

Projektarbeit zum Thema

Konzeption für das Nahwärmezentrum des Sportzentrums und
der Hauptfeuerwache der Stadt Fürth



Abb. 1: Bild vom Holzabfall zur Heizenergie

Vorgelegt von:

Schultheiß Detlef
Ungarnstr. 2, 91056 Erlangen

Abgabedatum:

06.12.2013

I. Inhaltsverzeichnis

I.	Inhaltsverzeichnis.....	2
1	Einführung.....	4
2	Ausgangssituation und Analyse	5
2.1	bauliche Rahmenbedingungen	5
2.2	Techn. Grundlagen der Gebäude und Heizungssysteme	6
2.3	Verwendung der städtischen Ressourcen Holz	7
3	Lösungsvorschläge und Bewertung	8
3.1	Voruntersuchung BHKW	8
3.1.1	Wirtschaftlichkeit und weiteres Vorgehen	8
3.2	Variante 1 bivalent (Hackschnitzel/Gas)	9
3.2.1	Kostenschätzung nach DIN 276 (V1).....	10
3.2.2	Betriebskostenzusammenstellung (V1).....	11
3.2.3	Zusammenfassung Variante 1	12
3.3	Variante 2 monovalent (Hackschnitzel).....	13
3.3.1	Kostenschätzung nach DIN 276 (V2).....	14
3.3.2	Betriebskostenzusammenstellung (V2).....	15
3.3.3	Zusammenfassung Variante 2	16
3.4	Variante 3 konventionell (Gas).....	17
3.4.1	Kostenschätzung nach DIN 276 (V3).....	18
3.4.2	Betriebskostenzusammenstellung (V3).....	19
3.4.3	Zusammenfassung Variante 3	20
3.5	Nutzwertmatrix	21
3.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	22
4	Fazit	24

II. Abbildungsverzeichnis	25
III. Abkürzungsverzeichnis	26
IV. Quellenverzeichnis.....	27
V. Eidesstattliche Erklärung.....	28

1 Einführung

Die Stadt Fürth baut zurzeit ein neues Sportzentrum in Form einer Dreifachturnhalle mit zusätzlichen Umkleiden für die angrenzenden Freisportanlagen, mit Gesamtkosten in Höhe von ca. 12 Mio. €. Weiterhin ist auf dem daneben liegenden Gelände der Neubau einer Hauptfeuerwache für ca. 15 Mio. € geplant. Diese soll nach Fertigstellung des Sportzentrums errichtet werden.

Für die Planung und Bauleitung beider Projekte sind externe Architektur- und Planungsbüros beauftragt. Die Gebäudewirtschaft der Stadt Fürth erfüllt hier die Bauherrenaufgaben.

Die unmittelbare Nähe der Neubauten zueinander führte schon bei Beginn der Planungen zur Überlegung, eine gemeinsame Wärmeversorgung anzustreben. Aus diesem Grund soll die GWF eine objektübergreifende Nahwärmezentrale planen und errichten.

Thema dieser Projektarbeit ist die Konzeption eines Nahwärmezentrums für das Sportzentrum und die Hauptfeuerwache der Stadt Fürth.

Ziel dieser Arbeit ist es, in Ergänzung zu den bereits angestellten Überlegungen, eine Gesamtanlage zu konzipieren, die sowohl Versorgungssicherheit für den Gebäudebetrieb als auch den Einsatz von regenerativer Heizungstechnik kombiniert. Dabei wird auch der politische Wunsch, eine Hackschnitzelheizung oder ein Blockheizkraftwerk zu integrieren, untersucht.

Die Ausarbeitung kann im momentanen Planungsablauf bei der Auswahl der Energieerzeuger als Entscheidungshilfe herangezogen werden. Dabei soll die Bewertung nicht nur auf eine rein finanzielle Betrachtung der Anlagentechnik reduziert sein. Vielmehr wird die Anlage aus einer ganzheitlichen Sichtweise entsprechend ihres Lebenszyklus und der angrenzenden Fachbereiche des Facility Managements bewertet.

2 Ausgangssituation und Analyse

Nach mehreren Jahren der Planung realisiert die Stadt Fürth seit Ende 2012 den Neubau eines Sportzentrums (Abb. 1, vorne links) und im Anschluss daran voraussichtlich ab Frühjahr 2015 die neue Hauptfeuerwache (Abb. 1, hinten rechts).



Abb. 2: 3D Ansicht Sportzentrum und Feuerwache im Hintergrund aus GIS Stadt Fürth

2.1 bauliche Rahmenbedingungen

Die beiden Gebäude werden neu errichtet. Aus diesem Grund muss bei der Konzeption der Wärmeversorgung grundsätzlich nicht auf bestehende Anlagen Rücksicht genommen werden. Natürlich sind gewisse bauliche Gegebenheiten bereits durch die fortgeschrittene Planung der Gebäude vorgegeben.

Im Zuge der bisherigen Planung wurde ein Standort für die Heizungszentrale gesucht, der zentral zwischen den Gebäuden liegt und günstig durch die bestehende Infrastruktur zu erschließen ist.

Der geplante Standort liegt auf dem Gelände des Sportzentrums, um bei dessen Fertigstellung schon die notwendige Wärmeversorgung bereitstellen zu können.

Die direkte Anbindung an den Friedhofsweg ist durch die Lage an der Straße gegeben.

Eine günstige Anbindung an bestehende Infrastruktur ist ebenfalls vorhanden. Die Wasser-, Abwasser- und Gasanschlüsse eines abgebrochenen Unterkunftsgebäudes können mit geringem Aufwand wieder verwendet werden.

