

## **Erläuterungen zum Konzept der Wärmeversorgung**

### **- Neubau Hauptschule Maistraße -**

*(Bericht der Verwaltung)*

| Inhalt:                                                                                         | Seite     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Anwendung der Energieeinsparverordnung (EnEV)</b>                                         | <b>2</b>  |
| - Prüfung alternativer Energieversorgungssysteme nach EnEV                                      | 2         |
| <b>2. Varianten der Wärmeversorgung - Neubau Hauptschule Maistraße -</b>                        | <b>3</b>  |
| - Übersicht der untersuchten Varianten                                                          | 3         |
| Variante I:    Brennwerttherme                                                                  | 4         |
| Variante II:   Biomasseanlage Holzhackschnitzel                                                 | 5         |
| Variante III:  Wärmepumpe mit Flächenheizung                                                    | 6         |
| Variante IV:  Passivhaus mit Beheizung durch Lüftungsanlage                                     | 7         |
| - Ermittlung des Energieeinsparungsnachweises für den Neubau Hauptschule Maistraße (gemäß EnEV) | 8         |
| - Bewertung der Ergebnisse                                                                      | 9         |
| <b>3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</b>                                                        | <b>10</b> |
| <b>4. Zusammenfassung</b>                                                                       | <b>11</b> |

# 1. Anwendung der Energieeinsparverordnung (EnEV)

## Prüfung alternativer Energieversorgungssysteme nach EnEV

Am 27. Juni 2007 hat die Bundesregierung die neue Energieeinsparverordnung (EnEV) verabschiedet und dabei den vom Bundesrat vorgeschlagenen Änderungen zur Novelle der Energieeinsparverordnung zugestimmt. Die Verordnung ist am 26. Juli 2007 im Bundesgesetzblatt verkündet worden und am 1. Oktober 2007 in Kraft getreten.

Die Energieeinsparverordnung (EnEV) ist ein wichtiger Baustein der Energie- und Klimaschutzpolitik der Bundesregierung. Durch die neuen Vorschriften ist bei Neubauten der Niedrigenergiehaus-Standard zur Regel geworden. Häuser, die nach der EnEV neu gebaut oder umgebaut werden, verbrauchen rechnerisch deutlich weniger Heizenergie als nach dem früheren Recht.

Bei der Berechnung des Heizenergiebedarfs wird ein ganzheitlicher Ansatz durch die Verknüpfung der baulichen sowie heizungs- und anlagentechnischen Anforderungen zusammengefasst. Ziel dieser Zusammenfassung in einer Verordnung ist es, den rechnerisch erforderlichen Energiebedarf für Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Heizwärme und Warmwasser, im Rahmen des Energieeinsparungsnachweises nach EnEV zu ermitteln und damit dem Bauherrn einen Anhaltswert für den zu erwartenden Verbrauch, z. B. an Erdgas oder Heizöl, geben zu können.

Weiter ist es durch die vorbeschriebene Verknüpfung der baulichen mit den heizungs- und anlagentechnischen Anforderungen möglich, das ganze Spektrum moderner Energiespartechnik zu nutzen, um zu wirtschaftlich optimalen Lösungen zu kommen.

Mit der Novellierung der EnEV besteht nun auch die Forderung zur *Prüfung der technischen, ökologischen und wirtschaftlichen Einsetzbarkeit alternativer Energieversorgungssysteme auf der Grundlage erneuerbarer Energieträger*. Dies gilt für zu errichtende Gebäude mit mehr als 1000 m<sup>2</sup> Nutzfläche (§ 5, EnEV).

Um der vorgenannten Forderung, der Einsetzbarkeit erneuerbarer Energien unter Einbeziehung technischer, ökologischer und wirtschaftlicher Kriterien gerecht zu werden, wurden 4 Varianten zur Wärmeversorgung des Neubaus untersucht.

