

## Abschlußbericht

### Wärmeversorgungskonzept

für die

**Deutschherrenschnule,  
Willemer-/Abendhaupt- und Realschnule,  
Sporthalle Süd**



im Auftrag der

**Stadt Frankfurt am Main  
Hochbauamt - Energiemanagement  
Gerbermühlstraße 48  
60594 Frankfurt am Main**

Projekt – Nr.: FFM – 005 / 2007  
Projekt – Bez.: EK Deutschherrenschnule  
Bearbeiter: Dipl.-Ing. Rolf Maaß

Offenbach, den 19.12.2007

## Kapitel

## Inhaltsverzeichnis



### Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seite
1 Aufgabenstellung .....	- 3 -
2 Grundlagen .....	- 5 -
3 Wärmebedarf und Wärmeverbrauch .....	- 7 -
3.1 Grunddaten der Heizzentralen .....	- 7 -
3.2 Wärmebedarf der Gebäude .....	- 8 -
3.3 Wärmeverbrauch der Gebäude .....	- 9 -
4 Technische Konzeptionen der Wärmeversorgung .....	- 10 -
4.1 Variante A1: Erdgas-BHKW .....	- 11 -
4.2 Variante A2: Rapsöl-BHKW .....	- 12 -
4.3 Variante B1: Automatische Holzhackschnitzel-Feuerungsanlage .....	- 13 -
4.4 Variante B2: Automatische Holzpellet-Feuerungsanlage .....	- 14 -
4.5 Variante C: Zentrales Erdgas-Heizwerk .....	- 15 -
4.6 Variante D: Dezentrale Heizungsanlagen (Referenzvariante) .....	- 16 -
4.7 Weitere Varianten der Wärmeversorgung .....	- 17 -
5 Investitionskostenschätzung .....	- 19 -
6 Wirtschaftlichkeit der Wärmeversorgung .....	- 20 -
6.1 Wärme(rest)kosten .....	- 21 -
6.2 Sensitivitätsanalyse .....	- 22 -
6.3 Gesamtkostenberechnung .....	- 23 -
7 Primärenergieeinsparung und Emissionsbilanz .....	- 24 -
7.1 Primärenergieeinsparung .....	- 24 -
7.2 Luftschadstoffe .....	- 25 -
7.3 Treibhausgase .....	- 25 -
8 Zusammenfassung und Resümee .....	- 26 -
9 Anlagen .....	- 27 -



---

## Aufgabenstellung

1

Die Deutschherrenschnhule (Realschnhule), die Willemerschnhule (Grundschnhule) mit Abendhaupt- und Realschnhule sowie die Sporthalle Sñd liegen in enger rñumlicher Nachbarschaft auf einem Grundstñck in Frankfurt am Main / Sachsenhausen zwischen der Willemer-, Heister-, Siemens- und DreieichstraÙe. Zur Zeit wird jedes Gebñude von einer eigenen Heizungsanlage mit Heizwñrme versorgt. In der Deutschherrenschnhule werden aktuell SanierungsmaÙnahmen umgesetzt.

Die Heizungsanlagen der Deutschherrenschnhule und der Willemer-/Abendhaupt- und Realschnhule sind sanierungsbedñrfzig, die der Sporthalle Sñd ist vor ca. 8 Jahren erneuert und dabei von Heizñl auf Erdgas umgestellt worden.

Die rñumliche Nñhe der Wñrmeverbraucher ermñglicht eine Wñrmeversorgung der Schnhulen und der Sporthalle im Verbund. Gegenstand dieses Energiekonzeptes ist daher die Untersuchung und Bewertung folgender vorabgestimmter Versorgungsvarianten, um die technisch, wirtschaftlich und òkologisch gñnstigste Variante herauszufinden:

- Variante A :** Zentrale Wñrmeversorgung mit einem motorbetriebenen BHKW,  
**Variante A1:** Brennstoff Erdgas H  
**Variante A2:** Brennstoff Rapsñl,  
Spitzenkessel, Brennstoff : Erdgas H  
Standort Heizzentrale Sporthalle Sñd,  
Nahwñrmeleitung zu den Heizungsverteilungen der Deutschherren- und Willemer-/Abendhaupt- und Realschnhule.
- Variante B :** Zentrale Wñrmeversorgung mit einer automatischen Holzfeuerungsanlage,  
**Variante B1:** Brennstoff Holzhackschnitzel  
**Variante B2:** Brennstoff Holzpellets  
Spitzenkessel, Brennstoff : Erdgas H,  
Standort Heizzentrale Sporthalle Sñd,  
Nahwñrmeleitung zu den Heizungsverteilungen der Deutschherren- und Willemer-/Abendhaupt- und Realschnhule.
- Variante C :** Zentrale Wñrmeversorgung mit einem Erdgas-Heizwerk, Brennstoff : Erdgas H  
Standort Heizzentrale Sporthalle Sñd,  
Nahwñrmeleitung zu den Heizungsverteilungen der Deutschherren- und Willemer-/Abendhaupt- und Realschnhule.
- Variante D :** Referenzvariante,  
Brennwert- bzw. NT-Kessel dezentral pro Gebñude.  
Brennstoff : Erdgas H



---

**Aufgabenstellung**

**1**

Die Investitionskosten der Versorgungsvarianten sind zu schätzen, dabei sind auch die notwendigen Subsysteme, wie Druckhaltung, Wasseraufbereitung, Pumpen und Armaturen, Gebäude etc. technisch und kostenmäßig zu erfassen.

Aus den kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten der Wärmeversorgungsvarianten sowie dem Wert der Stromerzeugung in der Variante A sind die Wärme(rest)kosten zu ermitteln und zu vergleichen.

Die ökologischen Auswirkungen der Wärmeversorgungsvarianten sind im Vergleich mit dem Ist-Zustand darzustellen. Hier ist insbesondere die Emission des Treibhausgases CO<sub>2</sub> zu bewerten.

Auftraggeber ist die                   Stadt Frankfurt am Main  
  Hochbauamt – Energiemanagement  
  Gerbermühlstraße 48  
  60594 Frankfurt am Main

Ansprechpartner :                   Herr Bretzke  
  Tel.: 069 / 212 – 3 86 97  
  Fax: 069 / 212 – 3 78 51



Materialien und Daten  
Gesetze, Normen und Richtlinien  
Vor-Ort-Datenaufnahme  
Literatur

---

## Grundlagen

**2**

Das vorliegende Energiekonzept wurde auf Basis verschiedener Grundlagen erstellt. Hierbei handelt es sich um seitens der Stadt Frankfurt am Main vorgegebene Anforderungen, Gesetze und Verordnungen, Technische Regelwerke sowie Angaben der Nutzer.

Die Grundlagen sind:

- Unser Angebot vom 20.08.2007
- Verbrauchsdaten der Objekte vom Hochbauamt per E-Mail am 22.08.2007, 10.08.2006 und 20.06.2007
- Datenerhebung aus der Automatischen Verbrauchserfassung im Hochbauamt am 05.09.2007
- Vor-Ort-Datenerhebung mit Erfassung der Anlagen vom 02.08.2007
- Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vom 21. Juli 2004 (BGBl. I S. 1918), zuletzt geändert durch Artikel 3 Absatz 35 des Gesetzes vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970)
- Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG 2002) vom 19. März 2002 (BGBl. I S. 1092), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 07. November 2006 (BGBl. I S. 2550)
- Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830), zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 18. Dezember 2006 (BGBl. I S. 3180)
- Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1997 (BGBl. I S. 490), zuletzt geändert durch Artikel 4 der Verordnung vom 14. August 2003 (BGBl. I S. 1614)
- Energieeinsparverordnung (EnEV 2007/2008) in der Fassung der Bekanntmachung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519)
- Hessische Bauordnung (HBO) vom 18. Juni 2002 (GVBl. I S. 274)
- Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) vom 21. Mai 2001 (BGBl. I S. 959), geändert durch Artikel 263 der Verordnung vom 25. November 2003 (BGBl. I S. 2304)
- Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme vom 20. Juni 1980 (BGBl. I S. 742), zuletzt geändert durch Artikel 20 des Gesetzes vom 9. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3214) (AVBFernwärmeV)
- Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 30. Juli 2002 (BGBl. I vom 27. Juli 2002)



Materialien und Daten  
Gesetze, Normen und Richtlinien  
Vor-Ort-Datenaufnahme  
Literatur

---

**Grundlagen**

**2**

- VDI-Richtlinie 3807, Blatt 1: Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude - Grundlagen, Ausgabe Februar 2005
- VDI-Richtlinie 2067, Blatt 1: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen – Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen, September 2001
- Kaltschmitt, Wiese u. Streicher: Erneuerbare Energien - Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Springer-Verlag 2003
- Mainova AG:
  - Tarifblätter der Mainova für Erdgas und Strom Stand 01.10.2007
- Auszug Katasterplan Maßstab 1:500
- Telefonat Staatliches Umweltamt Wiesbaden, Dezernat 43.2 am 22.10.2007 bezüglich grundsätzlicher Genehmigungsfähigkeit der Versorgungsvarianten
- Telefonische Auskunft über Brennstoffpreise für Holzhackschnitzel der Firmen Monnheim / Grasellenbach und Herbert / Motten
- Daten vom Umweltbundesamt (UBA) über die Entwicklung von Feinstäuben von Holzfeuerungsanlagen, März 2006
- Zwischenbericht mit Präsentation und Diskussion der Ergebnisse am 15.11.2007



• Grunddaten der Heizzentralen	3.1
Wärmebedarf der Gebäude	3.2
Wärmeverbrauch der Gebäude	3.3

**Grunddaten der Heizzentralen**

**3.1**

Der IST-Zustand der Heizzentralen mit Wärmeezeugern und sonstigen Komponenten wurde bei mehreren Begehungen aufgenommen. Dabei wurden technische Daten sowie der allgemeine Zustand der Anlagen erfasst.

		Deutschherren- schule	Willemer- /Abendhaupt- und Realschule	Sporthalle Süd
Anzahl und Leistung Heizkessel	kW	2 x ca. 280 kW	2 x 465 kW	2 St., 210 / 190kW
Brennstoff	-	Heizöl EL	Erdgas H	Erdgas H
Baujahr	-	1983	1985	2000
Hersteller / Typ Heizkessel	-	Brötje	Brötje	Ygnis varino
Hersteller / Typ Brenner	-	Weishaupt	Elco Klöckner	Weishaupt
Druckhaltung	-	MAG 800 ltr.	k.A.	MAG
Wasseraufbereitung	-	Keine	Keine	Keine
Zustand	-	Optisch befriedigend, technisch noch brauchbar, weit überdimensioniert	Allgemein schlechter Zustand, Anlage abgängig	Optisch sehr guter Zustand



Grunddaten der Heizzentralen	3.1
• Wärmebedarf der Gebäude	3.2
Wärmeverbrauch der Gebäude	3.3

## Wärmebedarf der Gebäude

3.2

Der Wärmebedarf (Leistungsbedarf) der Schulgebäude und der Sporthalle wurde aus den gemessenen Tagesprofilen der Verbrauchswerte ermittelt. Hierzu wurden die Lastprofile der Automatischen Verbrauchserfassung herangezogen, die in einer zentralen Datenbank im Hochbauamt / Energiemanagement erfasst werden. Es wurden die Jahre 2004 bis 2007 betrachtet und hieraus typische Tages- und Wochengänge für verschiedene Außentemperaturen aufgestellt. Dabei musste das Tagesprofil für die Auslegungs-Außentemperatur von  $-12^{\circ}\text{C}$  extrapoliert werden, da die tiefsten gemessenen Tagesmittel im Untersuchungszeitraum lediglich  $-4,9^{\circ}\text{C}$  betragen.

Die Tagesprofile sind in folgenden Anlagen dargestellt:

- Deutschherrenschnule: Anlage 1, Blatt 1
- Willemer-/Abendhaupt- und Realschnule: Anlage 1, Blatt 2
- Sporthalle Süd: Anlage 1, Blatt 3

Die Wochenprofile sind in folgenden Anlagen dargestellt:

- Wochenganglinie: Anlage 1, Blatt 4
- Wochenganglinie optimiert: Anlage 1, Blatt 5

In allen Tagesgängen ist eine ausgeprägte Morgenspitze erkennbar nach einer starken Nachtabsenkung. Diese Lastspitze bestimmt die maximale Leistung und damit auch die Erdgasverbrauchsspitze. Durch regeltechnische Einstellmaßnahmen (früheres Ende der Nachtabsenkung, Begrenzung der max. Leistung) lassen sich hier sofort Einsparpotentiale realisieren (Darstellung als optimierte Kurve in den Tagesprofilen). Damit stellen sich die Wärmebedarfswerte für die einzelnen Gebäude und für den Wärmeverbund wie folgt dar:

		Deutschherrenschnule	Willemer-/Abendhaupt- und Realschnule	Sporthalle Süd
Wärmebedarf max. ( $-12^{\circ}\text{C}$ )	kW	250	500	550
Wärmebedarf optimiert	kW	200	400	500
Summe Wärmebedarf max.	kW		1.300	
Gleichzeitigkeitsfaktor	-		0,9	
Summe Wärmebedarf optimiert	kW		990	

Durch die Optimierung des maximalen Wärmebedarfs sowie durch den Wärmeverbund kann die gemeinsame Bezugsleistung um ca. 300 kW gesenkt werden.



Grunddaten der Heizzentralen	3.1
Wärmebedarf der Gebäude	3.2
• Wärmeverbrauch der Gebäude	3.3

**Wärmeverbrauch der Gebäude**

**3.3**

Der Wärmeverbrauch der Schulgebäude und der Sporthalle wurde den Verbrauchsabrechnungen des Energieversorgers Mainova AG der Jahre 2002 bis 2006 entnommen und mit den gemessenen Verbrauchswerten der Automatischen Verbrauchserfassung auf Plausibilität geprüft. Hierzu wurden ebenfalls die Lastprofile herangezogen, die in einer zentralen Datenbank im Hochbauamt / Energiemanagement erfasst werden. Damit stellen sich die Wärmeverbrauchswerte für die einzelnen Gebäude und für den Wärmeverbund wie folgt dar:

		Deutschherren- schule	Willemer- /Abendhaupt- und Realschule	Sporthalle Süd
Brennstoffverbrauch		389.400	756.015	558.281
Kesselnutzungsgrad		90%	92%	94%
Wärmeverbrauch	kW	350.460	695.534	524.784
Summe Wärmeverbrauch Netto	kW		1.570.778	
Verteilungsverluste (ca. 8%)	-		125.662	
Summe Wärmeverbrauch Brutto	kW		1.696.440	

Die Kesselnutzungsgrade wurden anhand des Alters und des technischen Zustands der Heizkessel geschätzt und liegen tatsächlich eher niedriger.

Die bei der Nahwärmeverteilung auftretenden Verteilungsverluste sind geschätzt und im Betrieb durch Absenkung der Vorlauf- und Rücklauftemperatur sowie durch Abschaltung der Heizungsanlagen im Sommer bis auf die Warmwasserbereitung in der Turnhalle noch zu reduzieren.



Variante A1: Erdgas-BHKW	4.1
Variante A2: Rapsöl-BHKW	4.2
Variante B1 Holzhackschnitzelfeuerung	4.3
Variante B2: Holzpelletfeuerung	4.4
Variante C: Erdgas-Heizwerk	4.5
Variante D: Dezentrale Heizkessel	4.6
Weitere Varianten der Wärmeversorgung	4.7

---

**Technische Konzeptionen der Wärmeversorgung**

**4**

Die Technischen Konzeptionen der Wärmeversorgung für die einzelnen Versorgungsvarianten sind ausgelegt nach den im Kapitel 3 genannten Wärmebedarfs- bzw. Wärmeverbrauchsdaten. Berücksichtigt werden Nahwärme-Versorgungssysteme mit konventionellen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) mit dem Brennstoff Erdgas sowie mit dem regenerativen Brennstoff Rapsöl. Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit wird in der Variante A1 (Erdgas-BHKW) eine gemeinsame Stromversorgung für die Schulgebäude und die Sporthalle Süd geschaffen. Hiermit ist eine vorrangige Eigenbedarfsdeckung möglich, die aufgrund des höheren Strompreises gegenüber der KWK-Vergütung zu einem höheren Stromerlös führt.

Des Weiteren werden Nahwärmesysteme mit reiner Wärmeerzeugung auf Basis von Erdgas sowie den regenerativen Brennstoffen Holzhackschnitzel und Holzpellets betrachtet. In der Referenzvariante erfolgt die Wärmeversorgung mit Niedertemperaturkesseln in den einzelnen Liegenschaften.

In den folgenden Abschnitten sind die Varianten der Wärmeversorgung mit ihren Technischen Konzeptionen im Einzelnen erläutert und mit ihren Lage- und Aufstellungsplänen in den Zeichnungen EK-01 bis EK-08 dargestellt. Die Leistungswerte der Erzeugungsanlagen und ihrer Komponenten sind für alle Varianten in der Tabelle „Zusammenstellung der Versorgungsvarianten“ in Anlage 5 vollständig aufgeführt.



• Variante A1: Erdgas-BHKW	4.1
Variante A2: Rapsöl-BHKW	4.2
Variante B1: Holzhackschnitzelfeuerung	4.3
Variante B2: Holzpelletfeuerung	4.4
Variante C: Erdgas-Heizwerk	4.5
Variante D: Dezentrale Heizkessel	4.6
Weitere Varianten der Wärmeversorgung	4.7

**Variante A1: Blockheizkraftwerk (Erdgas-BHKW)**

**4.1**

**Aufbau:** Zentrale Wärmeversorgung mit einem motorbetriebenen BHKW,  
Brennstoff : Erdgas H  
Spitzenkessel, Brennstoff : Erdgas H  
Standort Heizzentrale Sporthalle Süd,  
Nahwärmeleitung zu den Heizungsverteilungen der Deutschherren- und Willemer-/Abendhaupt- und Realschule.,  
Zusammenfassung der Stromversorgungs-Zuleitungen der Schulgebäude und der Sporthalle Süd auf eine zentrale Einspeisung mit BHKW-Erzeugung zur teilweisen Eigenbedarfsdeckung.

**Komponenten:** Motormodul mit Generator und Schallschutzhaube,  
Leistung 143 kW(th), 100 kW(el),  
Pufferspeicher im Gebäude, 200mm Isolierung,  
Niedertemperaturkessel incl. modulierendem Brenner,  
Leistung 2 x 450 kW,  
Leistungsauslegung 2 x 50% der Wärmehöchstlast als Redundanz,  
Verstärkung des bestehenden Erdgasanschlusses,  
Freistehende Kaminanlage dreizügig h = ca. 6 m,  
pumpengesteuerte Druckhalteanlage,  
Wasseraufbereitung (Enthärtung und Dosierung),  
Verteiler und Sammler incl. WMZ,  
Rohrleitungen, Armaturen und Umwälzpumpen in allen drei Heizzentralen,  
Isolierung aus Mineralwolle und Blechummantelung,  
Be- und Entlüftung, RWA – Anlage,  
Elektro- und MSR-Technik,  
bauliche Maßnahmen wie Fundamente, Wanddurchbrüche, verputzen, streichen  
erdverlegte Nahwärmeleitung KMR-Rohrsystem Dämmserie 3,  
Nennweiten DN 80 – DN 50,  
erdverlegte Stromversorgungs-Zuleitungen der Schulgebäude zur Sporthalle Süd  
sowie Einbau von Abgangsfeldern in der Schaltanlage der Sporthalle Süd,  
Trafostation Willemerstraße 16 für Anschluß geeignet, Standort siehe Lageplan.

**Darstellung:** Lageplan Nahwärmenetz EK-01  
Übersichtsplan EK-02

In einer Untervariante wurde ein kleineres Erdgas-BHKW mit einer Leistung von 50 kW(el) betrachtet. Der Pufferspeicher wird verkleinert, alle übrigen Komponenten bleiben gleich.



Variante A1: Erdgas-BHKW	4.1
• Variante A2: Rapsöl-BHKW	4.2
Variante B1: Holzhackschnitzelfeuerung	4.3
Variante B2: Holzpelletfeuerung	4.4
Variante C: Erdgas-Heizwerk	4.5
Variante D: Dezentrale Heizkessel	4.6
Weitere Varianten der Wärmeversorgung	4.7

**Variante A2: Blockheizkraftwerk (Rapsöl-BHKW)**

**4.2**

**Aufbau:** Zentrale Wärmeversorgung mit einem motorbetriebenen BHKW,  
Brennstoff : Rapsöl (Pflanzenöl, nachhaltige Produktion)  
Spitzenkessel, Brennstoff : Erdgas H  
Standort Heizzentrale Sporthalle Süd,  
Nahwärmeleitung zu den Heizungsverteilungen der Deutschherren- und Willemer-  
/Abendhaupt- und Realschule.

**Komponenten:** Motormodul mit Generator und Schallschutzhaube,  
Leistung 140 kW(th), 100 kW(el),  
Pufferspeicher im Gebäude, 200mm Isolierung,  
Niedertemperaturkessel incl. modulierendem Brenner,  
Leistung 2 x 450 kW,  
Leistungsauslegung 2 x 50% der Wärmehöchstlast als Redundanz,  
erdverlegter Rapsöltank und Tagestank am Motormodul,  
Verstärkung des bestehenden Erdgasanschlusses,  
Freistehende Kaminanlage dreizügig h = ca. 6 m,  
pumpengesteuerte Druckhalteanlage,  
Wasseraufbereitung (Enthärtung und Dosierung),  
Verteiler und Sammler incl. WMZ,  
Rohrleitungen, Armaturen und Umwälzpumpen in allen drei Heizzentralen,  
Isolierung aus Mineralwolle und Blechummantelung,  
Be- und Entlüftung, RWA – Anlage,  
Elektro- und MSR-Technik,  
bauliche Maßnahmen wie Fundamente, Wanddurchbrüche, verputzen, streichen  
erdverlegte Nahwärmeleitung KMR-Rohrsystem Dämmserie 3,  
Nennweiten DN 80 – DN 50,  
Zusammenfassung der Stromversorgungs-Zuleitungen der Schulgebäude und der  
Sporthalle auf eine zentrale Einspeisung mit BHKW-Erzeugung zur teilweisen  
Eigenbedarfsdeckung,  
Trafostation Willemerstraße 16 für Anschluß geeignet, Standort siehe Lageplan.

**Darstellung:** Lageplan Nahwärmenetz EK-01  
Übersichtsplan EK-03



Variante A1: Erdgas-BHKW	4.1
Variante A2: Rapsöl-BHKW	4.2
• Variante B1: Holzhackschnitzelfeuerung	4.3
Variante B2: Holzpelletfeuerung	4.4
Variante C: Erdgas-Heizwerk	4.5
Variante D: Dezentrale Heizkessel	4.6
Weitere Varianten der Wärmeversorgung	4.7

**Variante B1: Automatische Holzhackschnitzel-Feuerungsanlage**

**4.3**

**Aufbau:** Zentrale Wärmeversorgung mittels einer automatischen Holzhackschnitzel-Feuerungsanlage, Spitzenkessel,  
Brennstoff : Holzhackschnitzel aus Waldrestholz, Erdgas H (Spitzenkessel),  
Standort Heizzentrale Sporthalle Süd,  
Nahwärmeleitung zu den Heizungsverteilungen der Deutschherren- und Willemer-/Abendhaupt- und Realschule.

**Komponenten:** Automatische Holzhackschnitzelfeuerungsanlage 360 kW  
incl. Brennstoff-Fördertechnik, Schubboden, Brennstoffsilo unterirdisch,  
Ascheaustrag, Rauchgasreinigung, interne Verrohrung, Hydraulik, Steuerung, etc.,  
Holzhackschnitzelsilo für ca. 5- 10 Volllasttage,  
Niedertemperaturkessel incl. modulierendem Brenner Erdgas H als  
Spitzenkessel, Leistung 720 kW,  
Freistehende Kaminanlage zweizügig h = ca. 6 m,  
pumpengesteuerte Druckhalteanlage,  
Wasseraufbereitung (Dosierung und Enthärtung),  
Rohrleitungen, Armaturen und Umwälzpumpen,  
Isolierung aus Mineralwolle und Blechummantelung,  
Be- und Entlüftung, RWA – Anlage,  
Elektro- und MSR-Technik,  
bauliche Maßnahmen wie Fundamente, Wanddurchbrüche, verputzen, streichen  
erdverlegte Nahwärmeleitung KMR-Rohrsystem Dämmserie 3,  
Nennweiten DN 80 – DN 50.

**Darstellung:** Übersichtsplan EK-04



Variante A1: Erdgas-BHKW	4.1
Variante A2: Rapsöl-BHKW	4.2
Variante B1: Holzhackschnitzelfeuerung	4.3
• Variante B2: Holzpelletfeuerung	4.4
Variante C: Erdgas-Heizwerk	4.5
Variante D: Dezentrale Heizkessel	4.6
Weitere Varianten der Warmeverorgung	4.7

**Variante B2: Automatische Holzpellet-Feuerungsanlage**

**4.4**

Aufbau: Zentrale Warmeverorgung mittels einer automatischen Holzpellet-Feuerungsanlage, Spitzenkessel,  
Brennstoff : Holzpellets nach DIN 51731, Erdgas H (Spitzenkessel),  
Standort Heizzentrale Sporthalle Süd,  
Nahwärmeleitung zu den Heizungsverteilungen der Deutschherren- und Willemer-/Abendhaupt- und Realschule.

Komponenten: Automatische Holzpellet-Feuerungsanlage 200 kW  
incl. Brennstoff-Fördertechnik, Brennstoffsilo unterirdisch mit Einblasstutzen,  
Ascheaustrag, Rauchgasreinigung mit Metallgewebefilter (Feinstaubfilter),  
interne Verrohrung, Hydraulik, Steuerung, etc.,  
Pelletsilo für ca. 6 Wochen Vollast,  
Niedertemperaturkessel incl. modulierendem Brenner Erdgas H als  
Spitzenkessel, Leistung 800 kW  
Freistehende Kaminanlage zweizügig h = ca. 6 m,  
pumpengesteuerte Druckhalteanlage,  
Wasseraufbereitung (Dosierung und Enthärtung),  
Rohrleitungen, Armaturen und Umwälzpumpen,  
Isolierung aus Mineralwolle und Blechummantelung,  
Be- und Entlüftung, RWA – Anlage,  
Elektro- und MSR-Technik,  
bauliche Maßnahmen wie Fundamente, Wanddurchbrüche, verputzen, streichen  
erdverlegte Nahwärmeleitung KMR-Rohrsystem Dämmserie 3,  
Nennweiten DN 80 – DN 50.



Variante A1: Erdgas-BHKW	4.1
Variante A2: Rapsöl-BHKW	4.2
Variante B1: Holzhackschnitzelfeuerung	4.3
Variante B2: Holzpelletfeuerung	4.4
• Variante C: Erdgas-Heizwerk	4.5
Variante D: Dezentrale Heizkessel	4.6
Weitere Varianten der Wärmeversorgung	4.7

---

**Variante C: Zentrales Erdgas-Heizwerk**

**4.5**

**Aufbau:** Zentrale Wärmeversorgung mit einem erdgasbetriebenen Heizwerk,  
2 Niedertemperaturkessel, Brennstoff : Erdgas H  
Standort Heizzentrale Sporthalle Süd,  
Nahwärmeleitung zu den Heizungsverteilungen der Deutschherren- und Willemer-  
/Abendhaupt- und Realschule.

**Komponenten:** Niedertemperaturkessel incl. modulierendem Brenner,  
Leistung: 1 x 575 kW, 1 450 kW,  
Verstärkung des bestehenden Erdgasanschlusses,  
Freistehende Kaminanlage zweizügig h = ca. 6 m,  
pumpengesteuerte Druckhalteanlage,  
Wasseraufbereitung (Enthärtung und Dosierung),  
Verteiler und Sammler incl. WMZ,  
Rohrleitungen, Armaturen und Umwälzpumpen in allen drei Heizzentralen,  
Isolierung aus Mineralwolle und Blechummantelung,  
Be- und Entlüftung, RWA – Anlage,  
Elektro- und MSR-Technik,  
bauliche Maßnahmen wie Fundamente, Wanddurchbrüche, verputzen, streichen  
erdverlegte Nahwärmeleitung KMR-Rohrsystem Dämmserie 3,  
Nennweiten DN 80 – DN 50.

**Darstellung:** Übersichtsplan EK-05

Kapitel

Technische Konzeptionen der Wärmeversorgung

4



Variante A1: Erdgas-BHKW	4.1
Variante A2: Rapsöl-BHKW	4.2
Variante B1 Holzhackschnitzelfeuerung	4.3
Variante B2: Holzpelletfeuerung	4.4
Variante C: Erdgas-Heizwerk	4.4
• Variante D: Dezentrale Heizkessel	4.6
Weitere Varianten der Wärmeversorgung	4.7

**Variante D: Dezentrale Heizungsanlagen (Referenzvariante)**

**4.6**

Aufbau: Dezentrale Heizkesselanlagen in den Schulgebäuden und der Sporthalle Süd, Aufbau und Ausrüstung nach aktuellen Anforderungen

Komponenten: NT-Kessel pro Gebäude, Brennstoff : Erdgas H  
Aufstellung in den jeweiligen Heizzentralen  
incl. Regelung und sicherheitstechnischer Ausstattung,  
Erdgasversorgung mit Gaszähler,  
Schornsteinsanierung,  
Wärmeverteilung, Pumpen, Isolierung etc.  
bauliche Maßnahmen wie Fundamente, verputzen, streichen

Darstellung: Übersichtsplan EK-06 bis EK-08



Variante A1: Erdgas-BHKW	4.1
Variante A2: Rapsöl-BHKW	4.2
Variante B1: Holzhackschnitzelfeuerung	4.3
Variante B2: Holzpelletfeuerung	4.4
Variante C: Erdgas-Heizwerk	4.5
Variante D: Dezentrale Heizkessel	4.6
• Weitere Varianten der Wärmeversorgung	4.7

---

**Weitere Varianten der Wärmeversorgung**

**4.7**

**4.7.1 Solarenergie**

Die Nutzung thermischer Solarenergie zur Warmwasserbereitung ist eine dem Stand der Technik entsprechende und wirtschaftliche Form der Nutzung regenerativer Energie. Auf dem Dach der Sporthalle Süd würden Solarkollektoren in Dachaufstellung mit selektiver Beschichtung zur Erhöhung des Systemwirkungsgrades mit einem nutzbaren Wärmeertrag von ca. 300 kWh/m<sup>2</sup>\*a zum Einsatz kommen. Hierzu ist es erforderlich, die Solarkollektoren auf den Dachflächen überwiegend nach Süden auszurichten.

Der Warmwasserbedarf beträgt nach eigener Schätzung auf Basis der installierten Warmwasserverbraucher ca. 60.000 kWh/a. Somit ist zur vollständigen Bereitstellung der für Warmwasserbereitung benötigten Wärmemenge eine Kollektorfläche von ca. 200 m<sup>2</sup> erforderlich. Dies erscheint technisch und wirtschaftlich jedoch nicht ohne weiteres realisierbar.

Die Leistung der Solarkollektoren ist durch andere Energieerzeugungssysteme vorzuhalten, da mit witterungsbedingten Schwankungen oder Ausfällen zu rechnen ist. Somit kann die solarthermische Warmwasserbereitung bei der Auslegung der Leistung der Versorgungssysteme nicht berücksichtigt werden und verändert nicht die Höhe der Investitionskosten. Durch die Senkung des Jahresverbrauchs an Fremdenergie verlieren Kraft-Wärme-Kopplungssysteme wie Fernwärme oder BHKW jedoch Auslastung insbesondere in der Grundlast und werden damit wirtschaftlich schlechter gestellt.

Kapitel

Technische Konzeptionen der Wärmeversorgung

4



Variante A1: Erdgas-BHKW	4.1
Variante A2: Rapsöl-BHKW	4.2
Variante B1: Holzhackschnitzelfeuerung	4.3
Variante B2: Holzpelletfeuerung	4.4
Variante C: Erdgas-Heizwerk	4.5
Variante D: Dezentrale Heizkessel	4.6
• Weitere Varianten der Wärmeversorgung	4.7

Weitere Varianten der Wärmeversorgung

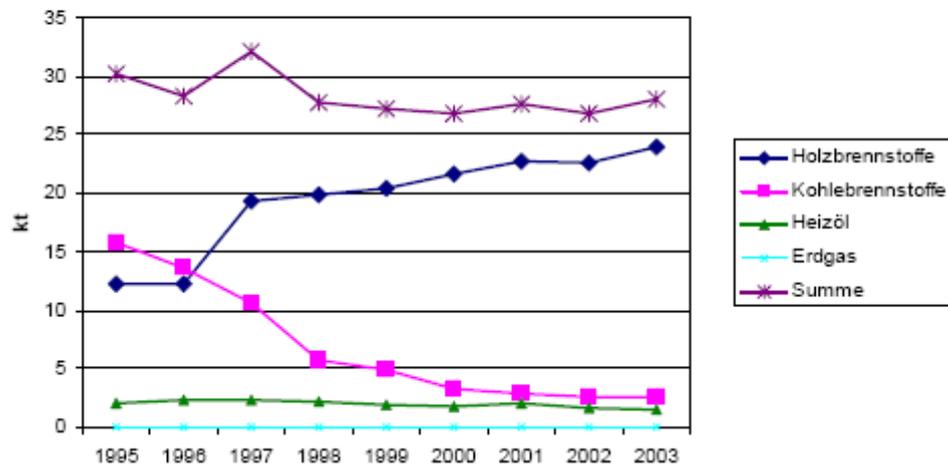
4.7

4.7.2 Einzelheizungen mit Holzpellet-Heizkesseln

Die Beheizung der Schulgebäude und der Sporthalle Süd mit dem Brennstoff Holzpellets ist eine technisch mögliche Alternative zu anderen Einzelheizsystemen. Die Technik ist ausgereift und marktgängig, der Brennstoff ist zur Zeit noch relativ günstig verfügbar, jedoch mit steigender Tendenz. Vorzusehen ist neben dem Heizraum ein Brennstofflagerraum, der aus einem Tankwagen befüllt werden kann.

Nachteil der Holzpelletfeuerungen sind die Staubemissionen. Hier ist demnächst mit einer Verschärfung der 1. BImSchV (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen) zu rechnen, Bestrebungen in dieser Hinsicht werden vom Umweltbundesamt unternommen. Folgende Grafik soll die Entwicklung der Feinstaubemissionen in den letzten Jahren verdeutlichen:

Entwicklung der Feinstaubemissionen aus Anlagen der 1.BImSchV



Entwicklung der Feinstaubemissionen (PM<sub>10</sub>) aus Kleinf Feuerungsanlagen

Quelle: Zentrales System Emissionen im Umweltbundesamt

Aus diesem Grund ist für Holzpelletfeuerungen zukünftig ein Feinstaubfilter wie in Variante B2 vorzusehen, der die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen erschwert.



**Investitionskostenschätzung**

**5**

Die überschlägigen Investitionskosten aller Varianten wurden für alle Hauptkomponenten wie z.B. Motor-Modul des BHKW, Heizkessel für alle Brennstoffe, Wasseraufbereitung, Druckhaltung und Wärmespeicher durch Einholung aktueller Richtpreise sowie auf Basis vorliegender Angebote geschätzt. Die Investitionskosten der übrigen Komponenten und Systeme wurden aus Herstellerpreislisten sowie von aktuellen vergleichbaren Projekten übernommen. Die Investitionskosten der Nahwärmesysteme beinhalten neben Rohrleitungen auch Tiefbau und Oberflächenwiederherstellung wie vorgefunden.

Der Summe der Einzelpositionen wurde noch ein ca. 5%-iger pauschaler Zuschlag für „Unvorhergesehenes“ sowie ein Ansatz „Planungskosten nach HOAI, Zone II unten, 100% mit 20% Umbauschlag und 5% Nebenkosten“ hinzuaddiert.

In der Anlage 4 zur statischen Wirtschaftlichkeitsrechnung sind alle Investitionstitel pro Variante bei der Ermittlung der kapitalgebundenen Kosten aufgeführt.

Im Folgenden sind die Investitionskosten für alle Varianten aufgelistet:

	Investitionssumme € (Netto)	MwSt. 19%	Investitionssumme € (Brutto)
Variante A1: Erdgas-BHKW	529.900	100.681	630.581
Variante A2: Rapsöl-BHKW	670.200	127.338	797.538
Variante B1: Holzhackschnitzelfeuerung	672.200	127.718	799.918
Variante B2: Holzpelletfeuerung	550.900	104.671	655.571
Variante C: Zentrales Erdgas-Heizwerk	348.000	66.120	414.120
Variante D: Dezentrale Heizungsanlagen	284.000	53.960	337.960
<i>Variante D1: Deutschherrenschule</i>	92.700	17.613	110.313
<i>Variante D2: Willemer-/Abendhaupt- und Realschule</i>	101.200	19.228	120.428
<i>Variante D3: Sporthalle Süd</i>	90.100	17.119	107.219

Die Investitionskosten der Varianten A2 (Rapsöl-BHKW) und B1 (Holzhackschnitzelfeuerung) sind mehr als doppelt so hoch wie die der Variante D (Einzelheizungsanlagen). Die Investitionsmehrkosten der Varianten A1 (Erdgas-BHKW) und B2 (Holzpelletfeuerung) belaufen sich auf ca. 80% und der Variante C (Zentrales Erdgas-Heizwerk) immerhin noch auf 20% gegenüber der Variante D.



