Institut für Energietechnik

Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden

Energieeinsparkonzept für den Energieverbund: Kläranlage - Bauhof - Stadtgärtnerei in Straubing

Energieeinsparkonzept für den Energieverbund:
Kläranlage - Bauhof - Stadtgärtnerei in Straubing

Auftraggeber:

Straubinger Energie- und Reststoffverwertungs GmbH
Imhoffstraße 97
94315 Straubing

Auftragnehmer

Institut für Energietechnik IfE GmbH
an der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden
Kaiser-Wilhelm-Ring 23a
92224 Amberg

Gefördert durch

Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Bearbeitungszeitraum:

September 2019 bis Dezember 2020

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis ..... **III**

Tabellenverzeichnis ..... **V**

Abkürzungsverzeichnis ..... **VI**

1 Einleitung **7**

2 Beschreibung der geplanten Liegenschaften **9**

2.1 Bauhof Straubing 9

2.2 Stadtgärtnerei Straubing 10

3 Prognose des künftigen Energiebedarfs **12**

3.1 Methodik der Wärmebedarfsermittlung 12

3.2 Ergebnisse der Wärmebedarfsermittlung 13

3.3 Energiebedarf Arbeitspaket 1 17

3.4 Energiebedarf Arbeitspaket 2 19

4 Technische Dimensionierung von Energieversorgungsvarianten **21**

4.1 Energiebilanzierung der Kläranlage 22

4.2 Technische Vorprüfung Fernwärmeleitung 24

4.3 Arbeitspaket 1: Gesamtverbund Bauhof - Stadtgärtnerei 27

4.3.1 V 1.1: Hackgutkessel 27

4.3.2 V 1.2: Abwasser-Wärmepumpe 28

4.3.3 V 1.3: Satelliten BHKW & Hackgutkessel 32

4.4 Arbeitspaket 2: Einzelversorgung Bauhof 34

4.4.1 V 2.1: Hackgutkessel 34

4.4.2 V 2.2: Erdgas & Solarthermie 35

4.4.3 V 2.3: Luft/Wasser bzw. Abwasser-Wärmepumpe 36

5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung **37**

5.1 Grundannahmen 37

5.2 Allgemeine Fördermöglichkeiten 41

5.2.1 BAFA Marktanreizprogramm 41

5.2.2 KfW-Programm - Erneuerbare Energien „Premium“ - Große Biomasseheizanlagen 42
5.2.3 Bayern: Förderprogramm BioKlima 42
5.2.4 Wärmepumpen / Oberflächennahe Geothermie 43
5.2.5 Erneuerbare Energien Hybridheizungen 45
5.2.6 Förderung Gebäude (Sanierungsmaßnahmen / Neubau) 46
5.2.7 Zusammenfassung Förderungen 47
5.3 Arbeitspaket 1 49
5.3.1 Investitionskosten 49
5.3.2 Jährliche Einnahmen und Ausgaben 52
5.3.3 Jahresgesamt- und Energiegestehungskosten 54
5.4 Arbeitspaket 2 56
5.4.1 Investitionskosten 56
5.4.2 Jährliche Einnahmen und Ausgaben 57
5.4.3 Jahresgesamt- und Energiegestehungskosten 58
6 CO_2-Bilanzierug der Energieversorgungsvarianten 60
7 Zusammenfassung 62

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Luftbild Bauhof Straubing inkl. Flächen zukünftiger Bauhof und Gärtnerei 7

Abbildung 2: Ansicht des künftigen Bauhofs aus südöstlicher Richtung 9

Abbildung 3: Entwurfsplan der Stadtgärtnerei.....11

Abbildung 4: Thermische Jahresdauerlinie Gewächshäuser nach "Hortex-Simulation" 14

Abbildung 5: 3D-Modell Bauhof 15

Abbildung 6: 3D-Modell Verwaltung.....15

Abbildung 7: 3D-Modell Bauhof Stellplätze.....15

Abbildung 8: 3D-Modell Büroanbau Gewächshäuser 16

Abbildung 9: Monatlicher Wärmebedarf AP 1 17

Abbildung 10: Thermische Jahresdauerlinie AP 1 18

Abbildung 11: Monatlicher Wärmebedarf AP 2 19

Abbildung 12: Thermische Jahresdauerlinie AP 2 20

Abbildung 13: Luftbild Bauhof - Stadtgärtnerei – Kläranlage.....22

Abbildung 14: Gegenüberstellung von Energieerzeugung und Verbrauch im Klärwerk 23

Abbildung 15: Verlauf Fernwärmetrasse.....25

Abbildung 16: Wärmeversorgung AP 1 Hackgutkessel.....27

Abbildung 17: Wärmeversorgung AP1 Abwasserwärmepumpe.....28

Abbildung 18: Entnahmemöglichkeiten der Energie aus Abwasser 29

Abbildung 19: Energiebilanz Wärme aus Abwasser (Sommer).....30

Abbildung 20: Energiebilanz Wärme aus Abwasser (Übergangszeit) 30

Abbildung 21: Energiebilanz Wärme aus Abwasser (Winter).....31

Abbildung 22: Elektrische JDL zur KWK-Dimensionierung 32

Abbildung 23: Wärmeversorgung AP1 Satelliten BHKW.....33

Abbildung 24: Wärmeversorgung AP2 Hackgutkessel.....34

Abbildung 25: Solarer Ertrag zu Wärmebedarf 35

Abbildung 26: Wärmeversorgung AP2 Wärmepumpe 36

Abbildung 27: Beispiel für Energiezentrale 50

Abbildung 28: Investitionskostenprognose der Energieversorgungsvarianten des AP1 51

Abbildung 29: Mittlere jährliche Ausgaben im Betrachtungszeitraum AP1 52

Abbildung 30: Mittlere jährliche Einnahmen im Betrachtungszeitraum.....53

Abbildung 31: Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten ohne Förderung AP1 54

Abbildung 32: Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten mit Förderung AP1.....55

Abbildung 33: Investitionskostenprognose der Energieversorgungsvarianten des AP2 56

Abbildung 34: Mittlere jährliche Ausgaben im Betrachtungszeitraum AP2 57

Abbildung 35: Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten ohne Förderung AP2 58

Abbildung 36: Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten mit Förderung AP2.....59

Abbildung 37: CO_2-Emissionen AP1.....61

Abbildung 38: CO2-Emissionen AP2 61

Abbildung 39: Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten mit Förderung AP1.....63

Abbildung 40: Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten mit Förderung AP2.....64

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: angesetzte Bauteile der Neubauobjekte.....12

Tabelle 2: Randbedingungen des Monatsbilanzverfahrens nach DIN V 4108-6 13

Tabelle 3: Ergebnisse des Monatsbilanzverfahrens nach DIN V 4108-6 und der Heizlastprognose.....13

Tabelle 4: Zuschlagszahlungen nach dem KWKG für BHKW mit einer Leistung von bis 100 kW_{el} 40

Tabelle 5: CO_2-Äquivalente nach GEMIS 4.95 und eigene Berechnungen IfE-GmbH 60

Abkürzungsverzeichnis

kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
SPK	Spitzenlastkessel
GEG	Gebäudeenergiegesetz
EEWärmeG	Erneuerbare Energien Wärmegesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
EE	Erneuerbare Energien
Vbh	Vollbenutzungsstunden

1 Einleitung

Die Stadt Straubing plant den Aus- bzw. Neubau des in der Schlesischen Straße gelegenen städtischen Bauhofes. Ergänzend hierzu soll die Stadtgärtnerei in unmittelbarer Nachbarschaft des Bauhofes neu errichtet werden.

Abbildung 1: Luftbild Bauhof Straubing inkl. Flächen zukünftiger Bauhof und Gärtnerei [1]

[1] Datenquelle: Bayerische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de

Die Energieversorgung dieser Liegenschaften birgt sowohl aus wirtschaftlicher als auch ökonomischer Sicht Potenziale, welche vorab ausführlich erörtert werden müssen. Alternativ zu der dezentralen, isolierten Gebäudeenergieversorgung kann die Bildung von Nahwärmeverbundnetzen und Arealstromnetzen mit umliegenden Wohngebäuden, kommunalen Liegenschaften und ggf. Gewerbe-/Industriebetrieben wirtschaftlich und ökologisch deutliche Vorteile bringen.

Die SER betreibt auf der Kläranlage Straubing drei BHKW-Systeme mit Erdgas, Klärgas und Gas aus der Co-Vergärung. In unmittelbarer Nähe zur Kläranlage werden der städtische Bauhof und die Stadtgärtnerei neu errichtet. Im Rahmen dieses Energiekonzeptes sollen sinnvolle Energieversorgungsvarianten zur Versorgung der Neubauten und ggf. der umliegenden Bestandsgebäude über einen Wärme- und Stromverbund geprüft werden. Es erfolgt die Prüfung ökonomisch und ökologisch sinnvoller Wärmeverbundnetze mit weitgehender Nutzung der regionalen erneuerbaren Energien. Da es sich beim Aufbau von Wärmenetzen um kostenintensive und langfristig wirksame Maßnahmen handelt, wird auch die zukünftige Entwicklung berücksichtigt werden.

2 Beschreibung der geplanten Liegenschaften

Der Neubau des Bauhofes Straubing soll am Standort des bestehenden Bauhofes errichtet werden. Für die Kubatur dieses Gebäudes wird auf einen Vorentwurf der Stadt Straubing zurückgegriffen, welche nachfolgend grob beschrieben wird. Analog dazu besteht auch für den geplanten Bau der Stadtgärtnerei ein Vorentwurf.

2.1 Bauhof Straubing

Die Planung sieht die Kombination verschiedener Gebäudetrakte mit unterschiedlicher Nutzung vor. Diese lassen sich in drei Hauptgebäude unterteilen, wie in Abbildung 2 dargestellt.

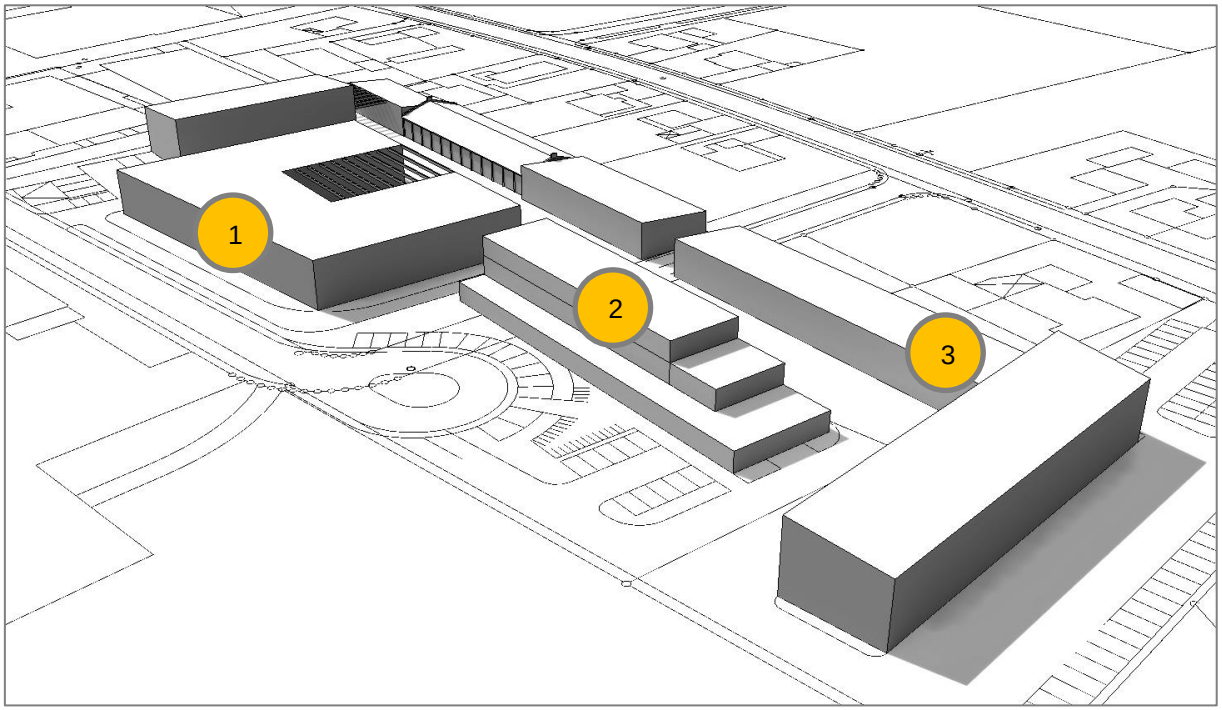

Abbildung 2: Ansicht des künftigen Bauhofs aus südöstlicher Richtung

Der Abbildung nach ist zu erkennen, dass in den Gebäudeentwürfen noch keine Details zu Fenster-, Tür- und Torflächen bekannt sind. Daher wird im weiteren Verlauf auf die Erfahrungen und Erkenntnisse andere Projekte zurückgegriffen. Die Gesamt zu erschließende Fläche des Areals, inklusive Bestand und Verkehrsflächen für Zufahrt und Parkplätze, beläuft sich auf etwa 21.000 m².

Zentrale Einheit des Bauhofes werden die Gebäude 1 und 2 bilden. In ersterem werden diverse Werkstätten, unter anderem für Kfz, Schreinerei, Schlosserei oder Elektrik, untergebracht sein. Auch das Magazin sowie ein Büro für Warenannahmen sind hier integriert. Die zu beheizende Nettogrundfläche wird ca. 3.020 m² betragen. Die überwiegende Mehrheit der Büroräume für Verwaltung und Betriebsleiter sind in Gebäude 2 untergebracht, verteilt auf drei Stockwerke (EG, 1. und 2. OG) mit einer beheizten Fläche von ca. 2.300 m². Von drei Seiten umschlossen wird das Areal durch die Garagenstellplätze des Fuhrparks. Diese sollen im Winter frostfrei gehalten werden.

Zur Definition des künftigen Energiebedarfs wird eine Wärmebedarfsprognose durchgeführt, anhand derer verschiedene Energieversorgungsvarianten bilanziert werden können, näheres hierzu wird in Kapitel 0 erläutert.

2.2 Stadtgärtnerei Straubing

Den zweiten Komplex, welcher in diesem Energiekonzept berücksichtigt werden soll, bildet die geplante Stadtgärtnerei. Hierfür soll ein bislang ungenutzter Grund, südöstlich des Bauhofes erschlossen werden, die Gesamtfläche umfasst hierfür etwa 16.250 m². Die Stadtgärtnerei setzt sich aus einem Hauptgebäude und zwei Hallenbauten zusammen, in denen Lagermöglichkeiten für Streugut und andere Schüttgüter vorhanden sind und eine Waschplatz integriert ist.

Abbildung 3: Entwurfsplan der Stadtgärtnerei

Das Hauptgebäude umfasst ein Bürogebäude mit einer beheizten Fläche von ca. 1.580 m², welches sich auf zwei Stockwerke verteilt. Im Erdgeschoss befinden sich diverse Arbeitsräume und ein Hallenstellplatz, das Obergeschoss setzt sich aus mehreren Büroräumen zusammen. Für den Gewächshausneubau wurde im Vorfeld eine Berechnung des künftigen Energiebedarfs erstellt. Informationen zu Heizleistung und Gesamtwärmebedarf können werden aus dieser Vorstudie übernommen.

3 Prognose des künftigen Energiebedarfs

In den folgenden Kapiteln werden die Randbedingungen für die Abschätzung des künftigen Wärmebedarfs im geplanten Neubau Bauhof sowie der Stadtgärtnerei vorgestellt.

3.1 Methodik der Wärmebedarfsermittlung

Der Wärmebedarf wird für die Neubauobjekte Verwaltung, Bauhof, Bauhof Stellplätze und Büroanbau Gewächshäuser bestimmt.

Grundlage für die Wärmebedarfsermittlung sind die Gebäudeangaben. Zum derzeitigen Planungsstand sind bis auf den Büroanbau Gewächshäuser keine Fenster und Türen vorhanden. Diese werden aus Erfahrungswerten gesetzt. Die Bauteile entsprechen den Mindestanforderungen nach EnEV.

Tabelle 1: angesetzte Bauteile der Neubauobjekte

Bauteil	**U-Wert** [W/(m²*K)]
Fenster & Türen	0,9
Tore	1,5
Bodenplatte	0,3
Außenwand	0,24
Flachdach	0,2

Der Wärmebedarf wird mit dem Monatsbilanzverfahren nach DIN V 4108-6 bestimmt. In jedem Monat wird eine Gesamtbilanz aus den Wärmeverlusten (Transmission, Lüftungsverluste) und den Wärmegewinnen (Solarstrahlung, Interne Wärmequellen) gebildet. Abschließend werden die monatlichen positiven Bilanzen addiert und führen so zum Jahresheizwärmebedarf.

Die angesetzten Randbedingungen der Neubauobjekte für das Monatsbilanzverfahren nach DIN V 4108-6 sind in nachfolgend zusammengefasst.

Tabelle 2: Randbedingungen des Monatsbilanzverfahrens nach DIN V 4108-6

Objekt	Mittlere Innen-temperatur [°C]	Nachtabsenkung	Interne Wärme-gewinne [W/m²]
Verwaltung	17	10	6
Bauhof	17	10	6
Bauhof Stellplätze	6	0	0
Büroanbau Gewächshäuser	17	10	6

3.2 Ergebnisse der Wärmebedarfsermittlung

Zusätzlich zum Wärmebedarf wird die maximale Heizlast der Neubauobjekte in Anlehnung an die DIN 12831 bestimmt. Die Ergebnisse der Wärmebedarfsermittlung und der Heizlastprognose sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Ergebnisse des Monatsbilanzverfahrens nach DIN V 4108-6 und der Heizlastprognose

Objekt	beheizte Netto-grundfläche [m²]	Wärmebedarf [kWh/a]	spezifischer Wärmebedarf [kWh/(m²·a)]	Heizlast [kW]
Verwaltung	2304	164.000	72	66
Bauhof	3.019	200.000	66	117
Bauhof Stellplätze	5.607	145.000	26	175
Büroanbau Gewächs-häuser	1.576	65.000	41	42

Für die Gewächshäuser liegt eine „Hortex-Simulation“ Wärme- und Heizlastberechnung vor. Jährlich wird eine Gesamtwärmemenge von 399.000 kWh für den Betrieb benötigt. Die bereitzustellende Heizleistung wird durch nachfolgende Abbildung beschrieben.

