

**ALANBROOKE**

**QUARTIER**

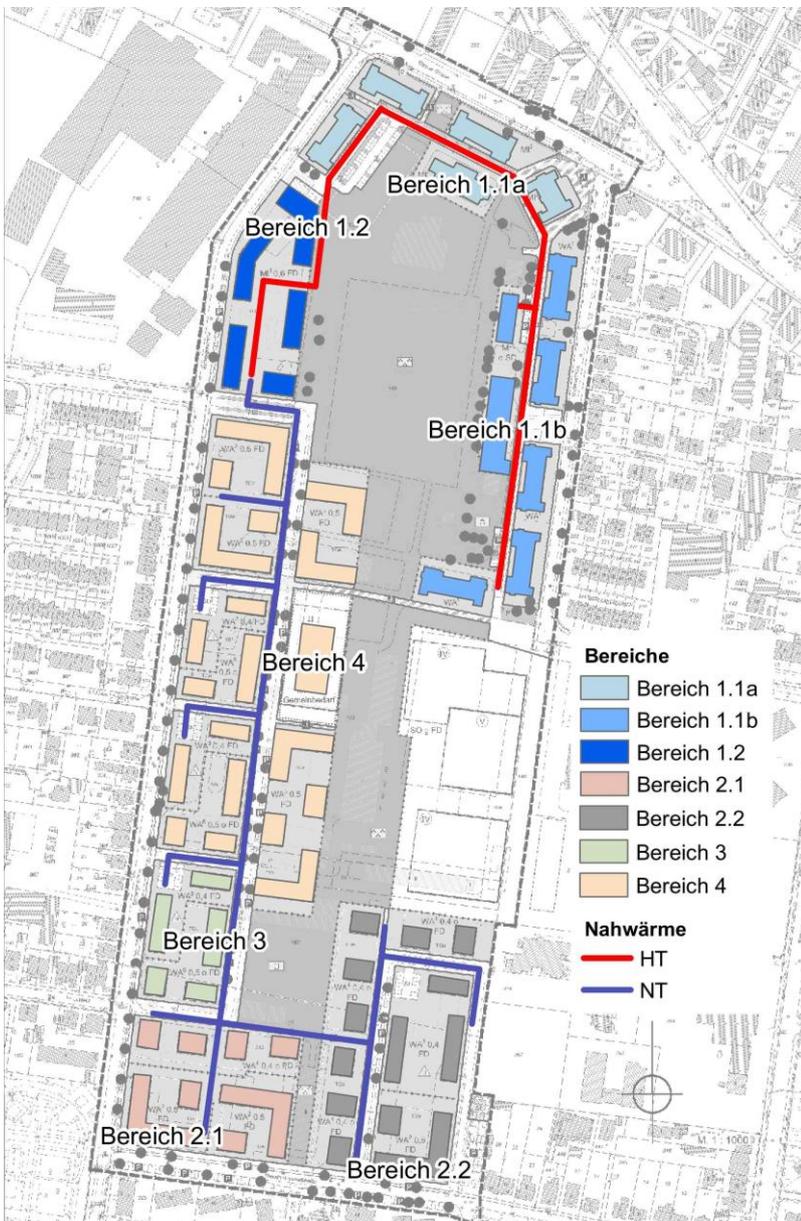
**QUARTIERSHANDBUCH**

**KAPITEL B  
ENERGIEKONZEPT**

Auftraggeber: Stadt Paderborn

# Energieversorgungskonzept Alanbrooke

September 2019





Bearbeitung durch:

Gertec GmbH Ingenieurgesellschaft  
Martin-Kremmer-Str. 12  
45327 Essen  
Telefon: +49 [0]201 24 564-0

Auftraggeber:

Stadt Paderborn  
Amt für Umweltschutz und Grünflächen  
Pontanusstraße 55  
33102 Paderborn

Torsten Strohdiek  
Telefon: 05251 88-1865  
E-Mail: [t.strohdiek@paderborn.de](mailto:t.strohdiek@paderborn.de)

Dieser Bericht darf nur unverkürzt vervielfältigt werden. Eine Veröffentlichung, auch auszugsweise, bedarf der Genehmigung durch die Verfasserin.



# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	11
Abkürzungsverzeichnis	13
Verzeichnis der Gesetze und Normen	15
Verzeichnis weiterer Quellen und Literatur	15
1 Aufgabenstellung	17
2 Bedarfsberechnung und Darstellung technischer Lösungen	18
2.1 Rahmenbedingungen	18
2.2 Energiebedarf und Versorgungsvarianten	18
2.2.1 Raumheizung	18
2.2.2 Warmwasser	19
2.3 Festlegung von möglichen Energieversorgungsoptionen	21
2.3.1 Vorauswahl der Versorgungssysteme	21
2.3.2 Nordabschnitt	23
2.3.3 Südabschnitt	23
2.3.4 Exkurs: Nachheizungsbedarf und Effizienzeinbußen	24
3 Südabschnitt mit kalter Nahwärme oder low-ex-Nahwärme	26
3.1 Abgrenzung und angeschlossene Gebäude	26
3.2 Erdkollektorleistung und Quellenerschließung	26
3.3 Einschränkungen der Fläche	29
3.4 Entzugsleistung und Versorgungspotenzial	29
3.5 Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs	31
3.6 Energieflussbilder Südabschnitt	32
3.7 Wirtschaftlichkeit	33
3.7.1 Investitionen	33
3.7.1.1 Gebäudebezogene Investitionen	33
3.7.1.2 Wärmenetze	36
3.7.1.3 Energiezentrale	36
3.7.1.4 Kollektorfeld	36
3.7.2 Kapitalkosten	39

3.7.3	Verbrauchskosten	39
3.7.4	Betriebskosten	39
3.7.5	weitere Kosten	39
3.8	Umweltbilanz	40
3.9	Ergebniszusammenfassung und Fazit	41
4	Nordabschnitt mit Nahwärmenetz	44
4.1	Abgrenzung und angeschlossene Gebäude	44
4.2	Wärmebedarf und Jahresdauerlinie	44
4.3	BHKW-Auslegung	45
4.4	Wirtschaftlichkeit und Umweltbilanz	46
4.5	Energieflussbild Nordabschnitt	47
4.6	Ergebniszusammenfassung und Fazit	47
5	Dezentrale Solarenergienutzung	49
5.1	Solarthermie	49
5.2	Eigenstromversorgung mit Photovoltaik	49
5.3	PV und Elektromobilität	50
5.4	Arealnetz und Mieterstrom	51
6	Erweiterung des Betrachtungsraums	53
6.1	Erschließung weiterer Wärmequellen	53
6.1.1	Grundwasser	53
6.1.2	Abwasserwärmepotenzial	53
6.2	Einbindung angrenzender Unternehmen	55
6.2.1	dSPACE	55
6.2.2	Firma Lödige	55
7	Vorbereitung der Umsetzung und Controlling	56
7.1	Umsetzungsstrategie	56
7.2	Kommunikation	56
7.2.1	Allgemeine Öffentlichkeit	56
7.2.2	Investoren	58
7.3	Controlling	59

8	Anhang	61
8.1	Gebäudenummerierung	61
8.2	Gebäudeliste mit Leistung und Bedarf	62
8.3	Lage-Plan mit Leistungswerten je Gebäude	63
8.4	Berechnungstabellen Südabschnitt 1	64
8.5	Berechnungstabellen Südabschnitt 2	65
8.6	Berechnungstabellen Südabschnitt 3	66
8.7	Berechnungstabellen Nordabschnitt 1	67
8.8	Berechnungstabellen Nordabschnitt 2	68
8.9	Berechnungstabellen Nordabschnitt 3	69
8.10	Primärenergiefaktoren	69
8.11	Energiefluss kalte Nahwärme	70
8.12	Energiefluss low-ex-Nahwärme 38 °C Vorlauf und 42 °C Vorlauf	71



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Vergleich der Primärenergiefaktoren für dezentrale und zentrale Nachheizung	25
Abbildung 2	Nahwärmenetz Süd mit Leistungswerten der Gebäude in kW	26
Abbildung 3	Schema Quellenerschließung	27
Abbildung 4	Foto Experimentalanlage	28
Abbildung 5	Abgrenzung der Flächen für die Erdwärmekollektorfelder	30
Abbildung 6	Jahresdauerlinie in kW ungeordnet und geordnet (Linie)	31
Abbildung 7	Energieflussbilder NT-Netz, kalte Nahwärme, low-ex-Nahwärme 38 °C und 42 °C Vorlauf	33
Abbildung 8	JAZ Luft-Wärmepumpen Fraunhofer ISE 2011	35
Abbildung 9	Systemvergleich Südabschnitt	41
Abbildung 10	Systemvergleich Südabschnitt, Gegenüberstellung mit und ohne BHKW im Nordabschnitt	43
Abbildung 11	Nahwärmenetz Nord mit Leistungswerten der Gebäude in kW	44
Abbildung 12	Jahresdauerlinie in kW ungeordnet und geordnet (Linie)	45
Abbildung 13	BHKW-Auslegungsvarianten	46
Abbildung 14	Energieflussbild HT-Netz, Wärmerzeugung mit BHKW (53%) und Gaskessel (47%)	47
Abbildung 15	Systemvergleich Nordabschnitt	48
Abbildung 16	Tauscherelemente in DN 3000 und Sonderausführung DN 800	53
Abbildung 17	Auszug Kanalkataster (mit möglicher Verbindungstrasse ins Plangebiet)	54



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	spezifische Bedarfswerte Raumheizung	19
Tabelle 2	spezifische Bedarfswerte Warmwasser nach Fläche und Personen	19
Tabelle 3	spezifische Bedarfswerte Raumheizung und Warmwasser	20
Tabelle 4	Energiebedarf und -verbrauch nach Baufeldern	20
Tabelle 5	Vorauswahlmatrix Versorgungstechniken	22
Tabelle 6	Vergleichsrechnung dezentrale und zentrale Nachheizung	24
Tabelle 7	spezifische Entzugsleistungen Erdkollektor	28
Tabelle 8	Flächen für Erdkollektoren und Berücksichtigung zu erhaltender Bäume	29
Tabelle 9	Entzugsleistung und Versorgungspotenzial mit Reduzierung	30
Tabelle 10	Wärmebedarf der Neubau-Baufelder und erzielbarer Deckungsgrad	31
Tabelle 11	Ermittlung Investitionen für das Erdkollektorfeld	38
Tabelle 12	Zusammenstellung der Endenergiepreise	39
Tabelle 13	Zusammenstellung der CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren und Primärenergiefaktoren	40



## Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CO <sub>2e</sub>	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
DIN	Deutsches Institut für Normung
EW	Einwohner
GWh	Gigawattstunde
Hi	Heizwert
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kW <sub>el</sub>	Kilowatt elektrisch
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MWh	Megawattstunde
PEF	Primärenergiefaktor
progres.nrw	Programm f. Rationelle Energieverwendung, Regenerative Energien und Energiesparen
PV	Photovoltaik
t	Tonne
THG	Treibhausgas
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient/Wärmedämmwert



## Verzeichnis der Gesetze und Normen

BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
GEG	Gebäudeenergiegesetz, nur als Entwurf Stand 11/2018
EnEV	Energie-Einsparverordnung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
TA-Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
VDI 2067	Verein deutscher Ingenieure e.V.: VDI-Richtlinie 2067 VDI-Richtlinie 2067, Blatt 1, September 2012 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen Grundlagen und Kostenberechnung
VDI 4640	VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 Thermische Nutzung des Untergrunds - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen.

## Verzeichnis weiterer Quellen und Literatur

- 1 <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/erdwaerme/erdwaermekollektoren/flaechenkollektor.html>
- 2 Abschlussbericht Verbundvorhaben „Erdwärmekollektoren und Sonnenkollektoren als optimierte bivalente Quelle für hocheffiziente Wärmepumpensysteme“ Oktober 2018
- 3 Volker Quaschnig: Regenerative Energiesysteme. Technologie - Berechnung - Simulation. 6. Aufl. 2009
- 4 <https://www.owens-baum.de/leistungen/baumschutz-bei-bauarbeiten/>
- 5 <https://www.waermepumpe.de/normen-technik/jazrechner/>
- 6 Zeitschrift Gebäudenergieberater, Mai 2018
- 8 BSKO Bilanzierungs-Systematik Kommunal. Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland 2016.
- 9 DIN V 18599-1 :2011-12, Tabelle A-1
- 10 Jens Lück: Die "Kundenanlage" im Sinne des § 3 Nr. 24a EnWG als zentraler Baustein bei der Umsetzung von Quartierslösungen, Vortrag im Rahmen des Informationstags des Forum Contracting am 5. September 2018: Energiekonzepte in der Wohnungswirtschaft.
- 11 Stadtwerke Bochum: Abwasserwärmenutzung – Potenziale und Wege zur Umsetzung
- 12 EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen: Heizen und Kühlen mit Abwasser



# 1 Aufgabenstellung

Die Entwicklung der Konversionsfläche der ehemaligen „Alanbrooke-Kasernengeländes“ bedeutet für die Stadt Paderborn eine zentrale städtebauliche Entwicklungsmaßnahme, mit der vor allem neue Wohnbauflächen in zentraler Lage und guter infrastruktureller Anbindung geschaffen werden sollen.

Dabei sind aus energetischer Sicht vor allem interessant:

- Die Einbindung des denkmalgeschützten Gebäudebestandes
- Die zu erwartenden zukünftigen Nutzungen sowohl im Gebäudebestand als auch in den geplanten Neubauten.
- Anknüpfungspunkte hinsichtlich energetischer Infrastruktur an angrenzende Gebiete (energetische Infrastruktur, Abwärmepotenziale (Kanal, Gewerbe))
- Potenzielle zusätzliche Energieabnehmer in angrenzenden Gebieten (Wohnungsbau z.B. in Hand von Wohnungsgesellschaften, kommunale Liegenschaften, Gewerbliche Nutzungen)

Für die Energieversorgung definiert sich der Anspruch, eine zukunftsfähige Konzeption unter Berücksichtigung der Aspekte Reduzierung des Energiebedarfs, Optimierung der Energieversorgung und des Einsatzes erneuerbarer Energien zu erstellen. In diesem Zuge werden die dauerhaft niedrige Energiekosten bei gleichzeitiger hoher Betriebs- und Planungssicherheit für den Betreiber garantiert und bei der die klimapolitischen Ziele und politischen Vorgaben der Stadt Paderborn berücksichtigt.

## 2 Bedarfsberechnung und Darstellung technischer Lösungen

### 2.1 Rahmenbedingungen

Auf dem Kasernengelände sollen nach Rahmenplan 800 (817) Wohneinheiten entstehen. In diesem kommen im nördlichen denkmalgeschützten Bereich ca. 68 und in den neuen Baufeldern 1 bis 20 weitere 749 Wohneinheiten hinzu. Die gesamte Bruttofläche (BGF) beträgt 135.225,88 m<sup>2</sup>, davon: BGF Wohnen 92.742,90 m<sup>2</sup>, BGF geförderter Wohnungsbau 27.228,00 m<sup>2</sup>, BGF Gewerbe 40.663,07 m<sup>2</sup>.

Die Realisierung der Sanierungs- und Neubaumaßnahmen erfolgt nach Bauabschnitten, die im Rahmen der Konzeptbearbeitung zu berücksichtigen sind.

### 2.2 Energiebedarf und Versorgungsvarianten

#### 2.2.1 Raumheizung

Es liegt eine umfassende Flächenbilanz für alle Baufelder vor, die unter Berücksichtigung der Grundflächen und Geschossezahlen auch eine näherungsweise gebäudescharfe Zuordnung der Fläche ermöglicht.

Die Ableitung spezifischer Bedarfswerte ist vorgenommen worden für drei Qualitätsstandards, die im Plangebiet zu erwarten sind.

- Gebäudebestand mit Denkmalschutz innen und außen (Künstler-Quartier Bereich 1.1a)
- Gebäudebestand mit Denkmalschutz außen (Bereich 1.1b)
- Neubau mit 35 kWh/m<sup>2</sup>a als Bedarfskennwert für Raumheizung

Die Festlegung der 35 kWh/m<sup>2</sup>a erfolgte in Anlehnung am Standard KfW-Effizienzhaus 55. Dieser Standard kann über eine hochwertigere Gebäudehülle realisiert werden, ist aber nicht zwingend auf eine Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung zur Einhaltung der Anforderungen angewiesen.

Die Bedarfswerte sind als Leistung in W/m<sup>2</sup> und als Arbeit in kWh/m<sup>2</sup>a abgeschätzt worden. Der Flächenbezug ist hier die Nutzfläche, die in der Flächenaufstellung mit dem einheitlichen Faktor 0,75 aus der Bruttofläche ermittelt worden ist. Es handelt sich nicht um die aus den EnEV-Nachweisen bekannte Gebäudenutzfläche  $A_N$ . Die klimatischen Bedingungen im Plangebiet sind als TRY-Datensatz (Test-Referenz-Jahr) ermittelt worden. Die Gradtagzahl liegt historisch für den Zeitraum 1988-2007 bei 3218 Kd/a, die Werte in [Tabelle 1](#) entsprechen diesem Wert.

Zu berücksichtigen ist, dass bei energetisch hochwertigen Neubauten die Jahresvollbenutzungsstunden Heizung deutlich niedriger liegen als im Altbaubereich. Insgesamt weisen die vorhandenen und geplanten Baukörper ein recht günstiges A/V-Verhältnis auf, so dass keine extrem hohen Bedarfswerte auftreten. Die Kennzahlen stellen sich wie folgt dar.

Kennwerte	spezifischer Bedarf		(Jahresvollbe- nutzungsstunden)
	Leistung	Arbeit	
	W/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	
Bereich 1.1a	86	140	1.628
Bereich 1.1b	66	97	1.470
Neubau	33,3	35,0	1.051

Tabelle 1 spezifische Bedarfswerte Raumheizung

## 2.2.2 Warmwasser

Für die Abschätzung des Warmwasserbedarfs können flächenbezogene Richtwerte aus Normen und Leitfäden herangezogen werden. Die EnEV gibt 12,5 kWh/m<sup>2</sup>a (bezogen auf A<sub>N</sub>) verbindlich für die Nachweisführung vor. Der Planungsleitfaden Klimaschutzsiedlungen aus NRW übernimmt im Prinzip diesen Wert, aufgrund des dort vergebenen Flächenbezugs der Nutzfläche erhöht sich diese Zahl dann auf 15 kWh/m<sup>2</sup>a.

Personenzahl-bezogene Kennwerte liegen zwischen 400 und 700 kWh/a. Zur Anwendung personenbezogener Kennwerte ist es nötig, eine Belegungsdichte bzw. einen Wohnflächenkennwerte in m<sup>2</sup>/Person zu definieren. Der Kennwert „spezifische Wohnfläche je Einwohner“ ist stark vom Wohlstand der zukünftigen Bewohner abhängig. Der Mittelwert für Paderborn lag Ende 2014 bei 44 m<sup>2</sup>/Einwohner. Haushalte in Mietwohnungen verfügen über deutlich geringere Flächen, und Eigentümerhaushalte über wesentlich höhere Flächen. Es wird modellhaft für die Ableitung des Warmwasserkennwertes mit Wohnflächen von 35 bis 55 m<sup>2</sup>/Einwohner gerechnet.

flächenbezogen					
Normwert EnEV A <sub>N</sub>	kWh/m <sup>2</sup> a	12,5			
Normwert Nutzfläche	kWh/m <sup>2</sup> a	15			
personenbezogen					
Bandbreite		niedrig	hoch	niedrig	hoch
Verbrauch je Person	kWh/P.a	400	700	400	700
Bandbreite		hoch	hoch	niedrig	niedrig
Wohnfläche je Person	m <sup>2</sup> /P	55	55	35	35
umgerechnet auf m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> a	7	13	11	20
Mittelwert	kWh/m <sup>2</sup> a	13			

Tabelle 2 spezifische Bedarfswerte Warmwasser nach Fläche und Personen

Die weiteren Berechnungen werden mit dem nutzflächenbezogenen Normwert von 15 kWh/m<sup>2</sup>a durchgeführt. Die Leistungswerte werden nicht erhöht, von einer Ausstattung der Mehrfamilienhäuser mit einem zentralen Wärmepufferspeicher (Heizwasser, nicht Trinkwasser) auszugehen ist. Dieser kann zeitgesteuert in Schwachlastphasen der Beheizung geladen werden. Eine Leistungserhöhung wäre bei reinen Durchflusssystemen erforderlich, die in dieser Versorgungssituation nicht üblich und auch nicht zu empfehlen sind. Die Tabelle 1 wird entsprechend wie folgt erweitert. Im Bereich 1.1a, dem Künstler/Kreativ-Bereich wird kein Warmwasserverbrauch zu erwarten sein, der aus dem Netz zu decken wäre. Für den geringen Bedarf von Teeküchen und Waschbecken reichen dezentrale elektri-

sche Kleinspeicher oder Durchflussgeräte aus. Nur im ehemaligen Kasino mit gastronomischer Nutzung wird ein Warmwasserbedarf von geschätzt 30 kWh/m<sup>2</sup>a in Ansatz gebracht.

	Raum- heizung	Warm- wasser	Wärme gesamt	(Jahresvollbe- nutzungsstunden)
	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a	h/a
Bereich 1.1a Kreativ	140	-	140	1.628
Bereich 1.1a Gastro	140	30	170	1.977
Bereich 1.1b	97	15	112	1.697
Neubau	35	15	50	1.502

Tabelle 3 spezifische Bedarfswerte Raumheizung und Warmwasser

Das Gebäude ist die kleinste Einheit, die in Rahmen dieses Konzepts als Versorgungseinheit betrachtet wird. Die für Baufelder, Bereiche und Bauabschnitte ausgewiesenen Werte stellen jeweils nur eine räumliche Aggregationsstufe dar. Auf Baufeldebene stellt sich der Bedarf wie folgt dar. Die Einzelwerte je Gebäude sind im Anhang aufgeführt.

Baufeld	Bereich	BGF	NGF	spez. Bedarf Heizung	spezif. Verbrauch Heizung	Leistung	Verbrauch Raum- heizung	Verbrauch Warm- wasser	Verbrauch Wärme gesamt
		m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kW	MWh/a	MWh/a	MWh/a
BF 01	Bereich 1.2	11.342	8.507	33,3	35,0	283	298	128	425
BF 02	Bereich 4	5.149	3.862	33,3	35,0	129	135	58	193
BF 03	Bereich 4	4.219	3.164	33,3	35,0	105	111	47	158
BF 04	Bereich 4	6.138	4.604	33,3	35,0	153	161	69	230
BF 05	Bereich 4	1.978	1.484	33,3	35,0	49	52	22	74
BF 06	Bereich 4	3.640	2.730	33,3	35,0	91	96	41	137
BF 07	Bereich 4	2.315	1.736	33,3	35,0	58	61	26	87
BF 08	Bereich 4	4.450	3.338	33,3	35,0	111	117	50	167
BF 09	Bereich 4	9.388	7.041	33,3	35,0	234	246	106	352
BF 10	Bereich 3	2.315	1.736	33,3	35,0	58	61	26	87
BF 11	Bereich 3	4.450	3.338	33,3	35,0	111	117	50	167
BF 12	Bereich 2.1	4.726	3.545	33,3	35,0	118	124	53	177
BF 13	Bereich 2.1	5.189	3.892	33,3	35,0	130	136	58	195
BF 14	Bereich 2.1	5.190	3.893	33,3	35,0	130	136	58	195
BF 15	Bereich 2.2	2.400	1.800	33,3	35,0	60	63	27	90
BF 16	Bereich 2.2	3.825	2.869	33,3	35,0	96	100	43	143
BF 17	Bereich 2.2	3.225	2.419	33,3	35,0	81	85	36	121
BF 18	Bereich 2.2	2.484	1.863	33,3	35,0	62	65	28	93
BF 19	Bereich 2.2	1.537	1.153	33,3	35,0	38	40	17	58
BF 20	Bereich 2.2	5.190	3.893	33,3	35,0	130	136	58	195
BF 21	Bereich 1.1b	4.518	3.389	66,0	97,0	224	329	51	380
BF 22	Bereich 1.1b	3.851	2.888	66,0	97,0	191	280	43	323
BF 23	Bereich 1.1a	1.683	1.262	86,0	140,0	109	177	19	196
BF 24	Bereich 1.1b	846	635	47,9	62,6	30	40	10	49
BF 25	Bereich 1.1a	727	545	86,0	140,0	47	76	8	85
BF 26	Bereich 1.1a	2.365	1.774	86,0	140,0	153	248	27	275
BF 27	Bereich 1.1a	4.731	3.548	86,0	140,0	305	497	53	550
BF 28	Bereich 1.1b	1.926	1.444	66,0	97,0	95	140	22	162
BF K	Bereich 4	1.951	1.464	33,3	35,0	49	51	22	73
Summe bzw. Ø		111.749	83.812	41	50	3.428	4.178	1.257	5.435

Tabelle 4 Energiebedarf und -verbrauch nach Baufeldern

## 2.3 Festlegung von möglichen Energieversorgungsoptionen

### 2.3.1 Vorauswahl der Versorgungssysteme

Die folgende Matrix gibt zunächst einen Überblick über die möglichen Techniken. Die Eignung für die Bestandsgebäude und die Neubauten ist unterschiedlich einzuschätzen. Die Auswahl angepasster Lösungen wird unter 0 und 2.3.3 eingehender behandelt.

Wärmeerzeugung durch	Einsatzbereich	Vorteile	Nachteile
Holzhack-schnitzel	zentrale Versorgung	niedrige Brennstoffkosten keine Kopplung an den Ölpreis regionale Verfügbarkeit der Brennstoffe niedrige CO <sub>2</sub> Emissionen Grund-& Spitzenlast	aufwändige Anlagentechnik hoher Betriebsaufwand hoher Platzbedarf hohes Transportaufkommen
Holzpellet	zentrale & dezentrale Versorgung	mäßige Brennstoffkosten keine Kopplung an den Ölpreis (über-)regionale Verfügbarkeit hoher Automatisierungsgrad → geringerer Betriebsaufwand mäßiger Platzbedarf geringe CO <sub>2</sub> Emissionen Grund-&Spitzenlast	aufwändige Anlagentechnik mäßiger Platzbedarf mittleres Transportaufkommen
KWK mit fossilem Erdgas	zentrale Versorgung	mäßige Brennstoffkosten hohe Effizienz niedrige CO <sub>2</sub> -Emissionen bei einer Stromgutschrift gegen den fossilen BRD-Mix geringer/mittlerer Platzbedarf	Abhängigkeit von Energie-Importen nur Grundlast Wartungsaufwand
KWK mit Bio-Erdgas	zentrale Versorgung	Stromvergütung gem.EEG hohe Effizienz geringe CO <sub>2</sub> -Emissionen geringer/mittlerer Platzbedarf	hohe Brennstoffkosten begrenzte Verfügbarkeit von Biomethan mittlere CO <sub>2</sub> -Äquivalent-Emissionen (Methan, Lachgas fallen bei der Erzeugung an) nur Grundlast Wartungsaufwand
Wärmepumpe allgemein, quellenunabhängig	zentrale & dezentrale Versorgung	geringer Betriebsaufwand mäßiger Platzbedarf geringe CO <sub>2</sub> -Emissionen - vor allem bei Ökostrom oder PV Strom Grund-&Spitzenlast	Temperaturniveau der Wärmeabgabe < 50°C, besser < 40 °C  Effizienz abhängig von Wärmequelle und Temperaturniveau der Wärmeabgabe

Wärmeerzeugung durch	Einsatzbereich	Vorteile	Nachteile
WP Luft	eher dezentrale Versorgung	geringer Erschließungsaufwand geringer Platzbedarf	mäßige Effizienz Platzbedarf für Lüfter auf Dächern oder im Freiraum stört bei hochwertiger Architektur
WP Erdwärmeflächkollektor		gute Effizienz <ul style="list-style-type: none"> <li>als kalte Nahwärme mit dezentralen Wärmepumpen</li> <li>als low-ex-Nahwärme mit zentraler Wärmepumpe</li> </ul>	hoher Flächenbedarf hohe Erschließungskosten Risiko der zu starken Auskühlung des Bodens
WP Erdsondenbohrung			hydrogeologische Eignung des Untergrunds und wasserrechtliche Zulässigkeit (Erlaubnis erforderlich)
WP Eisspeicher		gute Effizienz i.V.m. Solarthermieanlagen oder Kälteanlagen	hohe Erschließungskosten (Eisspeicher) ohne Kältenutzung geringe Effizienz
WP Brunnen und Grundwassernutzung		sehr gute Effizienz	Verfügbarkeit von Saug- und Schluckbrunnen wasserrechtliche Zulässigkeit (Erlaubnis erforderlich)
Solarthermie	zentrale & dezentrale Versorgung	minimale CO <sub>2</sub> -Emissionen gute Kombinierbarkeit mit anderen Energie-Quellen geringer Betriebsaufwand	saisonale Verfügbarkeit nur als Ergänzung möglich
Erdgas	zentrale & dezentrale Versorgung	geringer Erschließungsaufwand - vorhandene Infrastruktur mäßiger Platzbedarf gute Kombinierbarkeit	hohe CO <sub>2</sub> -Emissionen fossiler Energieträger Abhängigkeit von Energie-Importen

Tabelle 5 Vorauswahlmatrix Versorgungstechniken

### 2.3.2 Nordabschnitt

Die Voraussetzungen für den Zusammenschluss der Gebäude mittels einer Nahwärmeleitung sind hier recht gut. Die Abstände sind nicht sehr groß und der zu erwartende Wärmeabsatz je m Netz ist ausreichend hoch. Die Verteilsysteme in den Gebäuden können nicht umfassend auf Flächenheizungen (Fußboden oder Wand) umgestellt werden. Der Aufwand wäre sehr hoch und die Praktikabilität der Umsetzung fraglich. Die Vorlauftemperaturen werden somit zwischen 60 und 90 °C liegen, wie dies bei Radiatorenheizsystemen üblich ist.

Mit gebäudebezogenen, einzelnen kleinen BHKW-Anlagen könnte eine Effizienzsteigerung gegenüber der einfachen Gasheizung erzielt werden. Diese kleinen BHKW-Anlagen liegen in den spezifischen Kosten sehr hoch und werden in der Regel nur mit hohen Förderquoten in Pilotprojekten realisiert.

Die Temperatur im Hochtemperatur-Netz sollte nicht zu hoch liegen. Bei über 85 °C ist die Ausdehnung der Stahlmediumrohre so groß, dass Kompensationsbögen erforderlich werden. Bis zu einer Temperatur von 80 °C Vorlauf ist noch eine kompensationsfreie Verlegung möglich.

Als Systeme der Erzeugung kommen folgende in Frage:

- Holz-Pellet-Kessel mit Spitzenlastkessel Gas
- Erdgas-BHKW mit Spitzenlastkessel
- Holzhackschnitzel-Kessel mit Spitzenlastkessel Gas
- Erdgas-BHKW und Pelletkessel, großer Pufferspeicher mit Spitzenlastkessel

Der Hackschnitzel-Kessel ist zu aufwendig im Betrieb und braucht wesentlich mehr Lagerraum für den Brennstoff. Erfahrungsgemäß gibt es häufig Probleme mit der Brennstoffqualität, so dass der Brennstoff Holz als genormte Pelletqualität zu einer höheren Betriebssicherheit führt.

Die letzte Variante kombiniert KWK mit EE und ist in der Investition recht aufwändig.

Die beiden letzten Varianten werden hier nicht weiter verfolgt.

### 2.3.3 Südabschnitt

Die Errichtung der Neubauten bietet die Möglichkeit, Wärme auf niedrigem Temperaturniveau einzusetzen und diese mit Wärmepumpen verschiedenster Konfiguration zu erzeugen.

Als Systeme der Erzeugung kommen folgende in Frage:

- low-ex-Netz mit zentraler Wärmepumpe
- kalte Nahwärme, Solenetz
  - mit Wärmepumpe je Baublock
  - mit Wärmepumpe je Gebäude (Dieses System ist dem der Erdsonden-Wärmepumpe sehr ähnlich. Der Unterschied besteht darin, dass anstelle der eigenen Bohrung mit Erdsonde die Wärme als Sole zentral aus einem Netz zur Verfügung gestellt wird.)
- wenn man im Winter ohnehin bei 0 bis 2 °C in der Erdkollektortemperatur endet, kann ergänzend auch ein Eisspeicher zum Einsatz kommen, dieser muss dann allerdings mit Kühlung oder Solarthermie regeneriert werden

Die letzte Variante ist sehr aufwendig und wäre nur dann in Erwägung zu ziehen, wenn die Leistungsfähigkeit des Kollektorfeldes sehr begrenzt und die Einbindung von emissionsarmer Zusatzwärme nicht möglich ist. Sie wird hier nicht weiter verfolgt.

Konzeptionell wird im Folgenden beim System kalte Nahwärme die Wärmepumpe je Gebäude zugrunde gelegt. Wenn ein Investor in einem Baufeld mehrere Gebäude errichtet, kann er in eigener

Entscheidung (z.B. Bauablaufoptimierung, Übergangslösungen) auch Gebäude gemeinsam versorgen. An der Grundkonzeption und Energiebilanz ändert sich dadurch nichts.

### 2.3.4 Exkurs: Nachheizungsbedarf und Effizienzeinbußen

Neben der Frage der Wirtschaftlichkeit von vielen kleinen Wärmepumpen, die unter 3 zu quantifizieren ist, muss die Einbindung zusätzlicher Energiequellen geprüft werden, da das Risiko mangelnder Ergiebigkeit des Kollektorfeldes aufgrund der Bodeneigenschaften oder Flächenreduzierung absehbar ist und nicht außer Acht gelassen werden darf.

Wenn diese zusätzlichen Energiequellen ohne Brennstoff- und Primärenergieeinsatz verfügbar sind, wie die sonst nicht nutzbare Kondensationswärme der Abgase der Energiezentrale oder Abwärme aus Abwasserkanälen, ist die Einbindung ohne Effizienzverlust und Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Emissionen möglich und sinnvoll.

Wenn aber bei knapper Quellenleistung Wärme mit Gaseinsatz aus der BHKW-/Gaskesselanlage bezogen wird, um die Soletemperatur anzuheben, kann es dazu kommen, dass mit diesem Konzept Versorgungssysteme realisiert werden, die bei hohem investiven Aufwand primärenergetisch ineffizient sind.

Zur Abklärung dieser Frage wird hier vorab schon eine einfache Vergleichsrechnung durchgeführt.

