ibe
institut
bau+energie

ibe
institut bau+energie ag

Höheweg 17
3006 Bern
T 031 357 53 13
info@ibe.ch
www.ibe.ch

Siedlung Baumgarten Bern

Energiekonzept

Gesamtheitliche Lösungen sind unsere Stärke

ibe
institut bau+energie ag

Höheweg 17
3006 Bern
T 031 357 53 13
info@ibe.ch
www.ibe.ch

Baufachgruppe Siedlung Baumgarten 1. Etappe
Renato Nell
Nussbaumstrasse 44
3006 Bern

Projekt: **Siedlung Baumgarten Bern**

Organisation: **Baufachgruppe Siedlung Baumgarten 1. Etappe**

Phase: **Energiekonzept**

Stand: 26. April 2018
Revision: 04. Juni 2018
Verfasser: Marco Hächler, BSc Energie- und Umwelttechnik

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 4

2 Grundlagen 4

3 Sanierung Wärmeerzeugung 5

3.1 IST-Zustand Areal und Heizung 5
3.2 Evaluation 6
3.3 Variantenvergleich 7
3.4 Analyse der Etappierbarkeit 8
3.5 Option Solaranlagen 8

4 Empfehlung 10

5 Weiteres Vorgehen 10

6 Anhang 11

6.1 Details Varianten 11
6.2 Ausgeschlossene Varianten 15
6.3 Details ausgeschlossene Varianten 16

1 Einleitung

Die Siedlung Baumgarten an der Nussbaumstrasse in Bern wurde in drei Etappen realisiert. Die erste Etappe konnte 1996 fertiggestellt werden, die zweite Etappe im Jahr 2000 und die dritte Etappe wurde in den Jahren 2011 und 2012 erbaut. Die 98 Wohnungen der ersten Etappe sowie die ca. 40 Wohnungen der zweiten Etappe sind im Wohneigentum bewohnt (Stockwerkeigentum und Wohnbaugenossenschaft). Die dritte Etappe mit ca. 120 Wohnungen bildet eine Stockwerkeigentümergesellschaft.

Zum 20-jährigen Bestehen der Siedlung wurde durch das Architekturbüro HPag Architektur im Jahr 2016 eine Zustandsanalyse der Etappe 1 erstellt.

Für die zukünftig anstehenden energetischen Sanierungen der Wärmeerzeugungen sollen nun mögliche Varianten für den Ersatz der Heizungsanlagen inkl. allfälliger Begleitlösungen mit Fokus auf der ersten Etappe ausgearbeitet und verglichen werden. Die einzelnen Varianten werden in Bezug auf eine etappierte Sanierungsmöglichkeit beurteilt. Dies würde je nachdem eine optimierte Betriebsdauer der bisherigen Wärmeerzeuger bzw. einen zusätzlichen Spielraum im Zusammenhang mit dem Sanierungsfond schaffen. Eine Sanierung der Gebäudehülle ist mittelfristig nicht geplant.

Ziel des Energiekonzeptes ist eine Empfehlung für die Sanierung der Heizungsanlagen auszuarbeiten.

2 Grundlagen

Als Grundlagen für die Analyse wurden folgende wesentlichen Unterlagen verwendet:

- Zustandsanalyse Sanitär, Heizung und Lüftung inkl. Sanierungskonzept mit Grobkostenschätzung; ing-büro riesen; 06.07.2016
- Zustandsbericht mit Kostenschätzung Siedlung Baumgarten; HP Architektur AG; August 2016
- Konzeptstudie Energieerzeugung Nussbaumareal Bern; sieber charles; 14.08.2017
- Grobanalyse Sanierung Gebäudehülle, Energieeffizienz, Erneuerbare Energie; Energieberatung Region Bern; 26.10.2009
- Projektvorschlag für die Sanierungsmassahmen der Gas-Heizzentralen mit Warmwasseraufbereitung; Harald Kannewischer&Team; 15.10.2014
- Fachbericht und Kostenschätzung Elektroanlagen Version 2.0; Bering AG; 29.07.2016
- Plangrundlagen, Siedlung Baumgarten
- Eigene Aufnahmen der Begehung vom 10.01.2018

3 Sanierung Wärmeerzeugung

3.1 IST-Zustand Areal und Heizung

Abbildung 1: Übersicht Areal Etappe 1

Die 1. Etappe der Überbauung ist in sechs Sektoren unterteilt. Diese Sektoren besitzen jeweils eine eigene Heizungsanlage. Wärmeträger ist Gas. Die Heizungsanlagen befinden sich in den jeweiligen Wohntürmen der Sektoren (blaues X).

Sektor	Hausnr.	Gasverbrauch IST [kWh/a] (1)	Heizleistung IST [kW] (2)	Wärmeleistung SOLL [kW] (3)
1	34+42	176'000	109	90
2	44+46+48	195'000	109	90
3	36+38	120'000	70	55
4	50+52	184'000	109	90
5	38+40	109'000	70	55
6	54+56	177'000	109	90
		960'000	**576**	**470**

Tabelle 1: Heizleistung und -verbrauch je Sektor

(1) Gasverbrauch gem. IGS Dienstleistungen AG für die Jahre 2014 bis 2017 (Mittelwert)
(2) Heizleistung gem. Zustandsanalyse ing-büro riesen
(3) Abschätzung SOLL-Heizleistung anhand Verbrauchszahlen

3.2 Evaluation

Der Energierichtplan der Stadt Bern priorisiert für das Gebiet des Baumgartens Erdwärme (Erdsonden-Wärmepumpe) für die Wärmeversorgung. Als Alternative wird Gas ausgeschieden. Nach Analyse der Gesamtsituation und unter Einbezug der unter der Ausgangslage definierten Rahmenbedingungen werden folgende Varianten für die weitere Evaluation betrachtet. Detaillierte Beschriebe der einzelnen Varianten sowie die ausgeschlossenen Varianten sind im Anhang aufgeführt.

Bei allen Varianten erfolgt die Warmwasserbereitstellung nach wie vor über die sechs dezentralen Brauchwasserboiler von je 1'500 l. Ein Ersatz der Boiler ist im Umfang des Heizungsersatzes zu empfehlen. Die Sanierung kann theoretisch unabhängig von der Heizungssanierung erfolgen. Ein Systemwechsel der Warmwasserbereitstellung zu Frischwasserstationen wird nicht empfohlen. Mit Frischwasserstationen wäre statt einem Brauchwasserspeicher jeweils trotzdem ein Heizungsspeicher notwendig.

Variante 1 – 1:1 Ersatz dezentrale Gasfeuerungen

Variante 2 – Zentrales Blockheizkraftwerk (BHKW) und zentrale Gasfeuerung mit Eigenverbrauchsgemeinschaft

Es wird ein Nahwärmeverbund für die Etappe 1 aufgebaut. Das BHKW weist eine thermische Leistung von ungefähr 85 kW sowie eine elektrische Leistung von ca. 52 kW auf (beispielsweise avesco G924). Dies bedeutet, dass das BHKW die Bandlast der Heizung sowie des Warmwassers für die gesamte Etappe 1 während ca. 4'500 Stunden pro Jahr abdecken kann. Es wird eine Wärmepumpe zur zusätzlichen Abwärmenutzung installiert (13 kW). Für die Spitzenlastabdeckung werden vorerst die bestehenden dezentralen Gasfeuerungen und im Endausbau die zentrale Gasfeuerung eingesetzt. Für das BHKW muss ein Pufferspeicher von ca. 5'000 l installiert werden (bauliche Machbarkeit am Standort zwingend detailliert zu prüfen). Mit einer zentralen Anlage (BHKW und Gaskessel) kann beim ewb ein reduzierter Gaspreis ausgehandelt werden, da der Gasbezug über 600'000 kWh/a liegt (in Variantenvergleich berücksichtigt).