## **2. Varianten der Wärmeversorgung - Neubau Hauptschule Maistraße -**

In dieser Untersuchung werden 4 verschiedene Wärmeversorgungskonzepte (Variante I bis Variante IV) verglichen. Dadurch soll die wirtschaftlich und ökologisch günstigste Anlagenvariante zum Betrieb der Schule herausgefunden werden. Dazu werden die Errichtungskosten und die Betriebskosten in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung gegenübergestellt.

### **Übersicht der untersuchten Varianten**

Variante I:     Brennwerttherme

Variante II:    Biomasseanlage Holzhackschnitzel

Variante III:   Wärmepumpe mit Flächenheizung

Variante IV:   Passivhaus mit Beheizung durch Lüftungsanlage

## Variante I: Brennwerttherme

Diese Variante entspricht einer konventionellen Lösung. Sie ist mindestens notwendig, um den heutigen Anforderungen der EnEV zu genügen. Das Gebäude wird durch zwei in Kaskade geschaltete Brennwertthermen beheizt. Als weitere bauliche Maßnahme ist eine Abgasanlage notwendig.

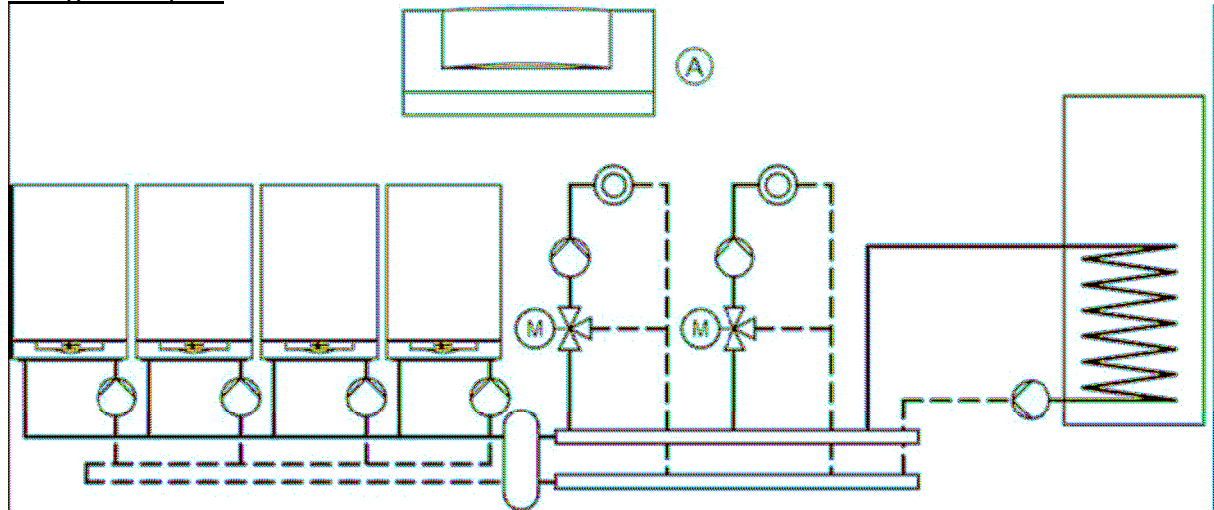
### Vorteile:

- Eingeführte Technik
- Versorgungssicherheit durch 2-Kesselbetrieb

### Nachteile:

- CO<sub>2</sub> Emissionen
- Abhängigkeit von den Gaslieferanten und der Preisentwicklung am Gasmarkt in den letzten 4 Jahren ca. 8% Preissteigerung pro Jahr.

