssenkung ist sowohl auf die Umsetzung heizungstechnischer Maßnahmen durch die TWL (Investitionsvolumen bis 2011: 5,16 Mio. Euro), als auch auf energetische Sanierungsmaßnahmen der Stadt (Fassadendämmung, Dachdämmung, neue Fenster etc.) zurückzuführen. Im Zeitraum von 2002 bis 2009\* investierte die Stadt 24,58 Mio. Euro an den 34 Contracting-Schulen.

\* (Die Zahlen 2009-2011 werden z.Z. noch aufbereitet)

Die Kosten für die Wärmebereitstellung entwickeln sich so, als wenn sich seit dem Basiszeitraum keine Veränderung bezüglich der Wärmeversorgungstechnik und der Tarifierung ergeben hätte. Da im Contracting die ursprünglichen Verbräuche (Base-Line) zugrunde gelegt werden, ist hier eine Kostensteigerung zu verzeichnen. In 2011 betrug das Bewirtschaftungsbudget inklusive Instandhaltungspauschale für die 34 Contracting-Schulen rund 3,334 Mio. Euro.



*Bild 12: Entwicklung des Jahresdurchschnittspreises für Contracting-Wärme*

Bild 12 gibt die durchschnittliche jährliche Preisentwicklung für Wärme in den 34 Schulen wieder. Der Preis ist ein Mischpreis aus den Energieträgern Heizöl, Erdgas und Fernwärme inkl. Grundpreisen und Leistungspreisen. Die jährlich zu zahlenden Instandhaltungspauschale ist darin nicht enthalten.

Details zum Contracting mit den TWL können aus dem aktuellen Energiebericht 2012 der TWL entnommen werden.

## 2.2.6 Gesamtbetrachtung WÄRME

In der Gesamtbetrachtung für Wärme sind die Verbrauchsdaten witterungsbereinigt, da nur so die Heizenergieverbräuche verschiedener Jahre verglichen werden können.

### Witterungsbereinigung:

Die Witterungsbereinigung erfolgt über die Gradtagszahl  $G_t$  15/20 in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067. Die Gradtagszahl ist die Summe der Differenzen zwischen der Heizgrenztemperatur 15 °C und den Tagesmitteln der Außentemperatur über alle Kalendertage mit einer Tagesmitteltemperatur unter 20 °C. Die Witterungsbereinigung bezieht sich auf den Mittelwert der Gradtagszahlen der Stadt Ludwigshafen der Jahre 1996-1998. Diese Daten stammen aus eigenen Messungen der TWL und sind auch Basis für die Bereinigung bei den Schulen im Contracting (Bild 13).

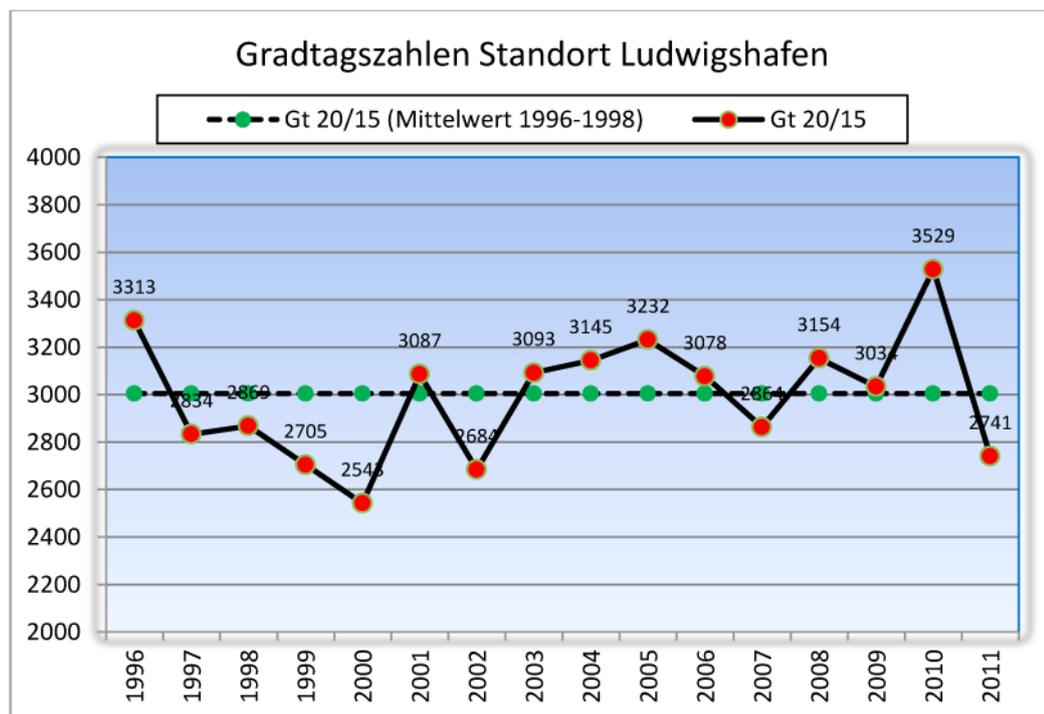


Bild 13: Gradtagszahlen für den Standort Ludwigshafen

Nachfolgendes Bild 14 zeigt die witterungsbereinigte Verbrauchsentwicklung der eingesetzten Wärmeträger Fernwärme, Erdgas, Heizöl und Holzpellets im Zeitraum 2000 bis 2011. Ab 2002 sind die Wärmeverbrauchsdaten für das Projekt: Contracting-34-Schulen mit aufgeführt. Auch hier handelt es sich letztlich um die Energieträger Erdgas,

Fernwärme und Heizöl. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden diese als ein Block dargestellt.

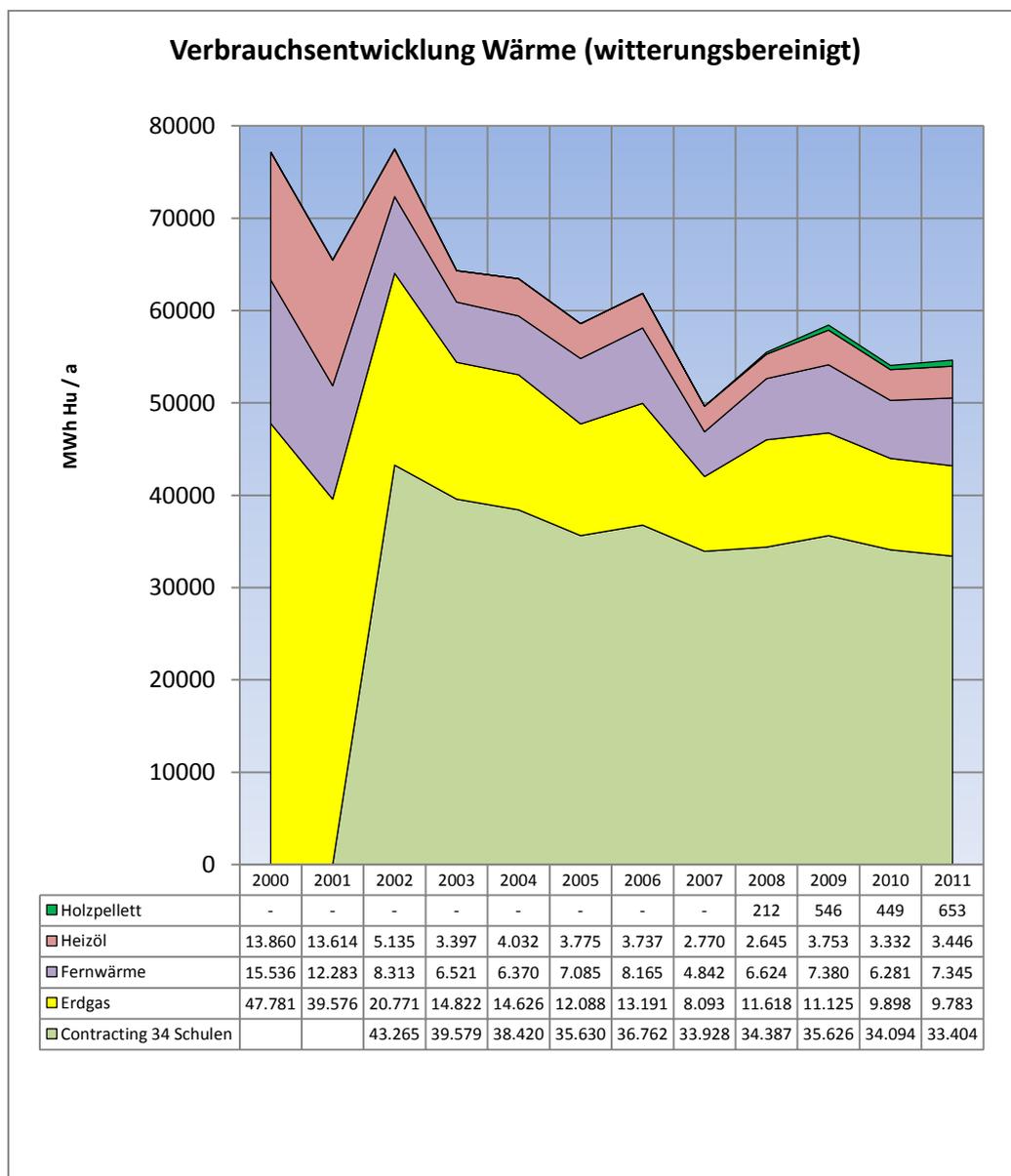


Bild 14: Verbrauchsentwicklung Wärme 2000 bis 2011

Das Bild zeigt, dass der überwiegende Teil (61 % in 2011) der benötigten Wärmemengen allein auf die 34 Contracting-Schulen entfallen.

Insgesamt ist beim Wärmeverbrauch ab 2002 eine stetig fallende Tendenz zu verzeichnen. Der Verbrauch reduzierte sich von 77.177 MWh im Jahr 2000 auf 54.631 MWh im Jahr 2011. Die Verbrauchssenkung beträgt somit 29 %.

## 2.3 Kälte

Eine Kältelieferung besteht nur für das Wilhelm-Hack-Museum. Die Versorgung erfolgt ab April 1998 über Fernkälte der TWL, die in unmittelbarer Nachbarschaft im Pfalzbau produziert wird. Die Kältebereitstellung regelt ein Kälteliefervertrag zwischen TWL und Stadt, der neben der Kältelieferung auch die klimatechnische Betriebsführung und die Finanzierung von Anlagenteilen beinhaltet. Dadurch ergeben sich im Vergleich relativ hohe spezifische Kältepreise (Bild 15).

