



MegaWATT
Erfolgreich. Mit Energie.

Energiekonzept „Neue Mitte Tempelhof“



Schlussbericht



Auftraggeber

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen

Württembergische Straße 6

10707 Berlin

Bearbeitung

Stephan Breker

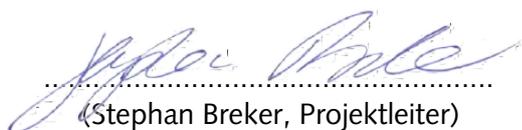
Jan Schülecke

MegaWATT

Ingenieurgesellschaft
für Wärme- und
Energietechnik mbH

Paul-Lincke-Ufer 8 b
10999 Berlin

Tel.: (030) 85 79 180
Fax.: (030) 85 79 18 99
Email: kontakt@megawatt.de
www.megawatt.de


.....
(Stephan Breker, Projektleiter)

Berlin, 17.07.2018

Dieser Auftrag wird bei **MegaWATT** unter der Nummer 20.763 geführt.



Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	4
1. Einleitung und Aufgabenstellung	5
2. Grundlagenermittlung und Bestandserfassung	7
3. Rechtliche Rahmenbedingungen.....	8
4. Prognose des Energiebedarfs	10
4.1. Zieldefinition.....	10
4.2. Basisinformationen	10
4.3. Flächen und Nutzungen.....	10
4.4. Spezifischer Energiebedarf.....	11
4.5. Absoluter Energiebedarf	14
4.6. Flächen und Bedarfsentwicklung	15
5. Technische Varianten der Energieversorgung	21
5.1. Variante 1: Fernwärme.....	22
5.2. Variante 2: KWK mit BHKW und Nahwärmenetz	24
5.3. Variante 3: Wärmepumpen und Geothermie	28
5.4. Referenzvariante: Erdgaskessel	32
5.5. Zusätzliche Versorgungsmöglichkeiten	34
6. Energie- und CO ₂ -Bilanz.....	40
6.1. Systeme, Bilanzgrenzen und Berechnungsmethoden.....	40
6.2. Energiebilanz und Brennstoffeinsatz.....	40
6.3. Spezifische CO ₂ -Emissionen	41
6.4. Absolute Emissionen.....	43
6.5. Primärenergiefaktor der Wärmeversorgung	44
7. Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvarianten	46
7.1. Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI 2067.....	46
7.2. Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	48
8. Organisatorische Umsetzungsmöglichkeiten	51
8.1. Energetische Festsetzung im Bebauungsplan	51
9. Zusammenfassung und Empfehlung zum weiteren Vorgehen	52
10. Verzeichnis der Anlagen	55



Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
abs.	absolut (-er Energiebedarf)
AG	Auftraggeber
AGFW	Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V.
BauGB	Baugesetzbuch
BGF	Bruttogrundfläche
BHKW	Blockheizkraftwerk
BWB	Berliner Wasserbetriebe
BWE	Bundesverband Windenergie
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung
DN	Nennweite
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
EWG Bln	Energiewendegesetz Berlin
FCKW	Flourchlorkohlenwasserstoff
HT	Hochtemperatur
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MW _{el.}	Megawatt elektrisch (Einheit; elektrische Leistung)
MW _{th.}	Megawatt thermisch (Einheit; thermische Leistung)
NT	Niedertemperatur
p.a.	pro Jahr (lat.: per annum)
PV	Photovoltaik
spez.	spezifisch (-er Energiebedarf)
TA-Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TÖB	Träger öffentlicher Belange
TWE	Trinkwassererwärmung
Vbh	Vollbenutzungsstunden
VDI	Verein Deutscher Ingenieure



I.

Einleitung und Aufgabenstellung

Das Gebiet rund um das Rathaus Tempelhof stellt ein relevantes Wohnflächenpotenzial in zentraler Lage – besonders vor dem Hintergrund der anhaltenden dynamischen und prognostizierten Bevölkerungsentwicklung für Berlin – dar, sodass bei einer Neuordnung der Areale im Untersuchungsgebiet „Neue Mitte Tempelhof“, bestehend aus Rathaus und ehemaligem BVV-Saal, Bezirksbibliothek, Stadtbad und Polizei, größere zusammenhängende Flächen für den Wohnungsbau geschaffen werden können (ca. 2,8 ha).