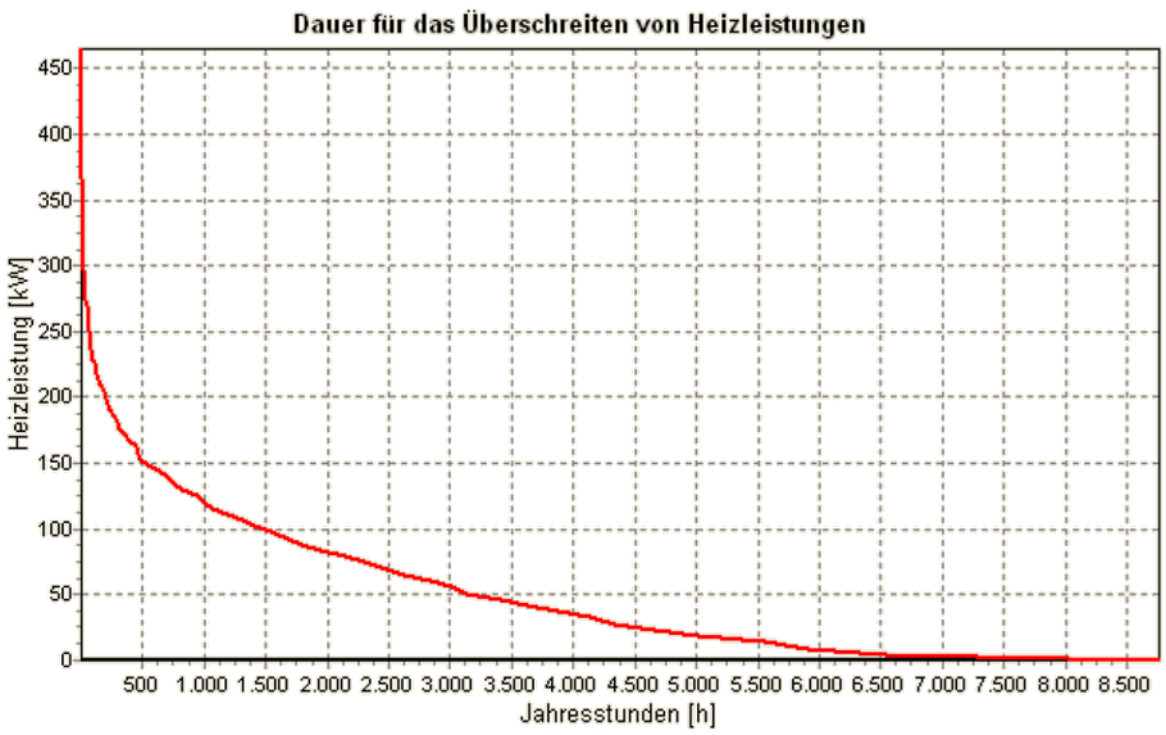

Abbildung 4: Thermische Jahresdauerlinie Gewächshäuser nach "Hortex-Simulation"

Zur Aufrechterhaltung eines ganzjährigen Betriebs ist eine hohe Heizleistung mehr als 493 kW vorzuhalten, die mittlere Heizleistung beträgt demgegenüber lediglich um 50 kW.

Die Gebäudemodelle der Neubauobjekte sind nachfolgend dargestellt. Unterschiedliche Farben bedeuten unterschiedliche Bauteile.

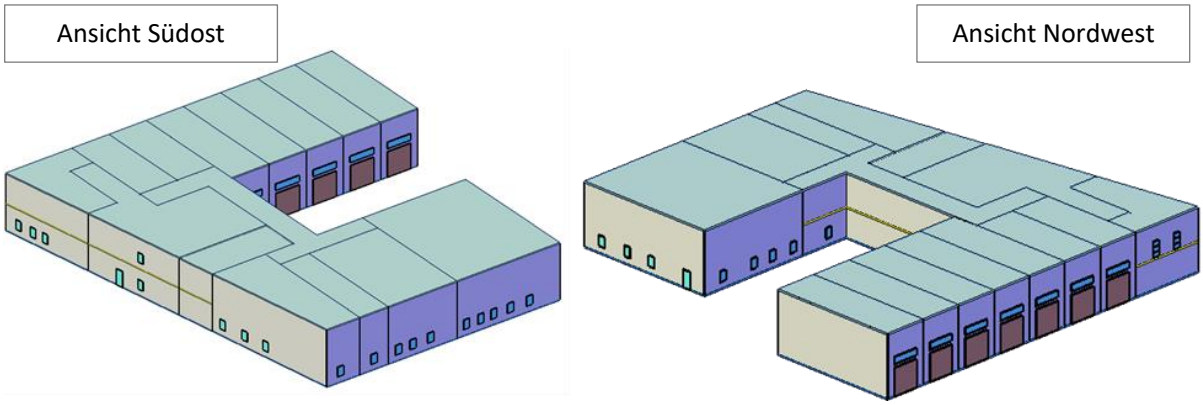

Abbildung 5: 3D-Modell Bauhof

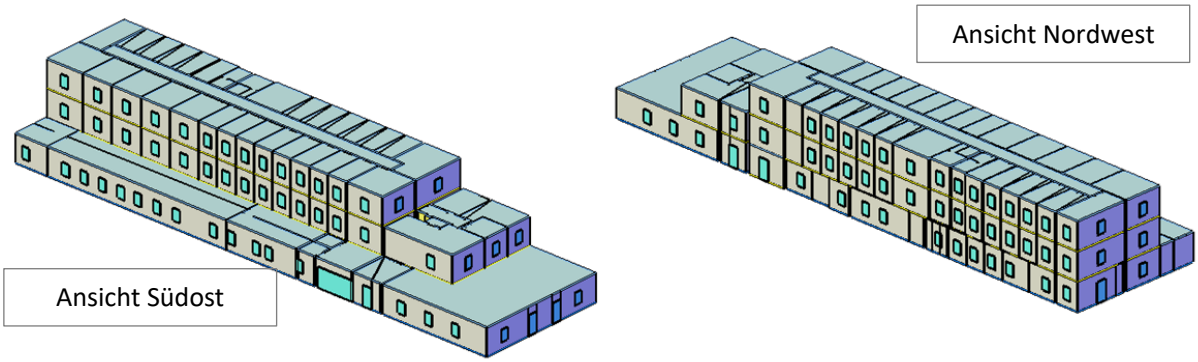

Abbildung 6: 3D-Modell Verwaltung

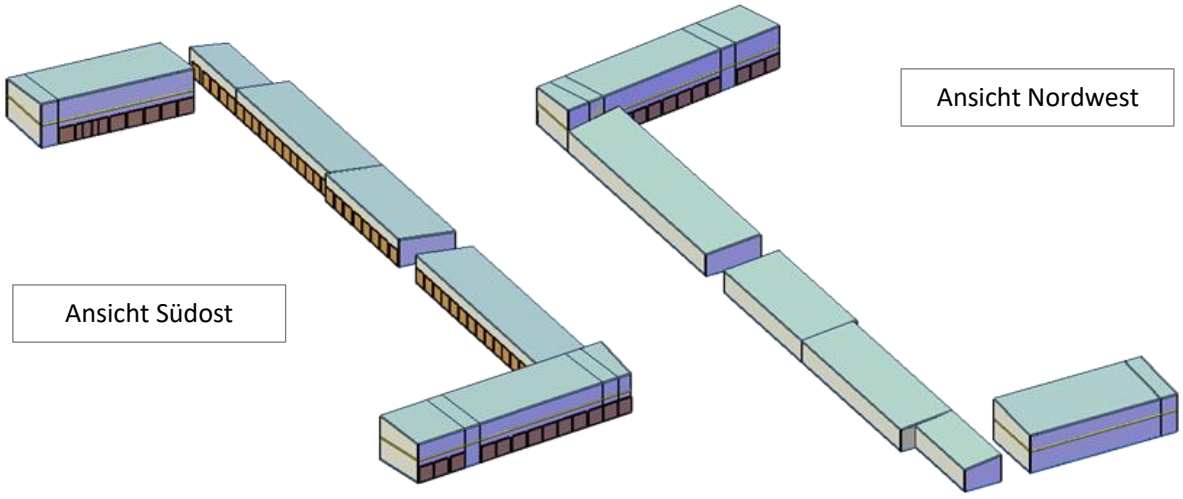

Abbildung 7: 3D-Modell Bauhof Stellplätze

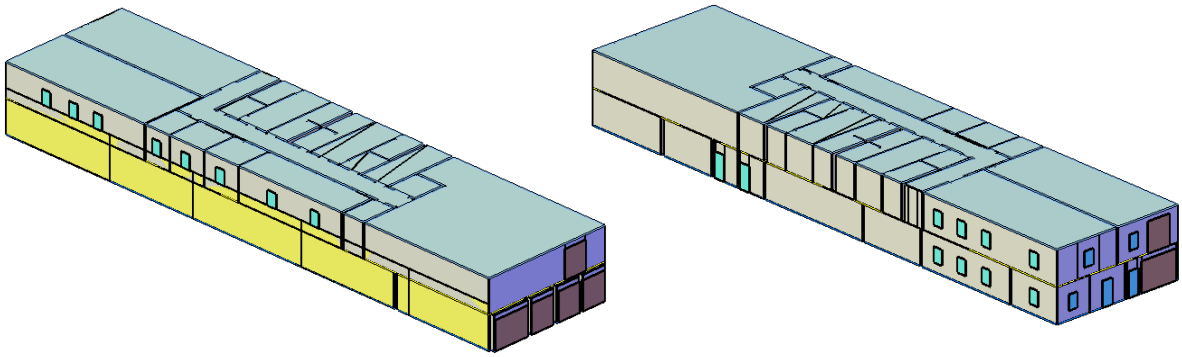

Abbildung 8: 3D-Modell Büroanbau Gewächshäuser

Im Verlauf dieses Energiekonzepts wurde mit dem Auftraggeber vereinbart, die Betrachtungsgrenzen in zwei Arbeitspakete zu unterteilen. Durch Änderungen der Rahmenbedingungen vor Ort soll parallel zum Verbund aus Bauhof und Stadtgärtnerei (Arbeitspaket 1) eine kleinere Variante untersucht werden, welche lediglich den Bauhofkomplex (Arbeitspaket 2) beinhaltet. Nachfolgend wird der jährliche Energiebedarf dieser Arbeitspakete erläutert.

3.3 Energiebedarf Arbeitspaket 1

Aus den Erkenntnissen der Wärmebedarfsermittlung der verschiedenen Objekte kann eine Gesamtübersicht zu den monatlichen Wärmemengen erstellt werden. Der prognostizierte Gesamtenergiebedarf zur Wärmeversorgung wird auf etwa 1.124.000 kWh geschätzt.

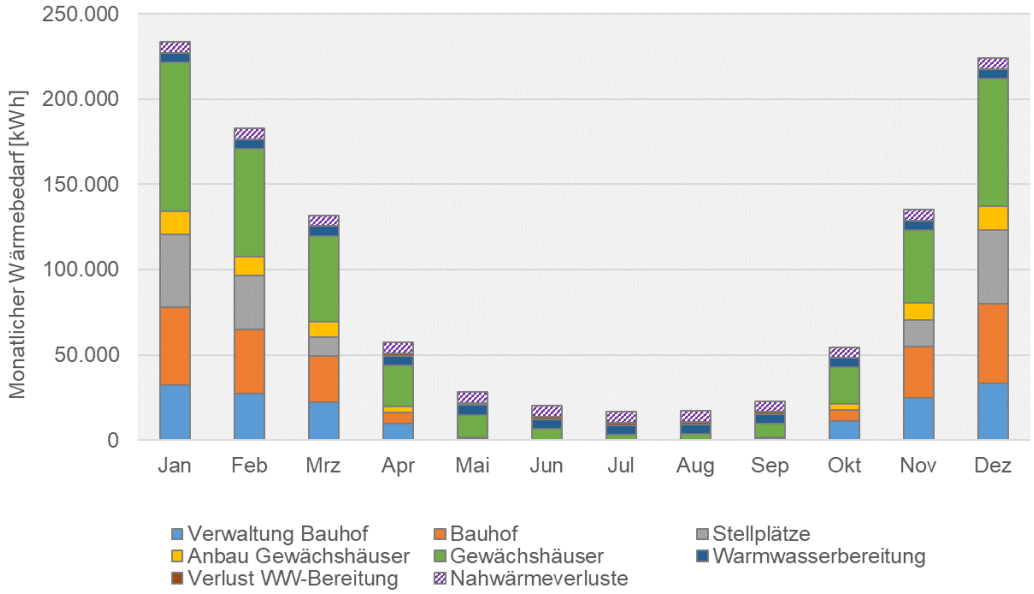

Abbildung 9: Monatlicher Wärmebedarf AP 1

Ziel dieses Energieeinsparkonzepts ist es, Verbundlösungen zur Wärmeversorgung von Bauhof und Stadtgärtnerei zu analysieren, daher werden in Abbildung 1 zusätzlich Transmissionswärmeverluste einer Nahwärmeleitung berücksichtigt. Zusammenfassend zeigt die Grafik, dass ein Großteil des Wärmebedarf der Versorgung der Gewächshäuser zuzuschreiben ist. Die Verteilung der Wärmemengen zeigt einen niedrigen Energiebedarf in der Übergangszeit und in den Sommermonaten, dies wird zu einem hohen Leistungsbedarf bei geringen Vollbenutzungsstunden der Energieerzeugungsvarianten führen.

Aus den monatlichen Energiemengen wird die thermische Jahresdauerlinie gebildet, anhand derer die Energieerzeugung dimensioniert werden kann.

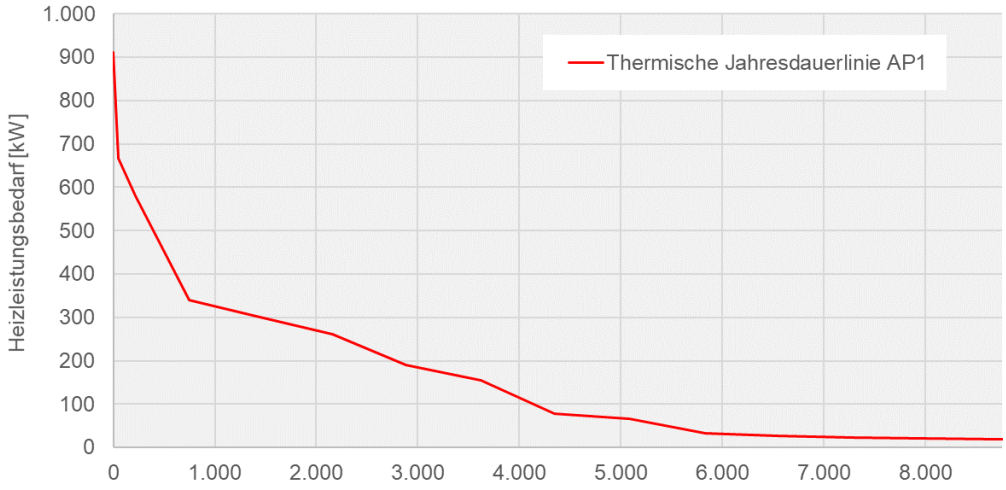

Abbildung 10: Thermische Jahresdauerlinie AP 1

Für Arbeitspaket 1 ist eine Gesamtheizleistung von mehr als 900 kW notwendig. Der mittlere Heizleistungsbedarf liegt bei etwa 180 kW. Die Leistungsspitze ist hauptsächlich dem Betrieb des Gewächshauses geschuldet, hierfür sind 493 kW notwendig. Der Bedarf dieser hohen Heizleistung beschränkt sich auf wenige Stunden im Jahr.

3.4 Energiebedarf Arbeitspaket 2

Analog zu AP 1 wird nachfolgend die monatliche Wärmeverteilung dargestellt. Der Gesamtenergiebedarf ohne Stadtgärtnerei liegt bei ca. 560.000 kWh.

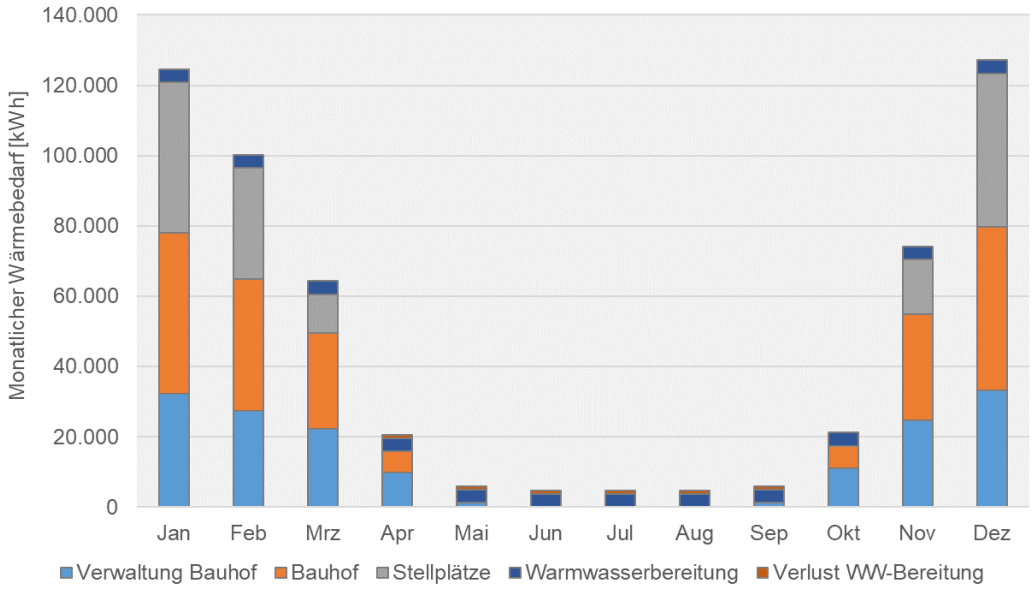

Abbildung 11: Monatlicher Wärmebedarf AP 2

Auch in diesem Fall zeigt sich ein großer Unterschied des Wärmebedarfs von Winter zur Sommerzeit, in der ausschließlich Wärme zur Warmwasserbereitung benötigt wird.