Der Deckungsgrad des BHKW inkl. der Wärmepumpe beträgt ca. 47% des Gesamtwärmebedarfs.

Bei einer Eigenverbrauchsgemeinschaft EVG kann der durch ein BHKW oder eine Photovoltaik-Anlage produzierte Strom im Eigenverbrauch für alle Bewohner der Siedlung, welche hinter demselben Netzanschluss angeschlossen sind, genutzt werden. Die EVG definiert einen Ansprechpartner gegenüber ewb sowie den Haushalten in der Siedlung. Der Ansprechpartner ist für die Rechnungsstellung innerhalb der Siedlung und die Abrechnung mit ewb verantwortlich. Die detaillierten Bedingungen für eine EVG in der Etappe 1 des Baumgartens müssen zwingend mit ewb erarbeitet und definiert werden.

Variante 3 – Zentrales Blockheizkraftwerk (BHKW) und dezentrale Gasfeuerungen mit Eigenverbrauchsgemeinschaft

Dito Variante 2 jedoch werden statt der zentralen Gaswärmeerzeugungen neue Gaserzeugungen analog der Variante 1 erstellt.

3.3 Variantenvergleich

Die nachfolgende Tabelle stellt die wesentlichen Parameter für den Variantenvergleich dar. Im Variantenvergleich wurden die kalkulatorischen Energiepreiszuschläge (Umweltkosten) berücksichtigt. Für die einzelnen Varianten wurden die Investitions- und Betriebskosten grob geschätzt. Bei den zentralen Lösungen sind entsprechende Verteilverluste berücksichtigt.

	Einheit	**Variante 1** Gas dezentral	**Variante 2** BHKW + Gas zentral	**Variante 3** BHKW zentral + Gas dezentral
Total Wärmebedarf (Heizung und Warmwasser)	**MWh/a**	**865**	**865**	**865**
Energiebedarf Gas (η = 0.95)	**MWh/a**	**910**	**1'244**	**1'217**
Stromproduktion	**MWh/a**		**219**	**219**
Investitionen Technik ± 25% exkl. Honorare und MWST (Amortisation 20 Jahre)	kCHF	470	630	720
Investitionen Bau ± 25% exkl. Honorare und MWST (Amortisation 40 Jahre)	kCHF	0	243	203
Summe Investitionen	**kCHF**	**470**	**873**	**923**
Kapitalkosten (2% Zins)	kCHF/a	28.7	47.4	51.5
Energiekosten (10 Rp./kWh Pellets, 10 Rp./kWh Gas [Variante 2: 6 Rp./kWh Gas] und 20 Rp./kWh Elektrizität) inkl. Leistungsgebühren	**kCHF/a**	**103.3**	**79.4**	**116.0**
Unterhaltskosten	**kCHF/a**	**18**	**17**	**29**
Umweltkosten (1.5 Rp./kWh Pellets; 3 Rp./kWh Gas und 8 Rp./kWh Elektrizität)	**kCHF/a**	**27.3**	**19.8**	**19.0**
Jahreskosten exkl. Umweltkosten	**kCHF/a**	**150.0**	**143.8**	**196.5**
Jahreskosten exkl. Umweltkosten	***%***	***104***	***100***	***137***
Jahreskosten inkl. Umweltkosten	**kCHF/a**	**177.3**	**163.6**	**215.5**
Jahreskosten inkl. Umweltkosten	***%***	***108***	***100***	***132***
Energieverbrauch bewertet (Gewichtungsfaktoren Holz 0.5, Elektrizität 2.0, fossile Energien 1.0)	**MWh/a**	***910***	***806***	***779***
Energieverbrauch bewertet	***%***	***100***	***88***	***86***

Tabelle 2: Variantenvergleich Wärmeerzeugerersatz

Es zeigt sich, dass die Variante 2 bei marginal höherem bewerteten Energieverbrauch die wirtschaftlichste Variante darstellt.

3.4 Analyse der Etappierbarkeit

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Investitionskosten je Variante in Abhängigkeit des Investitionszeitpunktes. Jede Zeile entspricht einem separaten Investitionszeitpunkt. Alle Angaben in kCHF (teilweise Rundungsabweichungen zu Tabelle Variantenvergleich vorhanden).

	Variante 1	**Variante 2**	**Variante 3**
Investition für zentrale Anlage (Zeitpunkt fix bei Projektbeginn)	-	630	
Investition für zentrale Anlage (Variante 2: sobald mehrere bestehende Heizungen defekt sind; Variante 3: Zeitpunkt flexibel, Investitionen in Sektoren können vorgezogen werden)	-	243	453
Investition Sektor 1 (bei Defekt der Anlage oder vorzeitig)	78	-	78
Investition Sektor 2 (bei Defekt der Anlage oder vorzeitig)	78	-	78
Investition Sektor 3 (bei Defekt der Anlage oder vorzeitig)	78	-	78
Investition Sektor 4 (bei Defekt der Anlage oder vorzeitig)	78	-	78
Investition Sektor 5 (bei Defekt der Anlage oder vorzeitig)	78	-	78
Investition Sektor 6 (bei Defekt der Anlage oder vorzeitig)	78	-	78
Flexibilität für Sanierungsfond	gross	gering	mittel

Tabelle 3: Investitionskostenvergleich

Die Variante 2 stellt in Bezug auf die Etappierbarkeit die mit Abstand schlechteste Variante dar. Die massiven Einsparungen aufgrund des tieferen Gaspreises machen diesen Nachteil jedoch wett (tiefste Jahreskosten). Optional können, um die Investitionskosten zu reduzieren, die Sanierungen der Warmwasserspeicher (ca. 180'000 CHF) sowie bei den Varianten 2 und 3 die Abwärme-Wärmepumpe (ca. 40'000 CHF) gestrichen werden.

3.5 Option Solaranlagen

Bei allen Varianten stellen Solaranlagen eine Möglichkeit zur Steigerung des Anteils erneuerbarer Energie dar. Bei den obenstehenden Varianten sind keine Solaranlagen in die Berechnungen eingeflossen.

Werden Solaranlagen realisiert, ist eine vorgängige Dachsanierung ebenfalls durchzuführen.

Photovoltaik

Für die Installation von Photovoltaik-Anlagen (PV) eignen sich die jeweiligen Wohntürme der einzelnen Sektoren, da dort unverbaute Dachflächen vorhanden sind (blaue X in Abbildung 1). Nachfolgend ist eine Zusammenstellung der einzelnen Potentiale inkl. Kenngrössen aufgeführt.

	max. Solarfläche [m^2]	Investitionskosten Technik [CHF]	Investition Dachsanierung [CHF]	Stromproduktion [kWh/a]
PV je Sektor	80	36'000	37'000	12'000
PV Summe	**480**	**216'000**	**222'000**	**72'000**

Tabelle 4: Photovoltaik-Anlagen Kenngrössen

Solarthermie

Als Alternative zu Photovoltaik-Anlagen stellen Solarthermie-Anlagen zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung eine Möglichkeit zur Steigerung des Anteils erneuerbarer Energie dar. Dabei handelt es sich um verglaste Kollektoren. Nachfolgend ist eine Zusammenstellung der einzelnen Potentiale inkl. Kenngrössen aufgeführt.

	max. Solarfläche [m^2]	Investitionskosten Technik inkl. Speicher [CHF]	Investition Dachsanierung [CHF]	Wärmeproduktion [kWh/a]
Solar je Sektor	40	86'000	37'000	24'000
Solar Summe	**240**	**516'000**	**222'000**	**144'000**

Tabelle 5: Solarthermie-Anlagen Kenngrössen

Eine Kombination der Solarthermie ist bei allen Varianten technisch möglich. Ein Solarspeicher von min. ca. 5'000 l je Sektor ist in diesen Fällen jedoch zwingend notwendig (Machbarkeit zwingend prüfen, allfällige bauliche Kosten für die Speicherplatzierung sind nicht berücksichtigt).