			Fehlbedarf dezentral über		Fehlbedarf kein	Ergänzung über	
			Heizstab	Gas-DLE		Sole + Gas	Sole + KWK
Wärmelieferung gesamt		MWh	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Strom Heizstab direkt		MWh	300	-	-		
Nachheizung dez. mit Gas		MWh	-	300	-		
Wärmelieferung aus Wärmepumpe		MWh	700	700	1.000	1.000	1.000
Auskühlung Solenetz		MWh	514	514	735	783	783
Strom Wärmepumpe		MWh	186	186	265	217	217
Wärmequellen							
Erdreichkollektor		MWh	514	514	514	514	514
Nahwärme Gaskessel		MWh				269	-
Nahwärme KWK		MWh				-	269
Vorlauf Sole		°C	2	2	2	8	8
Temperatur an Raumheizung		°C	35	35	35	35	35
Temperaturhub		K	33	33	33	27	27
carnot max theoretisch		-	9,4	9,4	9,4	11,5	11,5
Prozessgüte		%	40%	40%	40%	40%	40%
COP		-	3,8	3,8	3,8	4,6	4,6
COP-Verbesserung		%				22%	22%
<b>Primärenergie</b>							
PEF Erdreichkollektor	0,05	MWh	26	26	26	26	26
PEF Nahwärme Gaskessel	1,30	MWh	-	-	-	349	-
PEF Nahwärme KWK	0,70	MWh	-	-	-	-	188
PEF Strom Heizstab direkt	1,80	MWh	540	-	-	-	-
PEF Nachheizung dez. mit Gas	1,29	MWh	-	388	-	-	-
PEF Strom Wärmepumpe	1,80	MWh	334	334	477	390	390
Primärenergieverbrauch		MWh	900	748	503	765	604
Mehrverbrauch zu Heizstab		MWh	-	-152	-397	-134	-296
PEF Wärmelieferung gesamt		MWh	0,90	0,75	0,50	0,77	0,60

Tabelle 6 Vergleichsrechnung dezentrale und zentrale Nachheizung

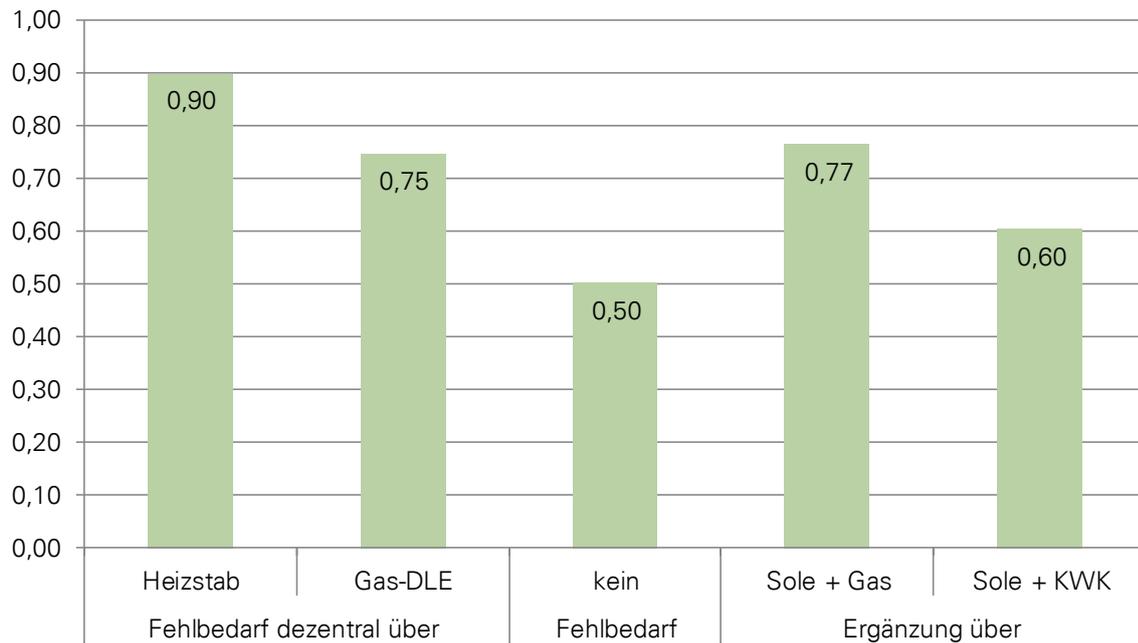


Abbildung 1 Vergleich der Primärenergiefaktoren für dezentrale und zentrale Nachheizung

Die Vergleichsrechnung zeigt, dass die Sole-Nacherwärmung mit Gas oder KWK-Nahwärme nicht zu extrem schlechten Ergebnissen führt. Die Verschlechterung des Primärenergiefaktors (PEF) von 0,50 auf 0,60 ist merklich, aber der dezentralen Lösung mit Elektro-Heizstab klar vorzuziehen.

Eine weitere Berücksichtigung dieser Variante sollte nicht ausgeschlossen werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn sie nur als Rückfallvariante in einem worst-case der Ergiebigkeit des Kollektorfeldes anzusehen ist oder als zeitlich begrenzte Übergangslösung bis zur Erschließung einer weiteren Wärmequelle, wie bspw. Abwasserwärme aus dem Kanalsystem dient.

### 3 Südabschnitt mit kalter Nahwärme oder low-ex-Nahwärme

#### 3.1 Abgrenzung und angeschlossene Gebäude

Dieser Bereich umfasst den gesamten Neubaubereich ohne Bereich 1.2. Das Schema zeigt die Bereiche mit den einzelnen Gebäuden, für die der Anschlusswert jeweils in kW angegeben ist. Die Heizzentrale ist entweder im Bestandsgebäude oder - falls die Platzverhältnisse dort nicht ausreichen - im südlich davon gelegene Parkhaus unterzubringen. Für die Netzlänge ist dies ohne Bedeutung.

Die Summe der Anschlusswerte liegt bei 1.992 kW. Der Jahresheizwärmebedarf liegt bei 2.094 MWh/a, der Warmwasserbedarf ist mit 897 MWh/a zu berücksichtigen.

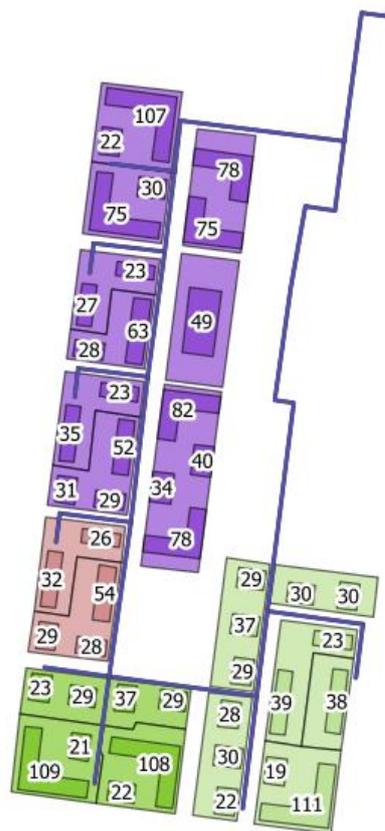


Abbildung 2 Nahwärmenetz Süd mit Leistungswerten der Gebäude in kW

#### 3.2 Erdkollektorleistung und Quellenerschließung

Das kalte Nahwärmenetz verbindet die Gebäude mit einem oder mehreren Einspeisepunkten, die an Flächenkollektoren angeschlossen sind. Diese Kollektoren sind im Innenbereich des Plangebietes in den nicht versiegelten Grünflächen zu verlegen.

Die Errichtung einer zentralen Pumpstation bringt hohe Leitungsquerschnitte sowohl in der Zusammenführung der Kollektorteilflächen als auch auf der Versorgungsseite mit sich.

Die Teilflächeneinheiten können in verschiedenen Formen erschlossen werden, Beispiele zeigt [Abbildung 3](#). Danach werden sie zu Hauptsträngen zusammengefasst und an eine oder mehrere Pumpstationen angeschlossen. Unter Umständen kann die Errichtung der Pumpstationen auch ganz entfallen, wenn jedes Gebäude die erforderliche Pumpleistung dezentral selbst erbringt.

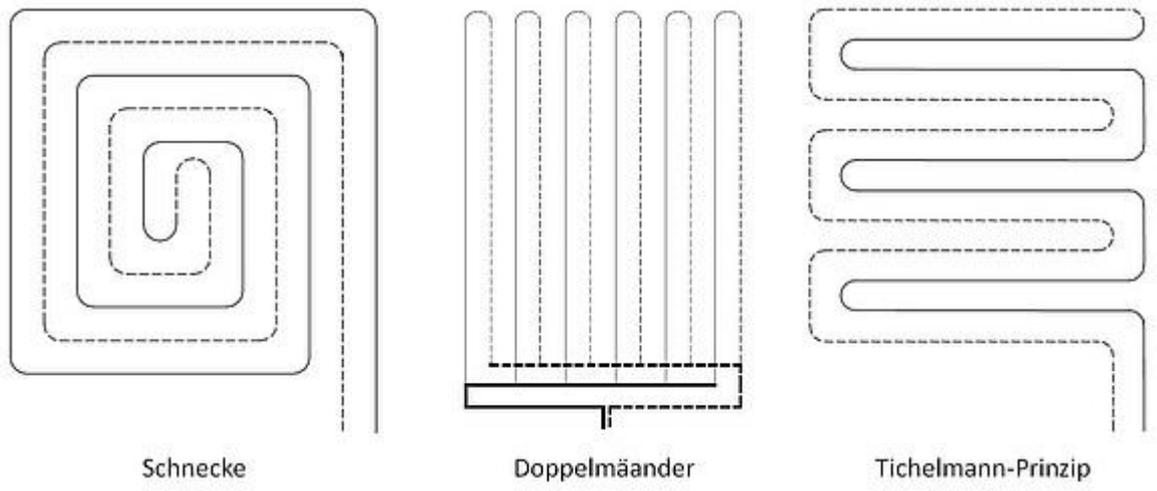


Abbildung 3 Schema Quellenerschließung

Die Leistungsfähigkeit von Erdkollektorfeldern kann in Bezug auf die Fläche oder auf die Leitungslänge definiert werden.

Das natürliche Potenzial der Umgebungswärme als Arbeit kann nur flächenbezogen definiert werden. Enge Abstände und große Längen steigern in erster Linie die kurzzeitige maximale Entzugsleistung. Auf der anderen Seite könnte die Wahl zu großer Rohrabstände das vorhandene Potenzial nur teilweise erschließen.

Die Wärme fließt im Winter überwiegend von unten aus dem Boden zum Kollektor. Grundwasserströmungen überlagern ggfs. diese Vorgänge zusätzlich. Im Sommer überwiegt die Wärme des über dem Kollektor liegenden Erdreichs, das dann wärmer ist als die 8 - 10 °C des Untergrundes.

Im Verbundvorhaben „Erdwärmekollektoren und Sonnenkollektoren als optimierte bivalente Quelle für hocheffiziente Wärmepumpensysteme“ ist die Experimentalanlage mit 0,60 m Rohrabstand entsprechend der Empfehlung der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 ausgeführt worden. Die Verlegetiefe lag hier bei 1,20 m.

<sup>1</sup> <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/erdwaerme/erdwaermekollektoren/flaechenkollektor.html>



Abbildung 4 Foto Experimentalanlage<sup>2</sup>

Quaschnig<sup>3</sup> gibt die folgenden Orientierungswerte für die längenbezogenen Entzugsleistungen an, diese sind unter Annahmen verschiedene Rohrabstände in flächenspezifische Leistungswerte umgerechnet worden.

mögliche Entzugsleistungen bei 1800 h/a	längenbezogen	flächenbezogen bei einem Rohrabstand von ..... m			
		0,60	0,80	1,00	1,20
Untergrund	W/m	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>
Sandboden, trocken	10	17	13	10	8
Lehmboden, trocken	20	33	25	20	17
Lehmboden, feucht	25	42	31	25	21
Lehmboden, wassergesättigt	35	58	44	35	29

Tabelle 7 spezifische Entzugsleistungen Erdkollektor

Die in der ersten Potenzialeinschätzung zugrunde gelegten 25 W/m<sup>2</sup> stellen einen Mindestwert für die in der Tabelle farblich hervorgehobenen denkbaren Werte dar.

Eine Erhöhung auf 30 bis 40 W/m<sup>2</sup> erscheint möglich, kann aber ohne eine vertiefte Betrachtung der Bodenverhältnisse mit thermischer Simulation nicht als gesicherte Grundlage der weiteren Berechnungen dienen. Der Wert von 35 W/m<sup>2</sup> (abgerundeter Mittelwert von 42 und 31 W/m<sup>2</sup>) wird als Hauptvariante betrachtet, der niedrigere Wert von 25 W/m<sup>2</sup> ist im Rahmen einer Risikoabschätzung mit zu berücksichtigen.

<sup>2</sup> Quelle: Abschlussbericht Verbundvorhaben „Erdwärmekollektoren und Sonnenkollektoren als optimierte bivalente Quelle für hocheffiziente Wärmepumpensysteme“ Oktober 2018

<sup>3</sup> Volker Quaschnig: Regenerative Energiesysteme. Technologie - Berechnung - Simulation. 6. Aufl. 2009

### 3.3 Einschränkungen der Fläche

Die Fläche im Innenraum des Plangebietes ist nicht vollständig für die EWK-Verlegung nutzbar. Es sind insbesondere die in ihrem Bestand geschützten Bäume mit Kronenradius und Zuschlag für den Wurzelraum<sup>4</sup> zu berücksichtigen.

Bei den aus dem B-Plan übernommenen Baumstandorten wird ein mittlerer Radius von 4 bis 5 m als ausreichend angenommen. Damit sind für jeden Baum ca. 50 bis 79 m<sup>2</sup> anzusetzen. Als pauschaler Rechenwert wird 70 m<sup>2</sup> je Bestandsbaum verwendet und von der EWK-Fläche abgezogen. Die Fläche des Exerzierplatzes ist am Ostrand bereits durch Verschiebung der Abgrenzung reduziert, diese Bäume sind daher nicht aufgeführt.

Die verfügbaren Flächen stellen sich damit wie folgt dar. Fläche 1 ist der u.U. nicht gut nutzende schmale Teil zwischen dem Bereich 2.1 (Baubeginn 4/2020) und Bereich 2.2 (Baubeginn 2/2021).

	m <sup>2</sup>	Bäume	
		zu erhalten Anz.	bereinigt m <sup>2</sup>
Fläche 1	967	-	967
Fläche 2	4.433	-	4.433
Fläche 3	9.644	-	9.644
Fläche 4	6.324	9	5.694
Exerzierplatz	21.802	5	21.452
Summe	43.170	14	42.190
ohne Fläche 1	42.203	14	41.223

Tabelle 8 Flächen für Erdkollektoren und Berücksichtigung zu erhaltender Bäume

### 3.4 Entzugsleistung und Versorgungspotenzial

Aus den Annahmen zur spezifischen Leistung und den verfügbaren Flächen wird in Folgenden die mögliche Entzugsleistung ermittelt. Das Versorgungspotenzial ist um den Stromverbrauch der Wärmepumpen zu erhöhen. Vereinfacht, d.h. ohne Bezugnahme auf konkrete Wärmepumpentypen und Temperaturverhältnisse von Solebezug und Nutzwärmeabgabe, wird eine Leistungszahl von 4,0 für die Abschätzung verwendet.

Nach Abstimmung mit dem Auftraggeber sollte die gesamte Freifläche um 1/3 reduziert werden. Dies ist nötig, um Spielräume im Bereich der Grünplanung zu erhalten und z.B. die Neupflanzung von langfristig hoch wachsenden Bäumen zu ermöglichen. Büsche und Wege können auch über dem EWK wachsen bzw. angelegt werden.

Die Abgrenzung der Flächen mit voller und reduzierter Ausnutzung stellt sich entsprechend dar.

<sup>4</sup> Bild entnommen aus: <https://www.owens-baum.de/leistungen/baumschutz-bei-bauarbeiten/>



Abbildung 5 Abgrenzung der Flächen für die Erdwärmekollektorfelder

		volle Ausnutzung		reduzierte Fläche	
		Basis-Variante	Optimal-Variante	Basis-Variante	Optimal-Variante
verfügbare Fläche	m <sup>2</sup>	42.190	42.190	28.127	28.127
spezifische Entzugsleistung	W/m <sup>2</sup>	25	35	25	35
Entzugsleistung	kW	1.055	1.477	703	984
Leistungszahl Wärmepumpen	-	4,0	4,0	4,0	4,0
Leistungsbedarf Strom	kW	352	492	234	328
Potenzial Wärmeabgabe	kW	1.406	1.969	938	1.313

Tabelle 9 Entzugsleistung und Versorgungspotenzial mit Reduzierung

Der Wärmebedarf der Neubau-Baufelder liegt in der Summe höher. Es sind Teile davon mit einem anderen System zu versorgen, oder es muss eine weitere Wärmequelle zur Nacherwärmung der Sole eingebunden werden.

	Wärme- Bedarf kW	EWK- Potenzial kW	Deckungs- grad %
Neubauten	2.275	1.313	58%
Neubauten ohne Bereich 1.2	1.992	1.313	66%

Tabelle 10 Wärmebedarf der Neubau-Baufelder und erzielbarer Deckungsgrad

Für den Fall, dass die Leistung des Erdkollektorfeldes so hoch ist wie in der Optimalvariante eingeschätzt, d.h. hier angenommen mit dem höheren Wert von 35 W/m<sup>2</sup>, kann bei Ausgliederung von Bereich 1.2 (letzter Abschnitt nach 12/2021) eine Versorgung von 66% des Bedarfs erreicht werden. Es ist im Folgenden über die Laststruktur des Wärmebedarfs im Jahresverlauf zu prüfen, welche Wärmearbeit in MWh/a aus dem EWK-System zu beziehen ist und welche Menge aus anderen Quellen zusätzlich herangeführt werden muss.

### 3.5 Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs

Während die BHKW-Auslegung für das HT-Netz mit der Bestandsgebäuden sich an einer Jahresdauerlinie entsprechend SLP (NRW-MFH) orientieren kann, ist die zeitliche Abnahmestruktur im Neubau abweichend von den empirisch ermittelten Richtwerten.

Die Heizzeit ist bei Gebäuden mit hohem Dämmstandard wesentlich kürzer, da in der Übergangszeit die Gebäude mit solaren Energieeinträgen und internen Quellen ausreichend mit Wärme versorgt sind. Die Parameter des SLP Gas werden so angepasst, dass die Konzentration auf die Heizzeit annähernd abgebildet wird.

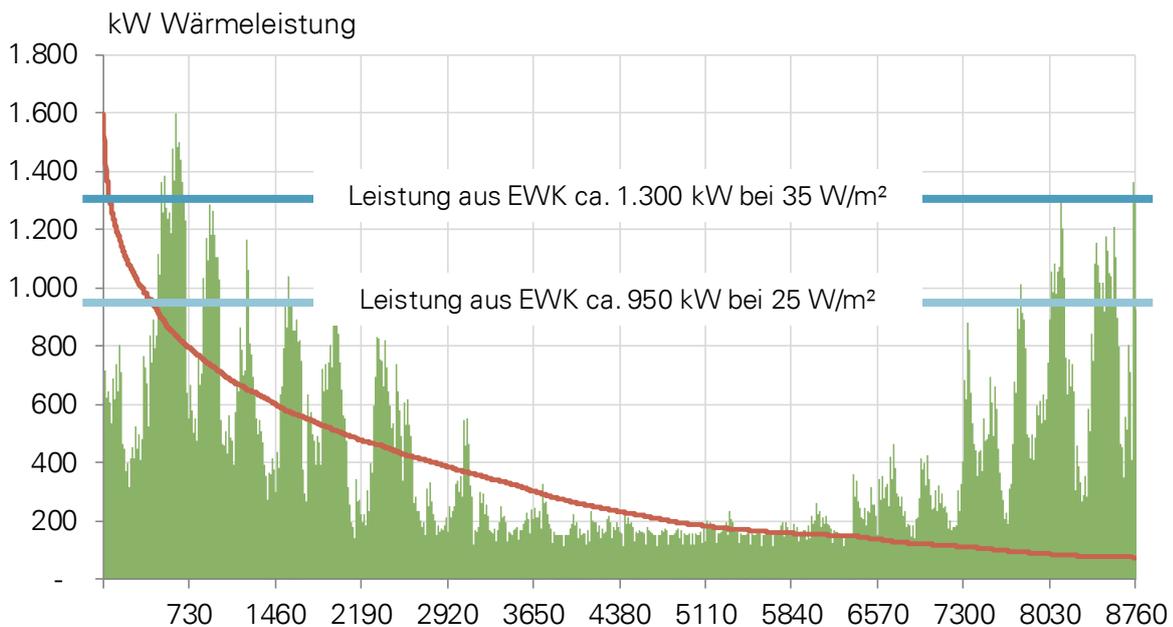


Abbildung 6 Jahresdauerlinie in kW ungeordnet und geordnet (Linie)

Die Spitzenlast liegt im Regelbetrieb des zukünftigen Testreferenzjahres bei 1.600 kW, während die Spitzenlast bei -12 °C als Auslegungsgröße 1.992 kW beträgt. Die aus dem Erdkollektorfeld und Wärmepumpe maximal zu beziehende Wärmearbeit könnte fast immer ausreichend sein, wenn die Entzugsleistung bei 35 W/m<sup>2</sup> liegt. Eine Nachheizung der Sole ist voraussichtlich auf wenige Tage begrenzt.

Für den Fall einer geringeren Ergiebigkeit von nur 25 W/m<sup>2</sup> ist der Nachheizbedarf erheblich und kann negative Auswirkungen auf die primärenergetische Qualität des Systems haben, sofern für die Nachheizung auf Frischwärme aus einem Gaskessel zurückgegriffen werden muss. Dies ist voraussichtlich vermeidbar, wenn die besonderen Chancen der Kopplung von HT- und NT-Bereich (Abgaskondensationswärme) genutzt werden.

### 3.6 Energieflussbilder Südabschnitt

Die drei Varianten netzgebundener Versorgung im südlichen Bereich der Neubauten sind hier als Energieflussbild wiedergegeben. Die Anbindung an die gasgestützte Erzeugung des HT-Netzes ist als „Abgaswärme HT“ gekennzeichnet.

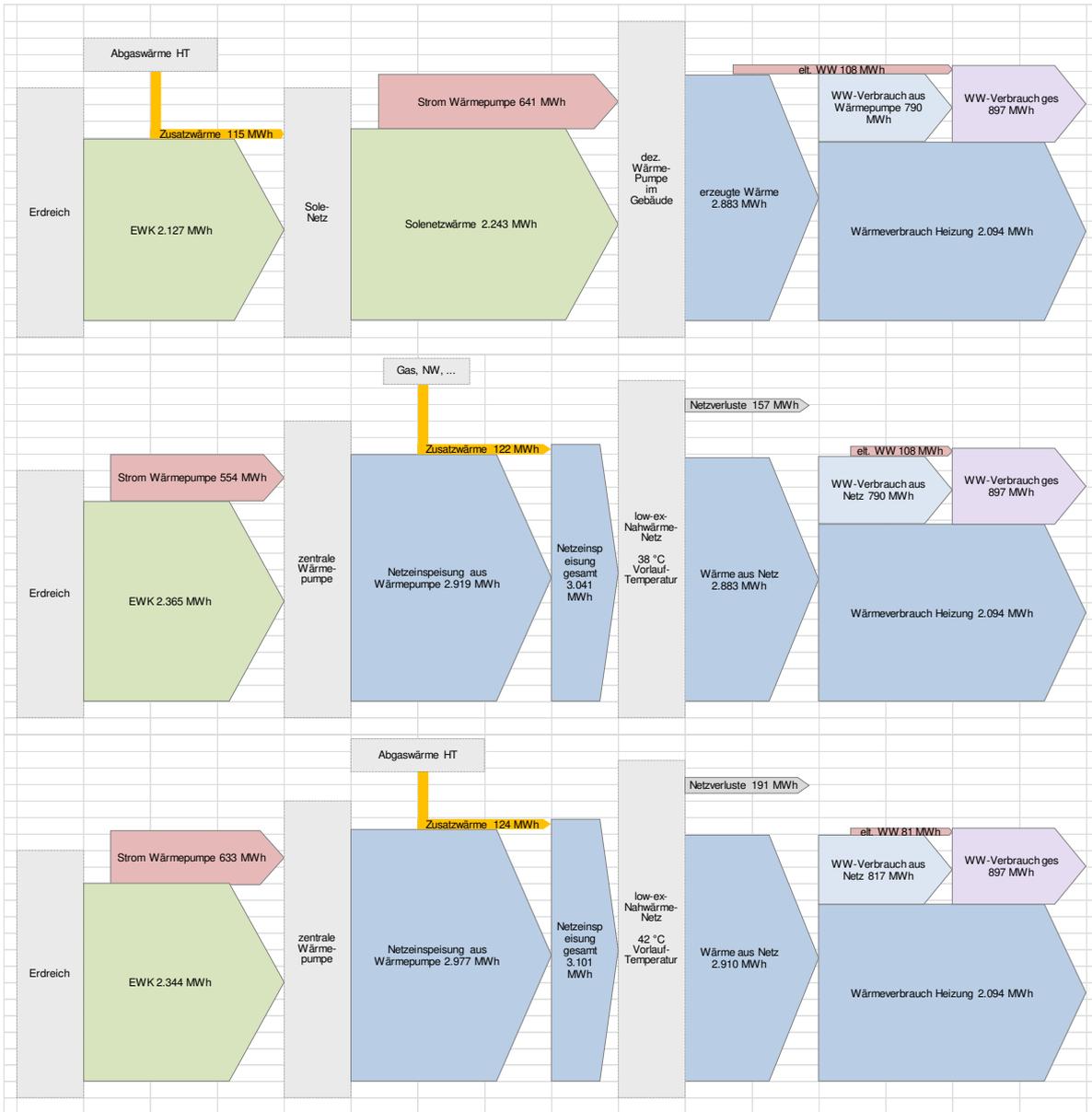


Abbildung 7 Energieflussbilder NT-Netz, kalte Nahwärme, low-ex-Nahwärme 38 °C und 42 °C Vorlauf

### 3.7 Wirtschaftlichkeit

#### 3.7.1 Investitionen

##### 3.7.1.1 Gebäudebezogene Investitionen

#### Vorbemerkung zu Abgrenzung und Skizzierung des nachgelagerten haustechnischen Systems

Zur Abgrenzung für den Investitionskostenvergleich wird die Wärmeübergabe aus Wärmepumpe oder Übergabestation an die kundeneigene Hausanlage festgelegt. Die nachgelagerten Komponenten, wie Pufferspeicher und Verteilung werden auf der Kostenseite nicht mit einbezogen.

Die Ausgestaltung der Gebäudetechnik muss die low-ex-Aspekte aber berücksichtigen. Eine Zirkulation ist für die Effizienz schädlich. Der Anteil der Strom-Direktheizung steigt sonst zu sehr an.

Die Haustechnik umfasst einen Pufferspeicher mit Heizungswasser, der für die Versorgung der Warmwasserspitzenlasten erforderlich ist. Die Steigleitungen zu den Wohnungen sind so auszuführen, dass je Wohnung 20 bis 25 kW für die Frischwasserstation (thermischer Durchlauferhitzer) verfügbar sind, auch wenn die Leistung der Raumheizung nur bei 2 bis 3 kW je Wohnung liegt. Dies stellt geringfügig höhere Anforderung an den Querschnitt des Steigeschachts dar. Soweit aufgrund der niedrigen Vorlauftemperatur das Duschwasser nicht ausreichend warm wird, sorgt ein nachgeschalteter elektrischer Durchlauferhitzer für die Erhöhung auf die benötigte Temperatur. Dieser elektronische Durchlauferhitzer ist eine spezielle Ausführung mit Anpassung an die höheren Eingangstemperaturen. Er sollte für das Duschen 38 bis 43 °C liefern können, für höhere und weniger häufige Anforderungen auch 50 °C. Bis zu den Zapfstellen sollten die Leitungslängen nur so lang sein, dass die 3-Liter-Regel eingehalten wird.

#### Referenzsystem Gaskessel und Solarthermie

Wenn ohne netzgebundene Versorgung der Standard KfW-55 erreicht werden soll, reicht eine energetisch hochwertige Gebäudehülle allein nicht mehr aus. Als Ergänzung bietet sich eine Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung oder eine solarthermische Anlage an. Es wird hier die solarthermische Anlage zugrunde gelegt, die 15% der Jahreswärmearbeit erbringen soll.

Die Investitionen je Haus liegen im Mittel bei ca. 26.000 €.

#### Referenzsystem Luft-Wärmepumpen

Das im Variantenvergleich mitberücksichtigte System Luftwärmepumpe ist in der anschließenden Bewertung von End- und Primärenergieverbrauch stark abhängig von der erzielbaren Jahresarbeitszahl der Wärmezeugung (JAZ bzw. SCOP als exakte Bezeichnung aus der VDI 4650 Blatt 1 Ausgabe 2019).

Mit dem Tool „jazrechner“ des Bundesverbandes Wärmepumpe<sup>5</sup> kann ein Normwert ermittelt werden, der auch für die Fördermittelbeantragung bei der BAFA verwendet werden kann. Im Tool ist die VDI 4650 hinterlegt. Die Prüfstandskennwerte der Leistung mit den Stützpunkten -7 °C, +2 °C und +7 °C zu 35 °C Nutzwärme werden für die Berechnung mit den Korrekturen nach VDI 4650 zugrunde gelegt.

Der damit ermittelte Normwert beschreibt die Qualität des ausgewählten Produktes eines Wärmepumpenherstellers und berücksichtigt dabei auch den Gebäudedämmstandard, die Temperaturparameter des Heizsystems und der Trinkwassererwärmung. Er berücksichtigt nicht die örtlichen klimatischen Verhältnisse.

Die ausgewiesenen Werte – je nach Produkt von 3,7 bis 4,0 – sind deutlich höher als empirisch und messtechnisch ermittelte Effizienzwerte. Die letzten beiden empirischen Studien mit Auswertungen von Messungen stammen von Fraunhofer ISE.

Die vorletzte Studie von 2011 mit Bezugszeitraum 2005-2010 gab für die Luftwärmepumpe eine JAZ in Höhe von 2,95 an (AZ 1 mit Ventilator ohne Heizstab).

---

<sup>5</sup> <https://www.waermepumpe.de/normen-technik/jazrechner/>

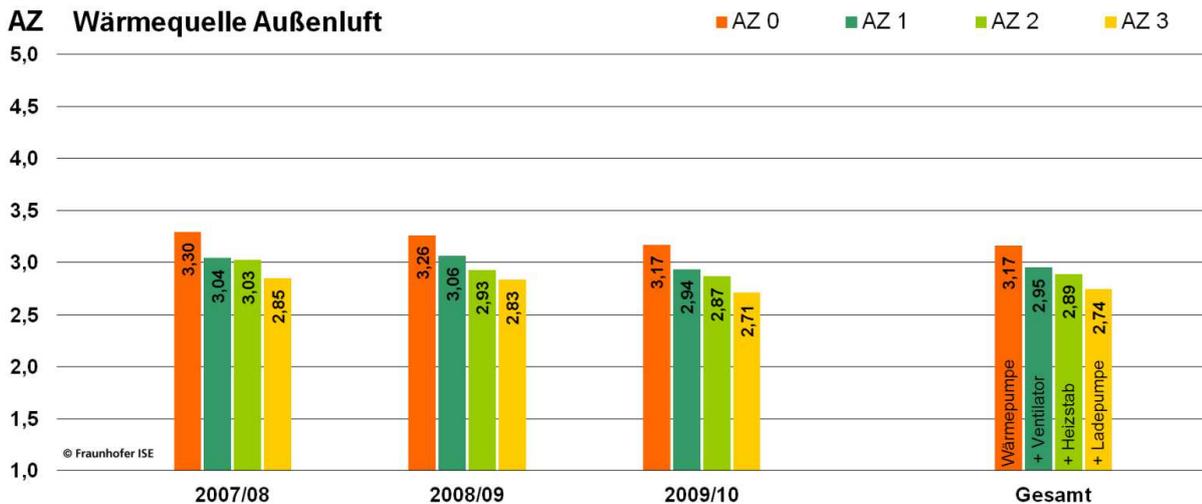


Abbildung 8 JAZ Luft-Wärmepumpen Fraunhofer ISE 2011

Die letzten Feldtestauswertung – ebenfalls von Fraunhofer ISE<sup>6</sup> – stammen von 2017. Sie bezog sich auf Bestandsgebäude, aber energetisch hochwertig saniert und mit Vorlauftemperaturen von 30 bis 35 °C im Verteilsystem. Der dort für Luft Wärmepumpen ermittelte Mittelwert der Jahresarbeitszahl lag bei 3,1.

Es wird für das Referenzsystem eine JAZ von 3,1 zugrunde gelegt.

Die Investitionen je Haus liegen im Mittel bei ca. 35.000 €. Eine Förderung ist bei einer JAZ von 3,1 nicht möglich. Luft-Wasser-Wärmepumpen sind im Neubau im Allgemeinen nicht förderfähig. Nur die die Innovationsförderung mit besonders hohen Anforderungen kann im Neubau genutzt werden. Die JAZ muss bei  $\geq 4,5$  liegen, dies kann hier praktisch nicht erfüllt werden.

### dezentrale Wasser-Wärmepumpen

Die Wärmepumpen sind identisch mit Erdsonden-Wärmepumpen oder Grundwasserwärmepumpen mit dem Unterschied, dass sie die Umgebungswärme über das kalte Nahwärmenetz beziehen und keine eigene Quellenerschließung brauchen.

Die Kostenschätzung ist über eine Richtpreisabfrage bei Herstellern (Viessmann und Waterkotte) erfolgt.

Die Investitionen je Haus liegen nach Abzug der bafa-Förderung in Höhe von 4.500 € im Mittel bei ca. 21.000 €.

### Übergabestationen low-ex-Nahwärme

Das lauwarme Wasser des low-ex-Netzes (38 bis 42 °C) könnte theoretisch direkt in das Hausnetz eingespeist werden und dort die Flächenheizungen und das Warmwassersystem versorgen. Diese Technik der direkten Übergabe kommt selten zum Einsatz, in der Regel nur bei kleinen Netzen und einheitlichen, zügig umgesetzten Bauvorhaben.