Der Senat von Berlin hat im Jahr 2016 die Einleitung vorbereitender Untersuchungen gemäß § 141 Baugesetzbuch (BauGB) für das Gebiet „Rathaus Tempelhof und näheres Umfeld“ im Bezirk Tempelhof-Schöneberg beschlossen. Gegenstand dieser Voruntersuchung sind die Grundlagenermittlung und Übersicht über die medientechnische Erschließung für das genannte Gebiet und darauf aufbauend die Entwicklung eines Konzeptes zur Energieversorgung.

Das zu erarbeitende Energiekonzept soll – vor dem Hintergrund einer nachhaltigen, umweltgerechten Entwicklung im Rahmen der Berliner Klimaschutzziele – unterschiedliche Möglichkeiten der Energieversorgung für das Wohnquartier und die öffentlichen Gebäude gegenüberstellen und aufbauend Handlungsempfehlungen zur energetischen Versorgung (Strom, Wärme, Kälte und Elektromobilität) erarbeiten.

Das **Energiekonzept** ist in folgende Arbeitspakete gegliedert:

Arbeitspaket 1:

- ▶ Analyse vorhandener Strukturen (Strom, Wärme, Erneuerbare Energien)
- ▶ Prognose des Energiebedarfs
- ▶ Zieldarstellung

Arbeitspaket 2:

- ▶ Technische Varianten der Energieversorgung
- ▶ Kostenrahmen und Wirtschaftlichkeitsberechnung
- ▶ Energie- und Klimabilanz
- ▶ Handlungsempfehlungen und organisatorische Umsetzungsmöglichkeiten
- ▶ Zusammenfassende Bewertung und Empfehlung, Dokumentation und Präsentation der Ergebnisse



Die energetische Erschließung des Quartiers erfolgt nach dem aktuellen Stand der Technik, sowie der Realisierung einer wirtschaftlichen und umweltgerechten Versorgung der geplanten Wohngebiete. Dabei werden innovative Technologien, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle berücksichtigt.



2.

Grundlagenermittlung und Bestandserfassung

Folgende, diesem Konzept zugrundeliegenden Informationen wurden durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellt:

- ▶ Zwischenbericht der vorbereitenden Untersuchungen, Stand TÖB-Beteiligung, August 2017
- ▶ Übersichtsplan aus Machbarkeitsstudie Variante 1, Stand: August 2017
- ▶ Grundlagenplan, Stand: 18.12.2017
- ▶ Aktuelle Energieverbräuche für Gas und Strom 2016 (Darstellung des aktuellen Energieverbrauchs)
- ▶ Gaslastgänge und Verbrauchsverlauf Gas und Strom Stadtbad, Stand: 2016
- ▶ Topographische Karte, Stand: Juni 2016
- ▶ Darstellung der aktuellen Energieversorgung des Gebiets
- ▶ Übersichtskarte mit Angaben zu Dachflächen
- ▶ Übersichtskarte mit Angaben zu Eigentümer und Nutzung, Stand: 11.10.2016



3.

Rechtliche Rahmenbedingungen

Als maßgebende Richtlinie zum Einsatz Erneuerbarer Energien im Neubausektor gilt das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) der Bundesrepublik Deutschland. Das Land Berlin positionierte sich Anfang 2016 daraufhin, indem es das Berliner Energiewendegesetz (EWG Bln) verabschiedete und den Ausbau Erneuerbarer Energien „zum Klimaschutz, zur Energiewende sowie zu einer sicheren, preisgünstigen und klimaverträglichen Energieerzeugung“ unterstützt. Übergeordnetes Ziel des EWG Bln ist ein „klimaneutrales Berlin 2050“.

Bautechnisch verweist das EWG Bln für zu errichtende Gebäude auf die Anforderungen an die Energieeffizienz für Wohn- und Nichtwohngebäude der aktuellen Energieeinsparverordnung (EnEV 2016). Ziel der EnEV ist die Einsparung von Energie in Gebäuden und „soll dazu beitragen, dass die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung insbesondere ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand bis zum Jahr 2050, erreicht werden“.¹

Hinsichtlich der einzusetzenden Anlagentechnik setzt das EEWärmeG verschiedene erneuerbare Deckungsanteile je nach Energiequelle am Endenergieverbrauch – sprich am Energiebedarf für Raumheizung und Warmwasserbereitung – an. Photovoltaikanlagen zur Stromerzeugung tragen daher nicht direkt zur Erfüllung der Anforderungen des EEWärmeG bei, sie können jedoch durch den verminderten Primärenergieanteil für Strom herangezogen werden.² Öffentlichen Gebäuden kommt eine Vorbildfunktion im Rahmen des Zwecks und Ziels nach § 1 des EEWärmeG zu. Die einzelnen Erzeugungsarten können dabei zur Einhaltung dieser Mindestwerte der Deckungsanteile beliebig miteinander kombiniert werden.