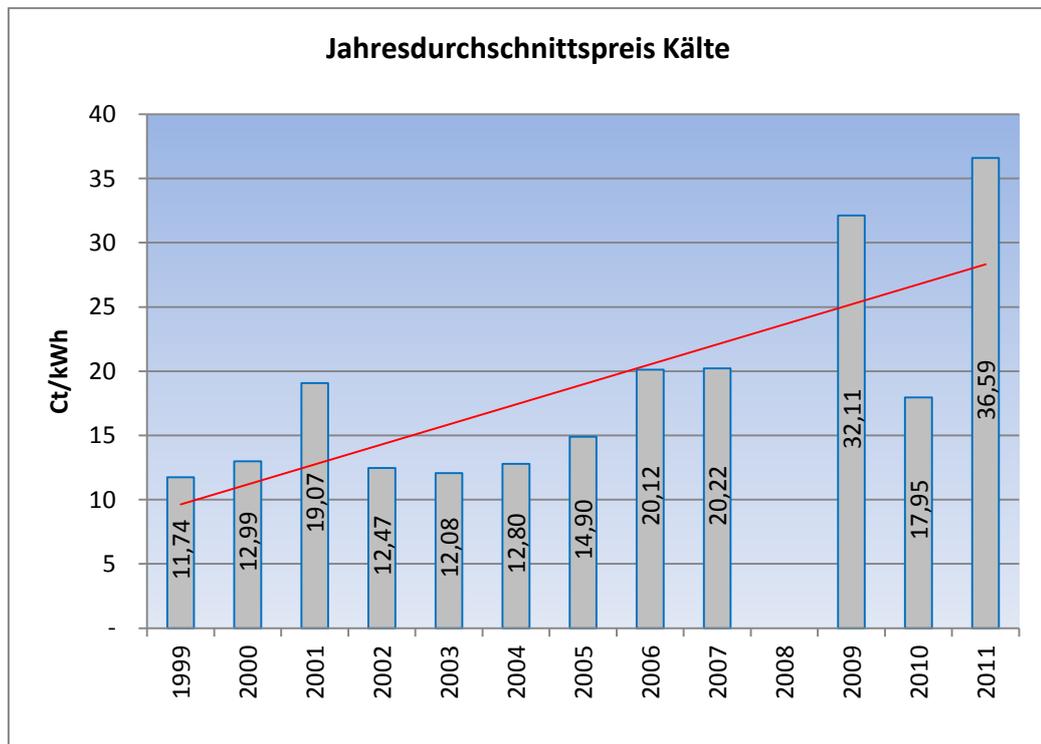


Bild 15: Jahresdurchschnittspreis Kälte

Im Jahr 2008 erfolgte die energetische Generalsanierung des Museums, daher wurde in diesem Jahr keine Kälte abgenommen. Durch die Generalsanierung konnte die Abnahmemenge ab 2009 um 85 % und die Kältekosten um rund 75 % reduziert werden (siehe Bild 16).

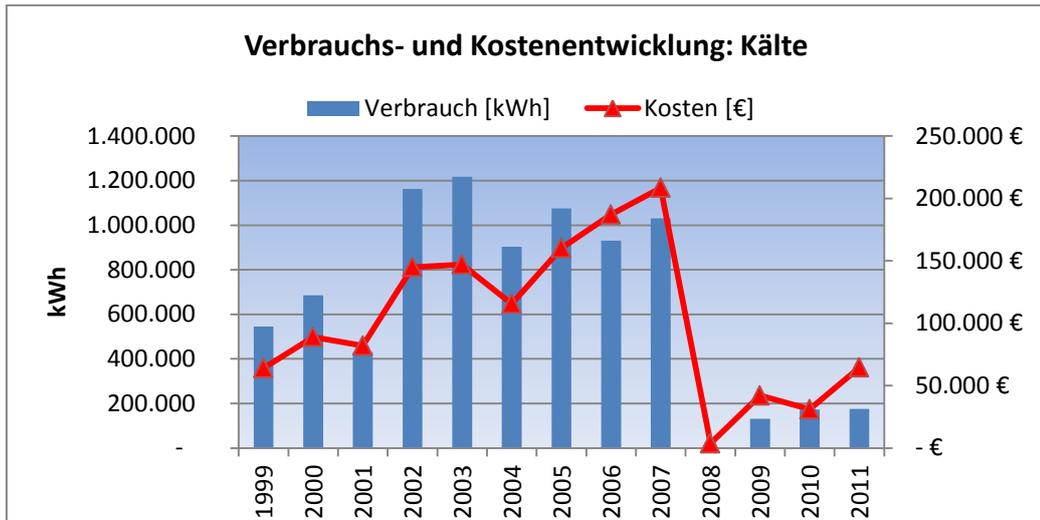


Bild 16: Verbrauchs- und Kostenentwicklung: Kälte

## 2.4 Wasser/Abwasser

Bild 17 zeigt die Entwicklung des Wasserpreises für Ludwigshafen. Dargestellt ist der Jahresdurchschnittspreis pro m<sup>3</sup> Wasserbezug inklusive Abwassergebühren. Die jährliche Preissteigerung für Wasser beträgt hiernach im Schnitt jährlich etwa 6,5 %.

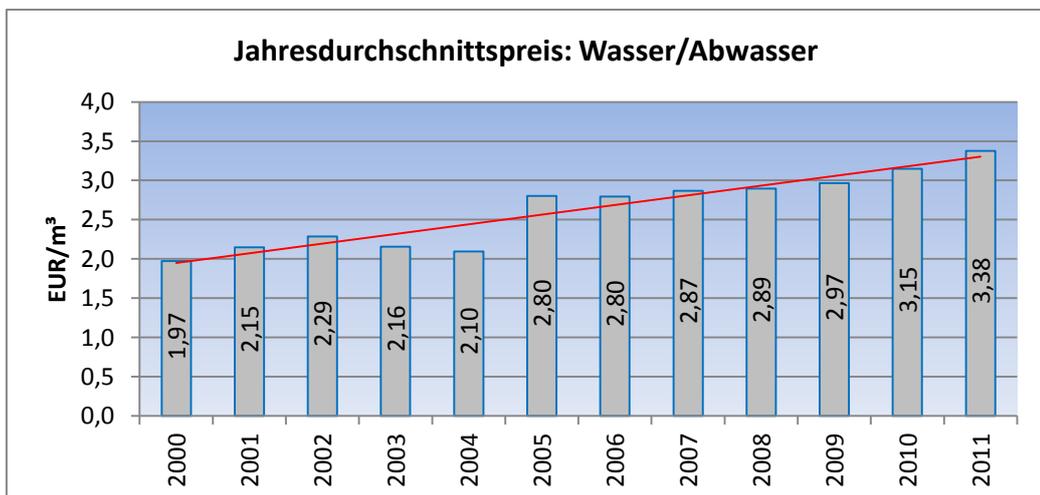


Bild 17: Entwicklung Jahresdurchschnittspreis Wasser /Abwasser

Dennoch konnten die Wasserkosten - mit Ausnahme des Jahres 2003 - in etwa konstant gehalten werden. Die Jahreskosten bewegen sich zwischen 500.000 bis 600.000 Euro.

Im unteren Bild (18) zeigt sich der Einfluss der Witterung auf den Wasserverbrauch deutlich. Insbesondere der heiße und trockene Sommer im Jahr 2003 führte zu einem spürbaren Anstieg des Wasserverbrauchs durch verstärkte Bewässerung von Grünanlagen und zu Kühlzwecken. Tendenziell kann aber eine kontinuierliche Verbrauchssenkung beobachtet werden.

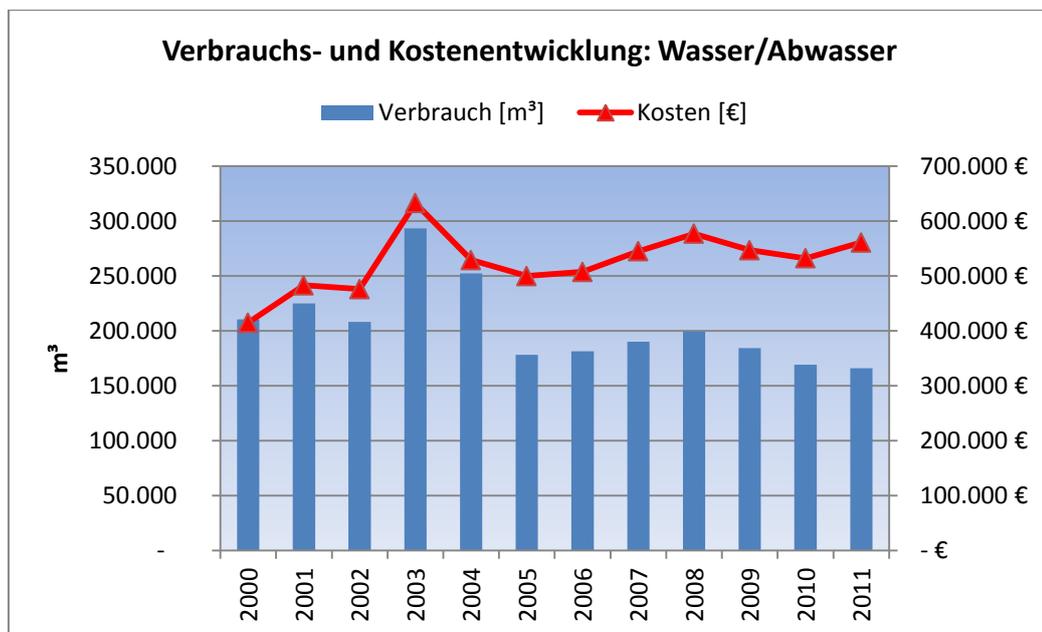


Bild:18: Entwicklung von Verbrauch und Kosten für Wasser/Abwasser

## 2.5 Gesamtbetrachtung Energie und Wasser

### 2.5.1 Entwicklung Gesamtkosten

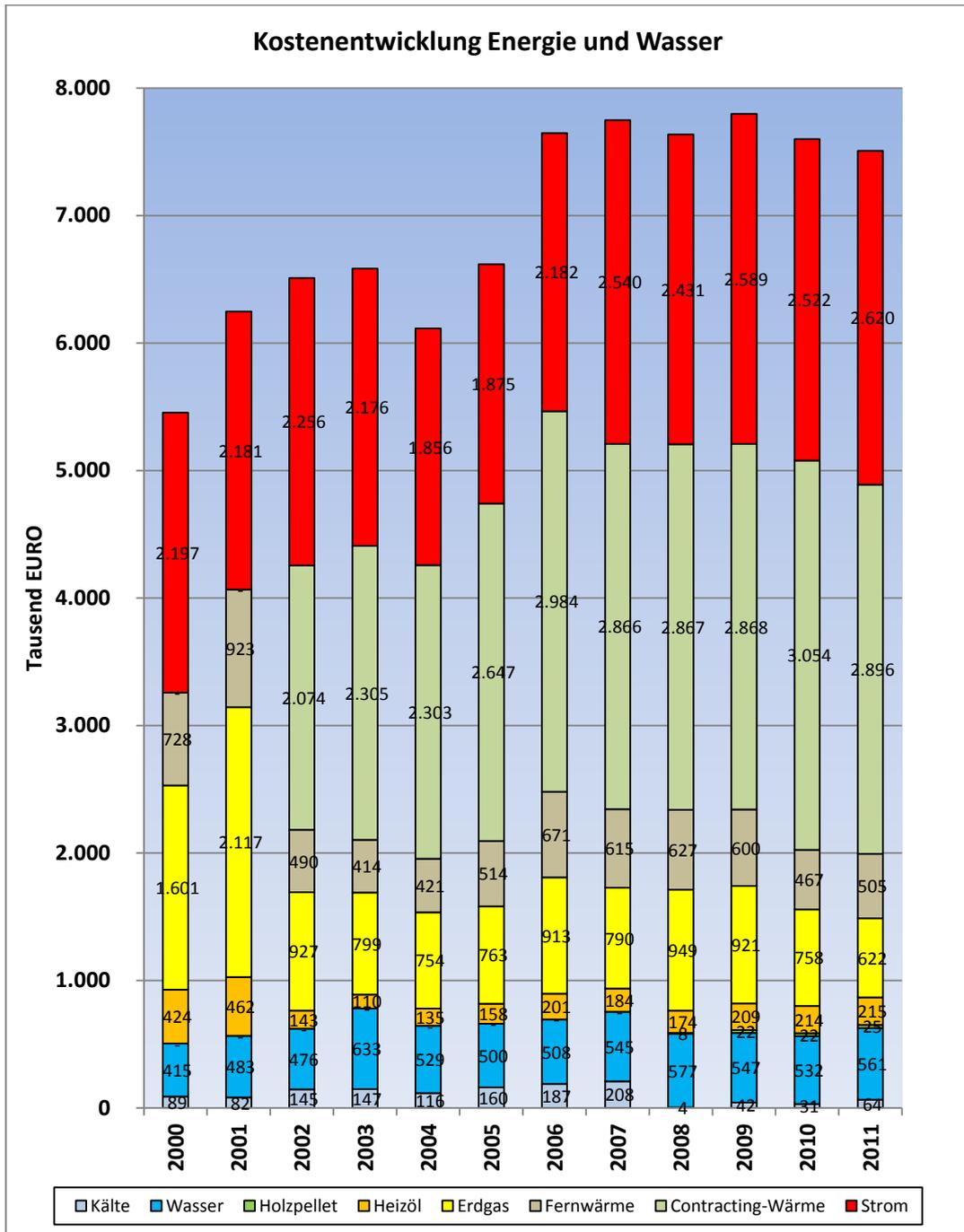


Bild 19: Gesamtkostenentwicklung Energie und Wasser

Im obiger Grafik (Bild 19) sind die Gesamtaufwendungen für Energie und Wasser für die Objekte des Gebäudemanagement aufsummiert dargestellt. Sie betragen im Jahr 2000 noch rund 5,45 Mio. Euro. Im Jahr 2011

mussten infolge der Energiepreissteigerung schon 7,51 Mio. Euro bezahlt werden. Dies entspricht einer Kostensteigerung von 38 % in gerade mal 11 Jahren. Und das, obwohl im gleichen Zeitraum die Verbrauchswerte um 29 % gesenkt werden konnten.