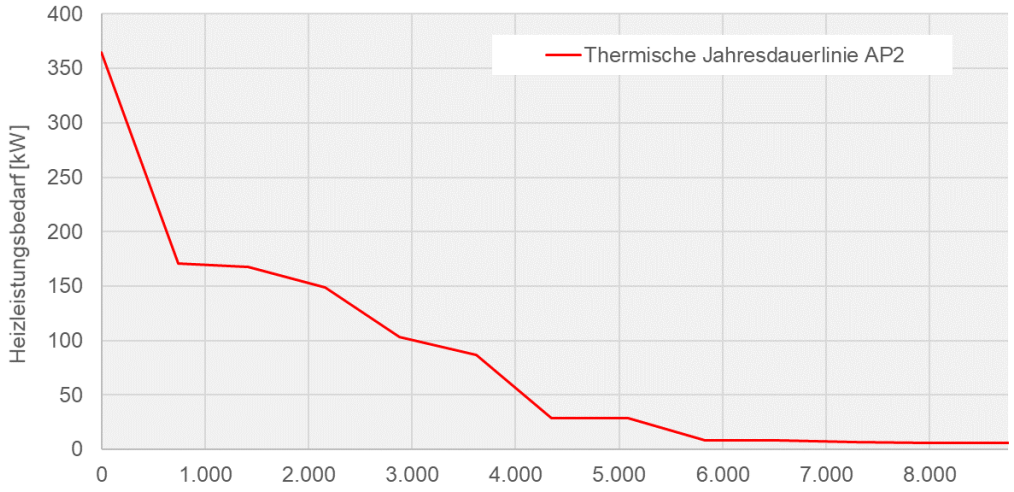

Abbildung 12: Thermische Jahresdauerlinie AP 2

Die thermische Jahresdauerlinie zeigt einen Heizleistungsbedarf von ca. 370 kW, der mittlere Leistungsbedarf liegt um 80 kW. Zur Versorgung der Objekte mit Wärme soll in Kapitel 4 die technische Dimensionierung der Energieerzeuger erläutert werden.

4 Technische Dimensionierung von Energieversorgungsvarianten

Durch die erlangten Informationen der vorangegangenen Kapitel wird in diesem Abschnitt des Konzepts die technische Dimensionierung verschiedener Energieversorgungsvarianten beschrieben. Die geltenden Anforderungen nach dem Gebäudeenergiegesetzes (GEG) fließen in diesen Bearbeitungsschritt ein. Hierzu ist beispielsweise ein EE-Anteil von mindestens 50 % zur Wärmeversorgung zu zählen. Das GEG fasst das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG), die Energieeinsparverordnung (EnEV) sowie das Energieeinsparungsgesetz (EnEG) zusammen. Eine detaillierte Prüfung der vollständigen Anforderungen aus dem GEG an Energieerzeugung und Gebäudehülle muss bei der tatsächlichen Umsetzung separat durch einen Sachverständigen geklärt werden. Hierzu sind weiterführende Informationen notwendig, welche zum aktuellen Konzeptstand noch nicht final bewertet werden können.

Zur Versorgung mit Wärme gilt es zu prüfen, ob und in welcher Form Energie von der Kläranlage der Stadt Straubing in Bauhof und Stadtgärtnerei genutzt werden kann. Hierfür ist eine Analyse der Kläranlage notwendig, sodass verfügbare Energiemengen bilanziert werden können.

4.1 Energiebilanzierung der Kläranlage

Die Kläranlage Straubing befindet sich in etwa 1,2 km Luftlinie entfernt, sie ist in Abbildung 13 zu sehen.

Abbildung 13: Luftbild Bauhof - Stadtgärtnerei – Kläranlage

Das Klärwerk reinigt Abwasser nach dem Prinzip der anaeroben Schlammstabilisation, durch welche Klärschlamm in einem Faulturm zur Gaserzeugung genutzt wird. Eine Besonderheit gegenüber anderen Kläranlagen bildet die Annahme von CO-Substraten zur Steigerung der Gasausbeute und des Heizwertes aus dem Faulprozess. Das Klärgas bzw. Synthesegas wird in zwei BHKW zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung verwertet. Der gewonnene Strom wird vollständig im Klärwerk genutzt, die Wärme dient zur Wärmeversorgung der Faultürme und weiterer interner Prozesse wie CO-Substrat-Annahme oder Klärschlammtrocknung. Klärgas kann in mehreren Gasspeichern zwischengespeichert werden, im Falle einer Überproduktion wird Gas über eine Notfackel reduziert.

Zusätzlich zu den beiden Klärgas BHKW wird ein Erdgas-BHKW genutzt, welches zusätzliche Wärme- und Strommengen für den Betrieb liefert.

Im Rahmen dieses Konzepts soll geprüft werden, welche Rolle das Klärwerk bei der Versorgung des Bauhofs und der Stadtgärtnerei einnehmen kann. Von diesem kann Energie in zwei Formen bereitgestellt werden, einerseits mittels Fernwärmeleitung, andererseits über eine Klärgasleitung mit anschließender Verwertung in einem Satelliten-BHKW.

Zur Bilanzierung verfügbarer Energiemengen kann auf Daten aus dem internen Prozessleitsystem, Abrechnungen und Jahres- sowie Monatsberichte zurückgegriffen werden.

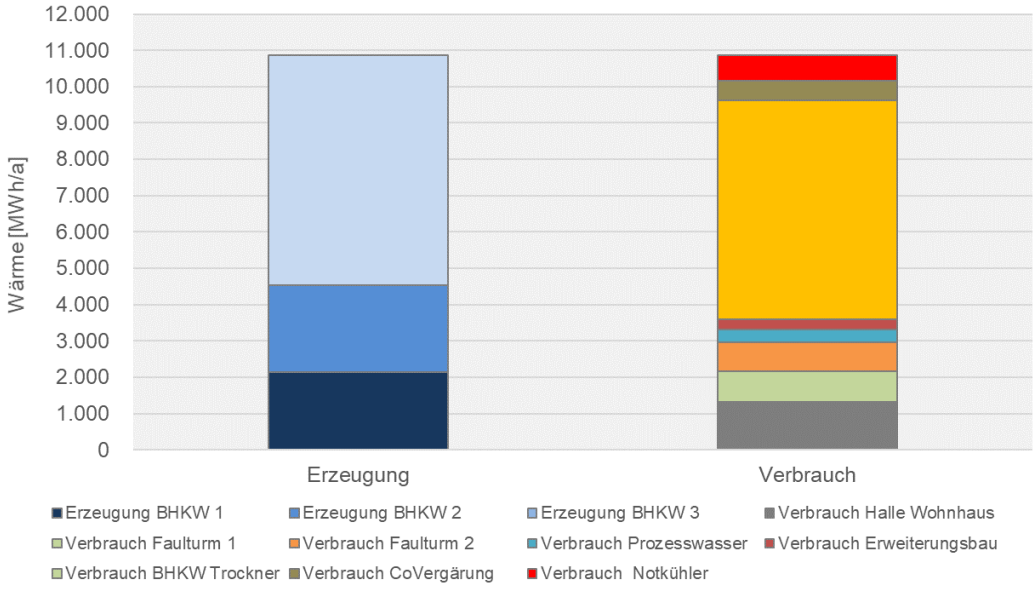

Abbildung 14: Gegenüberstellung von Energieerzeugung und Verbrauch im Klärwerk

Die Erzeugung von BHKW 1 (Erdgas) und der Klärgas-BHKW 2 & 3 deckt den Gesamtwärmebedarf des Klärwerks. Den größten Abnehmer am Standort bildet die Klärschlammtrocknung. Vermeidbaren Energiebedarf stellt der Notkühler dar. Etwa 720.000 kWh an Wärme wurden im Jahr 2019 in diesem der Umwelt ungenutzt zugeführt und stehen theoretisch einer Fernwärmenutzung zur Verfügung. Weitere Energie könnte durch eine längere Laufzeit des BHKW 1 generiert werden. Die bisherigen Jahresbetriebsstunden liegen bei etwa 5.900 h. Die Klärgasproduktion lag im Jahr 2019 bei über 3 Mio. m³ Klärgas, Fackelverluste sind nicht dokumentiert, werden jedoch nach Rücksprache mit der Betriebsleitung auf ca. 5 % geschätzt. Die somit verfügbare Energiemenge aus Klärgas beläuft sich auf rund 1,02 Mio. kWh pro Jahr. Es wird angenommen, dass diese Klärgasmenge konstant über das gesamte Jahr verfügbar ist.

4.2 Technische Vorprüfung Fernwärmeleitung

Die Überleitung der Energie von Kläranlage zu Bauhof und Stadtgärtnerei erfolgt mittels Fernwärmeleitung. Für eine erste technische und ökonomische Einordnung wird die Wärmebelegungsdichte der Wärmeleitung berechnet, diese beschreibt den Wärmebedarf, also die jährliche Wärmeabnahme pro fiktivem Meter Wärmenetz. Der anzustrebende Wert liegt bei 1.200 bis 1.500 kWh/m, sollte dieser erreicht oder überschritten werden, ist mit einem wirtschaftlichen Betrieb des Netzes zu rechnen. Als Mindestwert werden 500 kWh/m genannt, bei einem Netz dieser Dichte sollte erfahrungsgemäß auf weitere Fördermittel zurückgegriffen werden. Der Anteil an Wärmeverlusten steigt bei niedrigeren Belegungsdichten stark an. Für einen effizienten Betrieb des Wärmenetzes sollte der prozentuale Anteil weniger als 10 %[2] betragen. Der Trassenverlauf und die berechneten Kennwerte werden nachfolgend abgebildet und erläutert.

[2] Nach C.A.R.M.E.N. e.V

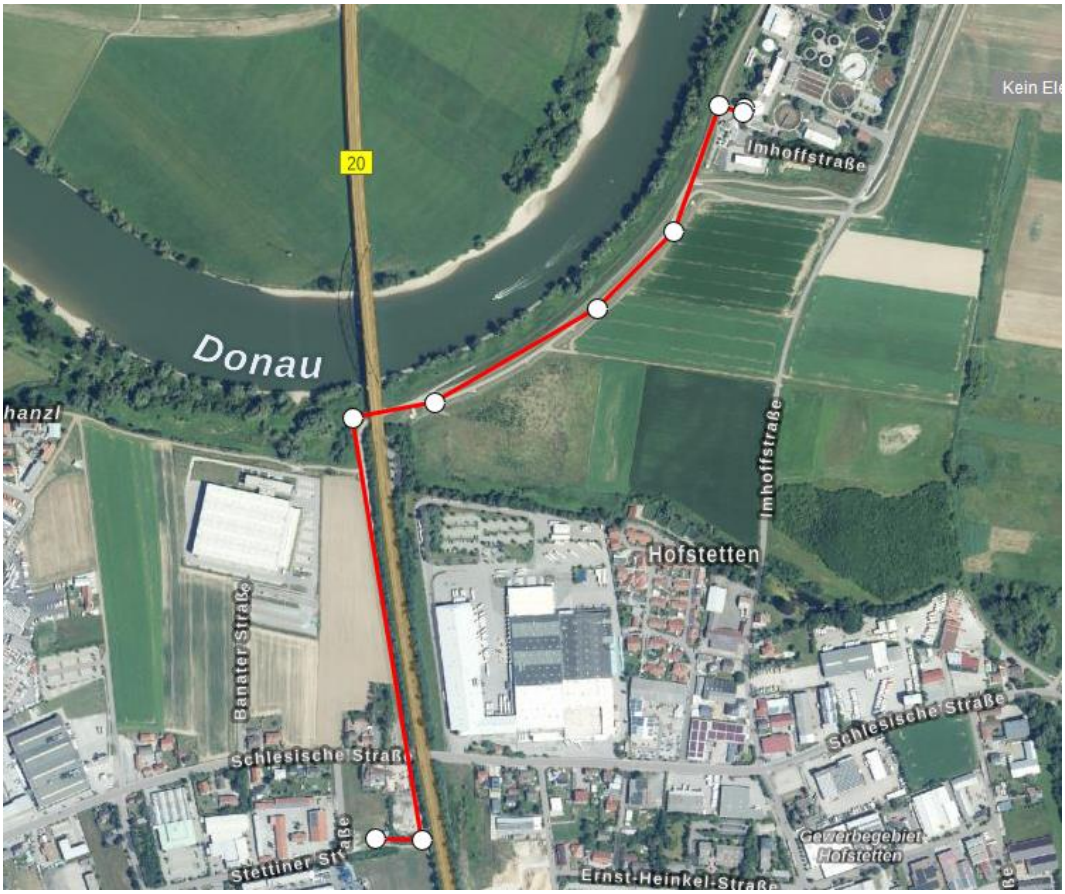

Abbildung 15: Verlauf Fernwärmetrasse

Folgende Kenndaten werden der Berechnung der Wärmebelegungsdichte zu Grunde gelegt:

- Trassenlänge 1.450 m
- Leitungsquerschnitt DN 150
- Wärmebedarf AP1 1.124.000 kWh/a
- Wärmebelegungsdichte 775 kWh/(m*a)
- Netzverlust 442.000 kWh/a
- Gesamtwärmebedarf (Nutzwärme + Verluste) 1.566.000 kWh/a
- ➢ Anteil Netzverlust 28 %

Zieht man einen Vergleich der empfohlenen Richtwerte zur Wärmebelegung und Anteil des Netzverlustes zu den Kenndaten der hier dargestellten Fernwärmetrasse, so ist davon auszugehen, dass diese Variante aus wirtschaftlicher Sicht nicht empfehlenswert ist. Erschwerend kommt hinzu, dass bislang ein Wärmeüberschuss am Klärwerk von ca. 720.000 kWh vorhanden ist. Für den Netzbetrieb müsste mehr als das Doppelte an Energie zur Verfügung gestellt werden. Vor diesem Hintergrund wird diese Variante in der weiteren Ausarbeitung des Energieeinsparkonzepts nicht weiterverfolgt, ein effizienter Betrieb kann nicht gewährleistet werden.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden verschiedene Energieerzeuger zur Versorgung der beiden Arbeitspakete definiert und im Detail bewertet. Die technische Dimensionierung dieser Varianten beschreiben die beiden nachfolgenden Kapitel.

4.3 Arbeitspaket 1: Gesamtverbund Bauhof - Stadtgärtnerei

Zur Versorgung des großen Gebietsumgriffs, bestehend aus Bauhof und Stadtgärtnerei werden drei Varianten beschrieben.

4.3.1 V 1.1: Hackgutkessel

Die Dimensionierung der Heizleistung je Heizsystem wird anhand der thermischen Jahresdauerlinie durchgeführt.

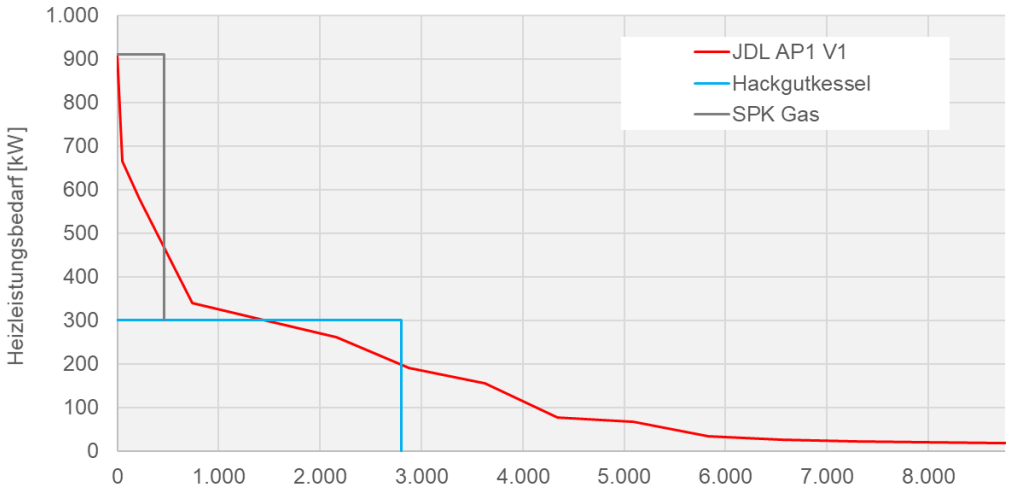

Abbildung 16: Wärmeversorgung AP 1 Hackgutkessel

Die Jahresdauerlinie enthält zwei Heizsysteme, ein Hackgutkessel mit 300 kW installierter Leistung, sowie einem Gaskessel zur Abdeckung von Spitzenlasten. Abbildung 16 stellt neben der Nennleistung auch die Vollbetriebsstunden der Erzeugungseinrichtungen dar. Die Laufzeit des Biomassekessels sollte nach Herstellerinformationen nicht über 2.700 Vollbenutzungsstunden hinausgehen. Detailliertere Infos sind nach Absprache mit Herstellern zu eruieren. Aus dem Produkt aus Leistung und Vollbetriebsstunden wird die Gesamtenergieerzeugung berechnet. 75 % der notwendigen Wärme wird durch den Hackgutkessel produziert. Zur Reduktion von Taktspielen (Ein- und Ausschaltvorgänge) wird das Gesamtsystem mit einem Pufferspeicher ergänzt. Die Dimensionierung richtet sich an Mindestvorgaben aus Förderprogrammen und üblicher Richtwerte.

Die Spitzenlastabdeckung wird von einem Erdgaskessel übernommen. Dieser hat den Vorteil, schnell Energie zu liefern und zudem keine Mindestlaufzeit zu benötigen, wie es üblicherweise bei Biomassekessel der Fall ist. Außerdem wird eine hohe Leistung über einen kurzen Zeitraum im Jahr benötigt, dies spricht wiederum für den Einsatz eines Gaskessels.