### Anlagenbeispiel:



### Errichtungskosten:

|                                              |                     |
|----------------------------------------------|---------------------|
| Brennwertthermen mit Regelung                | 30.000,00 €         |
| Abgasanlage                                  | 6.000,00 €          |
| Verteilung mit 4 Regelkreise einschl. Pumpen | 20.880,00 €         |
| Heizkörper mit Verteilleitungen und Zubehör  | 133.260,00 €        |
| Gasanschluss                                 | 4.500,00 €          |
| <b>Gesamtkosten</b>                          | <b>194.640,00 €</b> |

### Jährliche Verbrauchs- und Betriebskosten:

|                               |                    |
|-------------------------------|--------------------|
| Gasverbrauch                  | 13.336,06 €        |
| Wartung                       | 450,00 €           |
| <b>Jährliche Gesamtkosten</b> | <b>13.786,06 €</b> |

## Variante II: Biomasseanlage (Hackschnitzel)

Das Gebäude wird durch zwei in Kaskade geschaltete Holzhackschnitzelanlage beheizt. Für die Hackschnitzelanlage sind umfangreiche bauliche Anlagen zu errichten. Zum einen ein Lager für die Hackschnitzel, welches wegen der örtlichen Gegebenheiten nur im Keller des Gebäudes untergebracht werden kann. Des weiteren ist der Platzbedarf für die Kesselanlage größer. Diese Umstände führen zu einer weiteren Unterkellerung des Gebäudes und damit zu erheblichen Mehrkosten.

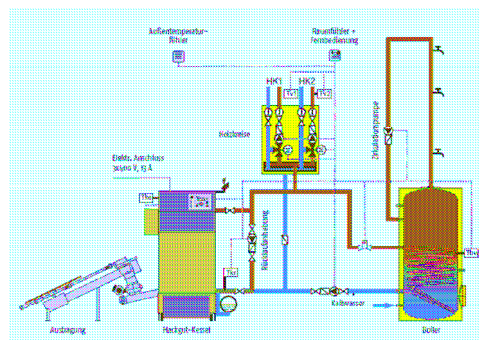
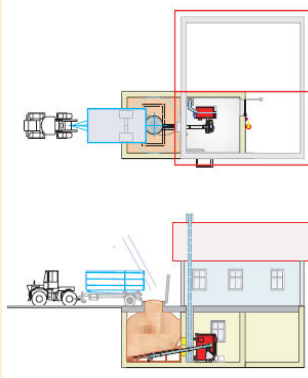
### Vorteile:

- CO<sub>2</sub>-neutral
- Versorgungssicherheit durch 2-Kesselbetrieb
- Hackgut kommt in der Regel aus der Region, keine Abhängigkeit von Öl oder Gas

### Nachteile:

- großes Lager für Bevorratung notwendig
- wartungsintensiv
- Abhängigkeit von den Hackgutlieferanten und der Preisentwicklung in den letzten 4 Jahren mehr als 10% Preissteigerung pro Jahr, wegen steigender Nachfrage.

### Anlagenbeispiel:



### Errichtungskosten:

|                                              |                     |
|----------------------------------------------|---------------------|
| Hackgutkessel mit Regelung                   | 72.000,00 €         |
| Abgasanlage                                  | 6.000,00 €          |
| Verteilung mit 4 Regelkreise einschl. Pumpen | 20.880,00 €         |
| Heizkörper mit Verteilleitungen und Zubehör  | 126.597,00 €        |
| Bauliche Maßnahmen Bunker usw.               | 144.000,00 €        |
| <b>Gesamtkosten</b>                          | <b>369.477,00 €</b> |

### Jährliche Verbrauchs- und Betriebskosten:

|                                  |                    |
|----------------------------------|--------------------|
| Hackgut                          | 6.600,00 €         |
| Regelmäßige Reinigung der Anlage | 1.200,00 €         |
| Wartung 2 x jährlich             | 2.500,00 €         |
| Betriebskosten (el. Strom)       | 50,00 €            |
| <b>Jährliche Gesamtkosten</b>    | <b>10.350,00 €</b> |

### Variante III: Wärmepumpe mit Flächenheizung

Das Gebäude wird durch zwei in Kaskade geschaltete Wärmepumpen beheizt. Als Wärmequelle für die Wärmepumpe werden Erdsonden bis zu 100m tief gebohrt. Um die Wärmepumpe effizient betreiben zu können wird eine Fußbodenheizung vorgesehen.