2.2 Techn. Grundlagen der Gebäude und Heizungssysteme

Für die weiteren Betrachtungen ist es notwendig, grundlegende Kennwerte beider Gebäude zusammenzuführen. Grundlage hierfür sind die technischen Ausarbeitungen der Büros VIP und G-Tec.

grundlegende Gebäudedaten	Sportzentrum	Hauptfeuerwache	Gesamt
netto. Geschossfläche in m ²	3.093	5.352	8.445
Nutzer/Besucher pro Tag Ø/max.	150 / 500	50 / 150	200 / 650
Nutzer Duschen	100	50	150
Endenergiebedarf in kWh/a	552.000	782.000	1.334.000
Heizung/Lüftung (anteilig)	414.000	711.331	1.125.331
Warmwasser (anteilig)	138.000	70.669	208.669
Heizlast in kW	240	340	580

Abb. 3: Tabelle grundlegende Gebäudedaten

In der nachfolgenden Tabelle (Abb. 4) werden die verschiedenen Heizungssysteme zusammengefasst. Da überwiegend Vorlauftemperaturen über 60 C° benötigt werden, ist eine Lösung mit Wärmepumpe als Wärmeerzeuger auszuschließen. Die marktüblichen Anlagen benötigen für einen wirtschaftlichen Betrieb niedrig temperierte Flächenheizungen.

Heizungssysteme	Sportzentrum	Hauptfeuerwache
Fußbodenheizung	65/55 C°	50/40 C°
Heizkörper/Radiatoren	60/40 C°	60/40 C°
Lüftungsanlagen	70/50 C°	70/50 C°
Luftherhitzer	--	80/85 C°
Warmwasserladesysteme	70/50 C°	70/50 C°

Abb. 4: Tabelle Heizungskomponenten mit Auslegungstemperaturen

2.3 Verwendung der städtischen Ressourcen Holz

Das Grünflächenamt der Stadt Fürth produziert bei Baumpflegearbeiten im Jahr durchschnittlich zwischen 7.000 - 10.000 m³ Schnittgut, die aktuell entsorgt werden müssen. Hierbei handelt es sich überwiegend um kleine bis mittelgroße Bäume sowie Astabschnitte. Teilweise fällt aber auch Holz aus Baumfällungen an.

Dieses Material wird aktuell auf einem städtischen Gelände zwischengelagert und dann von einem Landwirt kostenneutral entsorgt.

Eine Weiterverarbeitung zu Hackschnitzel, um damit den Brennstoff für einen Biomassekessel zu erzeugen liegt nahe.

Das Umweltplanungsamt der Stadt Fürth könnte dieses anfallende Holz auf dem Gelände der bestehenden Kompostierungsanlage zu Hackschnitzeln weiterverarbeiten und als Brennstoff für die von GWF geplante Heizzentrale zur Verfügung stellen. Da es hierzu noch keine belastbaren Kosten und keinen entsprechenden Beschluss durch den Stadtrat gibt, werden zur weiteren Betrachtung marktübliche Preise für Hackschnitzel herangezogen.

3 Lösungsvorschläge und Bewertung

Eine Nutzung von Geothermie in Verbindung mit Wärmepumpentechnik wird im Vorfeld ausgeschlossen. Die Ergebnisse von vorliegenden Baugrunduntersuchungen zeigen bis in eine Tiefe von ca. 2 m Anhäufungen von Hausmüll, in tieferen Lagen überwiegend felsigen Untergrund. Dies sind zusammen mit den in Abbildung 4 zusammengefassten Systemtemperaturen schlechte Voraussetzungen. Aus diesen Gründen werden diesbezüglich keine Varianten weitergehend untersucht.

Als Lösungsvorschläge werden verschiedene Varianten an Heizungsanlagen dargestellt. Untersucht werden:

- **bivalent (Holz / Gas)**
- **monovalent (Holz)**
- **konventionell (Gas)**

3.1 Voruntersuchung BHKW

Durch die ständige Belegung der Feuerwache und den weitgehend durchgängigen Spielbetrieb im Sportzentrum ist mit einem gleichmäßigen Bedarf an Warmwasser zu rechnen. Zur Deckung dieser Grundlast wird die Nutzung eines Blockheizkraftwerks untersucht.

Der Jahresenergiebedarf für Warmwasser liegt bei ca. 16 % des Gesamtbedarfs.

3.1.1 Wirtschaftlichkeit und weiteres Vorgehen

Für die Voruntersuchung hat die GWF eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durch den BHKW-Hersteller erstellen lassen. Diese ergibt bei einer berechneten Laufzeit von 7.385 h/a eine **Amortisationszeit von 2,7 Jahren**.

Da der Hersteller als Verkaufsargument für seine Anlage sicherlich von optimalen Bedingungen ausgeht, wird für die weitere Betrachtung eine Laufzeit von 6.000 h/a angenommen. Die Anlagen- und Betriebskosten sowie die Wirtschaftlichkeit werden in Folge nur für die gesamten Varianten betrachtet.

3.2 Variante 1 bivalent (Hackschnitzel/Gas)

Als erste Variante wird eine Kombination aus Hackschnitzelkessel zur Deckung der Grundlast und einem Gasbrennwertkessel für die Spitzenlast untersucht. Das BHKW deckt den Sockel der Grundlast ab.

Im Sommerbetrieb bei ausschließlicher Warmwasserbereitung ist eine Schaltung BHKW plus Gaskessel vorgesehen. Der Holzessel soll wegen seinem trägen Verhalten nur bei Veranstaltungen von Hand freigegeben werden

Auswahl Kesselgröße

1 Grundlastkessel: Hackschnitzel ca. 440 kW

1 Spitzenlastkessel: Gas Brennwert ca. 170 kW

1 BHKW Grundlast ca. 40 kW

Die maximale Heizleistung der Anlage liegt mit 650 kW zwar 70 kW über den benötigten 580 kW. Da der Brennwertkessel stufenlos moduliert, stellt dies im Standardbetrieb kein Problem dar. Diese geringe Überdimensionierung erhöht die Sicherheit der Anlage. Bei Ausfall oder Wartung des Hackschnitzelkessels verbleiben ca. 210 kW gaserzeugte Wärme, die den Betrieb in der Feuerwache ermöglichen und das Sportzentrum frostfrei halten können.

Die Abbildung 5 zeigt das zugehörige Anlagenschema mit Anschluss der drei Wärmeerzeuger an einen Pufferspeicher und Verteilung auf die beiden Gebäude.