---

**Wirtschaftlichkeit der Wärmeversorgung**

**6**

Die Wirtschaftlichkeit der Varianten der Wärmeversorgung wurde durch eine statische Wirtschaftlichkeitsrechnung (Kostenvergleichsrechnung) in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 für alle technischen Varianten untersucht. Hiernach teilen sich die Kosten der Wärmeerzeugung auf in kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundene Kosten und ergeben die Wärmekosten. Bei den Anlagen mit Stromerzeugung ist hiervon eine Gutschrift nach KWK-Gesetz oder bei Einsatz regenerativer Brennstoffe nach EEG-Gesetz in entsprechender Höhe abzuziehen. Die resultierenden Kosten sind die Wärmerestkosten (Netto, ohne MwSt.).

Wesentliche Parameter waren für alle Rechenvorgänge die folgend aufgeführten Grundlagen

- kalkulatorischer Zinssatz 3,85 % / a (aktueller KfW-Zins für Kommunalkredite, Laufzeit 20 Jahre, Zinsbindung 10 Jahre)
- Nutzungsdauer für alle Varianten mit 15 Jahren für alle Titel, um eine Vergleichbarkeit aus Sicht des Wärmekunden herzustellen
- Erdgaspreise nach Angebot bzw. Tarifblätter der Mainova, Holzackschnitzel nach aktuellen Preisen verschiedener Lieferanten
- Strombezugspreis nach Tarifblätter der Mainova AG
- Einspeisevergütung für BHKW (Erdgas H) nach KWK-Gesetz: 85,74 € / MWh für Startjahr 2008 (Stand Oktober 2007)
- Mischvergütung bei 50% Selbstnutzung / 50% KWK-Einspeisung: 123,52 € / MWh
- Stromvergütung nach Erneuerbare Energien-Gesetz (EEG): 188,93 € / MWh einschl. Grundvergütung und Zuschläge für Rapsöl sowie KWK -Erzeugung für Startjahr 2008 (Stand Oktober 2007)
- CO<sub>2</sub>-Emissionskosten der Stadt Frankfurt am Main in Höhe von 50,- € / t CO<sub>2</sub>, die Menge des emittierten CO<sub>2</sub> wird mit dem Programm GEMIS 4.4 (Stand 10/2007) ermittelt.

Die kapitalgebundenen Kosten wurden nach der Annuitätenmethode mit einem zins- und nutzungsdauerabhängigen Annuitätsfaktor durchgeführt.

Die verbrauchsgebundenen Kosten umfassen in erster Linie Brennstoffkosten. Weiterhin sind alle verbrauchsabhängigen Kosten für Hilfsenergie und Hilfsstoffe berücksichtigt.

Zu den betriebsgebundenen Kosten gehören Wartung und Instandhaltung, Steuern und Versicherungen, Personalkosten und sonstige Kosten wie Schornsteinfeger und Verbrauchsabrechnungen.



• Wärme(rest)kosten	6.1
Sensitivitätsanalyse	6.2
Gesamtkostenberechnung	6.3

**Wärme(rest)kosten**

**6.1**

Bei den Varianten A1 und A2 mit Stromerzeugung wurde die Stromgutschrift jeweils für Rückspeisung in das Netz des örtlichen Versorgers Mainova AG mit den gesetzlich festgelegten Sätzen für KWK- bzw. EEG- Stromerzeugung eingesetzt. In der Variante A1 wurde darüber hinaus ein Anteil von 50% des erzeugten Stromes zur Eigennutzung herangezogen.

In der Anlage 3 ist detailliert die Ermittlung der kapital-, verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten tabellarisch aufgeführt. Daraus konnten die spezifischen Wärmerestkosten (Varianten A1 und A2) bzw. die spezifischen Wärmekosten (Varianten B, C und D) ermittelt werden. Es ergibt sich folgendes Bild:

	Wärmerestkosten Netto [€ / Jahr]	Wärmerestkosten spez., Netto [€ / MWh]	in Prozent
Variante A1: Erdgas-BHKW 100kW(el)	157.282	100,13	92%
Variante A2: Rapsöl-BHKW	174.616	111,17	102%
Variante B1: Holzhackschnitzel-Feuerung	170.784	108,73	100%
Variante B2: Holzpellet-Feuerung	175.266	111,58	103%
Variante C: Erdgas-Heizwerk	184.485	117,45	108%
Variante D insgesamt	170.856	108,77	100%
Variante D1: Deutschherrenschule	41.055	117,15	-
Variante D2: Willemer-/Abendhaupt- und Realschule	71.994	103,51	-
Variante D3: Sporthalle Süd	57.806	110,15	-

Als Ergebnis ist festzustellen, dass die Variante A1 (Erdgas-BHKW) die wirtschaftlich günstigste Variante ist, gefolgt in der Reihenfolge von Variante B1 (Holzhackschnitzel-Feuerung) und Variante D (Einzelheizungen). Die Nahwärmeversorgung mit erdgasgefeuerten BHKW liefert somit die niedrigsten Wärme(rest)kosten und führt damit zu einer Kosteneinsparung in Höhe von ca. 13.500 € / Jahr entsprechend ca. 8% Einsparung gegenüber der Variante D Einzelbeheizung. Dies führt zu einer Amortisationszeit der Variante A1 (Erdgas-BHKW) von ca. 6,9 Jahren. Eine Verkleinerung des BHKW auf 50 kW(el) verschlechtert das Ergebnis geringfügig.

Die ausgewiesenen Wärmekosten der Variante D sind als durchschnittlicher Wert der Varianten D1 bis D3 einzustufen, bei der Zuweisung der Kosten auf die einzelnen Abnehmer ist eine Wichtung in Abhängigkeit von Leistung und Verbrauch vorzunehmen.



Wärme(rest)kosten	6.1
• Sensitivitätsanalyse	6.2
Gesamtkostenberechnung	6.3

---

**Sensitivitätsanalyse**

**6.2**

Die Wirtschaftlichkeit der Wärmeversorgung der Schulgebäude und der Sporthalle Süd unterliegt langfristig in hohem Maße folgenden Einflussfaktoren:

- Brennstoffpreisentwicklung:  
Die Brennstoffpreise sind in den letzten Jahren stark angestiegen, starke Schwankungen sind kurzfristig nicht auszuschließen. Langfristig ist tendenziell jedoch eher von weiter steigenden Brennstoffpreisen auszugehen. In Sensitivitätsanalysen für um +50% und +100% steigende Brennstoffpreise zeigte sich für die erdgasgefeuerten Anlagen eine starke Erhöhung der Wärme(rest)kosten. Hierbei ist eine Steigerung der Stromgutschrift in Höhe der halben Brennstoffpreissteigerung angesetzt, die das Ergebnis für die Variante A1 wiederum verbessert.  
Demgegenüber erhöhte sich das Ergebnis der Variante B (Holzhackschnitzelfeuerung) nur leicht und liefert ab einer Brennstoffpreissteigerung von ca. 50% die niedrigsten Wärmekosten.
- Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionskosten:  
Die Kosten der CO<sub>2</sub>-Emission berücksichtigen die langfristigen Folgen der Emission von Treibhausgasen auf das Klima der Erde und sind ein Faktor zur wirtschaftlichen Darstellung von umweltbeeinflussenden Auswirkungen der Energieerzeugung. Für Anlagen der Stadt Frankfurt am Main ist mit CO<sub>2</sub>-Emissionskosten in Höhe von 50,-- € / t zu rechnen. In dieser Höhe sind die Emissionskosten in der Wirtschaftlichkeitsrechnung berücksichtigt. In Sensitivitätsanalysen für um +50% und +100% steigende CO<sub>2</sub>-Emissionskosten zeigte sich bei einem moderaten Anstieg der Wärme(rest)kosten jedoch keine Änderung in der Reihenfolge der Varianten.

In der **Anlage 3, Blatt 27** sind die Wärme(rest)kosten für die Ausgangslage sowie für jeweils um 50% erhöhte Brennstoffpreise und CO<sub>2</sub>-Emissionskosten dargestellt.



Wärme(rest)kosten	6.1
Sensitivitätsanalyse	6.2
• Gesamtkostenberechnung	6.3

**Gesamtkostenberechnung**

**6.3**

Aufgrund der in den vorherigen Abschnitten dargestellten Ergebnisse der statischen Wirtschaftlichkeitsberechnung sowie der Sensitivitätsanalyse wurde für die wirtschaftlich günstigsten Versorgungsvarianten eine teildynamische Berechnung der Jahreskosten nach den Musterformularen der Gesamtkostenberechnung des Hochbauamtes durchgeführt. In diesem Ansatz werden die kapitalgebundenen Kosten über einen definierten Zeitraum konstant gehalten. Die verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten einschließlich der gesamten Stromkosten werden mit einem Mittelwertfaktor, der sich aus den vorgegebenen Preissteigerungen errechnet, multipliziert, um so die langfristigen Auswirkungen von Preissteigerungen auf die Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvarianten modellieren zu können.

Vorgegeben wurden eine Laufzeit von 25 Jahren und eine Preissteigerung von 5% pro Jahr. Mit diesen werden ergeben sich die Gesamtkosten wie folgt:

	Wärmerestkosten Brutto [€ / Jahr]	Wärmerestkosten spez., Brutto [€ / m <sup>2</sup> ]	in Prozent
Variante A1: Erdgas-BHKW 50kW(el)	328.969	15,67	103,8%
Variante A1: Erdgas-BHKW 100kW(el)	331.531	15,79	104,6%
Variante B1: Holzhackschnitzel-Feuerung	312.910	14,90	98,7%
Variante B2: Holzpellet-Feuerung	323.801	15,42	102,2%
Variante D insgesamt	316.991	15,09	100,0%

Im Ergebnis liefert nunmehr die Variante A1 (Holzhackschnitzel-Feuerung) die niedrigsten Wärmerestkosten, gefolgt von Variante D (Einzelheizungen). Die Nahwärmeversorgung mit dem regenerativen Brennstoff Holzhackschnitzel führt damit zu einer Kosteneinsparung in Höhe von ca. 4.100 € / Jahr entsprechend ca. 1,3% Einsparung gegenüber der Variante D (Einzelbeheizung). Die Kosten der Variante B2 (Holzpellet-Feuerung) liegen demgegenüber ca. 6.800 € / Jahr über denen der Einzelheizung.

Bei diesem Ergebnis ist zu bedenken, dass die Preissteigerungsrate für Erdgas in den vergangenen Jahren wesentlich über der für regenerative Brennstoffe lag. Zudem besteht seitens des Stadtgartenamtes die Möglichkeit, Holzhackschnitzel aus eigener Produktion einzusetzen und übermäßige Preissteigerungen damit abzufangen. Daher ergibt sich ein weiterer, jedoch nicht bewertbarer Vorteil der Holzhackschnitzelfeuerung gegenüber der Einzelbeheizung mit dem Brennstoff Erdgas.

In der **Anlage 4** ist die Gesamtkostenberechnung vollständig wiedergegeben.



• Primärenergieeinsparung	7.1
Luftschadstoffe	7.2
Treibhausgase	7.3

**Primärenergieeinsparung und Emissionsbilanz**

7

Die ökologische Bewertung der Energieversorgungsvarianten wurde anhand des Programms „Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS, Version 4.4, 10/2007) vorgenommen. Dieses Programm wird allgemein als Standard für Vergleichsrechnungen von Schadstoffemissionen sowie Energie- und Ressourcenverbrauch energetischer Systeme eingesetzt.

Die Berechnungsergebnisse von GEMIS umfassen Energieverbrauch und Emissionen des eigentlichen Prozesses der Wärmeerzeugung einschließlich des Eigenbedarfs, sowie allen vorgelagerten Prozessketten wie Energiegewinnung, Transport und Verteilung.

Bei der Berechnung wurden Bruttowerte der Wärmeerzeugung ohne Gutschriften für Stromerzeugung verwendet. Daher sind in den Varianten B, C und D die gegenüber den Varianten A1 und A2 fehlenden Strommengen rechnerisch aus dem öffentlichen Netz zu beziehen und mit dazugehörigem Energieverbrauch und Emissionen einzurechnen.

Es wurden in GEMIS der Primärenergieverbrauch an nicht regenerativen Energieträgern sowie die Luftschadstoffemissionen Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickstoffoxid (NO<sub>x</sub>), Staub und die wichtigste Treibhausgasemission CO<sub>2</sub> als Summenäquivalent berechnet.

**Primärenergieeinsparung**

7.1

Der Primärenergieverbrauch beinhaltet hier den Verbrauch an fossilen, nicht erneuerbaren Energieträgern. Er wurde zunächst für alle Varianten ermittelt und dann auf die Variante D (Einzelheizungen) als Referenzvariante bezogen. Es ergibt sich folgendes Bild:

		Variante A1	Variante A2	Variante B1	Variante B2	Variante C	Variante D
<b>Primärenergieverbrauch</b>	<b>MWh/a</b>	3.010	1.224	2.341	2.509	3.930	3.759
	<b>in %</b>	80%	33%	62%	67%	105%	100%

Die Varianten mit regenerativen Brennstoffen (Rapsöl-BHKW, Variante A2 und Holzhackschnitzel-feuerung, Variante B) schneiden wesentlich besser ab als die Variante D, die den Referenzzustand mit Einzelheizungen repräsentiert. Prozentual ausgedrückt sind das bei der Variante A2 eine Einsparung von ca. 67 %, bei der Variante B1 eine Einsparung von ca. 39 %, bei der Variante B2 eine Einsparung von ca. 33 % und bei der Variante A1 noch ca. 20% im Jahr gegenüber dem Referenzbedarf in der Variante D.



Primärenergieeinsparung	7.1
• Luftschadstoffe	7.2
• Treibhausgase	7.3

## Luftschadstoffe

7.2

Die Emission der Luftschadstoffe SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und Staub sind durch gesetzliche Grenzwerte reglementiert. Sie wurden zunächst für alle Varianten ermittelt und dann auf die Variante D (Einzelheizungen) als Referenzvariante bezogen. Es ergibt sich folgendes Bild:

Emissionen		Variante A1	Variante A2	Variante B1	Variante B2	Variante C	Variante D
SO <sub>2</sub>	kg / a	28	182	486	457	292	289
NO <sub>x</sub>	kg / a	873	780	952	982	1.025	937
Staub	kg / a	27	78	91	131	51	51

Hier schneiden die BHKW-Varianten A1 und A2 deutlich besser ab als die Varianten B, C und D. Dies resultiert ebenfalls in erster Linie aus dem eingesetzten Brennstoff Erdgas sowie der Gutschrift für die Stromerzeugung. Die Schadstoffemission der Holzhackschnitzel-Feuerungsanlage (Variante B) liegt geringfügig über denen der Einzelanlagen (Variante D).

## Treibhausgase

7.3

Bei den Treibhausgasen wurde hier die Emission an CO<sub>2</sub> und weiteren Treibhausgasen als Summenäquivalent berücksichtigt, die bei den verschiedenen Varianten freigesetzt werden. Folgende Tabelle zeigt, welche CO<sub>2</sub>-Emissionen in den einzelnen Versorgungsvarianten entstehen.

Emissionen		Variante A1	Variante A2	Variante B1	Variante B2	Variante C	Variante D
CO <sub>2</sub>	t / a	585	328	515	559	828	795
in %	%	74%	41%	65%	70%	104%	100%
CO <sub>2</sub> –Äquivalent	t / a	656	443	548	594	896	859
in %	%	76%	51%	64%	69%	104%	100%

Das Rapsöl-BHKW (Variante A2) erzeugt gegenüber der Einzelfeuerung mit Heizkesseln ca. 420 t pro Jahr weniger CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Dies resultiert in erster Linie aus dem Einsatz des regenerativen Hauptbrennstoffs Rapsöl. Das gleiche gilt für die Holzhackschnitzel-Feuerung (Variante B1) mit einer Einsparung von ca. 310 t pro Jahr. Bei dem Erdgas-BHKW (Variante A1) beträgt die Einsparung noch ca. 200 t pro Jahr. Diese Einsparung entsteht durch den guten Gesamtwirkungsgrad der Kraft-Wärme-Kopplung.

In der Anlage 4 befindet sich die vollständige Darstellung der CO<sub>2</sub>-Bilanz.



---

**Zusammenfassung und Resümee**

8

Aufgabe dieses Energiekonzepts ist die Untersuchung der gemeinsamen Wärmeversorgung der Deutschherrenschule, Willemer-/Abendhaupt- und Realschule und der Sporthalle Süd in Frankfurt am Main / Sachsenhausen. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Ein Wärmeverbund ist mit verschiedenen Erzeugungsvarianten technisch realisierbar und wirtschaftlich darstellbar.
2. Mit einem Erdgas-BHKW  $100\text{kW}_{\text{el}}$  sind nach statischer Berechnung ca. 8% niedrigere Wärmekosten für die Liegenschaften zu erzielen als mit dezentralen Heizungsanlagen, eine Reduzierung der Leistung auf  $50\text{kW}_{\text{el}}$  bringt keine Verbesserung des Ergebnisses.
3. Nach teildynamischer Gesamtkostenberechnung unter Berücksichtigung von Preissteigerungen liefert die Holzhackschnitzelfeuerung langfristig die niedrigsten Wärmerestkosten.
4. Schadstoff- und  $\text{CO}_2$ -Emissionen können signifikant gesenkt werden.

Die Wärmebedarfs- und Wärmeverbrauchscharakteristiken der Schulgebäude und der Sporthalle Süd ermöglichen eine Wärmeversorgung im Verbund. Technisch möglich ist dies durch die Errichtung einer zentralen Wärmeerzeugungsanlage beispielsweise in der Heizzentrale der Sporthalle Süd mit einer Nahwärmeversorgung in die beiden anderen Heizzentralen.

Alle genannten Investitionskosten sind hinsichtlich ihrer Betrachtungsgrenzen und Bearbeitungstiefe identisch und somit direkt vergleichbar. Alle Preisangaben sind aktuell. Eine Optimierung der vorgetragenen Investitionen ist nach einer genauen Auslegung insbesondere bei der Nahwärmeverteilung möglich.

Das Ergebnis der statischen Wirtschaftlichkeitsrechnung zeigt für die Variante A1: Erdgas-BHKW das beste Ergebnis. Der Abstand zur Referenzvariante D: Dezentrale Heizungsanlagen beträgt ca. 8%. Dies entspricht einer Kosteneinsparung der Wärme(rest)kosten für die Verbraucher von Netto zusammen ca. 13.500,- € / Jahr.

Die teildynamische Gesamtkostenberechnung mit einer Preissteigerungsrate von 5%/Jahr führt für die Variante B1: Holzhackschnitzelfeuerung zu einem günstigeren Ergebnis.

Die Nahwärmeversorgung mit Holzhackschnitzelfeuerung senkt die  $\text{CO}_2$ -Emissionen gegenüber der Referenzvariante um ca. 410 t / Jahr (ca. 50%), mit Erdgas-BHKW würden immerhin noch ca. 200 t / Jahr  $\text{CO}_2$  eingespart.

Daher sollte die Variante B1: Holzhackschnitzel-Feuerung als wirtschaftlichste und gleichzeitig  $\text{CO}_2$ -ärmste Versorgungsvariante für die Schulgebäude und die Sporthalle planerisch weiter verfolgt und technisch weiter ausgearbeitet werden.

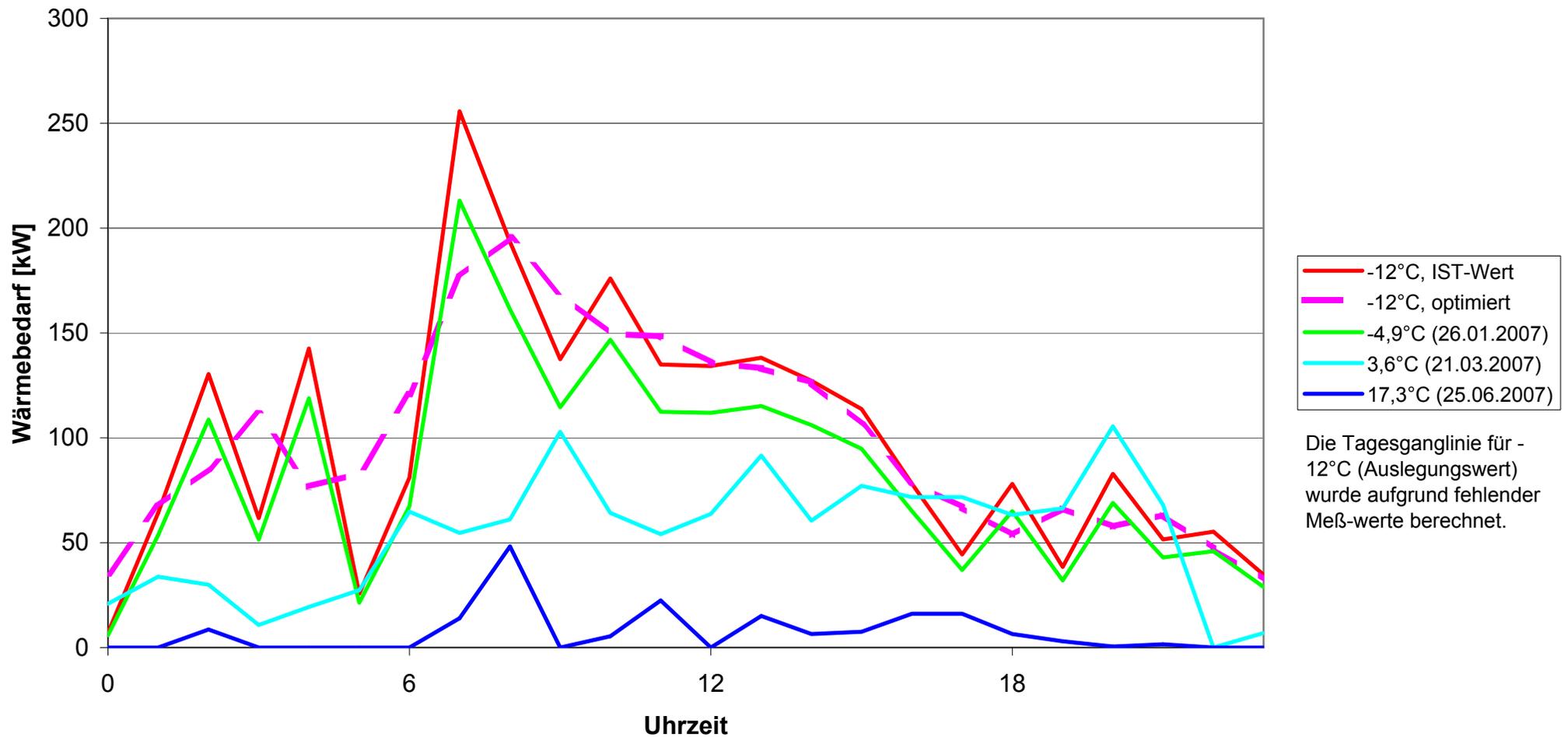
Offenbach, den 19. Dezember 2007

Ingenieurgesellschaft  
Bischoff und Maaß mbH

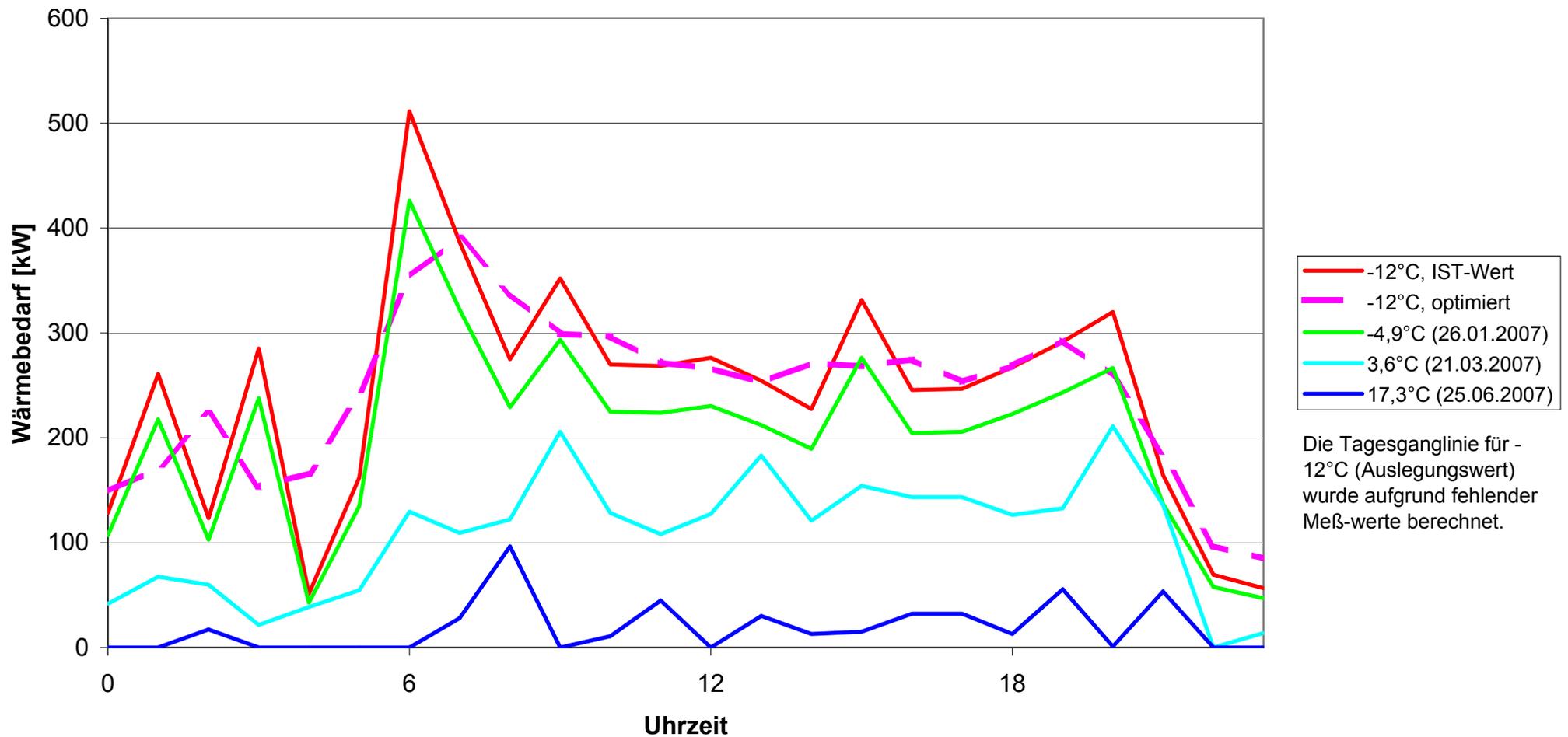


- Anlage 1 : Wärmebedarf
- Anlage 2 : Jahresdauerlinien der Wärmeerzeugung
- Anlage 3 : Wirtschaftlichkeitsrechnung nach VDI 2067
- Anlage 4 : Gesamtkostenberechnung
- Anlage 5 : Treibhausgasemissionen
- Anlage 6 : Zusammenstellung der Versorgungsvarianten
- Zeichnung EK-01: Lageplan Nahwärmenetz
- Zeichnung EK-02: Übersichtsplan Variante A1
- Zeichnung EK-03: Übersichtsplan Variante A2
- Zeichnung EK-04: Übersichtsplan Variante B1
- Zeichnung EK-05: Übersichtsplan Variante C
- Zeichnung EK-06: Übersichtsplan Variante D1
- Zeichnung EK-07: Übersichtsplan Variante D2
- Zeichnung EK-08: Übersichtsplan Variante D3

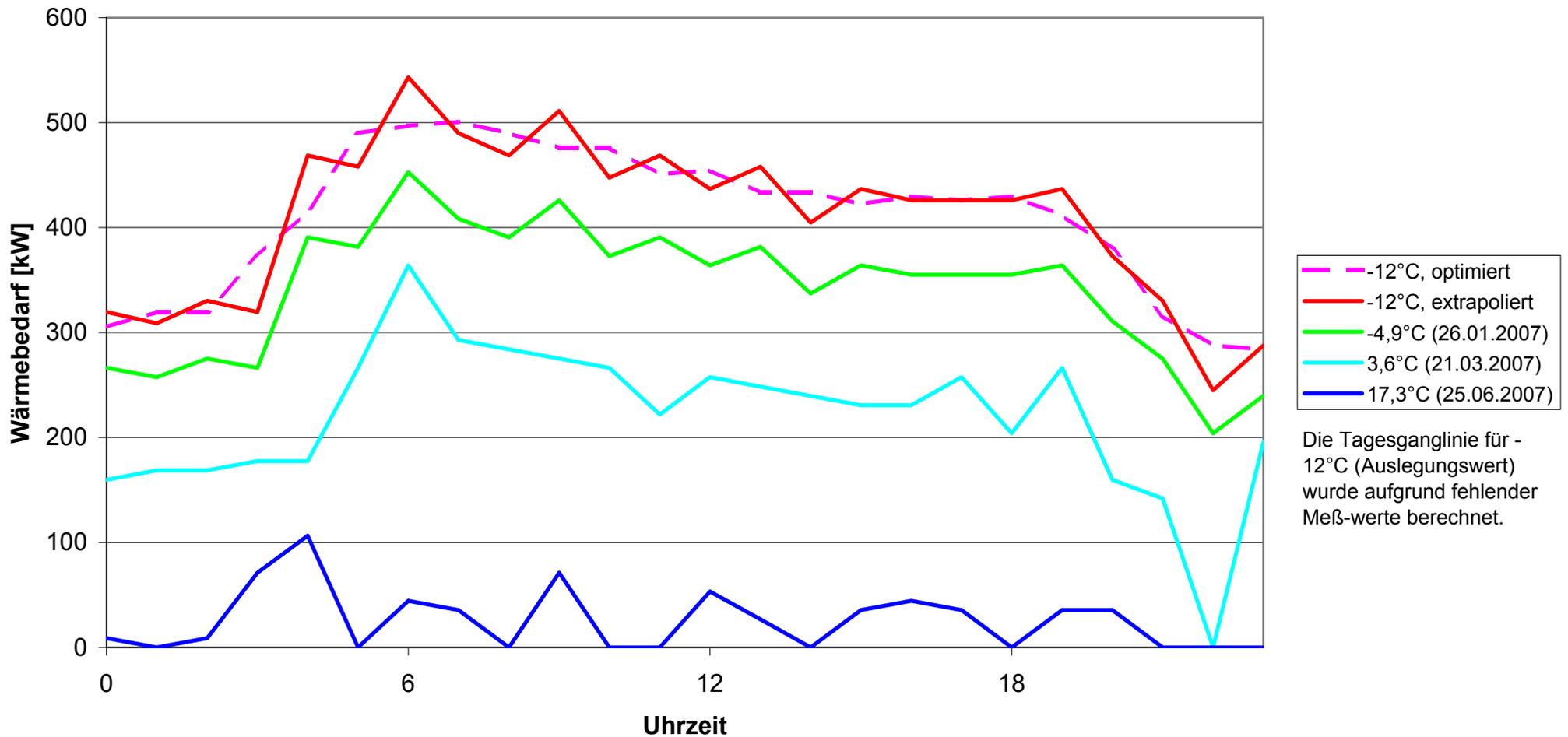
## Deutschherrenscheule Tagesganglinien bei verschiedenen Außentemperaturen



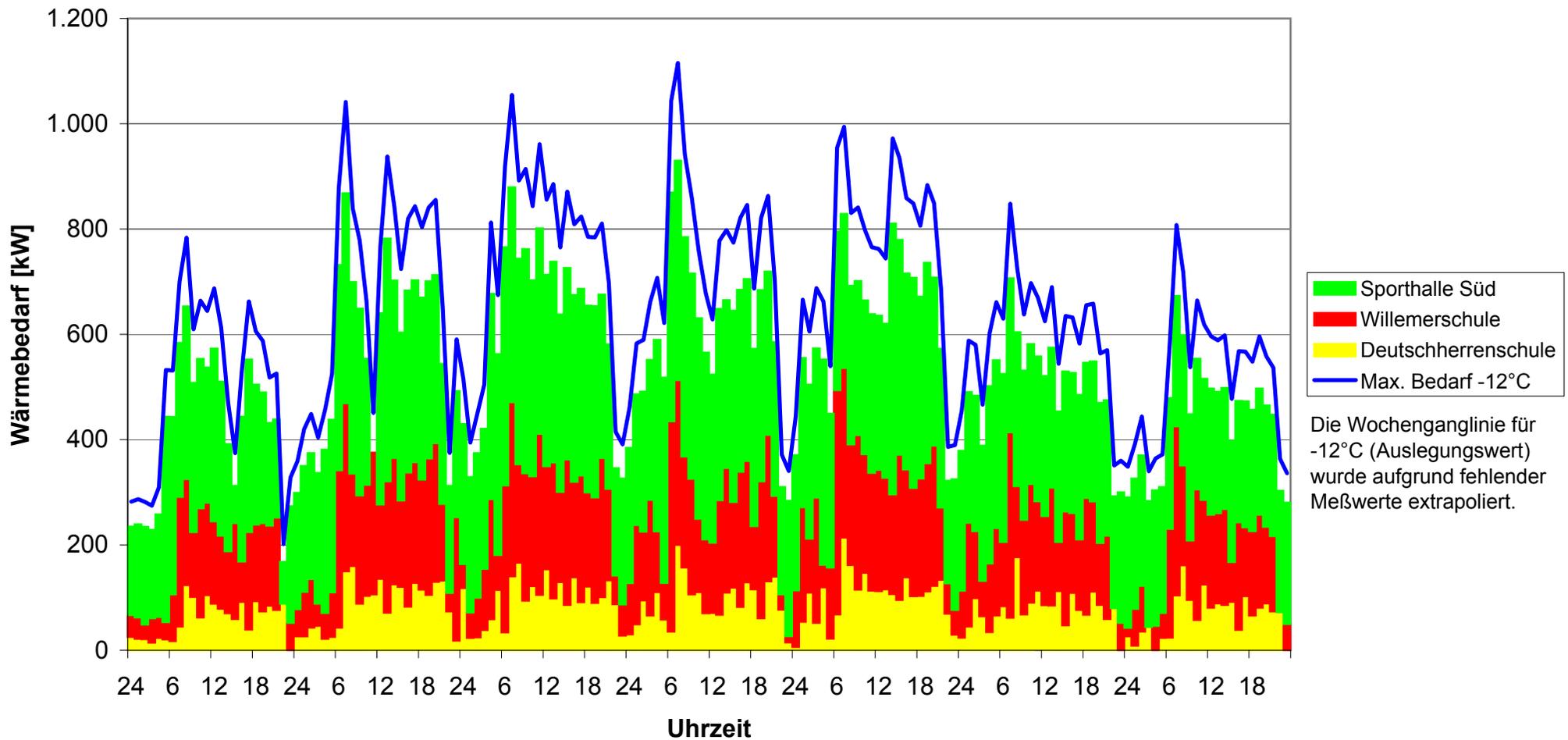
## Willemerschule Tagesganglinien bei verschiedenen Außentemperaturen



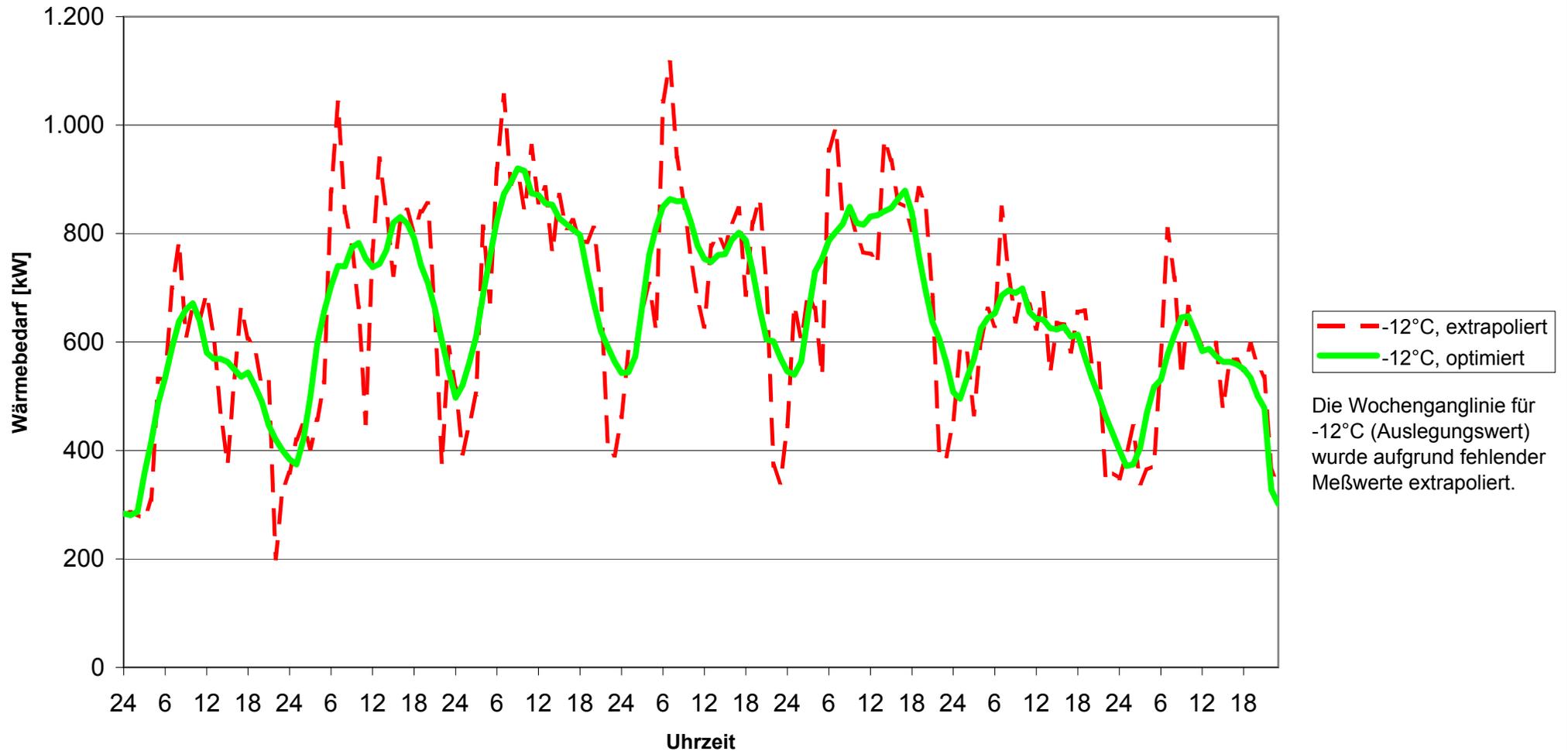
## Sporthalle Süd Tagesganglinien bei verschiedenen Außentemperaturen



