



KMG Ingenieurgesellschaft mbH
Wankelstraße 52, 50996 Köln

Tel.: 02236 / 96270-0
Fax: 02236 / 96270-99
E-Mail: kmg@kmg-koeln.de

Sanierung Rathaus Siegburg
Projekt-Nr. 1158.20

Datum: 24. Juli 2020
Seite 1

**Entscheidungsvorlage
Energiekonzept Wärmeversorgung**

Index A

Maßnahme:	Sanierung Rathaus Siegburg
Bauherr:	Kreisstadt Siegburg Nogenter Platz 10 53 721 Siegburg
Architekt:	ppp architekten und Stadtplaner GmbH Kanalstr. 52 23552 Lübeck
TGA-Planung:	KMG Ingenieurgesellschaft für Gebäude- und Versorgungstechnik mbH Wankelstraße 52 50996 Köln

Entscheidungsvorlage Energiekonzept Wärmeversorgung

1. Einführung / Aufgabenstellung

1.1 Einführung

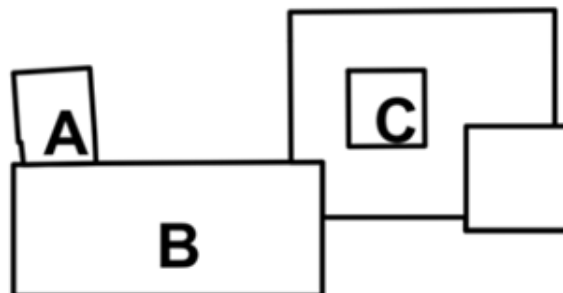
Die Kreisstadt Siegburg am Nogenter Platz 10 beabsichtigt das Rathaus zu sanieren und um ein Geschoss aufzustocken.

Es handelt sich um einen Bestandsbau aus den 1960er Jahren. Der Gebäudekomplex besteht aus 3 Bauteilen:

Bauteil A ist der Verbindungstrakt mit unmittelbarem Anschluss an ein Wohngebäude.

Bauteil B ist der Hochbautrakt, dieser soll um ein 5. Geschoss als Staffelgeschoss erweitert werden.

Bauteil C ist der Saaltrakt, in dem neben Büros auch der Ratsaal angeordnet ist.



1.2 Aufgabenstellung

Die KMG Ingenieurgesellschaft mbH ist mit den Ingenieurleistungen der Technischen Ausrüstung beauftragt. Das Rathaus wird im Zuge der Sanierungsmaßnahme komplett leergezogen. Dabei wird es bis auf das statische Grundgerüst zurückgebaut und dann insgesamt erneuert (u.a. Fassade, Innenausbau, TGA).

Wunsch des Auftraggebers ist es ein nachhaltiges Energie- und Versorgungskonzept – hier nachfolgend für die Wärmeerzeugung – zu entwickeln. Diese Unterlage stellt eine Entscheidungsvorlage dar, auf deren Grundlage der Bauherr in Siegburg in die Lage versetzt werden soll. Die Entscheidung mit Blick auf die zukünftige Wärmeerzeugung treffen zu können.

Zwingend anzuwenden sind neben den allgemeinen Verordnungen und Bauvorschriften unter anderem auch die EnEV 2016. Ein finaler energetischer Standard, der über EnEV 2016 hinausgeht, ist nicht definiert. Klarheit besteht allerdings darin, dass das Gebäude keinesfalls in einen Passivhausstandard umgesetzt werden soll. Es ist eine DGNB-Zertifizierung angestrebt.

Die nachfolgende Entscheidungsvorlage beschreibt verschiedene Varianten zur Wärmeversorgung.

Zum Abschluss dieser Entscheidungsvorlage schlägt der Berichtsverfasser aus seiner Sicht eine empfehlenswerte Variante vor und wird im Rahmen des Berichts Varianten ausschließen.

Entscheidungsvorlage Energiekonzept Wärmeversorgung

2. Grundlagen / Vorbetrachtungen

2.1 Grundlagen

Als Grundlage für die Beheizungsvarianten wurde mit dem Büro MNP (Bauphysik) auch im besonderen Hinblick auf die DGNB-Zertifizierung 3 Varianten definiert:

Variante 1 – Pelletkessel mit Gas-Brennwertkessel

Variante 2 – Luftwärmepumpe mit Brennwertkessel

Variante 3 – Mini-BKHW mit Gas-Brennwertkessel

Die Variante Geothermie wurde betrachtet und ausgeschlossen.

2.2. Vorbetrachtungen

Das Erneuerbare Energiewärmegesetz (EEWärmeG) ist ein deutsches Bundesgesetz, zur Schonung fossiler Ressourcen, welches den Ausbau erneuerbaren Energien im Wärme- und Kältebereich bei der energetischen Gebäudeversorgung vorantreiben soll.