<sup>6</sup> Zeitschrift Gebäudenergieberater, Mai 2018

Im Fall Alanbrooke ist die direkte Übergabe nicht praktikabel. Jeder Fehler oder jede Havarie in der Hausinstallation kann negative Rückwirkungen auf das vorgelagerte Netz haben. Diese Risiken sind aus Sicht des Netzbetreibers unbedingt zu vermeiden. Die Übergabe erfolgt somit indirekt über einen Wärmetauscher.

Die Investitionen je Haus liegen im Mittel bei ca. 11.000 €.

### 3.7.1.2 Wärmenetze

Das Wärmenetz hat eine Länge von ca. 1700 m, die Trassenführung ist unabhängig von den vorgesehenen Temperaturen.

Das kalte Nahwärmenetz hat keine Isolierung, da je nach aktueller Temperatur in Netz und Erdboden eher noch Gewinne über das Netz eingefahren werden.

Das low-ex-Netz ist in konventioneller Technik mit isoliertem Kunststoffmantelrohr auszuführen<sup>7</sup>.

Die Kosten liegen nach Abzug der Förderung bei ca. 390 T€ für das kalte Netz und bei ca. 600 T€ für das warme Netz. Die Förderung beläuft sich auf 60 €/m Tilgungszuschuss im Rahmen des KfW-Programms Erneuerbare Energien – Premium.

### 3.7.1.3 Energiezentrale

Die Energiezentrale beinhaltet im Fall der kalten Nahwärme nur die Pumpentechnik, Regelung, Druckhaltung und Aufbereitung des Wassers sowie einen Gaskessel oder Abgaswärmetauscher für die Absicherung oder planmäßige Zusatzwärmelieferung.

Die Investitionskosten sind mit ca. 200 T€ abgeschätzt worden.

Im Fall der low-ex-Nahwärme ist der technische Aufwand wesentlich höher, da Wärmepumpen mit einer thermischen Leistung von insgesamt 1.800 kW zu installieren sind. Es sind drei Wärmepumpen zu je 600 kW vorgesehen.

Die Investitionskosten sind nach Abzug der KfW-Förderung mit ca. 900 T€ abgeschätzt worden.

### 3.7.1.4 Kollektorfeld

Die Kostenschätzung orientiert sich zunächst an der o.g. Studie „Erdwärmekollektoren und Sonnenkollektoren als optimierte bivalente Quelle für hocheffiziente Wärmepumpensysteme“.

Dort sind die Kostenkennwerte in einer Bandbreite zusammengestellt.

---

<sup>7</sup> ggfs. sind noch Einsparungen über PEX-Rohr möglich, dies kann im weiteren Planungsprozess vertieft untersucht werden. Es ist abzuwägen zwischen hoher technischer Nutzungsdauer bei Stahlmediumrohr und geringerer Anfangsinvestition beim Kunststoffmediumrohr. Bei großen Nennweiten, wie sie aufgrund geringer Spreizung hier erforderlich sind, ist die Einsparung ev. auch sehr gering oder gar nicht gegeben.

### 6.1.1 Erdreichkollektor

Für die Kostenberechnung des Erdreichkollektors wurde für alle Szenarien von einer Verlegetiefe von 1,2 m und der Verwendung eines HDPE Rohres im Durchmesser DA32x2,9 ausgegangen. Die Befüllung erfolgt mit Wasser-Glykol Gemisch (25%).

**Tabelle 13: Kostenansatz für Erdreichkollektor:**

Leistung	Günstig	Teuer
Aushub, Auffüllen, Verdichten	12 €/m <sup>3</sup>	18 €/m <sup>3</sup>
Rohrleitung Liefern+Verlegen	1,80 €/lfm	2,10 €/lfm
Verteilerschacht / -balken	62 €/Anschluss	100 €/Anschluss
Gebäudeeinführung	180 €	350 €
Liefern Sole + Befüllen	0,80 €/l	1,30 €/l
Pauschalkosten Baustelle	100 €	450 €

Es werden keine Kosten für Lagerung oder Entsorgung von Aushub berücksichtigt. Für die Anzahl Anschlüsse am Verteiler wird von 1 Anschluss pro 200 m verlegter Rohrlänge ausgegangen.

Übe die Anwendung auf die von 42.000 m<sup>2</sup> auf 28.000 m<sup>2</sup> reduzierte Fläche ergibt sich die folgende Kalkulation.

alle Kosten netto		günstig	teuer
Fläche	m <sup>2</sup>	28.127	28.127
Tiefe Aushub	m	1,20	1,20
Aushubvolumen	m <sup>3</sup>	33.752	33.752
spezif. Kosten	€/m <sup>3</sup>	12	18
Kosten Erdarbeiten	T€	405	608
Rohrleitungsabstand	m	0,60	0,60
Rohrleitungslänge	m	46.878	46.878
spezif. Kosten Rohrleitungen	€/m	1,80	2,10
Kosten Rohrleitungen	T€	84	98
Teilnetzgröße	m <sup>2</sup>	400	400
Verteilerschacht/-balken	-	70	70
spezif. Kosten	€/m	62	100
Anschlüsse je Teilnetz	-	25	25
Kosten Verteiler	T€	109	176
Länge Haupt-Solenetz	m	1.406	1.406
spezif. Kosten	€/m	150	150
Kosten Haupt-Solenetz	T€	211	211
spezif. Kosten Sole	€/l	0,80	1,30
Volumen Rohr 32 mm	l/m	0,54	0,54
Volumen Solenetz 100 mm	l/m	6,36	6,36
Soleinhalt Rohr	l	25.273	25.273
Soleinhalt Solenetz	l	8.947	8.947
Soleinhalt gesamt +5%	l	35.931	35.931
Kosten Sole	T€	29	47
Investition gesamt netto	T€	838	1.139
bezogen auf EWK-Fläche	€/m <sup>2</sup>	30	41
mittlerer Wert	€/m <sup>2</sup>	35	
Ansatz für Investition	T€	984	

Tabelle 11 Ermittlung Investitionen für das Erdkollektorfeld

Bestandteil der Quellenerschließung ist auch die Zuleitung zur Heizzentrale. Die ebenfalls denkbare Variante einer dezentralen Struktur ist nur dann zu verfolgen, wenn die ausreichende Leistungsfähigkeit des EWK-Feld sicher nachgewiesen ist und die Notwendigkeit einer zentralen Nachheizung ausgeschlossen ist. Dies ist in der jetzigen konzeptionellen Phase der Arbeit nicht gesichert.

Die Kosten für das Erdkollektorfeld werden mit einem netto-Richtpreis von 35 €/m<sup>2</sup> (Ø zwischen 30 und 41 €/m<sup>2</sup>) kalkuliert. Bei der Fläche von 28.127 m<sup>2</sup> ergibt sich eine Investition von 984 T€.

Es gibt für die Verlegung und Ausgestaltung des Kollektorfeldes innovative und u.U. kostensparende Ausführungsvarianten, die ggfs. bei weiterer Vertiefung in der nachfolgenden Planungsphase zu berücksichtigen sind. Dabei kann es sich auch herausstellen, dass die Verlegung auf zwei Ebenen sinnvoll ist und aus der unteren Ebene im Winter ein höherer Wärmeertrag generiert wird.

Dies konnte im Rahmen dieser konzeptionellen Studie noch nicht erfolgen. Hier gibt es viele Detailfragen zu klären, insbesondere die Abstimmung mit ohnehin anstehendem Bodenaushub, Wiederauffüllung, Altlasten, Fundamentresten, etc.

### 3.7.2 Kapitalkosten

Zur Erstellung einer Vollkostenrechnung mit Systemjahreskosten ist es erforderlich, die Investitionen in jährliche Kosten umzurechnen. Dies erfolgt über den Kapitalkostenfaktor bzw. Annuitätsfaktor. Dieser Faktor beinhaltet als Eingangsgrößen den kalkulatorischen Zins und die Nutzungsdauer der jeweiligen Komponenten.

Als Zins ist 3%/a zugrunde gelegt worden, der Annuitätsfaktor liegt dann für Technik mit 20-jähriger Nutzungsdauer bei 6,7%a. Langlebigeren Komponenten mit 40 Jahre technischer Nutzungsdauer, wie z.B. das Wärmenetz, ist ein Faktor von 4,3%/a zugeordnet.

### 3.7.3 Verbrauchskosten

Alle Energieeinsätze, soweit sie nicht als Umgebungswärme Erdreich oder Luft umsonst verfügbar sind, werden mit den Endenergiepreisen der folgenden Tabelle bewertet. Alle Angaben sind netto, die erdgasbezogenen Angaben beziehen sich auf den Heizwert. Die in den Gebäuden dezentral in kleinerer Menge verbrauchte Energie ist etwas teurer als die in der Zentrale verbrauchte Energie.

Endenergiepreise (netto)		
Erdgas Kessel Gebäude	€/MWh	60
Erdgas Kessel HZ	€/MWh	55
Erdgas KWK	€/MWh	49
Holz-Pellets	€/MWh	50
Strom dez	€/MWh	240
Wärmepumpenstrom dezentral	€/MWh	200
Wärmepumpenstrom zentral	€/MWh	180
PV-Strom-Erzeugung	€/MWh	160
Hilfsstrom Wärmenetze	€/MWh	230
baseload EEX	€/MWh	40
vermiedene Netznutzung Niederspannung	€/MWh	10
Stromvergütung Netz ohne KWK-G	€/MWh	50

Tabelle 12 Zusammenstellung der Endenergiepreise

### 3.7.4 Betriebskosten

Die betriebsgebundenen Kosten umfassen die Aufwendungen, die im Allgemeinen erforderlich sind, um die Anlagen in einem funktionsfähigen Zustand zu erhalten. Die VDI 2067 gibt für die Komponenten jeweils Prozentsätze an, die auf die Investitionssumme anzuwenden sind. Diese Instandhaltung beinhaltet nach VDI 2067 die Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Schwachstellenbeseitigung.

Der Aufwand für die Bedienung ist bei den hier betrachteten Systemen von geringer Bedeutung und wird vernachlässigt.

### 3.7.5 weitere Kosten

Die bis hierhin berücksichtigten Kosten für Kapital, Verbrauch und Betrieb dienen dem Vergleich der Systeme und der Entscheidungsfindung den dem Kriterium der Wirtschaftlichkeit. Insbesondere beim Aufbau eines Wärmeversorgungsunternehmens, das als Betreiber der Versorgung tätig werden soll,

fallen Gründungs- und Gesellschaftskosten an, die hier nicht quantifiziert werden können. Im laufenden Betrieb fallen weitere Kosten an für Verwaltung, Abrechnung, Messung etc., die im Vergleich nicht berücksichtigt sind. Risikoaufschläge für die innovativen Systeme sowie Anlaufverluste für verzögerte Anschlussentwicklung sind ebenfalls im Vorfeld schwer kalkulierbar. Wenn diesen Vor diesem Hintergrund sind die in 3.9 und 4.6 aufgeführten Kosten nicht direkt in einen Wärmepreis umzurechnen. Die Entwicklung eines Preissystems mit Grundpreis, Messpreis und Arbeitspreis inklusive Preisanpassungsklauseln steht am Ende des Planungsprozesses an.

### 3.8 Umweltbilanz

Die Umweltbilanz quantifiziert für jedes System die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die hier als CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2e</sub>) berechnet werden, um der Zielsetzung Treibhausgasminimierung und Klimaschutz zu entsprechen. Die verwendeten Faktoren sind in [Tabelle 13](#) aufgeführt<sup>8</sup>.

	als Äquivalent	EnEV
endenergieverbrauchsbezogen	CO <sub>2e</sub>	PE-Faktor
Energieträger	kg/MWh	-
Erdgas Kessel	250	1,1
Erdgas KWK	250	1,1
Wärmepumpenstrom dezentral	620	1,8
Wärmepumpenstrom zentral	620	1,8
Holz-Pellets	54	0,2
Hilfsstrom Wärmenetze	620	1,8
Strom Nachheizung WW	620	1,8
Stromerzeugung	-620	-2,8

**Tabelle 13** Zusammenstellung der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren und Primärenergiefaktoren

Ebenfalls aufgeführt sind in der Tabelle die Primärenergiefaktoren<sup>9</sup> (PE-Faktor), die im Rahmen der EnEV-Nachweise zu verwenden sind. Mit diesen Faktoren kann für die netzgebundene Versorgung ein systembezogener PE-Faktor errechnet werden, der dann für die Gebäudebewertung nach spezifischem Primärenergieverbrauch und Einstufung in die KfW-Effizienzhausklassen herangezogen werden kann.

Da in diesem Konzept die Zielsetzung Klimaschutz im Vordergrund steht, erfolgt die Umweltbilanzierung hier vorrangig über die CO<sub>2e</sub>-Emissionen.

Die Primärenergiekennwerte der Systeme finden sich im Tabellenanhang. Sie geben eine Orientierung über die zu erwartenden Werte. Die Verwendung in EnEV-Nachweisen ist bei komplexen Systemen nur mit zertifizierten Werten zulässig. Diese Zertifikate werden von Gutachtern erstellt, die nach AGFW-Arbeitsblatt FW 609 geprüft und gelistet sind.

<sup>8</sup> Quelle: BISCO Bilanzierungs-Systematik Kommunal. Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland 2016. Datenstand 2014. Diese BISCO-Faktoren werden seit einigen Jahren zunehmend in Klimaschutzkonzepten verwendet, Das Tool ECOSPEED Region, das früher eigene Faktoren hinterlegt hatte, verwendet jetzt auch die BISCO-Faktoren.

<sup>9</sup> aus DIN V 18599-1 :2011-12, Tabelle A-1

### 3.9 Ergebniszusammenfassung und Fazit

In der folgenden Abbildung sind die quantitativ ermittelten Kenngrößen für Kosten und CO<sub>2</sub> zusammengestellt. Die dezentralen Referenzsysteme dienen als Vergleichsmaßstab. Die ergänzende Bezeichnung der NT-Nahwärme-Variante bezieht sich auf die Netz-Temperaturen, bei low-ex Vorlauf- und Rücklaufemperatur, bei der kalten Nahwärme (Sole-Netz) mit Differenzierung zwischen Sommer (s) und Winter (w).

Als Kenngröße der Kosten bzw. Wirtschaftlichkeit wurde die monatliche Heizkostenbelastung des Nutzers oder Mieters in € je m<sup>2</sup> Wohnfläche gewählt. Die Heizkosten sind in allen Varianten nicht sehr hoch, da der energetische Gebäudestandard wesentlich höher ist als im Bestand.

Kostengünstigstes System ist die Erdgasheizung mit Solarthermie, dieses System hat aber auch die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Luft-Wärmepumpe liegt in den Vollkosten um 36% höher und hat um 14% geringere Emissionen.

Innerhalb der NT-Nahwärme-Systeme sind die Unterschiede geringer. Die wirtschaftlichen Vorteile der low-ex gegenüber der kalten Nahwärme resultieren im Wesentlichen aus dem Kopplungsvorteil mit dem BHKW des HT-Netzes. Dieser BHKW-Strom ist von den netzgebundenen Abgaben und Steuern weitgehend befreit, da er in der Heizzentrale als Eigennutzung verbleibt und nicht durch das Netz der öffentlichen Versorgung geleitet wird. Dieser Vorteil ist bei den dezentralen Wärmepumpen der kalten Nahwärme nicht gegeben, sie müssen teuren Netzstrom einsetzen. Bei allen NT-Nahwärmevarianten ist die Nutzung der Abgaswärme der HT-Erzeugungsanlage eingerechnet.

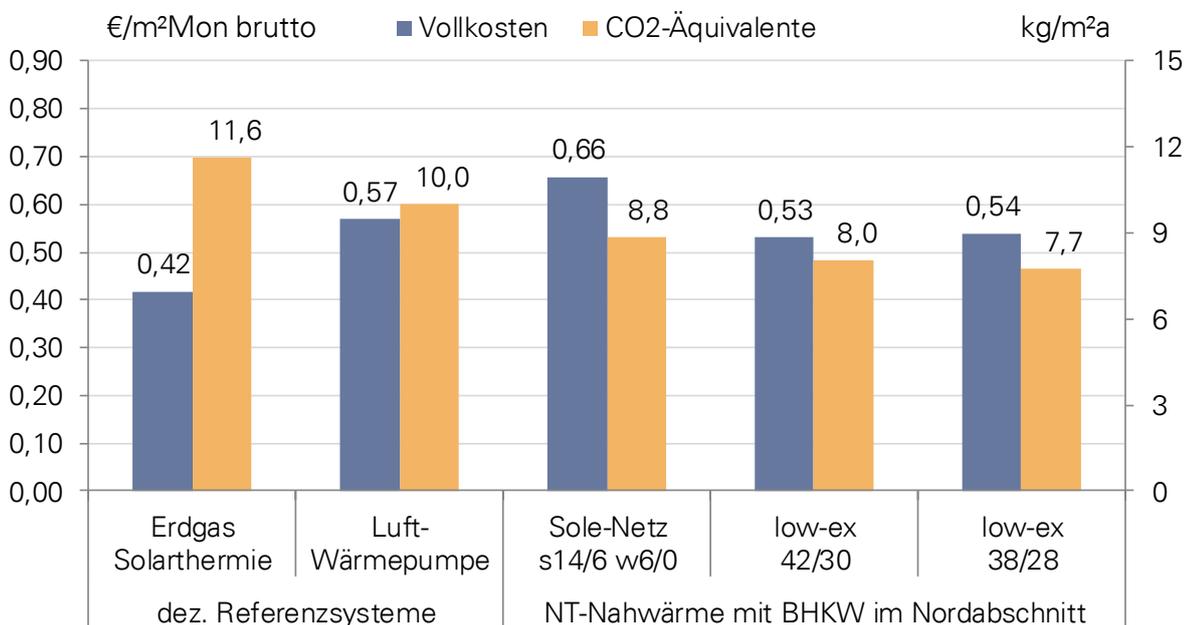


Abbildung 9 Systemvergleich Südabschnitt

Neben diesen rein quantitativen Kriterien sind ergänzend auch weitere qualitative Kriterien zu berücksichtigen.

- Eine Kühlung der Gebäude ist mit dem low-ex-Netz nicht möglich, sie kann allerdings mit dem Sole-Netz realisiert werden. Dabei trägt die Rückführung der Gebäude-Überschusswärme in das Erdreich zudem zur thermischen Regeneration bei.

- Die low-ex-Nahwärme stößt bei den Investoren der Wohngebäude u.U. auf höhere Akzeptanz als die kalte Nahwärme, da die Installation der Wärmepumpe entfällt. Der haustechnische Aufwand ist deutlich geringer.

Bei der grundsätzlichen Entscheidung über dezentrale oder zentrale, netzgebundene Versorgung sind die folgenden Aspekte relevant.

- Beide Nahwärmevarianten können zukünftig verfügbare, erschließbare Quellen (z.B. Abwasserwärme, sonstige Abwärme, Solarthermie) einbinden und nutzen.
- Der Zugang zu derartigen Quellen und ihre Erschließung sind bei dezentralen Heizsystemen nachträglich kaum möglich.

### Ökostrombezug als weitere Option zur Verbesserung der Umweltbilanz

Die CO<sub>2e</sub>-Emissionen der Versorgungssysteme im Südabschnitt sind ausschließlich durch den Energieträger Strom verursacht. Der eingesetzte Strom ist mit 620 g/kWh als Emissionsfaktor für den bundesdeutschen Strommix zugrunde gelegt (vgl. [Tabelle 13](#)).

Durch Bezug von Ökostrom mit einem Mix aus erneuerbaren Energien (je 35% Wind und PV, 20% Wasserkraft, 10% aus Biogas) könnte der Faktor z.B. auf 48 g/kWh gesenkt werden. Die Emissionen der Wärmepumpen-Systeme würden proportional absinken, auf Werte zwischen 0,6 bis 0,7 kg/m<sup>2</sup>a gegenüber 7,7 bis 8,8 kg/m<sup>2</sup>a. Wenn es eine grundsätzliche positive Einschätzung hinsichtlich des Ökostrombezugs gibt, kann die so erzielbare Minderung in der Systembewertung berücksichtigt werden.

Zu beachten ist dabei, dass Ökostrombezug in EnEV und EEWärmeG nicht existiert und somit in öffentlich-rechtlichen Nachweisen nicht eingesetzt werden darf.

### Vergleich mit der Variante ohne BHKW im Nordabschnitt

Für den Fall, dass die Wärmeversorgung des Nordabschnitts nicht mittels Erdgas-KWK, sondern mit einer Holzpellet-Kesselanlage erfolgt, ergeben sich andere Ergebnisse für Wirtschaftlichkeit und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Vorteile der Eigenstromnutzung entfallen, und die erforderliche Zusatzwärme stammt nicht mehr aus der kostenlosen Nutzung der Kondensationswärme der Erdgasabgase. Die Zusatzwärme muss in diesem Fall aus der Holzpelletanlage bereitgestellt werden und erfordert einen zusätzlichen Brennstoffeinsatz. Eine Brennwertnutzung ist bei Holz nicht völlig ausgeschlossen, aber in der technischen Umsetzung sehr anspruchsvoll.

Das Ergebnis stellt sich dann wie folgt dar:

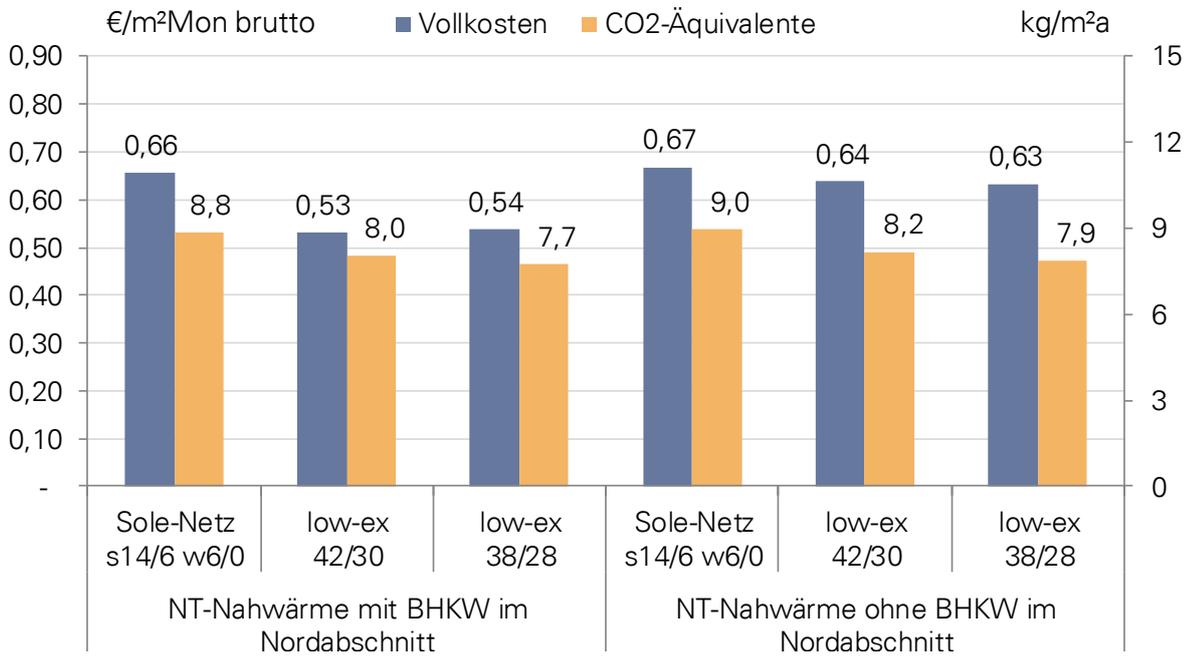


Abbildung 10 Systemvergleich Südabschnitt, Gegenüberstellung mit und ohne BHKW im Nordabschnitt

Durch den Wegfall der wirtschaftlich vorteilhaften Eigenstromnutzung steigen die Kosten deutlich um 0,11 €/m²Monat an. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen steigen leicht an, wobei dies durch die erhebliche Minderung im Nordabschnitt überkompensiert wird und in der Gesamtbetrachtung des Plangebietes keine Nachteil darstellt.

Es handelt sich bei diesen Aussagen um vorläufige Einschätzungen, die im Rahmen einer vertiefenden Betrachtung abgesichert und nach weiteren Kriterien beurteilt werden sollen.

## 4 Nordabschnitt mit Nahwärmenetz

### 4.1 Abgrenzung und angeschlossene Gebäude

Dieser Bereich umfasst die Bestandsgebäude im Bereich 1.1a und 1.1b sowie den anschließenden Neubaubereich 1.2. Das Schema zeigt die Bereiche mit den einzelnen Gebäuden, für die der Anschlusswert in kW jeweils angegeben ist. Die Heizzentrale ist in einem der Bestandsgebäude unterzubringen oder sie ist in direkter Nähe am Parkhaus anzubauen oder dort zu integrieren.

Die Summe der Anschlusswerte liegt bei 1.436 kW. Der Jahresheizwärmebedarf liegt bei 2.085 MWh/a, der Warmwasserbedarf ist mit 269 MWh/a zu berücksichtigen.

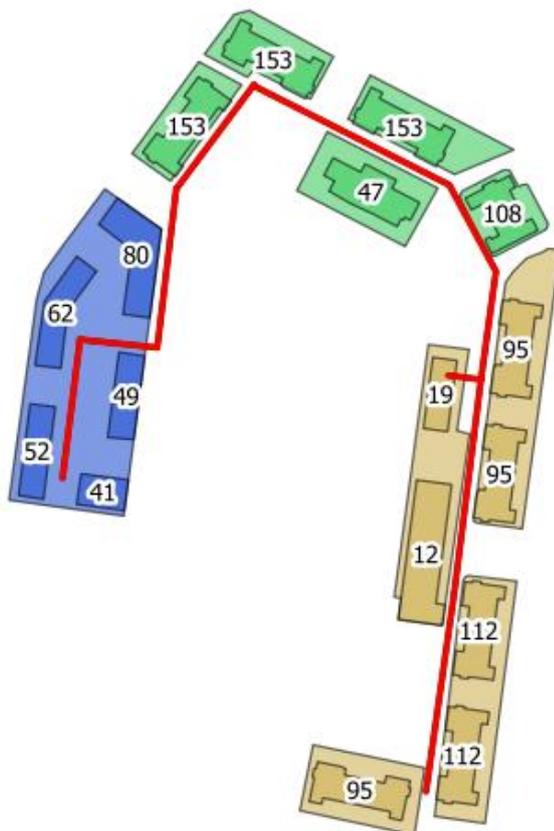


Abbildung 11 Nahwärmenetz Nord mit Leistungswerten der Gebäude in kW

### 4.2 Wärmebedarf und Jahresdauerlinie

Insgesamt ist in diesem Teilgebiet ein Spitzenlast-Wärmebedarf in Höhe von 1.436 kW aus dem Nahwärmenetz zu decken. Jährlich sind für die Raumheizung 2.085 MWh/a zu liefern, hinzu kommen 269 MWh/a für die Warmwassererwärmung. Die gewerbe-ähnliche Nutzung im Künstler-Quartier ohne Warmwasser (Bereich 1.1a) und die Gastronomie im ehemaligen Kasino sind hier berücksichtigt.

Die folgende Jahresdauerlinie ist aus Temperaturdaten für Paderborn (TRY zukünftig) in Verbindung mit dem SLP-Gas und Tagesganglinien erstellt worden. Die Maximalleistung von 1436 kW bei einer Norm-Auslegungstemperatur von -12 °C wird hier nicht erreicht, da die Tiefst-Temperatur des Testreferenzjahres bei -2,6 °C liegt. Bei der in [Abbildung 12](#) dargestellten Wärmeleistung handelt es sich um die Netzeinspeisung aus der Heizzentrale einschließlich der Netzverluste.

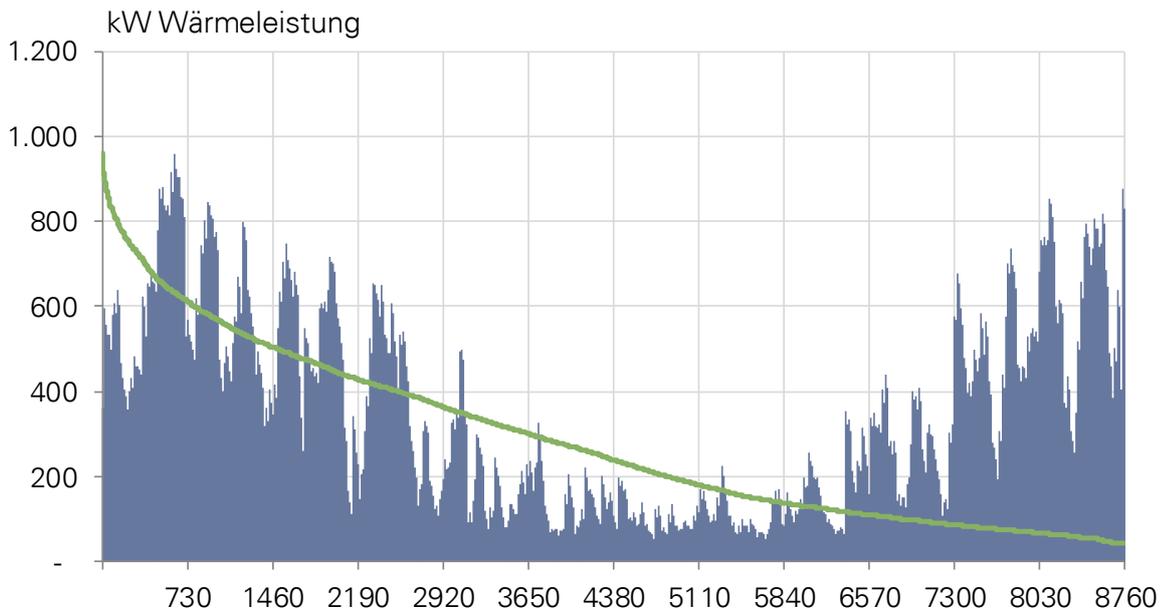


Abbildung 12 Jahresdauerlinie in kW ungeordnet und geordnet (Linie)

### 4.3 BHKW-Auslegung

Die Auslegung des BHKW erfolgt anhand der Jahresdauerlinie in zwei Varianten. Eine mit dem Vorrang einer hohen BHKW-Laufzeit, die in der Regel wirtschaftliche Vorteile mit sich bringt, und eine mit ökologischer Ausrichtung, die auf einen hohen KWK-Anteil in der Wärmeherzeugung abzielt.

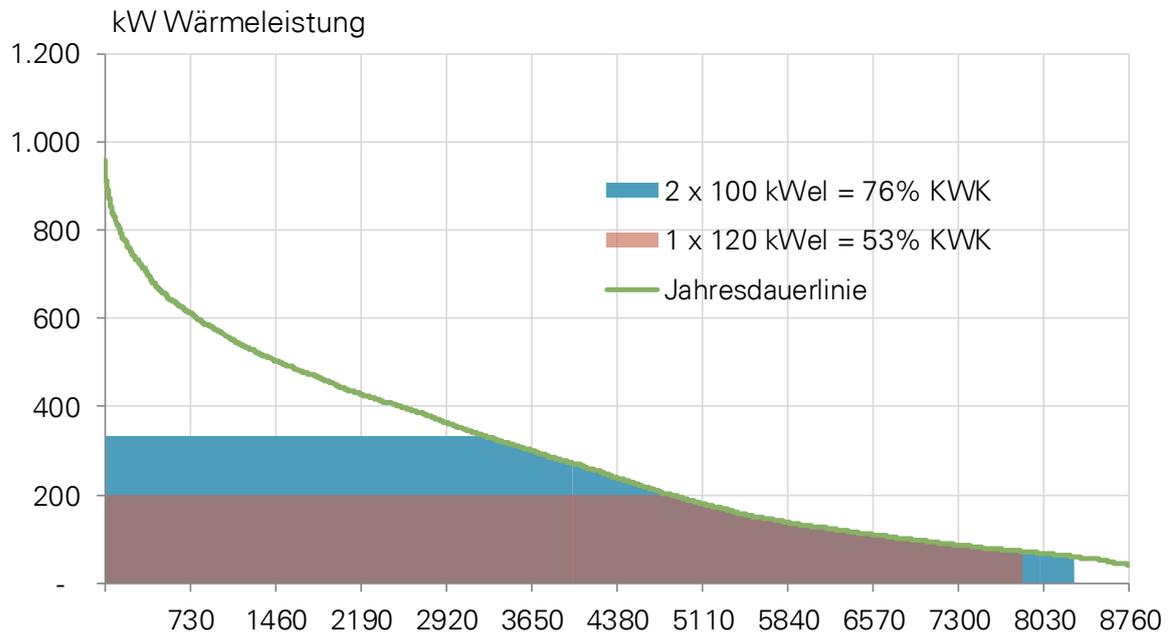


Abbildung 13 BHKW-Auslegungsvarianten

#### 4.4 Wirtschaftlichkeit und Umweltbilanz

Die Berechnungen erfolgen hier nach gleicher Methodik, Preisansätzen und Emissionsfaktoren wie schon für den Südabschnitt unter 3.7 und 3.8 dargestellt.

Die Förderung des Wärmenetzes erfolgt hier für das BHKW mit 76% KWK-Anteil auf Grundlage des KWK-G als Investitionszuschuss in Höhe von 100 €/m Trassenlänge. Das BHKW mit 53% KWK-Anteil ist nicht förderfähig.