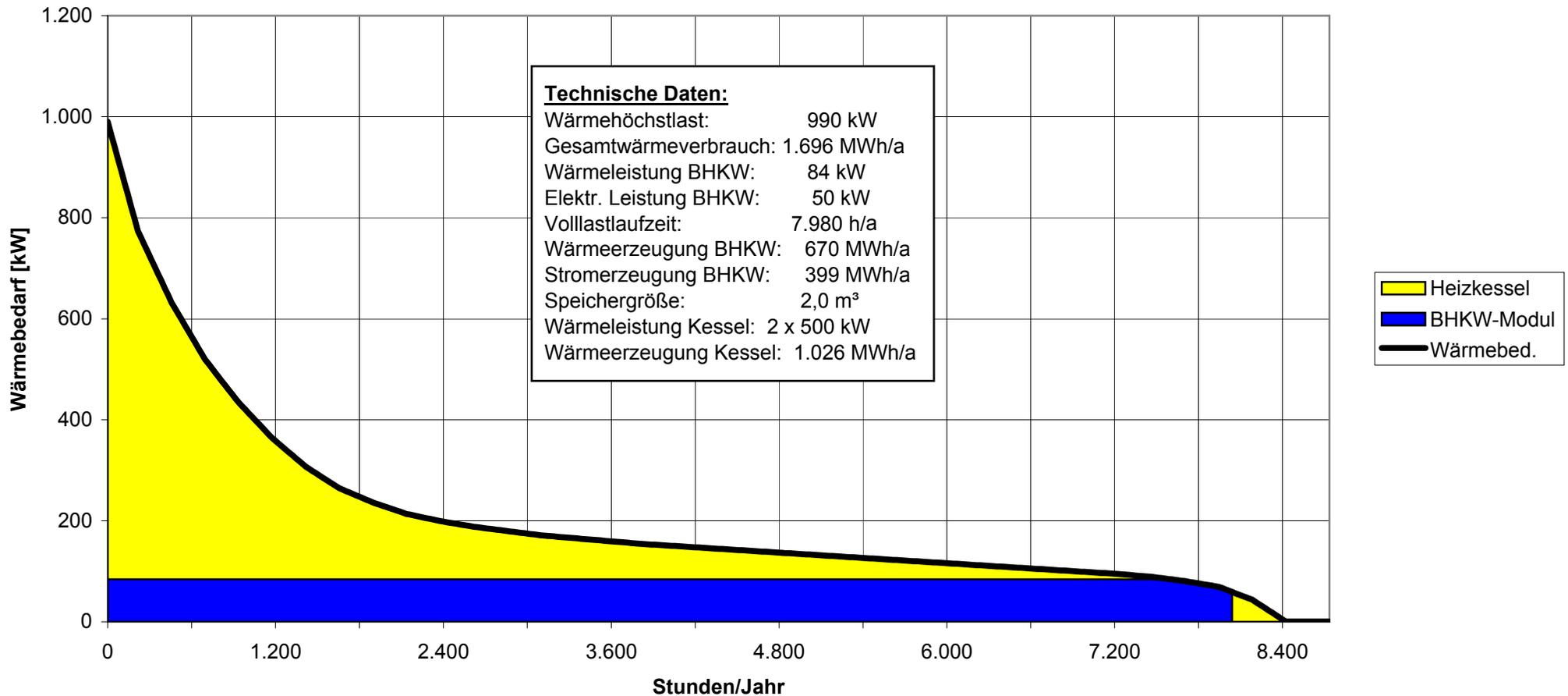
### Deutschherrenscheule und Willemerschule mit Sporthalle Süd Wochenganglinie 22.-28.01.2007



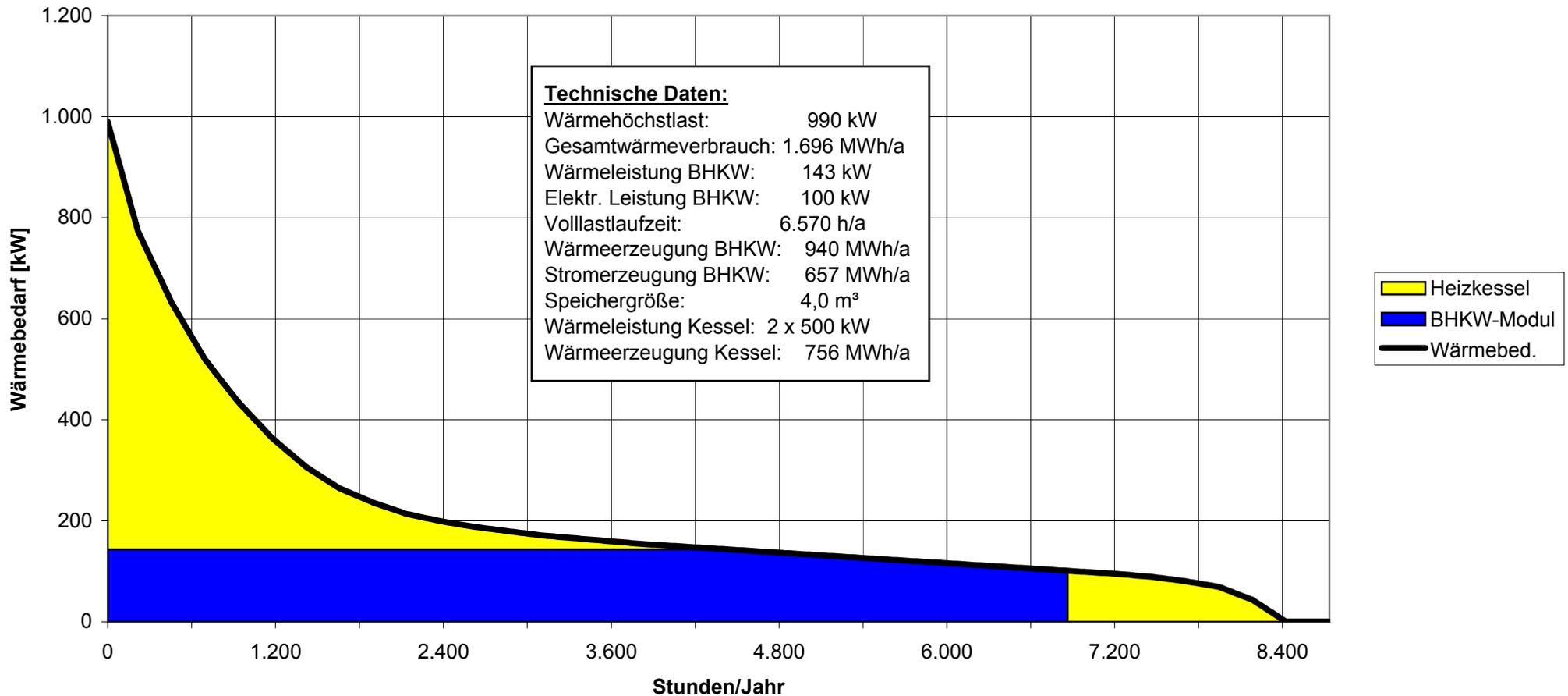
### Deutschherrenscheule und Willemerscheule mit Sporthalle Süd Wochenganglinie optimiert



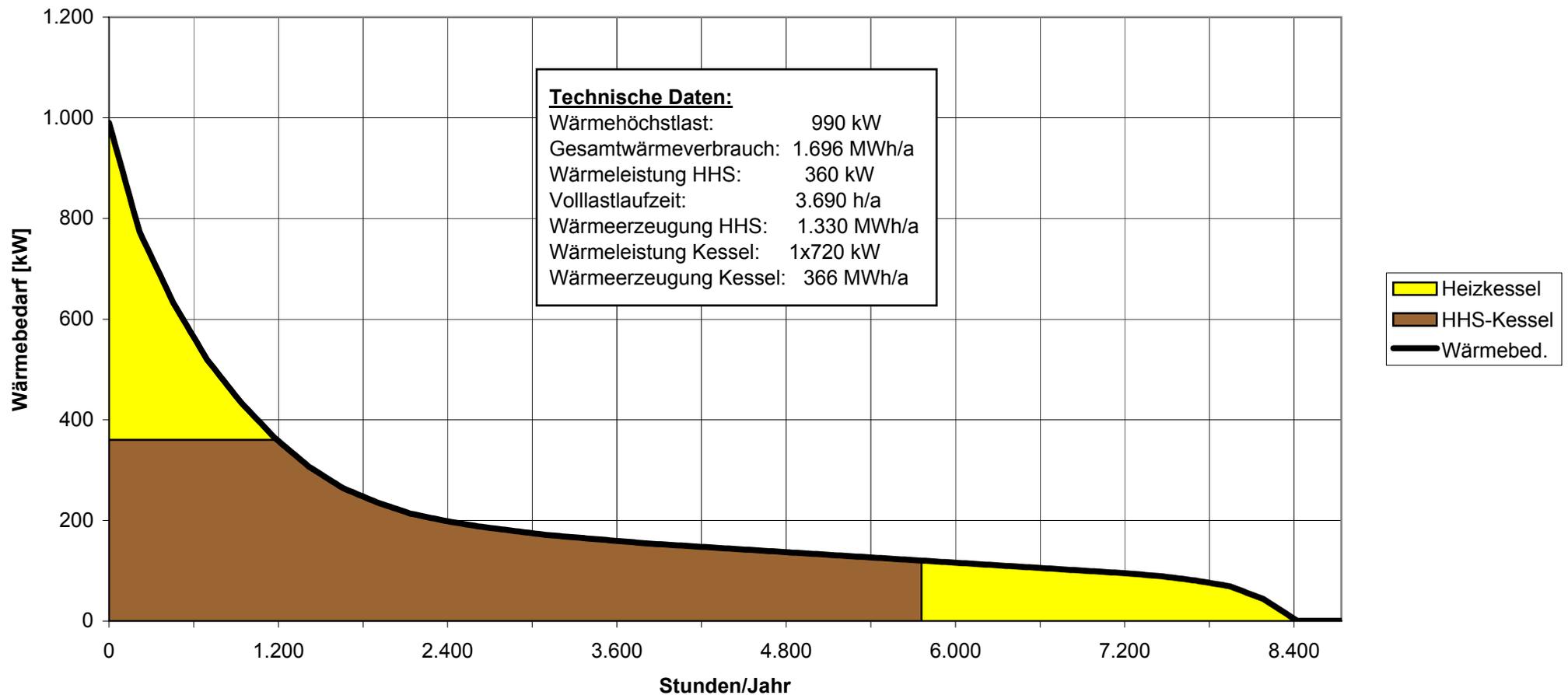
**Deutschherrenscheule / Willemerscheule / Sporthalle Süd**  
**Variante A: BHKW**  
**Geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs**  
**und der Wärmeerzeugung**



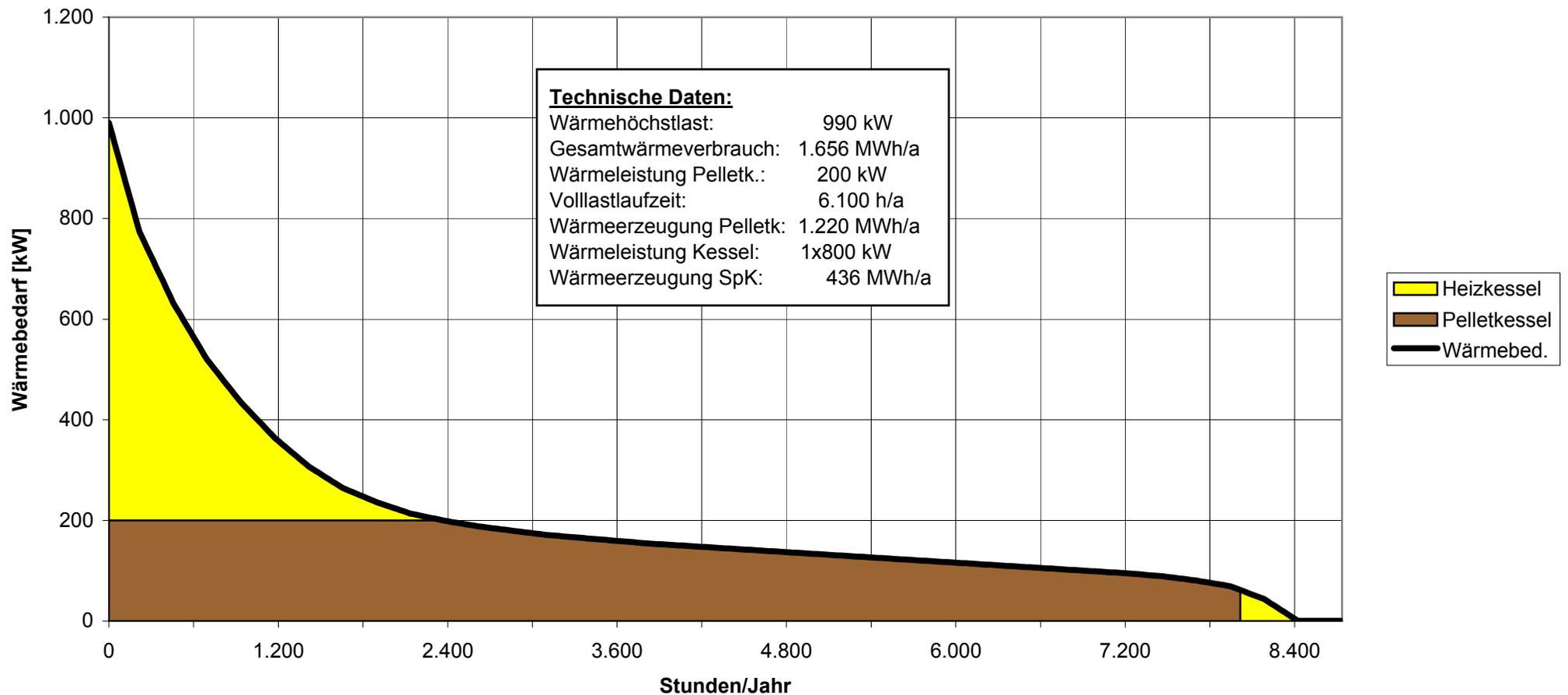
**Deutschherrenscheule / Willemerscheule / Sporthalle Süd**  
**Variante A: BHKW**  
**Geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs**  
**und der Wärmeerzeugung**



**Deutschherrenscheule / Willemerscheule / Sporthalle Süd**  
**Variante B1: Holzhackschnitzelfeuerung**  
**Geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs**  
**und der Wärmeerzeugung**



**Deutschherrenscheule / Willemerscheule / Sporthalle Süd**  
**Variante B2: Pelletkessel-Feuerung**  
**Geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs**  
**und der Wärmeerzeugung**





Wirtschaftlichkeitsrechnung - Eckdaten -

Methode		Stat. Kostenvergleich	
		a	15
Nutzungsdauer (Vertragslaufzeit)	a		
Kalkulatorischer Zinssatz	% / a		3,85
<b>1. Brennstoffpreise (Netto)</b>		<b>Heizkessel</b>	<b>BHKW</b>
<b>Erdgas</b>		Business Profi	Business Profi
Tarif (Mainova)	-		
Arbeitspreis Ho (einschl. 2,5% Rabatt)	€ / MWh	44,40	-
Arbeitspreis Ho (für BHKW, ohne Erdgassteuer)	€ / MWh	-	38,90
Arbeitspreis Hu	€ / MWh	49,28	43,18
Grundpreis (pro Jahr)	€ / a	200,00	200,00
Leistungspreis (pro kW und Jahr)	€ / (kW*a)	9,11	9,11
<b>Rapsöl</b>			
<b>(Carmen, 10/2007)</b>			
Preis pro 100 ltr.	€ / 100ltr	79,50	-
Arbeitspreis pro MWh	€ / MWh	78,34	-
<b>Holzhackschnitzel</b>			
<b>(Fa. Monnheimer, Fa. Herbert, 10/2007)</b>			
Preis pro Tonne	€ / to	55,00	-
Arbeitspreis pro MWh	€ / MWh	18,00	-
<b>Holzpellets</b>			
<b>(Carmen, 10/2007)</b>			
Preis pro Tonne (10 t Lieferung)	€ / t	155,48	-
Arbeitspreis pro MWh	€ / MWh	31,73	-
<b>Ascheentsorgung</b>			
<b>(Stadt Frankfurt, 12/2005)</b>			
Aschegehalt	Vol.-%	2,00%	-
Preis pro Tonne	€ / to	200,00	-
Preis pro MWh	€ / MWh	2,62	-
<b>CO2-Emissionskosten</b>			
Preis pro Tonne	€ / to	50,00	50,00
<b>2. Preise und Vergütungen (Netto)</b>		<b>Heizwerk</b>	<b>BHKW</b>
<b>Strombezug</b>		Business Plus	Business Plus
Tarif (Mainova)	-		
Arbeitspreis (einschl. Stromsteuer etc.)	€ / MWh	161,30	161,30
<b>Stromeinspeisung nach KWKG-Gesetz</b>			
Durchschn. Strompreis EEX Leipzig (Q2/2007)	€ / MWh	-	58,64
Durchschn. Vermiedene Netznutzung	€ / MWh	-	4,60
KWK-Zuschlag > 50 kW	€ / MWh	-	22,50
KWK-Zuschlag <= 50 kW (bis 31.12.2008!)	€ / MWh	-	51,10
<b>Einspeisevergütung nach KWKG</b>	€ / MWh	-	<b>85,74</b>
<= 50kW (bis 31.12.2008!)	€ / MWh	-	<b>114,34</b>
<b>Mischvergütung</b>			
50% Eigennutzung / 50% Rückspeisung	€ / MWh	-	<b>123,52</b>
65% Eigennutzung / 35% Rückspeisung	€ / MWh	-	<b>144,86</b>
<b>EEG-Vergütung für Inbetriebnahme in 2009</b>	€ / MWh	-	<b>188,93</b>

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Bedarfsdaten -**

<b>1. Wärmebedarf</b>		<b>Deutschherrenscheule</b>	<b>Willemerscheule</b>	<b>Sporthalle Süd</b>
Wärmebedarf	kW	250	500	550
Wärmebedarf optimiert	kW	200	400	500
<b>Gesamtwärmebedarf optimiert</b>	<b>kW</b>	<b>1.100</b>		
<b>Gleichzeitigkeitsfaktor</b>	-	<b>0,90</b>		
<b>Wärmehöchstlast (WHL)</b>	<b>kW</b>	<b>990</b>		
<b>2. Wärmeverbrauch</b>				
Brennstoffverbrauch (Ho)				
2004	kWh/a	-	595.089	557.802
2005	kWh/a	-	891.065	567.784
2006	kWh/a	-	919.827	645.883
Normiert	kWh/a	-	831.617	614.109
Brennstoffverbrauch (Hu)	kWh/a	389.400	756.015	558.281
Kesselnutzungsgrad	%	90%	92%	94%
Wärmeverbrauch	kWh/a	350.460	695.534	524.784
Vollbenutzungsstunden	h/a	1.402	1.391	954
<b>Wärmeverbrauch Netto</b>	<b>kWh/a</b>	<b>1.570.780</b>		
Verteilungsverluste (Dämmserie 3, ca. 8%)	kWh/a	125.660		
<b>Wärmeverbrauch Brutto</b>	<b>kWh/a</b>	<b>1.696.440</b>		
<b>3. Stromverbrauch</b>				
Stromverbrauch				
2003	kWh/a	73.592	83.053	156.412
2004	kWh/a	73.709	92.354	157.758
2005	kWh/a	74.317	80.213	166.914
Durchschnitt	kWh/a	73.873	85.207	160.361
<b>Stromverbrauch Gesamt</b>	<b>kWh/a</b>	<b>319.441</b>		

**Variante A1a - Erdgas-BHKW 50kW**

**Anlage 3**

Blatt 3

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Kapitalgebundene Kosten -**

kalk. Zinssatz in [%/a]		3,9	Investitions- summe in [ € ]	Nutzungs- dauer in [ a ]	Annuitäts- faktor in [ ]	Kapitalgeb. Kosten in [ € / a ]
Titel						
1.	BHKW, Erdgas H Elektr. Leistung: 50 kW Therm. Leistung: 84 kW Energieeinsatz bei TA - Luft: 148 kW incl. Erstbefüllung, Leistungs- und Steueranlage, Gasstraße, VL-Temperaturregelung, Schalldämpfer, Schallschutzkabine, Abnahmetest		71.900	15	0,0890	6.399
2.	NT - Heizkessel ca. 500 kW, 2 Stück incl. 2-stufigem Brenner, Brennstoff Erdgas H Sicherheitstechnische Ausstattung, Schalldämmhaube		38.400	15	0,0890	3.418
3.	Neue Kaminanlage am Gebäude dreizügig, h = 6m		14.400	15	0,0890	1.282
4.	Wärmespeicher 2 cbm Aufstellung im Gebäude incl. Isolierung und Ummantelung sowie Betonfundament		4.500	15	0,0890	401
5.	Rohrleitungen, Pumpen und Armaturen für alle drei Heizzentralen incl. Isolierung und Blechummantelung mit Druckdifferenzregelung und Wärmezähler		71.800	15	0,0890	6.390
6.	Wasseraufbereitung		8.900	15	0,0890	792
7.	Pumpengesteuerte Druckhalteanlage		8.200	15	0,0890	730
8.	E- und MSR-Technik Anlagenschaltschrank für Stromversorgung der Komponenten und Einspeiseschaltfeld sowie Kabel zur Trafostation		28.800	15	0,0890	2.563
9.	Rauch- und Wärmeabzugsanlage		2.800	15	0,0890	249
10.	Be- und Entlüftungsanlage		11.000	15	0,0890	979
11.	Nahwärmeverteilung Dämmserie 3, verschiedene Durchmesser, erdverlegt incl. Tiefbau		69.500	15	0,0890	6.186
12.	Demontage und Abbruch ohne bestehenden Schornstein		26.000	15	0,0890	2.314
13.	Bauarbeiten Deckendurchbrüche, Fundamente etc.		9.000	15	0,0890	801
14.	Netzkostenbeitrag Gasanschluß-Erweiterung		15.000	15	0,0890	1.335
15.	Unvorhergesehenes in [%]	5%	19.000	15	0,0890	1.691
16.	Planungskosten gemäss HOAI, II Unten 100% mit 20% Umbauzuschlag und 5% NK	399.200	74.100	15	0,0890	6.595
17.	Sondergutachten Statik und Schallschutz		7.500	15	0,0890	668
<b>18.</b>	<b>Kapitalgebundene Kosten</b>		<b>480.800</b>	<b>15</b>	<b>0,0890</b>	<b>42.791</b>

**Variante A1 - Erdgas-BHKW 100kW**

**Anlage 3**

Blatt 4

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Kapitalgebundene Kosten -**

kalk. Zinssatz in [%/a]		3,9	Investitions- summe in [ € ]	Nutzungs- dauer in [ a ]	Annuitäts- faktor in [ ]	Kapitalgeb. Kosten in [ € / a ]
Titel						
1.	BHKW, Erdgas H Elektr. Leistung: 100 kW Therm. Leistung: 143 kW Energieeinsatz bei TA - Luft: 278 kW incl. Erstbefüllung, Leistungs- und Steueranlage, Gasstraße, VL-Temperaturregelung, Schalldämpfer, Schallschutzkabine, Abnahmetest		100.500	15	0,0890	8.945
2.	NT - Heizkessel ca. 450 kW, 2 Stück incl. 2-stufigem Brenner, Brennstoff Erdgas H Sicherheitstechnische Ausstattung, Schalldämmhaube		37.200	15	0,0890	3.311
3.	Neue Kaminanlage am Gebäude dreizügig, h = 6m		14.400	15	0,0890	1.282
4.	Wärmespeicher 4 cbm Aufstellung im Gebäude incl. Isolierung und Ummantelung sowie Betonfundament		5.800	15	0,0890	516
5.	Rohrleitungen, Pumpen und Armaturen für alle drei Heizzentralen incl. Isolierung und Blechummantelung mit Druckdifferenzregelung und Wärmezähler		71.800	15	0,0890	6.390
6.	Wasseraufbereitung		8.900	15	0,0890	792
7.	Pumpengesteuerte Druckhalteanlage		8.200	15	0,0890	730
8.	E- und MSR-Technik Anlagenschaltschrank für Stromversorgung der Komponenten und Einspeiseschaltfeld sowie Kabel zur Trafostation		40.200	15	0,0890	3.578
9.	Rauch- und Wärmeabzugsanlage		2.800	15	0,0890	249
10.	Be- und Entlüftungsanlage		11.000	15	0,0890	979
11.	Nahwärmeverteilung Dämmserie 3, verschiedene Durchmesser, erdverlegt incl. Tiefbau		69.500	15	0,0890	6.186
12.	Demontage und Abbruch ohne bestehenden Schornstein		26.000	15	0,0890	2.314
13.	Bauarbeiten Deckendurchbrüche, Fundamente etc.		9.000	15	0,0890	801
14.	Netzkostenbeitrag Gasanschluß-Erweiterung		15.000	15	0,0890	1.335
15.	Unvorhergesehenes in [%]	5%	21.000	15	0,0890	1.869
16.	Planungskosten gemäss HOAI, II Unten 100% mit 20% Umbauzuschlag und 5% NK	441.300	81.100	15	0,0890	7.218
17.	Sondergutachten Statik und Schallschutz		7.500	15	0,0890	668
<b>18.</b>	<b>Kapitalgebundene Kosten</b>		<b>529.900</b>	<b>15</b>	<b>0,0890</b>	<b>47.161</b>

**Variante A2 - Rapsöl-BHKW**

**Anlage 3**

Blatt 5

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Kapitalgebundene Kosten -**

kalk. Zinssatz in [%/a]		3,9	Investitions- summe in [ € ]	Nutzungs- dauer in [ a ]	Annuitäts- faktor in [ ]	Kapitalgeb. Kosten in [ € / a ]
Titel						
1.	BHKW, Rapsöl Elektr. Leistung: 100 kW Therm. Leistung: 140 kW Energieeinsatz bei TA - Luft: 267 kW incl. Erstbefüllung, Leistungs- und Steueranlage, Brennstoffversorgung mit Tagestank, VL-Temperaturregelung, Schalldämpfer, Schallschutzkabine, Abnahmetest		175.000	15	0,0890	15.575
2.	Rapsöltankanlage erdverlegt, ca. 30 m³, einschl. Tiefbau, Befüllungs- und Entnahmesystem		23.300	15	0,0890	2.074
3.	NT - Heizkessel ca. 450 kW, 2 Stück incl. 2-stufigem Brenner, Brennstoff Erdgas H Sicherheitstechnische Ausstattung, Schalldämmhaube		37.200	15	0,0890	3.311
4.	Neue Kaminanlage am Gebäude dreizügig, h = 6m		14.400	15	0,0890	1.282
5.	Wärmespeicher 4 cbm Aufstellung im Gebäude incl. Isolierung und Ummantelung sowie Betonfundament		5.800	15	0,0890	516
6.	Rohrleitungen, Pumpen und Armaturen für alle drei Heizzentralen incl. Isolierung und Blechummantelung mit Druckdifferenzregelung und Wärmezähler		71.800	15	0,0890	6.390
7.	Wasseraufbereitung		8.900	15	0,0890	792
8.	Pumpengesteuerte Druckhalteanlage		8.200	15	0,0890	730
9.	E- und MSR-Technik Anlagenschaltschrank für Stromversorgung der Komponenten und Einspeiseschaltfeld sowie Kabel zur Trafostation		40.200	15	0,0890	3.578
10.	Rauch- und Wärmeabzugsanlage		2.800	15	0,0890	249
11.	Be- und Entlüftungsanlage		11.000	15	0,0890	979
12.	Nahwärmeverteilung Dämmserie 3, verschiedene Durchmesser, erdverlegt incl. Tiefbau		69.500	15	0,0890	6.186
13.	Demontage und Abbruch einschl. bestehendem Schornstein		54.000	15	0,0890	4.806
14.	Bauarbeiten Deckendurchbrüche, Fundamente etc.		12.000	15	0,0890	1.068
15.	Unvorhergesehenes in [%]	5%	26.700	15	0,0890	2.376
16.	Planungskosten gemäss HOAI, II Unten 100% mit 20% Umbauzuschlag und 5% NK	560.800	100.400	15	0,0890	8.936
17.	Sondergutachten Statik und Schallschutz		9.000	15	0,0890	801
<b>18.</b>	<b>Kapitalgebundene Kosten</b>		<b>670.200</b>	<b>15</b>	<b>0,0890</b>	<b>59.648</b>

**Variante B1 - Holzhackschnitzel-Heizwerk**

**Anlage 3**

Blatt 6

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Kapitalgebundene Kosten -**

kalk. Zinssatz in [%/a]		Investitions-	Nutzungs-	Annuitäts-	Kapitalgeb.	
3,9		summe	dauer	faktor	Kosten	
Titel		in	in	in	in	
		[ € ]	[ a ]	[ ]	[ € / a ]	
1.	Automatische Holzhackschnitzelfeuerungsanlage ca. 360 kW incl. Steuerung, Aschecontainer, interne Verrohrung, Hydraulik, Schubboden, Rauchgasrohr, E-Filter, Saugzuggebläse, Brennstoffförder- und dosiertechnik	136.000	15	0,0890	12.104	
2.	NT - Heizkessel ca. 720 kW, 1 Stück incl. 2-stufigem Brenner, Brennstoff Erdgas H Sicherheitstechnische Ausstattung, Schalldämmhaube,	25.500	15	0,0890	2.270	
3.	Kaminanlage am Gebäude zweizügig, h = 6m	9.600	15	0,0890	854	
4.	Brennstoffsilo unterirdisch 200m³ einschl. Zufuhrschacht mit autom. Abdeckung	116.000	15	0,0890	10.324	
5.	Wärmespeicher 4 cbm Aufstellung im Gebäude incl. Isolierung und Ummantelung sowie Betonfundament	5.800	15	0,0890	516	
6.	Rohrleitungen und Armaturen für alle drei Heizzentralen incl. Isolierung und Blechummantelung mit Druckdifferenzregelung und Wärmezähler	64.800	15	0,0890	5.767	
7.	Wasseraufbereitung	8.900	15	0,0890	792	
8.	Pumpengesteuerte Druckhalteanlage	7.200	15	0,0890	641	
9.	E- und MSR-Technik Anlagenschaltschrank für Stromversorgung der Komponenten	14.500	15	0,0890	1.291	
10.	Rauch- und Wärmeabzugsanlage	2.800	15	0,0890	249	
11.	Be- und Entlüftungsanlage	11.000	15	0,0890	979	
12.	Nahwärmeverteilung Dämmserie 3, verschiedene Durchmesser, erdverlegt incl. Tiefbau	69.500	15	0,0890	6.186	
13.	Demontage und Abbruch einschl. bestehendem Schornstein	54.000	15	0,0890	4.806	
14.	Bauarbeiten Deckendurchbrüche, Fundamente etc.	7.600	15	0,0890	676	
15.	Unvorhergesehenes in [%]	5	26.700	15	0,0890	2.376
16.	Planungskosten gemäss HOAI, II Unten 100% mit 20% Umbauzuschlag und 5% NK	559.900	100.300	15	0,0890	8.927
17.	Sondergutachten Statik und Schallschutz	12.000	15	0,0890	1.068	
<b>18.</b>	<b>Kapitalgebundene Kosten</b>	<b>672.200</b>	<b>15</b>	<b>0,0890</b>	<b>59.826</b>	

**Variante B2 - Holzpellet-Heizwerk**

**Anlage 3**

Blatt 7

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Kapitalgebundene Kosten -**

kalk. Zinssatz in [%/a]		3,9	Investitions- summe in [ € ]	Nutzungs- dauer in [ a ]	Annuitäts- faktor in [ ]	Kapitalgeb. Kosten in [ € / a ]
Titel						
1.	Automatische Holzpelletfeuerungsanlage ca. 200 kW incl. Steuerung, Aschecontainer, interne Verrohrung, Hydraulik, Schubboden, Rauchgasrohr, Metallgewebefilter, Brennstoffförder- und dosiertechnik		96.500	15	0,0890	8.589
2.	NT - Heizkessel ca. 800 kW, 1 Stück incl. 2-stufigem Brenner, Brennstoff Erdgas H Sicherheitstechnische Ausstattung, Schalldämmhaube,		27.200	15	0,0890	2.421
3.	Kaminanlage am Gebäude zweizügig, h = 6m		9.600	15	0,0890	854
4.	Brennstoffsilo unterirdisch 100m³ einschl. Befüllstutzen		57.000	15	0,0890	5.073
5.	Wärmespeicher 2 cbm Aufstellung im Gebäude incl. Isolierung und Ummantelung sowie Betonfundament		3.200	15	0,0890	285
6.	Rohrleitungen und Armaturen für alle drei Heizzentralen incl. Isolierung und Blechummantelung mit Druckdifferenzregelung und Wärmezähler		64.800	15	0,0890	5.767
7.	Wasseraufbereitung		8.900	15	0,0890	792
8.	Pumpengesteuerte Druckhalteanlage		7.200	15	0,0890	641
9.	E- und MSR-Technik Anlagenschaltschrank für Stromversorgung der Komponenten		14.500	15	0,0890	1.291
10.	Rauch- und Wärmeabzugsanlage		2.800	15	0,0890	249
11.	Be- und Entlüftungsanlage		11.000	15	0,0890	979
12.	Nahwärmeverteilung Dämmserie 3, verschiedene Durchmesser, erdverlegt incl. Tiefbau		69.500	15	0,0890	6.186
13.	Demontage und Abbruch einschl. bestehendem Schornstein		54.000	15	0,0890	4.806
14.	Bauarbeiten Deckendurchbrüche, Fundamente etc.		7.600	15	0,0890	676
15.	Unvorhergesehenes in [%]	5	21.700	15	0,0890	1.931
16.	Planungskosten gemäss HOAI, II Unten 100% mit 20% Umbauszuschlag und 5% NK	455.500	83.400	15	0,0890	7.423
17.	Sondergutachten Statik und Schallschutz		12.000	15	0,0890	1.068
<b>18.</b>	<b>Kapitalgebundene Kosten</b>		<b>550.900</b>	<b>15</b>	<b>0,0890</b>	<b>49.030</b>

**Variante C - Erdgas-Heizwerk**

**Anlage 3**

Blatt 8

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Kapitalgebundene Kosten -**

kalk. Zinssatz in [%/a]						
		<b>3,9</b>	Investitions- summe in [ € ]	Nutzungs- dauer in [ a ]	Annuitäts- faktor in [ ]	Kapitalgeb. Kosten in [ € / a ]
Titel						
1.	NT - Heizkessel, 2 Stück 450 kW + 575 kW incl. 2-stufigem Brenner, Brennstoff Erdgas H Sicherheitstechnische Ausstattung, Schalldämmhaube		42.000	15	0,0890	3.738
2.	Neue Kaminanlage am Gebäude zweizügig, h = 6m		9.600	15	0,0890	854
3.	Rohrleitungen, Pumpen und Armaturen incl. Isolierung und Blechummantelung mit Druckdifferenzregelung und Wärmezähler		63.100	15	0,0890	5.616
4.	Wasseraufbereitung		8.900	15	0,0890	792
5.	Pumpengesteuerte Druckhalteanlage		6.500	15	0,0890	579
6.	E- und MSR-Technik Anlagenschaltschrank für Stromversorgung der Komponenten		8.500	15	0,0890	757
7.	Rauch- und Wärmeabzugsanlage		2.800	15	0,0890	249
8.	Be- und Entlüftungsanlage		11.000	15	0,0890	979
9.	Nahwärmeverteilung Dämmserie 3, verschiedene Durchmesser, erdverlegt incl. Tiefbau		69.500	15	0,0890	6.186
10.	Demontage und Abbruch		26.000	15	0,0890	2.314
11.	Bauarbeiten Deckendurchbrüche, Fundamente etc.		15.000	15	0,0890	1.335
12.	Netzkostenbeitrag Gasanschluß-Erweiterung		15.000	15	0,0890	1.335
13.	Unvorhergesehenes in [%]	5%	13.900	15	0,0890	1.237
14.	Planungskosten gemäss HOAI, II Unten 100% mit 20% Umbauschlag und 5% NK	291.800	56.200	15	0,0890	5.002
<b>15.</b>	<b>Kapitalgebundene Kosten</b>		<b>348.000</b>	<b>15</b>	<b>0,0890</b>	<b>30.972</b>