Eigentümer von Gebäuden mit einer Nutzfläche von mehr als 50 m², die unter Einsatz von Energie beheizt oder gekühlt werde, müssen den Wärmeenergiebedarf durch Anteile der Nutzung von erneuerbaren Energien decken.

Die Forderung des EEWärme-Gesetz sind erfüllt:

- Bei Nutzung von solarer Strahlungsenergie, wenn der Wärmeenergiebedarf zu mindestens 15 % hieraus gedeckt wird.
- Bei Nutzung von gasförmiger Biomasse, wenn mindestens 30 % des Wärmeenergiebedarfs hieraus gedeckt wird.
- Bei Nutzung von flüssiger oder fester Biomasse, wenn der Wärmeenergiebedarf zu mindesten 50 % hieraus gedeckt wird.
- Bei Nutzung Geothermie und Umweltwärme, wenn mindestens 50 % der Wärmeenergie aus den Anlagen zur Nutzung dieser Energie gedeckt wird.

Es besteht die Möglichkeit Ersatzmaßnahmen zu ergreifen, die die Verpflichtung zur Einhaltung des erneuerbaren Energiewärmegesetzes erfüllen, wenn u.a. der Wärmeenergiebedarf zu mindestens 50 % aus Anlagen zur Nutzung von Abwärme gedeckt wird oder der Wärmeenergiebedarf zu mindestens 50 % aus Kraftwärmekopplungsanlagen gedeckt werden. Darüber hinaus lässt das Gesetz auch Kombinationen zu, d.h. die erneuerbaren Energien oder Ersatzmaßnahmen können zur Erfüllung untereinander oder auch miteinander kombiniert werden. Dabei muss der prozentuale Anteil der tatsächlichen Nutzung der einzelnen erneuerbaren Energien und Ersatzmaßnahmen, im Verhältnis zu jeweils nach dem EEWärme-Gesetz vorgesehener Nutzung, in der Summe 100 ergeben.

Entscheidungsvorlage Energiekonzept Wärmeversorgung

3. Konzept Wärmeerzeugung

3.1 Einführung

Für die Sanierung des Rathauses werden drei Varianten der Wärmeversorgung untersucht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das EEWärmeschutzgesetz (EEWärmeG) erfüllt wird.

Auf Basis der Vorentwurfspläne der ppp Architekten wurde folgende Heizleistung überschlägig ermittelt:

Statische Heizung	263 kW
Dynamische Heizung	<u>27 kW</u>
Heizleistung gesamt	290 kW

Dabei wurde zugrundegelegt, dass aufgrund der Forderung ein Low-Tec-Gebäude zu realisieren, die Büro- und Fraktionsräume natürlich, also über Fenster belüftet werden.

Lüftungsanlagen sind derzeit ausschließlich für den Ratssaal, den Multifunktionsraum und ein Besprechungsraum in Bauteil B vorgesehen.

WC-Bereiche, Duschen und Umkleiden werden sofern erforderlich be- und entlüftet.

Aus der ermittelten Heizleistung wurde eine Jahreswärmearbeit von ca. 490 MWh / a ermittelt.

3.1.1 Wärmeerzeugung mit Erdgas

Am häufigsten verbreitet ist auch heute noch der Einsatz von Brennwertkesseln. Bei der Brennwerttechnik entsteht, bei der Verbrennung von Erdgas, neben Kohlendioxid (CO₂) auch Wasser (H₂O). Bei der normalen Verbrennung liegt das anfallende Wasser im Abgas dampfförmig vor. In der Brennwerttechnik wird dieser Wasserdampf unter dem Taupunkt abgekühlt und es entsteht flüssiges Kondensat. Bei dieser Umwandlung wird zusätzliche Wärme frei, die dem Heizsystem zugeführt wird.

Brennwerttechnik ist so sparsam, weil bei der Verbrennung von Erdgas sich der im Brennstoff enthaltene Wasserstoff mit dem Sauerstoff auf der Verbrennungsluft zu Wasserdampf verbindet. Dieser Wasserdampf enthält Wärmeenergie, die bei herkömmlichen Heizungsanlagen durch das heiße Abgas im Kamin verloren geht.

Brennwertkessel dagegen nutzen diese Energie, in dem der Wasserdampf soweit abgekühlt wird, dass aus dem Wasserdampf wieder Wasser wird. Dieser Vorgang bezeichnet man als Kondensation.

Zur Kühlung des Wasserdampfes nutzt man üblicherweise die Rücklauftemperatur des Heizungssystems. Damit dieser Effekt überhaupt funktionieren kann, muss die Temperatur des Rücklaufwassers unter 57 °C liegen, denn erst unterhalb dieses Temperaturpunktes wird der Wasserdampf wieder zu Wasser. Üblicherweise liegt die Rücklauftemperatur, in Systemen mit Brennwerttechnik, bei 45°C oder 40 °C. Je niedriger die Rücklauftemperatur desto effizienter funktioniert die Brennwerttechnik.