### 4.5 Energieflussbild Nordabschnitt

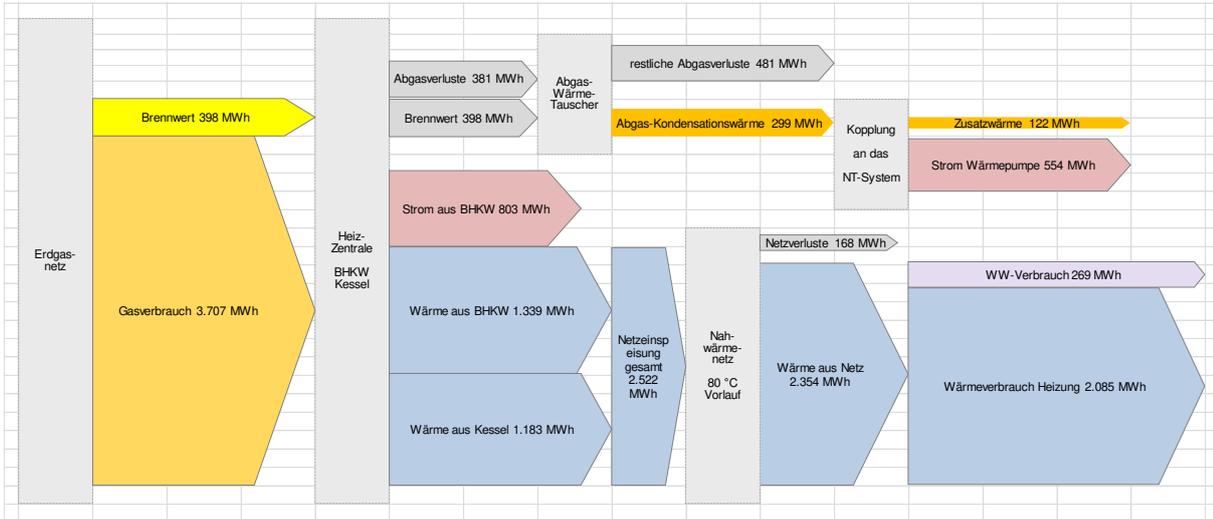


Abbildung 14 Energieflussbild HT-Netz, Wärmerzeugung mit BHKW (53%) und Gaskessel (47%)

### 4.6 Ergebniszusammenfassung und Fazit

In der folgenden Abbildung sind die quantitativ ermittelten Kenngrößen für Kosten und CO<sub>2</sub> zusammengestellt. Das dezentrale Referenzsystem ist hier die Gasheizung ergänzt um Solarthermie. Die Luft-Wärmepumpe ist praktisch nicht umsetzbar. Die Bestandsgebäude sind nicht mit niedrigen Vorlauftemperaturen zu versorgen, sie benötigen höhere Vorlauftemperaturen, die bei der Luftwärmepumpe zu einem nicht akzeptablen Effizienzverlust führen würde. Die Satteldächer sind zudem kein geeigneter Ort für die Aufstellung der Außengeräte.

Kostengünstigstes System ist die Erdgasheizung mit Solarthermie, dieses System hat aber auch die höchsten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Ein mögliches System in der Nahwärmeerzeugung ist auch der Holzpelletkessel. Dieses System reduziert die CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber dem Referenzsystem auf ein Drittel, weist aber auch die höchsten Kosten auf.

Die beiden BHKW-Varianten sind annähernd kostengleich, wobei die Variante mit dem hohen KWK-Anteil in der Erzeugung die Emissionen um 42% reduzieren kann.

Für die BHKW-Varianten spricht der Kopplungsvorteil, der sich daraus für das NT-Netz im Südabschnitt ergibt. Aus der Erdgasverbrennung in der Heizzentrale stehen Energiepotenziale zur Verfügung, die ohne zusätzlichen Primärenergieeinsatz in das NT-Netz einzubinden sind und dort die Umweltbilanz verbessern. Ebenfalls kann der BHKW-Strom mit wirtschaftlichem Vorteil zum Antrieb der zentralen Wärmepumpenanlage genutzt werden.

Eine Holzpelletkesselanlage kann in der Kopplung diese Vorteile nicht bieten.

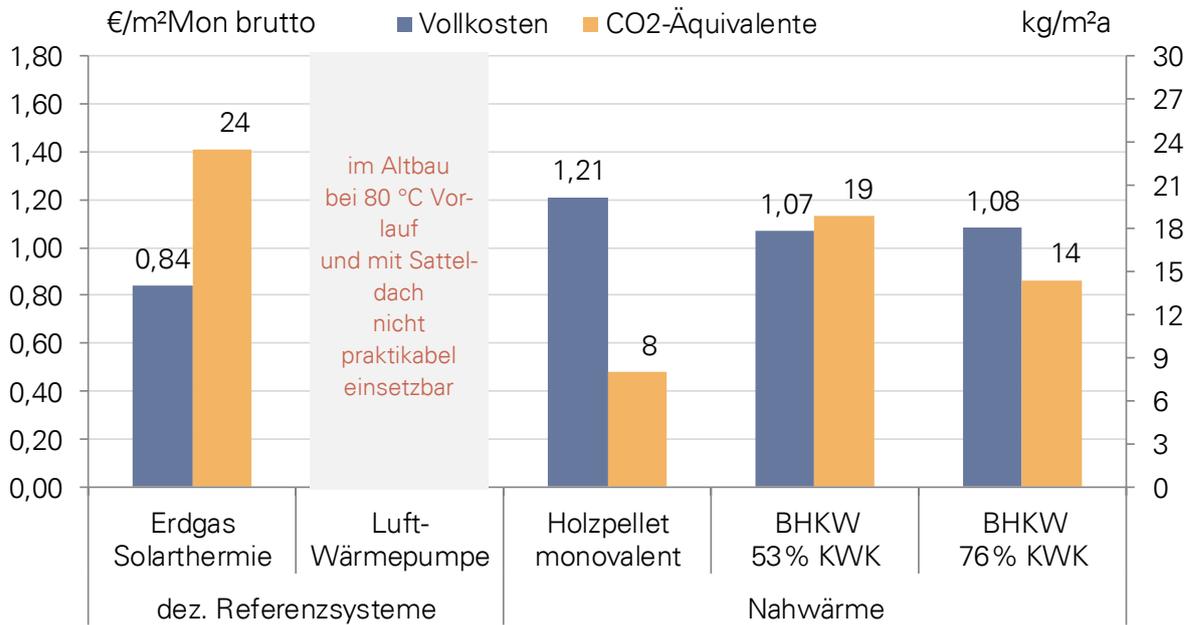


Abbildung 15 Systemvergleich Nordabschnitt

Es wird empfohlen, im Nordabschnitt ein Nahwärmenetz mit BHKW und Gasspitzenkessel zu errichten.

Langfristig kann sich die Bewertung von KWK-Anlagen mit fossilen Energien verändern. Mit Atom- und Kohleausstieg wird für die nächsten 10 bis 20 Jahren ein Ersatzbedarf für Grundlast- und Mittellaststrom vorliegen, der gut mit Erdgas-BHKW zu decken ist. Erst mit weitgehendem Umbau der Stromerzeugung auf Erneuerbare Energie und Lösung der Stromspeicherfragen wird eine Neubewertung der fossilen KWK anstehen. Unter Umständen wird die BHKW-Anlage am Ende ihrer technischen Nutzungsdauer nicht zu erneuern, sondern durch eine Holzpelletanlage zu ersetzen sein.

## 5 Dezentrale Solarenergienutzung

### 5.1 Solarthermie

Die in der Referenzvariante „Gaskessel und Solarthermie“ berücksichtigte Form der Solarthermie war vorrangig ausgerichtet auf die Erfüllung des EEWärmeG und des KfW 55.

Im Südabschnitt bieten sich die Dachflächen für eine Belegung mit Absorbermatten an. Die spezifischen Kosten dieser Einfachstvariante liegen weit unter den Kosten von hochwertigen Flachkollektoren oder Vakuumröhrenkollektoren. Sie liefern Wärme auf einem niedrigeren Temperaturniveau, das aber für die Einbindung in das low-ex-System und auch in das System der kalten Nahwärme geeignet ist.

Die Dachfläche der Neubauten (Südabschnitt und Bereich 1.2) liegt insgesamt bei 22.649 m<sup>2</sup>. Nach Abzug von Abstandsflächen zum Rand, Aufbauten innerhalb der Dachflächen für z.B. Aufzug und ggfs. Klimageräte sowie notwendiger begehbarer Bereiche und Verrohrung verbleiben in der Regel 60–70% der Bruttodachflächen.

Das Potenzial aus der Dachflächen-Solarthermie liegt bei 6,1 bis 7,1 GWh/a. Bei einem Wärmebedarf von ca. 3 GWh/a reicht dieses Potenzial rein theoretisch zur Versorgung aus, Kosten und Lastprofil (viel Energie im Sommer, wenig im Winter) schließen eine weitreichende Nutzung jedoch aus. Der Umfang der Solarthermie-Nutzung kann auf wenige Gebäude begrenzt werden, er sollte sich am Nacherwärmungsbedarf des Erdkollektors ausrichten.

Die Einbindung derartiger dezentraler Solarthermieanlagen in das Haus-eigene System und die Einspeisung von nicht selbst direkt genutzter Energie in das Nahwärmenetz bedarf einer Regelung der technischen Anschlussbedingungen und der vertraglichen preislichen Konditionen. Diese sind im Rahmen der weiteren Vertiefung der Planung zu entwickeln. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Errichtung dieser Anlagen zu einer Entlastung des Erdkollektorsystems führen, so dass sie tendenziell Einspeiser-freundlich ausgestaltet werden sollten.

### 5.2 Eigenstromversorgung mit Photovoltaik

Mit Hilfe von Photovoltaikanlage lässt sich solare Strahlungsenergie in elektrische Energie umwandeln, welche zur Einspeisung ins öffentliche Stromnetz oder zur Eigennutzung zur Verfügung steht.

Die Flachdächer der Neubauten im Südabschnitt sind grundsätzlich gut geeignet für die Installation von Photovoltaik.

Wesentliche Komponenten einer Solarstromanlage sind die Solarmodule, das Montagesystem sowie die Wechselrichter.

Hinsichtlich der Montagesysteme werden heutzutage auf Flachdächern bis zu Höhen von 25 Meter beinahe ausnahmslos sogenannte aerodynamische Montagesysteme verwendet. Der große Vorteil solcher Systeme ist, dass keine Dachdurchdringungen notwendig werden. Das Montagesystem wird lediglich auf die Dachhaut aufgelegt und mit einer Ballastierung, meist schwere Backsteine, gegen das Abheben durch Windböen gesichert. In Bereichen von Schrägdächern kommen wiederum zahlreiche andere Befestigungsvarianten in Frage. Die Wahl für oder gegen ein spezielles Befestigungssystem erfolgt hier auf Basis der Dacheindeckung.

Die durchschnittliche Modulleistung, d.h. die Leistung pro Solarmodul, liegt derzeit bei 275 bis 300 W<sub>p</sub> (Watt<sub>Peak</sub>), wobei sich der Zusatz „Peak“ auf die Leistung des Moduls unter genormten Testbedin-

gungen bezieht. In der Regel sind heutige Solarpaneele etwa 1,67 Meter lang und 1,00 Meter breit, was folglich einer Fläche von 1,67 Quadratmetern entspricht. Somit ist eine Nennleistung von ca. 170 W<sub>P</sub> pro Quadratmeter Modulfläche zu erzielen.

Als letztes Hauptelement einer Photovoltaikanlage ist der Wechselrichter zu nennen, der die Gleichspannung bzw. den Gleichstrom des PV-Generators in die netzkonforme Wechselspannung bzw. netzkonformen Wechselstrom umwandelt. Zurzeit gibt es beinahe ausschließlich transformatorlose Wechselrichter auf dem Markt, da diese höhere Wirkungsgrade und ein geringeres Gewicht (ca. 70 kg) im Vergleich zu Wechselrichtern mit Transformatoren besitzen.

Die nutzbare Brutto-Dachfläche ist identisch mit der Fläche für die Solarthermie, es sind auch hier 22.649 m<sup>2</sup>. Nach Abzug von Abstandsflächen verbleiben in diesem Fall 50–60% der Bruttodachflächen, da zur Verschattungsvermeidung noch ein gewisser zusätzlicher Abstand gebraucht wird.

Das Potenzial aus der Dachflächen-PV liegt bei 1,8 bis 2,2 GWh/a. Die mittlere Leistung je Gebäude liegt bei ca. 40 kW<sub>P</sub>, die kleinsten Anlagen liegen bei 20 kW<sub>P</sub>. Der EEG-befreite Eigenverbrauch im Gebäude ist bei diesen Größenordnungen nicht möglich, dieser ist begrenzt auf typische Eigenheim-Anlagen mit maximal 10 kW<sub>P</sub>. Es muss einen Anlagenbetreiber geben, der die einzelnen Abnahmestellen/Wohnungen beliefert. Derartige Versorgungsverhältnisse werden als Mieterstrom im Rahmen des EEG begrenzt gefördert, die bisherige Bilanz des PV-Mieterstroms ist aber quantitativ unbedeutend, und die tatsächliche Umsetzung ist auf wenige Projekte begrenzt geblieben.

Eine Anwendung für PV-Strom kann die Beladung von Batterie-elektrischen PKW sein, die Rahmenbedingungen werden im folgenden Abschnitt kurz beschrieben.

### 5.3 PV und Elektromobilität

Die Kombination von PV und Elektromobilität kann hohe Potenziale bieten. Der Eigenverbrauchsanteil am erzeugten PV-Strom kann gesteigert werden und die Kosten für die Beladung eines Elektroautos können verringert werden. Um diese Potenziale jedoch gut auszuschöpfen sind gewisse Rahmenbedingungen notwendig, denn eine allgemeingültige Begünstigung durch die gemeinsame Installation einer PV-Anlage und einer Ladeinfrastruktur besteht nicht.

Gute Rahmenbedingungen für eine wirtschaftliche Kombination der beiden Bereiche ergeben sich im Bereich der Eigenheime. Hier kann der Besitzer beide Vorteile nutzen und den Eigenverbrauchsanteil am PV-Strom erhöhen und gleichzeitig sein Elektroauto mit abgabenbefreitem Strom beladen. Der erste Teil ist selbstverständlich nur dann erfüllt, wenn das Elektroauto zu üblichen Überschusszeiten beladen wird.

Im Mietwohnungsbau (und ebenso bei Mehrfamilienhäusern mit Eigentumswohnungen) stellen sich die Rahmenbedingungen anders dar. Hier kann der indirekt begünstigte Eigenverbrauch von PV-Strom nicht hergestellt werden, da Anlagenbetreiber und Besitzer des Elektroautos unterschiedliche Personen sind und somit eine Energielieferung entsteht. Zusätzlich kommt hinzu, dass es sinnvoll ist das Elektroauto zu Spitzenzeiten der PV-Stromerzeugung zu beladen. Dies ist typischerweise zur Mittagszeit der Fall, wenn viele Menschen ihre PKWs am Arbeitsplatz, Einkaufszentren oder anderen öffentlichen Orten parken. Der PKW-Anteil, der an Werktagen tagsüber in der Tiefgarage eines Wohnhauses steht, ist in der Regel nicht sehr hoch. Die Ausstattung der Tiefgaragen von Wohngebäuden mit Ladeinfrastruktur kann demnach die E-Mobilität im Allgemeinen fördern, ist aber nicht zwingend aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll.

Im übergeordneten Zusammenhang trägt der Aufbau der Ladeinfrastruktur jedoch eine große Bedeutung, da dieser das Gesamtsystem der Stromversorgung und -erzeugung begünstigt. Die Beladung von Elektro-Autos kann Spitzenerzeugungen aus erneuerbaren Energien aufnehmen, die ansonsten herunter geregelt werden müssten. Die Elektro-Autos werden als dezentrale Speicher verwendet.

Dies setzt voraus, dass die Autos dann an der Ladesäule stehen wenn diese Spitzenerzeugung auftritt. Dies ist, wie oben bereits beschrieben, tagsüber der Fall, so dass die Ladesäulen in der Nähe der Plätze stehen sollten, an denen zu diesen Zeiten typischerweise die PKWs parken (Arbeitsplätze, Innenstadt, Einkaufszentren, etc.).

Unabhängig davon gibt es bereits Regelungen für die Installation von Ladeinfrastrukturen. Aus der EU Gebäudeeffizienzrichtlinie ergeben sich folgende Anforderungen zur Installation bzw. Vorbereitung von Ladepunkten bei Neubauten:

Alle neuen und grundlegend sanierten Wohngebäude mit mehr als zehn Parkplätzen müssen mit der entsprechenden Vorverkabelung ausgestattet werden, die den nachträglichen Einbau von Ladestationen für alle Parkplätze ermöglicht. An allen neuen und grundlegend sanierten Geschäftsgebäuden mit mehr als zehn Parkplätzen gilt dies für 20 Prozent aller Parkplätze. Zudem muss bei diesen Geschäftsgebäuden mindestens ein Ladepunkt installiert und verfügbar gemacht werden.

## 5.4 Arealnetz und Mieterstrom

Die Umsetzung von Mieterstromprojekten ist nach derzeitiger Rechtslage auf kleine Einheiten begrenzt. Diese Einheit ist ein Gebäude oder eine Gebäudegruppe, die aus einer „Kundenanlage“ versorgt wird. Innerhalb dieser kleinen Einheiten kann PV-Strom als Mieterstrom mit den Zuschusszahlungen nach EEG vermarktet werden.

Die Eingrenzung auf die Kundenanlage begrenzt auch das Austauschpotenzial zwischen der PV-Anlage auf einem Gebäude und den darin wohnenden Verbrauchern.

Die Vergrößerung dieser kleinen Einheiten wird als Chance gesehen, den Umfang der Erzeugung und den direkten Verbrauch im lokalen Umfeld zu erhöhen.

Als ein Mittel dazu wird häufig das Arealnetz genannt, wobei der Begriff Arealnetz im Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) nicht enthalten oder definiert ist. In der Regel ist mit Arealnetz die Kundenanlage bezeichnet, die von den Regulierungen der Netze der öffentlichen Versorgung ausgenommen ist.

Es wäre durchaus denkbar, die Konversionsfläche Alanbrooke mit einem eigenen Stromnetz auszustatten, das als „Kundenanlage“ günstige Voraussetzungen für die Verteilung von lokal erzeugtem PV- oder BHKW-Strom bieten könnte. Es müsste ein Netzbetreiber für diese Versorgungsanlage gefunden werden bzw. der Betreiber der Wärmeversorgung müsste diese Aufgabe mit übernehmen.

Die Rechtslage und Rechtsprechung<sup>10</sup> zielt stark auf eine Trennung ab zwischen

- dem Ausnahmefall  
nicht reguliert  
Kundenanlage zur Versorgung eines Gebäudes bzw. einer Gebietseinheit mit wenigen Letztverbrauchern
- dem Regelfall  
reguliert  
Netz mit einer großen Anzahl von Letztverbrauchern

Die Rechtsprechung ist ausgesprochen restriktiv hinsichtlich der Anerkennung eines Arealnetzes als Kundenanlage. Die Zahl der Ausnahmen von der Regulierung soll gering gehalten werden.

<sup>10</sup> vgl. Jens Lück: Die "Kundenanlage" im Sinne des § 3 Nr. 24a EnWG als zentraler Baustein bei der Umsetzung von Quartierslösungen, Vortrag im Rahmen des Informationstags des Forum Contracting am 5. September 2018: Energiekonzepte in der Wohnungswirtschaft.

Die Risiken für einen Netzbetreiber, der sein wirtschaftliches Konzept auf die Nutzung eines Arealnetzes aufbaut, sind zu hoch um hier im Energiekonzept berücksichtigt zu werden.

Dies gilt für die derzeitige Rechtslage. Bei Änderungen der energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen, die zurzeit jedoch nicht absehbar sind, können sich die Bedingungen verändern. Dann ist aber auch die Notwendigkeit eines eigenen Netzes erneut zu prüfen.

## 6 Erweiterung des Betrachtungsraums

### 6.1 Erschließung weiterer Wärmequellen

#### 6.1.1 Grundwasser

Das östlich gelegene Unternehmen dSPACE GmbH hat für ein Bestandsgebäude eine grundwasser-gestützte Heiz- und Kühlenergieversorgung realisiert. Es werden aus einem Saugbrunnen bis zu 80 m<sup>3</sup>/h gefördert und anschließend wieder in den Grundwasserleiter zurückgepumpt. Die Entzugsleistung beträgt ca. 400 kW, entsprechend einer mittleren Temperaturspreizung von 4 K. Die Druckverhältnisse für Entnahme und Rückführung sind nicht einfach, die Anlagenkonzeption und Regelung ist recht kompliziert. Ein später errichtetes Gebäude wird nicht mit diesem System, sondern mit einer Luft-Wärmepumpe versorgt.

Aufgrund dieser Ausgangslage und angesichts des höheren Leistungsbedarfs im Plangebiet ist eine Übernahme dieses Konzepts nicht einfach möglich. Ein weiterer Aspekt ist die Fließrichtung des Grundwassers von Südosten (dSPACE) nach Nordwesten (Standort Energiezentrale). Es ist möglich, dass eine Grundwasserentnahme hier schon ausgekühltes Grundwasser fördern würde.

#### 6.1.2 Abwasserwärmepotenzial

Relevant sind für die Abwasserwärmenutzung nur die großen und zu sanierenden Kanäle. Es ist zu aufwändig und teuer, nur für die Energiegewinnung aufzugraben und nachzurüsten.

Bei großen Querschnitten ist Platz für die Einbringung von Tauscherelementen. Bei kleineren Querschnitten sind für den Wärmeentzug vorbereitete Sonderausführungen von Kanalrohren einzusetzen.



Abbildung 16 Tauscherelemente in DN 3000 und Sonderausführung DN 800

Eignungsparameter sind:

- DN Schmutzwasserkanal, Kanaldurchmesser  $\geq$  DN 400 mm

<sup>11</sup> Stadtwerke Bochum: Abwasserwärmenutzung – Potenziale und Wege zur Umsetzung

<sup>12</sup> EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen: Heizen und Kühlen mit Abwasser

- oder DN Mischsystem, Kanaldurchmesser  $\geq$  DN 800 mm
- Kontinuierlicher Abfluss; Trockenwetterabfluss 10 l/s oder 15 l/s
- Temperaturniveau  $> 10^\circ\text{C}$

Abwasser hat meisten 13 - 15 °C, zur ersten Orientierung kann angenommen werden, dass Abwasser im Winter durchschnittlich 10 bis 12 °C warm ist und im Sommer zwischen 17 und 20 °C.

Richtwerte Wärmeertrag (gegenüber 40 bis 60 W/m bei einer Erdsondenanlage):

- DN 800: ca. 2,0 kW/m
- DN 3000: ca. 3,3 kW/m

Vom Standentwässerungsbetrieb Paderborn wurde der Plan des Kanalnetzes zur Verfügung gestellt. Besonders geeignet erscheint nach erster Einschätzung der Hauptsammler DN 1600. Die Entfernung ist nicht sehr groß – folgt man dem Straßenverlauf, sind ca. 600 bis 800 m als Trasse einer Anschlussleitung zu verlegen.

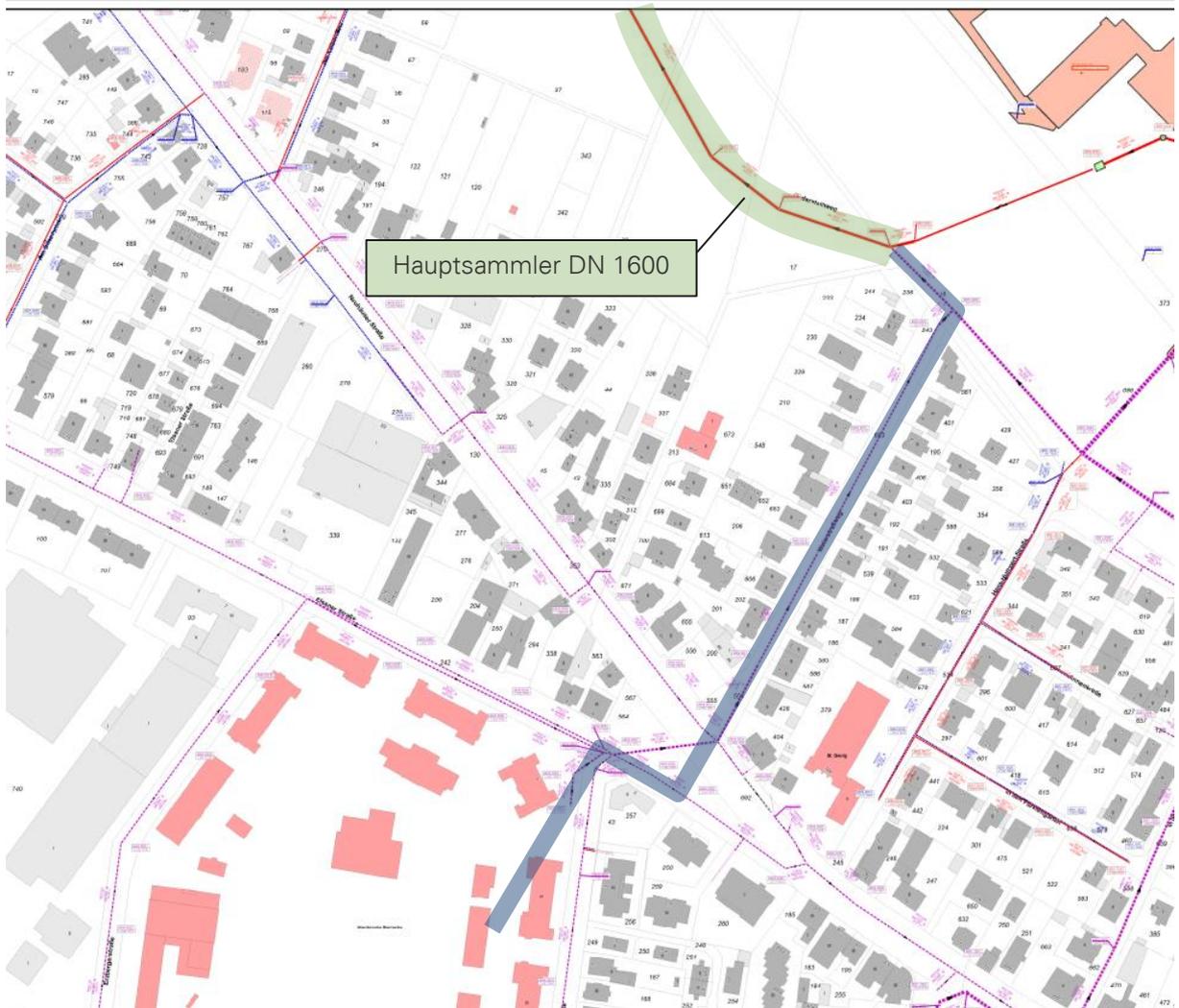


Abbildung 17 Auszug Kanalkataster (mit möglicher Verbindungsstrasse ins Plangebiet)

Die Notwendigkeit der Erschließung dieser potenziellen Wärmequelle ist zukünftig danach zu beurteilen,

- im welchem Maße das Erdkollektorfeld ausreichend Wärme liefert,
- im welchem Umfang eine Nachheizung mit fossilen Energien im realen Betrieb bis dahin nötig war und
- ob neue Wärmeabnehmer mit zusätzlichem Bedarf an das Versorgungssystem angeschlossen werden sollen.

Wenn dieser Kanalabschnitt erneuert werden muss, sollte die Erschließung dieser potenziellen Wärmequelle nach diesen Kriterien erneut geprüft werden.

## 6.2 Einbindung angrenzender Unternehmen

Aufgrund der im Umfeld fehlenden Verfügbarkeit einer primärenergetisch hochwertigen und CO<sub>2</sub>-armen Wärmequelle mit vorhandenem Fernwärmenetz, war die Entwicklung eines eigenständigen Energiekonzeptes notwendig und daher die Begrenzung der Untersuchung auf den Geltungsbereich des Bebauungsplans im Rahmen des Konzeptes zunächst sinnvoll.

Nach Entwicklung der Grundkonzeption ist das nähere Umfeld mit zu untersuchen, um potenzielle Abnehmer und Lieferanten von Energie als Akteure einzubinden. Es waren zwei Unternehmen identifiziert worden, mit denen Ende Juni 2019 Gespräche geführt wurden. Den Unternehmen wurde der Stand des Versorgungskonzeptes vorgestellt. Ziel war es, Anknüpfungspunkte, Schnittstellen und Synergien herauszufinden sowie Zeitpunkte und Planungsphasen einer weiteren Beteiligung festzulegen.

### 6.2.1 dSPACE

Teilnehmer seitens dSPACE waren Herr Lammersen, Frau Hanselmann, Herr Gehring sowie seitens Gertec Herr Kottsieper.

dSPACE wird in naher Zukunft ein weiteres X-Gebäude mit „Heiz- und Kühlbedarf“ errichten.

Für das H-Gebäude wurde Grundwasser als Wärmequelle erschlossen (Saug-/Schluckbrunnen, max. 80 m<sup>3</sup>/h, deltaT 4 K, Abkühlung auf 6 °C) die Temperierung erfolgt vorwiegend über Betonkernaktivierung. Der Gesamtenergieverbrauch summiert sich auf ca. 5,5 GWh davon 2,7 GWh Strom.

Es wurde vereinbart, im Zuge konkreter Planungen eine mögliche Verknüpfung der Energieversorgung nochmals zu prüfen und abzustimmen. Insbesondere die Nutzung des Erdwärmekollektors als Rückkühlmöglichkeit erscheint interessant.

### 6.2.2 Firma Lödige

Teilnehmer seitens der Firma Lödige waren Herr Wentker, Herr Pföhler, Herr Klocke und Herr Stätling sowie seitens Gertec Herr Kottsieper.

Die Firma Lödige wird voraussichtlich 2020 eine neue Produktionshalle (ca. 1.200 m<sup>2</sup>) errichten, bis ca. 2021 soll ein neues Verwaltungsgebäude (ca. 1.600 m<sup>2</sup>) errichtet werden. Beide Neubauten haben Veränderungen im Wärme- und Kältebedarf des Unternehmens zur Folge.

Die Firma Lödige betreibt bereits zwei BHKW (2 x 20 kW<sub>e</sub>) im Pachtmodell mit der ESW (Energieservice Westfalen Weser).

Es wurde vereinbart, im Zuge konkreter Planungen eine mögliche Verknüpfung der Energieversorgung nochmals zu prüfen und abzustimmen. Das Firmengelände liegt in der Nähe zum Nordabschnitt mit den Bestandsgebäude, die nur mit hohem Temperaturniveau versorgt werden können.

## 7 Vorbereitung der Umsetzung und Controlling

### 7.1 Umsetzungsstrategie

Das gesamte Konversionsgelände ist im Besitz der Stadt Paderborn. Die Umsetzung des Projekts liegt in kommunaler Hand. Der Aufbau der Wärmeversorgung soll durch ein kommunales Unternehmen bzw. Unternehmensverbund (Stadtwerke Paderborn GmbH und die Energie Service Westfalen Weser GmbH) mit starkem kommunalem Einfluss erfolgen. Für den Aufbau der Wärmeversorgung im Gebiet ist kein formelles Ausschreibungsverfahren erforderlich, da es sich hier nicht um eine Lieferung von Wärmeenergie an die Kommune handelt, sondern um eine Dienstleistungskonzession, die es dem Wärmeversorgungsunternehmen erlaubt, im Gebiet ein Netz aufzubauen, mit dem Dritte versorgt werden können.

Das Umsetzungsinstrument, das den Anschluss aller Gebäude an das Netz absichert, ist der privatrechtliche Grundstückskaufvertrag, in dem die Anschlussverpflichtung und Abnahmepflicht festgeschrieben wird. Die privatrechtliche Umsetzung kann ergänzt werden durch das öffentlich-rechtliche Instrument des Anschluss- und Benutzungszwangs nach Gemeindeordnung NRW.

Die Notwendigkeit des Anschlusszwangs ergibt sich daraus, dass ohne Absicherung der 100%-Anschlussquote der wirtschaftliche Betrieb des zentralen Netzes stark beeinträchtigt wäre. Einzelne Ausnahmen in begründeten Sonderfällen wären u.U. möglich, bringen aber Probleme mit der Kommunikation nach außen mit sich.

Die für den Neubau vorgesehenen Baufelder beinhalten einige Flächen, auf denen geförderter Wohnungsbau stattfinden soll. Die städtische Wohnungsgesellschaft Paderborn (WGP) wird hier Bauträger sein. Für Baubeginn und Mietniveau gelten engere Rahmenbedingungen als auf die übrigen Baufelder. Die Bindung der WGP an die allgemeinen Anschlussverpflichtungen kann u.U. erst nach einer gewissen Übergangsphase wirksam werden. Versorgungstechnische Zwischenlösungen sollten so gestaltet sein, dass nach Fertigstellung des Netzes der Anschluss an das Gesamtsystem zügig erfolgt.

### 7.2 Kommunikation

Die WGP und Stadtwerke Paderborn GmbH benötigen keine Informationen über das Projekt, da sie an der Konzepterstellung durch Teilnahme an den Arbeitsgruppensitzungen beteiligt gewesen sind. Zielgruppen eines Kommunikationskonzepts sind die weiteren Investoren (nicht geförderter Wohnungsbau) und die allgemeine Öffentlichkeit.

#### 7.2.1 Allgemeine Öffentlichkeit

Mit der Errichtung des Wärmeversorgungssystems ist ein erheblicher Aufwand und auch eine Anschlusspflicht verbunden, die erklärungsbedürftig ist, wenn eine Akzeptanz hergestellt werden soll. Hinzuweisen ist auf die erzielte CO<sub>2</sub>-Minderung, teilweise oder vollständige Ablösung von fossilen Import-Brennstoffen und die Zukunftssicherheit.

Im Folgenden ist ein erster Textentwurf für die Information der Öffentlichkeit entwickelt worden.

Die Stadt Paderborn hat für die Wärmeversorgung des Quartiers ein innovatives und zukunftsweisendes Energieversorgungskonzept erarbeiten lassen, das durch seine Größe und Konstellation in Deutschland einmalig ist und einen hohen Nachhaltigkeitswert aufweist.

Mit dem Einsatz Erneuerbarer Energien, der Reduzierung des Energiebedarfs und einer Optimierung der Energieversorgung können dauerhaft niedrige Energiekosten bei gleichzeitiger hoher Betriebs- und Planungssicherheit (für den Betreiber) garantiert werden. Die Schwerpunkte des Klimaschutzkonzepts der Stadt Paderborn zur Treibhausgasminderung und die Vorgaben aus der Politik werden berücksichtigt.

Auf dem 18 Hektar großen Gelände besteht für die Neubauten der über 700 Wohneinheiten die Möglichkeit, den Heizwärmebedarf mittels Erdkollektoren und Wärmepumpen zu generieren. Mit Vorlauftemperaturen zwischen  $< 30$  und  $35$  Grad Celsius, einer Niedertemperaturheizung und neuester technischer Wärmepumpen wird eine hohe Energieeffizienz bei der Wärmeerzeugung erreicht.