Eigenverbrauchsgemeinschaft

Bei einer Eigenverbrauchsgemeinschaft EVG kann der durch ein BHKW oder eine Photovoltaik-Anlage produzierte Strom im Eigenverbrauch für alle Bewohner, welche hinter demselben Netzanschluss angeschlossen sind, genutzt werden. Aus ökonomischer Sicht macht dies grundsätzlich Sinn, da so ein möglichst grosser Anteil des in der EVG produzierten Stroms direkt genutzt werden kann und nicht zu einem tiefen Preis in das öffentliche Netz eingespeist werden muss. Bei der Etappe 1 der Siedlung Baumgarten sind jedoch sechs separate Netzanschlüsse vorhanden. Dies hat zur Folge, dass neben der Umrüstung der Wohnungszähler (ca. 300 CHF/Stück) zusätzlich fünf Netzanschlüsse rückgebaut und ein Netzanschluss verstärkt werden müssen (ca. 45'000 CHF). Gleichzeitig muss ein internes Stromverteilnetz in der Siedlung zu den einzelnen Hauptverteilungen der jeweiligen Gebäude erstellt werden. Aufgrund dieser hohen Investitionskosten wird von einer EVG für die gesamte Etappe 1 abgeraten. Es wird jedoch empfohlen, dass für die Gebäude Nr. 54 und 56 eine EVG realisiert wird, sofern das BHKW ebenfalls im Gebäude Nr. 54 realisiert wird (keine baulichen Anpassungen der Netzanschlüsse nötig). Der Zusammenschluss zu einer EVG bei späteren PV-Anlagen ist ebenfalls zu empfehlen. Auch dort ist darauf zu achten, dass die Anlage und die Verbraucher der EVG hinter demselben Netzanschluss liegen. Auf bauliche Anpassungen (Netzanschlussänderung etc.) ist aus heutiger Sicht zu verzichten. Zwecks Bilanzierung und Abrechnung der produzierten und verbrauchten Elektrizität gibt es Software-Tools von ewb (kostenpflichtig).

4 Empfehlung

Die wirtschaftlichste Variante 2 mit einem zentralen Blockheizkraftwerk und einer zentralen Gasfeuerung wird zur Umsetzung empfohlen. Die Variante weist einen bewerteten Energieverbrauch von 88% auf. Im Zusammenhang mit dem Blockheizkraftwerk ist der Aufbau einer Eigenverbrauchsgemeinschaft für die Gebäude 54 und 56 (hinter demselben Netzanschluss wie das BHKW) zu empfehlen. Eine Wärmekraftkoppelung (BHKW) wird in der MuKEn 2014 als Standardlösung definiert. Somit ist die Gesetzeskonformität auch zukünftig gewährleistet.

Mittelfristig ist bei einer zukünftigen Dachsanierung eine gleichzeitige Installation von PV-Anlagen (inkl. zugehörigen Eigenverbrauchsgemeinschaften) zu empfehlen. Auf die Installation einer Solarthermie-Anlage ist aus ökonomischer Sicht zu verzichten.

5 Weiteres Vorgehen

Folgende Entscheide müssen durch die Baufachgruppe/Bauherrschaft getroffen werden:

1. Genehmigung vorliegender Bericht
2. Variantenentscheid Wärmeerzeugerersatz fällen
3. Entscheid, dass Solaranlagen erst nach Dachsanierungen realisiert werden
4. Entscheid, dass Eigenverbrauchsgemeinschaften nur ohne bauliche Änderungen der Netzanschlüsse realisiert werden
5. Sanierungsprojekt Wärmeerzeugerersatz auslösen

6 Anhang

6.1 Details Varianten

Variante 1 – 1:1 Ersatz dezentrale Gasfeuerungen:

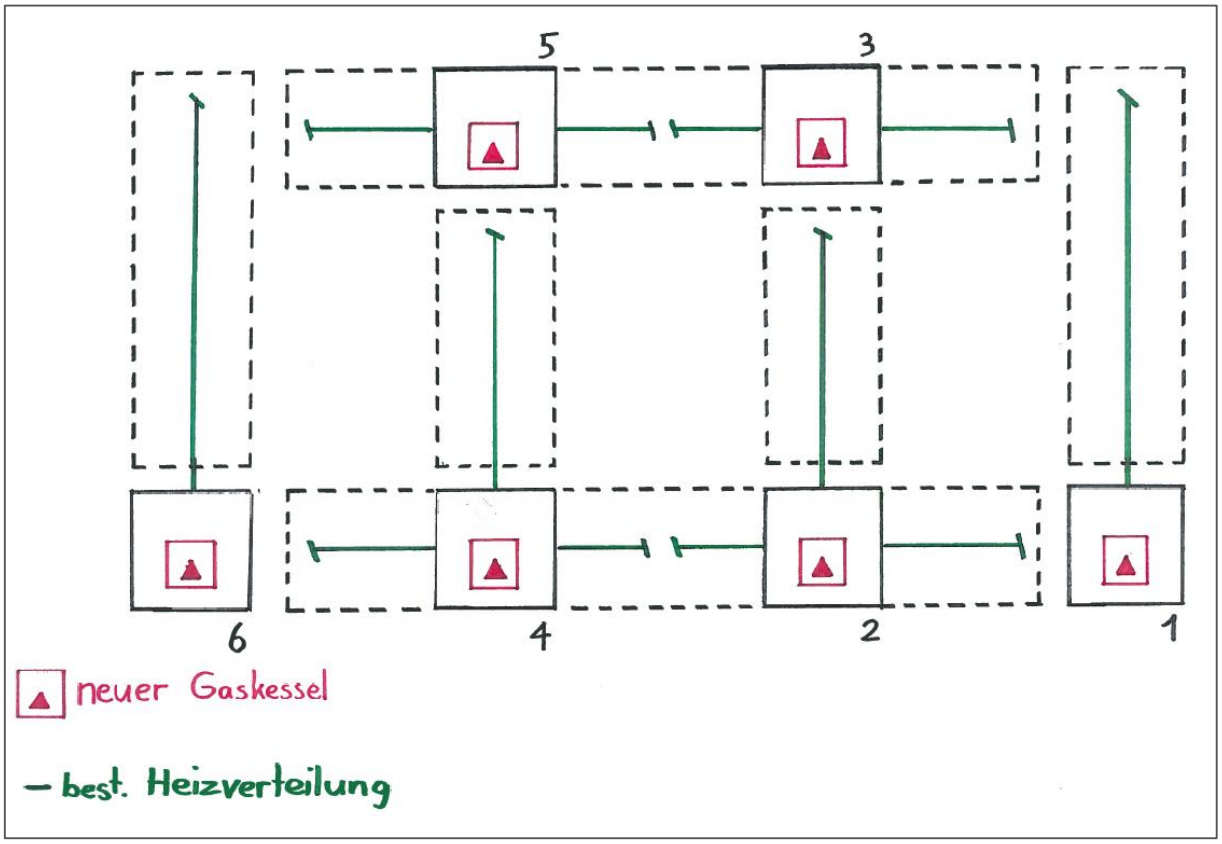

Abbildung 2: Handskizze Variante 1

Die bestehenden dezentralen Gasfeuerungen werden 1:1 durch neue kondensierende und modelierende Gaskessel ersetzt. Die Heizgruppen und die Brauchwasserspeicher werden ebenfalls saniert.