Dabei erzielen Brennwertgeräte einen verbrennungstechnischen Wirkungsgrad von über 110 %

Entscheidungsvorlage Energiekonzept Wärmeversorgung

3.1.2 Wärmeversorgung mit Biomasse wie Pellets oder Hackschnitzel

Zu Pellets bzw. Hackschnitzel als Brennstoff gibt der Berichtverfasser folgende Hinweise und Erläuterungen:

Westeuropa und damit auch Deutschland sind bezüglich fossiler Brennstoffe wie Erdöl oder Erdgas stark abhängig vom Ausland. Außerdem sind die Preise in den letzten Jahren stark gestiegen. Die Vorräte werden in einer Zeitspanne von 60 – 70 Jahren voraussichtlich erschöpft sein, was bis dahin zu weiteren drastischen Preisanstiegen führen wird.

Daher ist es sinnvoll, auf regenerative Energien, wie Biomassen zu setzen. Holz aus eigenen Wäldern oder noch besser aus Abfällen ist eine gute Alternative, die jedoch den Nachteil hat, dass sich die Verbrennung in Kleinanlagen schlechter regeln lässt. Darüber hinaus ist die Beschickung und Lagerung aufwendiger.

Um diese Nachteile gegenüber Heizöl und Gas zumindest teilweise zu kompensieren, wurden die Pellets entwickelt. Pellets sind kleine gepresste Holzstücke, welche sich fast wie Heizöl verfeuern lassen (Durchmesser auf 6 – 8 mm und Länge 10 – 50 mm).

Vorteile von Pellets, gegenüber Heizöl und Erdgas, sind unter anderem:

- Stabile und günstige Preise
- Verfügbarkeit unabhängig vom Ausland
- Der Primärenergiefaktor beträgt lediglich 0,2 (zum Vergleich Gas und Öl: 1,1)
- CO₂ neutral (die CO₂-Menge, welche bei der Verbrennung erzeugt wird, wurde beim Heranwachsen verbraucht)

Nachteile von Pellets, gegenüber Heizöl und Erdgas, sind unter anderem:

- Der Heizwert beträgt mit 5 kWh/kg etwa die Hälfte von einem Liter Öl bzw. 1 m³ Gas
- Da Pellets verglichen mit anderen Brennstoffen eine relativ hohe Schüttdichte von rund 650 kg/m³ aufweisen, ist die erforderliche Lagermenge gegenüber Öl um den Faktor 3 größer (bei Hackschnitzel sogar um den Faktor 10)
- Bei der Verbrennung fallen Asche (ca. 0,5%) und Feinstaub an. Die Asche, sowie der Feinstaubfilter, müssen separat gesammelt und entsorgt werden.
- Die Aufstellfläche für Pellets-Heizkessel ist etwa 2 – 4-mal größer als für herkömmliche Gaskessel.
- Die Investitionskosten einer solchen Anlage sind ungefähr um den Faktor 4 – 5 höher als für herkömmliche Gaskessel.
- Der Wartungs- und Bedienungsaufwand und die daraus resultierenden Kosten sind größer als bei Öl- oder Gaskesseln, da die Verbrennung von Holz u.a. im Brennraum sowie im Abgaskamin einen erhöhten Reinigungsaufwand erfordert.

Entsprechend einer überschlägigen Berechnung ergibt sich für das Rathaus eine jährliche Wärmearbeit von ca. 490.000 kWh/a. Dies entspricht bei der Verwendung einer Grundlastwärmeerzeugung mit Holzpellets und einem Abdeckungsgrad von 70 % der Jahreswärmearbeit, einem Bedarf von ca. 116 m³/Jahr.

Bei zweimaliger Anlieferung und einem Befüllungsgrad von 70 % entspricht dies einem Lagerraum von 85 m³. Zusätzlich muss Raum für die Transportschnecke mit Schüttrutsche vorgesehen werden.

Entscheidungsvorlage Energiekonzept Wärmeversorgung

Bei einer lichten Höhe von ca. 2,50 m, beträgt die zusätzlich erforderliche Fläche ca. $35 \text{ m}^2 + 15 \text{ m}^2 = \text{ca. } 50 \text{ m}^2$.

Der Flächenbedarf für Pellet-Kessel, Brennwertkessel und Zubehör beträgt ca. 50 m^2 und die Raumhöhe mindestens 3 m. Da die erforderliche Lagermenge für Hackschnitzel um mehr als 3-mal größer ist als bei Pellets, wird hier auf eine weitere Betrachtung verzichtet.