4.3.2 V 1.2: Abwasser-Wärmepumpe

Die Stadt Straubing betreibt bereits ein System zur Energiegewinnung aus Abwasser. 11 Wohngebäude der städtischen Wohnungsbaugesellschaft werden dadurch mit Wärme versorgt. Notwendige Wärme wird dem Abwasserkanal entzogen und anschließend in einer Wärmepumpe auf ein geeignetes Temperaturniveau angehoben. Vorteil dieses Systems liegt in der, verglichen zur Umgebungsluft, konstanten Temperatur. Diese ermöglicht einen ganzjährigen Betrieb der Wärmepumpe bei einer erhöhten Energieeffizienz. Diese wird durch die Jahresarbeitszahl (JAZ) beschrieben. Sie stellt dar, wie viel Heizungswärme im Verhältnis zur elektrisch eingesetzten Energie aufgewandt wurde.

In Anlehnung an diese Energieversorgung kann auch der Komplex Bauhof - Stadtgärtnerei durch Wärme aus Abwasser versorgt werden. Wichtige Vorgabe an den zukünftigen Neubau ist, dass das Heizsystem auf den Betrieb einer Wärmepumpe ausgelegt wird. Wärmepumpen werden üblicherweise mit Vorlauftemperaturen von etwa 35 C betrieben. Entsprechend muss das Heizsystem in den Gebäuden auf die niedrigen Temperaturen angepasst sein, hierfür sind beispielsweise Fußbodenheizungen und Deckenstrahlheizungen empfehlenswert.

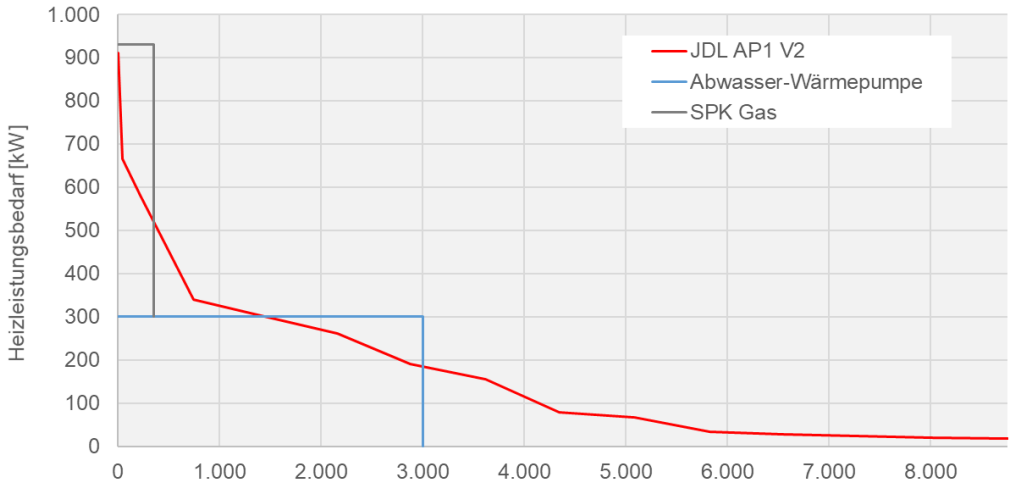

Abbildung 17: Wärmeversorgung AP1 Abwasserwärmepumpe

Die installierte Leistung der Wärmepumpe wird auf 300 kW geschätzt, analog zu Variante 1 soll ein Erdgaskessel die Spitzenlast abdecken. Die Laufzeit der Wärmepumpe wird auf mindestens 3.000 VBH geschätzt, abhängig von Modulationsbereich und Pufferspeicher.

Die Entnahmestation der Energie aus Abwasser kann an zwei Punkten in 500 bzw. 720 Meter Entfernung erfolgen.

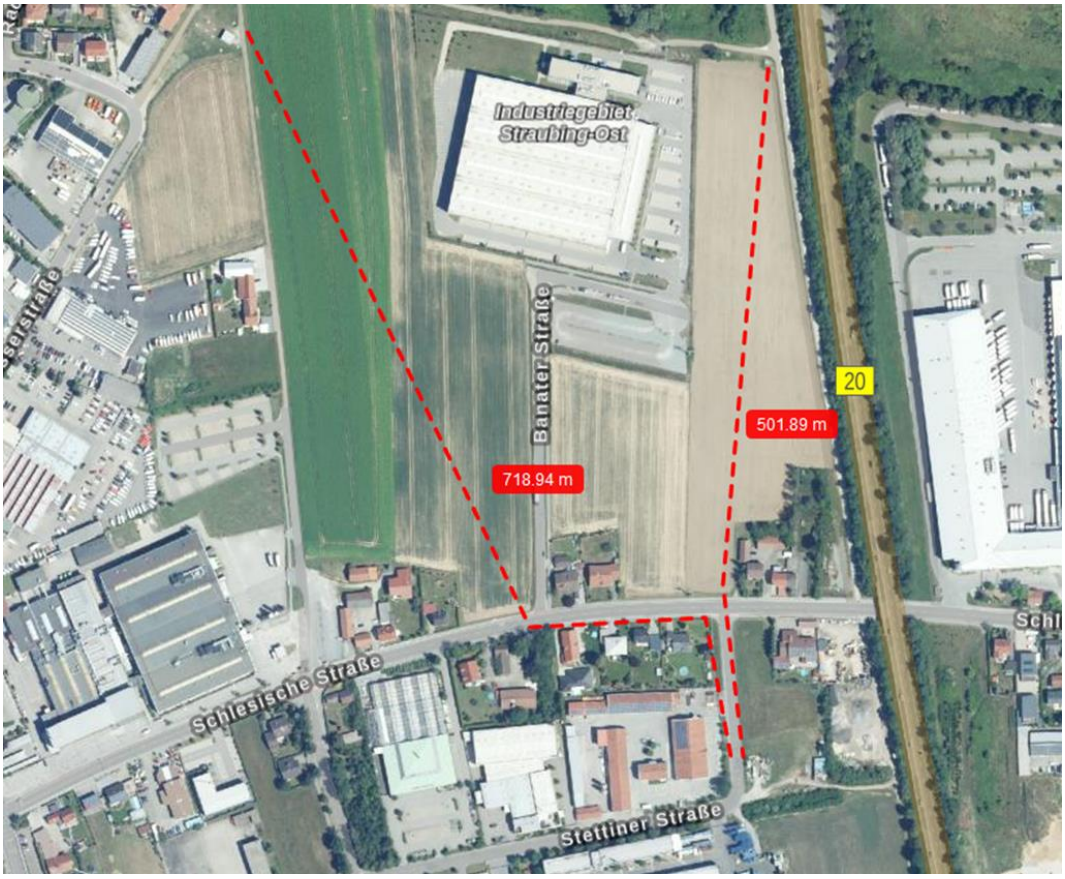

Abbildung 18: Entnahmemöglichkeiten der Energie aus Abwasser

An den Entnahmestellen wird Energie aus Abwasser mittels Wärmetauscher an einen separaten Wasserkreislauf übergeben und zur Heizzentrale des Bauhofs geleitet. Nach Abstimmung mit einem Hersteller zur Nutzung von Wärme aus Abwasser wird nachfolgend die nutzbare thermische Leistung je verfügbarem Temperaturniveau des Abwassernetzes abgeschätzt. Der Volumenstrom, welcher der Kanalisation zur Wärmeentnahme genutzt werden soll, beträgt 32 l/s. Die nutzbare Energie für den Betrieb der Wärmepumpe kann in drei Szenarios unterteilt werden, Sommer-, Übergangs- und Winterzeit.

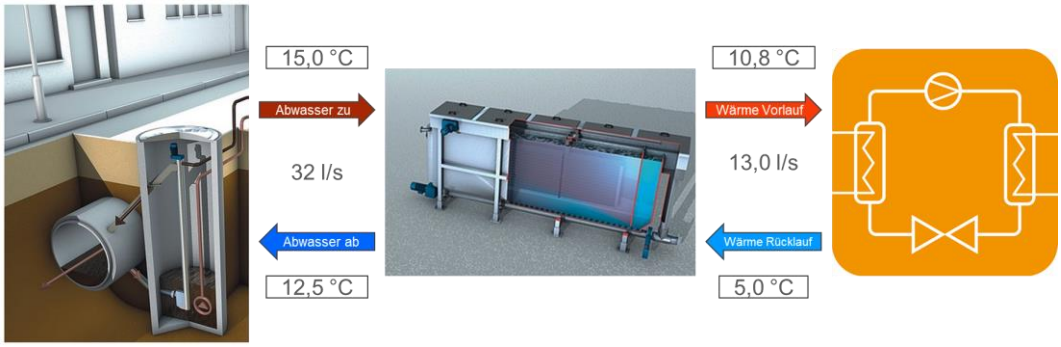

Abbildung 19: Energiebilanz Wärme aus Abwasser (Sommer)[3]

Das verfügbare Temperaturniveau im Sommer wird auf 15 C geschätzt. Aus dem Abwasser können bei diesen Randfaktoren rund 300 kW Wärme bezogen werden. Diese ist zu Heizzwecken in dieser Zeit nicht nötig, könnte jedoch auch zu Kühlzwecken genutzt werden. Der Heizkreisseitige Volumenstrom beträgt 13 l/s.

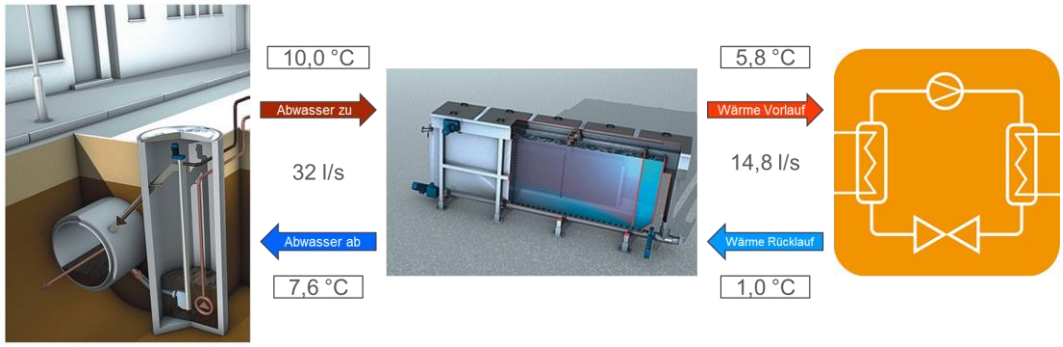

Abbildung 20: Energiebilanz Wärme aus Abwasser (Übergangszeit)

In der Übergangszeit kann eine mittlere Temperatur von 10°C im Kanalsystem angenommen werden. Der Wärmetauscher erwärmt das Wasser im Kollektorkreis auf etwa 5,8 C, insgesamt stehen ca. 300 kW an Heizleistung aus Abwasser zur Verfügung.

[3] IfE in Anlehnung und Abstimmung mit Huber SE

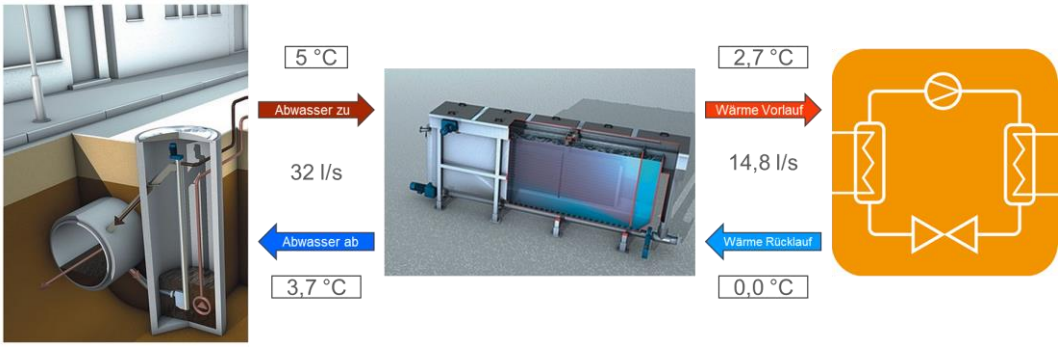

Abbildung 21: Energiebilanz Wärme aus Abwasser (Winter)

An sehr kalten Wintertagen kann es vorkommen, dass der Abwasserstrom 5 C erreicht. Bei diesen Temperaturen kann der Kollektorkreislauf auf etwa 2,7 C geheizt werden, der Rücklauf von der Wärmepumpe beträgt 0 C. Frostschäden können im System einerseits durch die Temperaturüberwachung der Wärmepumpe, andererseits durch Zugabe von Frostschutzmitteln vorgebeugt werden. Die verfügbare Leistung beträgt in diesem Fall etwa 167 kW.

Die Wärmepumpe zur Nutzung der Energie aus Abwasser basiert auf einem Richtpreisangebot der Firma Simaka. Die Heizleistung der Wärmepumpe wird auf 300 kW festgesetzt und erreicht eine max. elektrische Leistungsaufnahme von rund 200 kW. Aufgrund der verschiedenen Temperaturen in der Kanalisation schwankt die zu erwartende Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe. Nach Herstellerangaben kann mit folgenden COP gerechnet werden:

- Sommer (B10,8/W40): 5,19
- Übergang (B5,8/W50): 4,59
- Winter (B 2,7/W50): 2,3 (Annahme IfE)

Die Vorlauftemperatur beträgt 40°C, der Rücklauf 32°C.

4.3.3 V 1.3: Satelliten BHKW & Hackgutkessel

Die Verwertung von Klärgas soll in dieser Variante mittels BHKW erfolgen. Limitierender Faktor zur Dimensionierung ist einerseits der Wärme- und Strombedarf der zukünftigen Liegenschaften, andererseits die verfügbare Klärgasmenge. Für letztere wird angenommen, dass ausreichend Klärgas zur Verfügung stehen wird. Dies kann beispielsweise durch Speicherkapazitäten erreicht werden.

Zur Abschätzung des Strombedarfs wird auf bisherige Stromabrechnungen, Erfahrungswerte und die Einordnung nach VDI 3807 zurückgegriffen. Diese beziffert den jährlichen Strombedarf in Abhängigkeit zur Grundfläche der Gebäude. Im vorliegenden Fall wird dieser auf ca. 143.400 kWh geschätzt. Verglichen zu den mittleren Gesamtstrombedarf der Jahre 2015 - 2018 mit 128.000 kWh kann dieser Wert als realistisch eingeordnet werden, da beide Neubauten mit einer deutlichen Erweiterung der Gesamtfläche einhergehen. Aus dem Gesamtstrombedarf wird mittels Standardlastprofil Lastgang und Jahresdauerlinie simuliert.

Für einen wirtschaftlichen Betrieb des KWK-Systems ist eine hohe Eigenstromnutzung förderlich. Zusätzliche Einnahmen werden durch die Vergütung von Eigenstromnutzung und Einspeisung durch das KWK-G erzielt. Anhand der elektrischen Jahresdauerlinie kann das Verhältnis zu Stromerzeugung und Bedarf visualisiert werden.

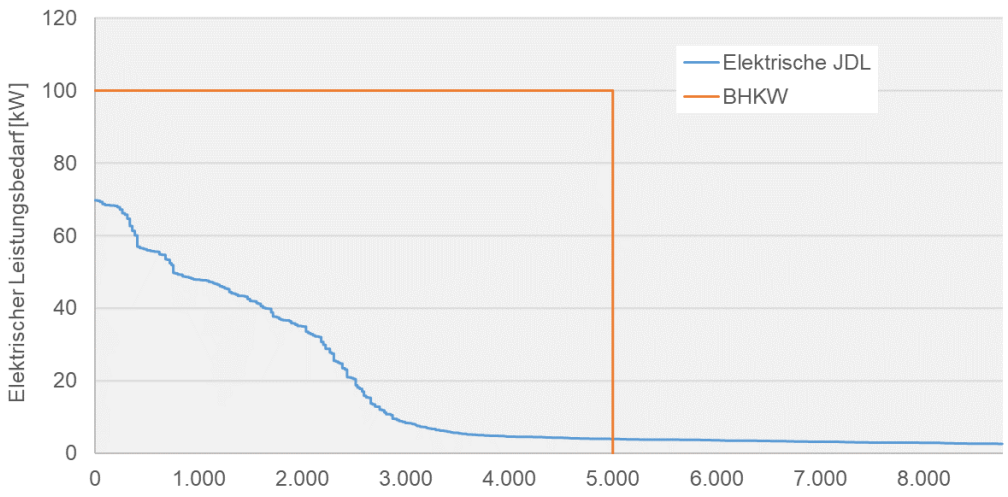

Abbildung 22: Elektrische JDL zur KWK-Dimensionierung

Das Diagramm zeigt ein BHKW mit 100 kW elektrischer Leistung und rund 5.000 Vollbetriebsstunden. Durch einen variablen Betrieb des BHKW die Laufzeit des BHKW auch über 5.000 h pro Jahr liegen. Mit Hilfe des zukünftigen elektrischen Lastganges der Liegenschaften kann die Stromeigennutzung prognostiziert werden, diese liegt bei etwa 18 %.

Durch den BHKW-Betrieb kann mehr als 60 % des Strombedarfs vor Ort gedeckt werden. Zur Dimensionierung weiterer thermischer Versorgungseinheiten wird die thermische Jahresdauerlinie eingesetzt.