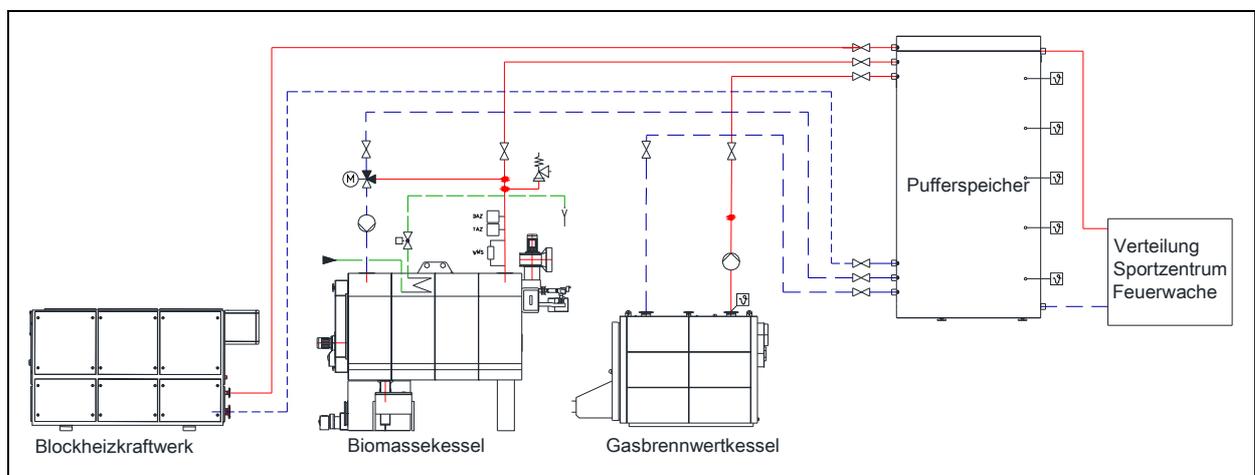


Abb. 5: Kesselschema Variante 1

3.2.1 Kostenschätzung nach DIN 276 (V1)

Als Grundlage für die Kostenschätzung nach DIN 276 liegen Angebote für den Hackschnitzelkessel mit Schubbodenaustragung, einen Gasbrennwertkessel und ein BHKW der Firma Viessmann vor.

Für die Kosten der Hausanschlüsse wurden Angebote der Infra (ehemalige Stadtwerke Fürth) eingeholt.

Den Baukosten des Gebäudes liegt der BKI von 2010 zu Grunde. Die Honorare für Architekten und Fachplaner wurden nach HOAI und die Kosten für Bauherrenaufgaben nach den städtischen Richtlinien zur Leistungsverrechnung ermittelt.

Die Zusammenstellung der Kostenschätzung für Variante 1 (Abb. 6) ergibt Kosten in Höhe von 647.012 €.

		(brutto)
KG 100	Grundstück	0,00 €
KG 200	Herrichten und Erschließen	22.200,00 €
	Hausanschluss Wasser	
	Angebot Infra	4.200,00 €
	Hausanschluss Gas	
	Angebot Infra	18.000,00 €
KG 300	Bauwerk	152.312,00 €
	241 m ² BGF x 632 €/m ²	152.312,00 €
KG 400	Technische Anlagen	343.500,00 €
KG 410	Abwasser- Wasser- Gasanlagen	3.000,00 €
	Installation Hausanschluss	3.000,00 €
KG 420	Wärmeversorgungsanlagen	340.500,00 €
	Holzessel mit Zubehör und Austragung	200.000,00 €
	Gaskessel mit Zubehör	15.000,00 €
	BHKW	65.500,00 €
	Pufferspeicher Verteiler, Regelung	60.000,00 €
KG 500	Außenanlagen	0,00 €
	In Kosten Sportzentrum enthalten	
KG 600	Ausstattung und Kunstwerke	0,00 €
KG 700	Baunebenkosten	129.000,00 €
KG 710	Bauherrenaufgaben	19.000,00 €
	Bauherr Bau (24 % von netto fremdpl.)	8.000,00 €
	Bauherr Tech. (20 % von netto eigenpl.)	11.000,00 €
KG 730	Architekten- und Ingenieurleistungen	110.000,00 €
	Architekt	24.000,00 €
	Statiker	16.000,00 €
	TGA	70.000,00 €
Summe	Kostenschätzung: 26.09.13	647.012,00 €

Abb. 6: Kostenschätzung nach DIN 276 (V1)

3.2.2 Betriebskostenzusammenstellung (V1)

Die Betriebskosten der Anlage setzen sich wie folgt zusammen:

$$\underline{\text{Betriebskosten}} = \underline{\text{Wartung}} + \underline{\text{Reinigung}} + \underline{\text{Bauunterhalt}} + \underline{\text{Energiekosten}}$$

Zusammenstellung der nicht energiegebundenen Kosten:

Die Werte für die folgende Zusammenstellung stammen aus Wartungsangeboten nach VDMA Arbeitskarten und den entsprechenden Herstellerangaben aus vergleichbaren Anlagen. Die Kosten für Bauunterhalt wurden aus Durchschnittswerten ermittelt.