3.1.3 Wärmeerzeugung mit Luft-Wasser-Wärmepumpe in Verbindung mit Photovoltaik

Das Prinzip einer Luft-Wasser-Wärmepumpe ist denkbar einfach. Umgebungsluft wird angesaugt, die darin gespeicherte Wärme entzogen und für den Heizkreislauf aufbereitet.

Im Detail arbeitet die Luft-Wasser-Wärmepumpe mit einem Ventilator, der die Außenluft ansaugt und diese an den Verdampfer leitet. Hierbei wird die gespeicherte Wärmeenergie der Luft an einen Kältemittelkreislauf abgegeben.

Durch den niedrigen Siedepunkt dieses flüssigen Kältemittels reicht die Wärme der angesaugten Luft aus, damit das Kältemittel den Aggregatzustand in gasförmig ändert. Das nun gasförmige Kältemittel wird an den Verdichter geleitet, um mittels Druck kompensiert zu werden.

Bei diesem Vorgang entsteht noch mehr Wärme, die nötig ist, um im Wärmetauscher das Brauch- und Heizungswasser auf Temperatur zu bringen.

Durch diese Wärmeabgabe an den Heizwasserkreislauf kühlt das immer noch unter Hochdruck stehende Kältemittel wieder ab und wird durch ein Entspannungsventil vom Druck befreit.

Jetzt kann der Kreislauf wieder von vorne beginnen, denn das Kältemittel ist wieder in seinem ursprünglichen Zustand im Verdampfer angelangt.

Natürlich wird für diese Technik nicht ausschließlich Luft benötigt, auch Primärenergie (Strom) ist nötig, um die Wärmepumpe zu betreiben. Diese Primärenergie wird in dem vorgeschlagenen Konzept z.T. über eine auf dem Dach angeordnete PV-Anlage erzeugt.

Der Stromverbrauch ist in der Regel jedoch gering. Lediglich bei sehr kalten Außentemperaturen muss die angesaugte Luft zusätzlich nachgeheizt werden, was zu einem höheren Primärenergiebedarf führt.

3.1.4 Wärmeerzeugung mit Wärmepumpe in Verbindung mit Geothermie

Geothermie ist die unterhalb der festen Erdoberflächen gespeicherte Wärmeenergie. Man nennt dies daher in Deutschland auch Erdwärme.

Diese, in der Erde gespeicherte Wärme, ist annähernd unerschöpflich.

Geothermische Energie lässt sich direkt als Wärmeenergie und, falls wie hier notwendig, mit einer zwischengeschalteten Wärmepumpe, nutzen. Mit den bis heute entwickelten Technologien ist es praktisch nahezu überall möglich diese umweltfreundliche und klimaschonende Energiequelle zu nutzen.

Entscheidungsvorlage Energiekonzept Wärmeversorgung

Verglichen mit anderen Ressourcen schonenden und regenerativen Energiequellen, wie z.B. Wind oder Solarenergie, ist die Geothermie für den Verbraucher immer verfügbar. Geothermische Energie ist unabhängig von Wetter, Klima und Tages- oder Jahreszeit nutzbar.

Die Grundvoraussetzung für eine effektive Nutzung der Geothermie durch Erdwärmesonden ist eine Gebäudetechnik mit modernen Flächensystemen zur Heizung und Kühlung, die mit den geothermisch erzeugten Temperaturen (niedrigen Heiz- und hohen Kaltwassertemperaturen) auskommen. In der Regel werden Erdwärmesonden in Kombination mit einer Wärmepumpe betrieben.

Erdwärmesonden sind Wärmeüberträger, die vertikal oder schräg im Untergrund eingebracht werden.

Für die Festlegung der Entzugsleistung ist ein geologisches Gutachten erforderlich, da es eine thermische Simulation des Untergrundes einschließt, mit der Aussage, welche Leistungen und Wärmemengen dem Gebäude langfristig aus geothermischen Quellen zur Verfügung gestellt werden können.

Bei Bohrungen bis 99 m Tiefe ist eine Anzeige bei der Wasserbehörde erforderlich.

Für Bohrungen über 99 m ist eine bergbaurechtliche Beantragung erforderlich.

Für eine erste Abschätzung der Leistung der Wärmesonden kann von durchschnittlich 45 - 50 Watt / m ausgegangen werden.

Der Bohrlochdurchmesser für die vorgenannten Sonden liegt bei ca. 150 mm. Der Sondenabstand untereinander sollte min. 6 – 7 m betragen.

Im Heizbetrieb wird die Geothermie als Wärmequelle genutzt. Die Energie wird von der integrierten Wärmepumpe auf das für das Gebäude nutzbare Niveau angehoben. Im Sommer kann die in der Erde gespeicherte Kälteenergie dann anschließend zur Kühlung von bestimmten Räumen genutzt werden. Gleichzeitig wird hiermit das Erdreich für den Winterbetrieb wieder regeneriert.