Daraus wird deutlich, wie wichtig eine effiziente Energiebewirtschaftung der öffentlichen Liegenschaften ist. Bei unveränderten Verbrauchswerten hätten in 2011 schon über 10,5 Mio. Euro, also 3,0 Mio. Euro mehr, aufgewendet werden müssen.

## 2.5.2 Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen

Aus den Energieverbräuchen lassen sich die umweltrelevanten Emissionen ermitteln, die durch die Energieträger entstehen. Generell sind in die Bilanzierung die Emissionen der Prozesskette mit einbezogen. Durch die Wahl der Energieträger lassen sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen entscheidend beeinflussen.

Es kommen folgende Emissionsfaktoren zur Anwendung:

<b>Energieträger</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor [Tonnen/MWh<sub>Endenergie</sub>]</b>
Strom	0,689
Heizöl EL	0,309
Erdgas	0,228
Fernwärme	0,180
Holzpellets	0,041
Holzhackschnitzel	0,035

Bezugsbasis ist der witterungsbereinigte Energieverbrauch der städtischen Liegenschaften im Zuständigkeitsbereich des Gebäudemanagements, jedoch ohne Berücksichtigung sich verändernder Objektzahlen (Bild 20).

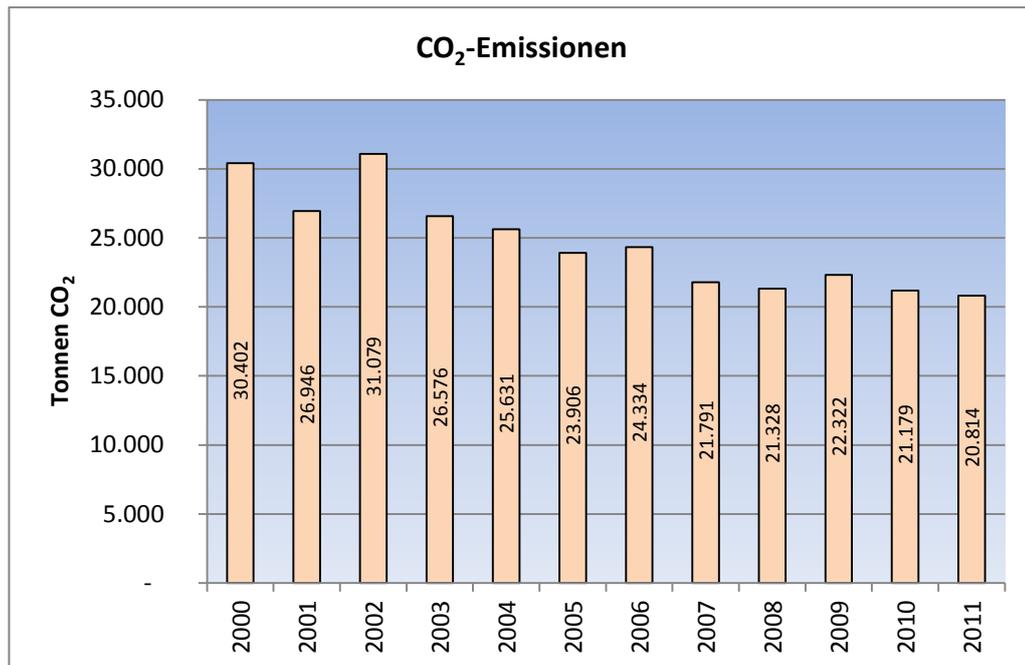


Bild 20: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen weisen, wie auch der Energieverbrauch, mit Ausnahme eines Zwischenhochs im Jahr 2002, eine stetig fallende Tendenz auf.

Für den Anstieg in 2002 können im Wesentlichen zwei Ursachen aufgeführt werden. Zum einen lag der in 2002 abgerechnete Stromverbrauch über dem der Vor- und Folgejahre. Zum anderen erhöhte sich, bedingt durch den Übergang der Betriebsführung der Heizanlagen der 34 Contracting-Schulen von der Stadt an die TWL, der Energiebedarf für diese Schulen kurzzeitig.

In den Folgejahren machen sich die Substitution von emissionsintensiven Energieträgern hin zu emissionsärmeren Energieträgern, wie z.B. Fernwärme und Holz, der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung sowie die energetischen Sanierungsmaßnahmen an der Bausubstanz der Gebäude bemerkbar.

In Bezug auf das Jahr 2000 reduzierten sich die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen insgesamt um 31,5 %. Dies entspricht einer vermiedenen CO<sub>2</sub> Menge von jährlich 9.588 Tonnen.

## 2.6 Verbrauch und Kosten im Berichtsjahr 2011

Folgend ein Überblick über die Verbrauchs- und Kostensituation im Berichtsjahr 2011.

Nicht enthalten ist die Instandhaltungspauschale aus dem Projekt Contracting 34 Schulen von derzeit 437.496 Euro.

Energieart	Verbrauch	Kosten (Brutto)	Spezifische Kosten (Brutto)
Strom	13.510.466 kWh	2.619.146 €	19,39 Ct/kWh
Erdgas	8.923.919 kWh	622.153 €	6,97 Ct/kWh
Fernwärme	6.700.000 kWh	505.041 €	7,54 Ct/kWh
Heizöl	3.143.140 kWh	214.900 €	6,84 Ct/kWh
Holzpellet	596.400 kWh	25.478 €	4,27 Ct/kWh
Contracting-Wärme	33.404.000 kWh	2.896.132 €	8,67 Ct/kWh
Kälte	176.000 kWh	64.405 €	36,59 Ct/kWh
Wasser/ Abwasser	166.137 m <sup>3</sup>	561.043 €	3,38 €/m <sup>3</sup>
<b>Gesamt</b>		<b>7.508.043 €</b>	

Die folgenden Grafiken verdeutlichen die Verteilung von Verbrauch (Bild 21) und Kosten (Bild 22) für die öffentlichen Liegenschaften der Stadt:

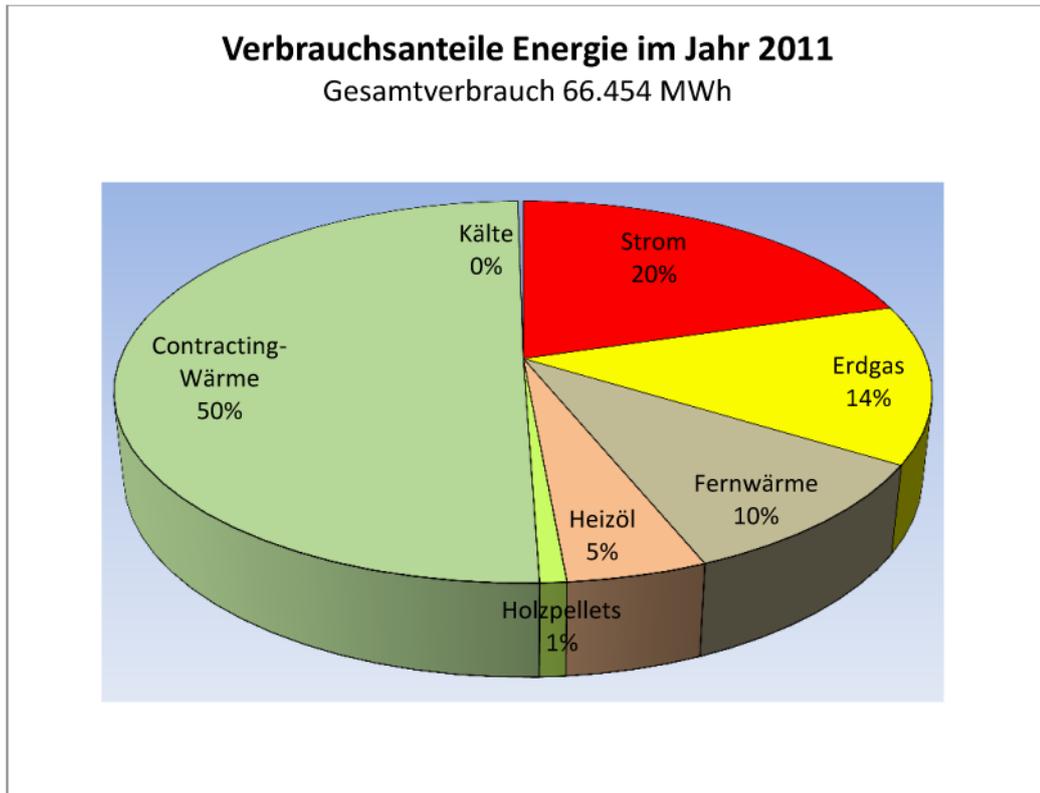


Bild 21: Verbrauchsanteile Energie im Jahr 2011

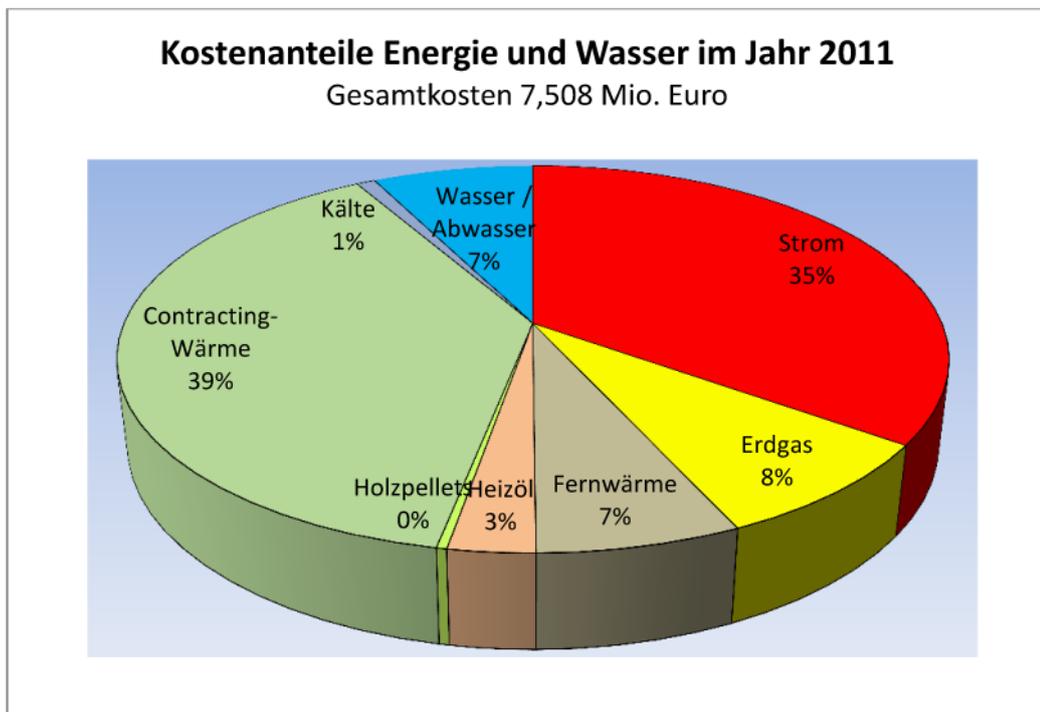


Bild 22: Kostenanteile Energie und Wasser im Jahr 2011

Rund 58 % der Kosten entfallen auf den Bereich Wärme/Kälte, 35 % auf den Bereich Strom und 7 % auf den Bereich Wasser/Abwasser.