Großflächig werden in einem engen Abstand unisolierten Rohre, sog. Kollektoren im Bereich der nichtversiegelten Grünflächen verlegt. Durch sie fließt die Sole, eine wässrige Salzlösung. Sie sind nicht isoliert und können Wärmeenergie in einem Übertragungsbereich von  $-5$  bis  $+21$  Grad Celsius aufnehmen. Das System bezeichnet man als „kalte Nahwärme“. Über Einspeisepunkte an den einzelnen Gebäuden werden die Wohneinheiten versorgt. Die in ihrem Bestand geschützten Bäume mit Kronenradius und einem Zuschlag für den Wurzelraum bleiben von der Verlegung unberührt.

Die ockerfarbenen Flächen sind für die Erdwärmekollektorfelder vorgesehen, darauf kann Gras und Gebüsch wachsen, sie sind weiter als Grünfläche nutzbar. Auf den dunkelbraunen Flächen ist Raum für tief wurzelnde Bäume.

Ob die Wärmeverteilung dezentral über einzelne hauseigene Wärmepumpen erfolgt oder zentral über eine Heizungsanlage unterliegt noch dem Entscheidungsprozess. Ebenso wie der Einsatz von Solarstrom und Solarthermie.

In dieser Größenordnung gibt es in Deutschland zurzeit kein anderes vergleichbares Projekt, kleinere Projekte allerdings schon, wie beispielsweise unter: [https://www.energieagentur.nrw/eanrw/kaltes\\_nahwaermenetz](https://www.energieagentur.nrw/eanrw/kaltes_nahwaermenetz) beschrieben.

Im nördlichen Areal befinden sich die denkmalgeschützten Gebäudebestände, in denen ca. 70 Wohneinheiten entstehen sollen. Auch wenn Sanierungsmaßnahmen den Dämmstandard maßgeblich verbessern, reicht die Wärmeversorgung durch eine Niedertemperaturheizung nicht aus. Hier ist die Einbindung eines erd-



gasbetriebenen Blockheizkraftwerks (BHKW) oder einer Holzpellet-Kesselanlage vorgesehen. Der im BHKW erzeugte Strom kann ohne Abgaben für eine zentrale Wärmepumpennutzung im oben beschriebenen Niedertemperaturbereich für den Antrieb der zentralen Wärmepumpe eingesetzt werden. Diese Möglichkeit entfällt bei einer Pelletkesselanlage. Hier liegt allerdings noch keine Entscheidung vor.

Mit dem geplanten Energieversorgungskonzept für „Alanbrooke“ können einerseits der denkmalgeschützte Gebäudebestand und die geplanten Wohnungsneubauten, und andererseits mögliche Energieabnehmer in benachbarten Wohngebieten und die angrenzende, bereits vorhandene Infrastruktur in einem gesamt-energetischen Kontext eingebunden, entwickelt und nachhaltig realisiert werden.

### 7.2.2 Investoren

Den Investoren sind umfangreiche, technische Informationen zur Verfügung zu stellen, damit sie ihre haustechnische Planung frühzeitig an das innovative, noch nicht weit verbreitete System anpassen können.

Die Investoren erhalten mit dem Qualitätshandbuch bereits Informationen und planerische Vorgaben, die sie einhalten müssen, wenn sie im Plangebiet bauen wollen. Dazu zählt auch die Einhaltung des energetischen Standards KfW 55 bei den Neubauten.

Das Qualitätshandbuch ist mit einem Kapitel „Energetische Versorgung“ zu ergänzen, in dem das Konzept ausführlich beschrieben wird. Es muss jeweils zwischen den denkmalgeschützten Gebäuden im Nordabschnitt und den Neubauten im Südabschnitt unterschieden werden.

Für den Nordabschnitt sind die Anschlusskonditionen relativ einfach zu beschreiben. Hier wird aus Kundensicht Nahwärme geliefert, wobei es für den Abnehmer in der Konzeption der Haustechnik ohne Bedeutung ist, ob die Wärme aus einem Holzkessel oder Erdgas-BHKW stammt. Soweit bei den denkmalgeschützten Gebäuden eine energetisch wirksame Verbesserung der Hüllflächen vorgenommen wird, sind sie nicht verpflichtet, einen maximalen Primärenergiebedarfskennwert nach EnEV einzuhalten. Der Nahwärmeversorger muss ihnen keinen zertifizierten Primärenergiefaktor angeben.

Im Südabschnitt sind die Anforderungen an die Systembeschreibung wesentlich höher. Folgende Sachverhalte sind dem Investor darzustellen.

#### a) bei Konzeption als low-ex-Netz

- zur Verfügung gestellte Vorlauftemperatur
- Fahrweise konstant oder gleitend außentemperaturabhängig
- ggf. maximale Rücklauftemperatur
- als Hinweis, nicht als Zwang:  
Erfordernis einer Ausstattung der Wohnungen mit dezentralen Frischwasserstationen und der elektrischen Nachheizung  
wenn der Investor eigene Konzepte verfolgt mit Solarthermie und zentraler Warmwasserversorgung mit Zirkulation, sind auch andere Haustechnik-Lösungen möglich

- Preisblatt mit Angaben zu
  - Baukostenzuschuss
  - Hausanschlusskostenbeitrag
  - Grundpreis (inkl. Messpreis)
  - Arbeitspreis
  - Preisanpassungsklauseln für Grundpreis und Arbeitspreis
- zertifizierter Primärenergiefaktor und CO<sub>2</sub>-Faktor der gelieferten Wärme

#### b) bei Konzeption als kalte Nahwärme

- zur Verfügung gestellte Vorlauftemperatur als geplante, ungesicherte Mittelwerte
- minimale Temperatur, die ggfs. durch Nachheizung mit Zusatzwärme gesichert ist
- Fahrweise (als vom Betreiber last- und außentemperaturabhängige Kombination von Temperatur und Volumenstrom), wenn überhaupt möglich, da abhängig von Erdreichtemperatur und aktueller Gesamtentnahme
- ggf. maximale, hier auch minimale Rücklauftemperatur
- Erfordernis der Installation einer eigenen Wasser-Wasser-Wärmepumpe  
alternativ: Contracting-Angebot für den Betrieb der Wärmepumpe
- Preisblatt mit Angaben zu
  - Baukostenzuschuss
  - Hausanschlusskostenbeitrag
  - Grundpreis (inkl. Messpreis)
  - Arbeitspreis
  - Preisanpassungsklauseln für Grundpreis und Arbeitspreis
- zertifizierter Primärenergiefaktor und CO<sub>2</sub>-Faktor der gelieferten kalten Nahwärme (wobei hier unklar ist, ob dies für kalte Nahwärme erforderlich ist. Der wesentliche Energieaufwand tritt als Stromverbrauch der dezentralen Wärmepumpen auf, dies findet aber beim Kunden statt.)

## 7.3 Controlling

Controlling ist hier als energetisches Monitoring zu verstehen, mit den Zielen

- eine quantitative und qualitative Erfolgsbilanzierung der Erdkollektor-gestützten Wärmeerzeugung zu ermöglichen sowie
- eine laufende Kenntnis über den Stand der Anlageneffizienz und Bedarfsentwicklung zu erhalten, einen Überblick über die reale Entwicklung im Vergleich zu den Plandaten zu erlangen und etwaige Fehlentwicklungen frühzeitig zu erkennen.

Dieses Monitoring ist abzugrenzen von der Betriebsüberwachung und Anlagensteuerung, bei der es primär um die Funktion einzelner Aggregate und Einhaltung anlageninterner Sollwerte geht.

Von zentraler Bedeutung im Monitoring sind real erzielte cop-Werte, wobei diese anlagenbezogenen Werte im Zusammenhang mit low-ex-Systemen nie isoliert, sondern immer unter Einbeziehung der Pumpstromaufwände bei Quellenerschließung und Nutzenergieverteilung zu betrachten sind. Ebenfalls sind die Temperaturspreizungen im Netz bzw. die von den Kunden zurückgelieferten Rücklauftemperaturen wesentliche Faktoren für die real erzielbare Systemeffizienz.

Die folgenden Messwerte sind zu erfassen, wobei im Folgenden nach Teilbereichen entsprechend dem Energiefluss gruppiert wird.

- Quellenerschließung
  - Stromaufnahme Förderpumpen  $kW_{el}$
  - Volumenstrom  $V$ , Temperatur Vorlauf  $T_{VL}$ , Temperatur Rücklauf  $T_{RL}$
- Energiezentrale
  - Stromaufnahme der Pumpen für interne Wasserkreisläufe  $kW_{el}$
  - Stromaufnahme Verdichter Grundlast  $kW_{el}$
  - Wärmeleistung der Wärmepumpenmodule (jeweils  $V$ ,  $T_{VL}$ ,  $T_{RL}$ )
- Pufferspeicher
  - Befüllung und Entnahme (jeweils  $V$ ,  $T_{VL}$ ,  $T_{RL}$ )
  - Füllstand, Schichtung
- Wärmenetz
  - Stromaufnahme Netzpumpen
  - Netzeinspeisung Wärme (jeweils  $V$ ,  $T_{VL}$ ,  $T_{RL}$ )
- Kundenanlagen primärseitig
  - Wärme aus Netz (jeweils  $V$ ,  $T_{VL}$ ,  $T_{RL}$ )
  - die Wärmemengen-Zähler sind in geeigneter Weise für die Auslesung zu konzipieren und können dann für diesen Zweck mit benutzt werden

Als Intervall der Messwernerfassung ist eine Viertelstunde ausreichend. Kleinere Intervalle sind nur für die Betriebsführung erforderlich. Die Systeme zur Kälte- und Wärmeerzeugung sind so träge, dass die Viertelstunde als Zeitintervall ausreicht, um eine Effizienzbewertung vornehmen zu können.

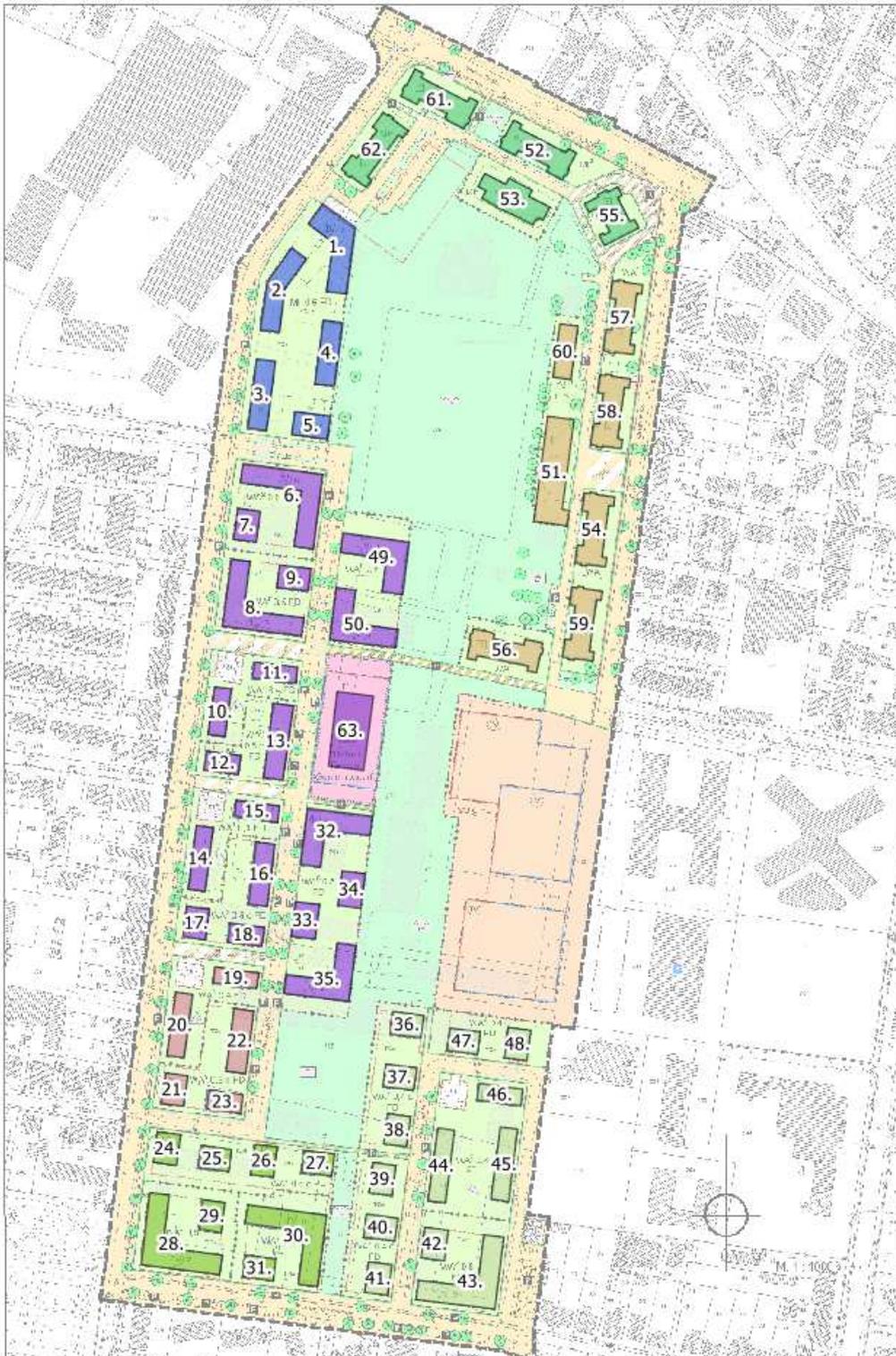
Bei der Datenübermittlung ist zwischen der Energiezentrale und den Kundenanlagen. Die Daten der Energiezentrale laufen ohnehin in der Leittechnik auf und sind lediglich über geeignete gateways zugänglich zu machen.

Die Daten der Kundenanlagen können vorzugsweise über eigene Datenkabel, die parallel zum Wärmenetz mitverlegt werden, zur Zentrale gelangen. Alternativ ist eine Übermittlung per Funk denkbar. Hier bei ist zu prüfen, ob dies bei der Ausdehnung des Gebietes praktikabel ist. Die Menge der übermittelten Daten ist unkritisch und stellt keine besonderen Anforderungen.

Die Auswertung der gesammelten Daten und Darstellung in einem Energiebericht für das System sollte regelmäßig erfolgen. Der Aufwand ist nicht unerheblich, so dass sich die Kooperation mit Forschungsinstituten anbietet, die auf diesem Gebiet tätig sind.

# 8 Anhang

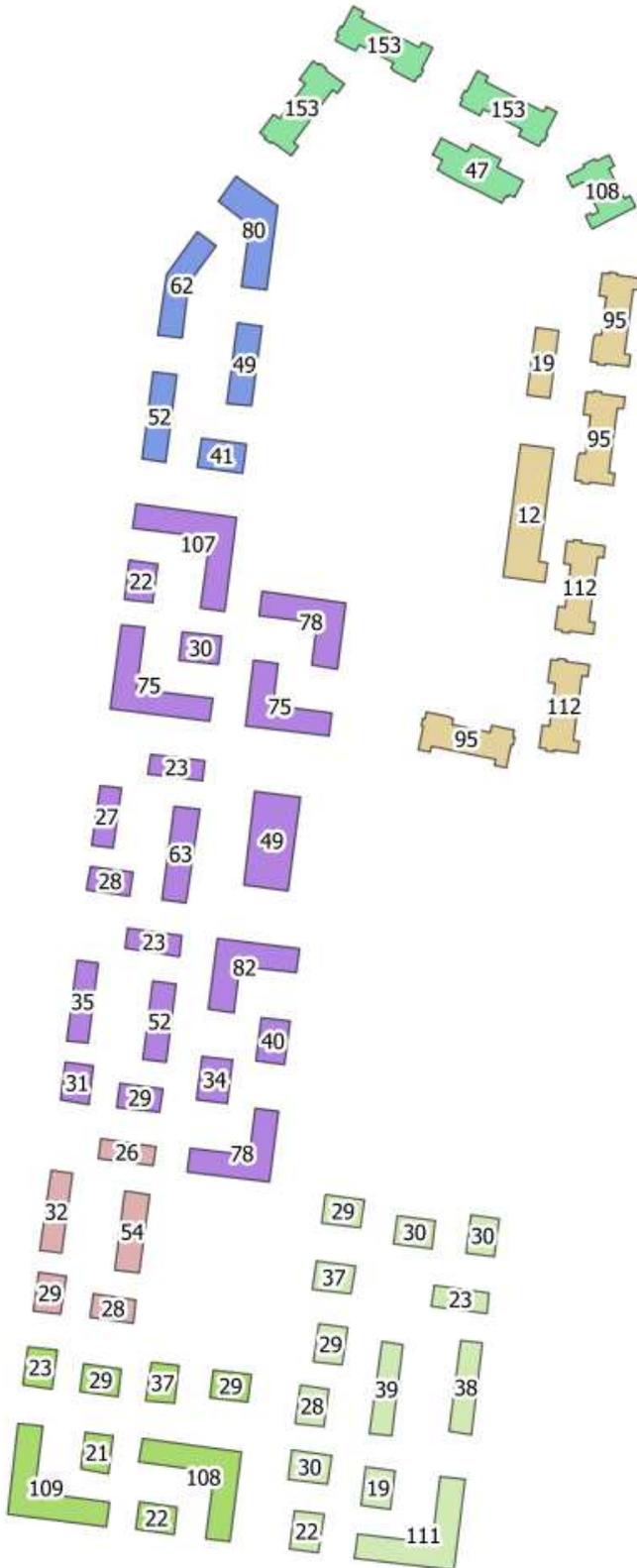
## 8.1 Gebäudenummerierung



## 8.2 Gebäudeliste mit Leistung und Bedarf

Gebäude lfd.Nr.	Baufeld	Bereich	BGF m <sup>2</sup>	NGF m <sup>2</sup>	spez. Bedarf W/m <sup>2</sup>	spez.Verbr. kWh/m <sup>2</sup>	Leistung kW	Heizung MWh/a	Warmwasser MWh/a	Hzg+WW MWh/a
1	BF 01	Bereich 1.2	3.210	2.408	33,3	35	80	84	36	120
2	BF 01	Bereich 1.2	2.477	1.858	33,3	35	62	65	28	93
3	BF 01	Bereich 1.2	2.062	1.547	33,3	35	51	54	23	77
4	BF 01	Bereich 1.2	1.961	1.471	33,3	35	49	51	22	74
5	BF 01	Bereich 1.2	1.632	1.224	33,3	35	41	43	18	61
6	BF 02	Bereich 4	4.278	3.209	33,3	35	107	112	48	160
7	BF 02	Bereich 4	871	653	33,3	35	22	23	10	33
8	BF 03	Bereich 4	3.009	2.257	33,3	35	75	79	34	113
9	BF 03	Bereich 4	1.210	908	33,3	35	30	32	14	45
10	BF 05	Bereich 4	1.071	803	33,3	35	27	28	12	40
11	BF 05	Bereich 4	907	680	33,3	35	23	24	10	34
12	BF 06	Bereich 4	1.108	831	33,3	35	28	29	12	42
13	BF 06	Bereich 4	2.532	1.899	33,3	35	63	66	28	95
14	BF 07	Bereich 4	1.393	1.045	33,3	35	35	37	16	52
15	BF 07	Bereich 4	922	692	33,3	35	23	24	10	35
16	BF 08	Bereich 4	2.065	1.549	33,3	35	52	54	23	77
17	BF 08	Bereich 4	1.227	920	33,3	35	31	32	14	46
18	BF 08	Bereich 4	1.158	869	33,3	35	29	30	13	43
19	BF 10	Bereich 3	1.051	788	33,3	35	26	28	12	39
20	BF 10	Bereich 3	1.264	948	33,3	35	32	33	14	47
21	BF 11	Bereich 3	1.173	880	33,3	35	29	31	13	44
22	BF 11	Bereich 3	2.163	1.622	33,3	35	54	57	24	81
23	BF 11	Bereich 3	1.114	836	33,3	35	28	29	13	42
24	BF 12	Bereich 2.1	933	700	33,3	35	23	24	10	35
25	BF 12	Bereich 2.1	1.163	872	33,3	35	29	31	13	44
26	BF 12	Bereich 2.1	1.476	1.107	33,3	35	37	39	17	55
27	BF 12	Bereich 2.1	1.154	866	33,3	35	29	30	13	43
28	BF 13	Bereich 2.1	4.356	3.267	33,3	35	109	114	49	163
29	BF 13	Bereich 2.1	833	625	33,3	35	21	22	9	31
30	BF 14	Bereich 2.1	4.326	3.245	33,3	35	108	114	49	162
31	BF 14	Bereich 2.1	864	648	33,3	35	22	23	10	32
32	BF 09	Bereich 4	3.279	2.459	33,3	35	82	86	37	123
33	BF 09	Bereich 4	1.366	1.025	33,3	35	34	36	15	51
34	BF 09	Bereich 4	1.607	1.205	33,3	35	40	42	18	60
35	BF 09	Bereich 4	3.136	2.352	33,3	35	78	82	35	118
36	BF 16	Bereich 2.2	1.177	883	33,3	35	29	31	13	44
37	BF 16	Bereich 2.2	1.476	1.107	33,3	35	37	39	17	55
38	BF 16	Bereich 2.2	1.172	879	33,3	35	29	31	13	44
39	BF 17	Bereich 2.2	1.136	852	33,3	35	28	30	13	43
40	BF 17	Bereich 2.2	1.205	904	33,3	35	30	32	14	45
41	BF 17	Bereich 2.2	884	663	33,3	35	22	23	10	33
42	BF 20	Bereich 2.2	745	559	33,3	35	19	20	8	28
43	BF 20	Bereich 2.2	4.445	3.334	33,3	35	111	117	50	167
44	BF 18	Bereich 2.2	1.572	1.179	33,3	35	39	41	18	59
45	BF 19	Bereich 2.2	1.537	1.153	33,3	35	38	40	17	58
46	BF 18	Bereich 2.2	912	684	33,3	35	23	24	10	34
47	BF 15	Bereich 2.2	1.198	899	33,3	35	30	31	13	45
48	BF 15	Bereich 2.2	1.202	902	33,3	35	30	32	14	45
49	BF 04	Bereich 4	3.127	2.345	33,3	35	78	82	35	117
50	BF 04	Bereich 4	3.011	2.258	33,3	35	75	79	34	113
51	BF 24	Bereich 1.1b	469	352	33,3	35	12	12	5	18
52	BF 26	Bereich 1.1a	2.365	1.774	86	140	153	248	-	248
53	BF 25	Bereich 1.1a	727	545	86	140	47	76	16	93
54	BF 21	Bereich 1.1b	2.259	1.694	66	97	112	164	25	190
55	BF 23	Bereich 1.1a	1.683	1.262	86	140	109	177	-	177
56	BF 28	Bereich 1.1b	1.926	1.444	66	97	95	140	22	162
57	BF 22	Bereich 1.1b	1.926	1.444	66	97	95	140	22	162
58	BF 22	Bereich 1.1b	1.926	1.444	66	97	95	140	22	162
59	BF 21	Bereich 1.1b	2.259	1.694	66	97	112	164	25	190
60	BF 24	Bereich 1.1b	377	283	66	97	19	27	4	32
61	BF 27	Bereich 1.1a	2.365	1.774	86	140	153	248	-	248
62	BF 27	Bereich 1.1a	2.365	1.774	86	140	153	248	-	248
63	BF K	Bereich 4	1.951	1.464	33,3	35	49	51	22	73

### 8.3 Lage-Plan mit Leistungswerten je Gebäude



## 8.4 Berechnungstabellen Südabschnitt 1

Neubauten ohne Bereich 2.1		Referenz 1	Referenz 2			
NT-Nahwärme kalte NW oder low-ex		und Solarthermie	Wärmepumpe	Sole-Netz	low-ex	low-ex
		Erdgas	Luft-Wasser-		Nahwärme 42	Nahwärme 38
Grunddaten						
Anzahl Gebäude	Geb	46	46	46	46	46
Wohnfläche je Gebäude Ø	m²/Geb	1.300	1.300	1.300	1.300	1.300
beheizte Wohnfläche	m²	59.820	59.820	59.820	59.820	59.820
Energiebedarf Heizung und Warmwasser						
Summe Anschlussleistungen	kW	1.992	1.992	1.992	1.992	1.992
Gleichzeitigkeitsfaktor	-	1	1	1	1	1
notwendige Wärmeleistung	kW	1.992	1.992	1.992	1.992	1.992
Energiebedarf Heizung	MWh/a	2.094	2.094	2.094	2.094	2.094
Energiebedarf Warmwasser	MWh/a	897	897	897	897	897
Energiebedarf Gebäude gesamt	MWh/a	2.991	2.991	2.991	2.991	2.991
prozentuale Netzverluste	-			0%	6%	5%
Netzverluste	MWh/a			-	191	157
Wärmeerzeugungsstruktur						
Erdgas Kessel dezentral	MWh/a	2.542				
Solarthermie dezentral	MWh/a	449				
Umgebungswärme aus Luft	MWh/a		2.026			
Strom Nacherhitzung WWV dezentral	MWh/a			108	81	108
low-ex-Wärmeabgabe aus Netz	MWh/a				2.910	2.883
low-ex-Wärmeeinspeisung ins Netz	MWh/a				3.101	3.041
Spitzenlastwärme low-ex	MWh/a				124	122
Grundlastwärme low-ex	MWh/a				2.977	2.919
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	-		3,10	4,50	4,70	5,27
Abgabe aus Wärmenetz	MWh/a				2.910	2.883
Einspeisung ins Wärmenetz	MWh/a				3.101	3.041
Erdwärme aus Kollektor	MWh/a			2.127	2.344	2.365
Spitzenlast-Zusatzwärme auf Sole	MWh/a			115		
Abgabe aus Sole_Netz	MWh/a			2.243		
Strom zentrale Wärmepumpen	MWh/a				633	554
Strom dezentrale Wärmepumpen	MWh/a		965	641		
Wärme aus Wärmepumpe	MWh/a		2.991	2.883	2.977	2.919
Umgebungswärme und Strom	MWh/a		2.991	2.883	2.977	2.919
Kennwerte Hilfsenergie						
Spreizung im Netz	K			6	14	10
Hilfsstrom Wärmenetz und HZ	-			5%	2%	3%
thermische Nutzungsgrade						
Erdgas Kessel	-	0,93	-	0,93	0,93	0,93
Erdgas KWK	-	-	-	-	-	-
Wärmepumpenstrom dezentral	-		3,10			
Solarthermie	-	1,00				
PV-Strom	-					
Holz-Pellets	-	-	-	0,85	-	-
elektrische Nutzungsgrad KWK	-	-	-	-	0,33	0,33
Endenergieverbrauch						
Erdgas Kessel	MWh/a	2.734	-			
Erdgas KWK	MWh/a	-	-	-	-	-
Wärmepumpenstrom dezentral	MWh/a	-	965	641		
Wärmepumpenstrom zentral	MWh/a	-	-	-	633	554
Solarthermie	MWh/a	449	-	-	-	-
PV-Strom	MWh/a	-	-	-	-	-
Holz-Pellets	MWh/a	-	-	-	-	-
Hilfsstrom Wärmenetze	MWh/a	-	-	105	62	85
Strom Nachheizung WWV	MWh/a	-	-	108	81	108
Stromerzeugung	MWh/a	-	-	-	-	-
CO <sub>2</sub> -Emissionen						
bezogen auf beheizte Fläche	kg/m²a	11,6	10,0	8,8	8,0	7,7
gesamt	t/a	695	598	529	481	463
CO <sub>2</sub> -Minderung um ...%	%	0%	14%	24%	31%	33%

## 8.5 Berechnungstabellen Südabschnitt 2

Neubauten ohne Bereich 2.1		Referenz 1	Referenz 2			
NT-Nahwärme kalte NW oder low-ex		und Solarthermie	Wärmepumpe	Sole-Netz	low-ex	low-ex
		Erdgas	Luft-Wasser-		Nahwärme 42	Nahwärme 38
Endenergiepreise	0					
Erdgas Kessel	€/MWh	55	-			
Erdgas KWK	€/MWh	-	-	-	-	-
Wärmepumpenstrom dezentral	€/MWh	-	200	200	-	-
Wärmepumpenstrom zentral	€/MWh	-	-	-	90	90
Solarthermie	€/MWh	0	-	-	-	-
PV-Strom	€/MWh	-	-	-	-	-
Holz-Pellets	€/MWh	-	-	-	-	-
Hilfsstrom Wärmenetze	€/MWh	-	-	230	230	230
Strom Nachheizung WW	€/MWh	-	240	240	240	240
Stromerzeugung	€/MWh	-	-	-	-	-
Investitionen						
dezentral je Haus bis Verteilerabgang	kW Ø	43	43	43	43	43
Wärmeerzeuger	€/Geb	10.661	35.293	20.909	-	-
Übergabestation	€/Geb	-	-	-	6.000	6.000
Solarthermie (ohne Speicher)	€/Geb	11.611	-	-	-	-
Hausanschluss	€/Geb	3.500	-	4.600	4.600	4.600
Summe	€/Geb	25.772	35.293	25.509	10.600	10.600
Förderung bafa	€/Geb	-	-	4.500	-	-
Summe ./ Förderung	€/Geb	25.772	35.293	21.009	10.600	10.600
gesamt im Plangebiet						
Wärmeerzeuger	T€	490	1.623	962	-	-
Übergabestation	T€	-	-	-	276	276
Solarthermie (ohne Speicher)	T€	534	-	-	-	-
Hausanschluss	T€	161	-	212	212	212
Summe	T€	1.186	1.623	1.173	488	488
Förderung bafa	T€	-	-	207	-	-
Summe ./ Förderung	T€	1.186	1.623	966	488	488
Netze						
Netzlänge	m			1.719	1.719	1.719
spezifische Kosten Ø	€/m			286	409	409
Sole- oder Nahwärmenetz	T€			492	704	704
Förderung KfW premium 60 €/m	T€			103	103	103
Summe ./ Förderung	T€			389	601	601
Heizzentrale und EWK						
thermische Leistung Spitzenkessel	kW			200	200	200
spezifische Kosten	€/kW			150	150	150
Gaskessel, Abgas-WT, Anbindung Holz	T€			30	30	30
Erdwärmekollektorfeld	m <sup>2</sup>			28.127	28.127	28.127
spezifische Kosten	€/m <sup>2</sup>			35	35	35
Erdwärmekollektorfeld	T€			984	984	984
thermische Leistung Wärmepumpe	kW				1.792	1.792
spezifische Kosten	€/kW				272	272
Wärmepumpe	T€				488	488
hydraulische/elektrische Einbindung	T€			30	50	50
Pufferspeicher für 2 Stunden	T€				20	20
Netzpumpen, Druckhaltung	T€			20	20	20
Abgasanlage	T€			8	8	8
Gebäude Heizzentrale (350 - 500 €/m <sup>3</sup> )	T€			48	86	86
Planung 20%	T€			224	337	337
Unvorhergesehenes 10%	T€			112	169	169
Förderung KfW premium 80 €/kW	T€				143	143
Summe Wärmeerzeugung zentral	T€			1.457	2.049	2.049
Summe Netze	T€			389	601	601
Summe Gebäude dezentral	T€	1.186	1.623	966	488	488
gesamt	T€	1.186	1.623	2.812	3.137	3.137

## 8.6 Berechnungstabellen Südabschnitt 3

Neubauten ohne Bereich 2.1		Referenz 1	Referenz 2			
NT-Nahwärme kalte NW oder low-ex		und Solarthermie	Wärmepumpe	Sole-Netz	low-ex	low-ex
		Erdgas	Luft-Wasser-		Nahwärme 42	Nahwärme 38
kapitalgebundene Kosten						
Kapitaldienstfaktor Ø	%	6,7%	6,7%	5,8%	5,7%	5,7%
Kapitaldienst	€/a	79.684	109.123	162.571	177.969	177.969
bezogen auf Wärmeabnahme	€/MWh	27	36	54	60	60
Betriebskosten						
Wartung und Instandhaltung	€/a	21.882	40.587	55.729	51.454	51.454
bezogen auf Wärmeabnahme	€/MWh	7	14	19	17	17
Verbrauchskosten						
gesamt	€/a	150.353	192.966	178.059	90.655	95.279
bezogen auf Wärmeabnahme	€/MWh	50	65	60	30	32
Kostenübersicht						
Kapitalkosten	€/MWh	27	36	54	60	60
Betriebskosten	€/MWh	7	14	19	17	17
Verbrauchskosten	€/MWh	50	65	60	30	32
gesamt	€/MWh	84	115	133	107	109
Vollkosten brutto je m <sup>2</sup> und Monat	€/m <sup>2</sup> Mon br	0,42	0,57	0,66	0,53	0,54

## 8.7 Berechnungstabellen Nordabschnitt 1

Bereich 1.1.a, 1.1.b, 1.2		Referenz 1	Referenz 2			
konventionelle Nahwärme		und Solarthermie	Wärmepumpe	monovalent	BHKW	BHKW
		Erdgas	Luft-Wasser-	Holzpellets	Erdgas	Erdgas
<b>Grunddaten</b>						
Anzahl Gebäude	Geb	17	17	17	17	17
Wohnfläche je Gebäude Ø	m²/Geb	1.411	1.411	1.411	1.411	1.411
beheizte Wohnfläche	m²	23.992	23.992	23.992	23.992	23.992
<b>Energiebedarf Heizung und Warmwasser</b>						
Summe Anschlussleistungen	kW	1.436	1.436	1.436	1.436	1.436
Gleichzeitigkeitsfaktor	-	1	1	1	1	1
notwendige Wärmeleistung	kW	1.436	1.436	1.436	1.436	1.436
Energiebedarf Heizung	MWh/a	2.085	2.085	2.085	2.085	2.085
Energiebedarf Warmwasser	MWh/a	269	269	269	269	269
Energiebedarf Gebäude gesamt	MWh/a	2.354	2.354	2.354	2.354	2.354
Netzverluste	MWh/a			168	168	168
prozentuale Netzverluste	-			7%	7%	7%
notwendige Wärmeerzeugung	MWh/a	2.354	2.354	2.522	2.522	2.522
<b>Wärmeerzeugungsstruktur</b>						
Erdgas Kessel	MWh/a	2.001	-	-	1.183	613
Grundlastanteil oder Solarthermie	%	15%	-	100%	53%	76%
Grundlastwärme KWK/EE	MWh/a	353	-	2.522	1.339	1.909
Wärme aus Wärmepumpe	MWh/a		2.354			
gesamt	MWh/a	2.354	2.354	2.522	2.522	2.522
<b>Grundlastauslegungen</b>						
elektrische Leistung	kW	-	-	-	120	200
thermische Leistung	kW	-	-	1.436	200	333
Grundlastanteil Leistung	-	-	-	100%	14%	23%
Brennstoffleistung	kW	-	-	1.690	364	606
Volllaststunden	h/a	-	-	1.756	6.695	5.727
elektrische Arbeit	MWh/a	-	-	-	803	1.145
thermische Arbeit	MWh/a	353	-	2.522	1.339	1.909
Grundlastanteil Arbeit	-	15%	-	100%	53%	76%
Brennstoffverbrauch	MWh/a	-	-	2.967	2.435	3.471
Module Grundlast	-	-	-	2	1	2
Rest-Leistung Spitzenkessel	kW	1.436	-	-	1.436	1.270
<b>thermische Nutzungsgrade</b>						
Erdgas Kessel	-	0,90	-	-	0,93	0,93
Erdgas KWK	-	-	-	-	0,55	0,55
Wärmepumpenstrom dezentral	-		2,20	-	-	-
Solarthermie	-	1,00	-	-	-	-
PV-Strom	-	-	-	-	-	-
Holz-Pellets	-	-	-	0,85	-	-
elektrische Nutzungsgrad KWK	-	-	-	-	0,33	0,33
<b>Endenergieverbrauch</b>						
Erdgas Kessel	MWh/a	2.223	-	-	1.272	659
Erdgas KWK	MWh/a	-	-	-	2.435	3.471
Wärmepumpenstrom dezentral	MWh/a	-	1.070	-	-	-
Holz-Pellets	MWh/a	-	-	2.967	-	-
Solarthermie	MWh/a	353	-	-	-	-
Hilfsstrom Wärmenetz und HZ	MWh/a	-	-	50	38	38
Stromerzeugung	MWh/a	-	-	-	803	1.145
<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen</b>						
bezogen auf beheizte Fläche	kg/m²a	24	28	8	19	14
gesamt	t/a	565	663	191	452	346
CO <sub>2</sub> -Minderung um ...%	%	0%	-17%	66%	20%	39%