Entscheidungsvorlage Energiekonzept Wärmeversorgung

3.2 Variantenvergleich

3.2.1 Variante 1

Pelletkessel mit 35 % Leistungsanteil, entsprechend 100 kW
Gas-Brennwertkessel mit 65 % Leistungsanteil, entsprechend 190 kW

Der Pelletkessel liefert ca. 70 % und der Brennwertkessel ca. 30 % der Jahreswärmearbeit.

Platzbedarf Heizzentrale für Kesselanlagen und Verteilung ca. 50 m².

Platzbedarf für die Lagerung der Pellets ca. 35 m²(bei 2-maliger Anlieferung)

3.2.2 Variante 2

Elektrisch betriebene Luft- / Wasserwärmepumpe und Gas-Brennwertkessel

Leistungsaufteilung wie vor – also:

Wärmepumpe: 100 kW (entsprechen 35 % Leistung)

Brennwertkessel: 190 kW (entsprechen 65 % Leistung)

Anteile der Jahreswärmearbeiten wie vor.

Platzbedarf für Wärmepumpe, Kessel und Verteilung ca. 60 m².

Der Verdampfer der Wärmepumpe muss im Außenbereich aufgestellt werden.

3.2.3 Variante 3

Mini-BHKW und Gas-Brennwertkessel.

Das Mini-BHKW mit ca. 10 % Leistungsanteil und der Brennwertkessel mit 90 % Leistungsanteil.

Thermischer Leistung BHKW: 30 kW

Brennwertkessel: 260 kW

Das BHKW liefert dann 25 % und der Brennwertkessel 75 % der Jahreswärmearbeit.

Zur Erfüllung des EEWärmeG wird das BHKW mit Biogas betrieben.

Ob das EEWärmeG mit einem Leistungsanteil des BHKWs von 10 % erfüllt wird ist fraglich. Bei einem höheren Leistungsanteil erreicht das BHKW jedoch nicht die erforderlichen Volllaststunden für den wirtschaftlichen Betrieb.

Entscheidungsvorlage Energiekonzept Wärmeversorgung

3.2.4 Variante 4

Voruntersuchung geothermische Nutzung

Der Berichtsverfasser hat die Möglichkeit einer geothermischen Nutzung geprüft und kommt zu folgendem Ergebnis:

Der Geologische Dienst NRW bietet über das Internet die Möglichkeit die Ergiebigkeit ortsbezogen zu überprüfen.

Für Erdwärmekollektoren wird die Ergiebigkeit mit „zu flach“ ausgewiesen, also nicht nutzbar.

Für Erdwärmesonden ist die Ergiebigkeit bei einer Bohrlänge bis 40 m bei Klasse 3b und somit mittel.

Die Ergiebigkeit ist gut, also Klasse 2b, bei einer Bohrlänge (Sondenlänge) von 60 – 90 m.

In der Folge einer rein theoretischen Betrachtung ermittelt sich die Anzahl der erforderlichen Bohrungen wie folgt:

Bei einer Bohrtiefe pro Bohrung von 90 m, kann eine Ergiebigkeit (bei 45 W/m) von ca. 4 kW pro Bohrung bzw. pro Sonde erzeugt werden. Die tatsächliche Ergiebigkeit kann nur durch einen thermischen Resonsetest festgestellt werden.

Üblicherweise erfolgt eine 1/3-2/3-Teilung (Geothermie / Spitzenlast-Kessel), so dass ca. 100 kW über Geothermie realisiert werden sollten.

Bei einer Leistung von 4 kW pro Sonde sind hier ca. 25 Bohrungen erforderlich, um die Leistung von 100 kW zu erzeugen.

Damit eine dauerhafte Ergiebigkeit der Erde gewährleistet ist, wird zwischen den Sonden ein Abstand von 8 m realisiert. Für die weitere Betrachtung hat der Berichtsverfasser einen Sondenabstand von 8 m zugrunde gelegt.

Die zugehörige Wärmepumpe hat eine thermische Leistung von 100 kW.

Daraus ergibt sich eine Verdichtungsleistung von ca. 27 kW bei einem cop von 3,75 und eine Verdampferleistung von ca. 73 kW.

Bei der beschriebenen theoretischen Ergiebigkeit von 45 W/m Sondenlänge ergibt sich eine Gesamtsondenlänge von $73.000 \text{ W} : 45 \text{ W/m} = 1.622 \text{ m}$.

Unter Berücksichtigung einer Bohrtiefe pro Sonde von 90 m entspricht dies 18 Sonden.

Die notwendige Fläche bei 8 x 8 m ergibt sich zu $\sim 1.200 \text{ m}^2$

Bohrungen unterhalb der Bodenplatte sind nicht möglich.