#### *Vorteile:*

- Versorgungssicherheit durch Kaskadenbetrieb lange Laufzeiten der WP
- Keine Emissionen am Gebäude
- in Verbindung mit der PV-Anlage völlig emissionsfrei, da der benötigte Strom durch die PV-Anlage gedeckt werden kann

#### *Nachteile:*

- hohe Investitionskosten, die sich aber nach ca. 17 Jahren amortisieren

#### Anlagenbeispiel:



#### Errichtungskosten:

|                                               |                            |
|-----------------------------------------------|----------------------------|
| Wärmepumpe                                    | 90.000,00 €                |
| Erdsonden ca. 2000 m                          | 118.800,00 €               |
| Verteilung mit 4 Regelkreisen einschl. Pumpen | 20.880,00 €                |
| Verteilleitungen und Zubehör                  | 33.720,00 €                |
| Fußbodenheizung mit HK-Verteiler              | 133.290,00 €               |
| <b>Gesamtkosten</b>                           | <b><u>396.690,00 €</u></b> |

#### Jährliche Verbrauchs- und Betriebskosten:

|                               |                          |
|-------------------------------|--------------------------|
| Stromkosten                   | 7.200,00 €               |
| Wartung                       | 550,00 €                 |
| <b>Jährliche Gesamtkosten</b> | <b><u>7.750,00 €</u></b> |

## Variante IV: Passivhaus mit Beheizung durch Lüftungsanlage

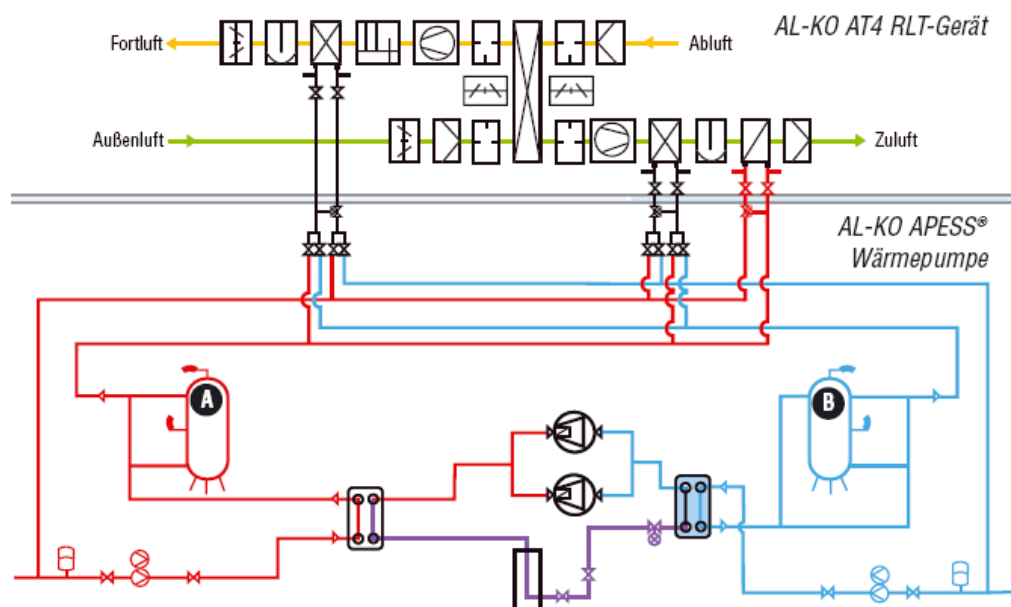
Mit dieser Variante wurde untersucht, ob das Gebäude ohne eine konventionelle Heizungsanlage mit einem wirtschaftlich vertretbaren Aufwand betrieben werden kann.