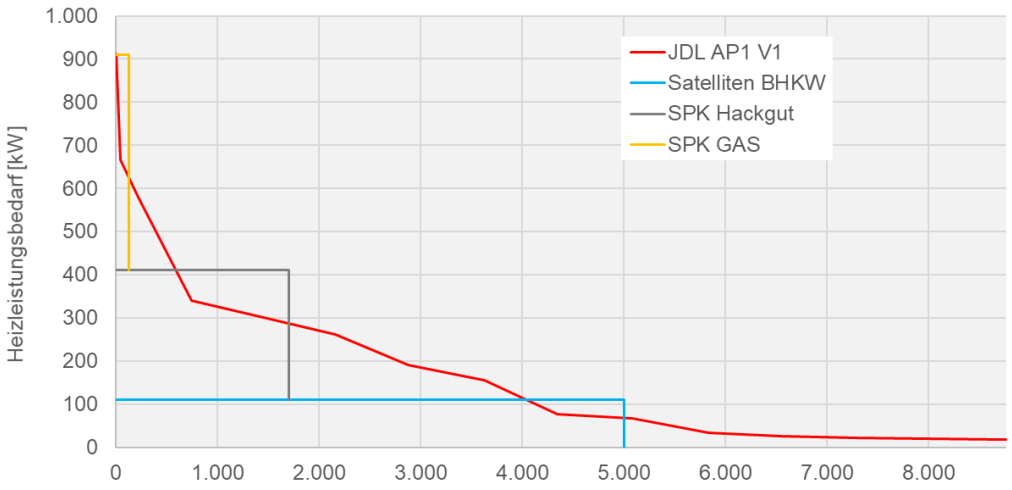

Abbildung 23: Wärmeversorgung AP1 Satelliten BHKW

Das Satelliten-BHKW kann etwa 50 % der erforderlichen Wärme bereitstellen. Zur Sicherstellung eines hohen regenerativen Anteils wird ein Hackgutkessel mit 300 kW installiert werden. Dieser entspricht dem System aus Variante 1. Lastspitzen sollen durch einen Erdgaskessel mit 500 kW Nennleistung gedeckt werden.

4.4 Arbeitspaket 2: Einzelversorgung Bauhof

Die Versorgung des zukünftigen Bauhofes ohne Stadtgärtnerei erfordert die Anpassung der Versorgungsvarianten und die Ausarbeitung alternativer Systeme.

4.4.1 V 2.1: Hackgutkessel

Die Dimensionierung erfolgt nach dem Prinzip aus Kapitel 4.3.1.

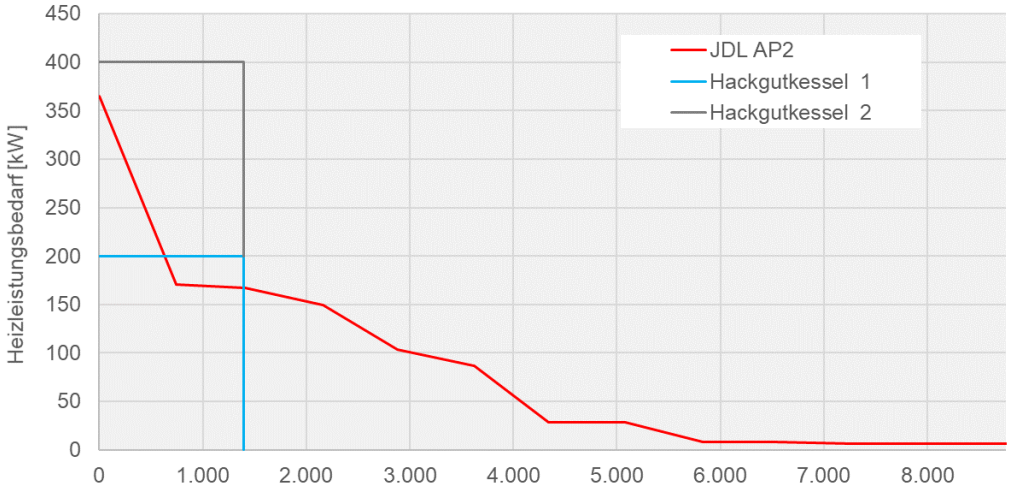

Abbildung 24: Wärmeversorgung AP2 Hackgutkessel

Signifikanter Unterschied zu AP1 ist die fehlende bzw. schwächer ausgeprägte Leistungsspitze der Jahresdauerlinie. Diese führt dazu, dass in dieser Variante ein System aus zwei identischen Hackgutkesseln mit je 200 kW ausgewählt wird. Ein zusätzlicher Erdgaskessel zur Versorgung der Lastspitzen ist nicht notwendig. Eine ausreichend lange Betriebszeit ohne hohe Taktfrequenzen sichert ein ausreichend großer Pufferspeicher von ca. 10.000 Litern.

4.4.2 V 2.2: Erdgas & Solarthermie

Der solare Anteil an Wärme muss nach Vorgabe des GEG mindestens 15 % betragen, dies entspricht ca. 83.700 kWh. Eine solarthermische Anlage sollte vorrangig zur Versorgung von Brauchwasser genutzt werden. Der jährliche Bedarf an Warmwasser inkl. Verluste wird auf ca. 50.000 kWh geschätzt und entspricht demnach etwa 9 % des Gesamtenergiebedarfs. Entscheidend für die Sinnhaftigkeit einer Solarthermieanlage ist die tatsächliche Nutzung, welche nachfolgend dargestellt werden soll.

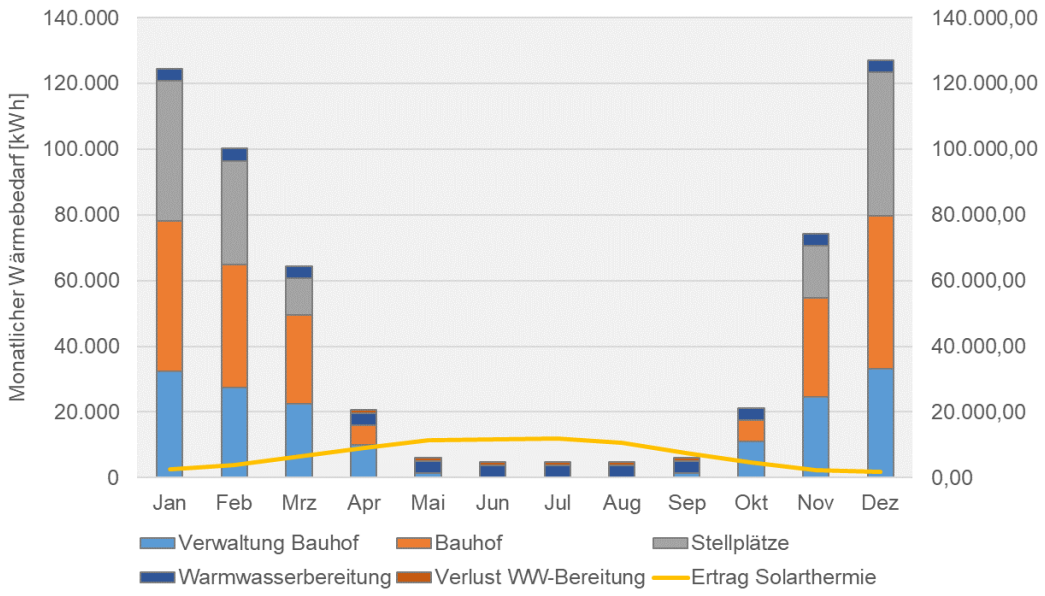

Abbildung 25: Solarer Ertrag zu Wärmebedarf

Anhand von Abbildung 25 wird die Diskrepanz zwischen höchster Ertragsrate zu Bedarf deutlich. Während der Sommermonat kann nur ein geringer Anteil an Energie aus der Solarthermie-Anlage genutzt werden. Im vorliegenden Beispiel können nur etwa 68 % der solaren Energie genutzt werden. Dabei wird vorausgesetzt, dass diese sowohl für Warmwasser als auch zu Heizzwecken genutzt wird.

Aufgrund des geringen Energiebedarfs in den Sommermonaten der fehlenden Gesamtdeckung wird die Variante Solarthermie in Verbindung mit einem Gaskessel nicht weiter betrachtet.

4.4.3 V 2.3: Luft/Wasser bzw. Abwasser-Wärmepumpe

Die Versorgung des Bauhofs mittels Wärmepumpe kann über zwei Versionen realisiert werden. Neben der Nutzung von Wärme aus Abwasser, wie in Kapitel 4.3.2 wird auch eine Luft-Wasser Wärmepumpe betrachtet. Die Varianten unterscheiden sich dabei in der Jahresarbeitszahl sowie der Investitionskosten.

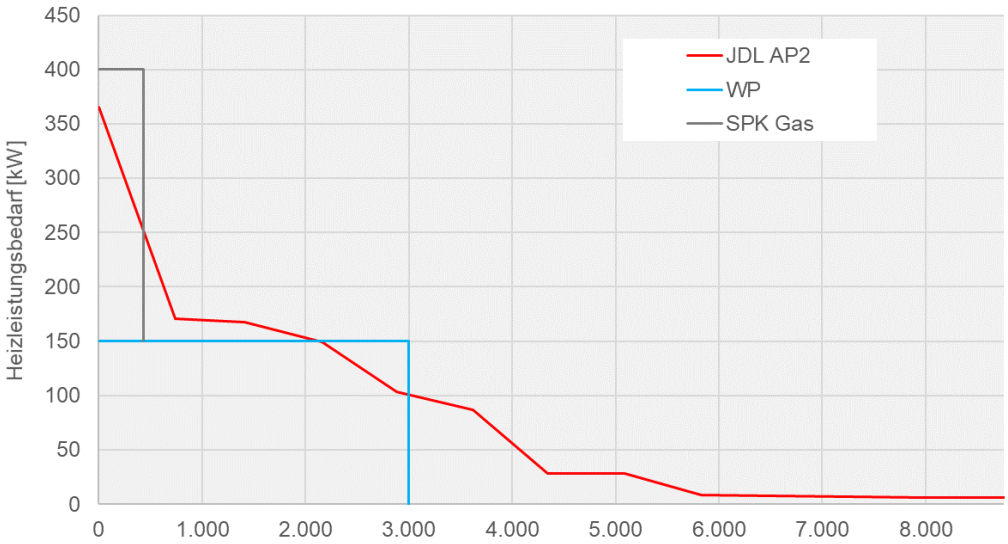

Abbildung 26: Wärmeversorgung AP2 Wärmepumpe

Zur Abdeckung von Spitzenlasten wird eine Erdgaskessel genutzt.

Die in diesem Kapitel erläuterten Varianten der beiden Arbeitspakete werden im Anschluss einer Wirtschaftlichkeitsprüfung unterzogen. Diese dient - neben einer ökologischen Einordnung - als maßgebendes Instrument zur Wahl einer Wärmeversorgung.

5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

5.1 Grundannahmen

Basierend auf den in den vorausgegangenen Kapiteln entwickelten Energieversorgungsvarianten wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zur Ermittlung der ökonomisch günstigsten Variante durchgeführt. Dabei werden im Rahmen einer Vollkostenrechnung die Jahresgesamtkosten nach der Annuitätenmethode in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 ermittelt. Die Jahresgesamtkosten geben an, wie hoch die Kosten zur Wärmebereitstellung pro Jahr unter Berücksichtigung von Kapitalkosten, Instandhaltungs- und Wartungskosten, Verbrauchskosten, sonstigen Kosten und evtl. Einnahmen durch einen Stromverkauf, sind.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung gelten folgende Grundannahmen:

- Bezugsjahr ist 2020
- Betrachtungszeitraum 20 Jahre
- Lineare Abschreibung über 20 Jahre
- Alle Preise sind Nettopreise
- Der kalkulatorische Zinssatz beträgt für Fremdkapital konstant 2 % über 20 Jahre
- Die Brennstoffkosten bleiben im Betrachtungszeitraum konstant, Preisänderungen werden gesondert über eine Sensitivitätsbetrachtung erfasst
- Der Zuschlag für den produzierten KWK- Strom wird für 30.000 Vollbenutzungsstunden gezahlt und gemittelt über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren betrachtet; Strom aus BHKW wird nach dem Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz in der aktuellen Fassung des vorliegenden Referentenentwurfs zur Neufassung des KWKG beachtet

Folgende Kosten bzw. Erlöse werden berücksichtigt:

- Kapitalkosten (Investitionskosten auf Basis durchschnittlicher Nettomarktpreise für die einzelnen Komponenten)
- Betriebsgebundene Kosten (Wartung, Instandhaltung, Betriebsführung, technische Überwachung, Personalkosten)
- Verbrauchsgebundene Kosten (Brennstoffe und Hilfsenergie)
- Sonstige Kosten (z.B. Versicherung)
- Einnahmen durch Stromeinspeisung
- Vermiedene Strombezugskosten

Die **Investitionskosten** sind nicht als konkrete Angebotspreise, sondern lediglich als durchschnittliche Marktpreise zu verstehen und können in der tatsächlichen Umsetzung nach oben oder unten abweichen.

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Wärmeversorgungsstruktur nur näherungsweise festgelegt werden, wodurch die kalkulierten Kosten von den realen Kosten abweichen können. Die im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie angenommenen Nettoinvestitionskosten basieren ebenso wie die Brennstoff- und Betriebskosten auf durchschnittlichen Marktpreisen und nicht auf konkreten Angebotsvorlagen. In der tatsächlichen Umsetzung, die von einer Ausschreibung eingeleitet wird, können daher die Preise von den hier kalkulierten abweichen. Vor diesem Hintergrund werden für die unterschiedlichen Varianten Sensitivitätsanalysen erarbeitet, welche den Einfluss einzelner Parameter auf die spezifischen Wärmegestehungskosten aufzeigen.

<u>Die Investitionskosten umfassen im Einzelnen:</u>

- Wärmeerzeuger, KWK- Anlagen (BHKW)
- Anlagenperipherie (Klärgasleitung, Wärmeleitung)
- benötigte Anlagentechnik zur Einbindung (HLS, Elektro, MSR)
- Heizhaus inkl. Brennstofflager (falls notwendig)
- Technische Installationskosten
- Planungskosten

Die Investitionskosten beziehen sich auf eine Erstinstallation der Wärmeerzeuger. Eine über die standardmäßige Einbindung hinausgehende Installation einer Heizungsverteilung, die Installation einer übergeordneten Gebäudeleittechnik oder sonstige weitere TGA-Elemente (z.B. Lüftungsanlagen) sind an dieser Stelle nicht in den Kalkulationen berücksichtigt.

Aus den Investitionskosten werden die jährlichen **kapitalgebundenen Kosten** nach der Annuitätenmethode für einen Abschreibungszeitraum von 20 Jahren gebildet.

Die **betriebsgebundenen Kosten** beinhalten die Kosten für die Bedienung der technischen Anlagen sowie die Kosten für Wartung und Instandhaltung der einzelnen Aggregate und Komponenten. In den Kosten sind sowohl Personal- als auch Materialkosten inbegriffen. Darüber hinaus sind Abrechnungskosten berücksichtigt.

Die jährlichen Kosten für Wartung und Instandhaltung der einzelnen Baugruppen bzw. der Anlagentechnik (bis auf die BHKW-Module) werden in Anlehnung an die VDI 2067 als prozentualer Anteil an den Investitionskosten ermittelt.

Bei einem Blockheizkraftwerk werden die Wartungs- und Instandhaltungskosten als spezifische Kosten anhand der erzeugten elektrischen Energie in Ct/kWh$_{el}$ angesetzt. In diesen Kosten sind alle Wartungs-, Reparaturarbeiten, Ersatzteile, Betriebsstoffe, die für eine BHKW-Anlage benötigt werden, im Sinne eines Vollwartungsvertrages enthalten.

Kosten für Kaminkehrer und technische Überwachung werden pauschal angesetzt.

Die **verbrauchsgebundenen Kosten** setzen sich aus den jährlichen Brennstoffkosten und den Kosten für Hilfsenergie zusammen.

<u>Für die Brennstoffe werden folgende Netto-Preise angenommen:</u>

- Erdgas: 5,4 Ct/kWh$_{Hi}$ (Ø 5 Jahre; Destatis)
- Hackschnitzel: 122 €/t (C.A.R.M.E.N. e.V.)
- Allgemeinstrom: 19,7 Ct/kWh$_{el}$ (Durchschnittspreis größere Abnehmer)
- Wärmestrom: 16,8 Ct/kWh$_{el}$ (Durchschnittspreis größere Abnehmer)

Zur Berücksichtigung der ab 2021 gültigen und schrittweise ansteigenden sog. CO_2-Abgabe auf fossile Energieträger (Erdgas) wird diese mit einer mittleren Höhe von 65 €/t$_{CO2}$ in den Berechnungen berücksichtigt.

Die **sonstigen Kosten** umfassen Kosten für Verwaltung und Versicherung, welche mit einem prozentualen Anteil in Bezug auf die zu erwartenden Investitionskosten pauschal angesetzt werden.

Einnahmen Erdgas- BHKW

Erlöse ergeben sich bei BHKW aus der Stromeigennutzung, der Stromeinspeisung, der Zuschlagszahlung nach dem KWK-Gesetz und der Steuerrückerstattung.

Bei der Steuerrückerstattung nach § 53a Energiesteuergesetz wird die Energiesteuer bei Brennstoffen, die zur gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme genutzt werden, vollständig zurückerstattet. Voraussetzung hierfür ist, dass es sich um eine hocheffiziente und noch nicht vollständig abgeschriebene Anlage (Abschreibung nach Abnutzung; AFA) handelt, ansonsten greift § 53b Energiesteuergesetz. Details sind dem Gesetzestext zu entnehmen. Für das hier berechnete Satelliten-BHKW ist diese Rückerstattung nicht möglich, da Klärgas als Brennstoff eingesetzt wird.

Die Einspeisevergütung und Stromeigennutzung werden durch das KWK-Gesetz geregelt. Dieses legt die Vergütung von Strom aus Kraft-Wärme-Kopplung, z.B. bei gasmotorischen Blockheizkraftwerken fest.