## 8.8 Berechnungstabellen Nordabschnitt 2

Bereich 1.1a, 1.1.b, 1.2		Referenz 1	Referenz 2			
konventionelle Nahwärme		und Solarthermie	Wärmepumpe	monovalent	BHKW	BHKW
		Erdgas	Luft-Wasser-	Holzpellets	Erdgas	Erdgas
Endenergiepreise	0					
Erdgas Kessel	€/MWh	60	-	-	55	55
Erdgas KWK	€/MWh	-	-	-	49	49
Wärmepumpenstrom dezentral	€/MWh	-	200	-	-	-
Holz-Pellets	€/MWh	-	-	50	-	-
Solarthermie	€/MWh	-	-	-	-	-
Hilfsstrom Wärmenetz und HZ	€/MWh	240	240	230	230	230
Stromerzeugung	€/MWh	-	-	-	50	50
Investitionen						
dezentral je Haus bis Verteilerabgang	<i>kW Ø</i>	<i>84</i>	<i>84</i>	<i>84</i>	<i>84</i>	<i>84</i>
Wärmeerzeuger	€/Geb	18.899	68.863			
Übergabestation	€/Geb			6.000	6.000	6.000
Solarthermie	€/Geb	24.726	-	-	-	-
Hausanschluss	€/Geb	4.000	-	8.000	8.000	8.000
Summe	€/Geb	47.625	68.863	14.000	14.000	14.000
Förderung	€/Geb	-	-	-	-	-
Summe ./ Förderung	€/Geb	47.625	68.863	14.000	14.000	14.000
gesamt im Plangebiet						
Wärmeerzeuger	T€	321	1.171	-	-	-
Übergabestation	T€	-	-	102	102	102
Solarthermie	T€	420	-	-	-	-
Hausanschluss	T€	68	-	136	136	136
Summe	T€	810	1.171	238	238	238
Förderung	T€	-	-	-	-	-
Summe ./ Förderung	T€	810	1.171	238	238	238
Netze						
Netzlänge	m	-	-	1.705	1.705	1.705
spezifische Kosten Ø	€/m	-	-	369	369	369
Nahwärmenetz	T€	-	-	630	630	630
Förderung	T€	-	-	171	-	171
Summe ./ Förderung	T€	-	-	459	630	459
Heizzentrale						
thermische Leistung Spitzenkessel	kW				1.436	1.436
spezifische Kosten	€/kW				80	80
Gaskessel	T€				115	115
thermische Leistung Holzpelletkessel	kW			1.436		
spezifische Kosten	€/kW			210		
Holzpellet-Kessel	T€			302		
elektrische Leistung BHKW	kW				120	200
spezifische Kosten	€/kW				1.054	1.123
BHKW-Anlage ASUE	T€				126	176
hydraulische/elektrische Einbindung	T€			211	146	181
Pufferspeicher für 2 Stunden	T€			37	10	9
Netzpumpen, Druckhaltung	T€			20	20	20
Abgasanlage	T€			25	15	15
Fördertechnik+Lager Holzpellets	T€			60	-	-
Gebäude Heizzentrale (350 - 500 €/m³)	T€			192	144	144
Planung 20%	T€			169	115	132
Unvorhergesehenes 10%	T€			85	58	66
Summe Wärmeerzeugung zentral	T€			1.101	750	857
Summe Netze	T€			459	630	459
Summe Gebäude dezentral	T€	810	1.171	238	238	238
gesamt	T€	810	1.171	1.798	1.617	1.554

## 8.9 Berechnungstabellen Nordabschnitt 3

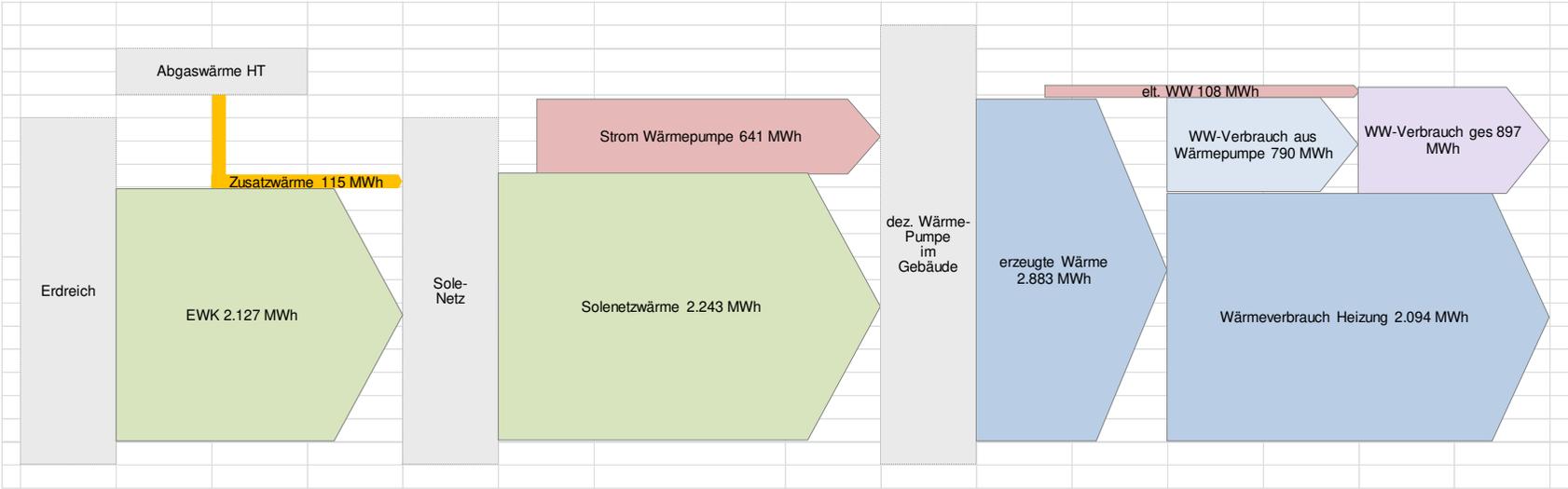
Bereich 1.1a, 1.1.b, 1.2		Referenz 1	Referenz 2			
konventionelle Nahwärme		und Solarthermie	Wärmepumpe	monovalent	BHKW	BHKW
		Erdgas	Luft-Wasser-	Holzpellets	Erdgas	Erdgas
kapitalgebundene Kosten						
Kapitaldienstfaktor Ø	%	6,7%	6,7%	5,8%	5,8%	6,1%
Kapitaldienst	€/a	54.419	78.687	104.418	93.747	95.254
bezogen auf Wärmeabnahme	€/MWh	23	33	44	40	40
Betriebskosten						
Wartung und Instandhaltung	€/a	15.017	29.267	28.634	17.291	18.135
Vollwartung KWK-Anlagen	€/MWh <sub>el</sub>	-	-	-	21	22
Vollwartung KWK-Anlagen	€/a	-	-	-	16.820	25.097
gesamt	€/a	15.017	29.267	28.634	34.111	43.232
bezogen auf Wärmeabnahme	€/MWh	6	12	12	14	18
Verbrauchskosten						
gesamt	€/a	133.387	213.991	159.951	197.733	214.709
bezogen auf Wärmeabnahme	€/MWh	57	91	68	84	91
Erlöse und KWKG-Zuschlagszahlungen						
Stromerlöse bzw. vermiedene Kosten	T€/a				40.171	57.269
bezogen auf Wärmeabnahme	€/MWh				17	24
Zuschläge nach KWKG-G 2016	kWh <sub>el</sub>				120 kW	200 kW
Begrenzung auf Stunden gesamt	h				30.000	30.000
Zahlungszeitraum	a				4,5	5,2
Zahlung zu Anfang	ct/kWh				6,67	6,00
effektiv nach Anteil BHKW-Laufzeit	ct/kWh				3,33	3,00
	T€/a				26.781	34.361
	€/MWh				11	15
Kostenübersicht						
Kapitalkosten	€/MWh	23	33	44	40	40
Betriebskosten	€/MWh	6	12	12	14	18
Verbrauchskosten	€/MWh	57	91	68	84	91
Stromvergütung	€/MWh	-	-	-	17	24
Zuschläge nach KWKG-G	€/MWh	-	-	-	11	15
gesamt	€/MWh	86	137	124	110	111
Vollkosten brutto je m <sup>2</sup> und Monat	€/m <sup>2</sup> Mon br	0,84	1,33	1,21	1,07	1,08

## 8.10 Primärenergiefaktoren

Die hier angegebenen Faktoren dienen der Ersteinschätzung; sie sind im Verlauf der weiteren Vertiefung der Planung anzupassen und vor der Verwendung in EnEV-Nachweisen zertifizieren zu lassen.

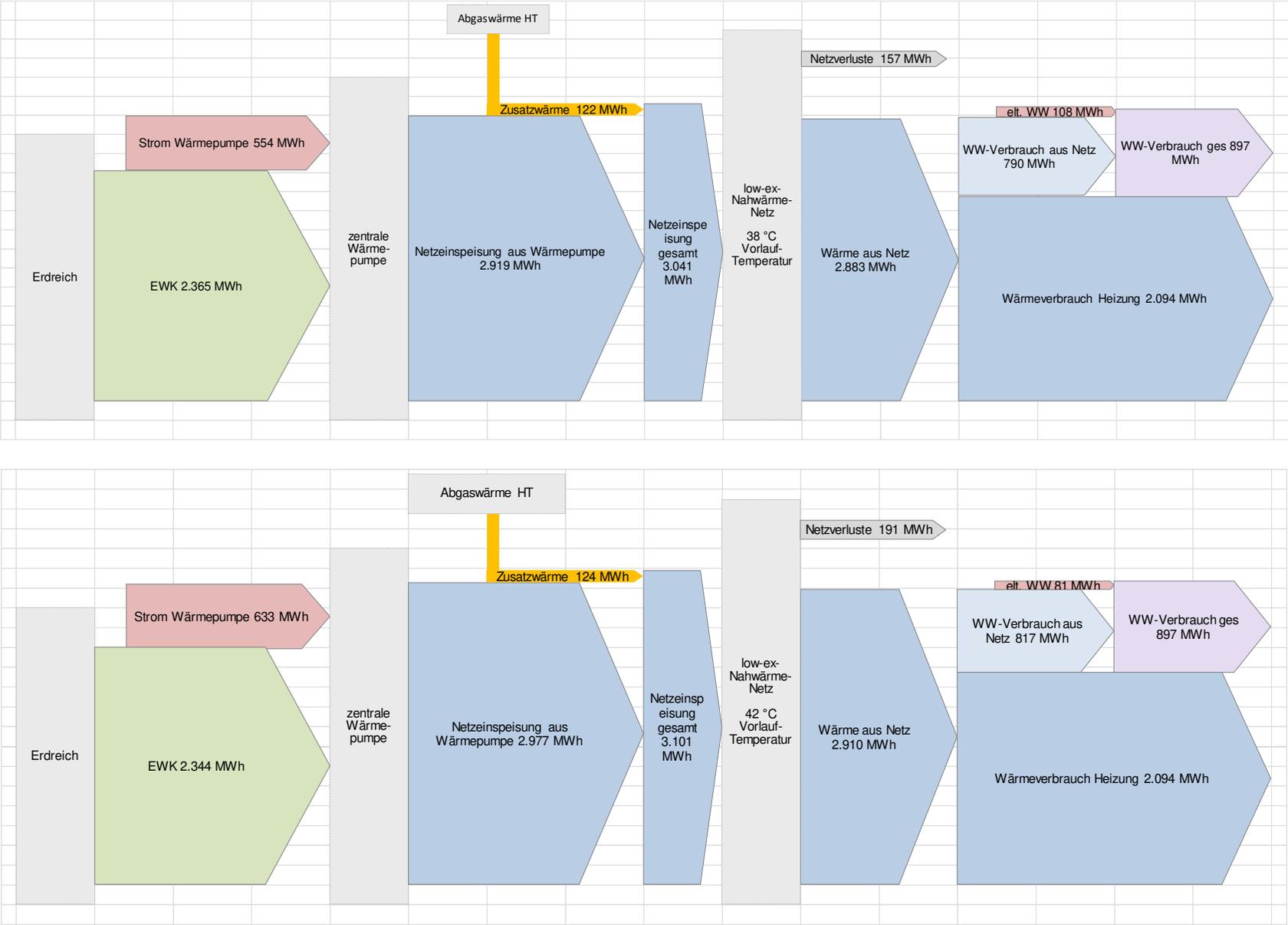
Neubauten ohne Bereich 2.1		Referenz 1	Referenz 2			
NT-Nahwärme kalte NW oder low-ex		und Solarthermie	Wärmepumpe	Sole-Netz	low-ex	low-ex
		Erdgas	Luft-Wasser-		Nahwärme 42	Nahwärme 38
Primärenergiefaktor						
bezogen auf Wärmelieferung an Kunden	-	1,02	0,58	0,51	0,47	0,45
PE-Minderung um ...%	%	0%	43%	50%	54%	56%

Bereich 1.1a, 1.1.b, 1.2		Referenz 1	Referenz 2			
konventionelle Nahwärme		und Solarthermie	Wärmepumpe	monovalent	BHKW	BHKW
		Erdgas	Luft-Wasser-	Holzpellets	Erdgas	Erdgas
bezogen auf Wärmenetzeinspeisung	-			0,27	0,75	0,56
bezogen auf Wärmelieferung an Kunden	-	1,05	0,82	0,29	0,81	0,60
PE-Minderung um ...%	%	0%	22%	72%	24%	43%



### 8.11 Energiefluss kalte Nahwärme

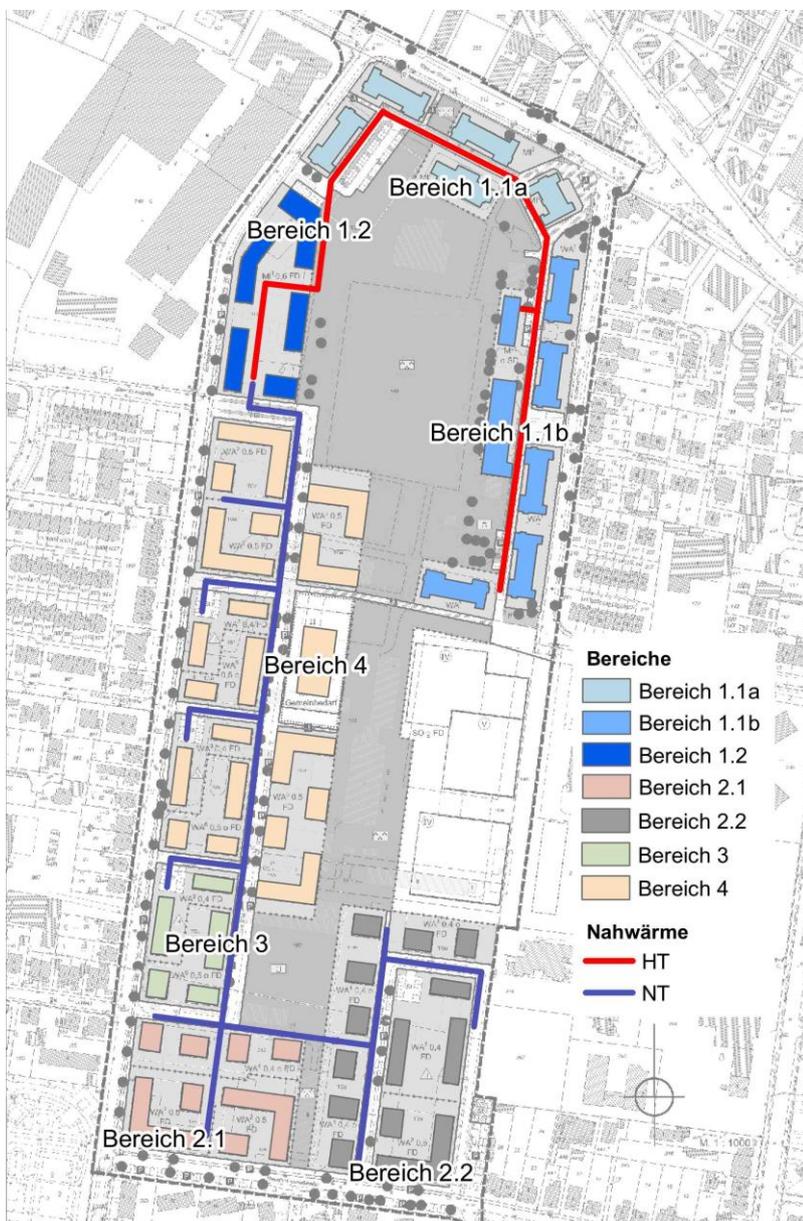
8.12 Energiefluss low-ex-Nahwärme 38 °C Vorlauf und 42 °C Vorlauf



Auftraggeber: Stadt Paderborn

# Energieversorgungskonzept Alanbrooke – Ergänzung –

September 2019





Bearbeitung durch:

Gertec GmbH Ingenieurgesellschaft  
Martin-Kremmer-Str. 12  
45327 Essen  
Telefon: +49 [0]201 24 564-0

Auftraggeber:

Stadt Paderborn  
Amt für Umweltschutz und Grünflächen  
Pontanusstraße 55  
33102 Paderborn

Torsten Strohdiek  
Telefon: 05251 88-1865  
E-Mail: [t.strohdiek@paderborn.de](mailto:t.strohdiek@paderborn.de)

Dieser Bericht darf nur unverkürzt vervielfältigt werden. Eine Veröffentlichung, auch auszugsweise, bedarf der Genehmigung durch die Verfasserin.



# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	6
1 Aufgabenstellung	7
2 Detaillierung des Variantenvergleichs	8
2.1 Gesamtbetrachtung Nord- und Südabschnitt	8
2.2 Aspekte der Systemkopplung	9
2.2.1 Brennwertnutzung	9
2.2.2 Strompreis	10
2.3 Bauliche Erfordernisse, Platzbedarf	10
2.3.1 Brennstofflager für Holz-Pellets und Lieferverkehr	10
2.3.2 Holzpellet-Kessel-Anlage	12
2.3.3 Unterbringung einer Holzpellet-Kesselanlage inklusive Lagerflächen	13
2.4 Ergebnis für Kosten und CO <sub>2</sub>	14
3 Optimierung durch Bezug von Öko-Energie	16
3.1 Ökostrombezug	16
3.1.1 Kosten	16
3.1.2 CO <sub>2e</sub> -Emissionen	16
3.2 Biomethanbezug nach EEG	17
3.2.1 Kosten	18
3.2.2 CO <sub>2e</sub> -Emissionen	19
3.3 alternatives Ergebnis für Kosten und CO <sub>2e</sub>	20
4 Einbeziehung der lokalen Emissionen	21
5 Auswirkungen auf die Belange der WGP	24
5.1 Förderfähigkeit trotz Grunddienstbarkeit und Anschlusszwang	24
5.1.1 Dezentrale Wärmepumpe für kalte Nahwärme	24
5.1.2 KfW Förderung Erneuerbare Energien "Premium"	25
5.2 Anbindung der WGP-Gebäude beim Low-Ex-Netz.	25
6 Zusammenführung der Kriterien als Nutzwertanalyse	28

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	möglicher Aufstellplan in einer Heizzentrale	12
Abbildung 2	Prüfung Nachnutzung von Bestandsgebäuden zur Unterbringung einer Holzpellet-Kesselanlage (B-Plan Stand 2017 und Stand 2019)	13
Abbildung 3	spezifische Vollkosten und CO <sub>2</sub> -Emissionen	15
Abbildung 4	Variante Öko-Energie, spezifische Vollkosten und CO <sub>2</sub> -Emissionen	20
Abbildung 5	Beispielergebnis Immissionssimulation	23
Abbildung 6	Baufelder (rot gekennzeichnet) für den geförderten Wohnungsbau	26
Abbildung 7	Skalierung der quantitativen Kriterien	29
Abbildung 8	Ergebnis für verschiedene Gewichtungen im Vergleich	31

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Summenwerte für beide Teilgebiete, Grunddaten und Energiebedarf	8
Tabelle 2	Lagerraumbedarf für Holzpellets	11
Tabelle 3	Lieferverkehr und Fahrthäufigkeit	11
Tabelle 4	Abmessungen Bestandsgebäude und Raumbedarf	14
Tabelle 5	spezifische Vollkosten und CO <sub>2</sub> -Emissionen	14
Tabelle 6	Emissionsfaktoren für Strom aus Erneuerbaren Energien	17
Tabelle 7	Emissionsfaktoren für einen definierten Öko-Strommix	17
Tabelle 8	Anteile Biomethan/Fossilgas und Kosten/Erlöse bei EEG-Auslegung	19
Tabelle 9	Anteile Biomethan/Fossilgas und Kosten/Erlöse in der 100%-Variante	19
Tabelle 10	Emissionsfaktoren für Luftschadstoffe in Vergleich	22
Tabelle 11	Kriterien und Gewichtung	28
Tabelle 12	Ergebnis Nutzwertanalyse bei Gewichtung 1 (Gutachternvorschlag)	30
Tabelle 13	Ergebnis Nutzwertanalyse bei Gewichtung 3 (Ökoenergie-Priorität)	30

# 1 Aufgabenstellung

Im Juni 2019 sind wesentliche Ergebnisse des Energiekonzepts für die Konversionsfläche „Alanbrooke“ vorgestellt worden. Die Bearbeitung und bestimmte Richtungsentscheidungen waren in Abstimmung mit der begleitenden Arbeitsgruppe erfolgt.

Die Empfehlung zielte auf die Errichtung des konventionellen Nahwärmenetzes für den Nordabschnitt ab, das aus einer fossil befeuerten KWK-Anlage versorgt werden sollte. Der Südabschnitt sollte aus der Quelle eines flächigen Erdwärmekollektors mit Erneuerbaren Energien versorgt und die erforderlichen Wärmepumpen zentral oder dezentral betrieben werden. Energieträger für den Antrieb der Wärmepumpen war im Konzept Strom aus dem öffentlichen Netz als bundesdeutscher Mix.

Von den kommunalpolitischen Entscheidungsträgern wurde eine stärkere und breitere Orientierung auf Erneuerbare Energie gewünscht. Der Betrieb eines BHKW mit fossilem Erdgas wurde skeptisch eingeschätzt.

Vor diesem Hintergrund ist ein Ergänzungs-Auftrag zur Vertiefung und Ergänzung mit den folgenden Schwerpunkten erteilt worden, der in diesem Bericht abgearbeitet wird.

- gemeinsame Betrachtung von Nord- und Südabschnitt
  - Kopplungsvorteile der Systemvariante
  - Vertiefung der Holzpellet-Variante
  - Platzbedarf
  - Bezug von Ökostrom
  - Bezug von Biogas bzw. Biomethan
  - lokale Emissionen, Luftschadstoffe aus der Holzfeuerung
  - Belästigungen durch Verkehr und Lärm bei der Brennstoffanlieferung
  - Berücksichtigung besonderer Belange des geförderten Wohnungsbaus
- 
- Zusammenführung aller Aspekte in einem Wertungs-Schema

## 2 Detaillierung des Variantenvergleichs

### 2.1 Gesamtbetrachtung Nord- und Südabschnitt

Die Entscheidung für ein Versorgungssystem kann für den Nordabschnitt mit dem Schwerpunkt der Bestandsbauten und den Südteil mit den Neubauten grundsätzlich auch getrennt getroffen werden. Es gibt jedoch zwischen den beiden Abschnitten Zusammenhänge und Verbindungen, die eine gemeinsame Betrachtung nahelegen bzw. erforderlich machen.

Die Verbindung beider Gebiete besteht über die zunächst präferierte KWK-Anlage. Diese liefert kostengünstig Strom für die zentrale Wärmepumpenanlage und auch ohne zusätzlichen Primärenergieaufwand die eventuell benötigte Zusatzwärme aus der Abgaskondensation.

Die Kombination von drei Varianten Nordabschnitt mit drei Varianten Südabschnitt ergibt 9 Möglichkeiten, die im Vergleich untereinander zu unübersichtlichen Darstellungen führen würden. Aus Praktikabilitätsgründen erfolgt vorab eine Reduzierung auf jeweils zwei Varianten. Die im Folgenden nicht mehr berücksichtigten Neben-Varianten „BHKW mit 1 x 120 kW<sub>el</sub>“ und „low-ex mit 42 °C Vorlauf“ weichen nur in geringem Maße von den hier berücksichtigten Varianten ab. Sie sind wirtschaftlich geringfügig besser, weisen aber etwas höhere CO<sub>2e</sub>-Emissionen auf.

- Nordabschnitt: Holzpellet und BHKW (2 x 100 kW<sub>el</sub>, 75% der Wärmenetzeinspeisung)  
„HP“ „KWK“
- Südabschnitt: kalte Nahwärme und low-ex-Netz (Vorlauf 38 °C)  
„KN“ „LE“

Die Kurzbezeichnungen in Tabellen und Diagrammen sind dann HP-KN, HP-LE, KWK-KN und KWK-LE. Als Referenzvariante wird die Erdgasbeheizung (mit solarthermischer Unterstützung) mit dem Kurztitel GAS weiter mitgeführt.

Der Versorgungsumfang stellt sich in der Summe der beiden Teilabschnitte Nord und Süd wie folgt dar.

Plangebiet gesamt		Referenz				
System im Bestand, Nordabschnitt		GAS	HP	HP	KWK	KWK
System im Neubau, Südabschnitt		GAS	KN	LE	KN	LE
<b>Grunddaten</b>						
Anzahl Gebäude	Geb	63	63	63	63	63
Wohnfläche je Gebäude Ø	m <sup>2</sup> /Geb	1.330	1.330	1.330	1.330	1.330
beheizte Wohnfläche	m <sup>2</sup>	83.812	83.812	83.812	83.812	83.812
<b>Energiebedarf Heizung und Warmwasser</b>						
Summe Anschlussleistungen	kW	3.428	3.428	3.428	3.428	3.428
Gleichzeitigkeitsfaktor	-	1	1	1	1	1
notwendige Wärmeleistung	kW	3.428	3.428	3.428	3.428	3.428
Energiebedarf Heizung	MWh/a	4.178	4.178	4.178	4.178	4.178
Energiebedarf Warmwasser	MWh/a	1.167	1.167	1.167	1.167	1.167
Energiebedarf Gebäude gesamt	MWh/a	5.345	5.345	5.345	5.345	5.345
prozentuale Netzverluste	-		3%	6%	3%	6%
Netzverluste	MWh/a		168	325	168	325

Tabelle 1 Summenwerte für beide Teilgebiete, Grunddaten und Energiebedarf

## 2.2 Aspekte der Systemkopplung

Es gibt zwei wichtige Kopplungsvorteile, die jedoch nicht in allen Kombinationen wirksam werden:

- **Brennwertnutzung:** Die Kondensationswärme der Erdgasabgase von BHKW und Kessel kann für die thermische Unterstützung des Erdwärmekollektors genutzt werden. Brennwertnutzung ist bei gasförmigen Brennstoffen einfach realisierbar, wenn die Rücklauftemperaturen des Heizsystems ausreichend tief sind. Anstelle des Heizungsrücklaufs wird in diesem Fall die im Erdwärmekollektor zirkulierende Sole zur Abgaskondensation genutzt. Die Temperaturen sind nochmals deutlich tiefer als die eines Heizungsrücklaufs und bieten optimale Voraussetzungen.
- **Stromeigenverbrauch:** Zum Antrieb der zentralen Wärmepumpen, die dem Südabschnitt versorgen, kann BHKW-Strom eingesetzt werden. Dieser muss nicht durch ein Netz der öffentlichen Versorgung geleitet werden und ist somit als Eigenverbrauch nicht mit allen Umlagen und Abgaben voll belastet.

Die beiden Holzpellet-Varianten HP/KN und HP/LE können den Kopplungsvorteil Stromeigenverbrauch/Abgabenvermeidung nicht realisieren. Die Brennwertnutzung ist bei Holzabgasen aus der Feststoffverbrennung wesentlich schwieriger umzusetzen als bei gasförmigen Brennstoffen.

In der Variante KWK/KN wird die Brennwertnutzung ermöglicht, aber der Stromeigenverbrauch ist nicht möglich. Beide Vorteile, die Brennwertnutzung und der Stromeigenverbrauch, können nur in Variante KWK/LE nutzbar gemacht werden.

### 2.2.1 Brennwertnutzung

#### Erdgas

Um möglichst große Anteile der Kondensationswärme verfügbar zu machen, sind sowohl die Abgase des BHKW, als auch die des Kessels über einen nachgeschalteten Abgaswärmetauscher zu führen.

#### Holzpellets

Die bisherige Einschätzung zur Brennwertnutzung bei Holz war eher negativ. Es gibt bei umgesetzten Projekten, an denen Gertec beteiligt war, bisher keinen Fall der Brennwertnutzung. Dies liegt auch daran, dass bei der Versorgung von Bestandsgebäuden und in Nahwärmenetzen die für eine Brennwertnutzung erforderlichen niedrigen Rücklauftemperaturen nicht erreicht werden. Die Situation im Plangebiet mit der Kopplung an den Erdwärmekollektor ist jedoch anders, so dass diese erste Einschätzung geprüft werden muss.

Der Wasserdampfgehalt des Abgases stammt zu einem Teil aus der Verbrennung der Kohlenwasserstoffe des Holzes und zum anderen Teil aus dem Wassergehalt der trockenen Pellets, der noch bei ca. 8 % liegt.

Die Brennwertnutzung bei Holz wird durch den Luftüberschuss erschwert, der bei Feststoffen für eine vollständige Verbrennung immer höher sein muss als bei einer Gasverbrennung. Das Abgasvolumen ist bei der Holzverbrennung wesentlich höher als bei Gas. Der hohe Luftanteil im Abgas bindet den Wasserdampf und ist nachteilig für den Kondensationsvorgang, die Ausnutzung der theoretischen Differenz von Heiz- und Brennwert erfolgt nur zu geringeren Anteilen.

Weiterhin führt der hohe Volumenstrom zu höheren Baugrößen im Abgaswärmetauscher. Der anlagentechnische Aufwand und die Kosten steigen an.

Der technische Aufwand und der Betriebsaufwand sind als hoch einzuschätzen. In Versorgungssituationen, in denen ohnehin immer Personal anwesend ist, kann eine Brennwertnutzung bei Holz unter Umständen realisiert werden.

In einer öffentlichen Wärmeversorgung sollte der Schwerpunkt auf einem störungsfreien Betrieb mit geringstmöglichem Personaleinsatz liegen.

Ohne Brennwertnutzung muss bei zu stark absinkender Temperatur im Erdwärmekollektor zusätzliche Wärme mit den Brennstoff Pellets erzeugt werden. Dies ist als Kostengröße in der Wirtschaftlichkeitsberechnung einzubeziehen.

## 2.2.2 Strompreis

Die Aspekte der Stromvergütung und des Stromeigenverbrauchs sind hier noch exakter als bisher zu definieren, der Verrechnungsstrompreis zwischen Nord und Süd ist festzulegen. Der Vorteil der Abgaben- und Umlagenvermeidung darf dabei in der Gesamtbilanz nur einmal berücksichtigt werden.

In der bisher getrennten Betrachtung war die Stromvergütung für das BHKW mit 5 ct/kWh für die Einspeisung zuzüglich 3 ct/kWh Zuschlag<sup>1</sup> nach KWKG zugrunde gelegt, zusammen somit 8 ct/kWh als mittlerer Wert des erzeugten Stroms.

Für den Strombezug der Wärmepumpen war ein Preis in Höhe von 9 ct/kWh zugrunde gelegt, wenn eigenerzeugter BHKW-Strom eingesetzt werden konnte, sonst 18 ct/kWh als Preis des Netzstrombezugs.

Die Eigenstromerzeugung und –nutzung kann Abgaben und Umlagen weitgehend, aber nicht vollständig vermeiden. Mit dem EEG 2014 wurde die EEG-Umlage auf Eigenverbrauch eingeführt. Bei neuen Anlagen sind 40% der EEG-Umlage abzuführen. Dies gilt auch für den BHKW-Strom, der in der Heizzentrale für den Antrieb der zentralen Wärmepumpen genutzt wird.

Der Strom verteuert sich somit um 40% der EEG-Umlage, die 2019 bei 6,405 ct/kWh liegt. Dies entspricht zusätzlichen Kosten von ca. 2,6 ct/kWh. Als Bezugspreis für die Stromversorgung der Wärmepumpe aus Eigenerzeugung kann  $8 + 2,6 = 10,6$  ct/kWh in Ansatz gebracht werden.