**Variante D1 - Deutschherrenschele**

**Anlage 3**

Blatt 9

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Kapitalgebundene Kosten -**

kalk. Zinssatz in [%/a]		3,9	Investitions- summe in [ € ]	Nutzungs- dauer in [ a ]	Annuitäts- faktor in [ ]	Kapitalgeb. Kosten in [ € / a ]
Titel						
1.	NT - Heizkessel ca. 200 kW, 1 Stück incl. modulierendem Brenner, Brennstoff Erdgas H Sicherheitstechnische Ausstattung, Schalldämmhaube,		9.800	15	0,0890	872
2.	Sanierung Kaminanlage im Gebäude einzügig, h = 22m		17.600	15	0,0890	1.566
3.	Rohrleitungen, Pumpen und Armaturen incl. Isolierung und Blechummantelung		16.800	15	0,0890	1.495
4.	Wasseraufbereitung		6.500	15	0,0890	579
5.	Druckhaltung Membran-Ausdehnungsgefäß		1.200	15	0,0890	107
6.	E- und MSR-Technik Anlagenschaltschrank für Stromversorgung der Komponenten		4.500	15	0,0890	401
7.	Be- und Entlüftungsanlage		2.200	15	0,0890	196
8.	Demontage und Abbruch		5.600	15	0,0890	498
9.	Bauarbeiten Kesselfundament, Heizraumsanierung etc.		5.200	15	0,0890	463
10.	Unvorhergesehenes in [%]	5%	3.500	15	0,0890	312
11.	Planungskosten gemäss HOAI, II Unten 100% mit 20% Umbauzuschlag und 5% NK	72.900	19.800	15	0,0890	1.762
<b>12.</b>	<b>Kapitalgebundene Kosten</b>		92.700			8.250

**Variante D2 - Willemerschule / Abendhaupt- und Realschule**

**Anlage 3**

Blatt 10

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Kapitalgebundene Kosten -**

kalk. Zinssatz in [%/a]		3,9	Investitions- summe in [ € ]	Nutzungs- dauer in [ a ]	Annuitäts- faktor in [ ]	Kapitalgeb. Kosten in [ € / a ]
Titel						
1.	NT - Heizkessel ca. 400 kW, 1 Stück incl. modulierendem Brenner, Brennstoff Erdgas H Sicherheitstechnische Ausstattung, Schalldämmhaube		13.800	15	0,0890	1.228
2.	Sanierung Kaminanlage im Gebäude einzügig, h = 22m		17.600	15	0,0890	1.566
3.	Rohrleitungen, Pumpen und Armaturen incl. Isolierung und Blechummantelung		18.300	15	0,0890	1.629
4.	Wasseraufbereitung		6.500	15	0,0890	579
5.	Druckhaltung Membran-Ausdehnungsgefäß		1.200	15	0,0890	107
6.	E- und MSR-Technik Anlagenschaltschrank für Stromversorgung der Komponenten		4.800	15	0,0890	427
7.	Be- und Entlüftungsanlage		2.200	15	0,0890	196
8.	Demontage und Abbruch		6.200	15	0,0890	552
9.	Bauarbeiten Kesselfundament, Heizraumsanierung etc.		5.400	15	0,0890	481
10.	Unvorhergesehenes in [%]	5%	4.000	15	0,0890	356
11.	Planungskosten gemäss HOAI, II Unten 100% mit 20% Umbauzuschlag und 5% NK	80.000	21.200	15	0,0890	1.887
<b>12.</b>	<b>Kapitalgebundene Kosten</b>		<b>101.200</b>			<b>9.007</b>

**Variante D3 - Sporthalle Süd**

**Anlage 3**

Blatt 11

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Kapitalgebundene Kosten -**

kalk. Zinssatz in [%/a]		3,9	Investitions- summe in [ € ]	Nutzungs- dauer in [ a ]	Annuitäts- faktor in [ ]	Kapitalgeb. Kosten in [ € / a ]
Titel						
1.	NT - Heizkessel ca. 500 kW, 1 Stück incl. modulierendem Brenner, Brennstoff Erdgas H Sicherheitstechnische Ausstattung, Schalldämmhaube		17.800	15	0,0890	1.584
2.	Sanierung Kaminanlage im Gebäude einzügig, h = 6m		4.800	15	0,0890	427
3.	Rohrleitungen, Pumpen und Armaturen incl. Isolierung und Blechummantelung		19.100	15	0,0890	1.700
4.	Wasseraufbereitung		6.500	15	0,0890	579
5.	Druckhaltung Membran-Ausdehnungsgefäß		1.200	15	0,0890	107
6.	E- und MSR-Technik Anlagenschaltschrank für Stromversorgung der Komponenten		4.900	15	0,0890	436
7.	Be- und Entlüftungsanlage		2.200	15	0,0890	196
8.	Demontage und Abbruch		5.400	15	0,0890	481
9.	Bauarbeiten Kesselfundament, Heizraumsanierung etc.		5.500	15	0,0890	490
10.	Unvorhergesehenes in [%]	5%	3.400	15	0,0890	303
11.	Planungskosten gemäss HOAI, II Unten 100% mit 20% Umbauzuschlag und 5% NK	70.800	19.300	15	0,0890	1.718
<b>12.</b>	<b>Kapitalgebundene Kosten</b>		<b>90.100</b>			<b>8.019</b>

**Variante A1a - Erdgas-BHKW 50kW**

**Anlage 3**

Blatt 12

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Verbrauchsgebundene Kosten -**

	Einheit	
<b>1. Wärmeleistung und Wärmeverbrauch</b>		
Wärmeleistung (WHL)	kW	990
Wärmeverbrauch Brutto	MWh / a	1.696
<b>2. Wärme- und Stromerzeugung</b>		
<b>2.1 BHKW</b>		
Volllaststunden a.d. Jahresdauerlinie	h / a	7.980
Elektrische Leistung	kW	50
Stromerzeugung	MWh / a	399
Thermische Leistung	kW	84
Wärmeerzeugung	MWh / a	670
Nutzenergie aus BHKW	MWh / a	1.069
<b>2.2 Kesselanlagen</b>		
Wärmeleistung	kW	906
Wärmeerzeugung	MWh / a	1.026
<b>3. Brennstoffkosten</b>		
<b>3.1 BHKW</b>		
Brennstoffeinsatz BHKW	kW	148
Brennstoffverbrauch BHKW	MWh / a	1.181
Nutzungsgrad BHKW	%	0,91
Brennstoffpreise		
Arbeitspreis Hu	€ / MWh	43,18
Grundpreis	€ / a	200,00
Leistungspreis	€ / a	1.348,28
Brennstoffkosten BHKW	€ / a	52.544
<b>3.2 Kesselanlagen</b>		
Nutzungsgrad NT-Kessel	%	0,94
Brennstoffverbrauch NT-Kessel	MWh / a	1.092
Brennstoffpreise		
Arbeitspreis Hu	€ / MWh	49,28
Leistungspreis	€ / a	8.253,66
Brennstoffkosten NT-Kessel	€ / a	62.070
Gesamte Brennstoffkosten	€ / a	114.614
<b>4. Kosten für Hilfsenergie</b>		
<b>4.1</b> Verteilte Heizwärme	MWh / a	1.696
davon Anteil Hilfsenergie	%	2,0
in	MWh / a	33,93
Durchschnittlicher Strompreis	€ / MWh	161,30
Hilfsenergiekosten	€ / a	5.473
Gesamte Hilfsenergiekosten	€ / a	5.473
<b>5. Verbrauchsgebundene Kosten</b>	€ / a	120.087

**Variante A1 - Erdgas-BHKW 100kW**

**Anlage 3**

Blatt 13

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Verbrauchsgebundene Kosten -**

	Einheit	
<b>1. Wärmeleistung und Wärmeverbrauch</b>		
Wärmeleistung (WHL)	kW	990
Wärmeverbrauch Brutto	MWh / a	1.696
<b>2. Wärme- und Stromerzeugung</b>		
<b>2.1 BHKW</b>		
Volllaststunden a.d. Jahresdauerlinie	h / a	6.570
Elektrische Leistung	kW	100
Stromerzeugung	MWh / a	657
Thermische Leistung	kW	143
Wärmeerzeugung	MWh / a	940
Nutzenergie aus BHKW	MWh / a	1.597
<b>2.2 Kesselanlagen</b>		
Wärmeleistung	kW	847
Wärmeerzeugung	MWh / a	756
<b>3. Brennstoffkosten</b>		
<b>3.1 BHKW</b>		
Brennstoffeinsatz BHKW	kW	278
Brennstoffverbrauch BHKW	MWh / a	1.826
Nutzungsgrad BHKW	%	0,87
Brennstoffpreise		
Arbeitspreis Hu	€ / MWh	43,18
Grundpreis	€ / a	200,00
Leistungspreis	€ / a	2.532,58
Brennstoffkosten BHKW	€ / a	81.597
<b>3.2 Kesselanlagen</b>		
Nutzungsgrad NT-Kessel	%	0,94
Brennstoffverbrauch NT-Kessel	MWh / a	805
Brennstoffpreise		
Arbeitspreis Hu	€ / MWh	49,28
Leistungspreis	€ / a	7.716,17
Brennstoffkosten NT-Kessel	€ / a	47.376
Gesamte Brennstoffkosten	€ / a	128.973
<b>4. Kosten für Hilfsenergie</b>		
<b>4.1</b> Verteilte Heizwärme	MWh / a	1.696
davon Anteil Hilfsenergie	%	2,0
in	MWh / a	33,93
Durchschnittlicher Strompreis	€ / MWh	161,30
Hilfsenergiekosten	€ / a	5.473
Gesamte Hilfsenergiekosten	€ / a	5.473
<b>5. Verbrauchsgebundene Kosten</b>	€ / a	134.446

**Variante A2 - Rapsöl-BHKW**

**Anlage 3**

Blatt 14

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Verbrauchsgebundene Kosten -**

	Einheit	
<b>1. Wärmeleistung und Wärmeverbrauch</b>		
Wärmeleistung (WHL)	kW	990
Wärmeverbrauch Brutto	MWh / a	1.696
<b>2. Wärme- und Stromerzeugung</b>		
<b>2.1 BHKW</b>		
Volllaststunden a.d. Jahresdauerlinie	h / a	6.570
Elektrische Leistung	kW	100
Stromerzeugung	MWh / a	657
Thermische Leistung	kW	140
Wärmeerzeugung	MWh / a	920
Nutzenergie aus BHKW	MWh / a	1.577
<b>2.2 Kesselanlagen</b>		
Wärmeleistung	kW	850
Wärmeerzeugung	MWh / a	776
<b>3. Brennstoffkosten</b>		
<b>3.1 BHKW</b>		
Brennstoffeinsatz BHKW	kW	267
Brennstoffverbrauch BHKW	MWh / a	1.752
Nutzungsgrad BHKW	%	0,90
Brennstoffpreise		
Arbeitspreis Hu	€ / MWh	78,34
Brennstoffkosten BHKW	€ / a	137.253
<b>3.2 Kesselanlagen</b>		
Nutzungsgrad NT-Kessel	%	0,94
Brennstoffverbrauch NT-Kessel	MWh / a	826
Brennstoffpreise		
Arbeitspreis Hu	€ / MWh	49,28
Grundpreis	€ / a	200,00
Leistungspreis	€ / a	7.743,50
Brennstoffkosten NT-Kessel	€ / a	48.652
Gesamte Brennstoffkosten	€ / a	185.905
<b>4. Kosten für Hilfsenergie</b>		
<b>4.1</b> Verteilte Heizwärme	MWh / a	1.696
davon Anteil Hilfsenergie	%	2,0
in	MWh / a	33,93
Durchschnittlicher Strompreis	€ / MWh	161,30
Hilfsenergiekosten	€ / a	5.473
Gesamte Hilfsenergiekosten	€ / a	5.473
<b>5. Verbrauchsgebundene Kosten</b>	€ / a	191.377

**Variante B1 - Holzhackschnitzel-Heizwerk**

**Anlage 3**

Blatt 15

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Verbrauchsgebundene Kosten -**

	Einheit	
<b>1. Wärmeleistung und Wärmeverbrauch</b>		
Wärmeleistung (WHL)	kW	990
Wärmeverbrauch Netto	MWh / a	1.696
<b>2. Wärmeerzeugung</b>		
<b>2.1 Holzhackschnitzelanlage</b>		
Volllaststunden a.d. Jahresdauerlinie	h / a	3.690
Thermische Leistung	kW	360
Wärmeerzeugung	MWh / a	1.330
<b>2.2 Kesselanlagen</b>		
Wärmeleistung	kW	630
Wärmeerzeugung	MWh / a	366
<b>3. Brennstoffkosten</b>		
<b>3.1 Holzhackschnitzelanlage</b>		
Kesselwirkungsgrad	%	90%
Brennstoffverbrauch	MWh / a	1.478
Brennstoffpreis Holzhackschnitzel	€ / MWh	18,00
Brennstoffkosten Holzhackschnitzelanlage	€ / a	26.600
<b>3.2 Kesselanlagen</b>		
Nutzungsgrad NT-Kessel	%	0,94
Brennstoffverbrauch NT-Kessel	MWh / a	390
Brennstoffpreise		
Arbeitspreis	€ / MWh	49,28
Grundpreis	€ / a	200,00
Leistungspreis	€ / a	5.739,30
Brennstoffkosten NT-Kessel	€ / a	25.152
Gesamte Brennstoffkosten	€ / a	51.752
<b>4. Kosten für Hilfsenergie</b>		
<b>4.1 Verteilte Heizwärme</b>	MWh / a	1.696
davon Anteil Hilfsenergie	%	3,0
in	MWh / a	50,89
Durchschnittlicher Strompreis	€ / MWh	161,30
Hilfsenergiekosten	€ / a	8.209
Gesamte Hilfsenergiekosten	€ / a	8.209
<b>5. Verbrauchsgebundene Kosten</b>	€ / a	59.961

**Variante B2 - Holzpellet-Heizwerk**

**Anlage 3**

Blatt 16

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Verbrauchsgebundene Kosten -**

	Einheit	
<b>1. Wärmeleistung und Wärmeverbrauch</b>		
Wärmeleistung (WHL)	kW	990
Wärmeverbrauch Netto	MWh / a	1.696
<b>2. Wärmeerzeugung</b>		
<b>2.1 Holzhackschnitzelanlage</b>		
Volllaststunden a.d. Jahresdauerlinie	h / a	6.100
Thermische Leistung	kW	200
Wärmeerzeugung	MWh / a	1.220
<b>2.2 Kesselanlagen</b>		
Wärmeleistung	kW	790
Wärmeerzeugung	MWh / a	476
<b>3. Brennstoffkosten</b>		
<b>3.1 Pelletkessel</b>		
Kesselwirkungsgrad	%	90%
Brennstoffverbrauch	MWh / a	1.356
Brennstoffpreis Holzpellets	€ / MWh	31,73
Brennstoffkosten Holzpellets	€ / a	43.012
<b>3.2 Kesselanlagen</b>		
Nutzungsgrad NT-Kessel	%	0,94
Brennstoffverbrauch NT-Kessel	MWh / a	507
Brennstoffpreise		
Arbeitspreis	€ / MWh	49,28
Grundpreis	€ / a	200,00
Leistungspreis	€ / a	7.196,90
Brennstoffkosten NT-Kessel	€ / a	32.377
Gesamte Brennstoffkosten	€ / a	75.389
<b>4. Kosten für Hilfsenergie</b>		
<b>4.1 Verteilte Heizwärme</b>	MWh / a	1.696
davon Anteil Hilfsenergie	%	3,0
in	MWh / a	50,89
Durchschnittlicher Strompreis	€ / MWh	161,30
Hilfsenergiekosten	€ / a	8.209
Gesamte Hilfsenergiekosten	€ / a	8.209
<b>5. Verbrauchsgebundene Kosten</b>	€ / a	83.598

**Variante C - Erdgas-Heizwerk**

**Anlage 3**

Blatt 17

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Verbrauchsgebundene Kosten -**

	Einheit	
<b>1. Wärmeleistung und Wärmeverbrauch</b>		
Wärmeleistung (WHL)	kW	990
Wärmeverbrauch Brutto	MWh / a	1.696
<b>2. Wärme- und Stromerzeugung</b>		
Wärmeleistung	kW	990
Wärmeerzeugung	MWh / a	1.696
<b>3. Brennstoffkosten</b>		
Nutzungsgrad NT-Kessel	%	0,94
Brennstoffverbrauch NT-Kessel	MWh / a	1.805
Brennstoffpreise		
Arbeitspreis Hu	€ / MWh	49,28
Grundpreis	€ / a	200,00
Leistungspreis	€ / a	9.018,90
Brennstoffkosten NT-Kessel	€ / a	98.163
Gesamte Brennstoffkosten	€ / a	98.163
<b>4. Kosten für Hilfsenergie</b>		
Verteilte Heizwärme	MWh / a	1.696
davon Anteil Hilfsenergie	%	1,5
in	MWh / a	25,45
Durchschnittlicher Strompreis	€ / MWh	161,30
Hilfsenergiekosten	€ / a	4.105
Gesamte Hilfsenergiekosten	€ / a	4.105
<b>5. Verbrauchsgebundene Kosten</b>	€ / a	102.267

**Variante D**

**Anlage 3**

Blatt 18

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Verbrauchsgebundene Kosten -**

	Einheit	D1	D2	D3
<b>1. Wärmeleistung und Wärmeverbrauch</b>				
Wärmeleistung (WHL)	kW	200	400	500
Wärmeverbrauch Netto	MWh / a	350	696	525
<b>2. Brennstoffkosten</b>				
Nutzungsgrad Brennwertkessel	%	0,92	0,92	0,92
Brennstoffverbrauch	MWh / a	381	756	570
Brennstoffpreise				
Arbeitspreis Hu	€ / MWh	49,28	49,28	49,28
Grundpreis	€ / a	200	200	200
Leistungspreis	€ / a	1.822	3.644	4.555
Gesamte Brennstoffkosten	€ / a	20.796	41.103	32.867
<b>4. Kosten für Hilfsenergie</b>				
<b>4.1</b> Verteilte Heizwärme	MWh / a	350	696	525
davon Anteil Hilfsenergie	%	1,5	1,5	1,5
in	MWh / a	5,3	10,4	7,9
Durchschnittlicher Strompreis	€ / MWh	161,3	161,30	161,3
Hilfsenergiekosten	€ / a	848	1.683	1.270
Gesamte Hilfsenergiekosten	€ / a	848	1.683	1.270
<b>3. Verbrauchsgebundene Kosten</b>				
	€ / a	21.644	42.786	34.137

**Variante A1a - Erdgas-BHKW 50kW**

**Anlage 3**

Blatt 19

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Betriebsgebundene Kosten -**

	Einheit	
<b>1. Instandsetzung</b>		
Investitionskosten ohne Ing.honorar	€	399.200
Anteil Instandsetzung	% / a	1,5
Instandsetzungskosten	€ / a	5.988
<b>2. Versicherung und Verwaltung</b>		
Investitionskosten ohne Ing.honorar	€	399.200
Anteil Versicherung und Verwaltung	% / a	1
Kosten Versicherung und Verwaltung	€ / a	3.992
<b>3. Kapitalgeb. Betriebskosten</b>	€ / a	9.980
<b>4. Personal</b>		
Betätigungszeitaufwand	h / a	110
spez. Personalkosten	€ / h	23,00
Personalkosten	€ / a	2.530
<b>5. Wartungskosten</b>		
Vollwartungskosten BHKW	€ / a	10.374
Kundendienst NT-Kessel etc. (2 AK, 5 h, 2 Termine, 45 € / h)	€ / a	900
Schornsteinfegergebühr, Emissions- überwachung, Abgasverlustkontrolle	€ / a	500
Gesamte Wartungskosten	€ / a	11.774
<b>6. Betriebsgebundene Kosten</b>	€ / a	24.284

**Variante A1 - Erdgas-BHKW 100kW**

**Anlage 3**

Blatt 20

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Betriebsgebundene Kosten -**

	Einheit	
<b>1. Instandsetzung</b>		
Investitionskosten ohne Ing.honorar	€	441.300
Anteil Instandsetzung	% / a	1,5
Instandsetzungskosten	€ / a	6.620
<b>2. Versicherung und Verwaltung</b>		
Investitionskosten ohne Ing.honorar	€	441.300
Anteil Versicherung und Verwaltung	% / a	1
Kosten Versicherung und Verwaltung	€ / a	4.413
<b>3. Kapitalgeb. Betriebskosten</b>	€ / a	11.033
<b>4. Personal</b>		
Betätigungszeitaufwand	h / a	110
spez. Personalkosten	€ / h	23,00
Personalkosten	€ / a	2.530
<b>5. Wartungskosten</b>		
Vollwartungskosten BHKW	€ / a	12.614
Kundendienst NT-Kessel etc. (2 AK, 5 h, 2 Termine, 45 € / h)	€ / a	900
Schornsteinfegergebühr, Emissions- überwachung, Abgasverlustkontrolle	€ / a	500
Gesamte Wartungskosten	€ / a	14.014
<b>6. Betriebsgebundene Kosten</b>	€ / a	27.577

**Variante A2 - Rapsöl-BHKW**

**Anlage 3**

Blatt 21

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Betriebsgebundene Kosten -**

	Einheit	
<b>1. Instandsetzung</b>		
Investitionskosten ohne Ing.honorar	€	560.800
Anteil Instandsetzung	% / a	1,5
Instandsetzungskosten	€ / a	8.412
<b>2. Versicherung und Verwaltung</b>		
Investitionskosten ohne Ing.honorar	€	560.800
Anteil Versicherung und Verwaltung	% / a	1
Kosten Versicherung und Verwaltung	€ / a	5.608
<b>3. Kapitalgeb. Betriebskosten</b>	€ / a	14.020
<b>4. Personal</b>		
Betätigungszeitaufwand	h / a	110
spez. Personalkosten	€ / h	23,00
Personalkosten	€ / a	2.530
<b>5. Wartungskosten</b>		
Vollwartungskosten BHKW	€ / a	12.614
Kundendienst NT-Kessel etc. (2 AK, 5 h, 2 Termine, 45 € / h)	€ / a	900
Schornsteinfegergebühr, Emissions- überwachung, Abgasverlustkontrolle,	€ / a	500
Rapsöltankreinigung	€ / a	750
Gesamte Wartungskosten	€ / a	14.764
<b>6. Betriebsgebundene Kosten</b>	€ / a	31.314

**Variante B1 - Holzhackschnitzel-Heizwerk**

**Anlage 3**

Blatt 22

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Betriebsgebundene Kosten -**

	Einheit	
<b>1. Instandsetzung</b>		
Investitionskosten ohne Ing.honorar	€	559.900
Anteil Instandsetzung	% / a	1,5
Instandsetzungskosten	€ / a	8.399
<b>2. Versicherung und Verwaltung</b>		
Investitionskosten ohne Ing.honorar	€	559.900
Anteil Versicherung und Verwaltung	% / a	1
Kosten Versicherung und Verwaltung	€ / a	5.599
<b>3. Kapitalgeb. Betriebskosten</b>	€ / a	13.998
<b>4. Personal</b>		
Betätigungszeitaufwand	h / a	350
spez. Personalkosten	€ / h	23,00
Personalkosten	€ / a	8.050
<b>5. Wartungskosten</b>		
Kundendienst HHS-Kessel (2 AK, 10 h, 2 Termine, 45 € / h)	€ / a	3.600
Kundendienst NT-Kessel etc. (2 AK, 5 h, 2 Termine, 45 € / h)	€ / a	900
Schornsteinfegergebühr, Emissions- überwachung, Abgasverlustkontrolle	€ / a	500
Gesamte Wartungskosten	€ / a	5.000
<b>6. Betriebsgebundene Kosten</b>	€ / a	27.048

**Variante B2 - Holzpellet-Heizwerk**

**Anlage 3**

Blatt 23

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Betriebsgebundene Kosten -**

	Einheit	
<b>1. Instandsetzung</b>		
Investitionskosten ohne Ing.honorar	€	455.500
Anteil Instandsetzung	% / a	1,5
Instandsetzungskosten	€ / a	6.833
<b>2. Versicherung und Verwaltung</b>		
Investitionskosten ohne Ing.honorar	€	455.500
Anteil Versicherung und Verwaltung	% / a	1
Kosten Versicherung und Verwaltung	€ / a	4.555
<b>3. Kapitalgeb. Betriebskosten</b>	€ / a	11.388
<b>4. Personal</b>		
Betätigungszeitaufwand	h / a	100
spez. Personalkosten	€ / h	23,00
Personalkosten	€ / a	2.300
<b>5. Wartungskosten</b>		
Kundendienst Pelletkessel (2 AK, 5 h, 2 Termine, 45 € / h)	€ / a	1.800
Kundendienst NT-Kessel etc. (2 AK, 5 h, 2 Termine, 45 € / h)	€ / a	900
Schornsteinfegergebühr, Emissions- überwachung, Abgasverlustkontrolle	€ / a	500
Gesamte Wartungskosten	€ / a	3.200
<b>6. Betriebsgebundene Kosten</b>	€ / a	16.888

**Variante C - Erdgas-Heizwerk**

**Anlage 3**

Blatt 24

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Betriebsgebundene Kosten -**

	Einheit	
<b>1. Instandsetzung</b>		
Investitionskosten ohne Ing.honorar	€	291.800
Anteil Instandsetzung	% / a	1,5
Instandsetzungskosten	€ / a	4.377
<b>2. Versicherung und Verwaltung</b>		
Investitionskosten ohne Ing.honorar	€	291.800
Anteil Versicherung und Verwaltung	% / a	1
Kosten Versicherung und Verwaltung	€ / a	2.918
<b>3. Kapitalgeb. Betriebskosten</b>	€ / a	7.295
<b>4. Personal</b>		
Betätigungszeitaufwand	h / a	50
spez. Personalkosten	€ / h	23,00
Personalkosten	€ / a	1.150
<b>5. Wartungskosten</b>		
Kundendienst NT-Kessel etc. (2 AK, 5 h, 2 Termine, 45 € / h)	€ / a	900
Schornsteinfegergebühr, Emissions- überwachung, Abgasverlustkontrolle	€ / a	500
Gesamte Wartungskosten	€ / a	1.400
<b>6. Betriebsgebundene Kosten</b>	€ / a	9.845

**Variante D**

**Anlage 3**

Blatt 25

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - Betriebsgebundene Kosten -**

	Einheit	D1	D2	D3
<b>1. Instandsetzung</b>				
Investitionskosten ohne Ing.honorar	€	72.900	80.000	70.800
Anteil Instandsetzung	% / a	1,5	1,5	1,5
Instandsetzungskosten	€ / a	1.094	1.200	1.062
<b>2. Versicherung und Verwaltung</b>				
Investitionskosten ohne Ing.honorar	€	72900	80.000	70800
Anteil Versicherung und Verwaltung	% / a	1	1	1
Kosten Versicherung und Verwaltung	€ / a	729	800	708
<b>Kapitalgeb. Betriebskosten</b>	€ / a	1.823	2.000	1.770
<b>2. Wartungskosten</b>				
Kundendienst Heizkessel	€ / a	270	400	400
Schornsteinfegergebühr, Emissionsüberwachung, Abgasverlustkontrolle	€ / a	200	200	200
Gesamte Wartungskosten	€ / a	470	600	600
<b>3. Betriebsgebundene Kosten</b>	€ / a	2.293	2.600	2.370

**Wirtschaftlichkeitsrechnung - spezifische Wärme(rest)kosten -**

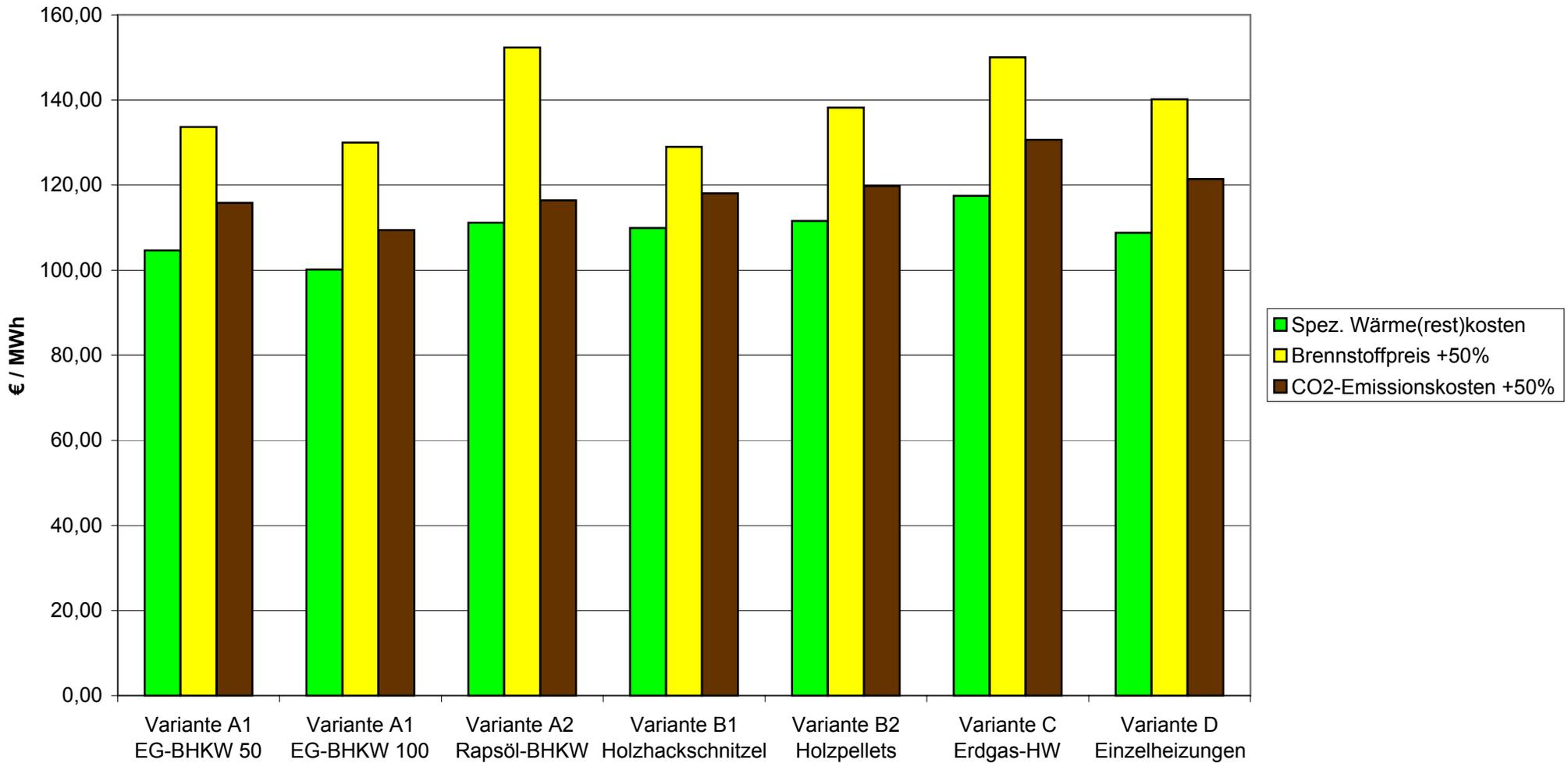
<b>Variante A</b>		Einheit	<b>A1 - EG50</b>	<b>A1 - EG100</b>	<b>A2 - Rapsöl</b>
1.	Kapitalgebundene Kosten	€/ a	42.791	47.161	59.648
2.	Verbrauchsgebundene Kosten	€/ a	120.087	134.446	191.377
3.	Betriebsgebundene Kosten	€/ a	24.284	27.577	31.314
4.	CO2-Emissionskosten	€/ a	35.000	29.250	16.400
5.	Gesamte Jahreskosten	€/ a	222.162	238.434	298.740
6.	Vergütung aus Stromerzeugung	€/ a	57.801	81.153	124.124
7.	Gesamte Jahresrestkosten	€/ a	164.361	157.282	174.616
8.	Wärmeverbrauch Netto	MWh / a	1.571	1.571	1.571
<b>9.</b>	<b>spez. Wärmerestkosten</b>	<b>€/ MWh</b>	<b>104,64</b>	<b>100,13</b>	<b>111,17</b>

<b>Variante B</b>		Einheit	<b>B1 - HHS</b>	<b>B2 - Pellets</b>
1.	Kapitalgebundene Kosten	€/ a		59.826
2.	Verbrauchsgebundene Kosten	€/ a		59.961
3.	Betriebsgebundene Kosten	€/ a		27.048
4.	CO2-Emissionskosten	€/ a		25.750
5.	Gesamte Jahreskosten	€/ a		172.584
6.	Wärmeverbrauch Netto	MWh / a		1.571
<b>7.</b>	<b>spez. Wärmekosten</b>	<b>€/ MWh</b>		<b>109,87</b>
				<b>111,58</b>

<b>Variante C - Erdgas-Heizwerk</b>		Einheit	
1.	Kapitalgebundene Kosten	€/ a	30.972
2.	Verbrauchsgebundene Kosten	€/ a	102.267
3.	Betriebsgebundene Kosten	€/ a	9.845
4.	CO2-Emissionskosten	€/ a	41.400
5.	Gesamte Jahreskosten	€/ a	184.485
6.	Wärmeverbrauch Netto	MWh / a	1.571
<b>7.</b>	<b>spez. Wärmekosten</b>	<b>€/ MWh</b>	<b>117,45</b>

<b>Variante D</b>		Einheit	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>
1.	Kapitalgebundene Kosten	€/ a	8.250	9.007	8.019
2.	Verbrauchsgebundene Kosten	€/ a	21.644	42.786	34.137
3.	Betriebsgebundene Kosten	€/ a	2.293	2.600	2.370
4.	CO2-Emissionskosten	€/ a	8.869	17.601	13.280
5.	Gesamte Jahreskosten	€/ a	41.055	71.994	57.806
6.	Wärmeverbrauch	MWh / a	350	696	525
<b>7.</b>	<b>spez. Wärmekosten</b>	<b>€/ MWh</b>	<b>117,15</b>	<b>103,51</b>	<b>110,15</b>
8.	Gesamte Jahreskosten	€/ a		170.856	
9.	Wärmeverbrauch	MWh / a		1.571	
<b>10.</b>	<b>spez. Wärmekosten</b>	<b>€/ MWh</b>		<b>108,77</b>	

### Deutschherrenscheule / Willemerscheule / Sporthalle Süd Resultierende Wärme(rest)kosten



# 1. Gesamtkosten

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

<b>A. Allgemeine Daten</b>							
A1	Liegenschaftsbezeichnung	<b>Energiekonzept Deutschherrenschule</b>			A2	KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	<b>Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd</b>			A4	Str.-Nr.	
A5	Straße				A6	Haus-Nr.	
A7	Betrachtungszeitraum	15	a	A8	Währung	€	
A9	Kapitalzins*	3,9%		A10	Annuitätsfaktor	0,089	
A11	Preissteigerung	5%		A12	Mittelwertfaktor	1,46	
<b>B. Varianten</b>							
		<b>Bezeichnung</b>					
B0	Variante 1	<b>Erdgas-BHKW 50kW</b>					
B1	Variante 2	<b>Erdgas-BHKW 100kW</b>					
B2	Variante 3	<b>Holz hackschnitzel-Heizwerk</b>					
B3	Variante 4	<b>Holz pellet-Heizwerk</b>					
B4	Variante 5	<b>Dezentrale Heizungsanlagen</b>					
<b>C. Kenngrößen</b>							
		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	
C1	Bezugsfläche (NGF)	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	
C2	Personenzahl						
C3	spez. Heizwärmebedarf						
C4	Heizzahl Kessel+Verteilung	95%	95%	96%	95%	94%	
C5	spez. Strombezug						
C6	spez. CO2-Emissionen	22,9	18,8	16,1	17,6	29,6	
C7	spez. Trinkwasserbezug						
<b>D. Kapitalkosten</b>							
		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	
D1	Investitionskosten (DIN 276)	572.152	630.581	799.918	655.571	337.960	
D2	Zuschüsse/Erlöse						
D3	Eigenkapitaleinsatz	572.152	630.581	799.918	655.571	337.960	
D4	<b>Kapitalkosten</b>	<b>50.922</b>	<b>56.122</b>	<b>71.193</b>	<b>58.346</b>	<b>30.079</b>	
D5	<b>spez. Kapitalkosten</b>	<b>2,42</b>	<b>2,67</b>	<b>3,39</b>	<b>2,78</b>	<b>1,43</b>	
<b>E. mittl. Betriebskosten</b>							
		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	
E1	Personal+Reinigungskosten	3.011	3.011	9.580	2.737	1.273	
E2	Wartung+Instandhaltung	21.170	24.593	15.998	11.800	5.407	
E3	Heizkosten	138.829	156.175	65.481	92.941	109.686	
E4	Stromkosten	6.291	-13.907	56.278	56.278	56.278	
E5	Wasserkosten						
E6	Verwaltung+Versicherung	4.750	5.251	6.663	5.420	2.662	
E7	<b>heutige Betriebskosten</b>	<b>174.050</b>	<b>175.121</b>	<b>153.999</b>	<b>169.177</b>	<b>175.307</b>	
E8	<b>mittl. Betriebskosten</b>	<b>254.045</b>	<b>255.609</b>	<b>224.779</b>	<b>246.932</b>	<b>255.879</b>	
E9	<b>spez. Betriebskosten</b>	<b>12,097</b>	<b>12,172</b>	<b>10,704</b>	<b>11,759</b>	<b>12,185</b>	
<b>F. Umweltfolgekosten</b>							
		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	
F1	CO2-Emissionen (50 €/to)	24.002	19.782	16.938	18.524	31.033	
F2	Trinkwasser (1 €/m³)	0	0	0	0	0	
F3	<b>Umweltfolgekosten</b>	<b>24.002</b>	<b>19.782</b>	<b>16.938</b>	<b>18.524</b>	<b>31.033</b>	
F4	<b>spez. Umweltfolgekost.</b>	<b>1,14</b>	<b>0,94</b>	<b>0,81</b>	<b>0,88</b>	<b>1,48</b>	
<b>G. Gesamtkosten</b>							
		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	
G1	<b>Gesamtkosten</b>	<b>328.969</b>	<b>331.513</b>	<b>312.910</b>	<b>323.801</b>	<b>316.991</b>	
G2	<b>spez. Gesamtkosten</b>	<b>15,67</b>	<b>15,79</b>	<b>14,90</b>	<b>15,42</b>	<b>15,09</b>	
G2	<b>Amortisationszeit</b>	<b>#ZAHL!</b>	<b>100,8</b>	<b>13,2</b>	<b>22,3</b>	<b>a</b>	
(Basis: Variante 5)							
(alle Kosten sind Bruttokosten incl. MWSt.)							
* aktuelle Kreditzinsen unter: <a href="http://www.kfw-formularsammlung.de/Konditionen/Konditionentabelle10.p">http://www.kfw-formularsammlung.de/Konditionen/Konditionentabelle10.p</a>							