### Passivhausstandard:

Die Transmissionswärmeverluste werden durch eine verstärkte Dämmung der Außenhülle des Gebäudes (Dach, Wände, Fenster, Türen, Fußboden an das Erdreich) auf ein Minimum reduziert. Dies erfordert einen erheblichen baulichen Aufwand (ca. 10 % erhöhte Baukosten).

Die Außenluftzufuhr zum Austausch der Luft erfolgt über eine Lüftungsanlage. Durch einen Wärmetauscher wird die Wärme der verbrauchten Raumluft an die Zuluft abgegeben. Die Wärmepumpe entnimmt die restliche Energie aus der Fortluft und kann somit den sehr geringen Wärmebedarf des Gebäudes decken. Die Wärmeverteilung erfolgt ausschließlich durch die Lüftungsanlage.

### Anlagenbeispiel:



### Errichtungskosten:

|                                               |                     |
|-----------------------------------------------|---------------------|
| Lüftungsanlage mit Luft / Luft Wärmepumpe     | 144.000,00 €        |
| Luftverteilung und Auslässe                   | 144.000,00 €        |
| Verteilung mit 4 Regelkreisen einschl. Pumpen | 18.000,00 €         |
| Bauliche Mehrkosten für Passivhausstandart    | 480.000,00 €        |
| <b>Gesamtkosten</b>                           | <b>786.000,00 €</b> |

### Jährliche Verbrauchs- und Betriebskosten:

|                               |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| Stromkosten                   | 4.600,00 €        |
| Wartung                       | 1.250,00 €        |
| <b>Jährliche Gesamtkosten</b> | <b>5.850,00 €</b> |

## Ermittlung des Energieeinsparungsnachweises für den Neubau Hauptschule Maistraße (gemäß EnEV)

Eine Abwägung technischer, ökologischer und wirtschaftlicher Kriterien bei den untersuchten Anlagensystemen zeigt Vorteile bei den Varianten I oder III, so dass eine dieser Anlagen zum Einsatz kommen sollte.

**Variante I:** (Konventionelle, bewährte) Wärmeerzeugung über Gas-Brennwertkessel

**Variante III:** Wärmeerzeugung über Sole/Wasserwärmepumpe unter Einbeziehung oberflächennaher Geothermie. Als Wärmequelle dienen dabei vertikal verlegte Erdwärmetauscher (Erdsonden), die bis zu 100 m in die Erde abgesenkt werden.

Im Rahmen der Nachweisführung entsprechend EnEV wurden für beide Varianten (I und III) der Jahres-Primärenergiebedarf, der Jahres-Endenergiebedarf sowie der spezifische Transmissionswärmeverlust (Wärmeverlust über die Gebäudehülle) und die Anlagenaufwandszahl (berücksichtigt die eingesetzte Anlagentechnik) ermittelt.

|                                        | Variante I                                                             | Variante III                                                                              |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Jahres-Primärenergiebedarf</b>      |                                                                        |                                                                                           |
| Primärenergiebedarf                    | 257.888 kWh/a                                                          | 182.462 kWh/a                                                                             |
| Zulässiger flächenbezogener Höchstwert | 16,93 kWh/m³a                                                          | 16,93 kWh/m³a                                                                             |
| Berechneter flächenbezogener Wert      | 16,75 kWh/m³a                                                          | 11,85 kWh/m³a                                                                             |
| <b>Anforderung nach EnEV</b>           | <b>Erfüllt (knapp)</b>                                                 | <b>Erfüllt ✓<br/>mit Unterschreitung des zul.<br/>Primärenergiebedarfs<br/>um ca. 30%</b> |
| <b>Jahres-Endenergiebedarf</b>         |                                                                        |                                                                                           |
| Endenergiebedarf                       | 228.834 kWh/a                                                          | 60.821 kWh/a                                                                              |
| Energieträger                          | Erdgas H                                                               | Strom                                                                                     |
| <b>Spez. Transmissionswärmeverlust</b> |                                                                        |                                                                                           |
| Spez. Verlust                          | 2.715,60 W/K                                                           | 2.715,60 W/K                                                                              |
| Zulässiger flächenbezogener Höchstwert | 1,17 W/m²K                                                             | 1,17 W/m²K                                                                                |
| Berechneter flächenbezogener Wert      | 0,60 kWh/m²a                                                           | 0,60 W/m²K                                                                                |
| <b>Anforderung nach EnEV</b>           | <b>Erfüllt ✓<br/>mit Unterschreitung des zul.<br/>Wertes um 48,5 %</b> | <b>Erfüllt ✓<br/>mit Unterschreitung des zul.<br/>Wertes um 48,5 %</b>                    |
| <b>Anlagenaufwandszahl</b>             | <b>1,22</b>                                                            | <b>0,86 (&lt; 1,00)</b>                                                                   |