Diese Minimalvariante des Wärmeerzeugerersatzes hat die Vorteile, dass die Investitionen zum einen vergleichsweise gering sind und zum anderen die Sanierungen etappiert erfolgen können. Dadurch können die einzelnen bestehenden Anlagen noch solange wie technisch möglich weiterbetrieben werden.

Der Nachteil liegt darin, dass keine erneuerbare Energien eingesetzt werden. In diesem Zusammenhang besteht mittelfristig die Möglichkeit zur Solarnutzung gem. dem Kapitel 3.5. Dadurch kann der Anteil erneuerbarer Energie gesteigert werden.

Variante 2 – Zentrales Blockheizkraftwerk (BHKW) und zentrale Gasfeuerung:

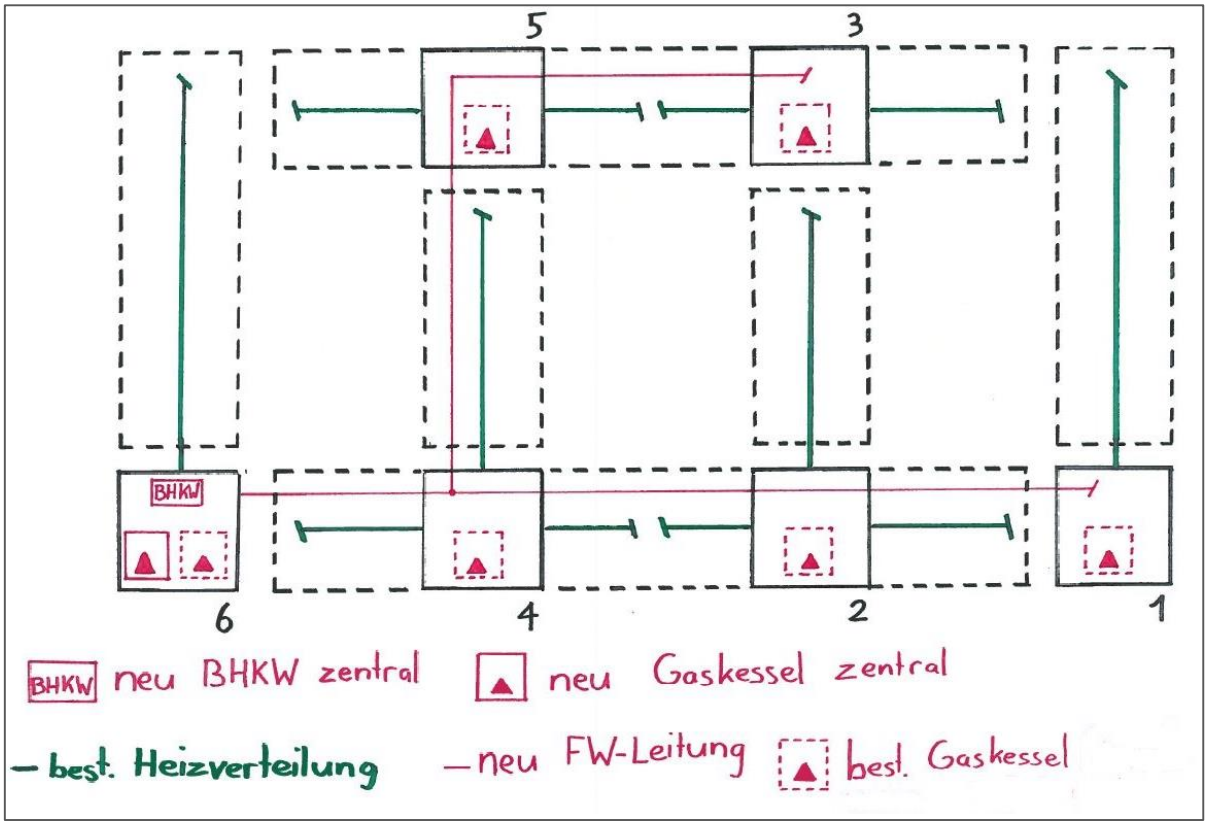

Abbildung 3: Handskizze Variante 2

Bei dieser Variante wird in einem ersten Schritt ein zentrales Blockheizkraftwerk (BHKW) installiert. Dieses kann beispielsweise im Sektor 6 realisiert werden. Dazu muss der bestehende Heizungsraum im EG erweitert werden. Es muss zusätzlich ein Wärmeverbund für die Etappe 1 aufgebaut werden. Dabei soll das Wärmenetz (Leitungen) soweit möglich in den bestehenden Untergeschossen zu den bestehenden Wärmeverteilungen der einzelnen Sektoren geführt werden. Das BHKW kann somit die Grundlast der Heizung decken. Der Defekt einer Heizung eines Sektors kann ebenfalls durch das BHKW kompensiert werden. Sobald mehrere bestehende Gasheizungen saniert werden müssen, wird eine zentrale Gasfeuerung (ebenfalls im Sektor 6) installiert, welche über den Wärmeverbund das gesamte Areal versorgt. Für das BHKW muss ein Pufferspeicher von ca. 5'000 l installiert werden (bauliche Machbarkeit am Standort zwingend zu prüfen).

Ein BHKW nutzt Gas als Energiequelle und produziert damit Strom. Die anfallende Abwärme wird zur Beheizung und zur Warmwassererzeugung genutzt. Das BHKW muss wärmegeführt betrieben werden, das heisst, es ist nur in Betrieb wenn genügend Wärme nachgefragt wird. Das BHKW weist daher eine thermische Leistung von ungefähr 85 kW sowie eine elektrische Leistung von ca. 52 kW auf (beispielsweise avesco G924). Dies bedeutet, dass das BHKW die Bandlast der Heizung sowie des Warmwassers für die gesamte Etappe 1 während ca. 4'500 Stunden pro Jahr abdecken kann. Optional kann eine Wärmepumpe zur zusätzlichen Abwärmenutzung installiert werden (13 kW). Diese ist im Variantenvergleich berücksichtigt (Investitionskosten von ca. 40'000 CHF). Für die Spitzenlastabdeckung werden vorerst die bestehenden dezentralen Gasfeuerungen und im Endausbau die zentrale Gasfeuerung eingesetzt. Diese muss so dimensioniert werden, dass sie (z.B. im Störungsfall des BHKWs) den gesamten Wärmebedarf abdecken kann. Die Warmwasserladung der Boiler je Sektor erfolgt über tägliche Zwangsladungen, damit die Verteilverluste im Wärmeverbund minimiert werden können. Die einzelnen bestehenden Gasfeuerungen inkl. Warmwasserboiler werden

etappiert rückgebaut. Die Wärmeverteilung sowie die neuen Warmwasserboiler je Sektor werden in den bestehenden Heizräumen installiert. Dadurch kann die nutzbare Fläche in der Waschküche erhöht werden. Mit einer zentralen Anlage (BHKW und Gaskessel) kann beim ewb ein reduzierter Gaspreis ausgehandelt werden, da der Gasbezug über 600'000 kWh/a liegt (in Variantenvergleich berücksichtigt).

Der Deckungsgrad des BHKW inkl. der Wärmepumpe beträgt ca. 47% des Gesamtwärmebedarfs.