Entscheidungsvorlage Energiekonzept Wärmeversorgung

Es sind, wenn überhaupt, nur Bohrungen im Innenhofbereich möglich, da allerdings auch nur eingeschränkt, da eine umfangreiche Kanalbestandssituationen zu berücksichtigen ist und zum gegenwärtigen Planungszeitpunkt noch nicht final geklärt ist, ob Regenwasser zurückgehalten werden muss. Eine maximale Fläche von ~900 m² ist theoretisch möglich.

Trotz dieser unklaren Randbedingungen hat der Berichtsverfasser, in einer theoretischen Betrachtung, ein 8 x 8 m-Netz in den Innenhofbereich innerhalb der Grundstücksgrenzen gelegt. Im Ergebnis werden maximal 18 Bohrungen jedoch vollständig unberücksichtigt vom Gelände-verlauf und Kanalsituationen erforderlich. Das Sondenfeld hat somit eine Größe von ca. 1.200 m²! Damit ist die vorhandene Fläche zu klein für die notwendige Anzahl an Bohrungen.

Diese 18 Bohrungen würden bei einer Sondentiefe von 90 Metern und einem Einheitspreis von 90,00 Euro (netto) pro laufenden Meter (fertig installiert), zu dem Investitionsvolumen von ca. 150.000,00 Euro netto führen.

Die Gesamtkosten, unter Einbeziehung der Wärmepumpe und notwendiger Komponenten, liegt dann bei ca. 180.000,00 Euro netto.

Damit ist die Geothermische Variante alleine auf der Investitionskosten Seite um ca. Faktor 2,1 teurer als die drei zuvor aufgeführten Varianten.

Auch die Summe der Betriebskosten liegt über den drei zugeordneten Varianten.

Daher wird diese Variante zum einen aus Kostengründen zum andern aus bautechnischen Gründen nicht weiter verfolgt.

3.3 Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit-Vorbetrachtung der 3 Varianten

3.3.1 Grundlagen

Allgemein:
Zinssatz 4%

Nutzungsdauer / Annuität:

Gaskessel	20 Jahre / A = 0,074
Pelletkessel	15 Jahre / A = 0,09
Wärmepumpe	15 Jahre / A = 0,09
BHKW	15 Jahre / A = 0,09

Die Wartungs- und Instandhaltungskosten werden gemäß der VDI2067 in Prozentsätzen der Investitionskosten wie folgt ermittelt:

Gaskessel	4%
Pelletkessel	6 %
Wärmepumpe	3 %
BHKW	8%

Entscheidungsvorlage Energiekonzept Wärmeversorgung

Energiepreise (Annahme KMG)

Erdgas	75,00 €/MWh
Pellets	50,00 €/MWh
Strom für Wärmepumpe	180,00 €/MWh
Strom BHKW-Ertrag	200,00 €/MWh

Jahresnutzungsgrade (Annahme KMG)

Pelletkessel	88 %
Brennwertkessel	100 %
COP-Wert Wärmepumpe im Mittel	3,5
Stromgenerator BHKW	90%

Investitionskosten (Annahme KMG)

Brennwertkessel 190 kW	35.000,00 €
Pelletkessel 100 kW	55.000,00 €
Wärmepumpe 100 kW	50.000,00 €
BHKW 30 kW	40.000,00 €
Brennwertkessel 260 kW	40.000,00 €

Die Wirtschaftlichkeitsvorbetrachtung wird durchgeführt in dem die Jahresbetriebskosten ermittelt und miteinander verglichen werden.

Die Jahresbetriebskosten setzen sich zusammen aus den Summen von

- Kapitalkosten
- Wartungs- und Instandhaltungskosten
- Energiekosten

Die Kapitalkosten werden gebildet aus Investitionskosten und Annuitätsfaktoren.

Die Wartungs- und Instandhaltungskosten aus Investitionskosten und Prozentsätzen aus der VDI 2067.

Die Energiekosten werden gebildet aus den Verbrauchswerten und den entsprechenden spezifischen Energiepreisen.

Entscheidungsvorlage Energiekonzept Wärmeversorgung

3.3.2 Versorgungsvariante 1 (Pellet und Gas-Brennwertkessel)

Investitionskosten

Pelletkessel 100 kW	55.000,00 €
Brennwertkessel 190 kW	35.000,00 €
Summe Investitionskosten	90.000,00 €

Kapitalkosten

Pelletkessel	55.000,00 € x 0,09	= 4.950,00 € /a
Gaskessel	35.000,00 € x 0,074	= 2.590,00 € /a
Summe Kapitalkosten		= 7.540,00 € /a

Wartungs- und Instandhaltungskosten

55.000 € x 0,06	3.300,00 € /a
35.000,00 € x 0,04	1.400,00 € /a

Summe Wartungs- und Instandhaltungskosten	= 4.700,00 € /a
--	------------------------