## Bewertung der Ergebnisse

### - Jahres-Primärenergiebedarf:

Der Jahres-Primärenergiebedarf berücksichtigt die vorgelagerten Prozesse außerhalb des Gebäudes zur Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe. Der Primärenergiebedarf stellt somit im weiteren Sinne einen ökologischen Bezug zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen dar, was im Einzelnen differenziert zu betrachten ist.

Bei Variante III (Wärmeerzeugung über Sole /Wasserwärmepumpe unter Einbeziehung oberflächennaher Geothermie) **liegt der Jahres-Primärenergiebedarf 30 % unterhalb des zulässigen Wertes nach EnEV<sub>1</sub>**, obwohl der eingesetzte Energieträger (Brennstoff) für den Betrieb der Wärmepumpe Strom ist.

Eine Unterschreitung des Primärenergiebedarfs, bzw. eine Anlagenaufwandszahl < 1,00 ist nur durch eine Anlagentechnik möglich, die den Einsatz regenerativer Energien berücksichtigt.

Die ermittelte Anlagenaufwandszahl bei Variante III beträgt 0,86, bei Variante I beträgt die Anlagenaufwandszahl 1,22.

### - Jahres-Endenergiebedarf

Der Jahres-Endenergiebedarf beschreibt die Energiemenge, die dem Gebäude jährlich zur Verfügung gestellt werden muss, um es wärmetechnisch versorgen zu können.

Bei Variante I (konventionelle Wärmeerzeugung über Gas-Brennwertkessel) beträgt der jährliche Endenergiebedarf rund 220.000 kWh/a (Energieträger Erdgas) und ist somit deutlich höher als bei Variante III (Wärmepumpe mit oberflächennaher Geothermie), hier werden ca. 60.000 kWh/a (Energieträger Strom) benötigt.

In der Anlagenbewertung muss jedoch der relativ ungünstige Primärenergiefaktor von 3,0 für die Stromerzeugung berücksichtigt werden. Das heißt, für die Bereitstellung der bei Variante III benötigten Strommenge (Endenergie) von 60.821 kWh/a beträgt der erforderliche Jahres-Primärenergiebedarf 182.462 kWh/a. Hierzu wäre zwingend auf den effektiven Einsatz der geplanten Photovoltaikanlage (optional, siehe Teil A der Beschlussvorlage) zu verweisen. Die geplante Photovoltaikanlage führt zu einem ermittelten jährlichen Stromertrag von rund 60.000 kWh/a. Diese Ertragsmenge, die durch die Photovoltaikanlage rein regenerativ erzeugt wird, deckt den jährlich erforderlichen Strombedarf zum Betrieb der Wärmepumpe nahezu zu 100%.