Dabei gilt für das hier betrachtete Blockheizkraftwerk folgende Rahmenbedingung:

Tabelle 4: Zuschlagszahlungen nach dem KWKG für BHKW mit einer Leistung von bis 100 kW_{el}

Leistungsstufe	[kW_{el}]	**bis 100 kW**
Netzeinspeisung ≤ 50 kW	[ct/kWh_{el}]	8
Netzeinspeisung > 50 bis ≤100 kW	[ct/kWh_{el}]	6
Eigenverbrauch ≤ 50 kW	[ct/kWh_{el}]	4
Eigenverbrauch > 50 bis ≤100 kW	[ct/kWh_{el}]	3
Dauer des Zuschlags	[vbh/a_l]	5.000
Gesamtdauer	[vbh]	30.000

In der betrachteten Variante wird von einer nicht vollständigen Eigennutzung des produzierten Stroms ausgegangen (geringer Anteil). Der Anteil an selbst genutztem Strom wird nach der obenstehenden Tabelle vergütet. Der Strom, der in das öffentliche Netz eingespeist wird, wird nach dem sogenannten „üblichen Preis“ vergütet. Dieser Preis gilt als Richtpreis, der bezahlt werden muss, wenn sich der Energieversorger und der KWK-Anlagenbetreiber auf keine andere Vergütung einigen können. Der übliche Preis liegt derzeit im Mittel bei ca. 3,88 Ct/kWh_{el}.

Zusätzlich zu dieser Vergütung wird der KWK-Zuschlag, wie in Tabelle 4 dargestellt, berücksichtigt. Hierbei können nach den derzeitig vorgeschlagenen, neuen Förderbedingungen pro Jahr lediglich 5.000 vbh vergütet werden, vorausgesetzt die KWK Anlage wird bis Ende 2022 in Betrieb genommen. Darüber hinaus gehende Betriebszeiten erhalten keinen KWK-Zuschlag. Die Gesamtvergütungsdauer beläuft sich auf 30.000 vbh, es erfolgt jedoch lediglich eine Anrechnung der tatsächlich pro Jahr vergüteten Betriebszeiten.

Hinweis:
Da sowohl die Energiesteuerrückerstattung als auch der KWK-Zuschlag nicht über den gesamten Betrachtungszeitraum konstant und Prognosen zur zukünftigen Entwicklung kaum möglich sind, werden die Einnahmen bzw. Einsparungen nach aktuellem Gesetzesstand vereinfachend gleichmäßig auf den gesamten Betrachtungszeitraum (20 Jahre) umgelegt.

5.2 Allgemeine Fördermöglichkeiten

Anschließend werden verschiedene Förderprogramme vorgestellt, mit denen eine zentrale Energieversorgungsanlage bzw. ein möglicher Nahwärmeverbund gefördert werden können. Die Gewährung der Fördermittel ist dem jeweiligen Fördermittelgeber überlassen und im Einzelfall vor Umsetzung detailliert zu prüfen.

5.2.1 BAFA Marktanreizprogramm

Um die Förderung für Biomasseheizanlagen durch das Marktanreizprogramm in Anspruch nehmen zu können, gilt es gewisse Mindestvorgaben / Fördervoraussetzungen einzuhalten. Diese sind u.a. eine Mindestwärmeleistung (5 kW_{th}), Emissionsgrenzwerte, Kesselwirkungsgrad (>89 %), hydraulischer Abgleich des Heizungssystems sowie ein Mindest-Pufferspeichervolumen und der ausschließliche Einsatz naturbelassener Biomasse.

Die Förderhöhe im **Gebäudebestand** beträgt pauschal **35 % der ansatzfähigen Investitionskosten.** Im **Neubau beträgt die Förderquote** ebenfalls **35 %**, jedoch sind im Neubau weitere technische Voraussetzungen an die Anlagen einzuhalten (z.B. Brennwertnutzung oder eine sekundäre Partikelabscheidung). Zudem sind förderfähige Anlagen einer vom BAFA bereitgestellten Liste zu entnehmen.

Die genauen Details zum Förderprogramm können unter

http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/index.html nachgelesen werden.

5.2.2 KfW-Programm - Erneuerbare Energien „Premium“ - Große Biomasseheizanlagen

Im Programmteil Erneuerbare Energien „Premium“ des KfW-Förderprogramms wird die Errichtung bzw. Erweiterung automatisch beschickter Anlagen zur Verfeuerung und Vergasung fester Biomasse für die thermische Nutzung und zur kombinierten Wärme- und Stromerzeugung (KWK) mit einer installierten Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW_{th} gefördert.

Die Förderung teilt sich in eine Grundförderung (bis zu 20 €/kW_{th}) und eine Bonusförderung (Innovationsförderung) auf. Die Innovationsförderung kann gewährt werden, wenn entsprechend dimensionierte Pufferspeicher (10 €/kW_{th}) oder besonders niedrige Staubemissionen (bis zu 20 €/kW_{th}) erreicht werden.

Die genauen Details zum Förderprogramm können unter

https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Wohnwirtschaft/Finanzierungsangebote/Erneuerbare-Energien-Premium-(271-281)/index.html nachgelesen werden.

5.2.3 Bayern: Förderprogramm BioKlima

Gefördert werden im „Förderprogramm BioKlima“ Neuinvestitionen zur Errichtung von automatisch beschickten Biomasseheizanlagen mit einer Leistung von 60 kW_{th} bis 200 kW_{th}. Als Brennstoff dürfen ausschließlich naturbelassene Holz- oder Biomassebrennstoffe aus heimischer Produktion eingesetzt werden.

Bei der Biomasseheizanlage, die einen Pufferspeicher besitzen muss, ist eine Auslastung von mindestens 2.000 Volllaststunden zu erreichen. Bei monovalenten Anlagen müssen 1.500 Stunden erreicht werden. Bei Wärmenetzen ist eine Wärmebelegung, bezogen auf den prognostizierten Wärmeabsatz, von mindestens 1,5 MWh_{th}/m*a neu errichteter Trasse sowie kalkulierte Netzwärmeverluste von weniger als 15 % des prognostizierten Jahresenergiebedarfs, nachzuweisen. Ein schlüssiger und abgesicherter Kosten- und Finanzierungsplan muss vorliegen.

Neben einer **Grundförderung in Höhe von 30 % - 40 %** (abhängig von der Unternehmensgröße) **der „zuwendungsfähigen Kosten“** gibt es eine Zusatzförderung für weitere Energieeffizienzmaßnahmen (Abgaswärmetauscher oder Abgaskondensationsanlage +5 % der zuwendungsfähigen Kosten).

Als zuwendungsfähige Kosten sind die Investitionsmehrkosten einer Biomasseheizanlage ggü. einer konventionellen, d.h. fossilen Energieerzeugungsanlage zu verstehen. Eine Kumulierung mit weiteren Fördermitteln ist zulässig, jedoch gelten Vorgaben zur maximalen Beihilfeintensität.

Die genauen Details zum Förderprogramm können unter

http://www.tfz.bayern.de/foerderung/index.php nachgelesen werden.

5.2.4 Wärmepumpen / Oberflächennahe Geothermie

BAFA Marktanreizprogramm

Um die Förderung für Wärmepumpenanlagen zur Nutzung von Umweltwärme durch das Marktanreizprogramm in Anspruch nehmen zu können, gilt es auch hier gewisse Mindestvorgaben / Fördervoraussetzungen einzuhalten. Diese sind u.a. der Einbau eines Wärmemengen- sowie eines Strom- oder Gaszählers, ein hydraulischer Abgleich des Heizungssystems sowie der Einsatz eines Flächenheizsystems mit an das Gebäude angepasster Heizkurve.

Wesentliche Fördervoraussetzung ist zudem die Einhaltung der Jahresarbeitszahl.

Gebäudebestand:

Sole-/Wasser- und Wasser-/Wasser-Wärmepumpen	≥ 4,0
Luft-/Wasser-Wärmepumpen	≥ 3,5
Gasbetriebene Wärmepumpe	≥ 1,3

Neubau:

Elektrisch betriebene Wärmepumpe	≥ 4,5
Gasbetriebene Wärmepumpe	≥ 1,5

Detaillierte Angaben zu den genannten Förderbedingungen sowie weitere einzuhaltende Vorgaben seitens des Fördermittelgebers sind den jeweiligen, aktuellen Bestimmungen zu entnehmen.

Die Förderhöhe sowohl im **Gebäudebestand** als auch im **Neubau** beträgt pauschal **35 % der ansatzfähigen Investitionskosten.** Im Neubau sind jedoch weitere, technische Voraussetzungen an die Anlagen einzuhalten (z.B. muss das Wärmeverteilsystem als Flächenheizung ausgeführt sein).

Die genauen Details zum Förderprogramm können unter

http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/index.html nachgelesen werden.

KfW-Programm - Erneuerbare Energien „Premium“ - Große effiziente Wärmepumpen

Im Programmteil Erneuerbare Energien „Premium“ des KfW-Förderprogramms wird die Errichtung von effizienten Wärmepumpenanlagen (Sole-/Wasser- oder Wasser-/Wasser-Wärmepumpen) mit einer installierten Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW_{th} gefördert.

Nicht gefördert werden Luft-/Wasser- oder Luft-/Luft-Wärmepumpen.

Die Förderhöhe bezieht sich auf die Wärmeleistung im Auslegungspunkt und beträgt für förderfähige Anlagen 80 €/kW_{th} (mindestens jedoch 10.000 €). Die Förderhöchstgrenze liegt bei 100.000 € pro Anlage.

Darüber hinaus beläuft sich der Tilgungszuschuss im Hinblick auf notwendige Erdsonden auf 4 €/m für Sonden bis 400 m und 6 €/m für Sonden ab 400 m vertikale Tiefe.

Die genauen Details zum Förderprogramm können unter

https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/Wohnwirtschaft/Finanzierungsangebote/Erneuerbare-Energien-Premium-(271-281)/index.html nachgelesen werden.

5.2.5 Erneuerbare Energien Hybridheizungen

BAFA Marktanreizprogramm

Um die Förderung für die Kombination aus einem Erdgaskessel verbunden mit einem Wärmeerzeuger auf regenerativer Basis durch das Marktanreizprogramm in Anspruch nehmen zu können gilt es auch hier gewisse Mindestvorgaben / Fördervoraussetzungen einzuhalten. Die Anforderungen an die regenerativen Wärmeerzeuger sind den jeweiligen Einzelbestimmungen zu entnehmen. Darüber hinaus gehend müssen u.a. folgende Parameter eingehalten werden:

- Gemeinsame Steuerung der Wärmeerzeuger
- Thermische Leistung der regenerativen Wärmeerzeuger >25 % der Gebäudeheizlast (bezogen auf die Berechnung nach DIN 12831)
- Jahreszeitbedingte Raumheizungseffizienz $\eta_S \geq 92$ % bei Nennlast

Die Förderhöhe im Gebäudebestand beträgt pauschal bis zu **30 % der ansatzfähigen Investitionskosten.** Es erfolgt **keine Förderung** von Gas-Hybridheizungen **im Neubau** (nur EE-Anlagen ohne Gasspitzenlastkessel/-thermen sind förderfähig).

Zudem sind förderfähige Anlagen einer vom BAFA bereitgestellten Liste zu entnehmen.

Die genauen Details zum Förderprogramm können unter

http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/index.html nachgelesen werden.

5.2.6 Förderung Gebäude (Sanierungsmaßnahmen / Neubau)

KfW Kredit 220 / 219 mit Tilgungszuschuss

IKU - Energieeffizient Bauen und Sanieren

Dieser Förderkredit ermöglicht es Unternehmen mit mehrheitlich kommunalem Gesellschafterhintergrund, Kirchen, gemeinnützige Einrichtungen sowie öffentlich-private Partnerschaften mit Hilfe eines kostengünstigen Kredites mit max. 25 Mio. € pro Vorhaben (bis zu 100 % der förderfähigen Kosten können finanziert werden) einen energieeffizienten Neubau zu erstellen.

Flankiert wird der klassische Kredit durch einen Tilgungszuschuss, welcher durch den erreichten Effizienzgebäudestandard festgelegt ist. Dieser Tilgungszuschuss wird anhand der Höhe des Kreditbetrages errechnet und beläuft sich im Falle eines Neubaus auf KfW-Effizienzgebäude-55 Niveau auf 5 Prozentpunkte des förderfähigen Investitionsvolumens bzw. maximal 50 €/m²$_{NGF}$ (als Höchstgrenze).

Hinweis: Die Förderbedingungen ändern sich zum 01.07.2021.

Die genauen Details zum Förderprogramm der Kreditanstalt für Wideraufbau können unter

https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Energetische-Stadtsanierung/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Sanieren-kommunale-Unternehmen-(219)/ nachgelesen werden.

Weitere Hinweise zu den Förderungen

Anspruch auf Vollständigkeit aller Fördermittel besteht nicht. Die genauen Zuwendungsbedingungen sind den entsprechenden Förderprogrammen zu entnehmen und auf die endgültigen Investitionskosten (Ermittlung im Rahmen einer Ausschreibung) sowie den aktuellen Stand der Förderprogramme anzupassen.

5.2.7 Zusammenfassung Förderungen

Die in den vorangegangenen Punkten dargestellten Fördermittel geben einen Überblick über die gesamte Förderbreite für die einzelnen Energieversorgungsvarianten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass für die vorgestellten Energieversorgungsvarianten folgende Investitionsfördermittel im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berücksichtigt werden:

- Variante 1.1: BAFA Biomassekessel
- Variante 1.2: BAFA MAP Wärmepumpe
- Variante 1.3: BAFA Biomassekessel
- Variante 2.1: BAFA Biomassekessel
- Variante 2.2: BAFA MAP Wärmepumpe
- Variante 2.3: BAFA MAP Wärmepumpe

Im Rahmen des Konzeptes werden die Anforderungen der jeweiligen Förderprodukte als erfüllt angenommen. Die Details müssen im Rahmen einer Ausführungsplanung nachgewiesen werden.

Hinweis Fördermittelansatz

Im Bestand sind Heizanlagen bestehend aus einer Kombination aus Erdgaskessel und erneuerbarem Energieträger grundsätzlich förderfähig. Dieser Umstand entfällt im Falle eines Neubaus. Nach Auskunft des BAFA ist hierfür der Standort der Heizzentrale maßgeblich. Im weiteren Verlauf der Kalkulation wird angenommen, dass die künftige Heizzentrale im Bestandsgebäude (Verwaltungstrakt) verortet ist. D.h. es werden die Fördersätze für den Gebäudebestand (BAFA MAP) angesetzt.

Weitere Hinweise zu den Förderungen

Ein Rechtsanspruch des Antragstellers auf Zuwendungen besteht nicht. Die KfW-Fördermittelbank, das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle entscheiden aufgrund ihres pflichtgemäßen Ermessens. Die Gewährung der Zuwendung steht unter dem Vorbehalt der Verfügbarkeit der veranschlagten Haushaltsmittel.

Anspruch auf Vollständigkeit aller Fördermittel besteht nicht. Die genauen Zuwendungsbedingungen sind den entsprechenden Förderprogrammen zu entnehmen und auf die endgültigen Investitionskosten (Ermittlung im Rahmen einer Ausschreibung) sowie den aktuellen Stand der Förderprogramme anzupassen.

Sonderförderungen wie beispielsweise die Innovationsförderungen (Staubemissionen) werden nicht berücksichtigt. Hier sind zur Gewährung Referenzmessungen erforderlich, die im Rahmen der Studie nicht erfolgen können.

5.3 Arbeitspaket 1

5.3.1 Investitionskosten

In diesem Planungsstadium kann der Aufwand für die Errichtung der Anlagentechnik sowie notwendigen baulichen Maßnahmen nur näherungsweise festgelegt werden, wodurch die kalkulierten Kosten von den realen Kosten abweichen können. Die im Rahmen des vorliegenden Energiekonzepts angenommenen Nettoinvestitionskosten der Anlagenteile basieren ebenso wie die Brennstoff- und Betriebskosten auf durchschnittlichen Marktpreisen und nicht auf konkreten Angebotsvorlagen. In der tatsächlichen Umsetzung, die von einer Ausschreibung eingeleitet wird, können die Preise daher, je nach Ausführungsstandard, von den hier kalkulierten abweichen. Die Investitionskostenprognose beschränkt sich auf die in den einzelnen Varianten vorgesehenen Wärme- und Kälteerzeuger sowie KWK- Anlagen inkl. deren Einbringung, Einbindung, Energie- und Brennstoffversorgung, notwendige Anlagentechnik sowie einer zentralen Energiezentrale, zur Integration dieser Einheiten. Für alle Varianten mit Biomasseversorgung ist als Brennstofflager ein Lagerraum in entsprechender Größe vorgesehen und berücksichtigt. Zur Visulisierung einer beispielhaften Energiezentrale dient folgende Abbildung. Die Energiezentrale in jeder Variante berücksichtigt.

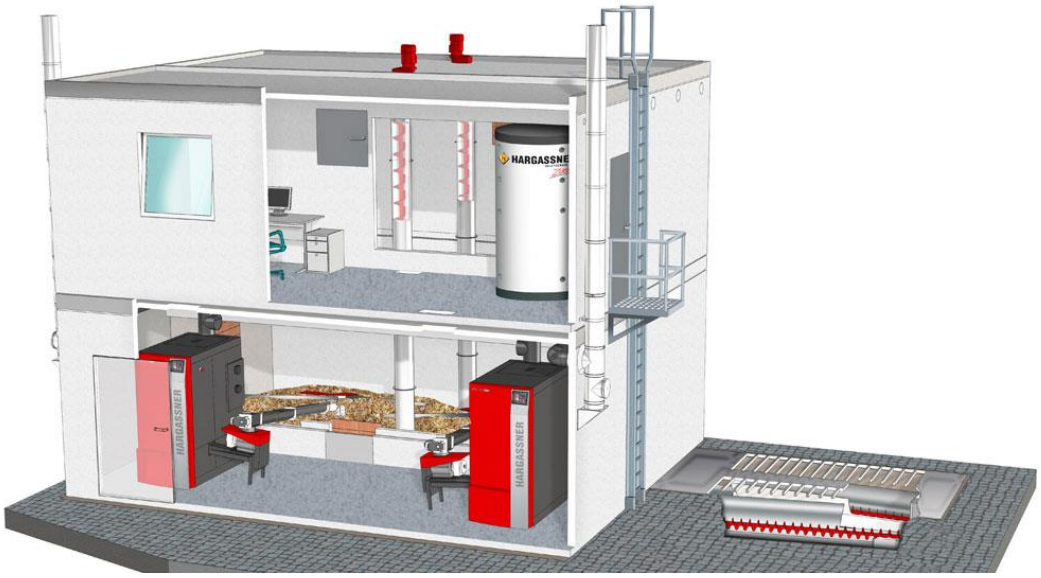

Abbildung 27: Beispiel für Energiezentrale[4]

Kosten für die notwendigen Materialien sowie Erdarbeiten zur Erstellung des Wärmeverbundes zwischen den Gebäuden (Wärmetrasse) sind ebenso enthalten.