Im Zusammenhang mit der Stromproduktion des BHKWs ist ein möglichst hoher Eigenstromanteil anzustreben, da die Vergütung von fossil erzeugtem Strom weniger als die Hälfte des Strombezugspreises beträgt. Weitere Informationen dazu sind im Kapitel 3.5 aufgeführt.

Variante 3 – Zentrales Blockheizkraftwerk (BHKW) und dezentrale Gasfeuerungen:

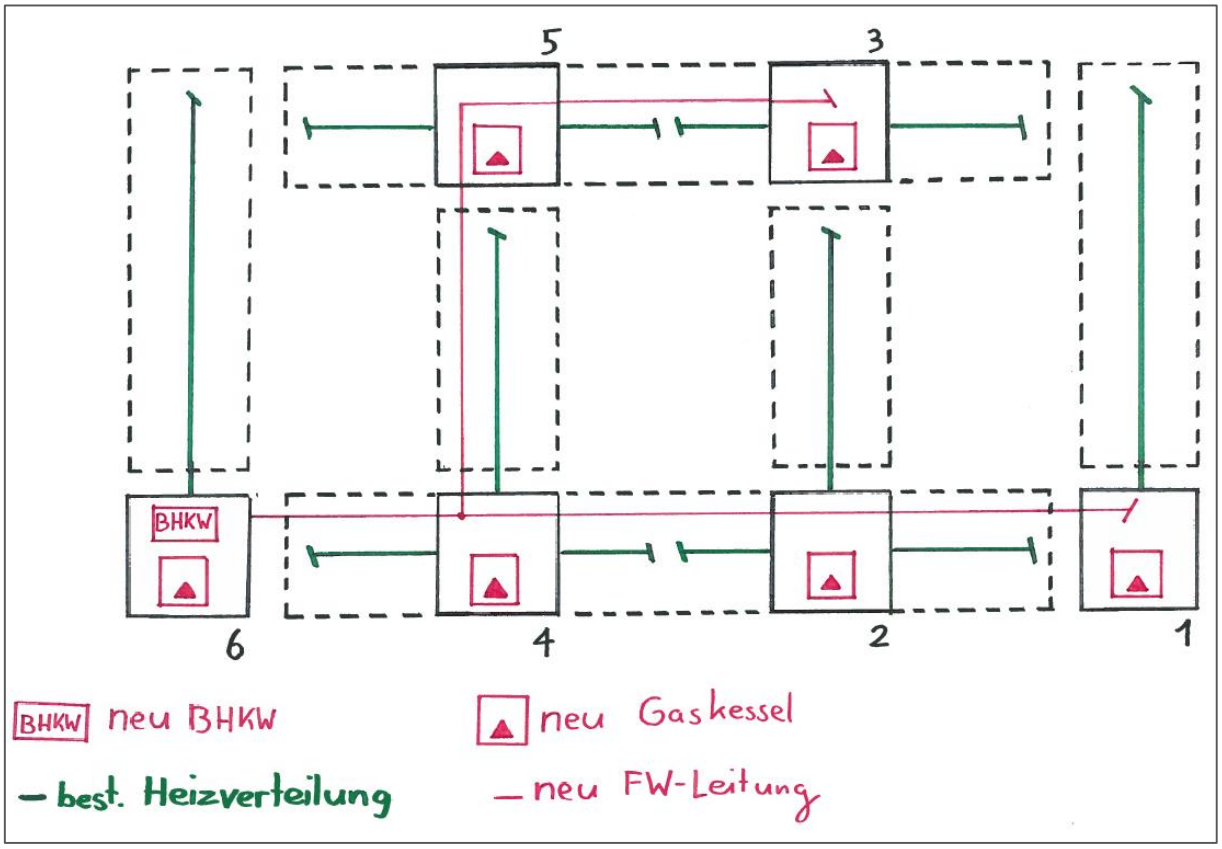

Abbildung 4: Handskizze Variante 3

Analog zur Variante 1 werden die dezentralen Gasfeuerungen 1:1 ersetzt, sobald diese defekt sind.

Zusätzlich wird als einmalige Investition ein Blockheizkraftwerk realisiert. Dieses kann beispielsweise im Sektor 6 realisiert werden. Dazu muss der bestehende Heizungsraum im Erdgeschoss erweitert werden. Es wird ein identisches BHKW (ca. 85 kW thermischer Leistung) wie in der Variante 2 eingesetzt. Für die Spitzenlastabdeckung werden die dezentralen Gasfeuerungen eingesetzt. Diese müssen wie in der Variante 1 so dimensioniert werden, dass sie (z.B. im Störungsfall des BHKWs) den gesamten Wärmebedarf des jeweiligen Sektors abdecken können. Die Warmwasserladung der Boiler je Sektor erfolgt über tägliche Zwangsladungen, damit die Verteilverluste im Wärmeverbund minimiert werden können.

Es muss analog zur Variante 2 ein Wärmenetz für die Etappe 1 realisiert werden.

Der Deckungsgrad des BHKW beträgt ca. 49% des Gesamtwärmebedarfs.

Im Zusammenhang mit der Stromproduktion des BHKWs ist ein möglichst hoher Eigenstromanteil anzustreben, da die Vergütung von fossil erzeugtem Strom weniger als die Hälfte des Strombezugspreises beträgt. Weitere Informationen dazu sind im Kapitel 3.5 aufgeführt.

6.2 Ausgeschlossene Varianten

- Fernwärme-Verbund mit Etappe 2 / 3: Wird aufgrund der sehr unterschiedlichen Baujahre der Etappen, der grossen einmaligen Investition sowie der langen Planungsdauer unter Berücksichtigung der Anlagenzustände der Etappe 1 als nicht sinnvoll erachtet.
- Aussenluft-Wärmepumpe: Aufgrund der Schallproblematik sowie der eher hohen Vorlauftemperaturen der Heizung nicht sinnvoll.
- Grundwasser-Wärmepumpe: Am Standort Baumgarten aus geologisch Gründen nicht möglich.
- Dezentrale Pelletsfeuerungen je Sektor: Aufgrund des hohen Wartungsaufwandes je Anlage ist eine solche Varianten nicht empfehlenswert. Zusätzlich kann im Sektor 1 aufgrund des fehlenden Platzbedarfs mit verhältnismässigem Aufwand kein Pelletssilo realisiert werden.
- Mehrere BHKWs: Für diese Anlagen ist ein konstanter Betrieb mit hohen Jahres-Volllaststunden wichtig. Dieser kann aufgrund des gegebenen Wärmebedarfs nur mit einer zentralen Lösung sinnvoll realisiert werden. Zusätzlich ist der Wartungsaufwand für mehrere BHKWs sehr hoch.
- Gas-Absorptions-Wärmepumpe mit Aussenluft als Umweltenergie-Quelle: Aufgrund der Schallproblematik nicht zu empfehlen.

Ebenfalls ausgeschlossen wurden dezentrale Erdsonden-Wärmepumpen sowie eine zentrale Pelletsfeuerung, da beide Lösungen sehr hohe Investitionskosten verursachen. Diese beiden Lösungen sowie eine Lösung mit einer kleinen zentralen Gas-Absorptions-Wärmepumpe oder einem kleinen BHKW sind als Varianten nachfolgend kurz beschrieben.