**Mit Einsatz der geplanten Photovoltaikanlage könnte somit das geplante Schulgebäude als CO<sub>2</sub>-neutral bewertet werden.**

### - Spezifischer Transmissionswärmeverlust

Der spezifische Transmissionswärmeverlust ist ein Maß für den Wärmedämmstandard der wärmeübertragenden Hüllfläche des Gebäudes. Die deutliche **Unterschreitung des zulässigen Grenzwertes, bei beiden Varianten beträgt 48,5 %**. (Bei der Berechnung wurde jeweils der gleiche Wärmedämmstandard hinterlegt, um den Einfluss der ausgewählten Anlagentechnik (Variante I und III) auf Primärenergiebedarf hervorzuheben.) Die Unterschreitung liegt im Wesentlichen an der kompakten Bauweise, bzw. dem günstigen Verhältnis der Umfassungsfläche zum beheizten Gebäudevolumen ( $A/V = 0,29$ ). Bei der Ermittlung des Transmissionswärmeverlustes wurde vorerst von einem durchschnittlichen bis gutem Wärmedämmstandard ausgegangen.

### 3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Zum Bewerten der einzelnen Anlagenvarianten wurden die Gesamtkosten auf die Zeit von 25 Jahren errechnet und miteinander verglichen.

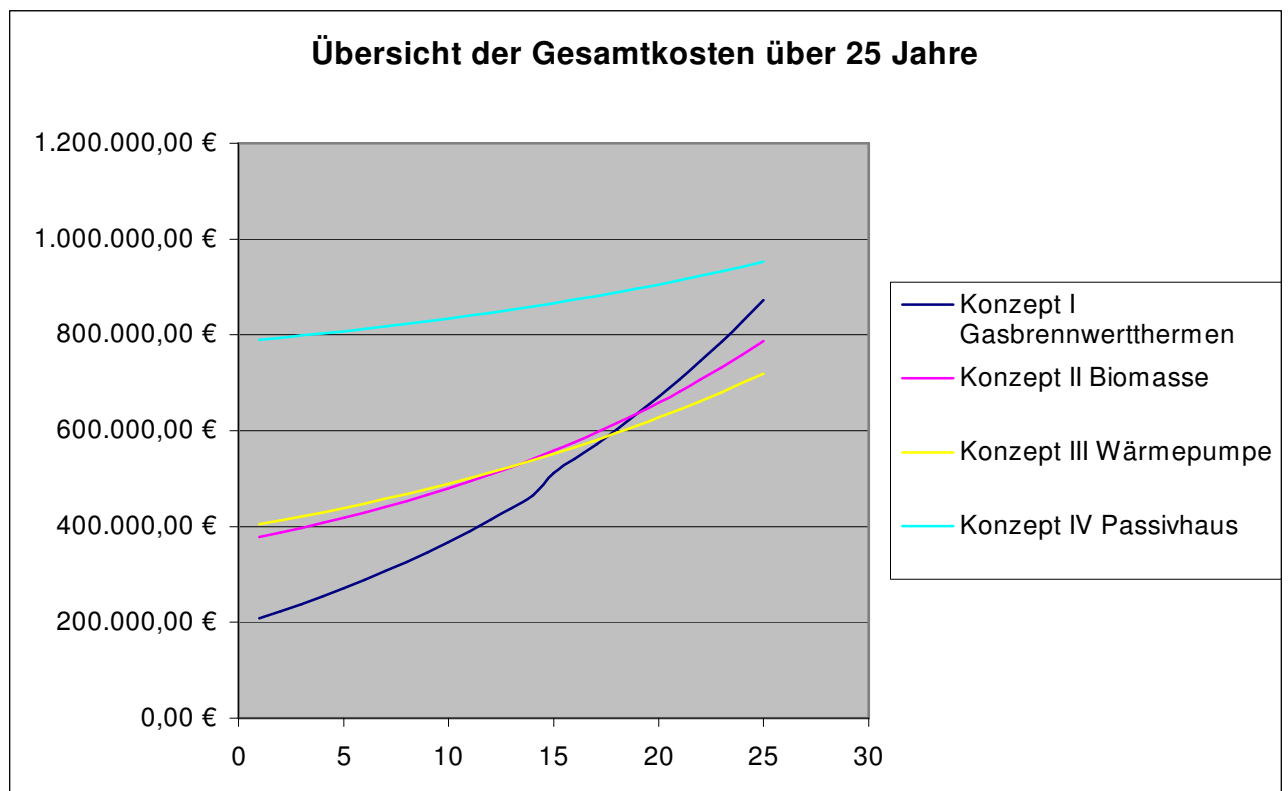
Die Gesamtkosten ergeben sich aus den Errichtungskosten und den Verbrauchskosten unter Berücksichtigung der Preisentwicklung der verschiedenen Energieträger.