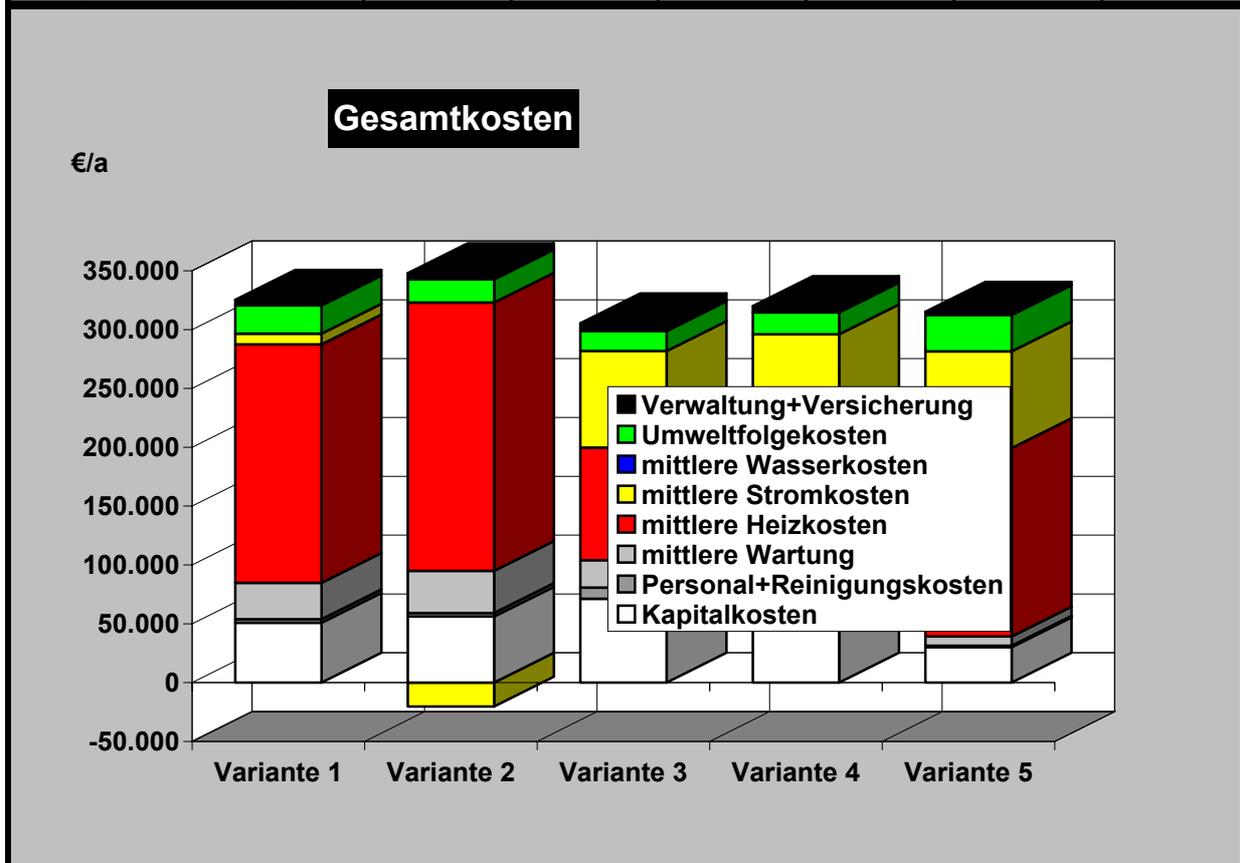
gesehen:

aufgestellt: IGBM, R. Maaß

# 1. Gesamtkosten

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

A. Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichnung	Energiekonzept Deutschherrenscheule	A2 KStB.				
A3	Gebäudebezeichnung	Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd	A4 Str.-Nr.				
A5	Straße		A6 Haus-Nr.				
A7	Betrachtungszeitraum	15 a	A8 Währung				
A9	Kapitalzins*	3,9%	A10 Annuitätsfaktor				
A11	Preissteigerung	5%	A12 Mittelwertfaktor				
			€				
			0,089				
			1,46				
B. Varianten		Bezeichnung					
B0	Variante 1	Erdgas-BHKW 50kW					
B1	Variante 2	Erdgas-BHKW 100kW					
B2	Variante 3	Holzhackschnitzel-Heizwerk					
B3	Variante 4	Holzpellet-Heizwerk					
B4	Variante 5	Dezentrale Heizungsanlagen					
C. Kenngrößen		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	
C1	Bezugsfläche (NGF)	21.000	21.000	21.000	21.000	21.000	m <sup>2</sup>
C2	Personenzahl						P
C3	spez. Heizwärmebedarf						kWh/m <sup>2</sup> a
C4	Heizzahl Kessel+Verteilung	95%	95%	96%	95%	94%	%
C5	spez. Strombezug						kWh/m <sup>2</sup> a
C6	spez. CO2-Emissionen	22,9	18,8	16,1	17,6	29,6	kg/m <sup>2</sup> a
C7	spez. Trinkwasserbezug						l/m <sup>2</sup> a



### 3.1 Investitions- und Wartungskosten

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

<b>A. Allgemeine Daten</b>							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	<b>Energiekonzept Deutschherrenscheule</b>			A2	KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	<b>Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd</b>			A4	Str-Nr.	
A5	Straße				A6	Haus-Nr.	
A7	Variante 1	<b>Erdgas-BHKW 50kW</b>					
A8	Bezugsfläche (NGF)	21.000	m <sup>2</sup>	A9	Personenzahl	0	P
<b>B. Kosten nach DIN276</b> (Fassung Juni 1993)							
(alle Kosten netto)				Investition (€)	Invest./NGF (€/m <sup>2</sup> )	Wartung (%/a)	Wartung (€/a)
<b>100 Grundstück</b>					0		
<b>200 Herrichten und Erschließen</b>					0		
<b>300 Bauwerk - Baukonstruktion</b>	Menge (m <sup>3</sup> )	sp. Preis (€/m <sup>3</sup> )	Investition (€)	Invest./NGF (€/m <sup>2</sup> )	Wartung (%/a)	Wartung (€/a)	
310 Baugrube	0	0	0	0			
320 Gründung: Fundamente			0	0			
Gründung: Bodenaufbauten	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
			0	0	1,0%	0	
			0	0	1,0%	0	
330 Außenwände	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
			0	0	1,0%	0	
			0	0	1,0%	0	
Außenfenster und -türen			0	0	1,5%	0	
			0	0			
340 Innenwände	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
Innenwände			0	0	1,0%	0	
Innentüren und Fenster			0	0	1,5%	0	
350 Decken	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
			0	0	1,0%	0	
sonstige Geschoßdecken			0	0	1,0%	0	
360 Dächer	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
			0	0	1,0%	0	
			0	0			
370 - 390 sonstige Baukonstruktion				0			0
<b>300 Summe Baukonstruktion</b>			<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0%</b>	<b>0</b>	
<b>400 Bauwerk- Technische Anlagen</b>			Investition (€)	Invest./NGF (€/m <sup>2</sup> )	Wartung (%/a)	Wartung (€/a)	
410 Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen			0	0	1,5%	0	
420 Wärmeversorgungsanlagen			480.800	23	3,7%	17.790	
430 Lufttechnische Anlagen				0	3,5%	0	
440 Starkstromanlagen				0	1,5%	0	
450 Fernmelde- und Informationstechnische Anlagen				0	3,0%	0	
460 Förderanlagen				0	3,5%	0	
470 - 490 sonstige Technische Anlagen				0	1,5%	0	
<b>400 Summe Technische Anlagen</b>			<b>480.800</b>	<b>23</b>	<b>3,7%</b>	<b>17.790</b>	
500 Außenanlagen				0	3,0%	0	
600 Ausstattung und Kunstwerke				0	1,5%	0	
700 Baunebenkosten				0			
Zur Aufrundung und für Unvorhergesehenes				0			
<b>C. Summe Investition u. Wartung</b>	netto		<b>480.800</b>	<b>23</b>	<b>3,7%</b>	<b>17.790</b>	
C2 Mehrwertsteuer	19%		91.352	4		3.380	
C3	brutto		<b>572.152</b>	<b>27</b>	<b>3,7%</b>	<b>21.170</b>	

gesehen:

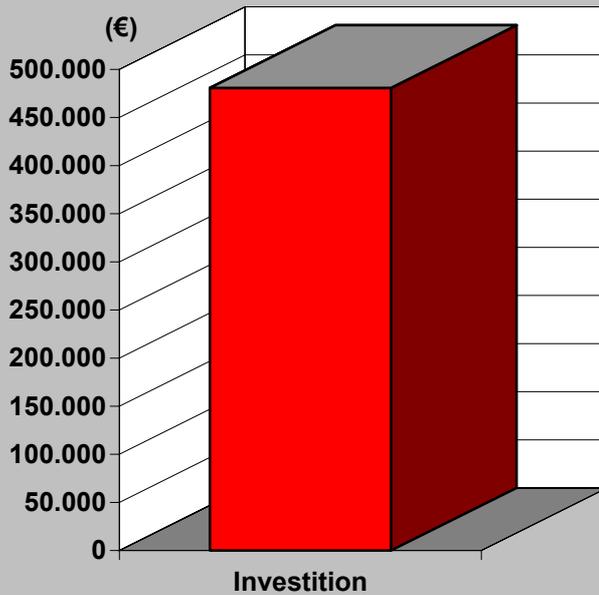
aufgestellt: IGBM, R. Maaß

### 3.1 Investitions- und Wartungskosten

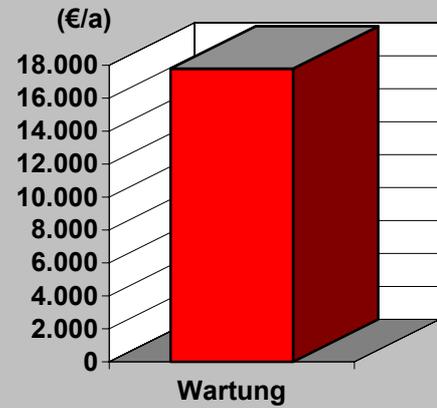
Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

A. Allgemeine Daten			
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Energiekonzept Deutschherrenscheule	A2 KStB.
A3	Gebäudebezeichnung	Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd	A4 Str-Nr.
A5	Straße		A6 Haus-Nr.
A7	Variante 1	Erdgas-BHKW 50kW	
A8	Bezugsfläche (NGF)	21.000 m <sup>2</sup>	A9 Personenzahl 0 P

#### Investitions- und Wartungskosten



- 100 Grundstück
- 200 Herrichten und Erschließen
- 300 Summe Baukonstruktion
- 400 Summe Technische Anlagen
- 500 Außenanlagen
- 600 Ausstattung und Kunstwerke
- 700 Baunebenkosten



### 3.2 Investitions- und Wartungskosten

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

<b>A. Allgemeine Daten</b>							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	<b>Energiekonzept Deutschherrenscheule</b>		A2	KStB.		
A3	Gebäudebezeichnung	<b>Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd</b>		A4	Str-Nr.		
A5	Straße			A6	Haus-Nr.		
A7	Variante 2	<b>Erdgas-BHKW 100kW</b>					
A8	Bezugsfläche (NGF)	21.000	m <sup>2</sup>	A9	Personenzahl	0	P
<b>B. Kosten nach DIN276</b>		(Fassung Juni 1993)		Investition	Invest./NGF	Wartung	Wartung
(alle Kosten netto)				(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)
<b>100 Grundstück</b>				0	0		
<b>200 Herrichten und Erschließen</b>				0	0		
<b>300 Bauwerk - Baukonstruktion</b>	<b>Menge</b>	<b>sp. Preis</b>		<b>Investition</b>	<b>Invest./NGF</b>	<b>Wartung</b>	<b>Wartung</b>
	(m <sup>3</sup> )	(€/m <sup>3</sup> )		(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)
310	Baugrube	0	0	0	0		
320	Gründung: Fundamente	0	0	0	0		
	Gründung: Bodenaufbauten	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)
		0		0	0	1,0%	0
		0		0	0	1,0%	0
330	Außenwände	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)
		0		0	0	1,0%	0
		0		0	0	1,0%	0
	Außenfenster und -türen		0	0	0	1,5%	0
		0	0	0	0	0,0%	0
340	Innenwände	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)
	Innenwände	0	0	0	0	1,0%	0
	Innentüren und Fenster	0	0	0	0	1,5%	0
350	Decken	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)
		0		0	0	1,0%	0
	sonstige Geschoßdecken	0	0	0	0	1,0%	0
360	Dächer	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)
		0		0	0	1,0%	0
		0	0	0	0	0,0%	0
370	- 390 sonstige Baukonstruktion			0	0	0,0%	0
<b>300 Summe Baukonstruktion</b>				<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0%</b>	<b>0</b>
<b>400 Bauwerk- Technische Anlagen</b>				<b>Investition</b>	<b>Invest./NGF</b>	<b>Wartung</b>	<b>Wartung</b>
				(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)
410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen			0	0	1,5%	0
420	Wärmeversorgungsanlagen			529.900	25	3,9%	20.666
430	Lufttechnische Anlagen			0	0	3,5%	0
440	Starkstromanlagen			0	0	1,5%	0
450	Fernmelde- und Informationstechnische Anlagen			0	0	3,0%	0
460	Förderanlagen			0	0	3,5%	0
470	- 490 sonstige Technische Anlagen			0	0	1,5%	0
<b>400 Summe Technische Anlagen</b>				<b>529.900</b>	<b>25</b>	<b>3,9%</b>	<b>20.666</b>
500	Außenanlagen			0	0	3,0%	0
600	Ausstattung und Kunstwerke			0	0	1,5%	0
700	Baunebenkosten			0	0		
	Zur Aufrundung und für Unvorhergesehenes			0	0		
<b>C. Summe Investition u. Wartung</b>	netto			<b>529.900</b>	<b>25</b>	<b>3,9%</b>	<b>20.666</b>
C2	Mehrwertsteuer	19%		100.681	5		3.927
C3	brutto			<b>630.581</b>	<b>30</b>	<b>3,9%</b>	<b>24.593</b>

gesehen:

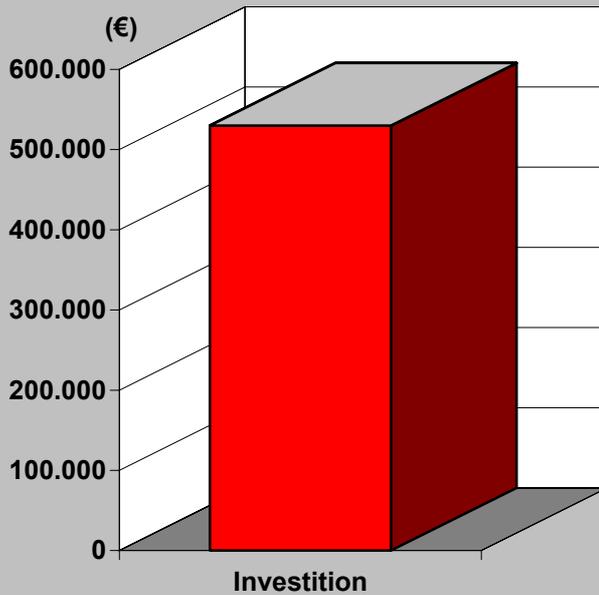
aufgestellt: IGBM, R. Maaß

### 3.2 Investitions- und Wartungskosten

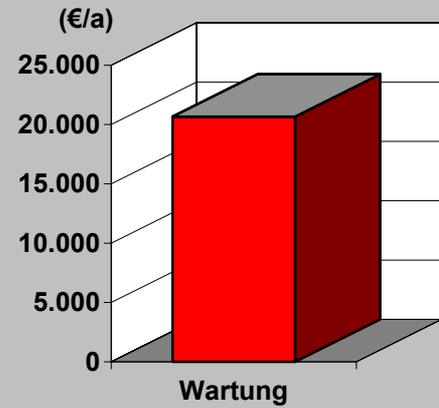
Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

A. Allgemeine Daten			
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Energiekonzept Deutscherherrenscheule	A2 KStB.
A3	Gebäudebezeichnung	Deutscherherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd	A4 Str-Nr.
A5	Straße		A6 Haus-Nr.
A7	Variante 2	Erdgas-BHKW 100kW	
A8	Bezugsfläche (NGF)	21.000 m <sup>2</sup>	A9 Personenzahl 0 P

#### Investitions- und Wartungskosten



- 100 Grundstück
- 200 Herrichten und Erschließen
- 300 Summe Baukonstruktion
- 400 Summe Technische Anlagen
- 500 Außenanlagen
- 600 Ausstattung und Kunstwerke
- 700 Baunebenkosten



### 3.3 Investitions- und Wartungskosten

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

<b>A. Allgemeine Daten</b>								
A1	Liegenschaftsbezeichn.	<b>Energiekonzept Deutschherrenscheule</b>				A2	KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	<b>Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd</b>				A4	Str-Nr.	
A5	Straße					A6	Haus-Nr.	
A7	Variante 3	<b>Holzhacksnitzel-Heizwerk</b>						
A8	Bezugsfläche (NGF)	21.000	m <sup>2</sup>	A9	Personenzahl	0	P	
<b>B. Kosten nach DIN276</b> (Fassung Juni 1993)								
(alle Kosten netto)				Investition (€)	Invest./NGF (€/m <sup>2</sup> )	Wartung (%/a)	Wartung (€/a)	
<b>100 Grundstück</b>				0	0			
<b>200 Herrichten und Erschließen</b>				0	0			
<b>300 Bauwerk - Baukonstruktion</b>	Menge (m <sup>3</sup> )	sp. Preis (€/m <sup>3</sup> )		Investition (€)	Invest./NGF (€/m <sup>2</sup> )	Wartung (%/a)	Wartung (€/a)	
310 Baugrube	0	0		0	0			
320 Gründung: Fundamente	0	0		0	0			
Gründung: Bodenaufbauten	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )		(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
	0			0	0	1,0%	0	
	0			0	0	1,0%	0	
330 Außenwände	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )		(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
	0			0	0	1,0%	0	
	0			0	0	1,0%	0	
Außenfenster und -türen		0		0	0	1,5%	0	
	0	0		0	0	0,0%	0	
340 Innenwände	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )		(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
Innenwände	0	0		0	0	1,0%	0	
Innentüren und Fenster	0	0		0	0	1,5%	0	
350 Decken	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )		(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
#BEZUG!	0			0	0	1,0%	0	
sonstige Geschoßdecken	0	0		0	0	1,0%	0	
360 Dächer	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )		(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
#BEZUG!	0			0	0	1,0%	0	
	0	0		0	0	0,0%	0	
370 - 390 sonstige Baukonstruktion				0	0	0,0%	0	
<b>300 Summe Baukonstruktion</b>				<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0%</b>	<b>0</b>	
<b>400 Bauwerk- Technische Anlagen</b>				Investition (€)	Invest./NGF (€/m <sup>2</sup> )	Wartung (%/a)	Wartung (€/a)	
410 Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen				0	0	1,5%	0	
420 Wärmeversorgungsanlagen				672.200	32	2,0%	13.444	
430 Lufttechnische Anlagen				0	0	3,5%	0	
440 Starkstromanlagen				0	0	1,5%	0	
450 Fernmelde- und Informationstechnische Anlagen				0	0	3,0%	0	
460 Förderanlagen				0	0	3,5%	0	
470 - 490 sonstige Technische Anlagen				0	0	1,5%	0	
<b>400 Summe Technische Anlagen</b>				<b>672.200</b>	<b>32</b>	<b>2,0%</b>	<b>13.444</b>	
500 Außenanlagen				0	0	3,0%	0	
600 Ausstattung und Kunstwerke				0	0	1,5%	0	
700 Baunebenkosten				0	0			
Zur Aufrundung und für Unvorhergesehenes				0	0			
<b>C. Summe Investition u. Wartung</b>	netto			<b>672.200</b>	<b>32</b>	<b>2,0%</b>	<b>13.444</b>	
C2 Mehrwertsteuer	19%			127.718	6		2.554	
C3	brutto			<b>799.918</b>	<b>38</b>	<b>2,0%</b>	<b>15.998</b>	

gesehen:

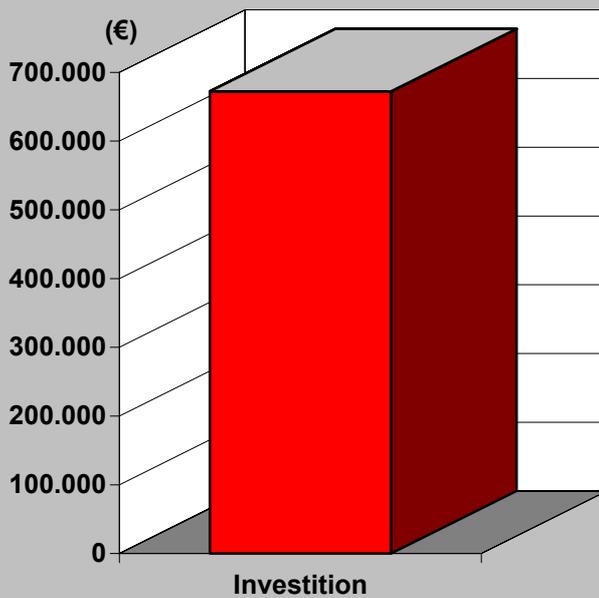
aufgestellt: IGBM, R. Maaß

### 3.3 Investitions- und Wartungskosten

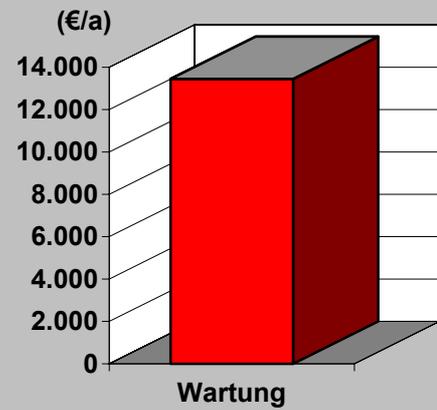
Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

A. Allgemeine Daten			
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Energiekonzept Deutschherrenscheule	A2 KStB.
A3	Gebäudebezeichnung	Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd	A4 Str-Nr.
A5	Straße		A6 Haus-Nr.
A7	Variante 3	Holz hackschnitzel-Heizwerk	
A8	Bezugsfläche (NGF)	21.000 m <sup>2</sup>	A9 Personenzahl 0 P

#### Investitions- und Wartungskosten



- 100 Grundstück
- 200 Herrichten und Erschließen
- 300 Summe Baukonstruktion
- 400 Summe Technische Anlagen
- 500 Außenanlagen
- 600 Ausstattung und Kunstwerke
- 700 Baunebenkosten



### 3.4 Investitions- und Wartungskosten

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

A. Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	<b>Energiekonzept Deutschherrenscheule</b>		A2	KStB.		
A3	Gebäudebezeichnung	<b>Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd</b>		A4	Str-Nr.		
A5	Straße			A6	Haus-Nr.		
A7	Variante 4	<b>Holzpellet-Heizwerk</b>					
A8	Bezugsfläche (NGF)	21.000	m <sup>2</sup>	A9	Personenzahl	0	P
B. Kosten nach DIN276		(Fassung Juni 1993)		Investition	Invest./NGF	Wartung	Wartung
(alle Kosten netto)				(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)
<b>100</b>	<b>Grundstück</b>			0	0		
<b>200</b>	<b>Herrichten und Erschließen</b>			0	0		
<b>300</b>	<b>Bauwerk -</b>	<b>Menge</b>	<b>sp. Preis</b>	<b>Investition</b>	<b>Invest./NGF</b>	<b>Wartung</b>	<b>Wartung</b>
	<b>Baukonstruktion</b>	(m <sup>3</sup> )	(€/m <sup>3</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)
310	Baugrube	0	0	0	0		
320	Gründung: Fundamente	0	0	0	0		
	Gründung: Bodenaufbauten	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)
		0		0	0	1,0%	0
		0		0	0	1,0%	0
330	Außenwände	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)
		0		0	0	1,0%	0
		0		0	0	1,0%	0
	Außenfenster und -türen		0	0	0	1,5%	0
		0	0	0	0	0,0%	0
340	Innenwände	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)
	Innenwände	0	0	0	0	1,0%	0
	Innentüren und Fenster	0	0	0	0	1,5%	0
350	Decken	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)
		0		0	0	1,0%	0
	sonstige Geschoßdecken	0	0	0	0	1,0%	0
360	Dächer	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)
		0		0	0	1,0%	0
		0	0	0	0	0,0%	0
370	- 390 sonstige Baukonstruktion			0	0	0,0%	0
<b>300</b>	<b>Summe Baukonstruktion</b>			<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0%</b>	<b>0</b>
<b>400</b>	<b>Bauwerk-</b>			<b>Investition</b>	<b>Invest./NGF</b>	<b>Wartung</b>	<b>Wartung</b>
	<b>Technische Anlagen</b>			(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)
410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen			0	0	1,5%	0
420	Wärmeversorgungsanlagen			550.900	26	1,8%	9.916
430	Lufttechnische Anlagen			0	0	3,5%	0
440	Starkstromanlagen			0	0	1,5%	0
450	Fernmelde- und Informationstechnische Anlagen			0	0	3,0%	0
460	Förderanlagen			0	0	3,5%	0
470	- 490 sonstige Technische Anlagen			0	0	1,5%	0
<b>400</b>	<b>Summe Technische Anlagen</b>			<b>550.900</b>	<b>26</b>	<b>1,8%</b>	<b>9.916</b>
<b>500</b>	<b>Außenanlagen</b>			0	0	3,0%	0
<b>600</b>	<b>Ausstattung und Kunstwerke</b>			0	0	1,5%	0
<b>700</b>	<b>Baunebenkosten</b>			0	0		
	Zur Aufrundung und für Unvorhergesehenes			0	0		
<b>C. Summe Investition u. Wartung</b>	netto			<b>550.900</b>	<b>26</b>	<b>1,8%</b>	<b>9.916</b>
C2	Mehrwertsteuer	19%		104.671	5		1.884
C3	brutto			<b>655.571</b>	<b>31</b>	<b>1,8%</b>	<b>11.800</b>

gesehen:

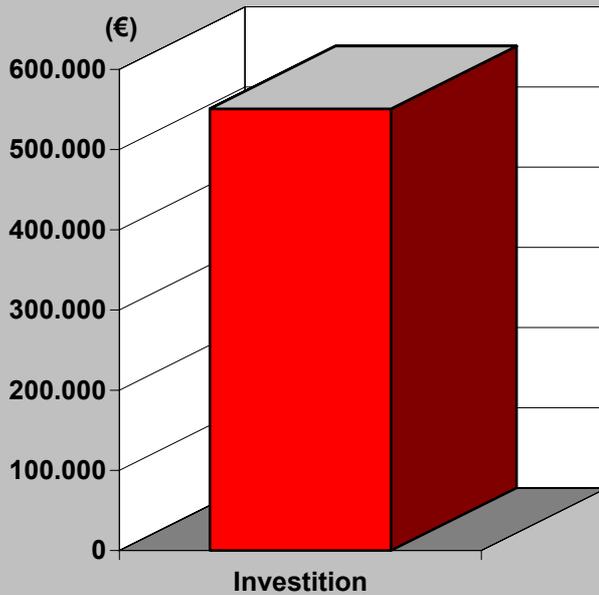
aufgestellt: IGBM, R. Maaß

### 3.4 Investitions- und Wartungskosten

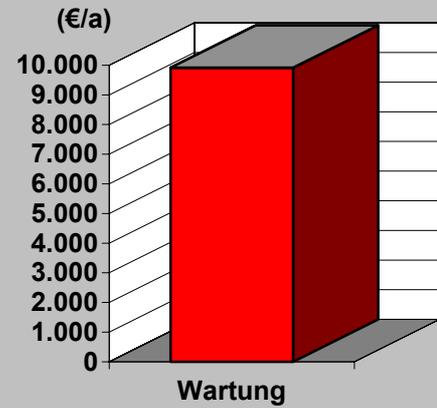
Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

A. Allgemeine Daten			
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Energiekonzept Deutschherrenscheule	A2 KStB.
A3	Gebäudebezeichnung	Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd	A4 Str-Nr.
A5	Straße		A6 Haus-Nr.
A7	Variante 4	Holzpellet-Heizwerk	
A8	Bezugsfläche (NGF)	21.000 m <sup>2</sup>	A9 Personenzahl 0 P

#### Investitions- und Wartungskosten



- 100 Grundstück
- 200 Herrichten und Erschließen
- 300 Summe Baukonstruktion
- 400 Summe Technische Anlagen
- 500 Außenanlagen
- 600 Ausstattung und Kunstwerke
- 700 Baunebenkosten



### 3.5 Investitions- und Wartungskosten

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

<b>A. Allgemeine Daten</b>								
A1	Liegenschaftsbezeichn.	<b>Energiekonzept Deutschherrenscheule</b>				A2	KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	<b>Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd</b>				A4	Str-Nr.	
A5	Straße					A6	Haus-Nr.	
A7	Variante 5	<b>Dezentrale Heizungsanlagen</b>						
A8	Bezugsfläche (NGF)	21.000	m <sup>2</sup>	A9	Personenzahl	0	P	
<b>B. Kosten nach DIN276</b> (Fassung Juni 1993)								
(alle Kosten netto)				Investition	Invest./NGF	Wartung	Wartung	
				(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
<b>100</b>	<b>Grundstück</b>			0	0			
<b>200</b>	<b>Herrichten und Erschließen</b>			0	0			
<b>300</b>	<b>Bauwerk -</b>	<b>Menge</b>	<b>sp. Preis</b>	<b>Investition</b>	<b>Invest./NGF</b>	<b>Wartung</b>	<b>Wartung</b>	
	<b>Baukonstruktion</b>	(m <sup>3</sup> )	(€/m <sup>3</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
310	Baugrube	0	0	0	0			
320	Gründung: Fundamente	0	0	0	0			
	Gründung: Bodenaufbauten	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
		0		0	0	1,0%	0	
		0		0	0	1,0%	0	
330	Außenwände	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
		0		0	0	1,0%	0	
		0		0	0	1,0%	0	
	Außenfenster und -türen		0	0	0	1,5%	0	
		0	0	0	0	0,0%	0	
340	Innenwände	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
	Innenwände	0	0	0	0	1,0%	0	
	Innentüren und Fenster	0	0	0	0	1,5%	0	
350	Decken	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
		0		0	0	1,0%	0	
	sonstige Geschoßdecken	0	0	0	0	1,0%	0	
360	Dächer	(m <sup>2</sup> )	(€/m <sup>2</sup> )	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
		0		0	0	1,0%	0	
		0	0	0	0	0,0%	0	
370	- 390 sonstige Baukonstruktion			0	0	0,0%	0	
<b>300</b>	<b>Summe Baukonstruktion</b>			<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0%</b>	<b>0</b>	
<b>400</b>	<b>Bauwerk-</b>			<b>Investition</b>	<b>Invest./NGF</b>	<b>Wartung</b>	<b>Wartung</b>	
	<b>Technische Anlagen</b>			(€)	(€/m <sup>2</sup> )	(%/a)	(€/a)	
410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen			0	0	1,5%	0	
420	Wärmeversorgungsanlagen			284.000	14	1,6%	4.544	
430	Lufttechnische Anlagen			0	0	3,5%	0	
440	Starkstromanlagen			0	0	1,5%	0	
450	Fernmelde- und Informationstechnische Anlagen			0	0	3,0%	0	
460	Förderanlagen			0	0	3,5%	0	
470	- 490 sonstige Technische Anlagen			0	0	1,5%	0	
<b>400</b>	<b>Summe Technische Anlagen</b>			<b>284.000</b>	<b>14</b>	<b>1,6%</b>	<b>4.544</b>	
<b>500</b>	<b>Außenanlagen</b>			0	0	3,0%	0	
<b>600</b>	<b>Ausstattung und Kunstwerke</b>			0	0	1,5%	0	
<b>700</b>	<b>Baunebenkosten</b>			0	0			
	Zur Aufrundung und für Unvorhergesehenes			0	0			
<b>C.</b>	<b>Summe Investition u. Wartung</b>	netto		<b>284.000</b>	<b>14</b>	<b>1,6%</b>	<b>4.544</b>	
C2	Mehrwertsteuer	19%		53.960	3		863	
C3		brutto		<b>337.960</b>	<b>16</b>	<b>1,6%</b>	<b>5.407</b>	

gesehen:

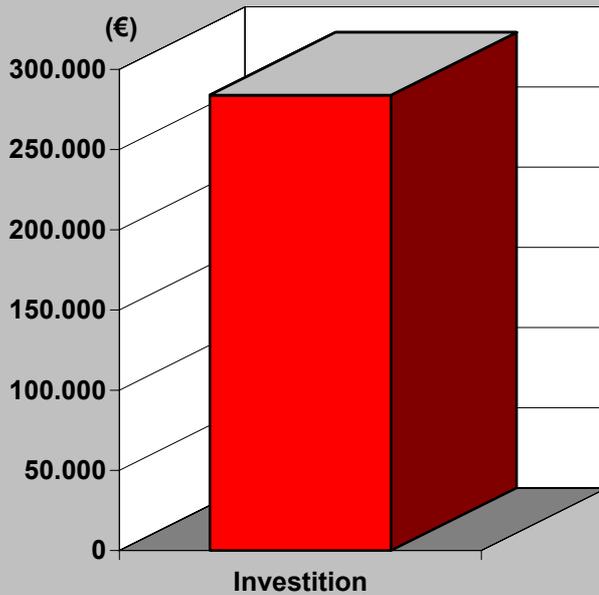
aufgestellt: IGBM, R. Maaß

### 3.5 Investitions- und Wartungskosten

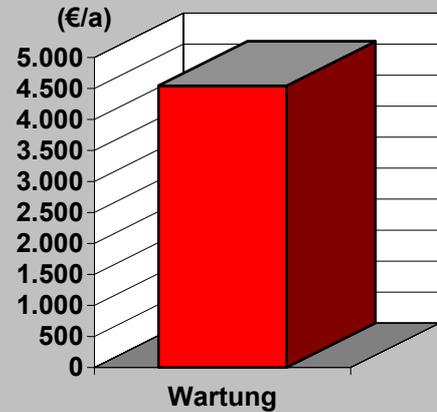
Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

A. Allgemeine Daten			
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Energiekonzept Deutschherrenscheule	A2 KStB.
A3	Gebäudebezeichnung	Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd	A4 Str-Nr.
A5	Straße		A6 Haus-Nr.
A7	Variante 5	Dezentrale Heizungsanlagen	
A8	Bezugsfläche (NGF)	21.000 m <sup>2</sup>	A9 Personenzahl 0 P

#### Investitions- und Wartungskosten



- 100 Grundstück
- 200 Herrichten und Erschließen
- 300 Summe Baukonstruktion
- 400 Summe Technische Anlagen
- 500 Außenanlagen
- 600 Ausstattung und Kunstwerke
- 700 Baunebenkosten