Energiekosten

Pellets:	0,7 x 490 MWh /a /0,88 x 50,00 € /MWh	= 19.489,00 € /a
Gas:	0,3 x 490 MWh /a /1 x 75,00 € /MWh	= 11.025,00 € /a
Summe Energiekosten:		30.514,00 € /a

Summe Jahresbetriebskosten: 42.754,00 € /a

Bei einem Primärenergiefaktor von 0,2 für Pellets und 1,1, für Erdgas beträgt der jährliche Primärenergiebedarf:

Pellets:	0,7 x 490 MWh /a /0,88 x 0,2	= 78 MWh/a
Gas:	0,3 x 490 MWh /a /1 x 1,1	= 162 MWh /a
Summe Primär-Energiebedarf:		240 MWh/a

Entscheidungsvorlage Energiekonzept Wärmeversorgung

3.3.3 Versorgungsvariante 2 (WP mit Außenluft, Gas-Brennwertkessel)

Investitionskosten

Wärmepumpe 100 kW	50.000,00 €
Brennwertkessel 190 kW	35.000,00 €

Summe Investitionskosten **85.000,00 €**

Kapitalkosten

50.000,00 € x 0,09	= 4.500,00 € /a
35.000,00 € x 0,074	= 2.590,00 € /a

Summe Kapitalkosten **= 7.090,00 € /a**

Wartungs- und Instandhaltungskosten

50.000 € x 0,03	= 1.500,00 € /a
35.000 € x 0,04	= 1.400,00 € /a

Summe Wartungs- und Instandhaltungskosten **= 2.900,00 € /a**

Energiekosten

Um 70 % des Jahres Energiebedarfes zu decken, muss die Wärmepumpe

$0,7 \times 490.000 \text{ kWh /a} : 100 \text{ kW} = 3.430 \text{ h /a}$ Voll-Laststunden leisten.

Die mittlere Kompressorleistung beträgt: $100 \text{ kW} : 3,5 = 28,5 \text{ kW}$

Die Leistung des Verdampferventilators beträgt ca. 6,5 kW.

Zusammen ergibt dies 35 kW, entsprechend 0,035 MW

Also Energiekosten:

Wärmepumpe: $3.430 \text{ h /a} \times 0,035 \text{ MW} \times 180,00 \text{ € / MWh} = 21.609,00 \text{ € /a}$

Brennwertkessel: $0,3 \times 490 \text{ MWh /a} / 1 \times 75,00 \text{ € /MWh} = 11.025,00 \text{ € /a}$

Summe Energiekosten: **32.634,00 € /a**

Summe Jahresbetriebskosten: **42.624,00 € /a**

Bei einem Primärenergiefaktor für Strom von 2,4 und Erdgas von 1,1, beträgt der jährliche Primärenergiebedarf

$3.430 \text{ h/a} \times 0,035 \text{ MW} \times 2,4 = 288 \text{ MWh/a}$

$0,3 \times 490 \text{ MWh /a} / 1 \times 1,1 = 162 \text{ MWh/a}$

Summe Primär-Energiebedarf: **450 MWh/a**

Entscheidungsvorlage Energiekonzept Wärmeversorgung

3.3.4 Versorgungsvariante 3 (BHKW und Gas-Brennwertkessel)

BHKW	thermische Leistung	60 %	=	30 kW
	Verlustleistung	10 %	=	5 kW
	Mechanische Leistung	30 %	=	15 kW
	Energieeinsatz	100 %	=	50 kW

BW-Kessel 260 kW

Investitionskosten

BHKW mit 30 kW thermisch 40.000,00 €
BW 260 kW 40.000,00 €

Summe Investitionskosten 80.000,00 €

Kapitalkosten

BHKW
40.000,00 € x 0,09 = 3.600,00 € /a

BW-Kessel
40.000,00 € x 0,074 = 2.960,00 € /a

Summe Kapitalkosten = 6.560,00 € /a

Wartungs- und Instandhaltungskosten

BHKW
40.000 € x 0,08 = 3.200,00 € /a

BW-Gaskessel
40.000 € x 0,04 = 1.600,00 € /a

Summe Wartungs- und Instandhaltungskosten = 4.800,00 € /a

Entscheidungsvorlage Energiekonzept Wärmeversorgung

Energiekosten

Die thermische Leistung des BHKW beträgt 30 kW und der Gasenergieeinsatz 50 kW.

Die Voll-Betriebsstunden betragen:

$$0,25 \times 490.000 \text{ kWh/a} / 30 \text{ kW} = 4.083 \text{ h/a}$$

Energiekosten BHKW

$$0,05 \text{ MW} \times 4.083 \text{ h/a} \times 75,00 \text{ €/MWh} = 15.311,00 \text{ €/a}$$

und BW-Kessel

$$0,75 \times 490 \text{ MWh/a} \times 75,00 \text{ €/MWh} = 27.562,00 \text{ €/a}$$

Von den Energiekosten muss der Stromertrag abgezogen werden.