### **3. Energiecontrolling**

Energiecontrolling hat das Ziel den Energieverbrauch der Liegenschaften der Stadt zu verringern. Dazu werden die Energieflüsse der Liegenschaften analysiert. Hierzu wird ein Verbrauchscontrolling durchgeführt, indem in regelmäßigen Abständen die Energieverbräuche erfasst werden. Anhand der Bezugsflächen der jeweiligen Gebäude werden aus den Verbräuchen Energiekennwerte gebildet, welche Auskunft über Mehrverbräuche und die energetische Qualität des Objektes geben. Die Energieverbräuche werden manuell oder softwareunterstützt erfasst.

#### **3.1 Manuelles Verbrauchscontrolling**

Beim manuellen Verbrauchscontrolling erfasst das Energiecontrolling die Wärme-, Strom- und Wasserverbräuche der Schulen und Kindertagesstätten. Aber auch andere städtische Objekten mit relevantem Energieverbrauch, wie z.B. Verwaltungsgebäude werden untersucht.

Die Ermittlung der Verbräuche aus den Jahresabrechnungen der TWL stellt hier die einfachste Möglichkeit dar. Allerdings ist so ein schnelles Gegensteuern bei zu hohem Verbrauch nicht möglich. Die Daten der Jahresabrechnungen eignen sich gut zum Bilden von Energiekennwerten.

Eine weitere Art des manuellen Verbrauchscontrollings ist die monatliche Ablesung der Zählerstände vor Ort. Hierzu werden von den Hausmeistern der jeweiligen Liegenschaft die Zählerstände abgelesen und in dem „Erfassungsbogen für Energieverbrauch“ (Bild 23) notiert. Die Erfassung erfolgt am letzten Arbeitstag des Monats. So wird der genaue Verbrauch eines Monats ermittelt. Die Erfassungsbögen werden von den Hausmeistern an das Team Energiecontrolling weitergeleitet. Dort können anhand der Zählerstände die Verbrauchsdaten ermittelt und ausgewertet werden.

Ludwigshafen Stadt am Rhein		Erfassungsbogen für den Energieverbrauch							
		Name der Einrichtung:				Anschrift:			
Pos	Gebäudeteil oder Verwendung	Energieart	Zählernummer	Bez. (z.B. HT, NT)	Zählerstand	(falls bekannt) Zähl-Faktor	Einheit	Ableседatum	Bem.
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
Bemerkungen:									
		Datum		Unterschrift					
Ludwigshafen, den									

Stadt Ludwigshafen am Rhein, 4-13 Gebäudemanagement, Energiecontrolling, Fax 0621-504-4606, Tel. 0621-5044720

Bild 23: Erfassungsbogen für den Energieverbrauch

Die monatliche Verbrauchsentwicklung ist so nachvollziehbar und mit den Verbräuchen der zurückliegenden Jahre vergleichbar. So können Unregelmäßigkeiten, wie ein zu hoher Wärme-, Strom- oder Wasserverbrauch, erkannt, die Ursachen untersucht und wenn notwendig Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

### 3.2 Gebäudeleittechnik (GLT)

Die GLT wird für das softwaregestützte Verbrauchscontrolling genutzt. Die aktuellen Verbrauchsdaten werden täglich abgerufen und analysiert. Hierbei handelt es sich größtenteils um Verbräuche der Wärmeerzeuger. Somit ist die GLT ein wichtiger Bestandteil des modernen Energiecontrollings. Sie eignet sich nicht nur zum Verbrauchscontrolling, sondern auch für eine energetisch sinnvolle Betriebsführung von Anlagen, sowie zur schnellen Erkennung und Behebung von Störungen.

Mit Hilfe der entsprechenden Software werden die Vorgänge in den zu überwachenden Anlagen anhand von Fließbildern visualisiert. Aktuelle Prozessdaten, wie Innen- und Außentemperaturen, Stellung von Lüftungsklappen, die Betriebsweise von Wärmeerzeugern oder Energieverbräuche können mittels Datenübertragung angezeigt werden.

Ebenso werden durch die Leittechnik technische Anlagen gezielt gesteuert. So können die jeweiligen Heizungs- und Lüftungsanlagen der Objek-

te je nach Bedarf eingestellt und optimiert werden. Für eine dauerhafte Beobachtung und Optimierung der Anlagen dient ein zusätzliches Softwareprogramm zum Erstellen von Trendkurven. Anhand voreingestellter Parameter, wie zum Beispiel Vor- und Rücklauftemperaturen eines Heizkreises, können Trendkurven erzeugt werden. Diese dienen als Hilfsmittel für eine dauerhafte Überwachung und Optimierung.

Besonders bei komplexeren Anlagen, bei denen mehrere Wärmeerzeuger eingebunden sind, ist eine Fernüberwachung zur Steuerung ein wichtiger Bestandteil. Das in der Rupprecht- /Kopernikus-Schule installierte BHKW kann mit der Gebäudeleittechnik vom Rathaus aus optimal gesteuert werden. So können z.B. die Einsatzzeiten der Heizkessel gezielt herabgesetzt werden. Dadurch erhöht sich die Laufzeit des BHKW, wodurch mehr Strom produziert und ins öffentliche Stromnetz eingespeist wird.

In der Ferienzeit sind Sporthallen und Klassenräume nicht oder nur selten genutzt. Diese Objekte müssen in dieser Zeit nicht wie im Schulbetrieb beheizt werden. Durch die Leittechnik können die Nutzzeiten den jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden. So wird anhand dieser Betriebsweise der Heizenergieverbrauch des Gebäudes gesenkt.

In der Anlage auftretende Störungen (z. B. Ausfall eines Kessels oder Pumpe) werden von der Gebäudeleittechnik angezeigt und eine Störungsmeldung erzeugt. In der Störungsmeldung werden Information über Ort, Art und Zeitpunkt des Ausfalls dargestellt. Durch diese Angaben ist eine zeitnahe Beseitigung der Störung möglich.

#### 4. Photovoltaik auf öffentlichen Dächern

Wenngleich der Stadt die finanziellen Mittel für die Errichtung und den Betrieb eigener Photovoltaik-Anlagen fehlen, so kann sie doch durch die Bereitstellung ihrer Dachflächen an Dritte einen Beitrag zum Ausbau dieser regenerativen Energie leisten.

Deshalb führte das Flächenmanagement (infrastrukturelles Gebäudemanagement) im Jahre 2009 eine Ausschreibung zur Verpachtung geeigneter Flächen auf Schulen, Schulsporthallen und Kindertagesstätten aus. Vorangegangen war eine Erhebung geeigneter Dachflächen auf städtischen Objekten.

Ziel ist die Vermietung/Verpachtung möglichst großer Flächen an Fachfirmen zur Errichtung und den Betrieb von Photovoltaikanlagen über einen Zeitraum von 20 Jahren zu einem festen jährlichen Pachtzins pro m<sup>2</sup> Fläche bzw. pro kWp installierter Leistung. Im Jahr 2011 konnten für die bereits installierten Anlagen Pachteinahmen in Höhe von 16.943 Euro verbucht werden.



*Bild 24: Die im Juni 2012 errichtete PV-Anlage auf der Halle Offenhalendamm (325 kW<sub>p</sub>), Freifläche im Hintergrund: Bereich 4-15 Umwelt*

Folgende Tabelle (Bild 25) gibt einen Überblick über die installierten bzw. in Bau oder Planung befindlichen Photovoltaikanlagen auf städtischen Dächern:

Jahr	Monat	Objekt	Installierte Leistung [kWp]	Status	
2008	Jun 08	Sporthalle Edigheim	65,00	in Betrieb	
2009	Dez 09	Bliesschule	26,25	in Betrieb	
	Nov 09	IGS Ernst Bloch	47,25	in Betrieb	
	Nov 09	IGS Ernst Bloch Flachdächer	82,34	in Betrieb	
	Nov 09	Schulzentrum Mundenheim Sporthalle	63,00	in Betrieb	
	Jul 09	Wilhelm-Leuschner-Schule	42,00	in Betrieb	
	Jul 09	Wilhelm-Leuschner-Schule Sporthalle	15,75	in Betrieb	
	Dez 09	Hochfeldschule	26,51	in Betrieb	
	Nov 09	Langgewannschule	47,34	in Betrieb	
	Nov 09	Lessingschule	16,50	in Betrieb	
	Jun 09	Wilhelm-Hack-Museum	29,00	in Betrieb	
	Sep 09	Carl-Bosch-Gymnasium	13,20	in Betrieb	
	2010	Jun 10	Alfred-Delp-Schule	54,00	in Betrieb
		Sep 10	Astrid-Lindgren-Schule	59,40	in Betrieb
Feb 10		Grundschule Pfingstweide	42,00	in Betrieb	
Jul 10		IGS Gartenstadt	97,20	in Betrieb	
Jun 10		Max-Planck-Gymnasium	43,20	in Betrieb	
Jun 10		Niederfeldschule	75,60	in Betrieb	
2011	Jun 11	BBS Naturwissenschaft Bau V und VI	91,20	in Betrieb	
2012	Feb 12	Georgensschule	51,00	in Betrieb	
	Apr 12	Verwaltung Strassenverkehr	28,20	in Betrieb	
	Jun 12	Lagerhalle am Ofenhallendamm	325,00	in Betrieb	
	-	Erich-Kästner-Schule	51,00	im Bau	
		Schloss-Schule Oggersheim	40,00	geplant	
		Schloss-Schule Oggersheim Sporthalle	50,00	geplant	
		Mozart-Schule Rheingönheim	45,00	geplant	
		Mozart-Schule Rheingönheim Sporthalle	40,00	geplant	
2013		Schulzentrum Mundneheim	68,00	geplant	
		Wilhelm-von-Humboldt-Gymnasium	42,00	geplant	
		BBS Franz-Zang-Str. Bau II	28,00	geplant	
		BBS Franz-Zang-Str. Bau III	40,00	geplant	
		BBS Franz-Zang-Str. Bau IV	20,00	geplant	
<b>Gesamt:</b>			<b>1764,94</b>		

*Bild 25: Installierte / in Planung befindliche Photovoltaikanlagen auf städtischen Dächern*