## 5.1 Heizzahl, Heizkosten und Heizungsemission

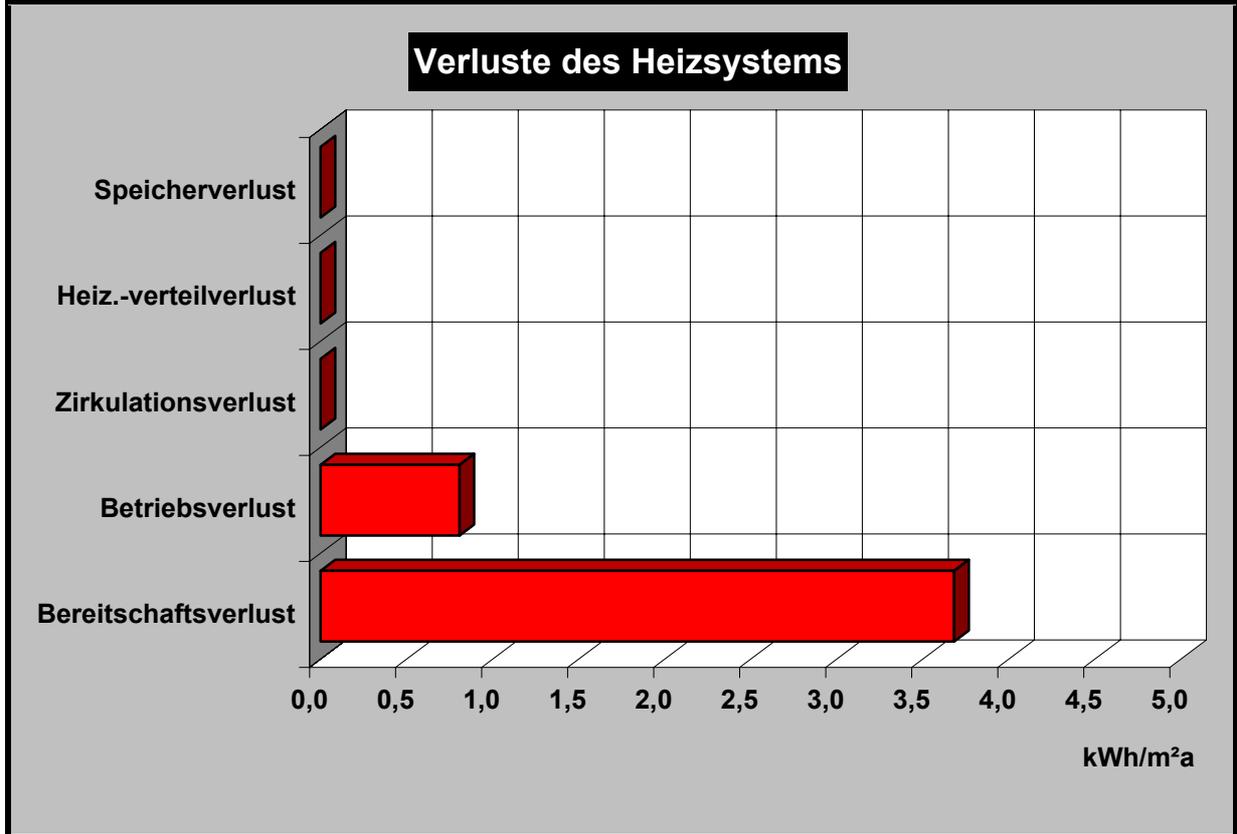
Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

<b>A. Allgemeine Daten</b>							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	<b>Energiekonzept Deutschherrenscheule</b>			A2	KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	<b>Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd</b>			A4	Str-Nr.	
A5	Straße				A6	Haus-Nr.	
A7	Variante 1	<b>Erdgas-BHKW 50kW</b>					
A8	Energiebezugsfläche	21.000	m <sup>2</sup>	A9 spez. Heizwärmebed.	81	kWh/m <sup>2</sup> a	
		Heizbed. x (kWh/m <sup>2</sup> a)	Fläche + (m <sup>2</sup> )	WW-Bed. x (kWh/P a)	Personen = (P)	Bedarf (kWh/a)	<b>sp. Bedarf</b> (kWh/m <sup>2</sup> a)
A10	Wärmebedarf		21.000		0	1.696.440	<b>80,8</b>
<b>B. Warmwasserspeicher</b>							
		Fläche x (m <sup>2</sup> )	U-Wert x (W/m <sup>2</sup> K)	delta T x (K)	1,5x8,76 = (kh/a)	Verlust (kWh/a)	<b>sp. Verlust</b> (kWh/m <sup>2</sup> a)
B8	Speicherverlust		0,45	40	13,14	0	<b>0,0</b>
<b>C. Heizungsverteilung</b>							
		Länge x (m)	U*-Wert x (W/mK)	delta T x (K)	HTx0,024= (kh/a)	Verlust (kWh/a)	<b>sp. Verlust</b> (kWh/m <sup>2</sup> a)
C10	Heiz.-verteilverlust		0,20	45	5,26	0	<b>0,0</b>
<b>E. Warmwasserverteil.</b>							
		Länge x (m)	U*-Wert x (W/mK)	delta T x (K)	bZx0,365= (kh/a)	Verlust (kWh/a)	<b>sp. Verlust</b> (kWh/m <sup>2</sup> a)
E8	Zirkulationsverlust		0,20	20	4,38	0	<b>0,0</b>
E9	<b>Verteilungsverlust = Speicherverlust + Heizungsverteilverlust + Zirkulationsverlust</b>					0	<b>0,0</b>
<b>F. Wärmeerzeugung</b>							
				Wärmeleist. x (kW)	Vollnutz. = (h/a)	Wärmeerz. (kWh/a)	<b>sp. Erzeug.</b> (kWh/m <sup>2</sup> a)
				<b>84</b>	<b>7.980</b>	<b>670.320</b>	<b>31,9</b>
<b>Blockheizkraftwerk Kesselanlage</b>							
		(Wärmeb.- kWh/a)	BHKW-W. + (kWh/a)	Verteilv.) / (kWh/a)	Kess.Leist= (kW)	Vollnutz. (h/a)	
F9	Vollbenutzungsstunden	1.696.440	670.320	0	<b>1.000</b>	<b>1.026</b>	
		(Abgastemp. - °C)	Lufttemp.) x (°C)	sigma / (1/K)	CO2-Geh (%)	Abgasv. (%)	
F8	Abgasverlust				<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
		(Abgasv. x (%)	0,01 + (%)	Bereitv.) x (-)	Wärmeb.= (kWh/a)	Verlust (kWh/a)	<b>sp. Verlust</b> (kWh/m <sup>2</sup> a)
F11	Betriebsverlust	0,0	x 0,01 +	0,010	1.696.440	16.964	<b>0,8</b>
		Bereitverl. x (-)	(Bereitschaft- h/a)	Vollnutzung)x (h/a)	Kess..Leist= (kW)	Verlust (kWh/a)	<b>sp. Verlust</b> (kWh/m <sup>2</sup> a)
F12	Bereitschaftsverlust	0,010	8.760	1.026	1.000	77.339	<b>3,7</b>
F13	<b>Wärmeerzeugungsverlust Kessel = Betriebsverlust + Bereitschaftsverlust</b>					94.303	<b>4,5</b>
<b>G. Endenergieverbrauch</b>							
				(h/a)	Verbrauch	<b>sp. Verbr.</b>	
G1	Wärmeerzeugungsverlust Kessel				94.303	<b>4,5</b>	
G2	Endenergieverbrauch BHKW	<b>148</b>	kW	x	7.980	1.181.040	<b>56,2</b>
G3	Endenergieverbrauch Kessel	<b>1.000</b>	kW	x	1.026	1.026.120	<b>48,9</b>
		<b>Endenergieverbrauch gesamt</b>		<b>2.301</b>	<b>h/a</b>	<b>2.301.463</b>	<b>109,6</b>
<b>H. Heizzahl Kessel</b>							
		Wärmebed / (kWh/m <sup>2</sup> a)	(Wärmebed + kWh/m <sup>2</sup> a)	Verluste) = (kWh/m <sup>2</sup> a)	<b>Heizzahl</b> (-)		
H1	Heizzahl Kessel + Verteilung	80,8	80,8	4,5	<b>0,95</b>		
H2	Grenzwert Heizzahl					<b>0,80</b>	
H3	Grenzwert erfüllt?					<b>ja</b>	
<b>I. Heizkosten</b>							
		Leistung x (kW)	Leist.-preis + (€/kW,a)	Endenergie x (kWh/a)	Arbeit.-preis= (€/kWh)	Kosten (€/a)	<b>sp. Kosten</b> (€/m <sup>2</sup> a)
		Gas: Business Profi 2007					
I1	Heizkosten BHKW (brutto)	148	10,84	1.181.040	0,051	<b>62.286</b>	<b>3,0</b>
I2	Heizkosten Kessel (brutto)	1.000	10,84	1.120.423	0,059	<b>76.543</b>	<b>3,6</b>
I3	Heizkosten (brutto)					<b>138.829</b>	<b>6,6</b>
<b>K. Emissionen</b>							
				Endenerg. x (MWh/a)	sp.Emiss.= (kg/MWh)	Emission (kg/a)	<b>sp. Emiss.</b> (kg/m <sup>2</sup> a)
K1	CO2-Emissionen BHKW			1.181	242	<b>285.812</b>	<b>13,6</b>
K2	CO2-Emissionen Kessel			1.026	242	<b>248.321</b>	<b>11,8</b>
K3	CO2-Emissionen Gesamt			2.301		<b>534.133</b>	<b>25,4</b>

## 5.1 Heizzahl, Heizkosten und Heizungsemission

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

A. Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Energiekonzept Deutschherrenscheule			A2	KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd			A4	Str-Nr.	
A5	Straße				A6	Haus-Nr.	
A7	Variante 1	Erdgas-BHKW 50kW					
A8	Energiebezugsfläche	21.000	m <sup>2</sup>	A9 spez. Heizwärmebed.	81	kWh/m <sup>2</sup> a	
		Heizbed. x	Fläche +	WW-Bed. x	Personen =	Bedarf	sp. Bedarf
		(kWh/m <sup>2</sup> a)	(m <sup>2</sup> )	(kWh/P a)	(P)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
A10	Wärmebedarf		21.000		0	1.696.440	80,8



## 5.2 Heizzahl, Heizkosten und Heizungsemission

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

<b>A. Allgemeine Daten</b>							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	<b>Energiekonzept Deutscherherrenscheule</b>			A2	KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	<b>Deutscherherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd</b>			A4	Str-Nr.	
A5	Straße				A6	Haus-Nr.	
A7	Variante 2	<b>Erdgas-BHKW 100kW</b>					
A8	Energiebezugsfläche	21.000	m <sup>2</sup>	A9 spez. Heizwärmebed.	81	kWh/m <sup>2</sup> a	
		Heizbed. x Fläche + WW-Bed. x Personen = Bedarf				<b>sp. Bedarf</b>	
		(kWh/m <sup>2</sup> a)	(m <sup>2</sup> )	(kWh/P a)	(P)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
A10	Wärmebedarf	81	21.000	0	0	1.696.440	<b>80,8</b>
<b>B. Warmwasserspeicher</b>							
		Fläche x U-Wert x delta T x 1,5x8,76 = Verlust				<b>sp. Verlust</b>	
		(m <sup>2</sup> )	(W/m <sup>2</sup> K)	(K)	(kh/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
B8	Speicherverlust	0,00	0,45	40	13,14	0	<b>0,0</b>
<b>C. Heizungsverteilung</b>							
		Länge x U*-Wert x delta T x HTx0,024= Verlust				<b>sp. Verlust</b>	
		(m)	(W/mK)	(K)	(kh/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
C10	Heiz.-verteilungsverlust	0	0,20	45	5,26	0	<b>0,0</b>
<b>E. Warmwasserverteil.</b>							
		Länge x U*-Wert x delta T x bZx0,365= Verlust				<b>sp. Verlust</b>	
		(m)	(W/mK)	(K)	(kh/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
E8	Zirkulationsverlust	0	0,20	20	4,38	0	<b>0,0</b>
E9	<b>Verteilungsverlust = Speicherverlust + Heizungsverteilungsverlust + Zirkulationsverlust</b>					0	<b>0,0</b>
<b>F. Wärmeerzeugung</b>							
				Wärmeleist. x Vollnutz. = Wärmeerz.		<b>sp. Erzeug.</b>	
				(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
				<b>143</b>	<b>6.570</b>	<b>939.510</b>	<b>44,7</b>
<b>Blockheizkraftwerk Kesselanlage</b>							
		(Wärmeb.- BHKW-W. + Verteilv.) / Kess.Leist= Vollnutz.					
		(kWh/a)	(kWh/a)	(kWh/a)	(kW)	(h/a)	
F9	Vollbenutzungsstunden	1.696.440	939.510	0	<b>900</b>	<b>841</b>	
		(Abgastemp. - Lufttemp.) x sigma / CO2-Geh				Abgasv.	
		(°C)	(°C)	(1/K)	(%)	(%)	
F8	Abgasverlust			0,00	0,0	<b>0,0</b>	
		(Abgasv. x 0,01 + Bereitv.) x Wärmeb.= Verlust				<b>sp. Verlust</b>	
		(%)	(-)	(kWh/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)	
F11	Betriebsverlust	0,0	x 0,01 + 0,010	1.696.440	16.964	<b>0,8</b>	
		Bereitverl. x (Bereitschaft- Vollnutzung)x Kess..Leist.= Verlust				<b>sp. Verlust</b>	
		(-)	(h/a)	(h/a)	(kW)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
F12	Bereitschaftsverlust	0,010	8.760	841	900	71.271	<b>3,4</b>
F13	<b>Wärmeerzeugungsverlust Kessel = Betriebsverlust + Bereitschaftsverlust</b>					88.235	<b>4,2</b>
<b>G. Endenergieverbrauch</b>							
				(h/a)	Verbrauch	<b>sp. Verbr.</b>	
G1	Wärmeerzeugungsverlust Kessel				88.235	<b>4,2</b>	
G2	Endenergieverbrauch BHKW	278	kW x	6.570	1.826.460	<b>87,0</b>	
G3	Endenergieverbrauch Kessel	900	kW x	841	756.930	<b>36,0</b>	
		<b>Endenergieverbrauch gesamt</b>		2.968	h/a	2.671.625	<b>127,2</b>
<b>H. Heizzahl Kessel</b>							
		Wärmebed / (Wärmebed + Verluste) = Heizzahl					
		(kWh/m <sup>2</sup> a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)	(-)		
H1	Heizzahl Kessel + Verteilung	80,8	80,8	4,2	<b>0,95</b>		
H2	Grenzwert Heizzahl					<b>0,80</b>	
H3	Grenzwert erfüllt?					<b>ja</b>	
<b>I. Heizkosten</b>							
		Leistung x Leist.-preis + Endenergie x Arbeit.-preis= Kosten				<b>sp. Kosten</b>	
		(kW)	(€/kW,a)	(kWh/a)	(€/kWh)	(€/a)	(€/m <sup>2</sup> a)
		Gas: Business Profi 2007					
I1	Heizkosten BHKW (brutto)	278	10,84	1.826.460	0,051	<b>96.857</b>	<b>4,6</b>
I2	Heizkosten Kessel (brutto)	900	10,84	845.165	0,059	<b>59.317</b>	<b>2,8</b>
I1	Heizkosten (brutto)					<b>156.175</b>	<b>7,4</b>
<b>K. Emissionen</b>							
		Endenerg. x sp.Emiss.= Emission				<b>sp. Emiss.</b>	
		(MWh/a)	(kg/MWh)	(kg/a)	(kg/m <sup>2</sup> a)		
K1	CO2-Emissionen BHKW	1.826	242	<b>442.003</b>	<b>21,0</b>		
K2	CO2-Emissionen Kessel	757	242	<b>183.177</b>	<b>8,7</b>		
K3	CO2-Emissionen Gesamt	2.672		<b>625.180</b>	<b>29,8</b>		

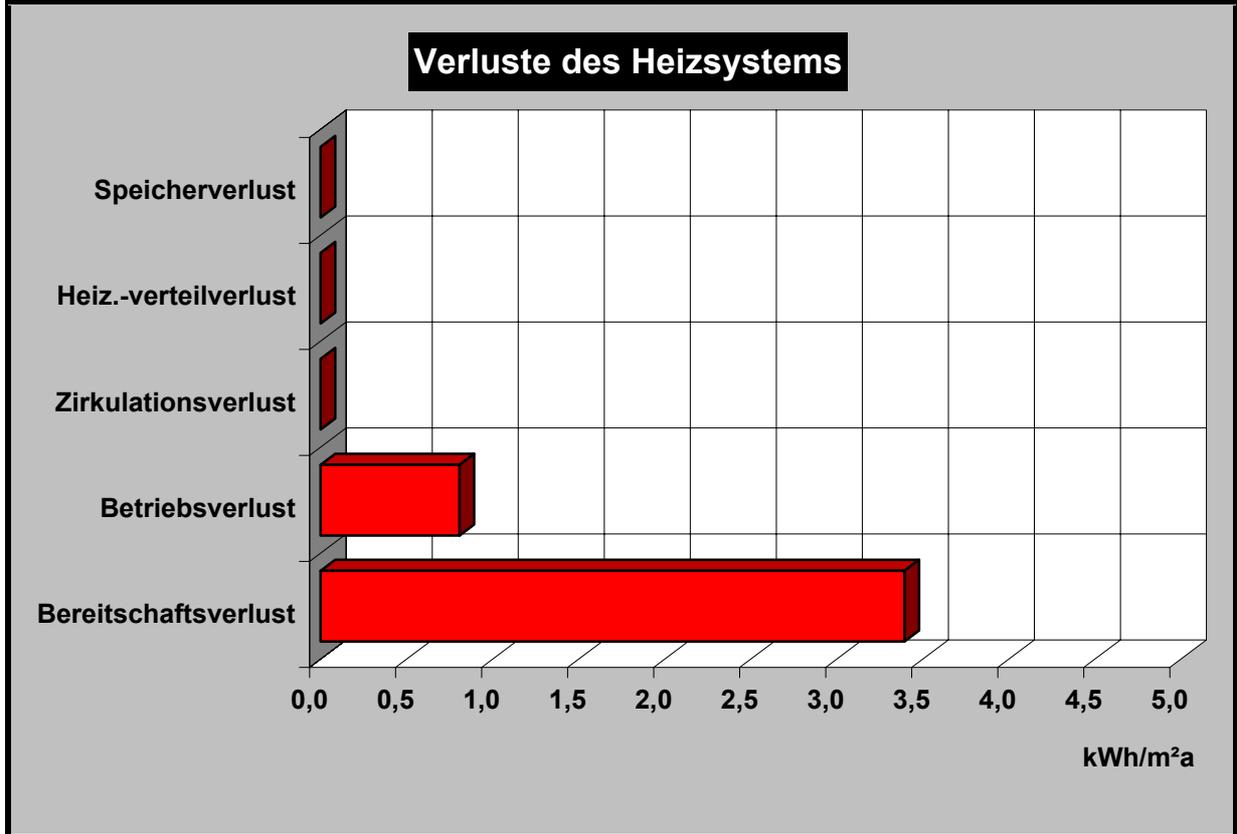
gesehen:

aufgestellt: IGBM, R. Maaß

## 5.2 Heizzahl, Heizkosten und Heizungsemission

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

A. Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Energiekonzept Deutschherrenscheule			A2	KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd			A4	Str-Nr.	
A5	Straße				A6	Haus-Nr.	
A7	Variante 2	Erdgas-BHKW 100kW					
A8	Energiebezugsfläche	21.000	m <sup>2</sup>	A9 spez. Heizwärmebed.	81	kWh/m <sup>2</sup> a	
		Heizbed. x	Fläche +	WW-Bed. x	Personen =	Bedarf	sp. Bedarf
		(kWh/m <sup>2</sup> a)	(m <sup>2</sup> )	(kWh/P a)	(P)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
A10	Wärmebedarf	81	21.000	0	0	1.696.440	80,8



### 5.3 Heizzahl, Heizkosten und Heizungsemission

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

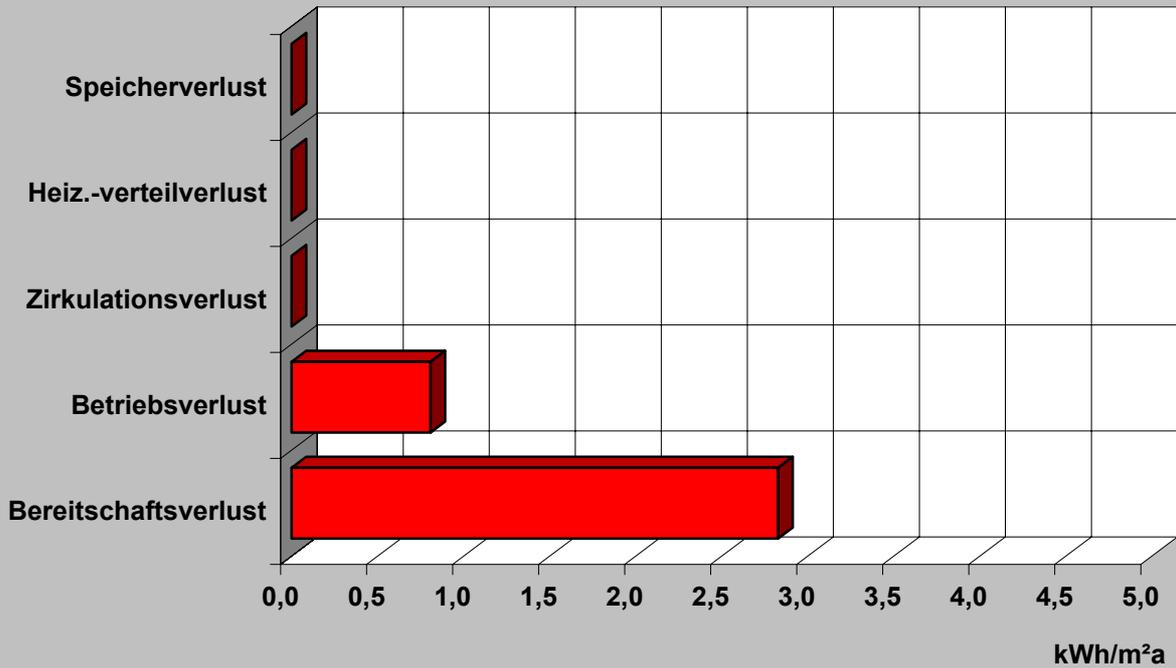
<b>A. Allgemeine Daten</b>							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	<b>Energiekonzept Deutscherherrenscheule</b>			A2	KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	<b>Deutscherherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd</b>			A4	Str-Nr.	
A5	Straße				A6	Haus-Nr.	
A7	Variante 3	<b>Holz hackschnitzel-Heizwerk</b>					
A8	Energiebezugsfläche	21.000	m <sup>2</sup>	A9 spez. Heizwärmebed.	81	kWh/m <sup>2</sup> a	
		Heizbed. x Fläche + WW-Bed. x Personen = Bedarf				sp. Bedarf	
		(kWh/m <sup>2</sup> a)	(m <sup>2</sup> )	(kWh/P a)	(P)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
A10	Wärmebedarf		21.000	0	0	1.696.440	80,8
<b>B. Warmwasserspeicher</b>							
		Fläche x U-Wert x delta T x 1,5x8,76 = Verlust				sp. Verlust	
		(m <sup>2</sup> )	(W/m <sup>2</sup> K)	(K)	(kh/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
B8	Speicherverlust	0,00	0,45	40	13,14	0	0,0
<b>C. Heizungsverteilung</b>							
		Länge x U*-Wert x delta T x HTx0,024= Verlust				sp. Verlust	
		(m)	(W/mK)	(K)	(kh/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
C10	Heiz.-verteilungsverlust	0	0,20	45	5,26	0	0,0
<b>E. Warmwasserverteil.</b>							
		Länge x U*-Wert x delta T x bZx0,365= Verlust				sp. Verlust	
		(m)	(W/mK)	(K)	(kh/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
E8	Zirkulationsverlust	0	0,20	20	4,38	0	0,0
E9	<b>Verteilungsverlust = Speicherverlust + Heizungsverteilungsverlust + Zirkulationsverlust</b>					0	0,0
<b>F. Wärmeerzeugung</b>							
		Wärmeleist. x Vollnutz. = Wärmeerz. sp. Erzeug.					
		(kW)		(h/a)		(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
		<b>Holz hackschnitzel-Feuerungsanlage</b>		360	3.690	1.328.400	63,3
		<b>Kesselanlage</b>					
		(Wärmeb.- HHS-W. + Verteilv.) / Kess.Leist= Vollnutz.					
		(kWh/a)	(kWh/a)	(kWh/a)	(kW)	(h/a)	
F9	Vollbenutzungsstunden	1.696.440	1.328.400	0	720	511	
		(Abgastemp. - Lufttemp.) x sigma / CO2-Geh Abgasv.					
		(°C)	(°C)	(1/K)	(%)	(%)	
F8	Abgasverlust	0	0	0,00	0,0	0,0	
		(Abgasv. x 0,01 + Bereitv.) x Wärmeb.= Verlust					sp. Verlust
		(%)	(-)	(kWh/a)	(kWh/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
F11	Betriebsverlust	0,0	x 0,01 + 0,010	1.696.440	16.964	0,8	
		Bereitverl. x (Bereitschaft- Vollnutzung)x Kess..Leist= Verlust					sp. Verlust
		(-)	(h/a)	(h/a)	(kW)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
F12	Bereitschaftsverlust	0,010	8.760	511	720	59.392	2,8
F13	<b>Wärmeerzeugungsverlust Kessel = Betriebsverlust + Bereitschaftsverlust</b>					76.356	3,6
<b>G. Endenergieverbrauch</b>							
				(h/a)	Verbrauch	sp. Verbr.	
G1	Wärmeerzeugungsverlust Kessel				76.356	3,6	
G2	Endenergieverbrauch HHS	400	kW	x	3.690	1.476.000	70,3
G3	Endenergieverbrauch Kessel	720	kW	x	511	368.040	17,5
		Endenergieverbrauch gesamt		2.667	h/a	1.920.396	91,4
<b>H. Heizzahl Kessel</b>							
		Wärmebed / (Wärmebed + Verluste) = Heizzahl					
		(kWh/m <sup>2</sup> a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)			(-)
H1	Heizzahl Kessel + Verteilung	80,8	80,8	3,6			0,96
H2	Grenzwert Heizzahl						0,80
H3	Grenzwert erfüllt?						ja
<b>I. Heizkosten</b>							
		Leistung x Leist.-preis + Endenergie x Arbeit.-preis= Kosten					sp. Kosten
		(kW)	(€/kW,a)	(kWh/a)	(€/kWh)	(€/a)	(€/m <sup>2</sup> a)
		Gas: Business Profi 2007					
I1	Heizkosten HHS (brutto)	400		1.476.000	0,021	31.616	1,5
I2	Heizkosten Kessel (brutto)	720	10,84	444.396	0,059	33.865	1,6
I1	Heizkosten (brutto)					65.481	3,1
<b>K. Emissionen</b>							
		Endenerg. x sp.Emiss.= Emission					sp. Emiss.
		(MWh/a)	(kg/MWh)	(kg/a)			(kg/m <sup>2</sup> a)
K1	CO2-Emissionen Holz hackschnitzelkessel	1.476	22	32.472			1,5
K2	CO2-Emissionen Gaskessel	368	242	89.066			4,2
K3	CO2-Emissionen Gesamt	1.920		121.538			5,8

### 5.3 Heizzahl, Heizkosten und Heizungsemission

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

A. Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Energiekonzept Deutschherrenscheule			A2	KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd			A4	Str-Nr.	
A5	Straße				A6	Haus-Nr.	
A7	Variante 3	Holzhackschnitzel-Heizwerk					
A8	Energiebezugsfläche	21.000	m <sup>2</sup>	A9 spez. Heizwärmebed.	81	kWh/m <sup>2</sup> a	
		Heizbed. x	Fläche +	WW-Bed. x	Personen =	Bedarf	sp. Bedarf
		(kWh/m <sup>2</sup> a)	(m <sup>2</sup> )	(kWh/P a)	(P)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
A10	Wärmebedarf		21.000	0	0	1.696.440	80,8

#### Verluste des Heizsystems



## 5.4 Heizzahl, Heizkosten und Heizungsemission

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

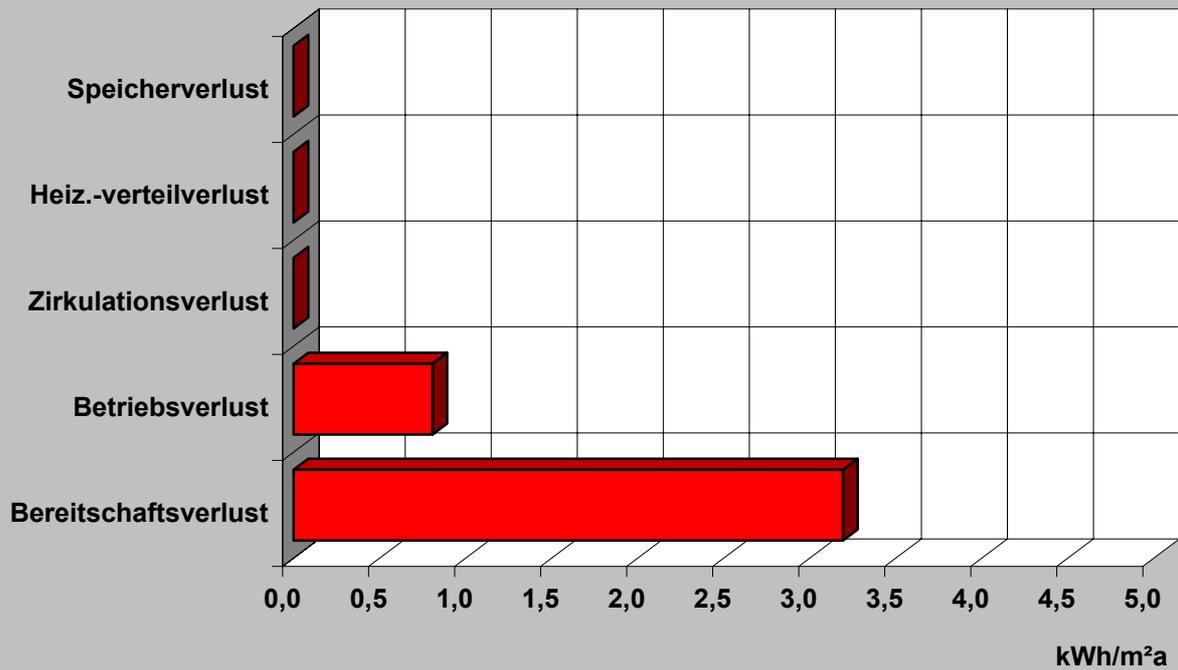
<b>A. Allgemeine Daten</b>							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	<b>Energiekonzept Deutscherherrenscheule</b>			A2	KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	<b>Deutscherherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd</b>			A4	Str-Nr.	
A5	Straße				A6	Haus-Nr.	
A7	Variante 4	<b>Holzpellet-Heizwerk</b>					
A8	Energiebezugsfläche	21.000	m <sup>2</sup>	A9 spez. Heizwärmebed.		kWh/m <sup>2</sup> a	
		Heizbed. x (kWh/m <sup>2</sup> a)	Fläche + (m <sup>2</sup> )	WW-Bed. x (kWh/P a)	Personen = (P)	Bedarf (kWh/a)	<b>sp. Bedarf</b> (kWh/m <sup>2</sup> a)
A10	Wärmebedarf		21.000	0	0	1.696.440	<b>80,8</b>
<b>B. Warmwasserspeicher</b>							
		Fläche x (m <sup>2</sup> )	U-Wert x (W/m <sup>2</sup> K)	delta T x (K)	1,5x8,76 = (kh/a)	Verlust (kWh/a)	<b>sp. Verlust</b> (kWh/m <sup>2</sup> a)
B8	Speicherverlust	0,00	0,45	40	13,14	0	<b>0,0</b>
<b>C. Heizungsverteilung</b>							
		Länge x (m)	U*-Wert x (W/mK)	delta T x (K)	HTx0,024= (kh/a)	Verlust (kWh/a)	<b>sp. Verlust</b> (kWh/m <sup>2</sup> a)
C10	Heiz.-verteilungsverlust	0	0,20	45	5,26	0	<b>0,0</b>
<b>E. Warmwasserverteil.</b>							
		Länge x (m)	U*-Wert x (W/mK)	delta T x (K)	bZx0,365= (kh/a)	Verlust (kWh/a)	<b>sp. Verlust</b> (kWh/m <sup>2</sup> a)
E8	Zirkulationsverlust	0	0,20	20	4,38	0	<b>0,0</b>
E9	<b>Verteilungsverlust = Speicherverlust + Heizungsverteilungsverlust + Zirkulationsverlust</b>					0	<b>0,0</b>
<b>F. Wärmeerzeugung</b>							
				Wärmeleist. x (kW)	Vollnutz. = (h/a)	Wärmeerz. (kWh/a)	<b>sp. Erzeug.</b> (kWh/m <sup>2</sup> a)
		<b>Holzpellet-Feuerung</b>		<b>200</b>	<b>6.100</b>	<b>1.220.000</b>	<b>58,1</b>
		<b>Kesselanlage</b>		(Wärmeb.- (kWh/a)	Pellet-W. + (kWh/a)	Verteilv.) / (kWh/a)	Kess.Leist.= (kW)
F9	Vollbenutzungsstunden	1.696.440	1.220.000	0	<b>820</b>	<b>581</b>	
		(Abgastemp. - (°C)	Lufttemp.) x (°C)	sigma / (1/K)	CO2-Geh (%)	Abgasv. (%)	
F8	Abgasverlust	0	0	0,00	0,0	<b>0,0</b>	
		(Abgasv. x (%)	0,01 + (%)	Bereitv.) x (-)	Wärmeb.= (kWh/a)	Verlust (kWh/a)	<b>sp. Verlust</b> (kWh/m <sup>2</sup> a)
F11	Betriebsverlust	0,0	x 0,01 +	0,010	1.696.440	16.964	<b>0,8</b>
		Bereitverl. x (-)	(Bereitschaft- (h/a)	Vollnutzung)x (h/a)	Kess..Leist.= (kW)	Verlust (kWh/a)	<b>sp. Verlust</b> (kWh/m <sup>2</sup> a)
F12	Bereitschaftsverlust	0,010	8.760	581	820	67.068	<b>3,2</b>
F13	<b>Wärmeerzeugungsverlust Kessel = Betriebsverlust + Bereitschaftsverlust</b>					84.032	<b>4,0</b>
<b>G. Endenergieverbrauch</b>							
				(h/a)	Verbrauch	<b>sp. Verbr.</b>	
G1	Wärmeerzeugungsverlust Kessel				84.032	<b>4,0</b>	
G2	Endenergieverbrauch Pelletkessel	<b>222</b>	kW	x	6.100	1.355.556	<b>64,6</b>
G3	Endenergieverbrauch Kessel	<b>820</b>	kW	x	581	476.440	<b>22,7</b>
		<b>Endenergieverbrauch gesamt</b>		<b>2.337</b>	<b>h/a</b>	<b>1.916.028</b>	<b>91,2</b>
<b>H. Heizzahl Kessel</b>							
		Wärmebed / (kWh/m <sup>2</sup> a)	(Wärmebed + (kWh/m <sup>2</sup> a)	Verluste) = (kWh/m <sup>2</sup> a)	<b>Heizzahl</b> (-)		
H1	Heizzahl Kessel + Verteilung	80,8	80,8	4,0	<b>0,95</b>		
H2	Grenzwert Heizzahl					<b>0,80</b>	
H3	Grenzwert erfüllt?					<b>ja</b>	
<b>I. Heizkosten</b>							
		Leistung x (kW)	Leist.-preis + (€/kW,a)	Endenergie x (kWh/a)	Arbeit.-preis= (€/kWh)	Kosten (€/a)	<b>sp. Kosten</b> (€/m <sup>2</sup> a)
		Gas: Business Profi 2007					
I1	Heizkosten Pellet (brutto)	222		1.355.556	0,038	<b>51.186</b>	<b>2,4</b>
I2	Heizkosten Kessel (brutto)	820	10,84	560.472	0,059	<b>41.756</b>	<b>2,0</b>
I1	Heizkosten (brutto)					<b>92.941</b>	<b>4,4</b>
<b>K. Emissionen</b>							
				Endenerg. x (MWh/a)	sp.Emiss.= (kg/MWh)	Emission (kg/a)	<b>sp. Emiss.</b> (kg/m <sup>2</sup> a)
K1	CO2-Emissionen Pelletkessel			1.356	28	<b>37.956</b>	<b>1,8</b>
K2	CO2-Emissionen Gaskessel			476	242	<b>115.298</b>	<b>5,5</b>
K3	CO2-Emissionen Gesamt			1.916		<b>153.254</b>	<b>7,3</b>

## 5.4 Heizzahl, Heizkosten und Heizungsemission

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

A. Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Energiekonzept Deutschherrenscheule			A2	KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd			A4	Str-Nr.	
A5	Straße				A6	Haus-Nr.	
A7	Variante 4	Holzpellet-Heizwerk					
A8	Energiebezugsfläche	21.000	m <sup>2</sup>	A9	spez. Heizwärmebed.	kWh/m <sup>2</sup> a	
		Heizbed. x	Fläche +	WW-Bed. x	Personen =	Bedarf	sp. Bedarf
		(kWh/m <sup>2</sup> a)	(m <sup>2</sup> )	(kWh/P a)	(P)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
A10	Wärmebedarf		21.000	0	0	1.696.440	80,8