	Holzessel 440 kW	Gaskessel 170 kW	BHKW 40/20 kW
Wartung in €/a	2.000	300	3.000
Reinigung in €/a	1.000	--	--
Bauunterhalt* €/a	2.590 €/a (0.5 % der Anschaffungskosten der gesamten Anlage)		

Abb. 7: Zusammenstellung der nicht energiegebundenen Kosten (V1)

Berechnung der Energiekosten

Für die Berechnungen der Energiekosten aller Varianten werden folgende Werte angenommen: (Quellen: C.A.R.M.E.N. und Preisliste Infra Fürth)

- Hackschnitzel: 36,85 €/MWh
- Gas: 0,06 €/kWh
- Stromkosten: 0,3 €/kWh

Verteilung der bereitzustellenden Wärmemenge Q_{ges} auf die einzelnen Erzeuger:

Q_{ges} :	1.334 MWh/a
Q_{BHKW} :	240 MWh/a (Gasverbrauch _{BHKW} = 1,5 x Q_{BHKW} = 360 MWh/a)
$Q_{\text{Gas (10\% Spitzenlast)}}$:	133 MWh/a
$Q_{\text{Hackschnitzel (Rest)}}$:	961 MWh/a

$$\text{Energiekosten}_{\text{ges}} = \text{Energiekosten}_{\text{Hack}} + \text{Energiekosten}_{\text{Gas}} - \text{Ertrag}_{\text{BHKW}}$$

$$\text{Energiekosten}_{\text{Hack}} = 961 \text{ MWh/a} \times 36,85 \text{ €/MWh} = 35.413 \text{ €/a}$$

$$\text{Energiekosten}_{\text{Gas}} = 493 \text{ MWh/a} \times 0,06 \text{ €/kWh} = 29.580 \text{ €/a}$$

$$\text{Ertrag}_{\text{BHKW}} = 120 \text{ MWh/a} \times 0,3 \text{ €/kWh} = 36.000 \text{ €/a}$$

$$\text{Energiekosten}_{\text{ges}} = 35.413 \text{ €/a} + 29.580 \text{ €/a} - 36.000 \text{ €/a} = \underline{\underline{28.993 \text{ €/a}}}$$

Berechnung der Betriebskosten (V1)

Betriebskosten_{V1} = Wartung + Reinigung + Bauunterhalt + Energiekosten

$$\text{Betriebskosten}_{\text{V1}} = 5.300 \text{ €/a} + 1.000 \text{ €/a} + 2.590 \text{ €/a} + 28.993 \text{ €/a} = \underline{\underline{37.883 \text{ €/a}}}$$

3.2.3 Zusammenfassung Variante 1

Den **Herstellungskosten von 647.012 €** der Variante 1 stehen **jährlichen Betriebskosten von 37.883 €** gegenüber. Diese Betrachtung ist rein statisch und beinhaltet weder Zinsen noch Preissteigerungen.

Die Anlage bietet eine hohe Sicherheit gegen Ausfall, da verschiedene Brennstoffträger auf mehrere Wärmeerzeuger verteilt sind.

3.3 Variante 2 monovalent (Hackschnitzel)

Die Variante 2 untersucht zwei gleich große Hackschnitzelkessel, die wechselweise als Führungs- und Folgekessel betrieben werden können. Das BHKW wird wieder zur Deckung der Grundlast eingesetzt.

Auswahl Kesselgröße

1 Zweikesselanlage Hackschnitzel (2 x 280 kW) ca. 560 kW

1 BHKW Grundlast ca. 40 kW

Die maximale Heizleistung dieser Variante liegt mit 600 kW nur 20 kW über der errechneten Heizlast. Eine Überdimensionierung ist hier nicht zweckführend.

Bei Ausfall eines Kessels kann der verbleibende zusammen mit dem BHKW eine Leistung von 320 kW bereitstellen.

Die Abbildung 8 zeigt das angepasste Anlagenschema mit zwei Biomassekesseln und einem BHKW mit Pufferspeicher und Anbindung an die Gebäude.

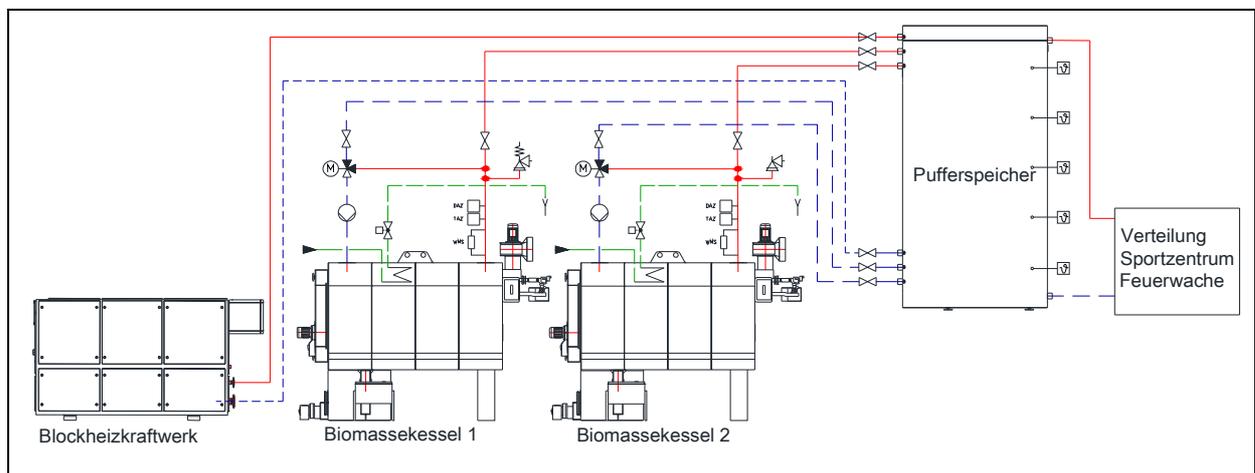


Abb. 8: Kesselschema Variante 2

3.3.1 Kostenschätzung nach DIN 276 (V2)

Als Grundlage für die Kostenschätzung dienen entsprechende Angebote und Berechnungen wie in Variante 1 beschrieben.

Die Zusammenstellung der Kostenschätzung für Variante 2 (Abb. 9) ergibt Kosten in Höhe von 743.012 €.