Stromertrag:

$$0,015 \text{ MW} \times 4.083 \text{ h/a} \times 200,00 \text{ €/MWh} \times 0,9 = 11.024,00 \text{ €/a}$$

Summe Energiekosten: 31.849,00 €/a

Summe Jahresbetriebskosten 43.209,00 €/a

Primär-Energie

BHKW: vernachlässigbar

BW-Kessel: $0,75 \times 490 \text{ MWh/a} \times 1,1 = 404 \text{ MWh/a}$

3.4. Zusammenstellung der Ergebnisse

	Investitions- kosten inkl. KWL Euro	Kapital- kosten Euro/a	Wartungs- und Instandhal- tungskosten Euro/a	Energie - kosten Euro/a	Summe Betriebskos- ten Euro/a	Primärer Energie- bedarf MWh/a
Variante 1.	90.000,00 €	7.540,00 €	4.700,00 €	30.514,00 €	42.754,00 €	240
Variante 2	85.000,00 €	7.090,00 €	2.900,00 €	32.634,00 €	42.624,00 €	450
Variante 3	80.000,00 €	6.560,00 €	4.800,00 €	31.849,00 €	43.209,00 €	404
Geothermie	180.000,00 €	10.440,00 €	3.600,00 €	32.634,00 €	46.674,00 €	ca. 450

In allen 3 Varianten wird das EEWärmeG erfüllt.

Entscheidungsvorlage Energiekonzept Wärmeversorgung

3.5. Fazit und Empfehlung

Aus der Zusammenstellung der Ergebnisse geht hervor, dass die Summen der Betriebskosten der einzelnen Varianten sich nur unerheblich voneinander unterscheiden.

Die geringsten Kapital- und Energiekosten weist Variante 3 auf, die geringsten Wartungs- und Instandhaltungskosten zeigen sich bei Variante 2.

KMG empfiehlt Variante 2 aus folgenden Gründen:

- Variante 1 fordert den größten Platzbedarf. Pellets müssen 2 – 3 mal jährlich angeliefert werden (Lärmbelästigung).

Die Feinstaubbelastung bei Pellet-Verbrennung ist nicht unumstritten.

- Variante 3 ist anfälliger für Störungen und fordert einen höheren Wartungsaufwand.

Außerdem ist nicht sichergestellt, ob das EEWärmeG mit der gewählten Leistungsaufteilung erfüllt wird.

Bei Erhöhung des Leistungsanteils des BHKWs werden die Vollastbetriebsstunden reduziert und damit die Wirtschaftlichkeit.

Der Berichtsverfasser empfiehlt den Ersatz einer Wärmepumpe, welche elektrisch angetrieben wird, in Kombination mit einem Gas-Brennwertkessel.

Es ist bekannt, dass in der Regel eine gasmotorbetriebene Wärmepumpe günstigere Energiekosten aufweist, dafür aber eine erheblich höhere Investition und denklich höheren Wartungsaufwand nach sich zieht.

Ein wichtiger Nachteil einer Luft-/Wasserwärmepumpe will der Berichtsverfasser unerwähnt lassen, da die Leistung und der COP-Wert mit sinkender Außentemperatur, also gerade, wenn der Wärmebedarf höher ist, abnimmt.

Bis ca. + 7°C Außentemperatur schafft die Wärmepumpe es alleine den Wärmebedarf zu decken. Bis ca. – 5 °C kann die Wärmepumpe ebenfalls wirtschaftlich, zusammen mit dem Brennwertkessel betrieben werden. Diese Betriebsweise wird bivalent-parallel genannt.

Bei Außentemperaturen < - 5°C oder wenn der cop < 2,5 könnte die Wärmepumpe, aus Wirtschaftlichkeitsgründen abgeschaltet werden und der Brennwertkessel alleine betrieben werden. Diese Betriebsweise nennt man bivalent-alternativ.

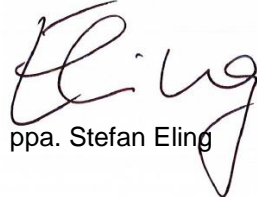
Die Jahreswärmearbeit bei $t_A \leq - 5 \text{ °C}$ beträgt lediglich 1 – 2 % und ist somit vernachlässigbar.

Entscheidungsvorlage
Energiekonzept Wärmeversorgung

In diesem Energiekonzept wurde davon ausgegangen, dass die Wärmepumpe auch bei niedrigen Außentemperaturen in Betrieb bleibt.

Aufgestellt
Köln, den 24.07.2020

KMG Ingenieurgesellschaft für
Gebäude- und Versorgungstechnik mbH



ppa. Stefan Eling