### Verluste des Heizsystems



## 5.5 Heizzahl, Heizkosten und Heizungsemission

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

<b>A. Allgemeine Daten</b>							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	<b>Energiekonzept Deutscherherrenscheule</b>			A2	KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	<b>Deutscherherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd</b>			A4	Str-Nr.	
A5	Straße				A6	Haus-Nr.	
A7	Variante 5	<b>Dezentrale Heizungsanlagen</b>					
A8	Energiebezugsfläche	21.000	m <sup>2</sup>	A9 spez. Heizwärmebed.	75	kWh/m <sup>2</sup> a	
		Heizbed. x Fläche + WW-Bed. x Personen = Bedarf				<b>sp. Bedarf</b>	
		(kWh/m <sup>2</sup> a)	(m <sup>2</sup> )	(kWh/P a)	(P)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
A10	Wärmebedarf		21.000	0	0	1.570.780	<b>74,8</b>
<b>B. Warmwasserspeicher</b>							
		Fläche x U-Wert x delta T x 1,5x8,76 = Verlust				<b>sp. Verlust</b>	
		(m <sup>2</sup> )	(W/m <sup>2</sup> K)	(K)	(kh/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
B8	Speicherverlust	0,00	0,45	40	13,14	0	<b>0,0</b>
<b>C. Heizungsverteilung</b>							
		Länge x U*-Wert x delta T x HTx0,024= Verlust				<b>sp. Verlust</b>	
		(m)	(W/mK)	(K)	(kh/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
C10	Heiz.-verteilverlust	0	0,20	45	5,26	0	<b>0,0</b>
<b>E. Warmwasserverteil.</b>							
		Länge x U*-Wert x delta T x bZx0,365= Verlust				<b>sp. Verlust</b>	
		(m)	(W/mK)	(K)	(kh/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
E8	Zirkulationsverlust	0	0,20	20	4,38	0	<b>0,0</b>
E9	<b>Verteilungsverlust = Speicherverlust + Heizungsverteilverlust + Zirkulationsverlust</b>					0	<b>0,0</b>
<b>F. Wärmeerzeugung</b>							
		Wärmeleist. x Vollnutz. = Wärmeerz.				<b>sp. Erzeug.</b>	
		(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)		
		<b>Blockheizkraftwerk</b>					
		<b>Kesselanlage</b>					
		(Wärmeb.- BHKW-W. + Verteilv.) / Kess.Leist= Vollnutz.					
		(kWh/a)	(kWh/a)	(kWh/a)	(kW)	(h/a)	
F9	Vollbenutzungsstunden	1.570.780	0	0	<b>1.100</b>	<b>1.428</b>	
		(Abgastemp. - Lufttemp.) x sigma / CO2-Geh				Abgasv.	
		(°C)	(°C)	(1/K)	(%)	(%)	
F8	Abgasverlust	0	0	0,00	0,0	<b>0,0</b>	
		(Abgasv. x 0,01 + Bereitv.) x Wärmeb.= Verlust				<b>sp. Verlust</b>	
		(%)	(-)	(kWh/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)	
F11	Betriebsverlust	0,0	x 0,01 + 0,010	1.570.780	15.708	<b>0,7</b>	
		Bereitverl. x (Bereitschaft- Vollnutzung)x Kess..Leist.= Verlust				<b>sp. Verlust</b>	
		(-)	(h/a)	(h/a)	(kW)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
F12	Bereitschaftsverlust	0,010	8.760	1.428	1.100	80.652	<b>3,8</b>
F13	<b>Wärmeerzeugungsverlust Kessel = Betriebsverlust + Bereitschaftsverlust</b>					96.360	<b>4,6</b>
<b>G. Endenergieverbrauch</b>							
				(h/a)	Verbrauch	<b>sp. Verbr.</b>	
G1	<b>Wärmeerzeugungsverlust Kessel</b>				96.360	<b>4,6</b>	
G2	<b>Endenergieverbrauch BHKW</b>			kW x	0	<b>0,0</b>	
G3	<b>Endenergieverbrauch Kessel</b>		<b>1.100</b>	kW x	1.428	<b>74,8</b>	
		<b>Endenergieverbrauch gesamt</b>		1.516	h/a	<b>79,4</b>	
				1.667.140			
<b>H. Heizzahl Kessel</b>							
		Wärmebed / (Wärmebed + Verluste) = Heizzahl					
		(kWh/m <sup>2</sup> a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)	(-)		
H1	<b>Heizzahl Kessel + Verteilung</b>		74,8	74,8	4,6	<b>0,94</b>	
H2	Grenzwert Heizzahl					<b>0,80</b>	
H3	Grenzwert erfüllt?					<b>ja</b>	
<b>I. Heizkosten</b>							
		Leistung x Leist.-preis + Endenergie x Arbeit.-preis= Kosten				<b>sp. Kosten</b>	
		(kW)	(€/kW,a)	(kWh/a)	(€/kWh)	(€/a)	(€/m <sup>2</sup> a)
I1	<b>Heizkosten (brutto)</b>		1.100	10,84	1.667.140	0,059	<b>109.686</b>
							<b>5,2</b>
<b>K. Emissionen</b>							
		Endenerg. x sp.Emiss.= Emission				<b>sp. Emiss.</b>	
		(MWh/a)		(kg/MWh)	(kg/a)	(kg/m <sup>2</sup> a)	
K1	<b>CO2-Emissionen</b>		1.667	242	403.448	<b>19,2</b>	

gesehen:

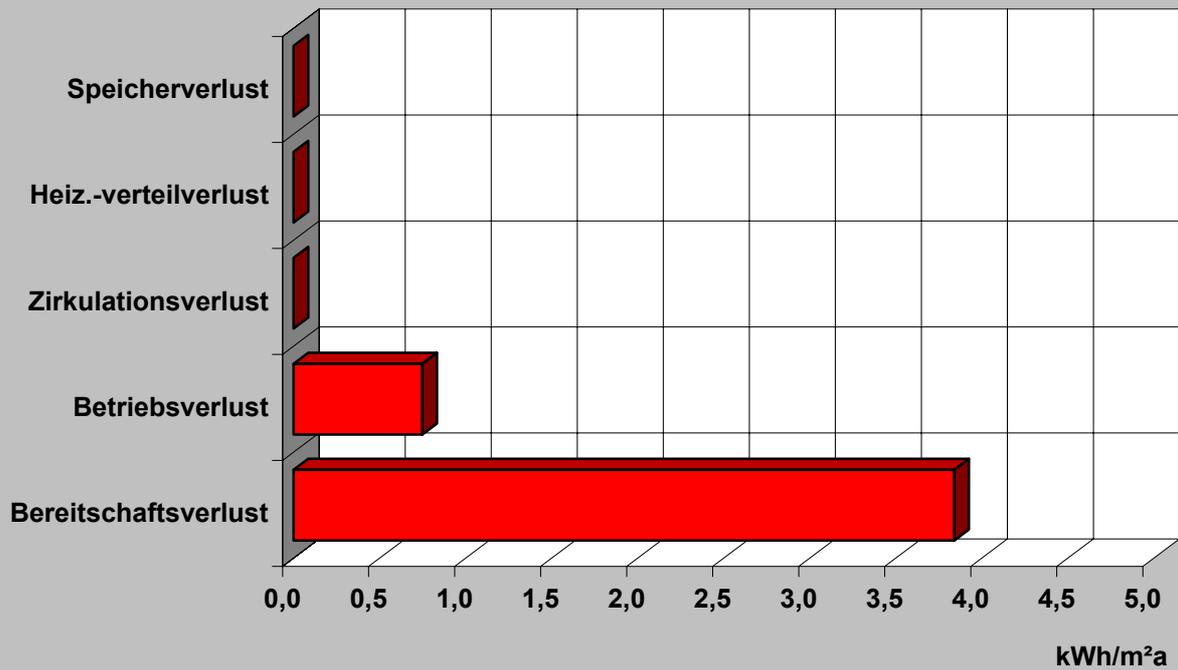
aufgestellt: IGBM, R. Maaß

## 5.5 Heizzahl, Heizkosten und Heizungsemission

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

A. Allgemeine Daten							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Energiekonzept Deutschherrenscheule			A2	KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd			A4	Str-Nr.	
A5	Straße				A6	Haus-Nr.	
A7	Variante 5	Dezentrale Heizungsanlagen					
A8	Energiebezugsfläche	21.000	m <sup>2</sup>	A9 spez. Heizwärmebed.	75	kWh/m <sup>2</sup> a	
		Heizbed. x	Fläche +	WW-Bed. x	Personen =	Bedarf	sp. Bedarf
		(kWh/m <sup>2</sup> a)	(m <sup>2</sup> )	(kWh/P a)	(P)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
A10	Wärmebedarf		21.000	0	0	1.570.780	74,8

### Verluste des Heizsystems



## 6.1 Strombedarf, Stromkosten und Stromemissionen

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

<b>A. Allgemeine Daten</b>							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	<b>Energiekonzept Deutscherherrenscheule</b>			A2	KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	<b>Deutscherherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd</b>			A4	Str-Nr.	
A5	Straße				A6	Haus-Nr.	
A7	Variante 1	<b>Erdgas-BHKW 50kW</b>					
A8	Energiebezugsfläche	21.000	m <sup>2</sup>	A9	Nutzungszeit	2.000	h/a
<b>B. Beleuchtung</b>							
(Mittelwerte für Gebäude/Betriebseinheit)							
B1	Tageslichtnutzung	meist		Leistung x	Volllast =	Bedarf	sp. Bedarf
B2	Beleuchtungsstärke		lux	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
B3	Beleuchtung		W/m <sup>2</sup>	0,0		0	0,0
<b>C. Lüftung</b>							
C1	Luftvolumenstrom	0	m <sup>3</sup> /h	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
C2	Lüftung	0,00	Wh/m <sup>3</sup>			0	0,0
<b>D. Klimatisierung</b>							
D1	Kälteleistung		kW(th)	(kWel)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
D2	Klimatisierung					0	0,0
Summe Lüftung + Klima						0	0,0
<b>E. Hilfsenergie Heizung</b>							
(Brenner, Pumpen etc.)							
E1	Wärmebedarf (Heiz. + WW.)		kWh/m <sup>2</sup> a	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
E2	Hilfsenergie Heizung					0	0,0
<b>F. Diverse Haustechnik</b>							
(Transport, Kommunikation)							
F1	Transportleistung		to*m/d	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
F2	diverse Haustechnik					0	0,0
<b>G. Arbeitshilfen</b>							
(PCs, Kaffeemaschinen)							
G1	Anzahl PC-Arbeitsplätze		-	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
G2	PC-Arbeitsplätze		W/Arbeitspl.	0,0		0	0,0
G3						0	0,0
<b>H. Zentrale Dienste</b>							
(zentr. EDV, Waschm.)							
H1	Küche: Essen/Tag		E/d	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
H2	Küchen					0	0,0
H3						0	0,0
H4						0	0,0
<b>I. Warmwasser (elektr.)</b>							
(Transport, Kommunikation)							
I1	Warmwasserbedarf (elekt.)		m <sup>3</sup> /P a	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
I2	Warmwasserbereitung					0	0,0
<b>K. Summe Strombedarf</b>							
K1				100,0		319.441	15,2
<b>L. Eigenstromerzeugung</b>							
Leistung x Volllast = Arbeit sp. Arbeit							
L1	Blockheizkraftwerk			50,0	7.980	399.000	19,0
L2	Stromeinspeisung in das Hausnetz (ca. 60%)					239.400	11,4
L3	Stromeinspeisung in das Stadtwerkenetz (ca. 40%)					159.600	7,6
L4	Strombezug aus dem Stadtwerkenetz			100,0		80.041	3,8
<b>M. Stromkosten</b>							
M0	Mainova Kombi L 2007			(kW)	(€/kW,a)	(kWh/a)	(€/m <sup>2</sup> a)
M1	Leistungsbezugskosten	100,0	139,20			13.920	0,7
M2	Strombezugskosten Hochtarif			64.033	0,1353	8.664	0,4
M3	Strombezugskosten Niedertarif			16.008	0,1218	1.950	0,1
M4	Einspeisevergütung			159.600	0,1143	18.242	0,9
M5	<b>Stromkosten = Leistungsk. + Bezug HT + NT - Einspeisevergütung</b>					<b>6.291</b>	<b>0,3</b>
<b>N. Kraftwerksemission</b>							
(Strombez.- Einspeis.)x sp.Emis. = Emission sp. Emis.							
(kWh/a) (kWh/a) (kg/kWh) (kg/a) (kg/m <sup>2</sup> a)							
N1	äquivalente CO <sub>2</sub> -Emissionen	80.041	159.600	0,68		-54.100	-2,6

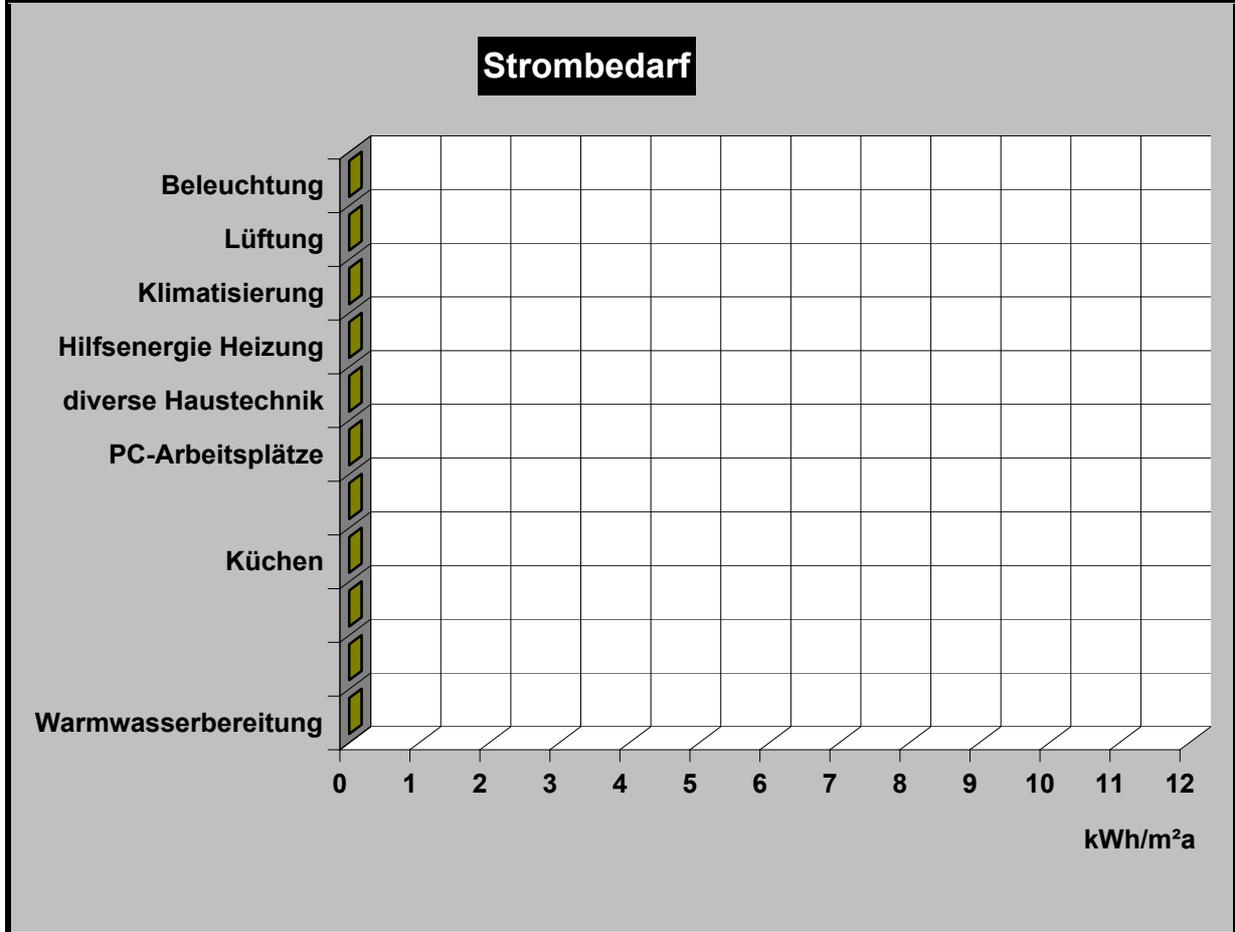
gesehen:

aufgestellt:

## 6.1 Strombedarf, Stromkosten und Stromemissionen

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

A. Allgemeine Daten			
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Energiekonzept Deutschherrenscheule	A2 KStB.
A3	Gebäudebezeichnung	Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd	A4 Str-Nr.
A5	Straße		A6 Haus-Nr.
A7	Variante 1	Erdgas-BHKW 50kW	
A8	Energiebezugsfläche	21.000 m <sup>2</sup>	A9 Nutzungszeit 2.000 h/a



## 6.1 Strombedarf, Stromkosten und Stromemissionen

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

A. Allgemeine Daten								
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Energiekonzept Deutscherherrenscheule			A2	KStB.		
A3	Gebäudebezeichnung	Deutscherherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd			A4	Str-Nr.		
A5	Straße				A6	Haus-Nr.		
A7	Variante 2	Erdgas-BHKW 100kW						
A8	Energiebezugsfläche	21.000	m <sup>2</sup>	A9	Nutzungszeit	2.000	h/a	
B. Beleuchtung								
(Mittelwerte für Gebäude/Betriebseinheit)								
B1	Tageslichtnutzung	meist		Leistung x	Volllast =	Bedarf	sp. Bedarf	
B2	Beleuchtungsstärke		lux	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)	
B3	Beleuchtung		W/m <sup>2</sup>	0,0		0	0,0	
C. Lüftung								
C1	Luftvolumenstrom	0	m <sup>3</sup> /h	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)	
C2	Lüftung	0,00	Wh/m <sup>3</sup>			0	0,0	
D. Klimatisierung								
D1	Kälteleistung		kW(th)	(kWel)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)	
D2	Klimatisierung					0	0,0	
Summe Lüftung + Klima						0	0,0	
E. Hilfsenergie Heizung								
(Brenner, Pumpen etc.)								
E1	Wärmebedarf (Heiz. + WW.)	0	kWh/m <sup>2</sup> a	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)	
E2	Hilfsenergie Heizung					0	0,0	
F. Diverse Haustechnik								
(Transport, Kommunikation)								
F1	Transportleistung		to*m/d	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)	
F2	diverse Haustechnik					0	0,0	
G. Arbeitshilfen								
(PCs, Kaffeemaschinen)								
G1	Anzahl PC-Arbeitsplätze		-	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)	
G2	PC-Arbeitsplätze		W/Arbeitspl.	0,0		0	0,0	
G3						0	0,0	
H. Zentrale Dienste								
(zentr. EDV, Waschm.)								
H1	Küche: Essen/Tag		E/d	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)	
H2	Küchen					0	0,0	
H3						0	0,0	
H4						0	0,0	
I. Warmwasser (elektr.)								
(Transport, Kommunikation)								
I1	Warmwasserbedarf (elekt.)		m <sup>3</sup> /P a	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)	
I2	Warmwasserbereitung					0	0,0	
K. Summe Strombedarf								
				Leistung		Bedarf	sp. Bedarf	
K1				100,0		319.441	15,2	
L. Eigenstromerzeugung								
				Leistung x	Volllast =	Arbeit	sp. Arbeit	
L1	Blockheizkraftwerk			100,0	6.570	657.000	31,3	
L2	Stromeinspeisung in das Hausnetz (ca. 45%)					295.650	14,1	
L3	Stromeinspeisung in das Stadtwerkenetz (ca. 55%)					361.350	17,2	
L4	Strombezug aus dem Stadtwerkenetz			100,0		23.791	1,1	
M. Stromkosten								
M0	Mainova Kombi L 2007			(kW)	(€/kW,a)	(€/a)	(€/m <sup>2</sup> a)	
M1	Leistungsbezugskosten	100,0	139,20			13.920	0,7	
M2	Strombezugskosten Hochtarif			19.033	0,1353	2.575	0,1	
M3	Strombezugskosten Niedertarif			4.758	0,1218	580	0,0	
M4	Einspeisevergütung			361.350	0,0857	30.982	1,5	
M5	Stromkosten = Leistungsk. + Bezug HT + NT - Einspeisevergütung					-13.907	-0,7	
N. Kraftwerksemission								
				(Strombez.-	Einspeis.)x	sp.Emis. =	Emission	sp. Emis.
				(kWh/a)	(kWh/a)	(kg/kWh)	(kg/a)	(kg/m <sup>2</sup> a)
N1	äquivalente CO <sub>2</sub> -Emissionen	23.791	361.350	0,68		-229.540	-10,9	

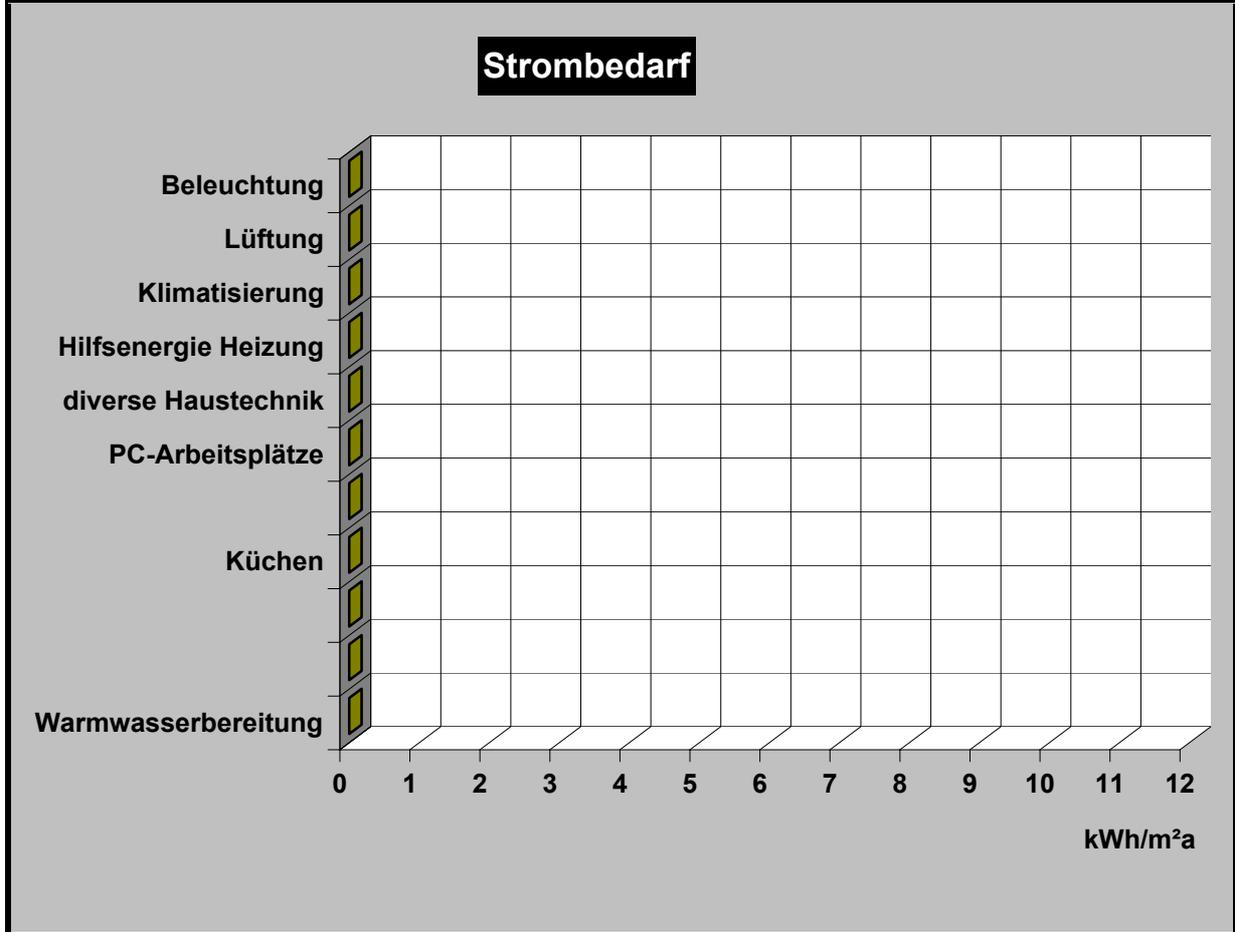
gesehen:

aufgestellt:

## 6.1 Strombedarf, Stromkosten und Stromemissionen

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

A. Allgemeine Daten			
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Energiekonzept Deutschherrenscheule	A2 KStB.
A3	Gebäudebezeichnung	Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd	A4 Str-Nr.
A5	Straße		A6 Haus-Nr.
A7	Variante 2	Erdgas-BHKW 100kW	
A8	Energiebezugsfläche	21.000 m <sup>2</sup>	A9 Nutzungszeit 2.000 h/a



## 6.1 Strombedarf, Stromkosten und Stromemissionen

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

<b>A. Allgemeine Daten</b>							
A1	Liegenschaftsbezeichn.	<b>Energiekonzept Deutscherherrenscheule</b>			A2	KStB.	
A3	Gebäudebezeichnung	<b>Deutscherherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd</b>			A4	Str-Nr.	
A5	Straße				A6	Haus-Nr.	
A7	Variante 3 - 5	<b>Holzhackschnitzel-, Pellet- und Einzelheizanlagen</b>					
A8	Energiebezugsfläche	21.000	m <sup>2</sup>	A9	Nutzungszeit	2.000	h/a
<b>B. Beleuchtung</b>							
(Mittelwerte für Gebäude/Betriebseinheit)							
B1	Tageslichtnutzung	meist		Leistung x	Volllast =	Bedarf	sp. Bedarf
B2	Beleuchtungsstärke		lux	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
B3	Beleuchtung		W/m <sup>2</sup>	0,0		0	0,0
<b>C. Lüftung</b>							
C1	Luftvolumenstrom	0	m <sup>3</sup> /h	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
C2	Lüftung	0,00	Wh/m <sup>3</sup>			0	0,0
<b>D. Klimatisierung</b>							
D1	Kälteleistung		kW(th)	(kWel)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
D2	Klimatisierung					0	0,0
Summe Lüftung + Klima						0	0,0
<b>E. Hilfsenergie Heizung</b>							
(Brenner, Pumpen etc.)							
E1	Wärmebedarf (Heiz. + WW.)	0	kWh/m <sup>2</sup> a	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
E2	Hilfsenergie Heizung					0	0,0
<b>F. Diverse Haustechnik</b>							
(Transport, Kommunikation)							
F1	Transportleistung		to*m/d	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
F2	diverse Haustechnik					0	0,0
<b>G. Arbeitshilfen</b>							
(PCs, Kaffeemaschinen)							
G1	Anzahl PC-Arbeitsplätze		-	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
G2	PC-Arbeitsplätze		W/Arbeitspl.	0,0		0	0,0
G3						0	0,0
<b>H. Zentrale Dienste</b>							
(zentr. EDV, Waschm.)							
H1	Küche: Essen/Tag		E/d	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
H2	Küchen					0	0,0
H3						0	0,0
H4						0	0,0
<b>I. Warmwasser (elektr.)</b>							
(Transport, Kommunikation)							
I1	Warmwasserbedarf (elekt.)		m <sup>3</sup> /P a	(kW)	(h/a)	(kWh/a)	(kWh/m <sup>2</sup> a)
I2	Warmwasserbereitung					0	0,0
<b>K. Summe Strombedarf</b>							
K1				100,0		319.441	15,2
<b>L. Eigenstromerzeugung</b>							
Leistung x Volllast = Arbeit sp. Arbeit							
L1	Blockheizkraftwerk					0	0,0
L2	Stromeinspeisung in das Hausnetz					0	0,0
L3	Stromeinspeisung in das Stadtwerkenetz					0	0,0
L4	Strombezug aus dem Stadtwerkenetz			100,0		319.441	15,2
<b>M. Stromkosten</b>							
M0	Mainova Kombi L 2007	(kW)	Leist.-preis+ (€/kW,a)	Arbeit x (kWh/a)	Arb.preis (€/kWh)	Kosten (€/a)	sp. Kosten (€/m <sup>2</sup> a)
M1	Leistungsbezugskosten	100,0	139,20			13.920	0,7
M2	Strombezugskosten Hochtarif			255.553	0,1353	34.576	1,6
M3	Strombezugskosten Niedertarif			63.888	0,1218	7.782	0,4
M4	Einspeisevergütung			0	0,1143	0	0,0
M5	<b>Stromkosten = Leistungsk. + Bezug HT + NT - Einspeisevergütung</b>					<b>56.278</b>	<b>2,7</b>
<b>N. Kraftwerksemission</b>							
(Strombez.- Einspeis.)x sp.Emis. = Emission sp. Emis.							
		(kWh/a)	(kWh/a)	(kg/kWh)	(kg/a)	(kg/m <sup>2</sup> a)	
N1	äquivalente CO <sub>2</sub> -Emissionen	319.441	0	0,68	217.220	10,3	

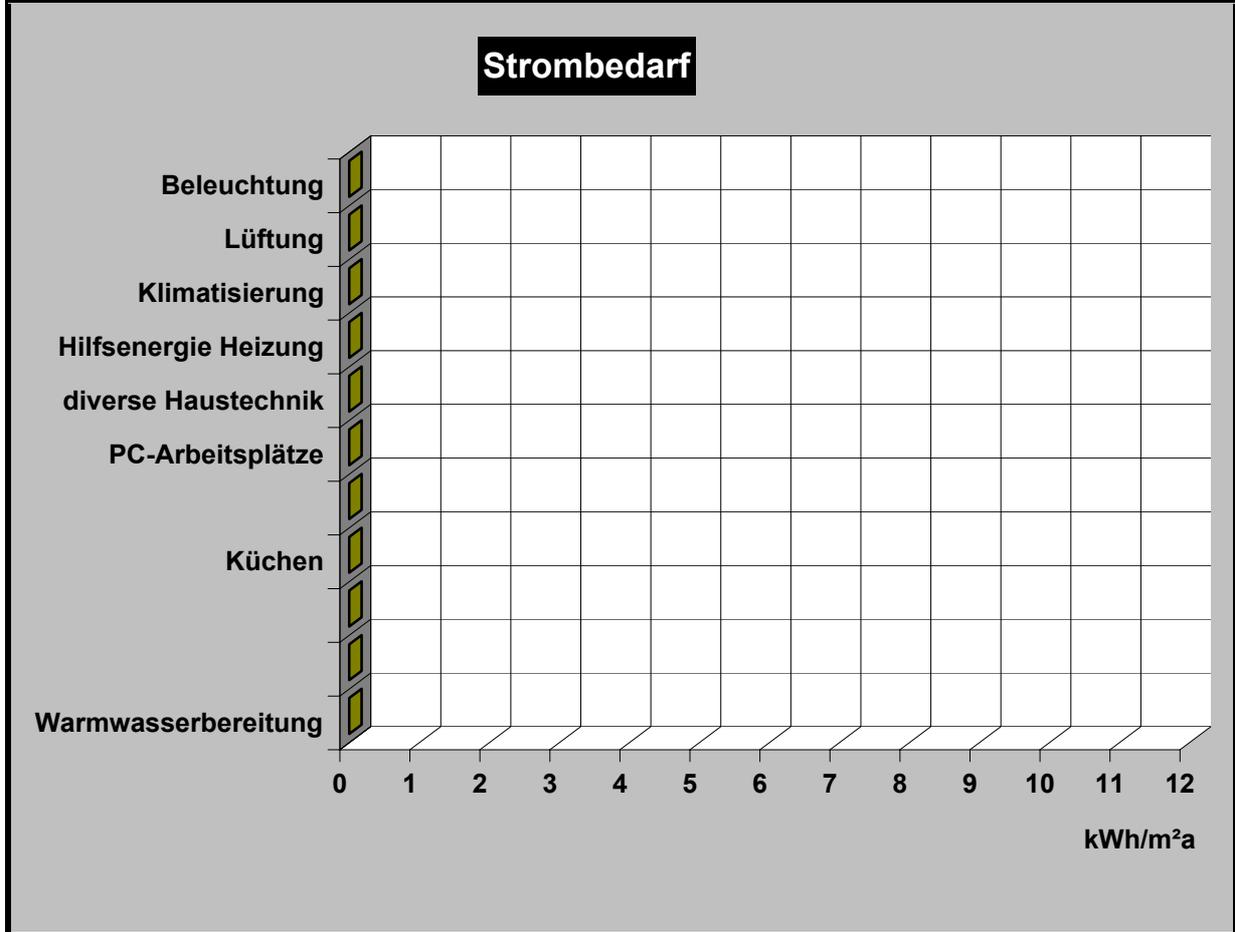
gesehen:

aufgestellt:

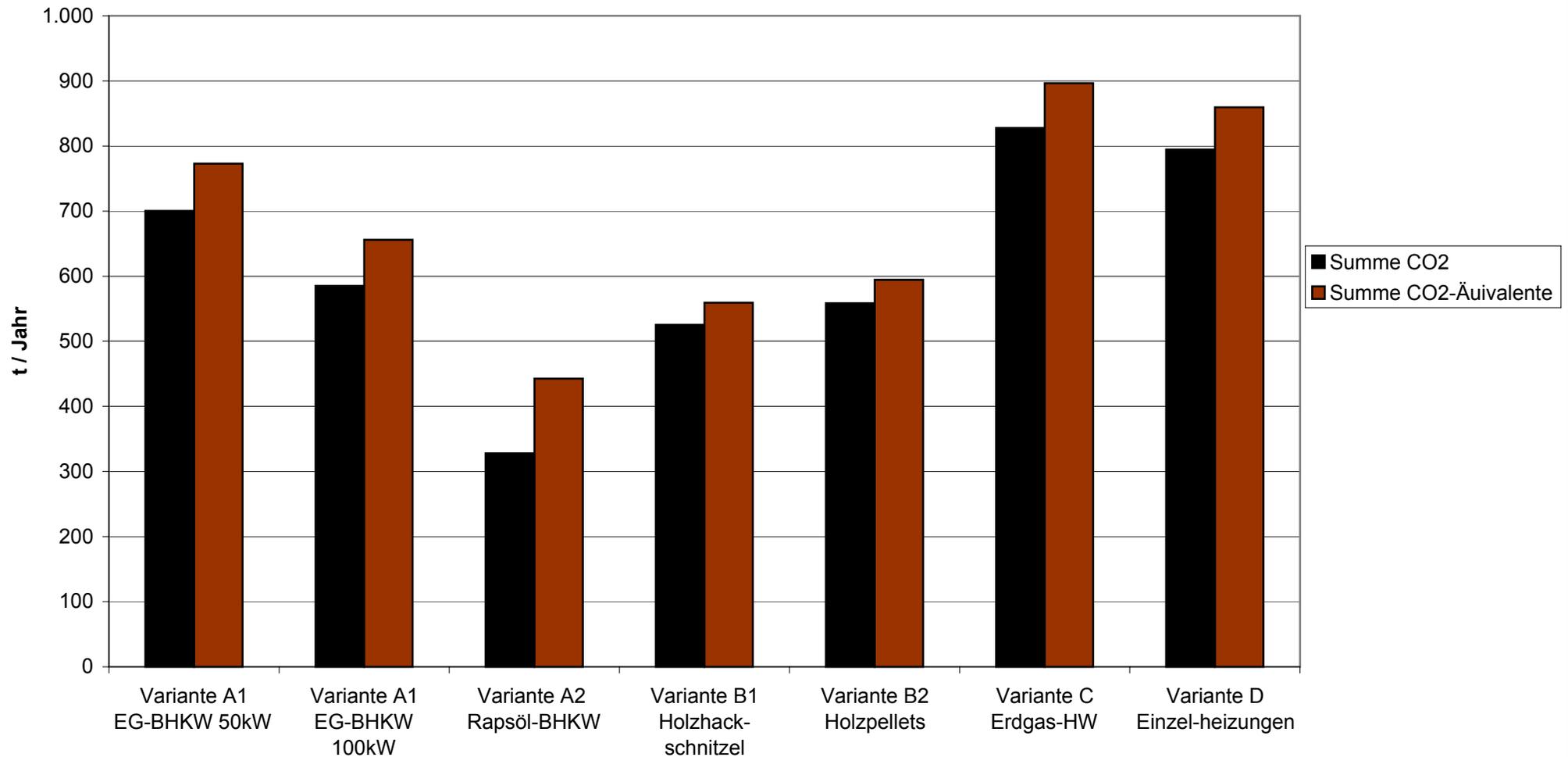
## 6.1 Strombedarf, Stromkosten und Stromemissionen

Konzeption und Gestaltung: Hochbauamt der Stadt Frankfurt, Abteilung Energiemanagement, Eingabefelder: weiß, Rechenfelder: grau

A. Allgemeine Daten			
A1	Liegenschaftsbezeichn.	Energiekonzept Deutschherrenscheule	A2 KStB.
A3	Gebäudebezeichnung	Deutschherren-/Willemer-/Abendhaupt- und Realschule/Sporthalle Süd	A4 Str-Nr.
A5	Straße		A6 Haus-Nr.
A7	Variante 3 - 5	Holzhackschnitzel-, Pellet- und Einzelheizanlagen	
A8	Energiebezugsfläche	21.000 m <sup>2</sup>	A9 Nutzungszeit 2.000 h/a