		(brutto)
KG 100	Grundstück	0,00 €
KG 200	Herrichten und Erschließen	22.200,00 €
	Hausanschluss Wasser	
	Angebot Infra	4.200,00 €
	Hausanschluss Gas	
	Angebot Infra	18.000,00 €
KG 300	Bauwerk	152.312,00 €
	241 m² BGF x 632 €/m²	152.312,00 €
KG 400	Technische Anlagen	423.500,00 €
KG 410	Abwasser- Wasser- Gasanlagen	3.000,00 €
	Installation Hausanschluss	3.000,00 €
KG 420	Wärmeversorgungsanlagen	420.500,00 €
	2 x Holzkessel mit Zubehör und Austragung	290.000,00 €
	BHKW	65.500,00 €
	Pufferspeicher Verteiler, Regelung	65.000,00 €
KG 500	Außenanlagen	0,00 €
	In Kosten Sportzentrum enthalten	
KG 600	Ausstattung und Kunstwerke	0,00 €
KG 700	Baunebenkosten	145.000,00 €
KG 710	Bauherrenaufgaben	22.000,00 €
	Bauherr Bau (24 % von netto fremdpl.)	8.000,00 €
	Bauherr Tech. (20 % von netto eigenpl.)	14.000,00 €
KG 730	Architekten- und Ingenieurleistungen	123.000,00 €
	Architekt	24.000,00 €
	Statiker	16.000,00 €
	TGA	83.000,00 €
Summe	Kostenschätzung: 26.09.13	743.012,00 €

Abb. 9: Kostenschätzung nach DIN 276 Variante 2

3.3.2 Betriebskostenzusammenstellung (V2)

Die Betriebskosten der Anlage werden entsprechend Punkt 3.2.2 berechnet.

$$\text{Betriebskosten} = \text{Wartung} + \text{Reinigung} + \text{Bauunterhalt} + \text{Energiekosten}$$

Zusammenstellung der nicht energiegebundenen Kosten:

(Werte entsprechend Punkt 3.2.2)

	2 x Holzkessel je 280 kW	BHKW 40/20 kW
Wartung in €/a	3.000	3.000
Reinigung in €/a	2.000	--
Bauunterhalt* €/a	2.990 €/a (0.5 % der Anschaffungskosten der gesamten Anlage)	

Abb. 10: Zusammenstellung der nicht energiegebundenen Kosten (V2)

Berechnung der Energiekosten

Für die folgenden Berechnungen werden die gleichen Energiepreise wie in Variante 1 angenommen.

Verteilung der bereitzustellenden Wärmemenge Q_{ges} auf die einzelnen Erzeuger:

$$Q_{\text{ges}}: \underline{\hspace{10em}} 1.334 \text{ MWh/a}$$

$$Q_{\text{BHKW}}: \quad 240 \text{ MWh/a} \quad (\text{Gasverbrauch}_{\text{BHKW}} = 1,5 \times Q_{\text{BHKW}} = 360 \text{ MWh/a})$$

$$Q_{\text{Hackschnitzel (Rest)}}: \quad 1.094 \text{ MWh/a}$$

$$\text{Energiekosten}_{\text{ges}} = \text{Energiekosten}_{\text{Hack}} + \text{Energiekosten}_{\text{Gas}} - \text{Ertrag}_{\text{BHKW}}$$

$$\text{Energiekosten}_{\text{Hack}} = 1094 \text{ MWh/a} \times 36,85 \text{ €/MWh} = 40.314 \text{ €/a}$$

$$\text{Energiekosten}_{\text{Gas}} = 360 \text{ MWh/a} \times 0,06 \text{ €/kWh} = 21.600 \text{ €/a}$$

$$\text{Ertrag}_{\text{BHKW}} = 120 \text{ MWh/a} \times 0,3 \text{ €/kWh} = 36.000 \text{ €/a}$$

$$\text{Energiekosten}_{\text{ges}} = 40.314 \text{ €/a} + 21.600 \text{ €/a} - 36.000 \text{ €/a} = \underline{\underline{25.914 \text{ €/a}}}$$

Berechnung der Betriebskosten (V2)

Betriebskosten_{V2} = Wartung + Reinigung + Bauunterhalt + Energiekosten

Betriebskosten_{V2} = 6.000 €/a + 2.000 €/a + 2.990 €/a + 25.914 €/a = **36.904 €/a**

3.3.3 Zusammenfassung Variante 2

Die **Herstellungskosten liegen mit 743.012 €** um fast 100.000 € über denen der Variante 1. Die **Betriebskosten** hingegen zeigen keine nennenswerte Einsparung auf. Sie sind mit **36.904 €/a** nur knapp 1.000 €/a geringer als die der zuvor untersuchten Anlage.

Die Versorgungssicherheit wird niedriger als bei Variante 1 bewertet. Bei einer Zweikesselanlage kann der Ausfall eines Wärmeerzeugers zwar vorübergehend kompensiert werden, Schäden bei der Hackgutaustragung legen jedoch beide Kessel lahm. Um dies zu vermeiden, müssten zwei getrennte Austragungssysteme installiert werden, was die Herstellungskosten noch weiter erhöhen würde.

3.4 Variante 3 konventionell (Gas)

Die dritte Anlage stellt mit 2 gasbetriebenen Brennwertkesseln sicherlich eine Standardvariante dar. Zur gleichmäßigen Auslastung sollten auch hier, wie bei Variante 2, ein Führungs- und ein Folgekessel jeweils im Wechsel betrieben werden. Das BHKW dient auch hier zur Deckung der Grundlast.

Auswahl Kesselgröße

1 Zweikesselanlage Gas Brennwert (2 x 280 kW) ca. 560 kW

1 BHKW Grundlast ca. 40 kW

Die maximale Heizleistung von Variante 3 ist mit 600 kW identisch mit der von Variante 2. Durch das gute Regelverhalten bei Brennwertkesseln könnte prinzipiell auf einen Pufferspeicher verzichtet werden. Für eine hohe Auslastung des BHKWs ist dieser aber gerade im Sommerbetrieb unverzichtbar.

Eine Betriebssicherheit ist bei einer Zweikesselanlage grundsätzlich gegeben.

In Abbildung 11 ist das zugehörige Anlagenschema mit 2 Gaskesseln, BHKW und Pufferspeicher mit Anbindung an die Gebäude dargestellt.