Die Wärmepumpen benötigen im Volllastbetrieb eine elektrische Leistung von ca. 400 kW, während die BHKW-Anlage nur  $2 \times 100$  kW<sub>el</sub> liefern kann. Die Fehlmenge muss zu Spitzenlastzeiten aus dem öffentlichen Netz bezogen werden, diese Menge ist mit allen Abgaben und Umlagen belastet.

Die Mengenverteilung zwischen Eigenerzeugung und Netzbezug wird mit 20% zu 80% abgeschätzt. Damit liegt der mittlere Strompreis für Variante KWK/LE bei 12,1 ct/kWh.

## 2.3 Bauliche Erfordernisse, Platzbedarf

### 2.3.1 Brennstofflager für Holz-Pellets und Lieferverkehr

Der Platzbedarf für das Pelletlager war bisher nicht über eine Festlegung der Einlagerungsmenge ermittelt worden. Das geringste Lagervolumen kann auf Basis einer wöchentlichen Befüllung ermittelt werden, eine höhere Versorgungssicherheit ist mit 2-wöchiger Befüllung zu erzielen. Zur Überbrü-

---

<sup>1</sup> bei 200 kW für die ersten 30.000 Stunden 6 ct/kWh, danach ohne Zuschlag, als Mittelwert 3 ct/kWh

ckung der Zeit von Weihnachten bis Neujahr benötigt man 10 Tage, in dieser Zeit können auch Temperaturen im Bereich der Auslegungstemperatur auftreten.

Im Folgenden wird von einem 2-Wochen-Zeitraum mit 2 Tagen Sicherheitszuschlag ausgegangen, dabei aber nicht mit konstant -10 °C über 16 Tage, sondern mit Bezug auf die kälteste Phase des TRY-Temperaturverlaufs.

		Lager für 1 Woche	Lager für 2 Wochen
Maximum Bedarf	MWh	122	220
+ 2 Tage	-	1,29	1,14
mit Reserve-Aufschlag	MWh	157	252
Nutzungsgrad	-	0,85	0,85
Brennstoffbedarf	MWh	184	296
Heizwert	MWh/t	5,00	5,00
Gewicht	t	37	59
Schüttdichte	t/m <sup>3</sup>	0,65	0,65
Volumen Pellets	m <sup>3</sup>	57	91
Füllgrad Lagerraum	-	0,8	0,8
Volumen Lagerraum	m <sup>3</sup>	71	114
Fläche bei 6 m Höhe	m <sup>2</sup>	12	19
Länge	m	4,0	6,0
Breite	m	3,0	3,2

Tabelle 2 Lagerraumbedarf für Holzpellets

Der Lieferverkehr wird auf der Grundlage eines LKW mit 20 t Pelletbeladung kalkuliert.

	Bedarf Wärme MWh	Bedarf Brennstoff t	Anzahl LKW 20t -	Anzahl Fahrten -/Monat	Anzahl Fahrten -/Woche
Nov-Jan	1.061	250	12	4,2	1,0
Feb-April	857	202	10	3,4	0,8
Mai-Juli	275	65	3	1,1	0,2
Aug-Okt	329	78	4	1,3	0,3
Jahr	2.522	593	30		

Tabelle 3 Lieferverkehr und Fahrthäufigkeit

Im Winterhalbjahr muss häufiger gefahren werden als im übrigen Jahr. Mehr als eine Lieferung je Woche ist nicht erforderlich.

Für die Befüllung des Lagers gibt es zwei Möglichkeiten:

- mit Gebläse und Schlauch in einen Bunker, die Entfernung sollte dabei nicht zu groß sein,
- Schüttung in einen tiefer gelegenen Bunker oder mit Rampe.

Die Lärmbelästigung beim Einblasen ist begrenzt auf einen Befüllvorgang je Woche im Winter. Das Einblasen von 20 t dauert 30 bis 60 Minuten. Die Schüttung geht wesentlich schneller, braucht aber eine passende räumliche Zuordnung von LKW-Zufahrt und Lager. Die Pellets sind beim Einblasen vor

Feuchtigkeit geschützt. Schütten bei feuchter Witterung kann dazu führen, dass die Pellets aufquellen und in der Fördertechnik zu Betriebsstörungen führen.

In Abwägung der Vor- und Nachteile wird eine Einblaslösung empfohlen. In diesem Fall ist zudem die Bunkergestaltung bzw. Gebäudeintegration leichter an die örtlichen Voraussetzungen anzupassen.

### 2.3.2 Holzpellet-Kessel-Anlage

Die Anordnung der Komponenten in einer Holzpellet-Kessel-Anlage könnte sich wie folgt darstellen. Der zugehörige Bunker ist entsprechend den Ausführungen unter 2.3.1 dimensioniert.

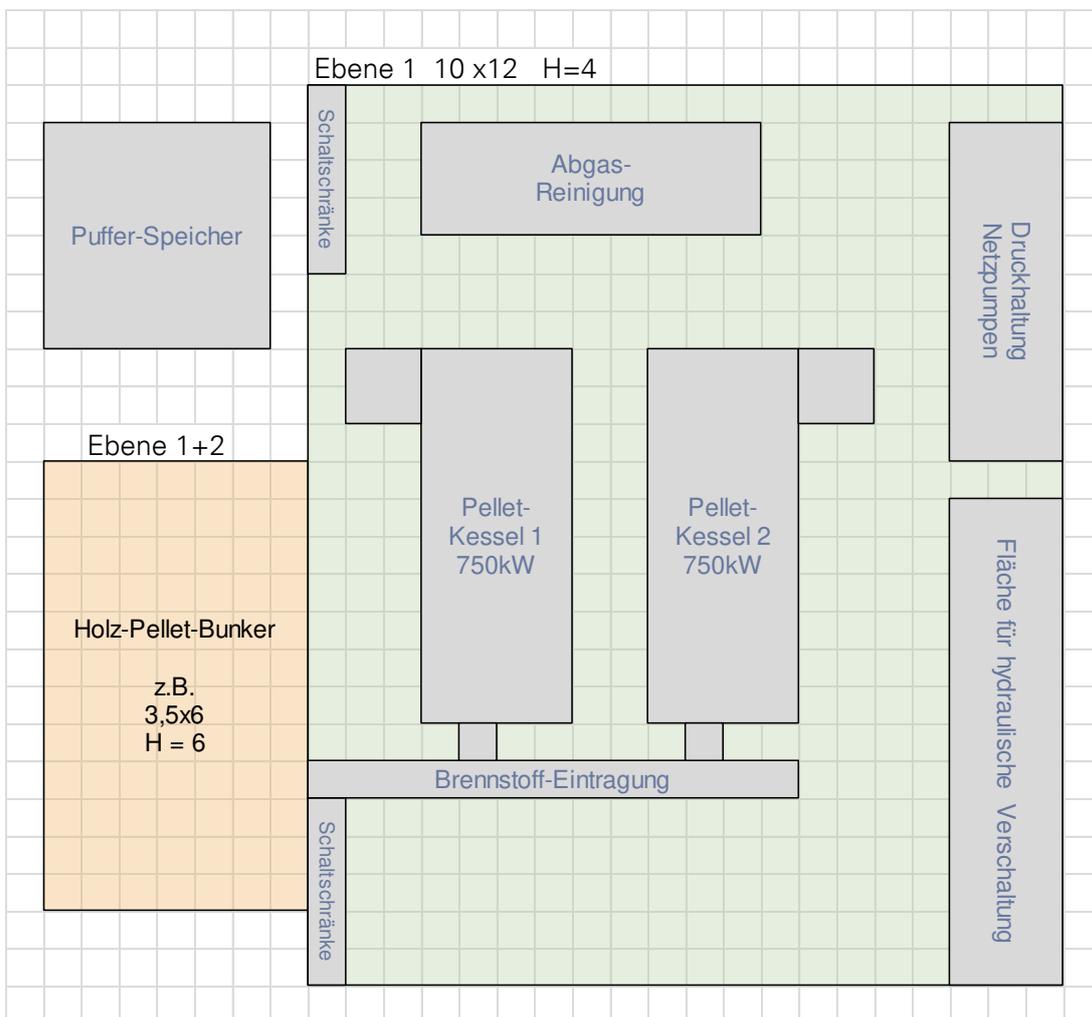


Abbildung 1 möglicher Aufstellplan in einer Heizzentrale

Wenn die Heizzentrale auf einer Ebene untergebracht werden soll, ist eine Fläche von 120 m<sup>2</sup> bei einer Höhe von 4 m ausreichend. Die größere Bauhöhe von Pellet-Kesseln erfordert diese Raumhöhe.

### 2.3.3 Unterbringung einer Holzpellet-Kesselanlage inklusive Lagerflächen

Im Versorgungskonzept ist der Platzbedarf grob geschätzt worden, um über das Volumen des umbauten Raumes eine Kalkulationsgrundlage für bauliche Kosten zu erhalten. Der nachträglich erstellte Aufstellplan bestätigt diese Größeneinschätzung.

Probleme der Raumhöhen und Einbringung bei Nutzung vorhandener Gebäude wurden noch nicht berücksichtigt.

Als Standort der Heizzentrale ist das Gebäude 20 vorgesehen. Die Errichtung der Heizzentrale auf dem Baufeld der Parkpalette (GGa), als Anbau oder integriert, kommt nicht in Frage. Die Parkpalette wird von einem privaten Investor zu errichten sein und darüber hinaus zum Start des Nahwärmenetzes voraussichtlich noch nicht gebaut sein.

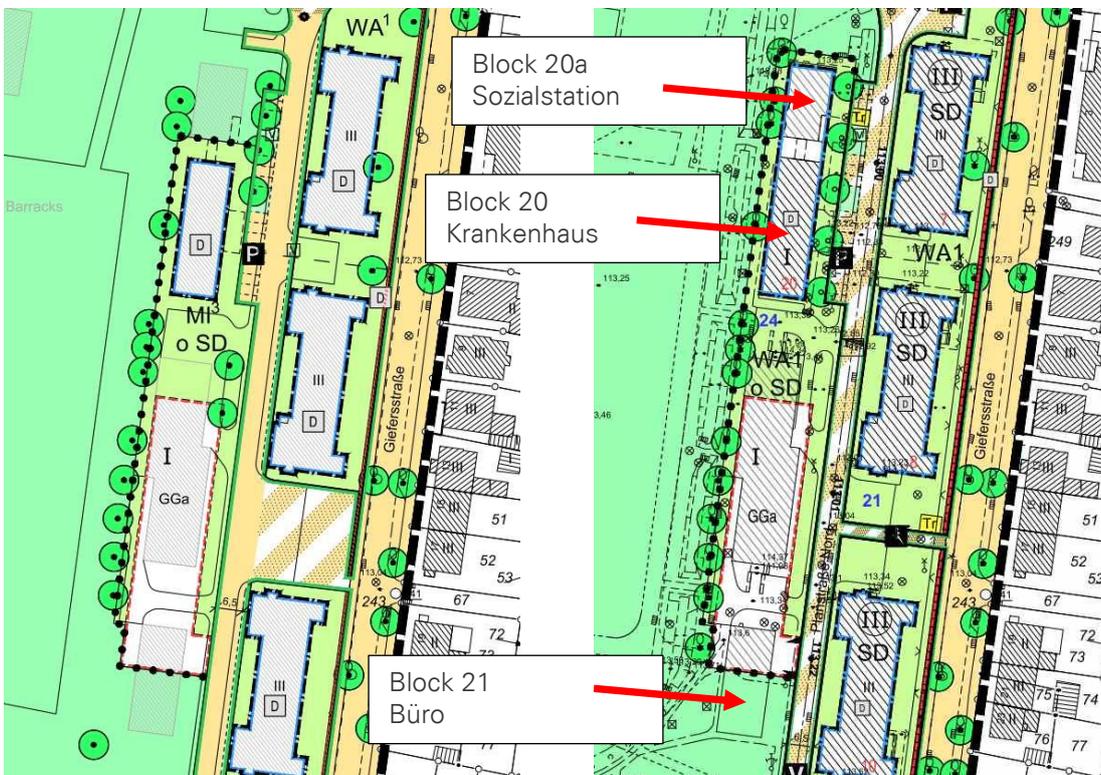


Abbildung 2 Prüfung Nachnutzung von Bestandsgebäuden zur Unterbringung einer Holzpellet-Kesselanlage (B-Plan Stand 2017 und Stand 2019)

Der B-Plan ist im Bereich von Block 20 gegenüber der Fassung von 2017 mit neuem Stand Juli 2019 dahingehend verändert worden, dass der Bereich der ehemaligen Sozialstation nördlich des Gebäudes 20 als „überbaubare Fläche“ dargestellt wird. Die Nutzungsart ist von MI auf allgemeines Wohngebiet (WA) geändert worden, da der Betrieb einer zentralen Energieversorgung auch im WA möglich ist. Im Zuge der Variantenbetrachtung sind zudem Bestandsgebäude im Umfeld des Blocks 20 auf eine Verwendung als Unterbringung einer Holzpellet-Kesselanlage hin untersucht worden.

Die verfügbaren Flächen in den Gebäuden stellen sich wie folgt dar:

		Länge	Breite	Fläche	EG-Höhe	Volumen
		m	m	m <sup>2</sup>	m	m <sup>3</sup>
Block 20	außen	33,2	11,2	372	3,3	1.237
Krankenhaus	innen	32,4	10,4	339	3,1	1.041
Block 20a	außen	18,0	11,2	202	3,3	673
Sozialstation	innen	17,3	10,5	182	3,1	558
Block 21	außen	10,8	11,2	121	3,3	402
Büro	innen	10,1	10,5	106	3,1	325
Raumbedarf	innen	12,0	10,0	120	4,0	480

Tabelle 4 Abmessungen Bestandsgebäude und Raumbedarf

Block 21 ist für den Abriss vorgesehen, um Platz für die Parkpalette zu schaffen. Er wäre unabhängig davon aufgrund der Größe und geringen Firsthöhe (3,50 m über GOK) auf keinen Fall für die Heizzentrale geeignet.

Betrachtet man nur die Grundfläche und das Volumen, wären sowohl Block 20 als auch 20a für die Unterbringung der Komponenten einer Heizzentrale geeignet. Die Größe der einzubringenden Kessel macht es erforderlich, die Gebäude 20 und 20a im Inneren weitgehend von den vorhandenen Wänden zu befreien. Die Statik der Gebäude wird davon beeinträchtigt. Die Tragfähigkeit der Fußböden ist an die einzubringenden Lasten anzupassen. Für eine Holzpellet-Kesselanlage sind die beiden Gebäude aufgrund der geringen Höhe im Erdgeschoss (EG) nicht geeignet.

Für die Einbringung der Aggregate sind Öffnungen in den Außenwänden herzustellen. Dies kann insbesondere beim Krankenhaus zu Konflikten mit dem Denkmalschutz führen.

Die Nutzung des vorhandenen Gebäudebestandes für eine Holzpellet-Kesselanlage ist unter diesen Voraussetzungen nicht möglich.

## 2.4 Ergebnis für Kosten und CO<sub>2</sub>

Die beheizten Flächen von insgesamt 83.812 m<sup>2</sup> sind im Verhältnis 29% (Nord) zu 71% (Süd) aufgeteilt. Im der Betrachtung des gesamten Plangebietes ergeben sich die folgenden spezifischen Kennwerte für CO<sub>2</sub>-Emissionen und für die Vollkosten der Systemkombinationen.

Plangebiet gesamt		Referenz				
System im Bestand, Nordabschnitt		GAS	HP	HP	KWK	KWK
System im Neubau, Südabschnitt		GAS	KN	LE	KN	LE
spezifische Vollkosten brutto						
Bestand, Nordabschnitt	€/m <sup>2</sup> Mon	0,84	1,28	1,28	1,17	1,17
Neubau, Südabschnitt	€/m <sup>2</sup> Mon	0,42	0,67	0,63	0,66	0,57
Plangebiet gesamt	€/m <sup>2</sup> Mon	0,54	0,84	0,82	0,81	0,74
Kostenerhöhung um ...%	%	0%	+57%	+52%	+50%	+38%
spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen (Äquivalente)						
Bestand, Nordabschnitt	kg/m <sup>2</sup> a	23,5	8,0	8,0	14,4	14,4
Neubau, Südabschnitt	kg/m <sup>2</sup> a	11,6	9,0	7,9	8,8	7,7
Plangebiet gesamt	kg/m <sup>2</sup> a	15,0	8,7	7,9	10,4	9,7
CO <sub>2</sub> -Minderung um ...%	%	0%	-42%	-47%	-31%	-36%

Tabelle 5 spezifische Vollkosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen

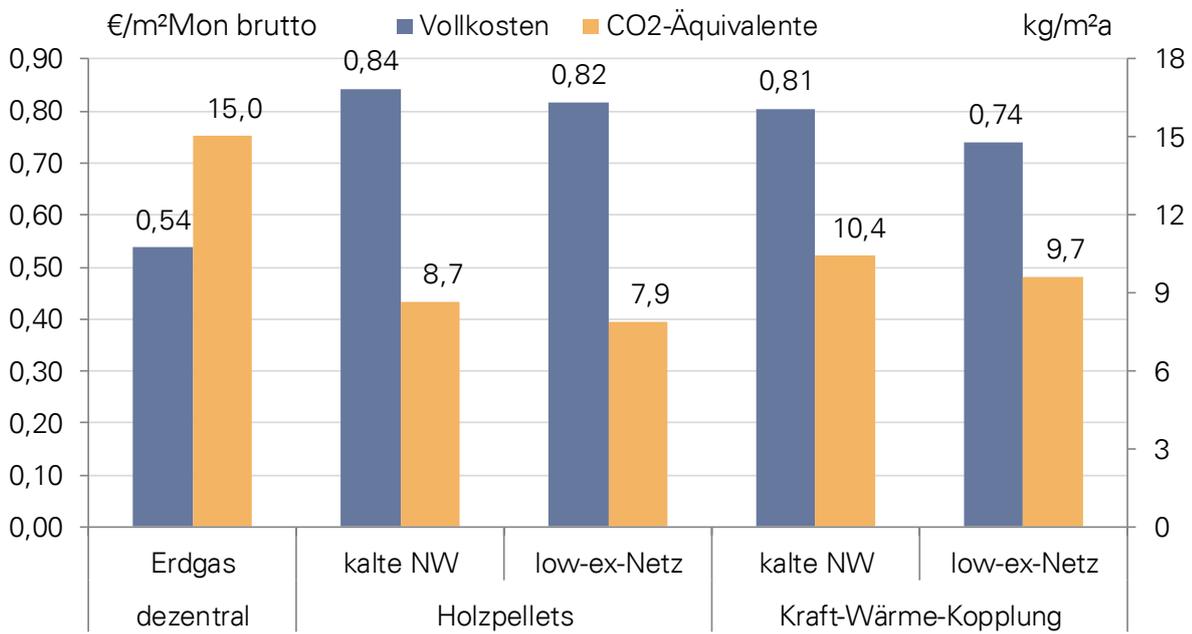


Abbildung 3 spezifische Vollkosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen

## 3 Optimierung durch Bezug von Öko-Energie

### 3.1 Ökostrombezug

#### 3.1.1 Kosten

Es gibt eine Vielzahl von Ökostromanbietern, Ökostromqualitäten und Labels. Die Mehrkosten für den Ökostrombezug liegen überwiegend zwischen 0,1 bis 1,0 ct/kWh.

Die Stadt Paderborn hat in der Vergangenheit auf den Bezug von Ökostrom verzichtet. Die geschätzten Einsparungen sind mit 0,5 ct/kWh bewertet und in ein Budget für eigene Maßnahmen umgewidmet worden. Zu Anfang standen bei 20 Mio. kWh Stromverbrauch (städtische Gebäude, Kläranlagen und Straßenbeleuchtung) somit 100.000 € jährlich zur Verfügung, später ist dieser Betrag auf 300.000 € erhöht worden.

Die Mehrkosten von 0,5 ct/kWh werden im Folgenden verwendet.

#### 3.1.2 CO<sub>2e</sub>-Emissionen

Ökostromanbieter geben für ihre Stromlieferung in der Regel einen CO<sub>2</sub>-Faktor von 0 an, der entsprechend Stromkennzeichnungsverordnung mit den Angaben anderer Unternehmen vergleichbar ist. Es handelt sich bei Angaben nach Stromkennzeichnungsverordnung um die reinen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Brennstoffeinsatzes in Kraftwerken und nicht um die CO<sub>2</sub>-Äquivalente einschließlich der Vorketten, die im Rahmen dieses Konzepts verwendet werden.

Da für Ökostrom keine verwertbaren Angaben zu den Emissionsfaktoren für CO<sub>2</sub>-Äquivalente inkl. Vorketten verfügbar sind, war im Hauptbericht zum Energiekonzept bereits ein Mix definiert worden. Die für einzelne Prozesse typischen Faktoren sind aus der folgenden Zusammenstellung<sup>2</sup> mit dem Zeitbezug 2010-2014 übernommen worden.

---

<sup>2</sup> ifeu: BSKO. Bilanzierungs-Systematik Kommunal. Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland. Kurzfassung. Heidelberg 2016.

Zeiträume	2000-2004	2005-2009	2010-2014	Quelle	Genaue Prozessbezeichnung
Windenergie	0,019	0,019	0,011	Gemis 4.94	Wind KW DE 2010 Binnenland und Wind KW-Park klein DE 2000
Geothermie	0,228	0,228	0,228	Gemis 4.94	Geothermie-KWK-SMB-DE
Wasserkraft	0,003	0,003	0,003	Gemis 4.94	Wasser KW groß DE 2010 (update)
PV-Anlagen	0,129	0,129	0,063	Gemis 4.94	Solar PV multi Rahmen mit Rack DE
Deponiegas, Klärgas, Grubengas	0,051	0,051	0,026	UBA 2009, UBA 2013	Deponiegas-BHKW-GM 1 MW-2010/brutto, (angepasst an UBA 2013)
Feste Biomasse (KWK)	0,021	0,021	0,025	UBA 2009, UBA 2013	Altholz-DT-KW
Flüssige Biomasse	0,274	0,274	0,316	UBA 2009, UBA 2013	Palmöl-BHKW-gross-DE-2010 (IST) (angepasst an UBA- 2013)
Biogas	0,323	0,323	0,216	UBA 2009, UBA 2013	Biogas-Gülle-BHKW-500kW 2010 (IST) (angepasst an UBA-ZSE 2013)

Tabelle 6 Emissionsfaktoren für Strom aus Erneuerbaren Energien

Als Grundlage für die Berechnung eines Ökostrom-CO<sub>2e</sub>-Faktors wird der folgende Mix verwendet. Es handelt sich hier um einen Vorschlag des Gutachters, der die wichtigsten heute verfügbaren Energien berücksichtigt.

Prozess	CO <sub>2</sub> -Äqu. g/kWh	Anteil im Mix
Windenergie	11	35%
Geothermie	228	
Wasserkraft	3	20%
PV-Anlagen	63	35%
Deponiegas	26	
Feste Biomasse	25	
Flüssige Biomasse	316	
Biogas	216	10%
Ökostrom-Mix	48	100%

Tabelle 7 Emissionsfaktoren für einen definierten Öko-Strommix

### 3.2 Biomethanbezug nach EEG

Eine direkte Versorgung aus Quellen in räumlicher Nähe mit einer eigenen Gasleitung für das Plangebiet Alanbrooke ist nicht möglich.

Der Bezug von Biogas wird hier in der nach EEG § 3 Nr. 13 vorgenommenen Begriffsbestimmung vorgenommen.



*Im Sinn dieses Gesetzes ist oder sind*

...

*13. „Biomethan“ jedes Biogas oder sonstige gasförmige Biomasse, das oder die aufbereitet und in das Erdgasnetz eingespeist worden ist,*

...

### 3.2.1 Kosten

Der Preis für Biomethan liegt deutlich höher als der von fossilem Erdgas. Für Erdgas war bisher ein Preis von 55 €/MWh<sub>Hi</sub> für die Verbrennung im Kessel und von 49 €/MWh<sub>Hi</sub> für den Erdgassteuerbefreiten Einsatz im BHKW verwendet worden.

Eine Erhebung der dena von Mai 2019<sup>3</sup> gibt Einkaufspreise für Biomethan an. Für langfristige Liefervertragspreise im Jahr 2017 wurden für Biomethan aus NawaRo durchschnittlich 7,1 ct/kWh<sub>HS</sub> ermittelt, der aktuelle Durchschnittspreis 2018/2019 liegt bei 7,06 ct/kWh<sub>HS</sub>.

Diese Angaben beziehen sich auf den Brennwert, nach Umrechnung auf den Heizwert liegt der Bezugspreis für Biomethan bei 79 €/MWh<sub>Hi</sub>. Dieser beinhaltet die Erdgassteuer, die beim Einsatz in KWK-Anlagen erstattet wird. Der Biomethanpreis ist mit 73 €/MWh in Ansatz zu bringen, er liegt damit um 24 €/MWh über dem Preis des fossilen Erdgases.

Die oben zugrunde gelegte Anlagengröße von 2 x 100 kW<sub>el</sub> verpflichtet zur Ausschreibung, da ab einer Anlagenleistung von 150 kW<sub>el</sub> die Teilnahme am Ausschreibungsverfahren vorgeschrieben ist. Die Teilnahme kann zu guten Ergebnissen führen, dies ist jedoch unsicher.

In dieser ersten Abschätzung wird zur Vermeidung dieser Unwägbarkeiten davon ausgegangen, dass die BHKW-Leistung aufgeteilt wird auf ein Biomethan-Modul mit 150 kW<sub>el</sub> und ein Modul von 50 kW<sub>el</sub>, das mit fossilem Erdgas betrieben wird.

Der effektive Vergütungssatz („anzulegender Wert“) für die Stromerzeugung aus Biomethan liegt als Basiswert des EEG 2017 nach § 42 bei 13,32 ct/kWh. Aufgrund der Degression sinkt dieser Wert bis zum Inbetriebnahme-Zeitraum 2021 auf ca. 12,7 ct/kWh ab.

Das andere Modul kann aufgrund seiner Leistung zur Volleinspeisung nach KWKG mit 8 ct/kWh Zuschlag über 60.000 Stunden vorgesehen werden. Zusammen mit den 5 ct/kWh aus übriger Vergütung für Base-Load-Strom und vermiedener Netznutzung, liegt der effektive Vergütungssatz bei ca. 13 ct/kWh.

In der Mischkalkulation für beide Module wird von 12,8 ct/kWh ausgegangen.

In den beiden KWK-Varianten gibt es für den erzeugten Strom zwei grundsätzlich unterschiedliche Verwendungen bzw. Vermarktungsoptionen:

- kalte Nahwärme: Der KWK-Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist, da über EEG und KWKG eine hohe Vergütung erzielt werden kann.
- low-ex-Netz: Der KWK-Strom wird für den Antrieb der Wärmepumpe selbst verbraucht, da der Strombezug aus dem öffentlichen Netz noch höhere Kosten verursachen würde als der Bezug aus dem BHKW zuzüglich 40% EEG-Umlage.

<sup>3</sup> Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena): Branchenbarometer Biomethan 2019.

In der Variante KWK/KN kann der Strom nicht als Eigenverbrauch verwertet werden, er wird ins Netz der öffentlichen Versorgung eingespeist. Das wirtschaftliche Ergebnis verbessert sich in diesem Fall. Die Quelle dieser Verbesserung ist das Umlagesystem des EEG und auch des KWKG. Die am EEG orientierte Gewichtung des Gaseinsatzes stellt sich wie folgt dar.

EEG-Auslegung	MWh/a	%	%
Gaseinsatz KWK	3.471		100%
Gaseinsatz gesamt	4.130	100%	
Biomethan KWK	2.603	63%	75%
Fossilgas KWK	868	21%	25%
Biomethan Kessel	659	16%	
Fossilgas Kessel	-	0%	
Mehrkosten Biomethan	62 T€/a		
Mehrerlöse aus EEG	41 T€/a	aus Umlagesystem	
Mehrerlöse aus KWKG	14 T€/a	aus Umlagesystem	

Tabelle 8 Anteile Biomethan/Fossilgas und Kosten/Erlöse bei EEG-Auslegung

In der Variante KWK/LE würde man diesen Strom zum Antrieb der zentralen Wärmepumpe einsetzen, da der Eigenverbrauch auch mit 40% EEG-Umlage noch günstiger ist als der Netzbezug. Das wirtschaftliche Ergebnis auf der Seite der Stromerzeugung bleibt für das Gesamtgebiet unverändert, da der Preis für die Stromlieferung von Nord nach Süd nur eine interne Verrechnungsgröße ist.

Wenn der Biomethan-KWK-Strom aber nicht ins öffentliche Netz eingespeist und nach EEG vergütet wird, sondern im Gebiet verbleibt und zum Antrieb der Wärmepumpen dient, entfällt die Notwendigkeit zur Aufteilung der BHKW-Leistung mit 150 kW<sub>el</sub> + 50 kW<sub>el</sub> anstatt 2 x 100 kW<sub>el</sub>. Der Anteil des Biomethans am gesamten Gaseinsatz kann dann frei gewählt werden. Auch der Spitzenlast-Gaskessel kann mit Biomethan betrieben werden.

Variante 100% Biomethan	MWh/a	%	%
Gaseinsatz KWK	3.471		100%
Gaseinsatz gesamt	4.130	100%	
Biomethan KWK	3.471	84%	100%
Fossilgas KWK	-	0%	0%
Biomethan Kessel	659	16%	
Fossilgas Kessel	-	0%	
Mehrkosten Biomethan	99 T€/a		
Zuordnung zu Nordabschnitt	56 T€/a	lokal	
Zuordnung zu Südabschnitt	44 T€/a	lokal	

Tabelle 9 Anteile Biomethan/Fossilgas und Kosten/Erlöse in der 100%-Variante

### 3.2.2 CO<sub>2e</sub>-Emissionen

Der Emissionsfaktor für Biomethan ist bilanziell zu ermitteln aus der CO<sub>2</sub>-Emission bei der Erdgasverbrennung (virtuelles Biogas, real Erdgas) in Paderborn und der Aufnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre beim Wachsen der NawaRo-Substrate.

Während bei CO<sub>2</sub> noch von einer nahezu ausgeglichenen Bilanz mit einem sehr niedrigen Faktor ausgegangen werden kann, sind bei Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Äquivalente dem Brennstoff Biomethan in er-

heblichem Umfang Emissionen zuzuordnen. Nach Berechnungen mit Gemis 4.95 liegt der CO<sub>2</sub>-Faktor bei 57 g/kWh, während der CO<sub>2e</sub>-Faktor (Äquivalente) bei 130 g/kWh liegt.

### 3.3 alternatives Ergebnis für Kosten und CO<sub>2e</sub>

Unter Verwendung der oben dargestellten und abgeleiteten Vor- und Nachteile ergibt sich das folgende Bild.

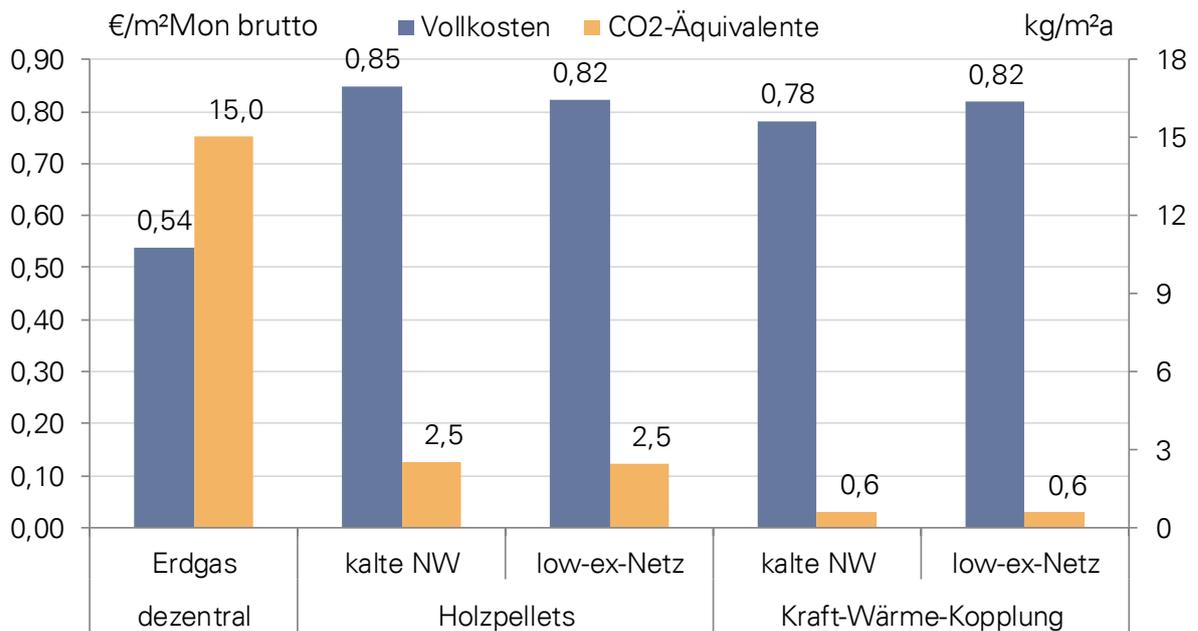


Abbildung 4 Variante Öko-Energie, spezifische Vollkosten und CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die beiden KWK-Varianten setzen hier in der KWK-Anlage 75% Biomethan ein, der Spitzenkessel wird mit fossilem Erdgas betrieben.

## 4 Einbeziehung der lokalen Emissionen

Die Treibhausgase CO<sub>2</sub>, Methan, Lachgas u.a. sind als CO<sub>2</sub>-Äquivalente das zentrale Bewertungskriterium für den Klimaschutz in globaler Sichtweise. Die globale Sichtweise ist zu ergänzen durch eine lokale Sichtweise mit Berücksichtigung der anfallenden Emissionen und ihrer Auswirkung auf die Immissionssituation im Umfeld des Plangebiets.

Strom- und gasbasierte Systeme haben sehr geringe Auswirkungen auf die lokale Luftqualität. Die Verbrennung von Feststoffen wie Holzpellets kann aufgrund der Feinstaubemissionen lokal wirksame Verschlechterungen mit sich bringen.

Die Hintergrund-Feinstaubbelastung lag in Deutschland 2018 bei 10 – 15 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel. An Mess-Stellen, die durch Verkehr oder Industrie geprägt sind, liegen die Jahresmittelwerte in einem Bereich von 15 – 30 µg/m<sup>3</sup>. In Paderborn gibt es keine im UBA-System<sup>4</sup> gelistete Messstation, die Feinstaub misst.