### Deutschherrenscheule / Willemerscheule / Sporthalle Süd Treibhausgas-Emissionen

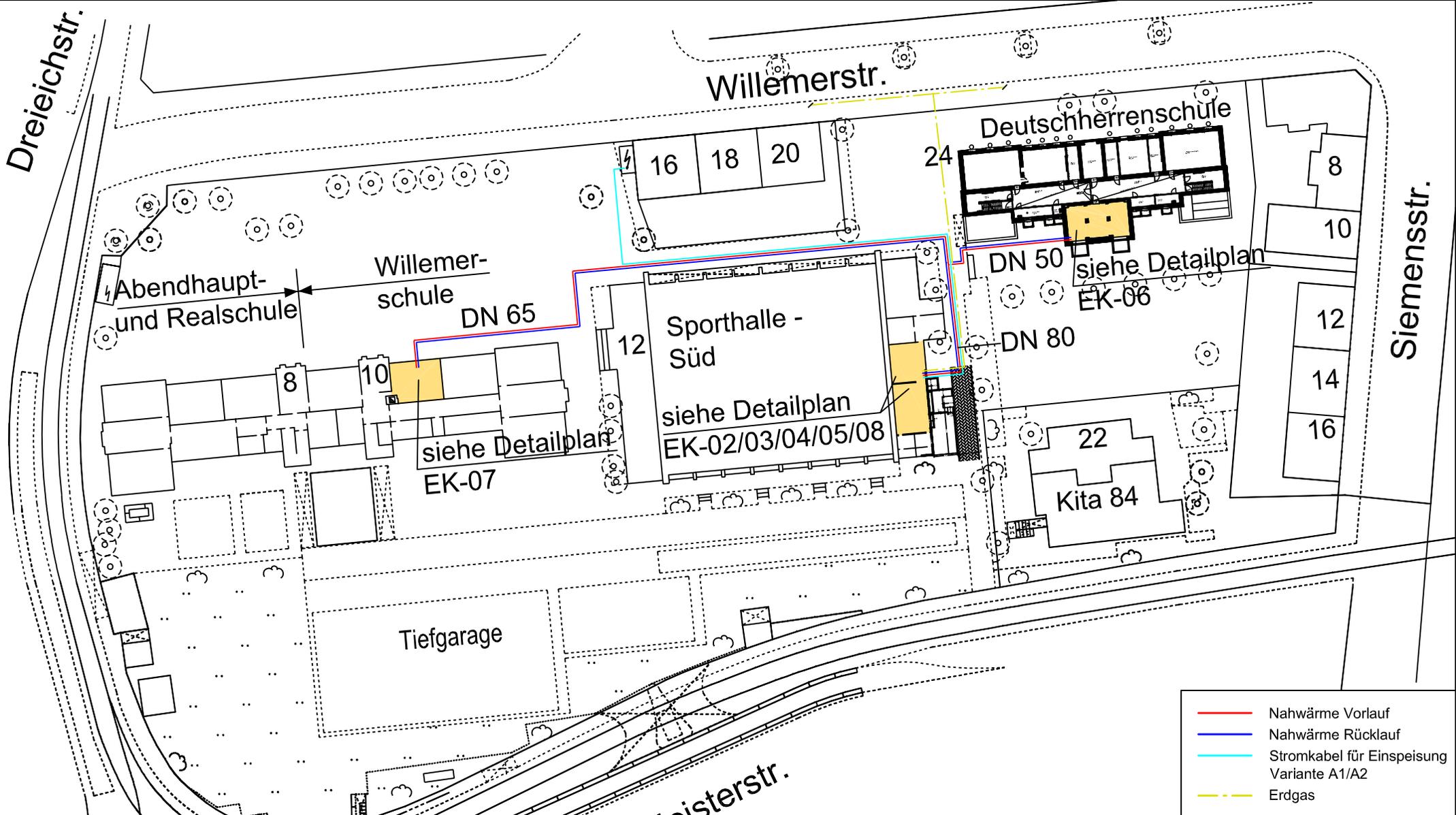


**Zusammenstellung der Versorgungsvarianten**

Energiebedarf		Alle Liegenschaften					Deutschherrenscheule	Willemer-/ Abendhaupt- und Realscheule	Sporthalle Süd
Wärmebedarf	kW	1.300					250	500	550
Wärmebedarf optimiert	kW	1.100					200	400	500
Gleichzeitigkeitsfaktor	-	0,90					1	1	1
Wärmehöchstlast	kW	990					200	400	500
Wärmeverbrauch									
Brennstoffverbrauch									
Erdgas (Hu)	kWh/a	-					-	756.015	558.281
Heizöl EL	kWh/a	-					389.400	-	-
Wärmeverbrauch netto	kWh/a	1.570.778					350.460	695.534	524.784
Netzverluste	kWh/a	125.662					-	-	-
Wärmeverbrauch brutto	kWh/a	1.696.440					-	-	-
IST-Zustand							Deutschherrenscheule	Willemer-/ Abendhaupt- und Realscheule	Sporthalle Süd
Heizkessel	-						2	2	2
Wärmeleistung	kW						je 290 kW	je 465 kW	BW 210 kW, NT 190 kW
Brennstoff	-						Heizöl EL	Erdgas H	Erdgas H
Baujahr	-						1983	1985	2000
Zustand	-						techn. ausreichend Leistung überdimensioniert	techn. schlechter Zustand Druckh. + WAB unzureichend	Wärmeerzeuger guter Zustand alter Schornstein außer Betrieb
Technische Konzeption		Variante A1: Erdgas-BHKW	Variante A2: Rapsöl-BHKW	Variante B1: Holzhackschnitzel- Heizwerk	Variante B2: Holzpellet-Heizwerk	Variante C: Erdgas-Heizwerk	Variante D1: Deutschherrenscheule	Variante D2: Willemer-/Abendhaupt- und Realscheule	Variante D3: Sporthalle Süd
Gesamtanlagen	-	Wärmeversorgung aus neuem Erdgas-BHKW in der Heizzentrale der Sporthalle Süd, 1 Motor-Modul, Brennstoff: Erdgas H 2 Spitzenkessel, Brennstoff: Erdgas H Nahwärmeleitung zu den Heizzentralen der Deutschherren- und Willemer-/Abendhaupt- und Realscheule	Wärmeversorgung aus neuem Rapsöl-BHKW in der Heizzentrale der Sporthalle Süd, 1 Motor-Modul, Brennstoff: Rapsöl 2 Spitzenkessel, Brennstoff: Erdgas H Nahwärmeleitung zu den Heizzentralen der Deutschherren- und Willemer-/Abendhaupt- und Realscheule	Wärmeversorgung aus neuem Heizwerk in der Heizzentrale der Sporthalle Süd, 1 Heizkessel Brennstoff: Frischholz-Hackschnitzel 1 Spitzenkessel, Brennstoff: Erdgas H Nahwärmeleitung zu den Heizzentralen der Deutschherren- und Willemer-/Abendhaupt- und Realscheule	Wärmeversorgung aus neuem Heizwerk in der Heizzentrale der Sporthalle Süd, 1 Heizkessel Brennstoff: Holzpellets DIN 51731 1 Spitzenkessel, Brennstoff: Erdgas H Nahwärmeleitung zu den Heizzentralen der Deutschherren- und Willemer-/Abendhaupt- und Realscheule	Wärmeversorgung aus neuem Heizwerk in der Heizzentrale der Sporthalle Süd, 2 NT-Heizkessel, Brennstoff: Erdgas H Nahwärmeleitung zu den Heizzentralen der Deutschherren- und Willemer-/Abendhaupt- und Realscheule	Erneuerung der Wärmeerzeugung in der Heizzentrale der Deutschherrenscheule 1 NT-Heizkessel, Brennstoff: Erdgas H	Erneuerung der Wärmeerzeugung in der Heizzentrale der Willemer-/Abendhaupt- und Realscheule 1 NT-Heizkessel, Brennstoff: Erdgas H	Erneuerung der Wärmeerzeugung in der Heizzentrale der Sporthalle Süd 1 NT-Heizkessel, Brennstoff: Erdgas H
Wärmeerzeugung									
Stromerzeugung	-	Stromerzeugung im BHKW-Modul Einspeisung über Erdkabel in die Trafostation Willemerstr. 16	Stromerzeugung im BHKW-Modul Einspeisung über Erdkabel in die Trafostation Willemerstr. 16	-	-	-	-	-	-
Heizkessel	-	2 NT-Heizkessel	2 NT-Heizkessel	1 HHS-Heizkessel, 1 NT-Heizkessel Erdgas H	1 Pellet-Heizkessel, 1 NT-Heizkessel Erdgas H	2 NT-Heizkessel	1 NT-Heizkessel	1 NT-Heizkessel	1 NT-Heizkessel
Therm. Leistung	kW	2 x 450 kW	2 x 450 kW	1 x 360 kW, 1 x 720 kW	1 x 200 kW, 1 x 800 kW	450 kW + 575 kW	200 kW	400 kW	500 kW
KWK-Anlage	-	1 Motor-Modul Erdgas H	1 Motor-Modul Rapsöl	keine KWK-Anlage	keine KWK-Anlage	keine KWK-Anlage	keine KWK-Anlage	keine KWK-Anlage	keine KWK-Anlage
Therm. Leistung	kW	143	140	-	-	-	-	-	-
El. Leistung	kW	100	100	-	-	-	-	-	-

**Zusammenstellung der Versorgungsvarianten**

Investitionskostenschätzung		Variante A1: Erdgas-BHKW	Variante A2: Rapsöl-BHKW	Variante B1: Holzhackschnitzel- Heizwerk	Variante B2: Holzpellet-Heizwerk	Variante C: Erdgas-Heizwerk	Variante D1: Deutschherrenscheule	Variante D2: Willemer-/Abendhaupt- und Realschule	Variante D3: Sporthalle Süd
Investitionskosten Netto	€	529.900	670.200	672.200	550.900	348.000	92.700	101.200	90.100
Mehrwertsteuer 19%	€	100.681	127.338	127.718	104.671	66.120	17.613	19.228	17.119
Investitionskosten Brutto	€	630.581	797.538	799.918	655.571	414.120	110.313	120.428	107.219
Brutto-Summe in Variante D	€						<b>Summe:</b>	<b>337.960</b>	
Wärme(rest)kosten Netto		Variante A1: Erdgas-BHKW	Variante A2: Rapsöl-BHKW	Variante B1: Holzhackschnitzel- Heizwerk	Variante B2: Holzpellet-Heizwerk	Variante C: Erdgas-Heizwerk	Variante D1: Deutschherrenscheule	Variante D2: Willemer-/Abendhaupt- und Realschule	Variante D3: Sporthalle Süd
Kapitalgebundene Kosten	€ / a	47.161	59.648	59.826	49.030	30.972	8.250	9.007	8.019
Verbrauchsgebundene Kosten	€ / a	134.446	191.377	59.961	83.598	102.267	21.644	42.786	34.137
Betriebsgebundene Kosten	€ / a	27.577	31.314	25.248	16.888	9.845	2.293	2.600	2.370
CO2-Emissionskosten	€ / a	29.250	16.400	25.750	25.750	41.400	8.869	17.601	13.280
Stromvergütung	€ / a	81.153	124.124	-	-	-	-	-	-
Wärme(rest)kosten Netto	€ / a	157.282	174.616	170.784	175.266	184.485	41.055	71.994	57.806
Spez. Wärme(rest)kosten	€ / MWh	<b>100,13</b>	<b>111,17</b>	<b>108,73</b>	<b>111,58</b>	<b>117,45</b>	<b>117,15</b>	<b>103,51</b>	<b>110,15</b>
ärmekosten in Variante D	€ / a						<b>Summe Wärmekosten:</b>	<b>170.856</b>	
Durchschnitt in Variante D	€ / MWh						<b>Spez. Wärmekosten:</b>	<b>108,77</b>	
In % zur Variante D	-	<b>92%</b>	<b>102%</b>	<b>100%</b>	<b>103%</b>	<b>108%</b>		<b>100%</b>	
Sensitivitätsanalyse		Variante A1: Erdgas-BHKW	Variante A2: Rapsöl-BHKW	Variante B1: Holzhackschnitzel- Heizwerk	Variante B2: Holzpellet-Heizwerk	Variante C: Erdgas-Heizwerk	Variante D1: Deutschherrenscheule	Variante D2: Willemer-/Abendhaupt- und Realschule	Variante D3: Sporthalle Süd
Brennstoffkosten									
Ausgangswert	€ / MWh	100,13	111,17	108,73	111,58	117,45		108,77	
+50%	€ / MWh	142,93	172,08	128,96	138,19	150,00		140,15	
+100%	€ / MWh	185,72	233,00	148,04	164,80	182,55		171,52	
CO2-Emissionskosten									
Ausgangswert	€ / MWh	100,13	111,17	108,73	111,58	117,45		108,77	
+50%	€ / MWh	109,44	116,39	118,07	119,78	130,63		121,42	
+100%	€ / MWh	118,75	121,61	126,26	127,97	143,80		134,08	
Ökologie		Variante A1: Erdgas-BHKW	Variante A2: Rapsöl-BHKW	Variante B1: Holzhackschnitzel- Heizwerk	Variante B2: Holzpellet-Heizwerk	Variante C: Erdgas-Heizwerk	Variante D1: Deutschherrenscheule	Variante D2: Willemer-/Abendhaupt- und Realschule	Variante D3: Sporthalle Süd
Primärenergieverbrauch									
Absolut	MWh	3.010	1.224	2.341	2.509	3.930		3.759	
In % zur Variante D	-	80%	33%	62%	67%	105%		100%	
Schadstoffemissionen									
SO2	kg / a	28	182	486	457	292		289	
NOx	kg / a	873	780	966	982	1.025		937	
Staub (incl. Feinstaub)	kg / a	27	78	92	131	51		51	
Treibhausgasemissionen									
CO2	t / a	585	328	525	559	828		795	
CO2-Äquivalent	t / a	656	443	559	594	896		859	
In % zur Variante D	-	76%	51%	65%	69%	104%		100%	



- Nahwärme Vorlauf
- Nahwärme Rücklauf
- Stromkabel für Einspeisung Variante A1/A2
- Erdgas



Stadt Frankfurt am Main  
 - Der Magistrat -  
 65 Hochbauamt  
 65.25.1 Energiemanagement  
 Gerbermühlstr. 48  
 60594 Frankfurt

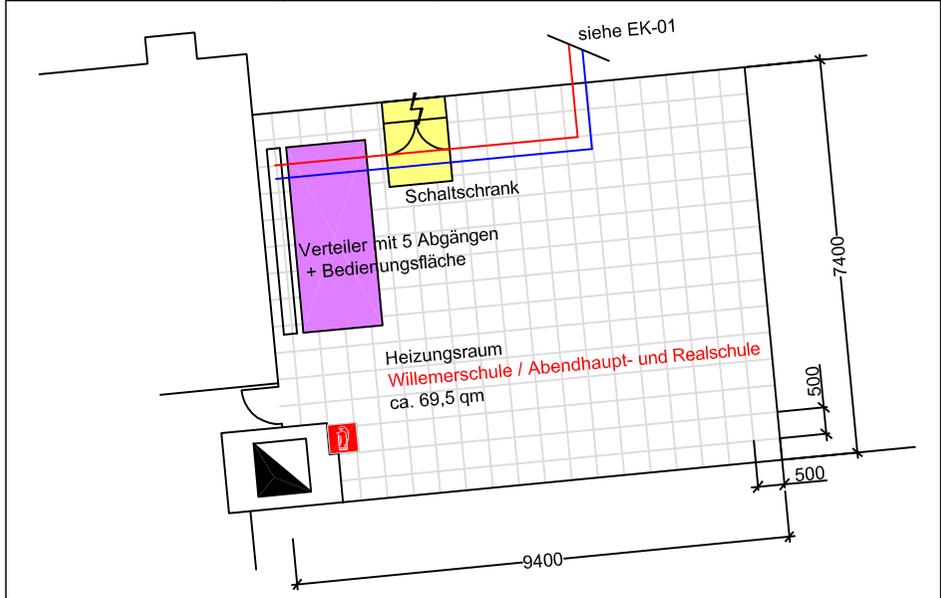
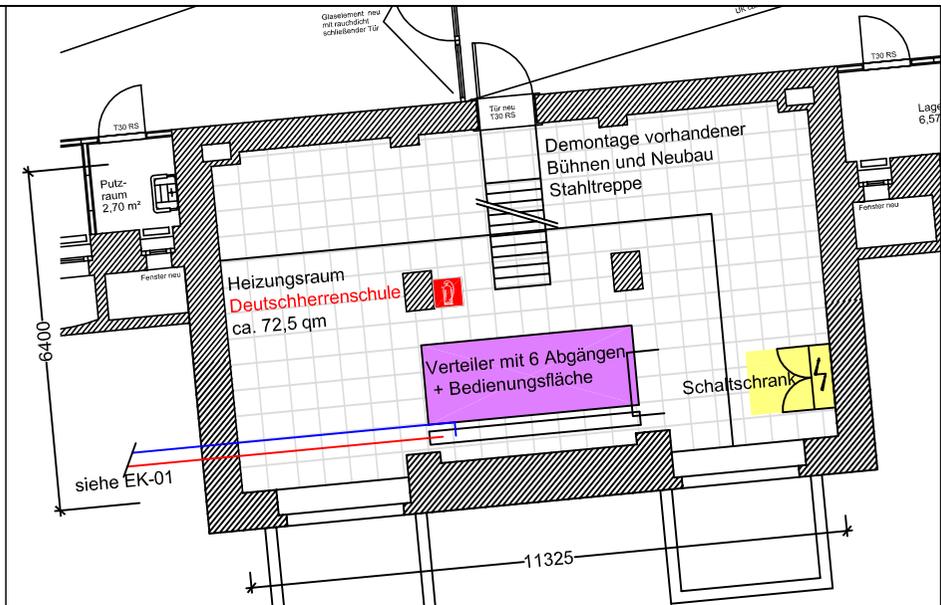
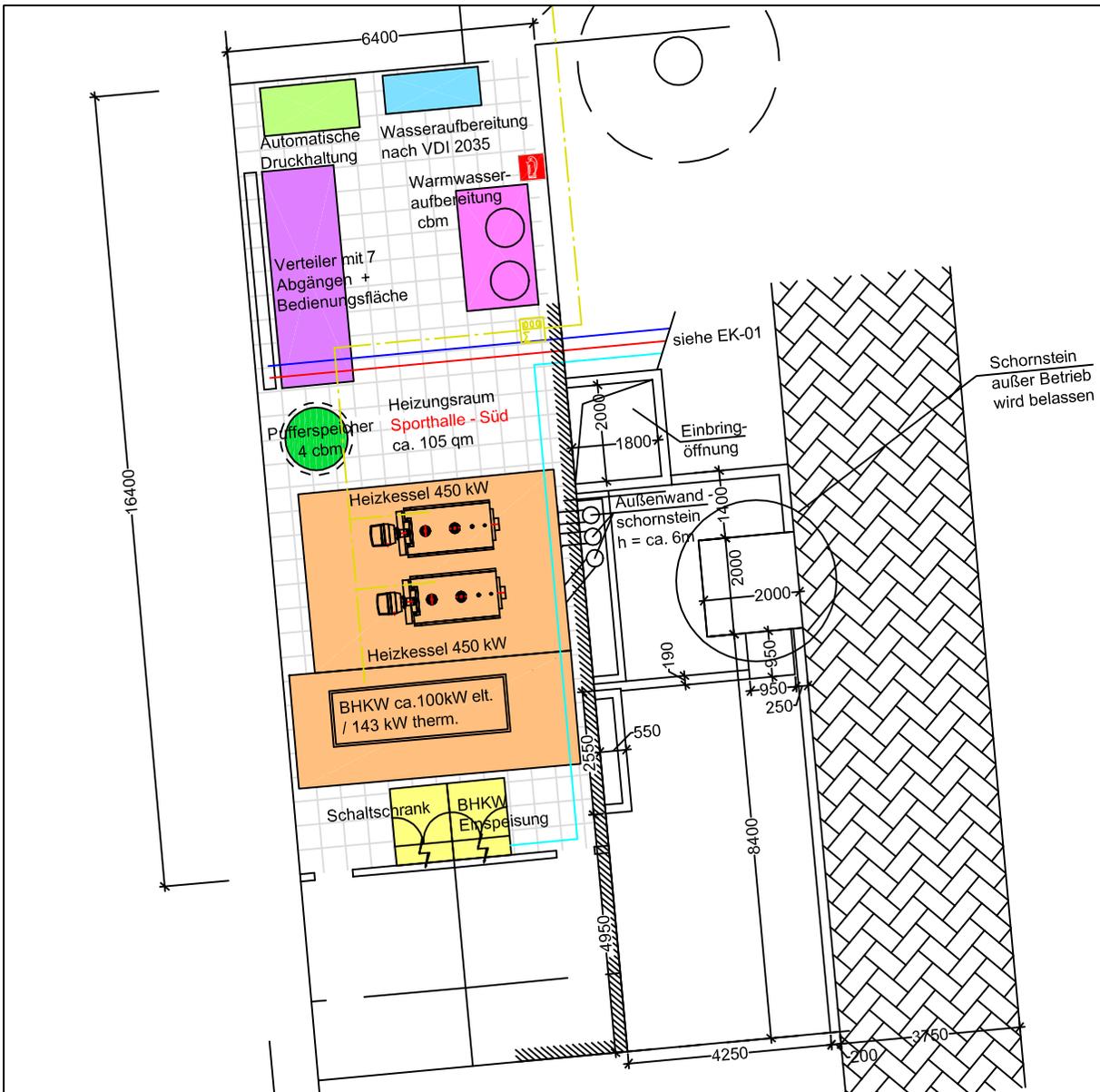
## Lageplan Nahwärmenetz

Maßstab: o.M.	Datum: 02.11.2007	Zeichnungsnr.: EK - 01
------------------	----------------------	---------------------------

Energie- und Umwelttechnik  
 Technische Gebäudeausrüstung  
 Kundenspezifische Software

**Ing. Gesellschaft**  
 Bischoff und Maaß mbH

Luisenstraße 51 63067 Offenbach a.M.  
 Telefon: 069/82 99 375 0 Telefax: 069/82 99 375 29



Stadt Frankfurt am Main  
 - Der Magistrat -  
 65 Hochbauamt  
 65.25.1 Energiemanagement  
 Gerbermühlstr. 48  
 60594 Frankfurt

## Variante A1: Erdgas - BHKW mit Nahwärmenetz

Maßstab:

o.M.

Datum:

02.11.2007

Zeichnungsnr.:

EK - 02

Energie- und Umwelttechnik  
 Technische Gebäudeausrüstung  
 Kundenspezifische Software

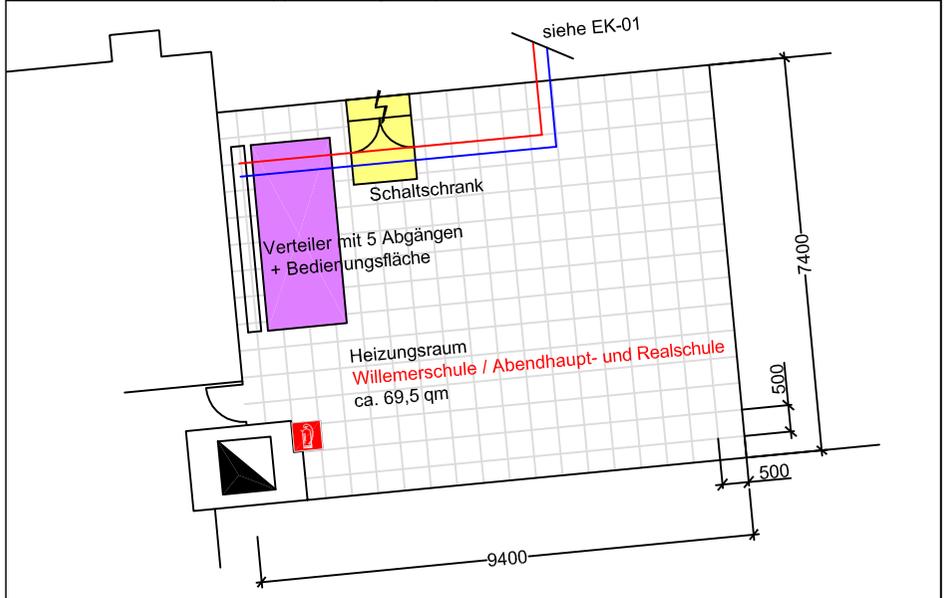
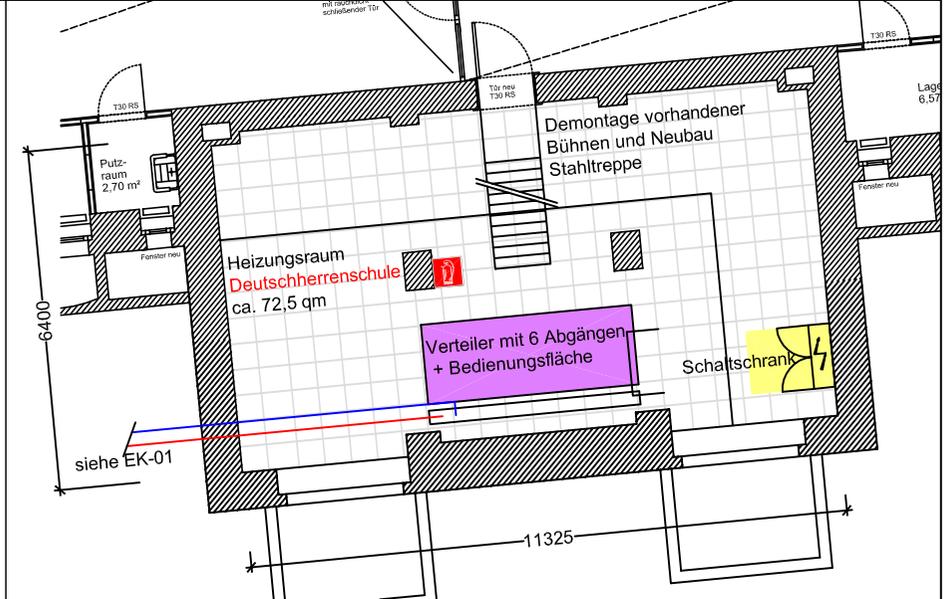
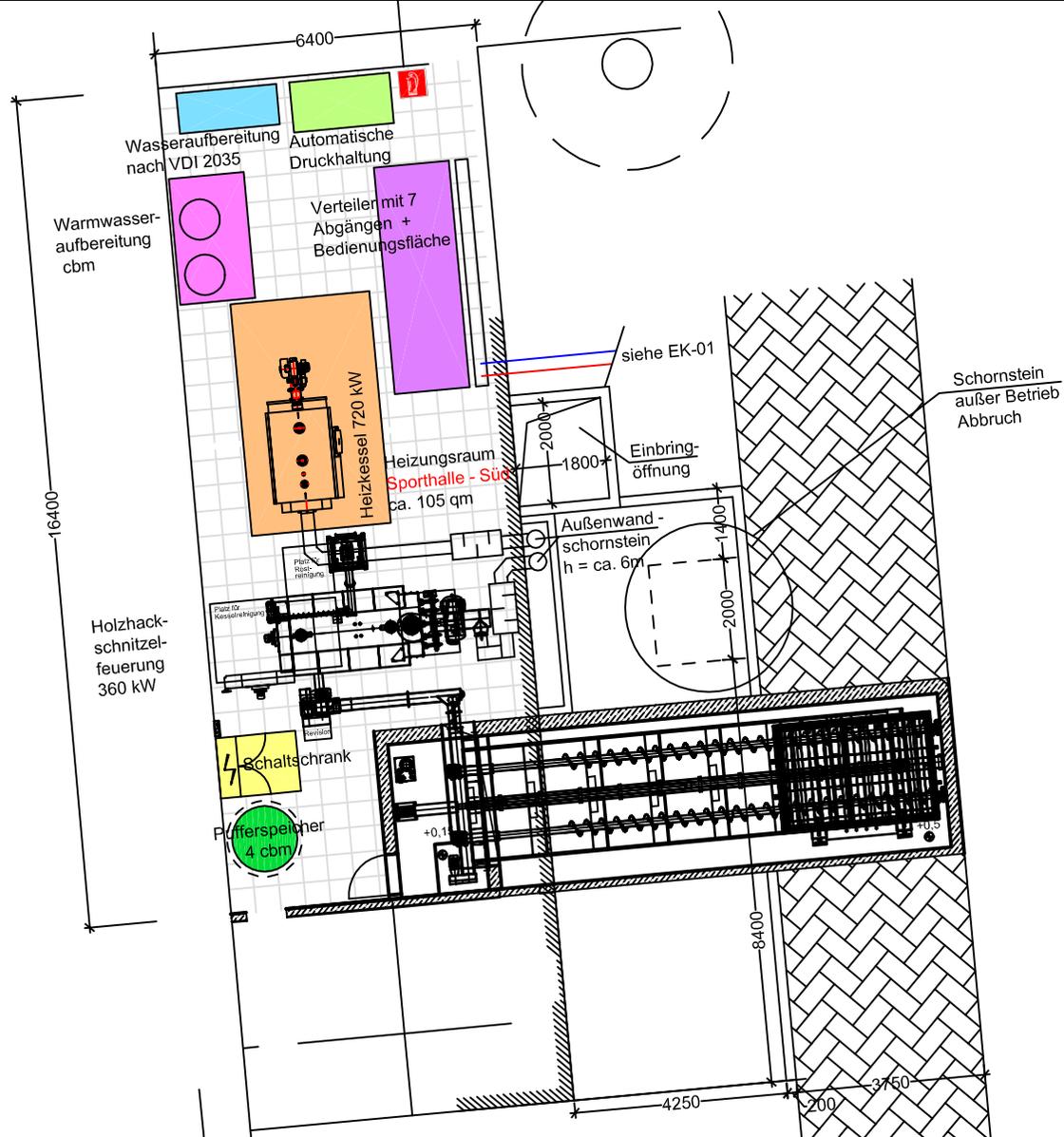


Ing. Gesellschaft

Bischoff und Maaß mbH

Luisenstraße 51 63067 Offenbach a.M.  
 Telefon: 069/82 99 375 0 Telefax: 069/82 99 375 29





Stadt Frankfurt am Main  
 - Der Magistrat -  
 65 Hochbauamt  
 65.25.1 Energiemanagement  
 Gerbermühlstr. 48  
 60594 Frankfurt

## Variante B: Holzhackschnitzel mit Nahwärmenetz

Maßstab:

o.M.

Datum:

02.11.2007

Zeichnungsnr.:

EK - 04

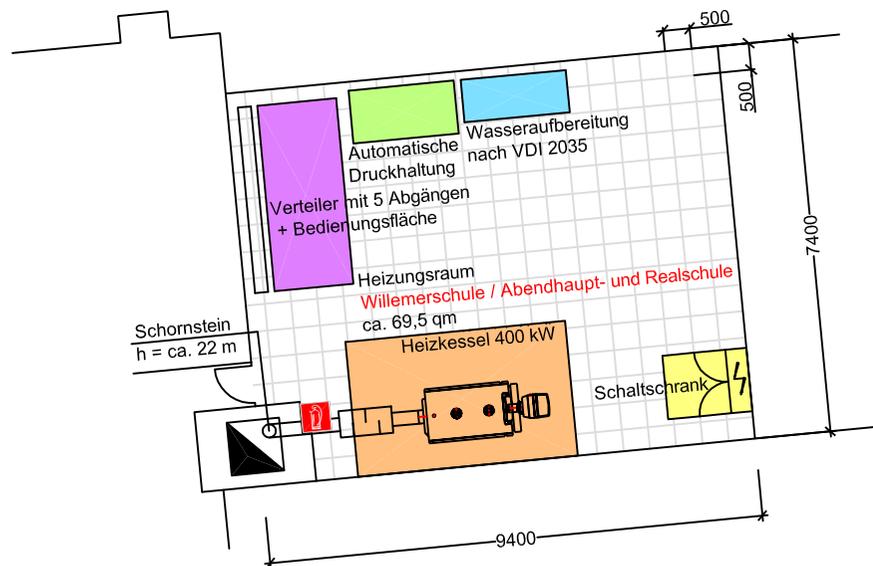
Energie- und Umwelttechnik  
 Technische Gebäudeausrüstung  
 Kundenspezifische Software



Luisenstraße 51 63067 Offenbach a.M.  
 Telefon: 069/82 99 375 0 Telefax: 069/82 99 375 29







Stadt Frankfurt am Main  
 - Der Magistrat -  
 65 Hochbauamt  
 65.25.1 Energiemanagement  
 Gerbermühlstr. 48  
 60594 Frankfurt

## Variante D2

### NT Kessel Willemer-/Abendhaupt- und Realschule

Maßstab:

o.M.

Datum:

02.11.2007

Zeichnungsnr.:

EK - 07

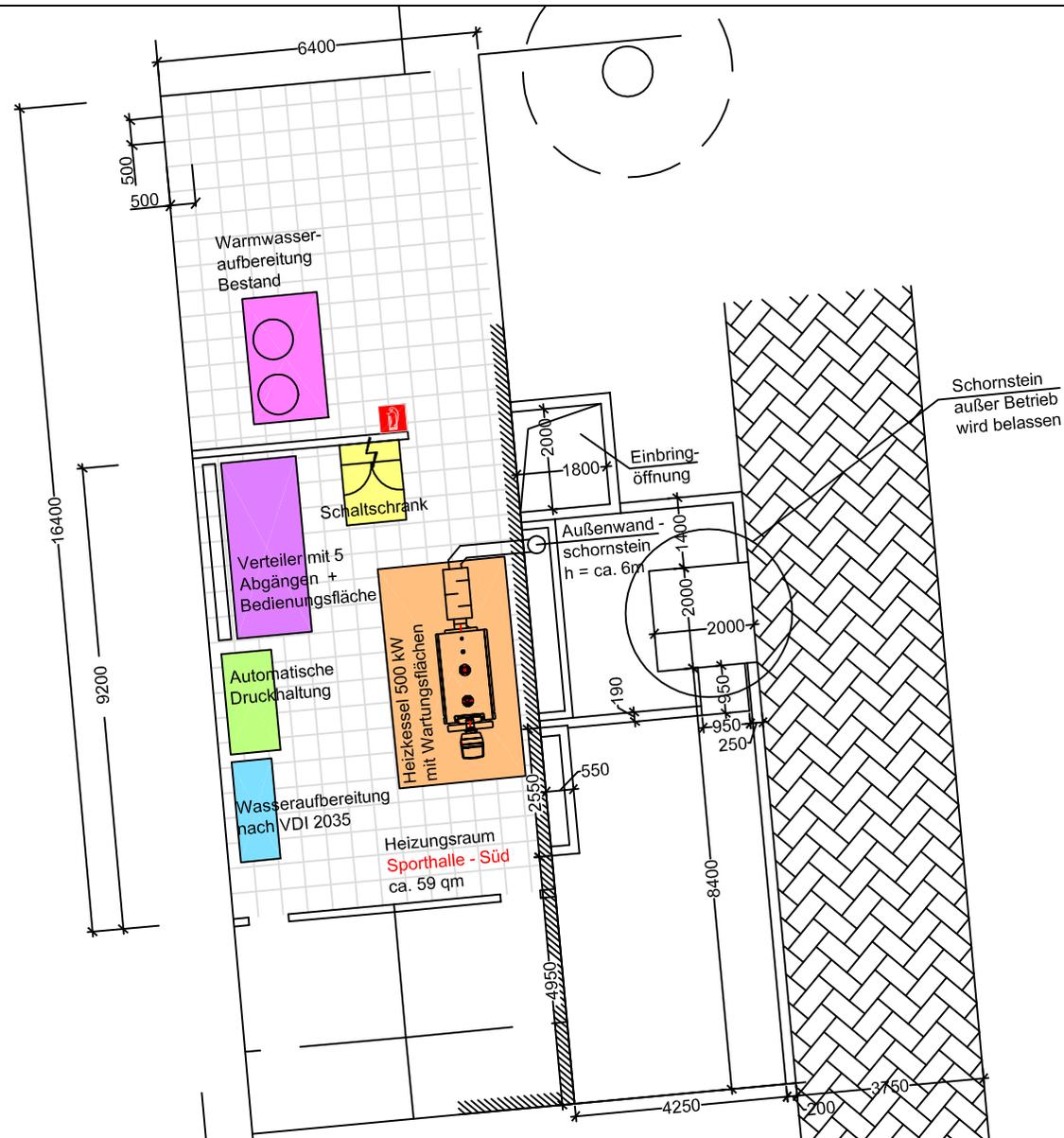
Energie- und Umwelttechnik  
 Technische Gebäudeausrüstung  
 Kundenspezifische Software



**Ing. Gesellschaft**

Bischoff und Maaß mbH

Luisenstraße 51 63067 Offenbach a.M.  
 Telefon: 069/82 99 375 0 Telefax: 069/82 99 375 29



Stadt Frankfurt am Main  
 - Der Magistrat -  
 65 Hochbauamt  
 65.25.1 Energiemanagement  
 Gerbermühlstr. 48  
 60594 Frankfurt

## Variante D3 NT Kessel Sporthalle - Süd

Maßstab:

o.M.

Datum:

02.11.2007

Zeichnungsnr.:

EK - 08

Energie- und Umwelttechnik  
 Technische Gebäudeausrüstung  
 Kundenspezifische Software



**Ing. Gesellschaft**  
 Bischoff und Maaß mbH

Luisenstraße 51 63067 Offenbach a.M.  
 Telefon: 069/82 99 375 0 Telefax: 069/82 99 375 29