Eine entsprechende Schwankungsbreite der Richtpreise ist zu berücksichtigen und bei Vorlage erster Angebote zu verifizieren.

In der anschließenden Abbildung sind die prognostizierten Nettoinvestitionskosten der betrachteten Energieversorgungsvarianten dargestellt.

[4] https://www.hargassner.at/produkte/heizmodul.html#images-4

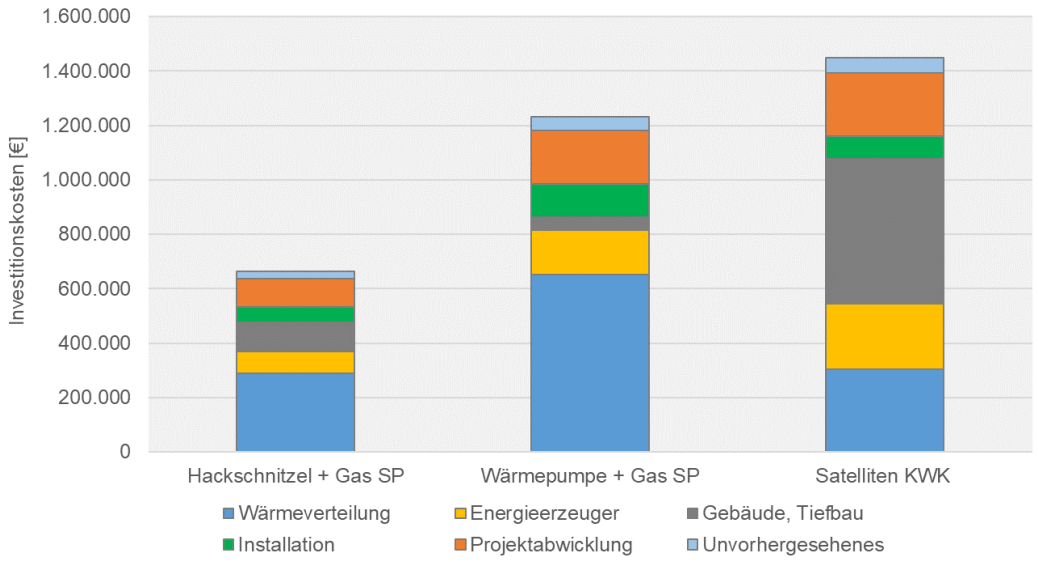

Abbildung 28: Investitionskostenprognose der Energieversorgungsvarianten des AP1

Die Gesamtinvestitionen reichen von ca. 670.000 bis etwa 1.450.000 €. Die Varianten mit Abwasser-Wärmepumpe und BHKW beinhalten zusätzliche große Investitionspakete durch Wärmeüberleitung bzw. Gastransport.

5.3.2 Jährliche Einnahmen und Ausgaben

Aus den Investitionskosten werden nach der Annuitätenmethode die jährlichen Kapitalkosten gebildet, die sich zusammen mit den Betriebskosten, den verbrauchsgebundenen Kosten und den sonstigen Kosten, die nach den Grundannahmen in Kapitel 5.1 berechnet werden, zu den Jahresgesamtkosten addieren. Die Aufteilung der jährlichen Ausgaben auf die verschiedenen Kostenarten ist in der folgenden Abbildung grafisch dargestellt.

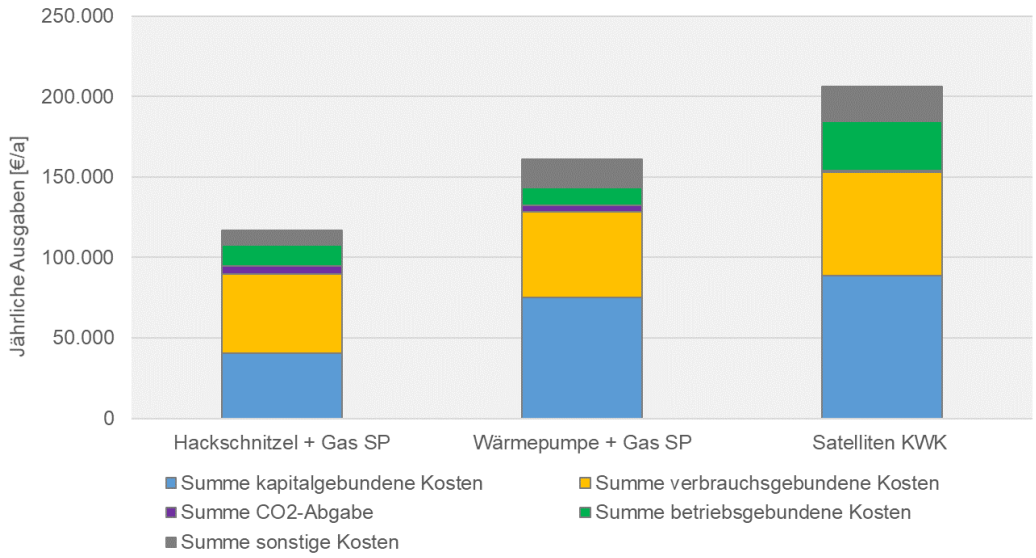

Abbildung 29: Mittlere jährliche Ausgaben im Betrachtungszeitraum AP1

Zusätzlich ist ab dem Jahr 2021 eine CO_2-Abgabe für den Bezug fossiler Brennstoffe notwendig, diese sind ebenfalls in den jährlichen Kosten berücksichtigt.

Anschließender Abbildung sind die derzeit zu erwartenden Einnahmen der KWK-Variante zu entnehmen (gemittelt über den Betrachtungszeitraum). Diese verteilt sich auf drei Ebenen. Für den selbst genutzten Stromanteil wird einerseits eine Stromkostengutschrift für nicht bezogenen Netzstrom berücksichtigt, andererseits wird Eigenstromnutzung durch das KWK-G gefördert. Die Stromeinspeisung in das öffentliche Netz wird ebenfalls durch das KWK-G gefördert, zusätzlich können Erlöse an der Strombörse (EEX) erzielt werden.

Abbildung 30: Mittlere jährliche Einnahmen im Betrachtungszeitraum

Der Jährliche Ertrag durch BHKW-Betrieb wird im Mittel auf ca. 46.200 € geschätzt.

5.3.3 Jahresgesamt- und Energiegestehungskosten

In der folgenden Abbildung sind die kalkulierten Jahresgesamtkosten und die sog. Wärmegestehungskosten der einzelnen Varianten dargestellt. Die Jahresgesamtkosten ergeben sich aus der Summe der jährlichen kapitalgebundenen-, betriebsgebundenen-, verbrauchsgebundenen und sonstigen Kosten abzüglich der Einnahmen aus dem Stromverkauf bzw. vermiedenen Strombezugskosten. Aus den Jahresgesamtkosten werden die spezifischen thermischen Energiegestehungskosten ermittelt, welche die Kosten pro Kilowattstunde Nutzwärme beziffern.

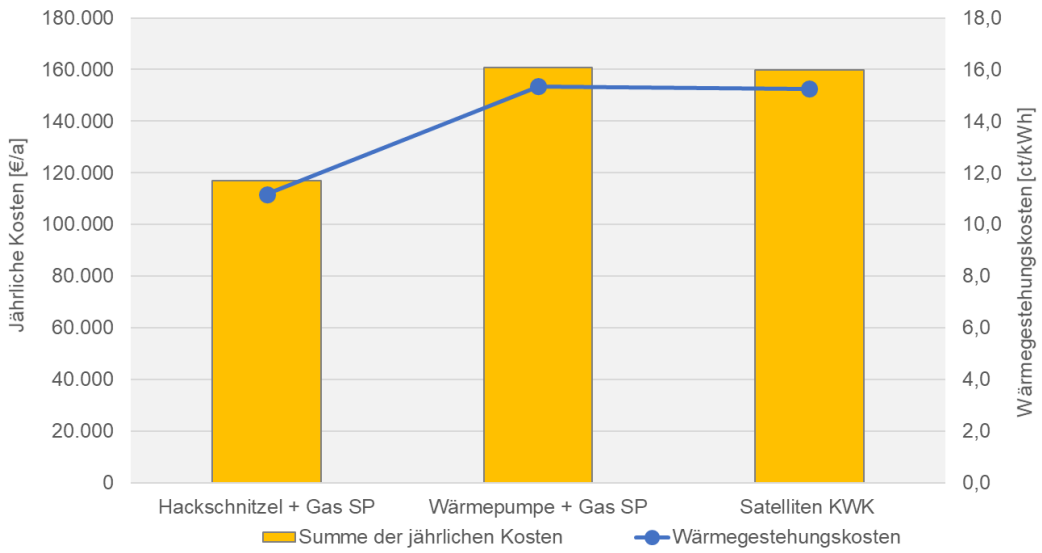

Abbildung 31: Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten ohne Förderung AP1

Die jährlichen Kosten der drei Varianten reichen von 116.000 bis 160.000 €, die höchsten Kosten entstehen in Variante 2, der Abwasser-Wärmepumpe in Verbindung mit Erdgas-Spitzenlastkessel und dem System aus Satelliten BHKW, Biomassekessel und Erdgasspitzenlastkessel. Die Kostengünstigste Variante 1, bestehend aus einem Hackgutkessel und einem Gas-Spitzenlastkessel kann mit einem Kostenvorteil von 44.000 € gegenüber Variante 2 betrieben werden. Auch das Klärgas-BHKW, welches durch Stromproduktion zusätzliche Einnahmen bzw. Einsparungen generiert, führt zu erhöhten jährlichen Kosten gegenüber Variante 1.

Unter Berücksichtigung möglicher Fördermittel sinken die thermischen Energiegestehungskosten je nach Variante. Dieser Zusammenhang ist in anschließender Grafik aufgezeigt.

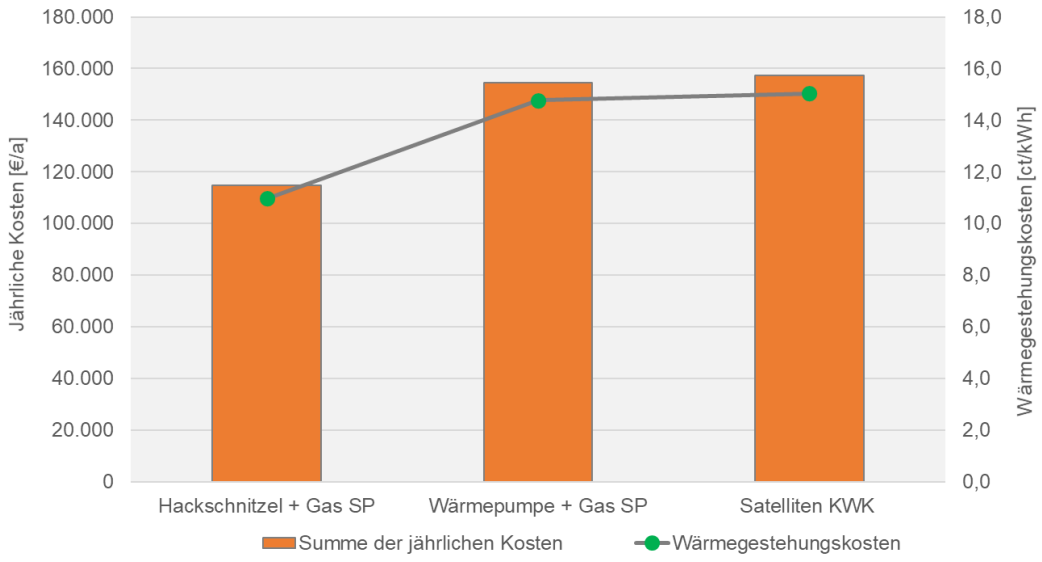

Abbildung 32: Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten mit Förderung AP1

Die jährlichen Kosten der drei Varianten reichen von 113.000 bis 157.000 €, der Kostenvorteil liegt bei Variante 1.

5.4 Arbeitspaket 2

Der Berechnung der Investitionskosten, jährlichen Ausgaben und der jährlichen Einnahmen werden die zuvor genannten Annahmen aus Kapitel 5.1 zugrunde gelegt.

5.4.1 Investitionskosten

Zur Gegenüberstellung der Investitionskosten aus AP1 und AP2 wird die Skalierung der Y - Achse aus 0 übernommen.

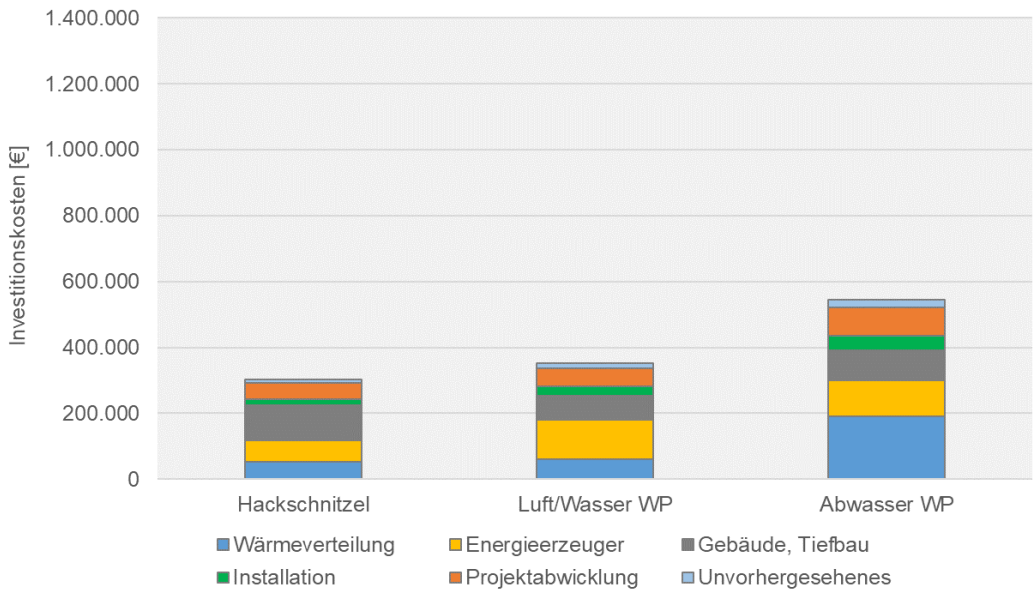

Abbildung 33: Investitionskostenprognose der Energieversorgungsvarianten des AP2

Durch kleinere Baugrößen der Energieerzeuger und einem geringeren Peripheriebedarf (Wärmeverbundleitung, Gasleitung, MSR-Technik, etc.) reichen die prognostizierten Investitionskosten von 304.000 bis 544.000 €

5.4.2 Jährliche Einnahmen und Ausgaben

Jährliche Einnahmen durch Stromerzeugung werden in diesen Varianten nicht generiert. Die jährlichen Ausgaben umfassen kapitelgebundene, verbrauchsgebundene, betriebsgebundene und sonstige Kosten sowie der CO_2-Abgabe.

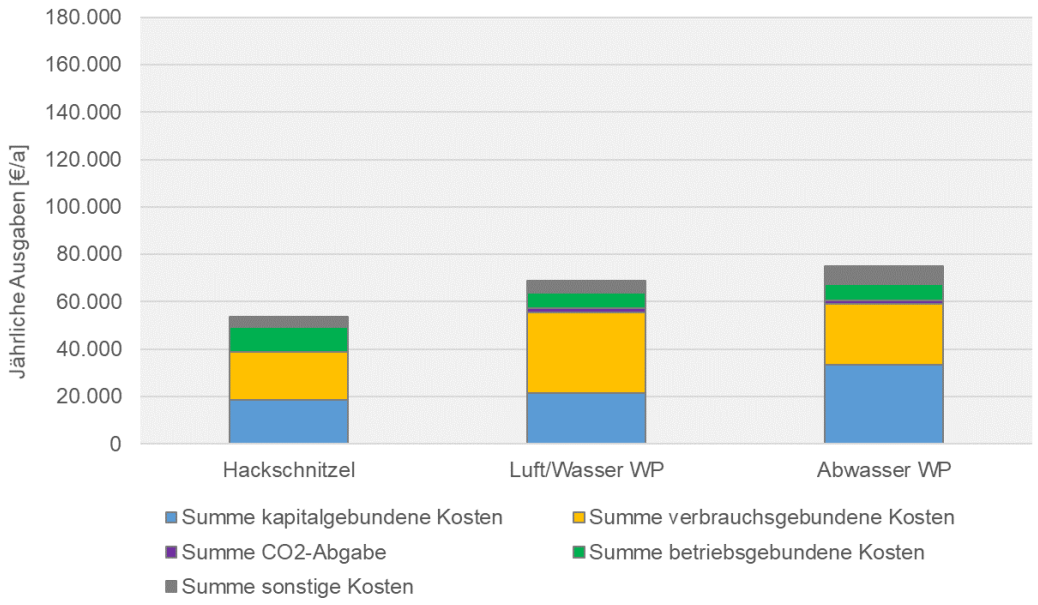

Abbildung 34: Mittlere jährliche Ausgaben im Betrachtungszeitraum AP2

Auch in diesem Arbeitspaket kann die Wärmeversorgung durch mit Hackgut die niedrigsten laufenden Kosten vorweisen. Die Wärmepumpen unterscheiden sich vor allem in den kapitalgebundenen Kosten, hier muss in die Abwasserwärmenutzung mehr investiert werden, und in den verbrauchsgebundenen Kosten, welche durch einen geringere JAZ im Falle der Luft-Wasser-Wärmepumpe höher ausfällt.