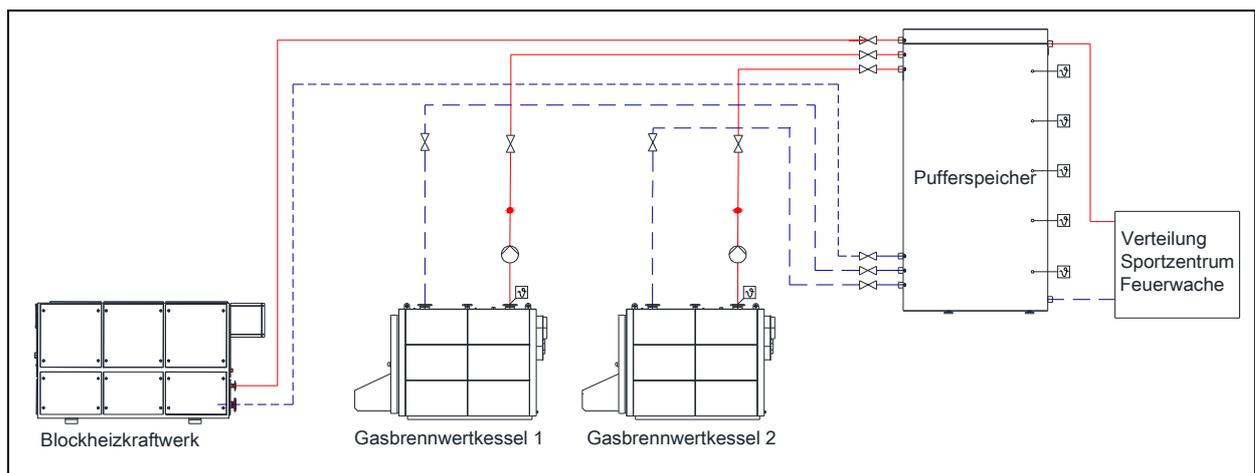


Abb. 11: Kesselschema Variante 3

3.4.1 Kostenschätzung nach DIN 276 (V3)

Als Grundlage für die Kostenschätzung dienen entsprechende Angebote und Berechnungen wie in Variante 1 beschrieben.

Die Zusammenstellung der Kostenschätzung für Variante 3 (Abb. 12) ergibt Kosten in Höhe von 377.500 €.

		(brutto)
KG 100	Grundstück	0,00 €
KG 200	Herrichten und Erschließen	29.200,00 €
	Hausanschluss Wasser	
	Angebot Infra	4.200,00 €
	Hausanschluss Gas	
	Angebot Infra	25.000,00 €
KG 300	Bauwerk	94.800,00 €
	150 m² BGF x 632 €/m²	94.800,00 €
KG 400	Technische Anlagen	173.500,00 €
KG 410	Abwasser- Wasser- Gasanlagen	3.000,00 €
	Installation Hausanschluss	3.000,00 €
KG 420	Wärmeversorgungsanlagen	170.500,00 €
	2 x Gas Brennwertkessel	50.000,00 €
	BHKW	65.500,00 €
	Pufferspeicher Verteiler, Regelung	55.000,00 €
KG 500	Außenanlagen	0,00 €
	In Kosten Sportzentrum enthalten	
KG 600	Ausstattung und Kunstwerke	0,00 €
KG 700	Baunebenkosten	80.000,00 €
KG 710	Bauherrenaufgaben	14.000,00 €
	Bauherr Bau (24 % von netto fremdpl.)	5.000,00 €
	Bauherr Tech. (20 % von netto eigenpl.)	9.000,00 €
KG 730	Architekten- und Ingenieurleistungen	66.000,00 €
	Architekt	13.000,00 €
	Statiker	8.000,00 €
	TGA	45.000,00 €
Summe	Kostenschätzung: 26.09.13	377.500,00 €

Abb. 12: Kostenschätzung nach DIN 276 Variante 3

3.4.2 Betriebskostenzusammenstellung (V3)

Die Betriebskosten der Anlage werden entsprechend Punkt 3.2.2 berechnet.

$$\text{Betriebskosten} = \text{Wartung} + \text{Reinigung} + \text{Bauunterhalt} + \text{Energiekosten}$$

Zusammenstellung der nicht energiegebundenen Kosten:

	2 x Gasbrennwertkessel je 280 kW	BHKW 40/20 KW
Wartung in €/a	600	3.000
Reinigung in €/a	-	-
Bauunterhalt* €/a	1.488 €/a (0.5 % der Anschaffungskosten der gesamten Anlage)	

Abb. 13: Zusammenstellung der nicht energiegebundenen Kosten (V3)

Berechnung der Energiekosten

Für die folgenden Berechnungen werden die gleichen Energiepreise wie in Variante 1 angenommen.

Verteilung der bereitzustellenden Wärmemenge Q_{ges} auf die einzelnen Erzeuger:

$$Q_{\text{ges}}: \underline{\quad\quad\quad} 1.334 \text{ MWh/a}$$

$$Q_{\text{BHKW}}: \quad 240 \text{ MWh/a} \quad (\text{Gasverbrauch}_{\text{BHKW}} = 1,5 \times Q_{\text{BHKW}} = 360 \text{ MWh/a})$$

$$Q_{\text{Gas}}: \quad 1.094 \text{ MWh/a}$$

$$\text{Energiekosten}_{\text{ges}} = \text{Energiekosten}_{\text{Hack}} + \text{Energiekosten}_{\text{Gas}} - \text{Ertrag}_{\text{BHKW}}$$

$$\text{Energiekosten}_{\text{Gas}} = 1.454 \text{ MWh/a} \times 0,06 \text{ €/kWh} = 87.240 \text{ €/a}$$

$$\text{Ertrag}_{\text{BHKW}} = 120 \text{ MWh/a} \times 0,3 \text{ ct/kWh} = 36.000 \text{ €/a}$$

$$\text{Energiekosten}_{\text{ges}} = 87.240 \text{ €/a} - 36.000 \text{ €/a} = \underline{\underline{51.240 \text{ €/a}}}$$

Berechnung der Betriebskosten (V3)

Betriebskosten_{V3} = Wartung + Reinigung + Bauunterhalt + Energiekosten

Betriebskosten_{V3} = 3.600 €/a + 0 €/a + 1.488 €/a + 51.240 €/a = **56.328 €/a**

3.4.3 Zusammenfassung Variante 3

Bei den **Herstellungskosten** schneidet die Variante 3 mit **377.500 €** wesentlich günstiger als die Varianten 1 und 2 ab. Es müssen ca. 260.000 oder 360.000 € weniger investiert werden.