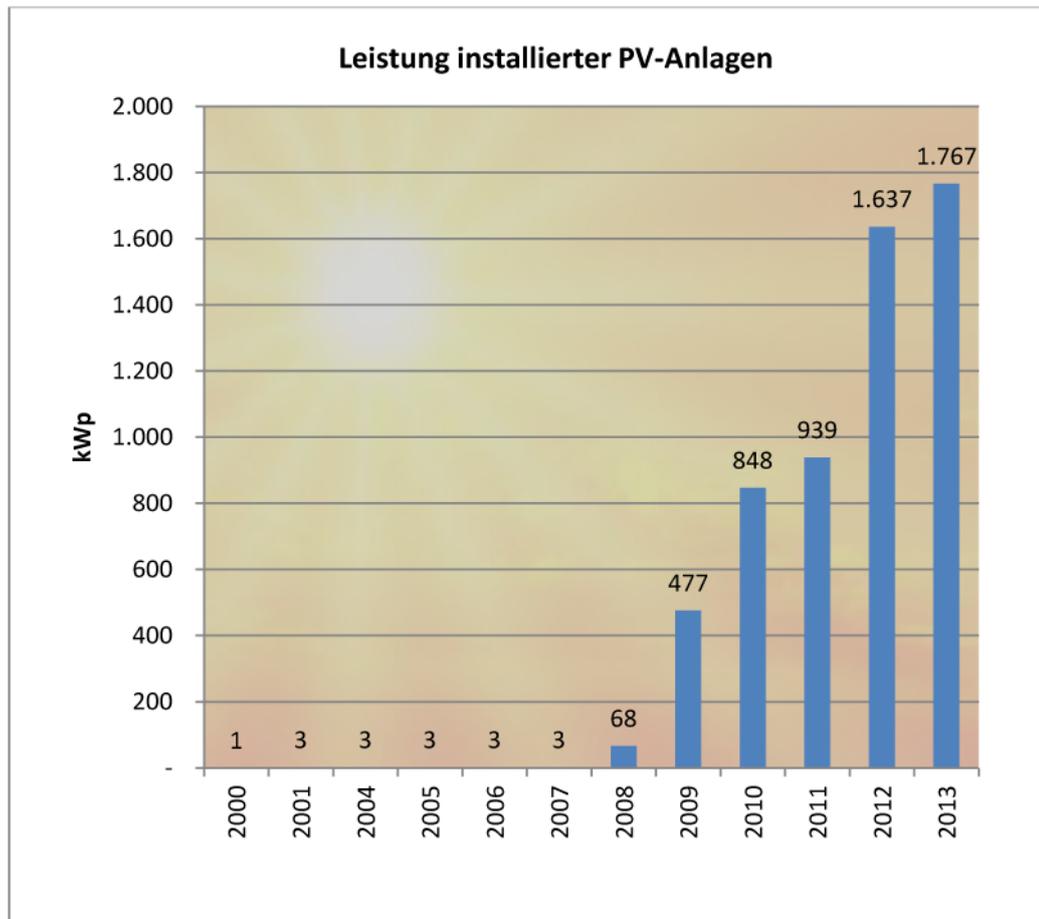
Bis Mitte 2012 werden ca. 24 Anlagen mit einer Leistung von 1.341 kW<sub>p</sub> in Betrieb sein, bis Ende 2013 soll eine Gesamt-Leistung von 1.765 kW<sub>p</sub> realisiert sein:

Installierte Leistung: 1.765 kW<sub>p</sub>  
 Erzeugte Strommenge: 1.677 MWh pro Jahr  
 Vermiedene CO<sub>2</sub>-Emissionen 1.155 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr

In den kommenden Jahren wird eine Gesamtleistung von 2.000 kW<sub>p</sub> angestrebt. Einige größere Objekte, wie das Wilhelm-von-Humboldt-Gymnasium, das Theodor-Heuss-Gymnasium oder die Anne-Frank-Realschule werden nach Sanierung der Dachflächen in den kommenden Jahren belegt. Ebenso wurden Kindertagesstätten wegen der laufenden

Umbauarbeiten in Zusammenhang mit dem „Ausbauprogramm U3“ noch nicht berücksichtigt. Potential besteht auch noch auf Verwaltungsgebäuden, sowie der LUKOM-Gebäude, die im April 2011 in die Inhaberschaft des Gebäudemanagement übergegangen sind.

Bild 26 zeigt die Entwicklung der auf den Dächern öffentlicher Gebäude der Stadt Ludwigshafen installierten Leistung seit dem Jahr 2000:



*Bild 26: Leistung der installierten PV-Anlagen (kWp) im Zeitraum 2000-2013:*

Im Jahr 2012 kam es infolge der kurzfristig vorgenommenen Kürzung der Einspeisevergütung durch die Bundesregierung zu nicht einkalkulierten Terminverzögerungen.

## 5. Fernwärmeausbauprogramm

Seit dem Jahr 2008 wird in diversen städtischen Einrichtungen die Umstellung von Heizöl und Erdgas auf Fernwärme vorgenommen. Dabei wird das Fernwärme-Ausbauprogramm der TWL genutzt. Im Rahmen des Fernwärme-Aktionsangebotes der TWL konnten veraltete Heizanlagen mit geringen Kosten oder auch gänzlich kostenneutral auf Fernwärme umgestellt werden.

Durch die Umstellung reduzieren sich neben den Betriebskosten auch die Kosten für Unterhalt, Wartung und Instandsetzung. Zudem können die CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich gesenkt werden. Folgende Objekte (Bild 27) wurden bzw. werden umgestellt:

Jahr	Objekt	Kosten der Umrüstung	Einsparung
2008	<b>Volkshochschule Ludwigsstraße 67-69</b> Stilllegung der Gasversorgung, notwendige Kesselerneuerung konnte eingespart werden	keine	ca. 10.000 EUR/a
2009	<b>Wohnhaus Limburgstraße 12</b> Stilllegung der Gasversorgung, notwendige Kesselerneuerung konnte eingespart werden	keine	ca. 500 EUR/a (Objekt ist vermietet)
2009	<b>Ludwig-Wolker-Freizeitstätte Karl-Krämer-Straße 6</b> Stilllegung der Gasversorgung, notwendige Kesselerneuerung konnte eingespart werden	keine	ca. 800 EUR/a (Objekt ist vermietet)
2009	<b>Wohnhaus des Frauenhaus Ludwigshafen e.V.</b> Stilllegung der Ölversorgung, der 50 kW-Ölkessel, Bj. 2003 wird im Rathaus Ruchheim weiterverwendet	keine	ca. 3.500 EUR/a
2009	<b>KTS Hemshofstraße 39</b> Stilllegung der Gasversorgung, notwendige Kesselerneuerung konnte eingespart werden	keine	ca. 3.500 EUR/a

Jahr	Objekt	Kosten der Umrüstung	Einsparung
2009	<b>KTS Mitte Westendstraße 6-8</b> Stilllegung der Gasversorgung, notwendige Kesselerneuerung konnte eingespart werden.	keine	ca. 5.800 EUR/a
2009	<b>Erzbergerstraße 65</b> Liegt im Zuständigkeitsbereich 4-21 Grünflächen und Friedhöfe	keine	nicht bekannt
2010	<b>Scharpfgalerie und Wohnhaus, Hemshofstraße 54</b> Stilllegung der Gasversorgung und Etagenheizungen, ein Heizkessel Bj. 2007 wird von TWL zum Restwert übernommen	ca. 4.750 EUR	ca. 3.200 EUR/a
2010	<b>BAFF e.V.</b> Maxstraße 61a Stilllegung der Gasversorgung, notwendige Kesselerneuerung kann eingespart werden.	ca. 9.500 EUR	ca. 1.500 EUR/a
2011	<b>KTS Nord, Kanalstraße 47</b> Stilllegung der Gasversorgung, notwendige Kesselerneuerung konnte eingespart werden.	keine	ca. 980 EUR/a
2011	<b>KTS Böhlstraße Böhlstr. 5</b>	keine	ca. 1.600 EUR/a
2012	<b>Wohnhaus Mannheimer Str. 80</b> Stilllegung der Ölversorgung, notwendige Kesselerneuerung kann eingespart werden	keine	ca. 550 EUR/a
2012	<b>Wohnhaus Mannheimer Str. 154</b> Stilllegung der Ölversorgung, der 27 kW-Ölkessel, Bj. 2006 wird in anderem Objekt weiterverwendet	keine	ca. 500 EUR/a
<b>Summe:</b>			<b>ca. 41.250 EUR/a</b>

*Bild 27: Auf Fernwärme umgestellte Objekte*

Insgesamt können durch die hier aufgeführten und bereits umgesetzten bzw. für 2012 geplanten Maßnahmen die Energiekosten um über 40.000 Euro pro Jahr gesenkt werden. Die Umrüstung erfolgte bei den meisten

Objekten kostenfrei für die Stadt. Lediglich in zwei Objekten (Scharpfгалerie und Baff e.V.) mussten für Umbaumaßnahmen rund 14.250 Euro investiert werden.

Heizkessel, die noch gebrauchsfähig waren, wurden in anderen Gebäuden eingesetzt. Dadurch konnte auch in diesen Objekten Investitionskosten für die Sanierung eingespart werden.

## **6. Beispiel für umgesetzte Energiekonzepte**

### **6.1 Volkshochschule Ludwigshafen (Umstellung auf Fernwärme)**

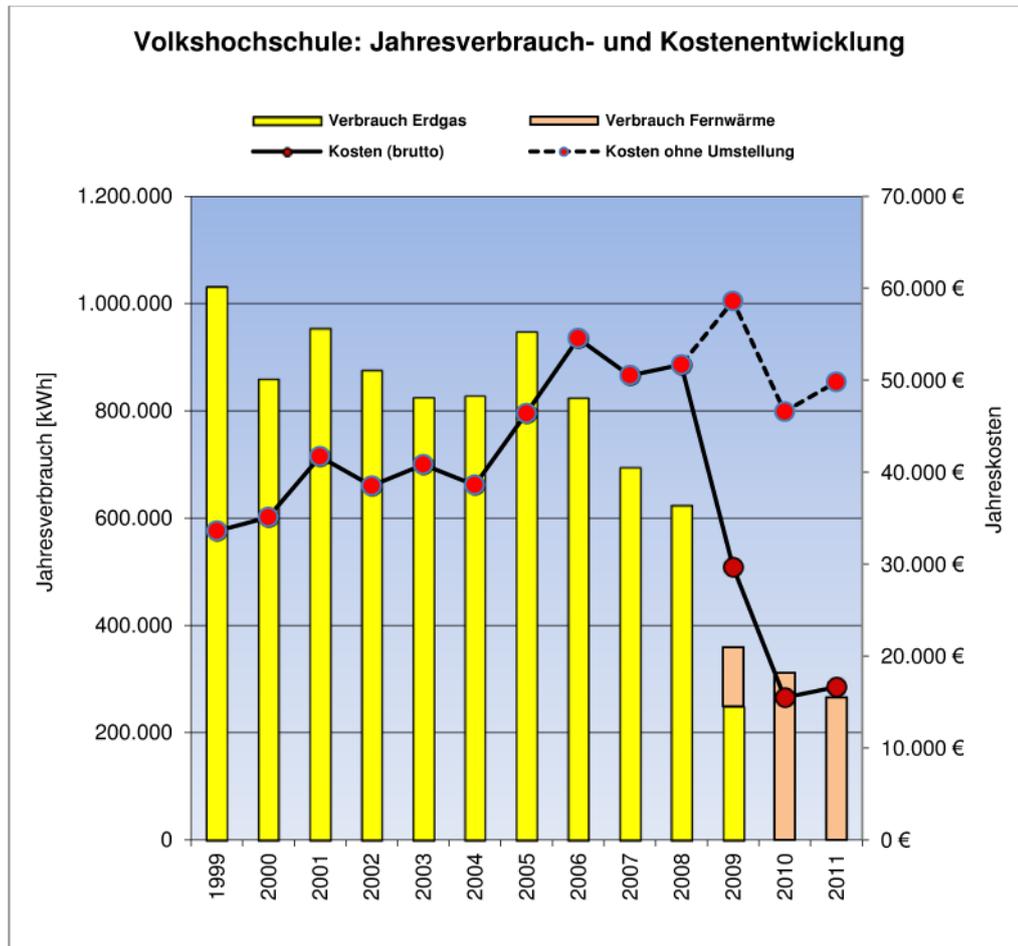
Das Gebäude wird als Bildungsstätte genutzt. Die Wärmeversorgung erfolgte bis zum Sommer 2009 mit Erdgas über zwei 465 kW-Heizkessel aus dem Jahr 1978. Die Anlage wurde über eine Heizungsregelung mit vier Heizkreisreglern gesteuert.