Zugrunde gelegte Preissteigerungen:

Gas: 5 %

Biomasse: 5 %

El. Strom: 4 %



Die Variante VI, Passivhaus mit Beheizung durch Lüftungsanlage, scheidet aus wirtschaftlichen Überlegungen aus. Diese Variante kann in einem Gebäude mit einer langen Nutzungszeit, wie z. B. in Rechenzentren mit 24-stündigem Betrieb und der Notwendigkeit im Sommer zu kühlen, wirtschaftlich eingesetzt werden.

Die Biomasse kann sich an dem geplanten Objekt nicht wirtschaftlich behaupten, da der Be-  
vorrungsbunker nur mit sehr großem Aufwand im Keller zu realisieren ist.

Für andere Bauvorhaben, wie z. B. Neubau der Feuerwache, wird sich bei entsprechendem Platzangebot und zur Verfügung stehendem Personal die Biomassenutzung wirtschaftlich günstiger darstellen.

Bei der Gasthermenanlage mit Brennwerttechnik zeigt sich, dass die Standardlösung mit den geringsten finanziellen Mitteln zu errichten ist, jedoch die Verbrauchskosten sehr hoch sind.

Die Wärmepumpenanlage stellt sich als die wirtschaftlichste Lösung dar. Hier schlagen vor allem die Erdsonden bei den Herstellungskosten nieder. Die Haltbarkeit der Sonden wird dafür aber mit über 100 Jahre angegeben.

## 4. Zusammenfassung

In Bezug auf die Anfangs genannte Forderung der Energieeinsparverordnung (EnEV) zur Prüfung der technischen, ökologischen Einsetzbarkeit alternativer Energieversorgungssysteme, wird aufgrund der vorbeschriebenen Ergebnisse die Umsetzung der Variante III (Wärmeerzeugung über Sole/Wasserwärmepumpe unter Einbeziehung der oberflächennahen Geothermie), als System zur Wärmeversorgung des Neubaus Hauptschule Maistraße empfohlen.

Die bei Variante III ermittelten Werte für den Jahres-Primärenergiebedarf und den Jahres-Endenergiebedarf liegen hinsichtlich ökologischer Aspekte deutlich günstiger als bei der Variante I (Konventionelle Wärmeerzeugung über Gas-Brennwertkessel).

Die Wärmeerzeugung über Sole/Wasserwärmepumpen in Kombination mit einem Erdsondensystem ist eine technische Lösung die mittlerweile vielerorts erfolgreich umgesetzt worden ist. Insbesondere die Verknüpfung der Variante III mit dem Einsatz einer Photovoltaikanlage führt dazu, dass die jährlich erforderliche Strommenge zum Betrieb der Wärmepumpenanlage regenerativ durch die Photovoltaikanlage erzeugt und wieder ins Netz eingespeist werden kann. Damit wäre das Schulgebäude als CO<sub>2</sub>-neutral bewertbar.

Die Ausführung der Variante III stellt sich als die wirtschaftlich günstigste Lösung dar. Die Mehrkosten der Wärmepumpenanlage im Vergleich zur Gasbrennwerttherme amortisiert sich nach ca. 17 Jahren. Bei Wärmepumpen geht man von einer Lebenserwartung von 25 Jahren aus.

Aufgestellt, 04.10.2007

Gebäudewirtschaft Fürth / HtE

Katrin Egyptiadis-Wendler  
Hans-Peter Fecher