6.3 Details ausgeschlossene Varianten

	Einheit	**Variante 4** S/W-WP dezentral inkl. Rege-neration	**Variante 5** Pellets zentral	**Variante 6** Gas-WP zentral + Gas dezentral	**Variante 7** BHKW zentral + Gas dezentral
Total Wärmebedarf (Heizung und Warmwasser)	**MWh/a**	**865**	**865**	**865**	**865**
Elektrobedarf Erdsonden-Wärmepumpe (η = 2.8)	**MWh/a**	**309**			
Energiebedarf Holzpellets (η = 0.85)	**MWh/a**		**1'061**		
Energiebedarf Gas (η = 0.95)	**MWh/a**			**846**	**1'061**
Stromproduktion	**MWh/a**				**120**
Investitionen Technik ± 25% exkl. Honorare und MWST (Amortisation 20 Jahre)	kCHF	1'018	790	540	580
Investitionen Bau ± 25% exkl. Honorare und MWST (Amortisation 40 Jahre)	kCHF	770	603	257	173
Summe Investitionen	**kCHF**	**1'788**	**1'393**	**797**	**753**
Kapitalkosten (2% Zins)	kCHF/a	90.4	70.4	42.4	41.8
Energiekosten inkl. Leistungsgebühren (10 Rp./kWh Pellets, 10 Rp./kWh Gas und 20 Rp./kWh Elektrizität)	**kCHF/a**	**70.8**	**106.1**	**96.9**	**108.5**
Unterhaltskosten	**kCHF/a**	**9**	**30**	**22**	**24**
Umweltkosten (1.5 Rp./kWh Pellets; 3 Rp./kWh Gas und 8 Rp./kWh Elektrizität)	**kCHF/a**	**24.7**	**15.9**	**25.4**	**22.2**
Jahreskosten exkl. Umweltkosten	**kCHF/a**	**170.2**	**206.4**	**161.3**	**174.2**
Jahreskosten exkl. Umweltkosten	***%***	***118***	***144***	***112***	***121***
Jahreskosten inkl. Umweltkosten	**kCHF/a**	**194.9**	**222.3**	**186.7**	**196.5**
Jahreskosten inkl. Umweltkosten	***%***	***119***	***136***	***114***	***120***
Energieverbrauch bewertet (Gewichtungsfaktoren Holz 0.5, Elektrizität 2.0, fossile Energien 1.0)	**MWh/a**	***618***	***530***	***846***	***821***
Energieverbrauch bewertet	***%***	***68***	***58***	***93***	***90***

Tabelle 6: Details ausgeschlossene Varianten

Variante 4 – Dezentrale Erdsonden-Wärmepumpen (S/W-WP) inkl. Regeneration:

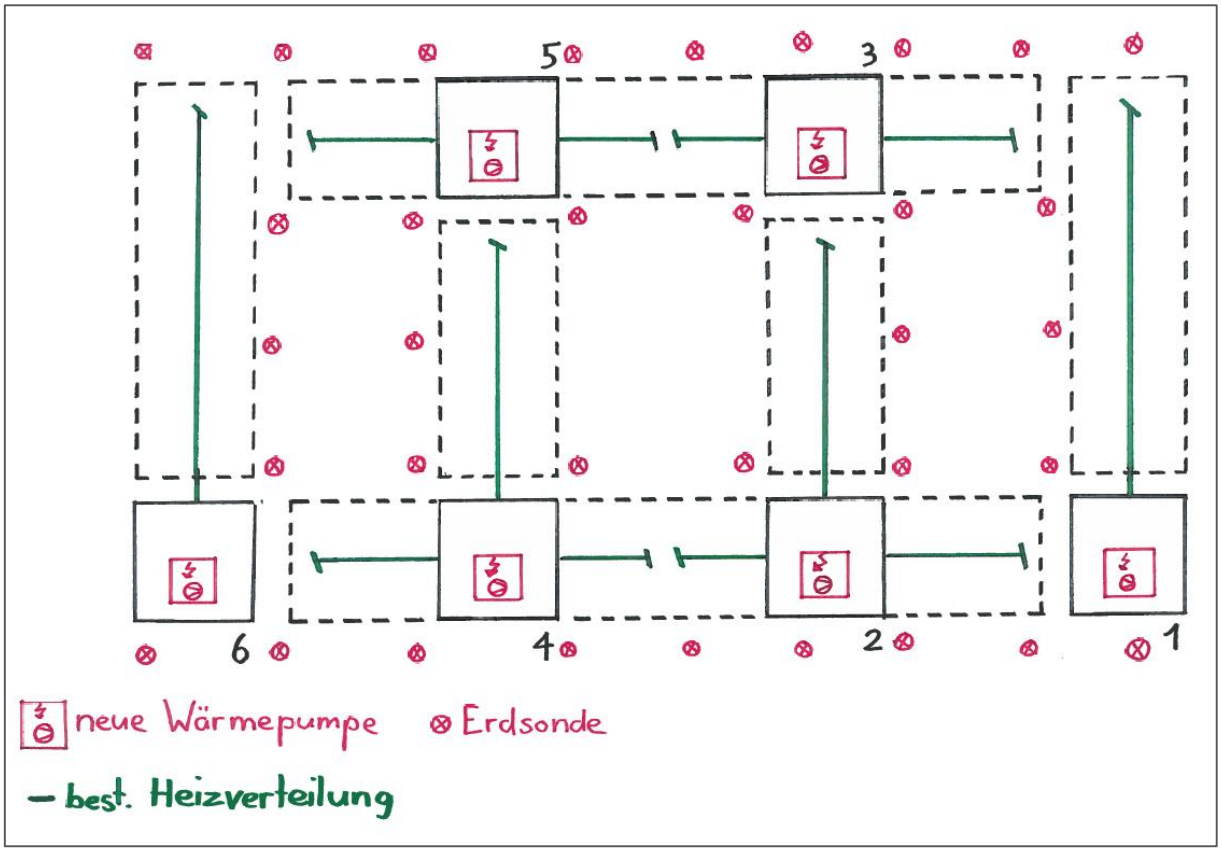

Abbildung 5: Handskizze Variante 4

Es werden dezentrale Erdsonden-Wärmepumpen installiert. Diese erzeugen die Wärme für das Heizen und das Warmwasser wie bisher je Sektor. Je Sektor sind bis zu sechs Erdsondenbohrungen à 250 m notwendig. Dies hat zur Folge, dass im Endausbau sowohl die beiden Höfe und die Privatstrassen nördlich und südlich der Etappe 1 mit Erdsonden belegt sein werden.

Aufgrund der grossen Anzahl Erdsonden auf dem Areal und des hohen Wärmeentzuges ist eine Regeneration des Erdreiches mittels Solarthermie zu empfehlen (max. Absorberfläche von aufgeständerten Modulen ca. 40 m^2 je Sektor). In diesem Zusammenhang ist vorgängig eine Dachsanierung der Wohntürme (blaues X in Abbildung 1) zu realisieren, da die Solarthermieanlage ca. die nächsten 20 bis 25 Jahre auf dem Dach verbleibt. Da eine Regeneration des Erdreiches optimalerweise mit eher tiefen Temperaturen erfolgt, werden unverglaste Kollektoren eingesetzt (tiefere Investitionskosten).

Aufgrund der relativ hohen Vorlauftemperaturen (kleine Heizkörperflächen) erreicht die Wärmepumpe eine durchschnittliche Effizienz von schätzungsweise 280%. Daraus resultiert ein Anteil erneuerbarer Energie von ca. 65%.

Die Investitionskosten von ca. 260'000 bis 340'000 CHF je Sektor sind vergleichsweise hoch. Der Vorteil liegt darin, dass diese analog zur Variante 1 sektorenweise ausgelöst werden können.