Betrachtet man hingegen die **Betriebskosten von 56.328 €/a**, schaut das Verhältnis ganz anders aus. Hier ist mit jährlichen Mehrausgaben von rund 19.000 bis 20.000 € zu rechnen.

Bei der Versorgungssicherheit ist Variante 3 gleich der Variante 2 etwas niedriger als Variante 1 zu bewerten. Eine Zweikesselanlage kann grundsätzlich den Ausfall eines Wärmeerzeugers vorübergehend kompensieren. Allerdings ist hier wieder die Abhängigkeit von nur einem Brennstoff als negativ zu sehen.

3.5 Nutzwertmatrix

Als Zusammenfassung und Auswertung der zuvor zusammengetragenen Daten soll die folgende Nutzwertmatrix (Abb. 14) dienen. Die Bewertungskriterien für die drei Varianten und die einzelnen Gewichtungsfaktoren wurden im Vorfeld zusammen mit der Leitung der Haustechnikabteilung festgelegt.

Die Bewertung der Erfüllungsgrade erfolgte nach Zusammenstellung der Varianten unabhängig voneinander.

Kriterium	Gewichtung Faktor (1-5)	Erfüllungsgrad (0-5)					
		Variante 1	G x V1	Variante 2	G x V2	Variante 3	G x V3
Anschaffungskosten	3	4	12	4	12	5	15
Betriebskosten	4	5	20	4	16	3	12
Versorgungssicherheit	5	5	25	4	20	4	20
Ökologie	3	4	12	5	15	2	6
politisches Ansehen	4	5	20	5	20	3	12
Ergebnis (Nutzwert)	NW_{max}95		89		83		65

Abb. 14: Nutzwertmatrix

Die Gewichtung = G ist mit den Faktoren 1-5 gegliedert

Die Varianten = V sind mit den Faktoren 0-5 bewertet

V1 bivalent (Holz/Gas)

V2 monovalent (Holz)

V3 konventionell (Gas)

Nach Auswertung der Matrix schneidet die bivalente Anlage (Variante 1) mit 89 Punkten etwas besser als die monovalente Anlage (Variante 2) mit 83 Punkten ab. Die konventionelle Anlage (Variante 3) liegt mit 65 Punkten weit abgeschlagen zurück.

Um die höheren Investitionskosten von Variante 1 zu rechtfertigen, wird diese in der Folge mit der Variante 3 in einer Kapitalwertberechnung verglichen.

3.6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Auf Basis der zuvor erarbeiteten Ergebnisse wird nun betrachtet, ob sich die höheren Investitionskosten der Variante 1 gegenüber Variante 3 wirtschaftlich begründen lassen. Hierzu wird eine Kapitalwertberechnung nach der Vorlage aus dem Skript FM erstellt.

Grundlage der Berechnung ist die Formel:

$$K = - A_0 + \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^t}$$

Der Kapitaleinsatz A_0 entspricht dem Mehraufwand V1 zu V3

Die Betriebskosten der Variante 1 sind mit einem jährlichen Preissteigerungsindex von 4% belegt. Bei der Variante 3 beträgt die Preissteigerung 5%/a. Da bei beiden Varianten die Energiekosten die sonstigen Kosten weit übersteigen, bezieht sich die Preissteigerung auf den Durchschnitt der letzten 10 Jahre für den jeweiligen Brennstoff (Quelle: C.A.R.M.E.N.)

Als Rückflüsse R wird die jährliche Einsparung bei den Betriebskosten von V1 zu V3 definiert.

Der Kapitalisierungszinssatz i für langfristige Darlehen der Stadt Fürth beträgt nach Aussage der Kämmerei aktuell 1 %.

In der folgenden Tabelle zur Barwertberechnung (Abb. 15) sind jeweils nur die ersten und letzten zwei Jahre sowie die Jahre 10 und 11 dargestellt. Hieraus ist zu erkennen, dass der Barwert im Verlauf des zehnten Jahres positiv wird. Ab diesen Zeitpunkt erwirtschaftet die Anlage V1 Gewinn gegenüber der Variante 3.

Jahre ab Erstellung	T=0	1	2	10	11	19	20
Mehraufwand V1 zu V3 in €	269.512	0					
Betriebskosten V3 in €		56.328	59.144	87.383	91.752	135.560	142.338
Betriebskosten V1 in €		37.883	39.398	53.919	56.076	76.744	79.814
Einsparung Betriebskosten V1 zu V3 in €		18.445	19.746	33.464	35.676	58.816	62.524
Einsparung Betr. diskontiert V1 zu V3 in €	-269.512	18.262	19.357	30.294	31.977	48.684	51.241
Barwert 20 Jahre in €		-251.067	-231.321	-15.852	19.824	402.420	464.944
Barwert 20 Jahre diskontiert in €		-251.250	-231.893	-30.555	1.423	328.359	379.600

Abb. 15 Tabelle Barwertberechnung

Der Barwert **K** der Anlage liegt nach 20 Jahren bei 379.600 €. Die Investition ist vorteilhaft.

Folgendes Diagramm (Abb. 16) zeigt den Barwertverlauf über den gesamten Betrachtungszeitraum von 20 Jahren. Der berechnete Amortisationszeitpunkt liegt bei 10.9 Jahren.