Die Regelung der Heizkreise und Kessel war für eine komplexe Sanierung vorzusehen. Zudem waren Kessel, Regeltechnik, Verteileranlagen veraltet und marode. Der baldige Ausfall des Systems drohte. Eine energieeffiziente Wärmeversorgung des Gebäudes war mit der Altanlage nicht mehr möglich, eine Investition im fünfstelligen Bereich drohte. Allein für die als dringlichste Maßnahme angedachte Sanierung der Heizkreisregelung hätten rund 18.000 Euro aufgewendet werden müssen.

Eine Bewertung verschiedener Sanierungsvarianten ergab schließlich, dass in diesem Falle die Umstellung auf Fernwärme die günstigste Lösung darstellt. Im Rahmen des Fernwärmeausbauprogramms der TWL konnte das Heizsystem ohne Investitionen für die Stadt auf Fernwärme umgestellt werden. Die Wartung und Instandhaltung ist ebenfalls kostenfrei.

Durch Umstellung von Erdgas auf Fernwärme konnten die Energiekosten deutlich reduziert und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß minimiert werden. Des Weiteren konnten die Kosten für eine notwendige Kesselsanierung eingespart werden. Der Aufwand für die Heizkreisregelung reduzierte sich ebenfalls. Im Juni 2009 erfolgte die Umstellung.

Bild 28 gibt einen Überblick über die Verbrauchs- und Kostenentwicklung in der Volkshochschule, sowie die Kostenentwicklung wie sie sich ohne Umstellung auf Fernwärme gestaltet hätte.



*Bild 28: Volkshochschule: Verbrauchs- und Kostenentwicklung*

Der Erdgasverbrauch konnte ab 2006 durch verschiedene Optimierungsmaßnahmen an der Regeltechnik und Verteilung gesenkt werden. Die Kosten blieben infolge steigender Preise aber weitgehend gleich. Mit der Umstellung auf Fernwärme in 2009 konnte eine weitere Verbrauchsreduzierung einhergehend mit einer deutlichen Kostensenkung erreicht werden. Die gestrichelte Linie zeigt den Verlauf der Kosten, die sich ohne Umstellung ergeben hätten. Berechnungsbasis hierfür ist der durchschnittliche Verbrauch der Jahre 2006-2008.

Die Kosten für Fernwärme lagen im Jahre 2011 bei rund 16.700 Euro. Ohne Umstellung hätten für Erdgas knapp 50.000 Euro aufgewendet werden müssen.

## 6.2 Rupprecht- /Kopernikus-Schule (BHKW)

Die Rupprecht- /Kopernikus-Schule samt Turnhalle wurde über zwei atmosphärische Gasheizkessel aus dem Jahr 1989 mit Wärme und Warmwasser versorgt. Die Anlage lief unter Höchstlast, konnte aber im Winter die notwendige Wärmeleistung nicht mehr zuverlässig erbringen. Aufgrund des Alters der Heizanlage, ihres ineffizienten Betriebes und der unsicheren Wärmeversorgung der Schule wurde eine Sanierung der Anlage unumgänglich.

Verschiedene Sanierungsvarianten wurden hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und Umweltfreundlichkeit bewertet. Unter Beachtung der örtlichen Begebenheiten, dem CO<sub>2</sub>-Minderungspotential sowie den Investitions- und Betriebsführungskosten entschied man sich für zwei neue Gasheizkessel in Kombination mit einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zur gleichzeitigen Erzeugung von Wärme und Strom.

In den Herbstferien 2006 wurden die beiden alten Heizkessel gegen zwei Gas-Brennwertkessel mit je 285 kW Leistung ausgetauscht und zwei Pufferspeicher mit insgesamt 2.750 Liter Inhalt installiert.

Darauf erfolgte im Juli 2007 die Installation und Inbetriebnahme des Gas-Brennwert-BHKW. Die regelbare elektrische Leistung liegt zwischen 15 und 34 kW, die thermische Leistung zwischen 42 und 72 kW. Der erzeugte Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist und entsprechend dem Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) vergütet.

Bei Wärmeanforderung wird zuerst die Wärmeenergie aus den Pufferspeichern entnommen. Wenn die Heizwassertemperatur in den Pufferspeichern unter den Sollwert sinkt, wird das BHKW mit kleiner Leistung gestartet. Ist der Bedarf größer als die maximale Leistung des BHKW, werden die Heizkessel einzeln zugeschaltet. Bei sinkender Lastanforderung werden die Anlagenteile in umgekehrter Reihenfolge wieder abgeschaltet. Die Gesamtanlage wird vom Team Energiecontrolling über die Zentrale Leittechnik (ZLT) überwacht und gesteuert. Fahrweise und Betriebsparameter unterliegen einer laufenden Optimierung.

Durch diese Betriebsweise kann die Leistungsabgabe des BHKW nahezu an jeden Teillastbedarf angepasst werden. Zusammen mit der Fernüberwachung wird dadurch eine Erhöhung der Laufzeitintervalle und somit eine Reduzierung der Maschinenstarts erreicht. Dank der bedarfsgerechten Dimensionierung, der Anlagenkonzeption und der laufenden Op-

timierung der Betriebsparameter erreicht das Blockheizkraftwerk so eine Laufzeit von etwa 6.000 Betriebsstunden pro Jahr.

Die Gesamtinvestition für das Energiekonzept belief sich inklusive Kaminanierung auf 200.000 Euro, wobei auf die Anlagenkonzeption mit dem BHKW rund die Hälfte entfällt. Eine Investition, die sich durch die Energieeinsparung, der Eigenstromerzeugung und der eingesparten Mineralöl- und Stromsteuer schon nach sechs bis acht Jahren amortisiert hat.

Mit dieser ersten in Eigenleistung des Gebäudemanagement errichteten und in eigener Regie betriebenen Anlage zur Kraft-Wärme-Kopplung wird eine gesicherte Wärmeversorgung des gesamten Schulkomplexes bei etwa gleichbleibendem Gasverbrauch wie zuvor erzielt. Und das, obwohl das BHKW zusätzlich jährlich 200.000 kWh umweltfreundlichen Strom produziert. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß vermindert sich durch die Gesamtanlage um 135 Tonnen pro Jahr.

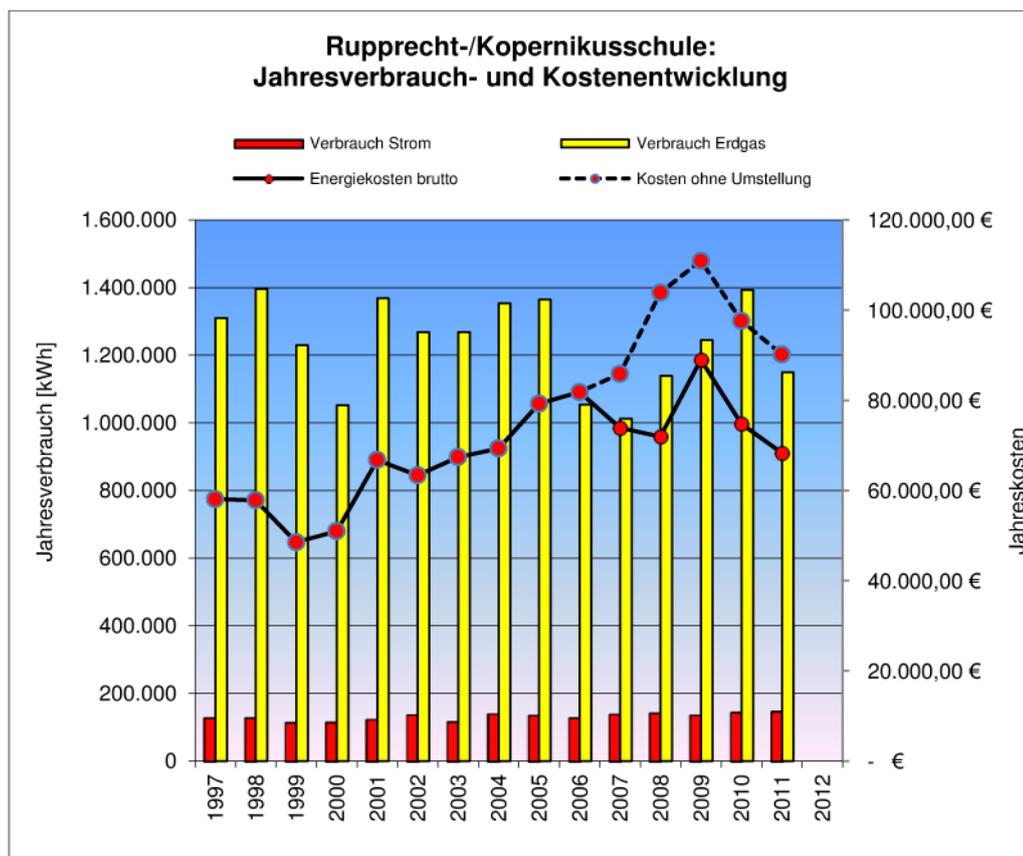


Bild 29: Jahresverbrauchs und Kostenentwicklung in der Rupprecht-/Kopernikus-Schule

Bild 29 zeigt die Verbrauchsentwicklung von Strom und Erdgas, sowie die Kostenentwicklung in den Jahren 1997-2011. Die gestrichelte Linie zeigt den Kostenverlauf, wie er sich ohne Umstellung des Energiekonzeptes ergeben hätte.

Die Kosten für Erdgas und Strom lagen im Jahre 2011 bei rund 68.400 Euro. Ohne Umrüstung hätten rund 90.200 Euro aufgewendet werden müssen. Im Zeitraum von 2007 bis 2011 konnten durch diese Maßnahme bereits rund 110.600 Euro brutto eingespart werden.

### **6.3 Sporthalle Adlerdamm (Holzhackschnitzel-Heizanlage)**

Die Heizungsanlage in der Turnhalle des Schulzentrums Mundenheim bestand aus zwei Erdgas-Heizkesseln mit je 930 kW Heizleistung aus dem Jahr 1973. Ein Kessel war durch eine Leckage im Kesselkörper komplett ausgefallen und konnte nicht wieder instandgesetzt werden. Beide Heizungskessel hatten mit über 30 Jahren Betriebsdauer ihre technische Lebensdauer mehr als erreicht. Ob und wie lange der verbliebene Heizkessel die volle Wärmeleistung noch abdecken kann, war aufgrund des schlechten Zustandes nicht vorhersehbar. Weiterhin entsprach die Heizungsanlage aufgrund des Alters der Kessel nicht mehr den Anforderungen der EnEV und musste bis Ende 2006 saniert werden. Ein Austausch der Kesselanlage musste daher umgehend erfolgen.

Unter Beachtung der örtlichen Begebenheiten, dem CO<sub>2</sub>-Minderungspotential sowie den Investitions- und Betriebsführungskosten wurde ein Variantenvergleich zur Wirtschaftlichkeit der Maßnahme vorgenommen. Man entschied sich für die Installation einer Holzhackschnitzel-Heizanlage (300 kW) in Kombination mit einem neuen Gasheizkessel (270 kW) zur Abdeckung der Grundlast. Die Betriebssicherheit dieser Variante ist für den Einsatz in einem Schulbetrieb voll geeignet. Die Inbetriebnahme war im Jahr 2008.