Variante 5 – Zentrale Pelletsfeuerung:

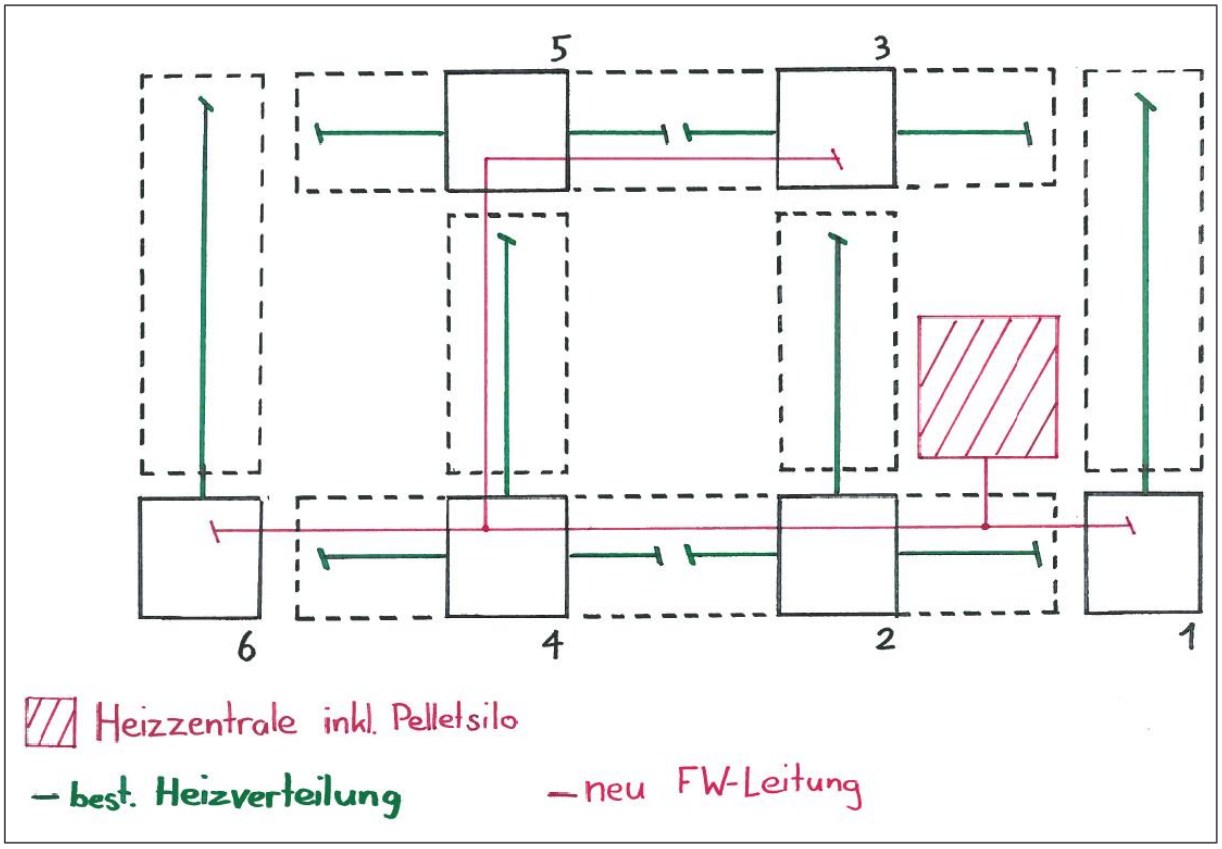

Abbildung 6: Handskizze Variante 5

Bei der Variante 5 wird eine neue Heizzentrale für die gesamte Etappe 1 realisiert. Die Wärmeerzeugung erfolgt über eine zentrale Pelletsfeuerung mit einem modelierenden automatischen Kessel mit ca. 500 kW Heizleistung. Um einen sicheren Heizbetrieb gewährleisten zu können, wird ein Heizungsspeicher von ca. 20'000 l in der Zentrale installiert.

Die einzelnen bestehenden Gasfeuerungen inkl. Warmwasserboiler werden rückgebaut. Die Wärmeverteilung sowie die neuen Warmwasserboiler je Sektor werden in den bestehenden Heizräumen installiert. Die Warmwasseraufbereitung erfolgt ebenfalls über die Pelletsfeuerung. Die Warmwasserladung der Boiler je Sektor erfolgt über tägliche Zwangsladungen, damit die Verteilverluste im Wärmeverbund minimiert werden können.

Es muss ein Wärmeverbund für die Etappe 1 aufgebaut werden. Dabei soll das Wärmenetz (Leitungen) soweit möglich in den bestehenden Untergeschossen zu den bestehenden Wärmeverteilungen der einzelnen Sektoren geführt werden.

Eine Pelletsfeuerung bedingt eine regelmässige Wartung und Überprüfung der Anlage (Pelletsbestellung etc.). Der Unterhaltsaufwand ist bei dieser Variante sehr hoch.

Der Standort für die Heizzentrale könnte sich zum Beispiel im östlichen Hof befinden. Dies hat zur Folge, dass die zukünftige Nutzung des Hofes als Begegnungszone der Siedlung eingeschränkt wird.

Diese Variante weist mit 100% den höchsten Anteil erneuerbarer Energie auf. Sofern diese Variante weiterverfolgt werden soll, ist zusätzlich eine redundante Wärmeerzeugung für den Störungsfall der Pelletsheizung z.B. mittels Öl zu prüfen.

Variante 6 – Zentrale Gas-Absorptions-Wärmepumpe und dezentrale Gasfeuerungen:

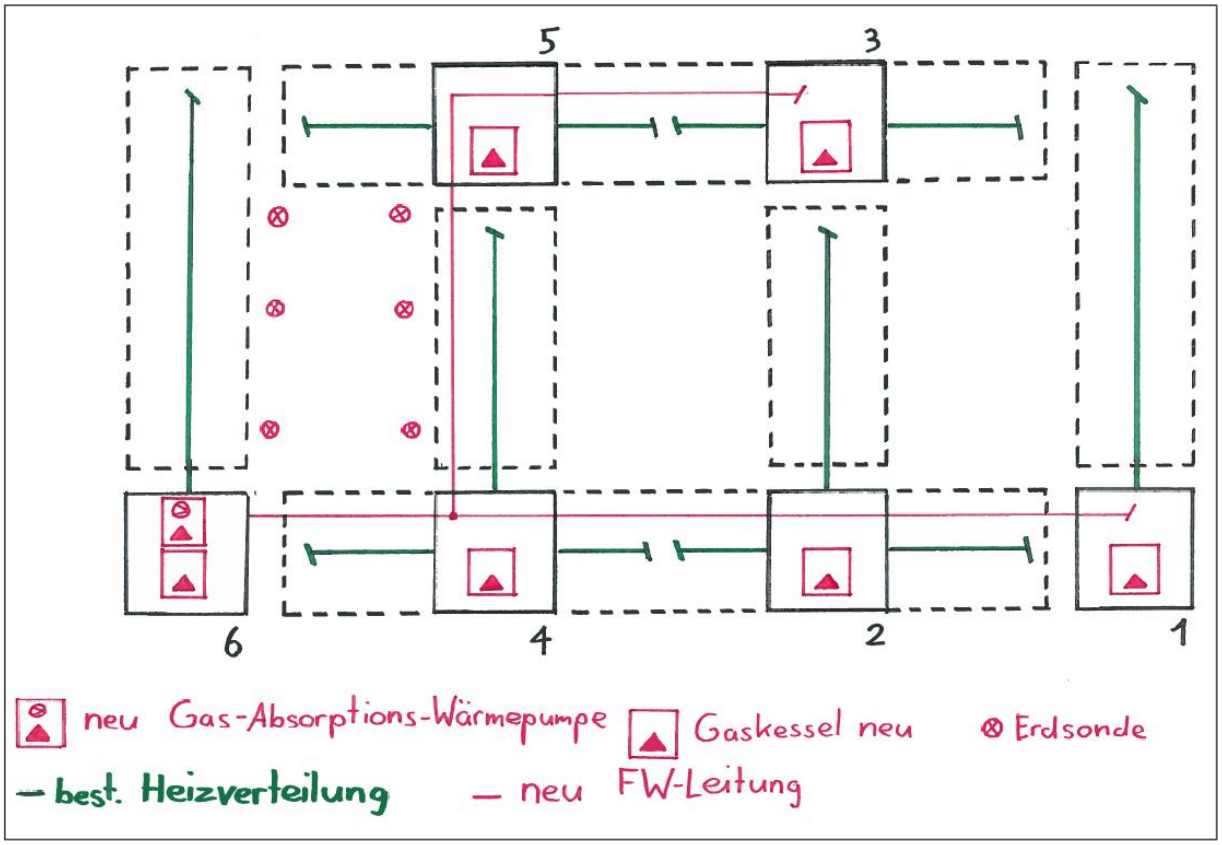

Abbildung 7: Handskizze Variante 6

Es wird anstelle eines zentralen BHKWs wie in der Variante 3 eine zentrale Gas-Absorptions-Wärmepumpe installiert.

Eine Gas-Absorptions-Wärmepumpe verwendet anstelle von Elektrizität Gas als Energiequelle. Ungefähr ein Drittel der benötigten Wärme wird als Umweltwärme aus dem Erdreich entzogen. Dazu sind für eine Bandlastabdeckung von ca. 38 kW während 6'000 h pro Jahr ungefähr sechs Erdsonden à 200 m Tiefe notwendig. Die Warmwasserladung der Boiler je Sektor erfolgt über tägliche Zwangsladungen, damit die Verteilverluste im Wärmeverbund minimiert werden können.

Der Deckungsgrad der Gas-Absorptions-Wärmepumpe beträgt ca. 25% des Gesamtwärmebedarfs. Daraus resultiert ein Anteil erneuerbarer Energie von ca. 9%. Grundsätzlich könnten auch zusätzliche zentrale Gas-Absorptions-Wärmepumpen zur Steigerung des erneuerbaren Anteils ergänzt werden. Die Investitionskosten steigen jedoch stark an.

Variante 7 – Zentrales Blockheizkraftwerk (BHKW) und dezentrale Gasfeuerungen:

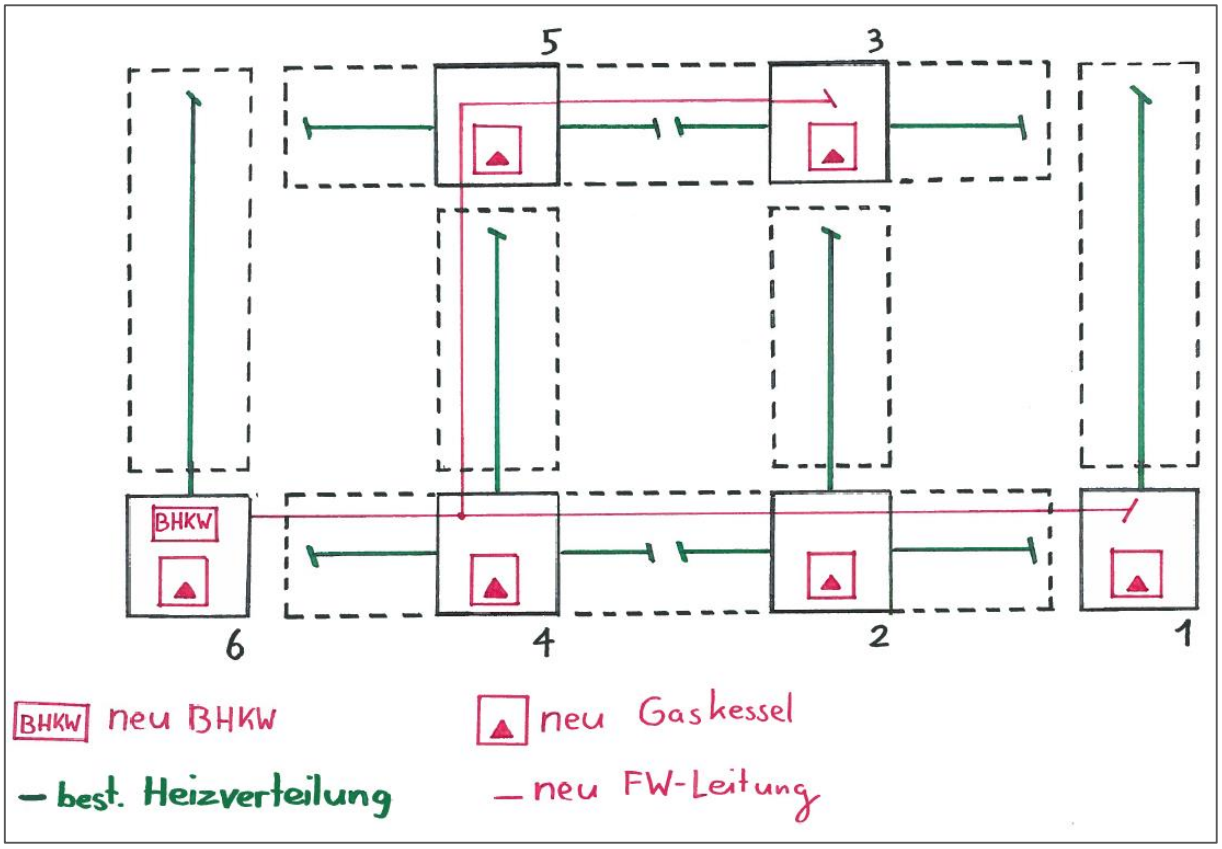

Abbildung 8: Handskizze Variante 7

Diese Variante entspricht der Variante 3, wobei ein kleineres Blockheizkraftwerk (mit höheren Jahresbetriebsstunden) eingesetzt wird. Dieses kann beispielsweise im Sektor 6 realisiert werden. Dazu muss schätzungsweise der bestehende Heizungsraum im Erdgeschoss ebenfalls erweitert werden. Das BHKW muss wärmegeführt betrieben werden, das heisst, es ist nur in Betrieb, wenn genügend Wärme nachgefragt wird. Das BHKW weist daher eine thermische Leistung von ungefähr 39 kW sowie eine elektrische Leistung von ca. 20 kW auf (beispielsweise Viessmann Vitobloc 200). Dies bedeutet, dass das BHKW die Bandlast der Heizung sowie des Warmwassers für die gesamte Etappe 1 während ca. 6'000 Stunden pro Jahr abdecken kann. Für die Spitzenlastabdeckung werden die dezentralen Gasfeuerungen eingesetzt. Diese müssen wie in der Variante 1 so dimensioniert werden, dass sie (z.B. im Störungsfall des BHKWs) den gesamten Wärmebedarf des jeweiligen Sektors abdecken können. Die Warmwasserladung der Boiler je Sektor erfolgt über tägliche Zwangsladungen, damit die Verteilverluste im Wärmeverbund minimiert werden können.

Es muss analog zur Variante 2 ein Wärmenetz für die Etappe 1 realisiert werden.

Der Deckungsgrad des BHKW beträgt somit ca. 25% des Gesamtwärmebedarfs. Im Zusammenhang mit der Stromproduktion des BHKWs ist ein möglichst hoher Eigenstromanteil anzustreben, da die Vergütung von fossil erzeugtem Strom weniger als die Hälfte des Strombezugspreises beträgt. Weitere Informationen dazu sind im Kapitel 3.5 aufgeführt.