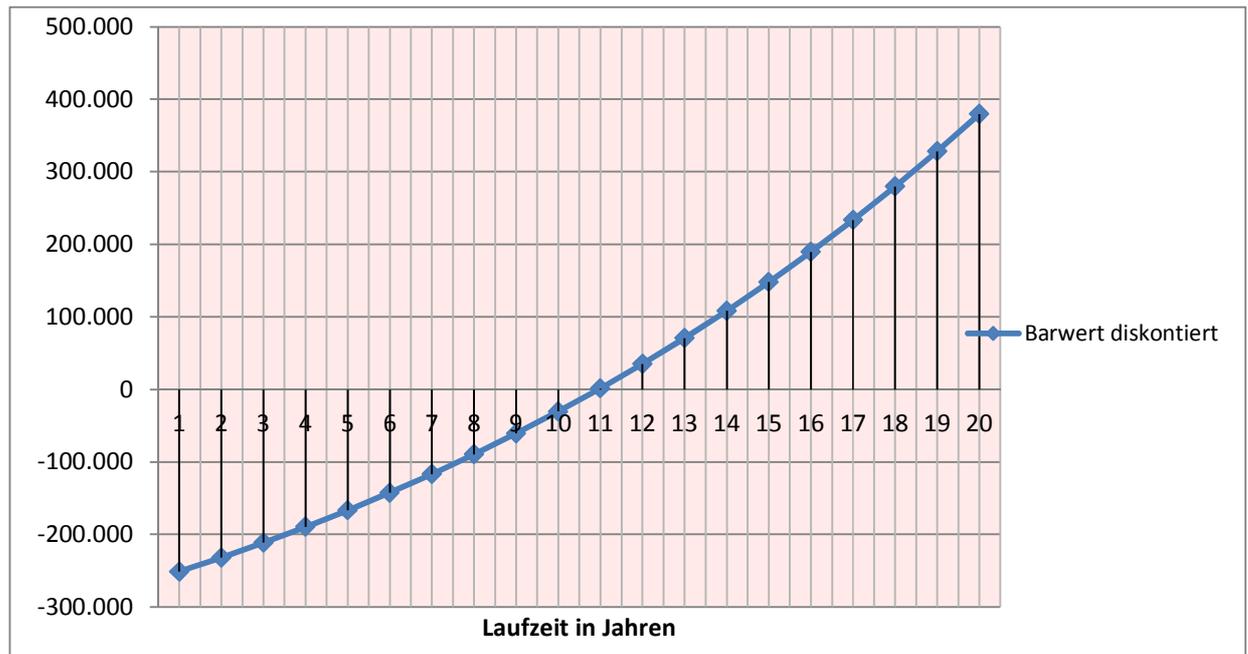


Abb. 16: Diagramm Barwertverlauf - Amortisationszeitpunkt

4 Fazit

Abschließend lässt sich folgendes Ergebnis zusammenfassen:

Von den drei untersuchten Varianten ist eindeutig die Umsetzung von Variante 1 zu empfehlen. Die bivalente Anlage schneidet beim Vergleich mittels einer Nutzwertmatrix mit 89 von 95 möglichen Punkten am besten ab.

Die nachfolgende Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ergibt eine Amortisationszeit von 10,9 Jahren gegenüber der Standardvariante 3.

Die Berechnung des Barwertes ergibt nach einer Anlagenlaufzeit von 20 Jahren einen Gewinn von 379.600 €.

Dieses Ergebnis sollte zu der Entscheidung führen, dass trotz knapper Kassen im öffentlichen Bereich die höheren Investitionskosten für die Variante 1 bereitgestellt werden.

II. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Bild vom Holzabfall zur Heizenergie	1
Abb. 2: 3D Ansicht Sportzentrum und Feuerwache im Hintergrund aus GIS Stadt Fürth	5
Abb. 3: Tabelle grundlegende Gebäudedaten.....	6
Abb. 4: Tabelle Heizungskomponenten mit Auslegungstemperaturen	6
Abb. 5: Kesselschema Variante 1	9
Abb. 6: Kostenschätzung nach DIN 276 (V1).....	10
Abb. 7: Zusammenstellung der nicht energiegebundenen Kosten (V1)	11
Abb. 8: Kesselschema Variante 2	13
Abb. 9: Kostenschätzung nach DIN 276 Variante 2	14
Abb. 10: Zusammenstellung der nicht energiegebundenen Kosten (V2)	15
Abb. 11: Kesselschema Variante 3	17
Abb. 12: Kostenschätzung nach DIN 276 Variante 3	18
Abb. 13: Zusammenstellung der nicht energiegebundenen Kosten (V3)	19
Abb. 14: Nutzwertmatrix	21
Abb. 15 Tabelle Barwertberechnung	22
Abb. 16: Diagramm Barwertverlauf - Amortisationszeitpunkt	23

III. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	-	Abbildung
BHKW	-	Blockheizkraftwerk
BKI	-	Baukosten Index
ca.	-	circa
GIS	-	Geografisches Informationssystem
GmbH	-	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GWF	-	Gebäudewirtschaft Fürth
Mio.	-	Millionen
vgl.	-	vergleiche
V1	-	Variante 1
V2	-	Variante 2
V3	-	Variante 3
z. B.	-	zum Beispiel

IV. Quellenverzeichnis

- [BKI] Baukosten Index 2010 vom Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern GmbH
- [FM Skript] Lehrgangsunterlagen zum Fachwirt FM der HWK Oberfranken 2013
[GIS Stadt Fürth] Geografisches Informationssystem der Stadt Fürth
- [G-Tec] Entwurfsplanung zur Feuerwache, Haustechnik Büro G-TEC Ingenieure GmbH, Kölner Straße 7, 57482 Wenden-Rothemühle
- [Viessmann] Produktunterlagen Angebote und Wirtschaftlichkeitsberechnung BHKW der Viessmann Deutschland GmbH
- [VIP] Entwurfs- und Ausführungsplanung zum Sportzentrum, Haustechnik Büro VIP GmbH, Pillenreuther Straße 34, 90459 Nürnberg
- [C.A.R.M.E.N.] Centrales Agrar- Rohstoff- Marketing- und Energie-Netzwerk
<http://www.carmen-ev.de/>

V. Eidesstattliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder unveröffentlichten Schriften entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.“

Erlangen, den 05.12.2013

Detlef Schultheiß