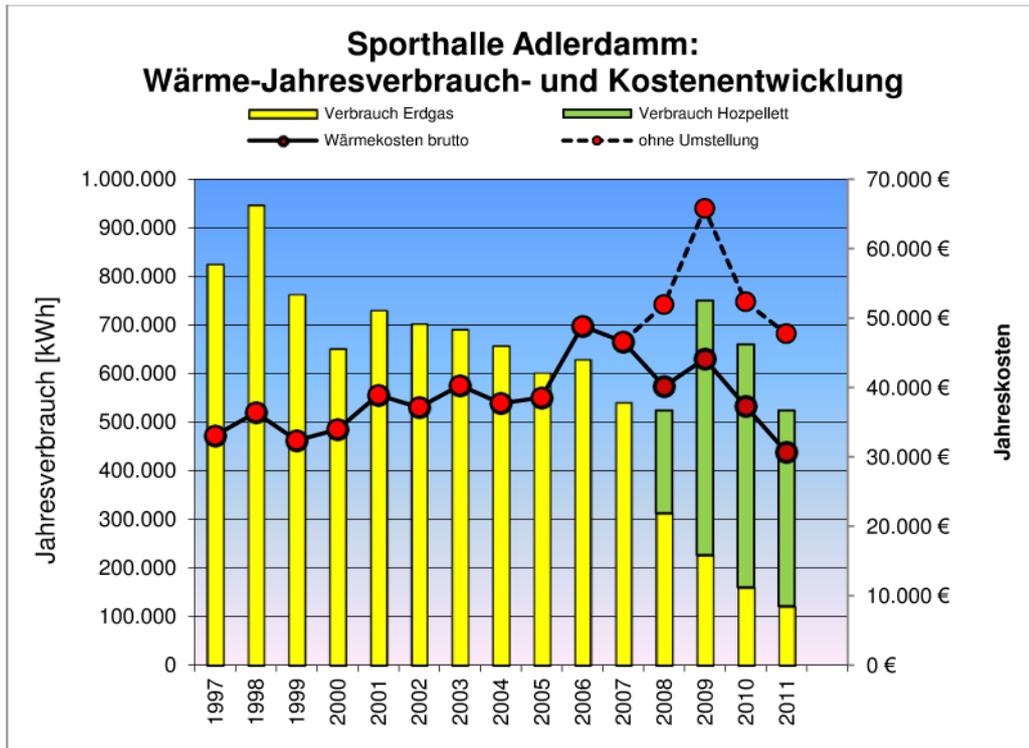


Bild 30: Jahresverbrauchs und Kostenentwicklung in der Sporthalle Adlerdamm

Bild 30 zeigt die Verbrauchsentwicklung von Erdgas ab 1997 und zusätzlich Holzhackschnittel ab 2008, sowie die Kostenentwicklung in den Jahren 1997 bis 2011. Die gestrichelte Linie zeigt den Kostenverlauf, wie er sich ohne Umstellung des Energiekonzeptes ergeben hätte.

Die Kosten für Erdgas und Holzhackschnittel lagen im Jahre 2011 bei rund 30.700 Euro. Ohne Umrüstung hätten rund 47.740 Euro aufgewendet werden müssen. Im Zeitraum von 2008 bis 2011 konnten durch diese Maßnahme rund 65.500 Euro brutto eingespart werden. Die CO<sub>2</sub>-Ersparnis liegt bei etwa 93 Tonnen pro Jahr.

## 7. Ausblick

### 7.1 Luzie (BHKW und Brennwertkessel) in Umsetzung

Die Heizungsanlage im Luzie (Ludwigshafener Zentrum für individuelle Erziehungshilfe) bestand aus einem 65 kW-Kessel für die Warmwasserbereitung, sowie zwei 454 kW-Gas-Heizkessel aus dem Jahr 1989. Nachdem ein 454 kW-Kessel ausgefallen war, wurde dieser in 2011 durch einen 180 kW Gas-Brennwertkessel ersetzt. Der 65 kW-Kessel wurde stillgelegt. Der verbliebene 454 kW-Kessel arbeitet nicht mehr effizient und hat mit 22 Betriebsjahren ebenfalls die technische Lebensdauer erreicht. Zur zuverlässigen Wärmeversorgung und aus Gründen der Energieeffizienz wurde eine weitere Modernisierung notwendig.

Unter Beachtung der Gesamtwirtschaftlichkeit der Maßnahme und des Klimaschutzes (CO<sub>2</sub>-Emissionen) wurden verschiedene Sanierungsmöglichkeiten (Holzhackschnitzel-/ Holzpellet-Kessel, Solarenergie, Kraft-Wärme-Kopplung) erwogen und mit einer konventionellen Lösung (Brennwertkessel) verglichen.

Unter Berücksichtigung des Platzangebotes, des Investitionsbedarfs, den Betriebsführungskosten sowie den monatlichen Verbrauchswerten für Strom und Erdgas, erwies sich die Variante BHKW in Kombination mit einem Brennwert-Heizkessel sowohl wirtschaftlich, als auch ökologisch (CO<sub>2</sub>-Senkung) als günstigstes Konzept. Mit dieser Maßnahme können die jährlichen Aufwendungen für die Energieversorgung um 85 % von derzeit rund 69.500 auf 12.500 Euro pro Jahr gesenkt werden. Die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren sich um 74 % bzw. 192 Tonnen pro Jahr von 259 auf 67 Tonnen pro Jahr. Die Investition von rund 160.000 Euro amortisiert sich unter Berücksichtigung von Fördergeldern innerhalb von 3 Jahren.

Der Vorschlag wurde am 28.11.2011 im Bau- und Grundstücksausschuss beraten und positiv beschieden. Derzeit läuft die öffentliche Ausschreibung.

#### Beschreibung der Maßnahme:

Die Anlage wird in der Technikzentrale aufgebaut. Der verbliebene 454 kW-Heizkessel wird ebenfalls durch einen Brennwertkessel mit 180 kW Nennwärmeleistung ersetzt. In das Versorgungssystem wird ein Gas-Brennwert-Blockheizkraftwerk (BHKW) mit einer thermischen Leistung

von 81 kW und einer elektrischen Leistung von 50 kW eingebunden. Die Anlage wird mit einem Pufferspeicher betrieben. Dadurch werden möglichst lange Laufzeiten des BHKW bei gleichzeitig möglichst wenigen Einschaltvorgängen erreicht.

Durch dieses neue Versorgungskonzept wird die gesamte Wärmegrundlast inklusive Warmwasserbereitstellung jahresdurchgängig allein durch das BHKW abgedeckt. Die Kesselanlage bleibt regelungstechnisch im Sommer außer Betrieb und dient zur Abdeckung der Spitzenheizlasten. Dadurch reduzieren sich die Bereitschaftsverluste, was die Energieeffizienz der Kessel erhöht.

Der in der Jahressumme durch das BHKW erzeugte Strom (ca. 284.000 kWh) wird primär zur Deckung des Eigenbedarfs des LUZIE verwendet (ca. 111.000 kWh), der Stromüberschuss wird ins öffentliche Netz eingespeist. Die gesamt von BHKW erzeugte Strommenge wird entsprechend dem KWK-Gesetz gewinnbringend vergütet. Der Ertrag aus dem Stromverkauf ist dadurch weitaus höher als die derzeitigen Strombezugskosten.

Folgende Förderungen / Vergütungsregelungen tragen zur hohen Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme bei:

<b>Förderung</b>	<b>Förderbetrag</b>	<b>Summe</b>
Erdgassteuerbefreiung beim BHKW Betrieb	0,55 Ct/kWh	ca. 5.020 Euro/Jahr
KWK-Zuschlag für gesamt vom BHKW erzeugten Strom (10 Jahre Laufzeit)	5,11 Ct/kWh	ca. 14.500 Euro/Jahr
Vergütung für ins Netz eingespeisten Strom (Base-Load EEX) zzgl. (Stand 10/2011)	5,89 Ct/kWh	ca. 11.200 Euro/Jahr

Bild 31 zeigt die Gegenüberstellung der derzeitigen Energieversorgungskosten und der Prognose nach Umstellung des Energiekonzeptes im ersten Jahr (grüner Balken). Mit der konventionellen Modernisierungsvariante „Gas-Brennwert-Kessel“ würden sich die Betriebskosten um rund 7.600 Euro reduzieren.

Durch die gewählte Variante „Gas-BHKW“ ergibt sich im ersten Betriebsjahr eine Kostensenkung von knapp 57.000 Euro.

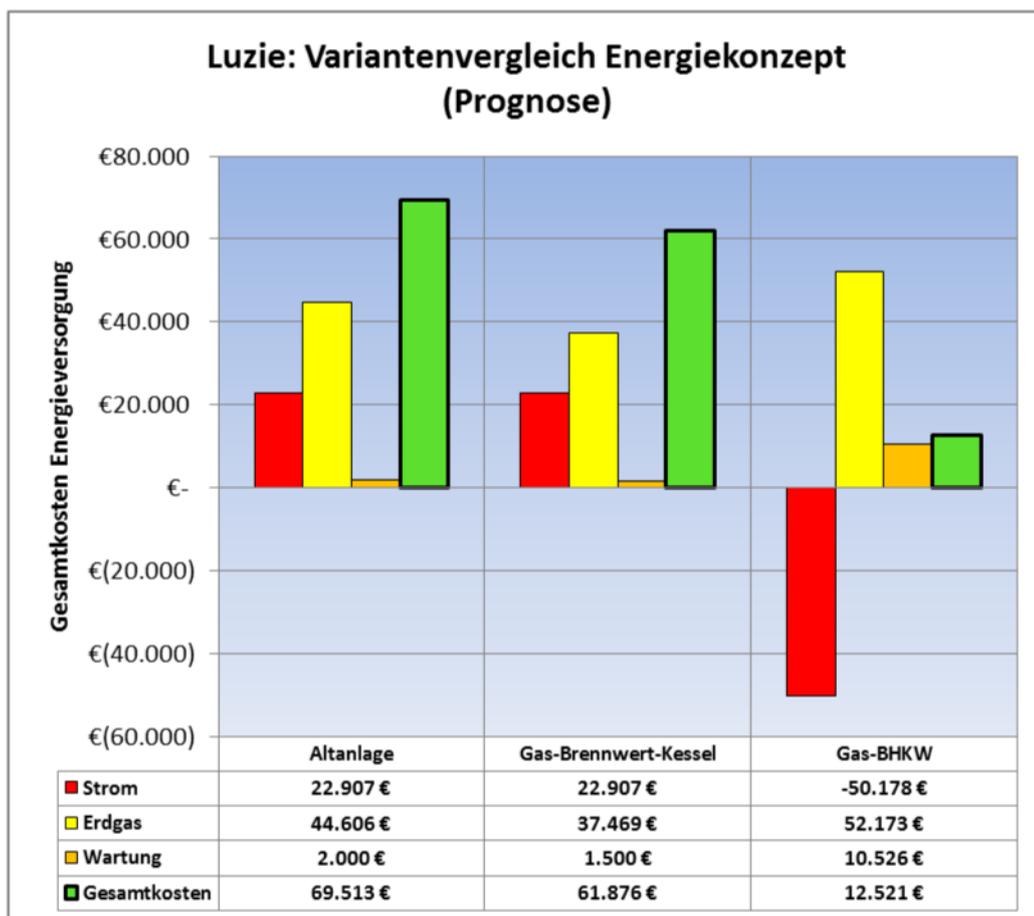
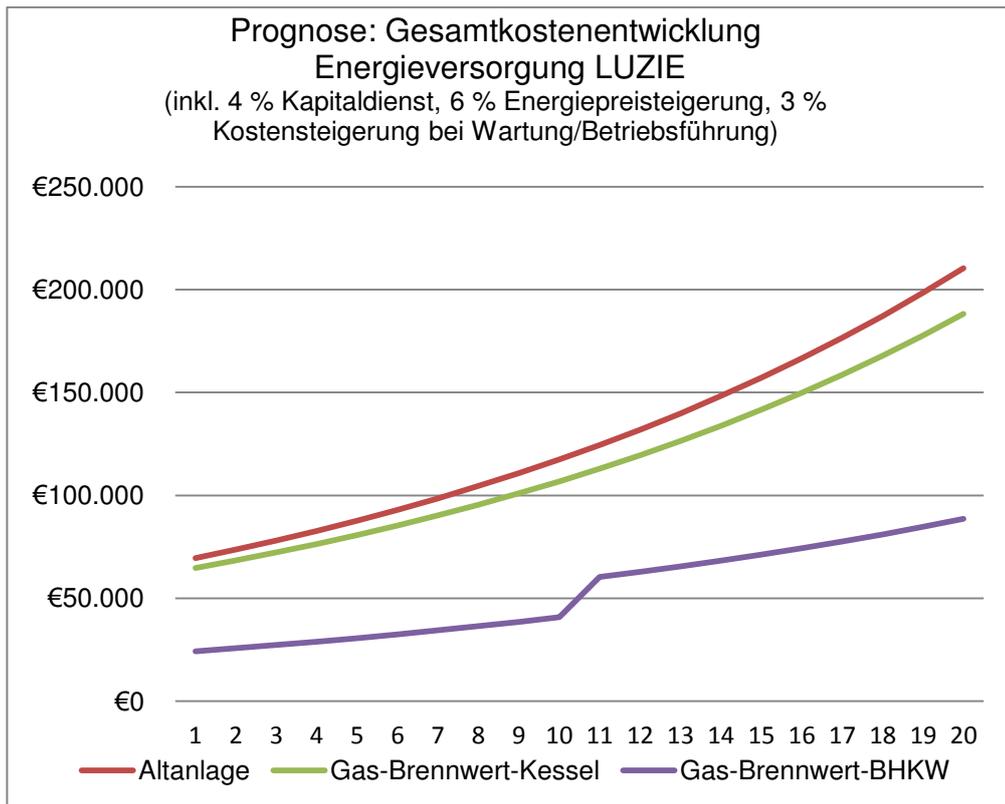