5.4.3 Jahresgesamt- und Energiegestehungskosten

Die jährlichen Jahresgesamtkosten und die daraus resultierenden Energiegestehungskosten können nachfolgender Abbildung entnommen werden.

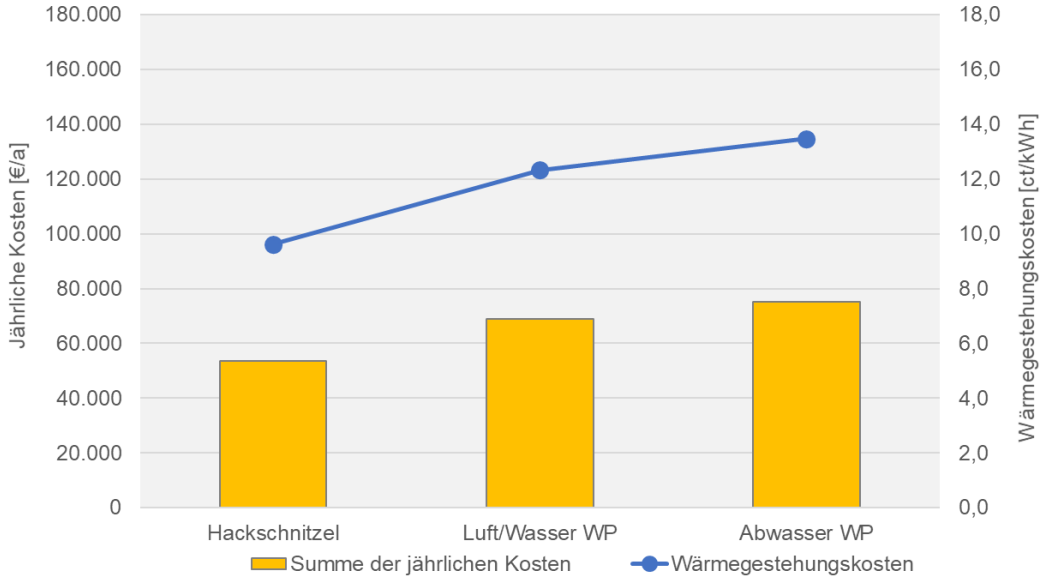

Abbildung 35: Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten ohne Förderung AP2

Ohne die Nutzung von Fördermitteln reichen die jährlichen Kosten von 54.000 bis 75.000 €. Die damit einhergehenden Wärmegestehungskosten reichen von 9,6 bis 13,5 ct/kWh. Mit Hilfe von Fördermitteln können diese jährlichen Kosten reduziert werde, wie Abbildung 36 zeigt.

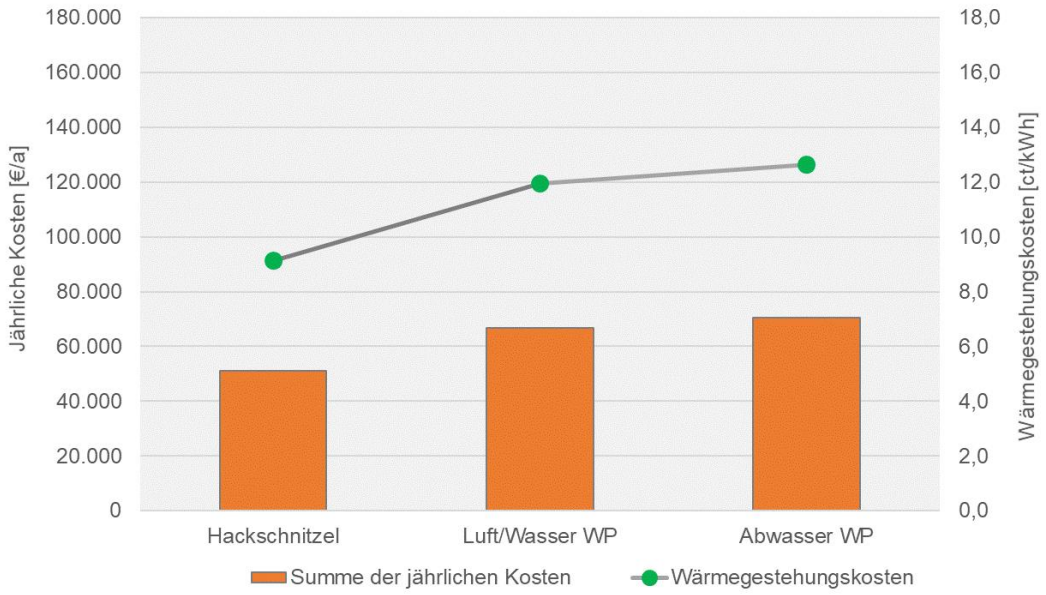

Abbildung 36: Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten mit Förderung AP2

Basierend auf der Einschätzung und Prognose dieses Konzepts können die jährlichen Kosten auf 51.000 bis 71.000 € über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren durch die Nutzung von Fördermitteln gesenkt werden. Die damit verbundenen Wärmegestehungskosten reichen von 9,1 bis 12,7 ct/kWh.

6 CO_2-Bilanzierug der Energieversorgungsvarianten

Für die verschiedenen neuen Energieversorgungsvarianten wird zur Beurteilung der ökologischen Verträglichkeit eine Bilanzierung der CO_2-Emissionen anhand der sog. CO_2-Äquivalente durchgeführt. Dabei wird neben dem jährlichen Brennstoffbedarf auch der Hilfsenergiebedarf (elektrische Energie) berücksichtigt. Für den Strom aus der Kraft-Wärme-Kopplung wird eine CO_2-Gutschrift angesetzt, da dieser den Strom aus dem öffentlichen Netz ersetzt. Die CO_2-Äquivalente wurden mit Hilfe der GEMIS- Datenbank ermittelt [CO_2-Äquivalente GEMIS 4.95].

Tabelle 5: CO_2-Äquivalente nach GEMIS 4.95 und eigene Berechnungen IfE-GmbH

CO_2-Äquivalente nach GEMIS 4.95 – eigene Berechnungen IfE; 12/2018		
Energieträger	CO_2-Äquivalent [g/kWh]	Bemerkung
Hackgut	13,988	Hackgut für Heizzwecke
Erdgas	243,93	Erdgas beim Endverbraucher
Biogas	89,664	Hier: Klärgas
Heizstrom	557,66	Dt. Strommix
Allgemeinstrom	557,66	Dt. Strommix

Die hier genannten CO_2-Äquivalente sind nicht zur Berechnung der Emissionswerte nach dem Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) gedacht. Zur Bepreisung der fossiler Treibhausgasemissionen muss auf die Daten der zugehörigen Verordnung zurückgegriffen werden. Die Gesamtemissionen werden je Arbeitspaket berechnet und in den nachfolgenden Diagrammen dargestellt.

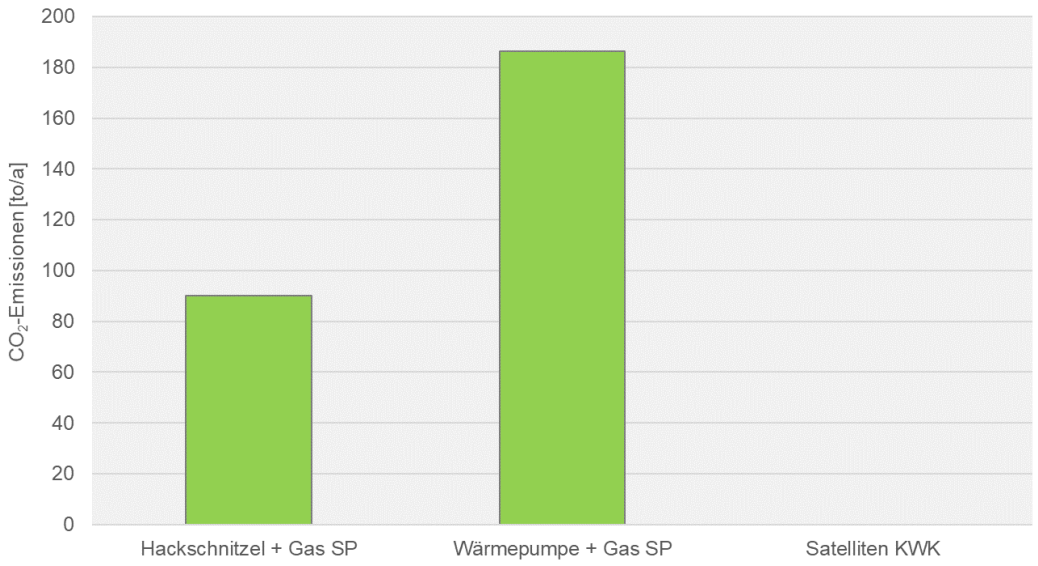

Abbildung 37: CO_2-Emissionen AP1

Die geringsten CO_2-Emissionen entstehen in Variante 3, dem Satelliten BHKW. Theoretisch kann durch dieses System mehr Treibhausgas eingespart, als emittiert werden.

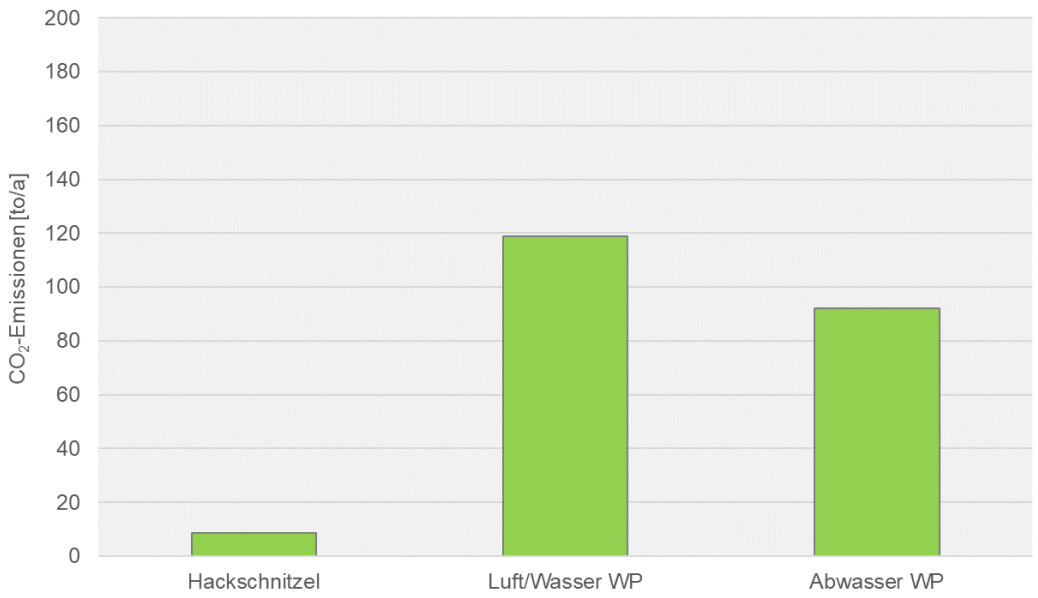

Abbildung 38: CO2-Emissionen AP2

7 Zusammenfassung

Im vorliegenden Energiekonzept für den Energieverbund Kläranlage, Bauhof und Stadtgärtnerei wurden, basierend auf einer Prognose des zukünftigen Energiebedarfs, verschiedene Energieversorgungsvarianten dimensioniert und geprüft. Während der Projektbearbeitung wurde das Konzept in zwei Arbeitspakete unterteilt, wodurch die Bilanzgrenze lediglich den Bauhof umfasst, ohne den Neubau der Stadtgärtnerei. Aufgrund der weiten Strecke zwischen Bauhof und Kläranlage, welche als Wärmelieferant eingesetzt werden könnte, ist mit unverhältnismäßig hohen Wärmeverlusten zu rechnen. Diese Versorgungmöglichkeit wird daher von einer detaillierten Betrachtung ausgeschlossen.

Folgende Energieversorgungsvarianten wurden betrachtet:

Arbeitspaket 1:

- V1.1: Hackgut & Gas SP
- V1.2: Abwasser-WP
- V1.3: Satelliten BHKW & Hackgutkessel & Gas SP

Arbeitspaket 2:

- V2.1: Hackgut
- V2.2: Luft/Wasser WP & Gas SP
- V2.3: Abwasser-WP & Gas SP

Neben der technischen Auslegung und der Ermittlung sämtlicher Energieumsätze in den einzelnen Varianten, wurde eine umfassende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Anlehnung an die VDI 2067, mit anschließender Abbildung der zu erwartenden CO_2-Emissionen erstellt.

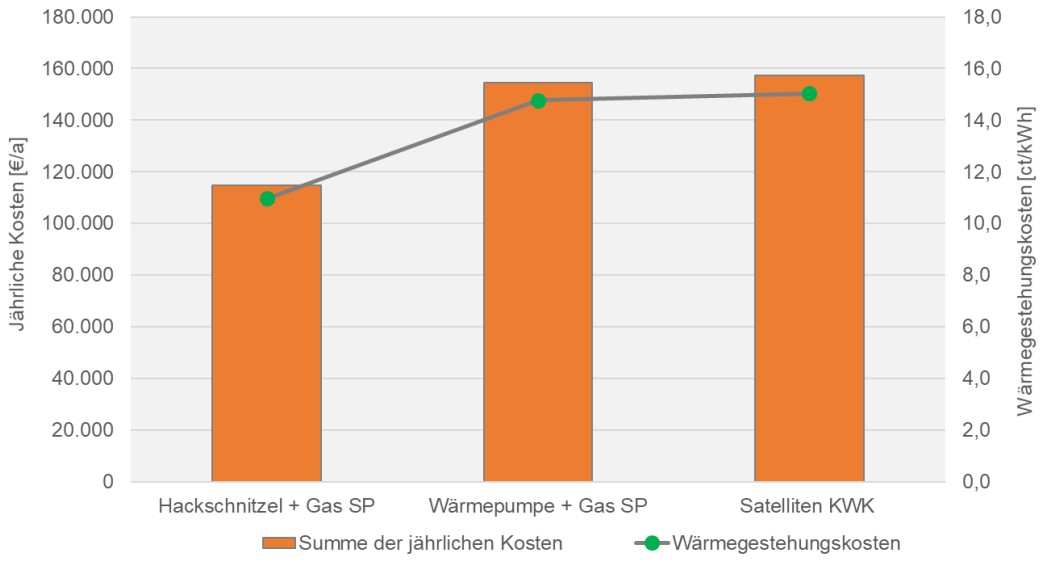

Abbildung 39: Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten mit Förderung AP1

Im Rahmen einer Vollkostenrechnung in Anlehnung an die VDI 2067 hat sich gezeigt, dass sich die Variante 1.1 des Arbeitspakets 1 als die ökonomisch sinnvollste Versorgungsstrategie herauskristallisiert. Die aus ökologischer Sicht beste Variante bildet das Satelliten-BHKW, welches allerdings aus ökonomischer Sicht nicht mit V1.1 mithalten kann.

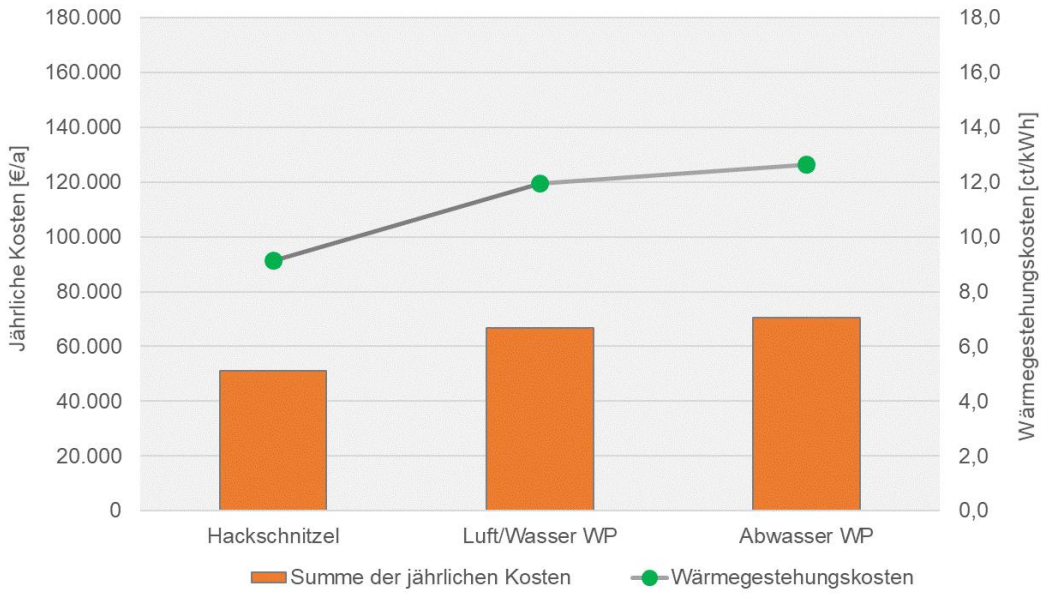

Abbildung 40: Jahresgesamt- und Wärmegestehungskosten mit Förderung AP2

In Arbeitspaket 2 ist Variante 2.1 als ökonomisch und ökologisch beste Variante festzustellen. Im Gegensatz zu V 1.1 besteht diese aus einer reinen Biomasseversorgung. Unter Berücksichtigung der aktuell möglichen Investitionsfördermittel können Wärmegestehungskosten von 11,0 (AP1) und 9,1 (AP2) erreicht werden.

Für beide Arbeitspakete wird daher die Wärmeversorgung mittels Biomasse (Hackgut) empfohlen. Im Falle des AP1 wird voraussichtlich ein Gas-Spitzenlastkessel notwendig sein, in AP2 kann ein weiterer Biomassekessel diese Versorgung übernehmen.

Bei einer möglichen Umsetzung des Konzepts sollte auf die Möglichkeit eines modularen Aufbaus der Energieversorgung geachtet werden. Falls zunächst das Arbeitspaket 2 realisiert wird, dem Neubau des Bauhofes ohne Stadtgärtnerei, sollte eine zukünftige Erweiterung und der damit einhergehende Ausbau der Energieversorgung in der Heizzentrale berücksichtigt werden.