Die Diskussion um Fahrverbote für Diesel-Fahrzeuge konzentriert sich sehr stark auf die Anzahl der Tage, an denen ein Tagesmittelwert überschritten wird. Die Anforderung ist hier: „Der PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwert darf nicht öfter als 35-mal im Kalenderjahr 50 µg/m<sup>3</sup> überschreiten.“

Die Anforderung an die Begrenzung der mittleren Belastung lautet wie folgt: „Der PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwert darf 40 µg/m<sup>3</sup> nicht überschreiten.“

Eine Übersicht über die Luftschadstoffemissionen verschiedener Energieträger und Qualitätsstandards gibt die folgende Tabelle aus der UBA-Studie „Modellrechnungen zu den Immissionsbelastungen bei einer verstärkten Verfeuerung von Biomasse in Feuerungsanlagen der 1. BImSchV“ (UBA-Texte 37/2010).

---

<sup>4</sup> [https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten/luftqualitaet/eJzrWJSSuMrlwNBS18BC18hwUUnmkOTRXmpCxYVlyxYnOJWBjC0NFmcEpKPrDa3im1RbnLT4pzEktMONqvmvWqUO744Jy\\_9tlPKOReHTxaZAU6tJl0=](https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftdaten/luftqualitaet/eJzrWJSSuMrlwNBS18BC18hwUUnmkOTRXmpCxYVlyxYnOJWBjC0NFmcEpKPrDa3im1RbnLT4pzEktMONqvmvWqUO744Jy_9tlPKOReHTxaZAU6tJl0=)

**Tabelle 3.8 Berechnete mittlere Emissionsfaktoren für die Modellgebiete und Vergleich mit Literaturangaben (bc =best case, SdT = Stand der Technik, wc = worst case)**

Berechnete mittlere Emissionsfaktoren der Modellgebiete im Vergleich mit Literaturangaben für die Brennstoffe bzw. Feuerungstypen		CO	NOX als NO <sub>2</sub>	Benzol	Partikel	VOC als Gesamt-C	Dioxine	BaP	PAH
		kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	mg/TJ	kg/TJ	kg/TJ
<b>HEL (Heizöl EL)</b>									
Emissionsmodell	bc	3,6	32	0,009	1,0	1,2	0,0024	0,00002	0,0003
	SdT	13	40	0,036	3,7	4,8	0,0024	0,00007	0,0011
	wc	36	48	0,212	8,4	11	0,0026	0,00015	0,0024
E-Faktoren 2000, Haushalte in D *		25	46	0,02	1,6	1,3	0,0025		0,0018
E-Faktoren 2005, Haushalte in D **		15	42	0,01	0,9	1,7	0,0022		0,0012
Struschka et al., 2000 ****		1,6	38			0,3			
<b>GAS (Brenngase)</b>									
Emissionsmodell	bc	5,6	6,8	0,0003	0,004	4,5	0,0023	0,00000	0,0000
	SdT	19	13	0,0010	0,014	18	0,0023	0,00000	0,0000
	wc	68	16	0,0057	0,044	43	0,0026	0,00001	0,0001
E-Faktoren 2000, Haushalte in D *		14	38	0,0003	0,03	1,6	0,0019		
E-Faktoren 2005, Haushalte in D **		15	22	0,0002	0,03	2,4	0,0021		
Struschka et al., 2000 ****		11	13			2,2			
<b>Pellets (Holzpellets)</b>									
Emissionsmodell (Zentralheizung)	bc	40	63	0,01	4,3	1,7	0,0315	0,00177	0,0416
	SdT	183	78	0,04	22	9,9	0,0315	0,00650	0,1516
	wc	901	94	0,26	95	38	0,0347	0,03002	0,7007
Emissionsmodell (Nahwärmenetz)	bc	41	63	0,01	4,3	1,8	0,0315	0,00181	0,04260
	SdT	184	78	0,04	19	10	0,0315	0,00615	0,14341
	wc	916	95	0,25	88	38	0,0348	0,02973	0,69406
E-Faktoren 2005, Haushalte in D **		155	88		23	2,8	0,0010		
Schornsteinfegermessungen 2005		363			62				
<b>Hackschnitzel</b>									
Emissionsmodell	bc	51	78	0,01	7,1	1,9	0,0326	0,00193	0,0452
	SdT	295	97	0,06	40	8,3	0,0326	0,00893	0,2084
	wc	1120	117	0,28	155	28	0,0357	0,03702	0,8641
Emissionsmodell (Nahwärmenetz)	bc	51	78	0,01	6,9	1,9	0,0326	0,00195	0,04588
	SdT	224	98	0,05	30	6,8	0,0326	0,00749	0,17473
	wc	993	117	0,22	134	26	0,0359	0,03466	0,80902
E-Faktoren 2005, Kleinverbraucher in D **		641	115		45	39	0,0314		0,49470
Schornsteinfegermessungen 2005		615			69				

Tabelle 10 Emissionsfaktoren für Luftschadstoffe in Vergleich

Die Studie zielte auf die Bewertung der Immissionssituation ab. Ein Beispiel ist in folgendem Bild wiedergegeben, um die unterschiedlichen Wirkungen von Einzel- und Nahwärmelösungen darzustellen.

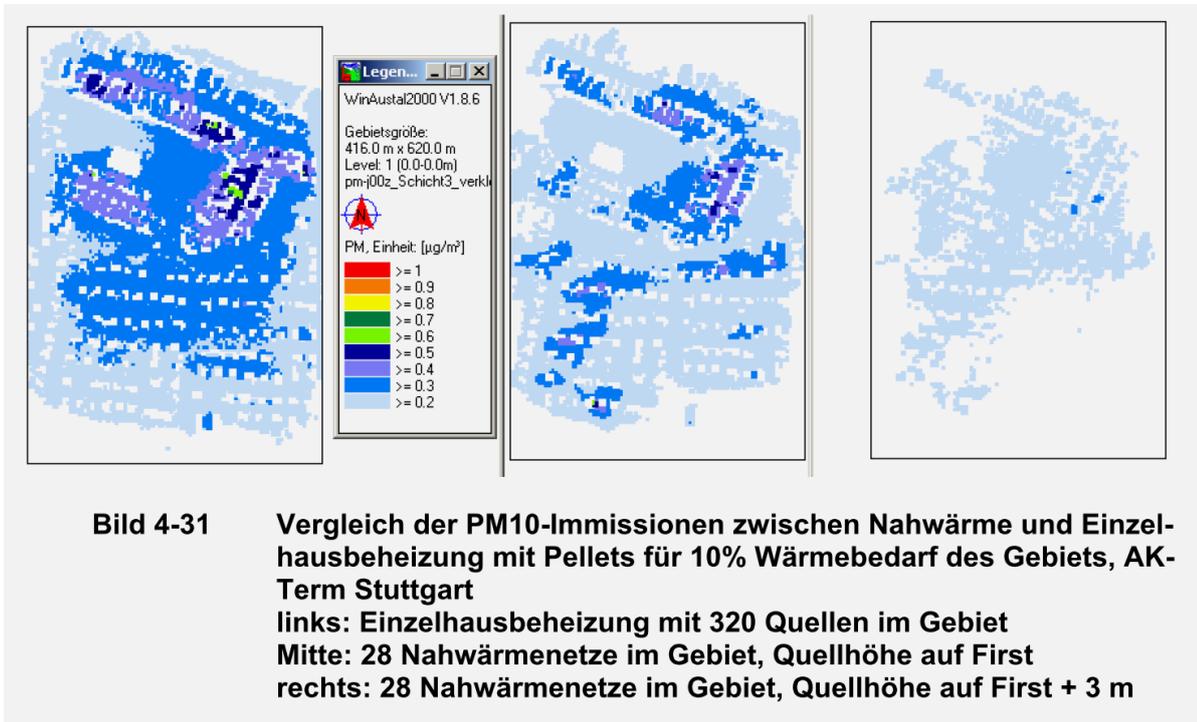


Abbildung 5 Beispielergebnis Immissionssimulation

Die errechneten Werte deuten darauf hin, dass die Erhöhung der Feinstaubimmissionen gering ausfällt. Nahwärmelösungen mit höherem Kamin sind nochmals deutlich besser. Im best-Fall steigen die Immissionswerte um 0,2 – 0,3 µg/m³ an, wobei in der oben dargestellten Ausbreitungssimulation nur eine 10%ige Abdeckung des Wärmebedarfs hinterlegt worden ist. Für die volle Versorgung des Nordabschnitts und das engere Umfeld der Heizzentrale kann als Orientierungsgröße eine Erhöhung der Grundbelastung um 2 – 3 µg/m³ vermutet werden. Simulations- und Ausbreitungsrechnungen können im Rahmen dieser Betrachtungen nicht durchgeführt werden.

## 5 Auswirkungen auf die Belange der WGP

### 5.1 Förderfähigkeit trotz Grunddienstbarkeit und Anschlusszwang

Es gibt Förderprogramme, die im Fall eines kommunalen Anschlusszwangs nicht in Anspruch genommen werden können. Je nach System können sich Nachteile ergeben. Dies wird im Folgenden mit Bezug auf die Förderrichtlinien geprüft und kommentiert.

#### 5.1.1 Dezentrale Wärmepumpe für kalte Nahwärme

Hier gibt es keine Fördereinschränkung bei Anschlusszwang. In der Variante der kalten Nahwärme ist für alle dezentralen Wärmepumpen eine Wärmepumpen-Förderung eingerechnet. Zugrunde gelegt war die bafa-Förderung<sup>5</sup> mit 4.000 € je Anlage und zusätzlichen 500 € für die Möglichkeit der stromnetzdienlichen Fahrweisensteuerung.

#### Innovations- und Zusatzförderung

*Die Innovationsförderung kann ausschließlich für Wärmepumpen mit hohen Jahresarbeitszahlen oder Wärmepumpen mit verbesserter Systemeffizienz beantragt werden. Die konkreten Voraussetzungen entnehmen Sie der jeweiligen Wärmepumpenart.*

##### Wärmequelle Erde und Wasser

Die Innovationsförderung beträgt 100 Euro je Kilowatt installierter Nennwärmeleistung, mindestens jedoch:

- 4.500 Euro je Anlage bei allen Wärmepumpen mit der Wärmequelle Erdwärme, bei gleichzeitiger Erdsondenbohrung
- 4.000 Euro je Anlage bei allen Wärmepumpen mit den Wärmequellen Erdwärme oder Wasser

#### Zusatzförderung

##### ➤ Kombinationsbonus bei effizienten Wärmepumpen

##### ✓ Lastmanagementfähigkeit

Eine Zusatzförderung von 500 Euro kann gewährt werden, wenn die Anlage über Schnittstellen verfügt, um die Wärmepumpe netzdienlich aktivieren zu können (Lastmanagementfähigkeit).

##### Voraussetzungen:

- Gleichzeitige Errichtung eines Speichers mit einem Volumen von mindestens 30 Liter pro Kilowatt
- Zertifikat „Smart Grid Ready“ (siehe Liste der Wärmepumpen mit Prüfnachweis) oder eine Herstellererklärung, dass die Anforderungen des Zertifikats erfüllt werden

Als Speicher werden reine Heiz- und Trinkwarmwasser-Speicher, Kombi-Speicher und die Kombination aus Heiz- und Trinkwarmwasser-Speicher anerkannt.

<sup>5</sup> [https://www.bafa.de/DE/Energie/Heizen\\_mit\\_Erneuerbaren\\_Energien/Waermepumpen/Neubau/Innovations\\_Zusatzfoerderung/innovations\\_zusatzfoerderung\\_node.html](https://www.bafa.de/DE/Energie/Heizen_mit_Erneuerbaren_Energien/Waermepumpen/Neubau/Innovations_Zusatzfoerderung/innovations_zusatzfoerderung_node.html)

### 5.1.2 KfW Förderung Erneuerbare Energien "Premium"

Die KfW Förderung Erneuerbare Energien "Premium" (KfW 271/281)<sup>6</sup> beinhaltet eine Ausschlussregelung für die Hausübergabestationen in Bestandsgebäuden:

#### 4. Wärmenetze, die überwiegend aus erneuerbaren Energien gespeist werden

Für förderfähige Wärmenetze ohne Anspruch auf Zuschlagszahlung gemäß des Gesetzes für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung gilt:

- 60 Euro je neu errichtetem Meter, höchstens jedoch 1 Million Euro (Förderhöchstbetrag).

Der maximale Tilgungszuschuss erhöht sich auf 1,5 Millionen Euro, sofern Wärme aus Tiefengeothermieanlagen in das Wärmenetz eingespeist wird.

- Zuzüglich zu der Wärmenetzförderung pro Meter Trasse können die Hausübergabestationen von Bestandsgebäuden mit jeweils bis zu 1.800 Euro gefördert werden, wenn kein kommunaler Anschlusszwang besteht.

Diese Förderung war bisher nicht eingerechnet, da der Schwerpunkt auf der KWK-Versorgung für die Bestandsgebäude lag. Wenn der Nordabschnitt mit Erneuerbarer Energie, d.h. hier Holz-Pellets, versorgt werden soll, wäre die zusätzliche Förderung der Hausübergabestationen möglich.

Hier ist die Frage der Umsetzungsinstrumente zu klären. Die Bestandsgebäude sind für den Verkauf an private Investoren vorgesehen. Der Anschluss der Gebäude an das Wärmenetz ist mit dem Mittel des Anschuss- und Benutzungszwangs nach Gemeindeordnung NRW abzusichern, alternativ über den Kaufvertrag mit Absicherung über eine Grunddienstbarkeit. Beide Instrumente stellen einen Zwang dar, der die als Anreiz-Förderung konzipierte Bezuschussung der Hausübergabestationen ausschließt.

## 5.2 Anbindung der WGP-Gebäude beim Low-Ex-Netz.

Im Plangebiet hat der geförderte Wohnungsbau einen wesentlichen Anteil an den Baufeldern. Diese Baufelder sind in [Abbildung 6](#) mit Hervorhebung dargestellt.

<sup>6</sup> [https://www.kfw.de/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf%C3%B6rderung\)/PDF-Dokumente/6000002410-Merkblatt-271-281-272-282.pdf](https://www.kfw.de/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000002410-Merkblatt-271-281-272-282.pdf)

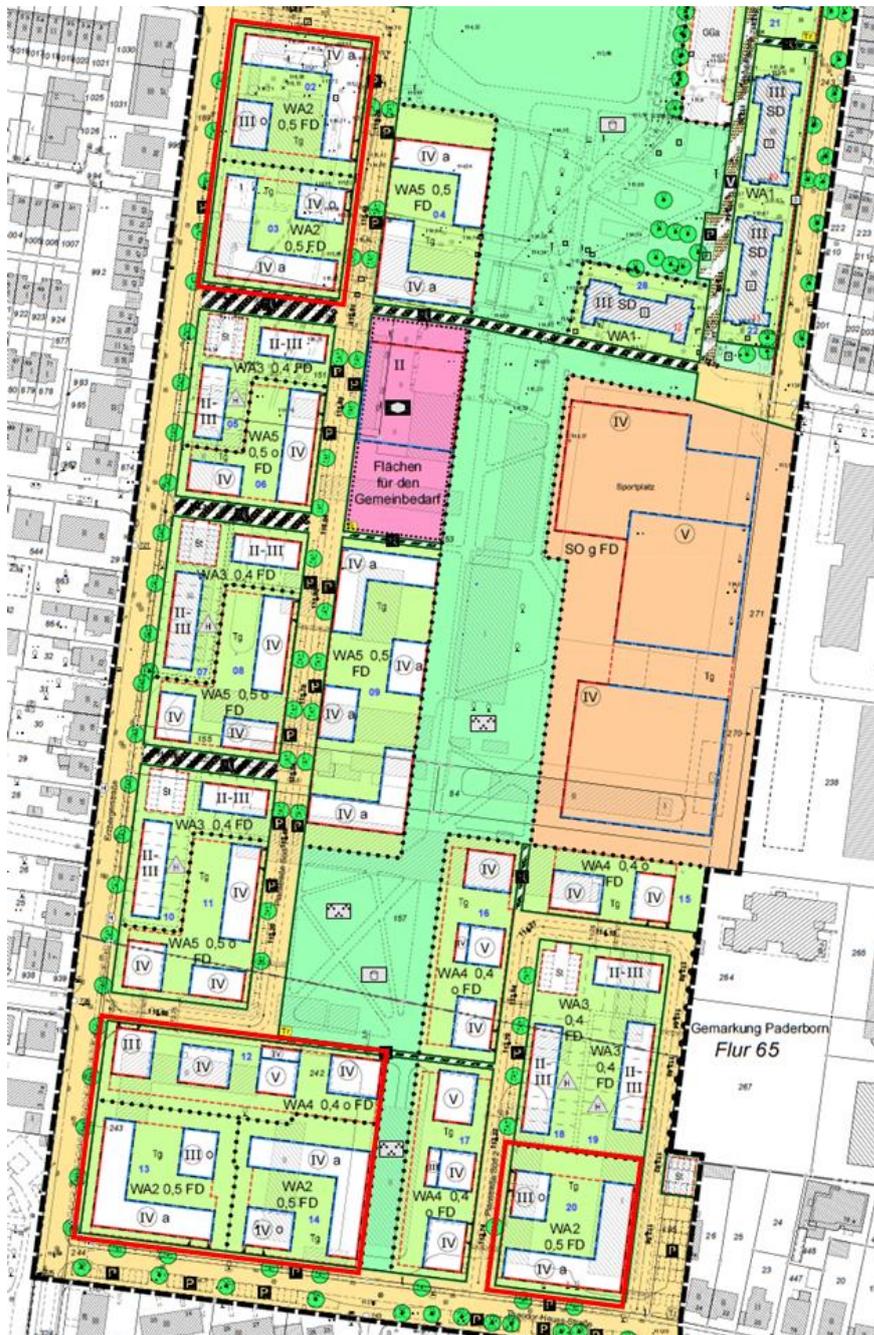


Abbildung 6 Baufelder (rot gekennzeichnet) für den geförderten Wohnungsbau

Der Förderstatus ist an die Einhaltung einer maximalen Miethöhe gekoppelt, wobei eine Differenzierung nach der Betreiberschaft der Heizungsanlagen vorzunehmen ist.

- Wenn die Heizungsanlage im Eigentum des Investors ist und der Mieter in seiner Nebenkostenabrechnung keine Contracting-Rate für Vorhaltung einer Heizungsanlage zahlen muss, darf als monatliche Kaltmiete 6,20 €/m<sup>2</sup> verlangt werden.
- Wenn die Heizungsanlage nicht im Eigentum des Investors ist, sondern über eine Contractinglösung oder erhöhten Preis der Wärmelieferung im Rahmen der Nebenkosten abgerechnet wird, muss die sonst mögliche monatliche Kaltmiete von 6,20 €/m<sup>2</sup> um 0,20 €/m<sup>2</sup> auf 6,00 €/m<sup>2</sup> reduziert werden.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie eine Anbindung an das Netz erfolgen kann, ohne den Förderstatus zu minimieren.

Für die Variante der kalten Nahwärme mit Betrieb einer gebäudebezogenen eigenen Wärmepumpe stellt sich die Frage nicht, da die Wärmepumpe eindeutig eine Wärmeerzeugungsanlage ist. Aufwand und Kosten sind für den Investor erheblich.

Im Fall des Anschlusses an das low-ex-Netz sind der Aufwand und die Kosten deutlich geringer. Dennoch muss der Investor die Übergabestation selbst errichten bzw. gegen volle Kostenerstattung vom Wärmenetzbetreiber errichten lassen. Weiterhin hat er das Warmwassersystem mit Pufferspeicher und Frischwasserstationen selbst zu installieren. Dieses System entlastet den Mieter von der kostenintensiven vollelektrischen Warmwasserbereitung.

Der Aufwand des Investors ist nicht unerheblich und sollte ausreichen, um die Absenkung auf 6,00 €/m<sup>2</sup> zu umgehen.

Das Preissystem der Wärmelieferung sollte eindeutig und klar so strukturiert werden, dass in keinem Fall der Verdacht auf eine doppelte Zahlung des Mieters für bestimmte Systemkomponenten aufkommen kann.

- als einmalige Zahlung des Investors:  
Übergabestation, Hausanschluss und Baukostenzuschuss
- als Bestandteil der Neben- und Heizkostenabrechnung:  
Grundpreis, Messpreis, Arbeitspreis

Im Grundpreis sollten keine dezentralen, gebäudebezogenen Komponenten enthalten sein. Er soll die Fixkosten des vorgelagerten zentralen Wärmeerzeugungs-Systems widerspiegeln.

## 6 Zusammenführung der Kriterien als Nutzwertanalyse

Die Entscheidungsfindung für eine Variante kann durch das Instrument der Nutzwertanalyse unterstützt werden. Die relevanten Kriterien werden dabei untereinander gewichtet und in eine summarische Bewertung zusammengeführt. Diese Gewichtung ist von persönlichen und politischen Zielen abhängig und kann frei gestaltet werden.

Die Kriterien mit ihrer möglichen Gewichtung sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Die erste Spalte ist als Gutachternvorschlag definiert. Das Gewichtungsschema 3 gibt die potenzielle Sichtweise und Wertung wieder, die von Befürwortern eines Ökostrom- und Ökogasbezugs vertreten werden könnte.

Kriterien		mögliche Gewichtungen					
		1	2	3	4	5	6
Kosten	€/m <sup>2</sup> Mon	40%	45%	0%	30%	25%	30%
CO <sub>2</sub> -Äquivalente	kg/m <sup>2</sup> a	50%	45%	0%	40%	25%	30%
Kosten mit Ökoenergie	€/m <sup>2</sup> Mon	0%	0%	30%	5%	25%	25%
CO <sub>2</sub> -Äquivalente mit Ökoenergie	kg/m <sup>2</sup> a	0%	0%	60%	5%	25%	5%
Option Gebäudekühlung	qualitativ	5%	5%	5%	0%	0%	0%
Feinstaub-Immissionen	qualitativ	5%	5%	5%	10%	0%	5%
Lärmbelästigung	qualitativ	0%	0%	0%	10%	0%	5%
Summe		100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabelle 11 Kriterien und Gewichtung

Neben der Gewichtung ist die sogenannte Skalierung der Kriterien festzulegen. Sie beschreibt, welche quantitativen Ausprägungen der Merkmale qualitativ als gut oder schlecht eingeschätzt werden. Diese Skalierung (oder „scoring“) sieht hier Punktwertungen auf einer Skala von 0 bis 10 vor.

Die Punktzahl 10 ist dem besten anzunehmenden Ergebnis für ein Kriterium zugeordnet, während die Punktzahl 0 für das schlechteste anzunehmende Ergebnis vergeben wird. Dazwischen wird linear interpoliert.

Kosten und CO<sub>2e</sub> sind quantitative Größen, die in der Konzeptbearbeitung rechnerisch ermittelt worden sind. Für Feinstaub und Lärm stehen derartige Größen nicht zur Verfügung, sie werden direkt mit einer qualitativen Wertung und Punktzuhnung in die Nutzwertanalyse eingebracht.

Die Skalierung der quantitativen Größen ist in folgenden Grafiken wiedergegeben.

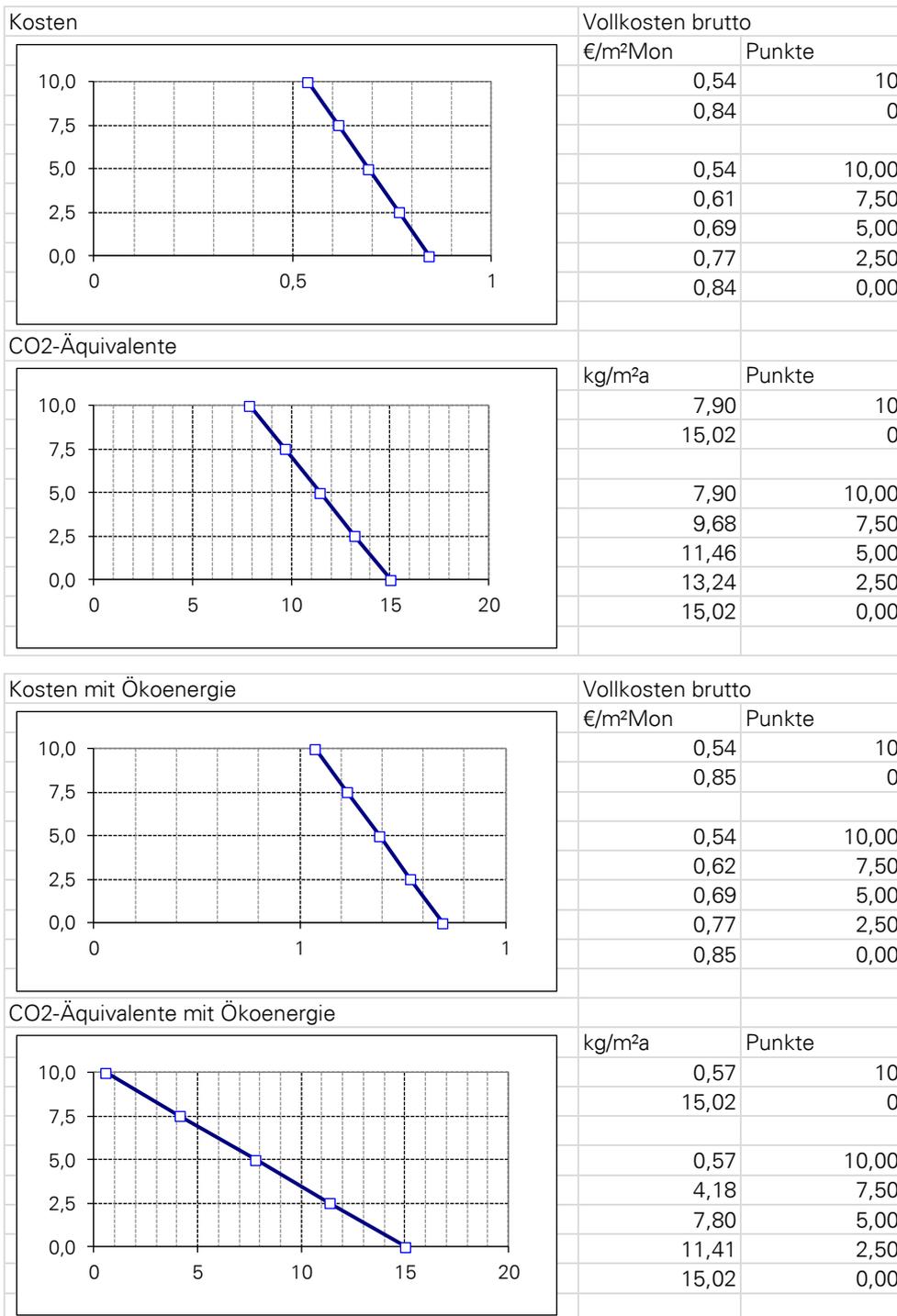


Abbildung 7 Skalierung der quantitativen Kriterien

Die Zusammenführung von Gewichtung (Vorschlag Gutachter, Spalte 1 in Tabelle 11) und Skalierungen führt zu folgendem Ergebnis.

		Referenz				
		GAS	HP	HP	KWK	KWK
		GAS	KN	LE	KN	LE
Kosten	€/m²Mon	0,54	0,84	0,82	0,81	0,74
CO2-Äquivalente	kg/m²a	15,02	8,68	7,90	10,44	9,65
Kosten mit Ökoenergie	€/m²Mon	0,54	0,85	0,82	0,78	0,82
CO2-Äquivalente mit Ökoenergie	kg/m²a	15,02	2,52	2,46	0,63	0,57
Option Gebäudekühlung	Punkte	0	10	0	10	0
Feinstaub-Immissionen	Punkte	9	3	3	7	7
Lärmbelästigung	Punkte	10	3	3	9	9
Kosten	40%	10,00	0,00	0,83	1,24	3,36
CO2-Äquivalente	50%	0,00	8,90	10,00	6,44	7,54
Kosten mit Ökoenergie	0%	10,00	0,00	0,84	2,12	0,94
CO2-Äquivalente mit Ökoenergie	0%	0,00	8,65	8,69	9,96	10,00
Option Gebäudekühlung	5%	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00
Feinstaub-Immissionen	5%	9,00	3,00	3,00	7,00	7,00
Lärmbelästigung	0%	10,00	3,00	3,00	9,00	9,00
gewichtetes Mittel		4,45	5,10	5,48	4,57	5,47
Rang		5	3	1	4	2

Tabelle 12 Ergebnis Nutzwertanalyse bei Gewichtung 1 (Gutachtervorschlag)

Der Abstand zwischen Rang 1 mit Holzpellet/low-ex und Rang 2 mit KWK/low-ex ist äußerst gering. Beide Varianten heben sich leicht von den übrigen ab.

Legt man die alternative Gewichtungsstruktur 3 zugrunde, ergibt sich die folgende Punktwertung und Rangfolge.

		Referenz				
		GAS	HP	HP	KWK	KWK
		GAS	KN	LE	KN	LE
Gewichtung						
3						
Kosten	0%	10,00	0,00	0,83	1,24	3,36
CO2-Äquivalente	0%	0,00	8,90	10,00	6,44	7,54
Kosten mit Ökoenergie	30%	10,00	0,00	0,84	2,12	0,94
CO2-Äquivalente mit Ökoenergie	60%	0,00	8,65	8,69	9,96	10,00
Option Gebäudekühlung	5%	0,00	10,00	0,00	10,00	0,00
Feinstaub-Immissionen	5%	9,00	3,00	3,00	7,00	7,00
Lärmbelästigung	0%	10,00	3,00	3,00	9,00	9,00
gewichtetes Mittel	100%	3,45	5,84	5,62	7,46	6,63
Rang		5	3	4	1	2

Tabelle 13 Ergebnis Nutzwertanalyse bei Gewichtung 3 (Ökoenergie-Priorität)

Die gemeinsame vergleichende Betrachtung der möglichen Gewichtungen aus [Tabelle 11](#) führt zu folgendem Bild. Die Gewichtungen sind hier mit einer kurzen textlichen Benennung versehen, die die exakten prozentualen Gewichtungen aus [Tabelle 11](#) vereinfacht charakterisieren.

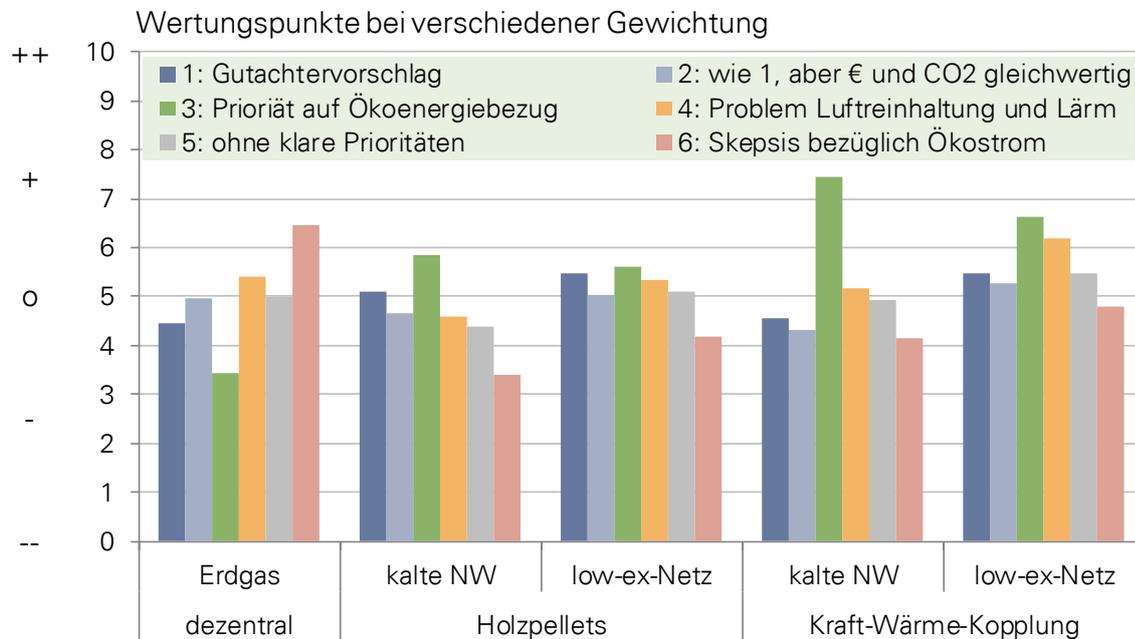


Abbildung 8 Ergebnis für verschiedene Gewichtungen im Vergleich

Es ergibt sich auch hier kein eindeutiges Bild, der breiteste Konsens könnte sich in der Variante KWK/LE finden, auch wenn dies bei Priorität auf Ökoenergiebezug nur die zweitbeste Lösung ist. Die Nutzwertanalyse kann die Entscheidungsfindung unterstützen, aber nicht ersetzen. Ergänzend können die folgenden qualitativen Aspekte in die Abwägung einbezogen werden.

1. **Energieeffizienz**  
Die Kraft-Wärme-Kopplung ist in der Übergangsphase zu einer CO<sub>2</sub>-neutralen Energieversorgung ein wichtiges Element. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist dem reinen Verheizen hinsichtlich der Gesamteffizienz überlegen. Gas kann in einem BHKW-gut verstromt werden, mit Holz ist dies nicht möglich.
2. **Vorteile der Kopplung zwischen Nord- und Südabschnitt**  
Die Brennwertnutzung des in der Heizzentrale verbrannten Erdgas (fossil oder Biomethan) bringt eine Entlastung des Erdkolektors mit sich, das Risiko einer zu geringen Erdwärmepotenzial wird gemindert. Brennwertnutzung der Holzabgase ist nur sehr schwer machbar.
3. **Flächenbedarf und Größe der Holz-Pellet-Heizzentrale**  
Die Holz-Pellet-Heizzentrale wird mehr Platz benötigen als eine KWK-Anlage, auch die Lagerung der Pellets in einem Bunker sowie der Pufferspeicher werden zusätzliche Flächen benötigen.
4. **Personalaufwand**  
Für die Wartung, Anwesenheit bei Befüllung des Pelletlagers und den störungsfreien Betrieb ist mehr Personal auf der Seite des Betreibers vorzuhalten als bei einer KWK-Anlage.



**Herausgeber**

Stadt Paderborn  
Der Bürgermeister  
Am Abdinghof  
33098 Paderborn

Paderborn, Dezember 2019