Bild 31: Variantenvergleich Energiekonzept für das 1. Betriebsjahr

Bild 32 zeigt den prognostizierten Verlauf der Gesamtkostenentwicklung der drei Varianten über einen Zeitraum von 20 Jahren:



*Bild 32: Gesamtkostenentwicklung der Sanierungsvarianten im Vergleich zur Altanlage*

Der „Knick“ in der Kurve „Gas-Brennwert-BHKW“ nach 10 Jahren resultiert aus dem ab diesem Zeitpunkt wegfallenden 10 jährigen KWK-Zuschlag für den gesamt vom BHKW erzeugten Strom.

Auf 20 Jahre hochgerechnet ergeben sich für die Energieversorgung des LUZIE folgende Summen:

Variante	Gesamtkosten in 20 Jahren	Einsparung in 20 Jahren
Altanlage	2.557.078 Euro	-
Gas-Brennwert-Kessel	2.317.945 Euro	239.133 Euro
Gas-Brennwert-BHKW	1.054.457 Euro	1.502.621 Euro

Die Variante „Gas-Brennwert-BHKW“ spart also gegenüber dem Ist-Zustand im Betrachtungszeitraum von 20 Jahren rund 1,5 Mio. Euro ein.

## 7.2 Neubau KTS Abenteuerland (Holzpellets- Heizung) in Umsetzung

### Ausgangssituation

Die Kindertagesstätte KTS Bayreuther Straße 49 wird durch einen Neubau in der Bayreuther Straße 47 erweitert. Der erste Spatenstich erfolgte am 19. Juli 2012. Die Maßnahme wird durch ein Planungsbüro begleitet.

Da vor Ort kein Erdgas- bzw. Fernwärmeanschluss im Ausbauplan der TWL vorhanden oder vorgesehen ist, sah das Energiekonzept des Planungsbüros in der Vorplanung die Wärmeversorgung (Heizung und Warmwasser) über eine Flüssiggasheizung (wie im Altbau) vor. Zur Einhaltung des Erneuerbare-Energien-Wärmegezet, EEWärmeG (mindestens 15 % der Wärmeenergie müssen über regenerative Energie bereitgestellt werden) war eine thermische Solaranlage vorgesehen.

Vom Gebäudemanagement wurde eine weitere Möglichkeit, die Beheizung mit dem regenerativen Energieträger Holzpellets, vorgeschlagen und ein Variantenvergleich mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtung vorgenommen.

### Variantenvergleich:

Es wurden insgesamt fünf Varianten untersucht und bzgl. ihrer Wirtschaftlichkeit bewertet:

- **Variante 1:** Beibehalten der Flüssiggasanlage im Altbau, neue Flüssiggasanlage für den Neubau. (Investition: 63.000 Euro)

In diesen Fall müsste zusätzlich eine Solaranlage installiert, oder der Dämmstandard deutlich erhöht werden (nicht finanzierbar). Die Heizanlage für den Altbau müsste in naher Zukunft ersetzt werden.

- **Variante 2:** Beibehalten der Flüssiggasanlage im Altbau, neue Holzpellet-Anlage für den Neubau. (Investition: 82.000 Euro)

Die Anlage Altbau müsste in naher Zukunft ersetzt werden.

- **Variante 3:** Beibehalten der Flüssiggasanlage im Altbau, neue Sole-Wasser-Wärmepumpe für den Neubau. (Investition: 130.150 Euro)

Die Anlage Altbau müsste in naher Zukunft ersetzt werden. Zur Nutzung der Umweltwärme wären Mehraufwendungen für das Heizsystem (Fußbodenheizung) notwendig geworden. Zusätzlich entstehen Stromkosten zum Betreiben der Wärmepumpe.

- **Variante 4:** Gemeinsame Flüssiggasanlage für Alt- und Neubau (Investition: 79.600 Euro)

In diesen Fall müsste zusätzlich eine Solaranlage installiert werden, oder der Dämmstandard deutlich erhöht werden (nicht finanzierbar).

- **Variante 5:** Gemeinsame Holzpellet-Anlage für Alt- und Neubau (Investition: 107.600 Euro)

#### Maßnahmenbeschreibung (Variante 5):

Die Entscheidung fiel für Variante 5. Diese Variante beinhaltet den Einbau einer Holzpellet-Heizungsanlage für beide Kindertagesstätten in den Altbau mit Verteiler, Pufferspeicher und Regelung, sowie eines Pellets-Lagerraum im Kellerbereich des KTS Bayreuther Str. 49. Der Neubau wird über eine Nahwärmeleitung versorgt.

Die Neuanlage ersetzt gleichzeitig die alte Kesselanlage im Altbau (18 Jahre alt), wodurch die Kosten für die Instandhaltung/ Ersatz der Anlage in den nächsten Jahren in Höhe von ca. 30.000 Euro eingespart werden können.

Die Gesamtkostenbetrachtung über die technische Lebensdauer des Heizsystems (20 Jahre) ergibt eine Einsparung der Holzpellets-Anlage gegenüber der Flüssiggas-Anlage von zusätzlich 50.000 Euro. Durch den Einsatz von Biomasse kann gegenüber der Lösung mit Flüssiggas die CO<sub>2</sub>-Emission außerdem um ca. 49 Tonnen pro Jahr (von 63,7 auf 14,7 Tonnen) reduziert werden. Diese Maßnahme ist wegen der geringen Folgekosten (Energie- und Betriebskosten) zugleich die wirtschaftlichste Variante. Bild 33 zeigt den Variantenvergleich der unterschiedlichen Konzepte:

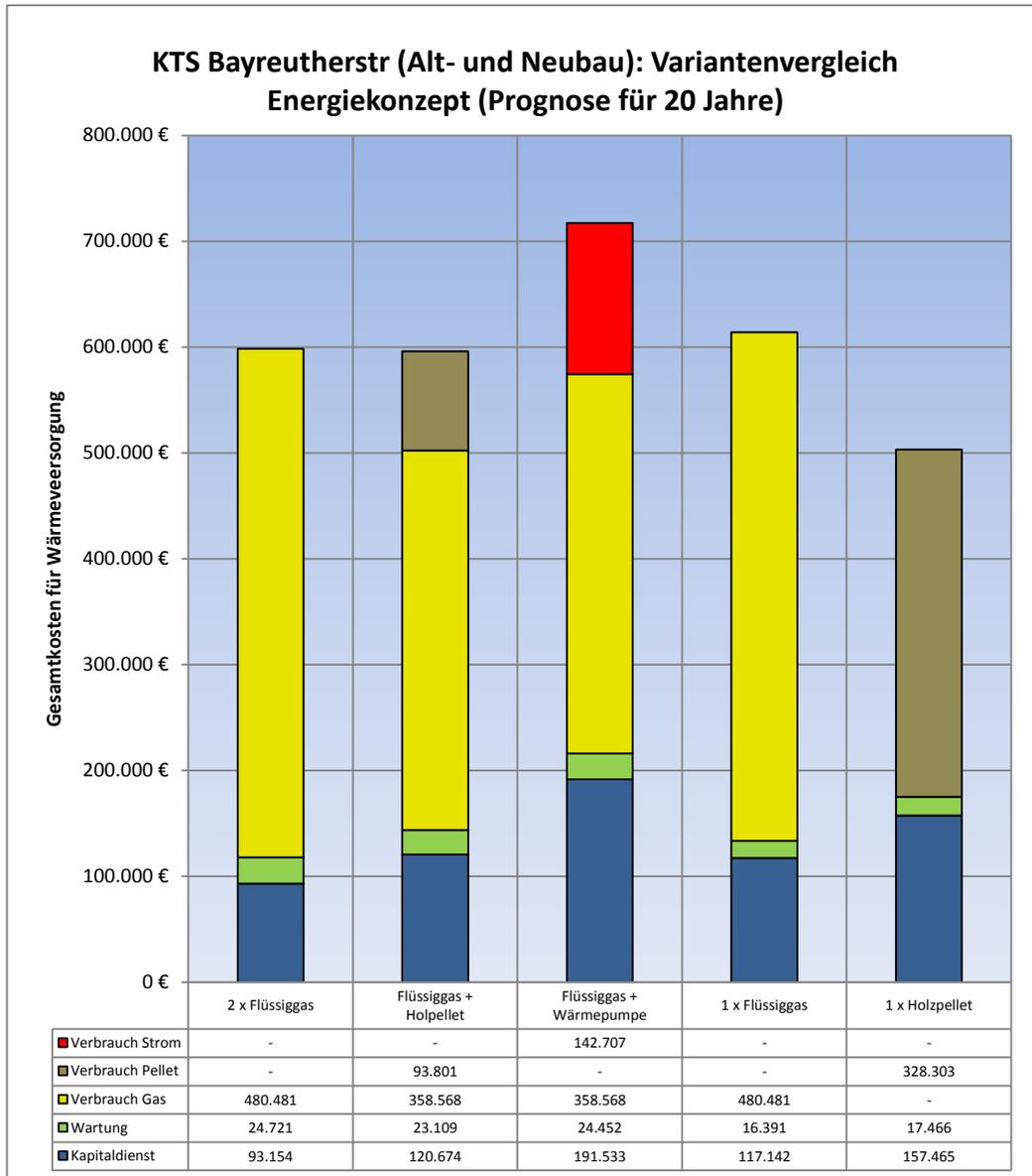


Bild 33: KTS Bayreutherstr. (Variantenvergleich Wärmeversorgungskonzepte)