Bei einer konventionellen Energieversorgung auf Erdgasbasis, z.B. mittels Erdgas-Brennwertkessel, muss zur Einhaltung der Anforderungen nach EEWärmeG der Anteil der Nutzung solarer Strahlungsenergie am Endenergieverbrauch mindestens 15 Prozent betragen. Des Weiteren

¹ Quelle: EnEV 2016, § 1 Zweck und Anwendungsbereich

² Quelle: Deutsche Energie-Agentur (dena); <https://www.dena-expertenservice.de/fachinfos/fragen-experten-antworten/faq/erneuerbare-energien/ee-waermeg/>



gelten die Anforderungen des EEWärmeG als erfüllt, wenn der Wärmebedarf zu mindestens 50 Prozent aus Abwärme oder aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) gedeckt wird. Beim Einsatz von Geothermie bzw. fester oder flüssiger Biomasse muss der Anteil ebenfalls mindestens 50 Prozent betragen. Eine Versorgung durch Errichtung eines Nahwärmenetzes oder ein Anschluss ans Fernwärmeverbundnetz des Berliner Versorgers Vattenfall würden die Kriterien des EEWärmeG erfüllen und gelten daher als Ersatzmaßnahme.³

³ Quelle: Vattenfall; <https://www.vattenfall.de/de/geschaeftskunden-waerme-berlin-primaerenergiefaktor.htm>



4.

Prognose des Energiebedarfs

4.1.

Zieldefinition

Vor dem Hintergrund der klimapolitischen Ziele eines „klimaneutralen Berlins 2050“ soll für das zu entwickelnde Gebiet, bestehend aus Neubauten und zu sanierenden Bestandsbauten, ein Konzept zur nachhaltigen Energieversorgung im Rahmen von vorbereitenden Voruntersuchungen nach § 141 BauGB erarbeitet werden. Unter Beachtung der aktuell geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen, z.B. EnEV und EE-WärmeG, soll hier neben einem auch zukünftig hohen energetischen Standard zur Reduzierung des Endenergiebedarfs für Wärme sowie zur Vermeidung klimaschädlicher CO₂-Emissionen besonderer Fokus auf die Wirtschaftlichkeit, Effizienz und Ökologie der technischen Versorgung gelegt werden. Dies kann durch einen möglichst niedrigen Primärenergiefaktor der Versorgung sowie einem möglichst hohen Anteil erneuerbarer Energien an der Erzeugung erreicht werden. Zudem soll der sinnvolle Einbezug umliegender Objekte, z. B. durch Integration in ein Nahwärme- oder Niedertemperaturnetz, potenziell bewertet werden.

4.2.

Basisinformationen

Die Energiebedarfsprognose basiert auf den durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellten städtebaulichen und architektonischen **Basisdaten**:

- ▶ Flächen (BGF) je Gebäude
- ▶ Verbrauchsdaten Wärme und Strom
- ▶ Angaben zur bestehenden Energieversorgung (Anschlussleistungen)
- ▶ Effizienzstandard je Gebäude
- ▶ Nutzungsart je Gebäude

Alle zur Prognose des Energiebedarfs berücksichtigten Unterlagen sind in Kapitel 2 aufgeführt.

4.3.

Flächen und Nutzungen

Zur Ermittlung des Energiebedarfs für Wärme und Strom werden die Bruttogrundflächen (BGF) der Gebäude herangezogen. Die Nutzung der Gebäude ist unterschiedlich.



Die Flächenangaben sowie die geplanten energetischen Standards je Gebäude sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Lfd. Nr.	KENNZEICHNUNG	BGF	energetischer Standard
		[m ²]	
Bestand:		18.832	
1	Rathaus (Bestandsbau)	18.832	
Neubauten:		77.661	
2	Rathausenerweiterung	8.000	KfW-55
3	Polizei	5.000	KfW-55
4	Stadtbad	3.000	
5	Musikschule	1.500	KfW-55
	Volkshochschule (VHS)	2.600	KfW-55
	Kunst / Museum / Ausstellung	2.500	KfW-55
	Bibliothek	4.461	KfW-55
	Veranstaltungssaal	600	KfW-55
6	Wohnen an der Goetzstrasse	50.000	KfW-55
Summe:		96.493	

Tabelle 1: Flächen je Gebäude und Gesamt

Die Summe der BGF im betrachteten Gebiet beträgt rund 96.493 m² BGF, bestehend aus Neu- und Bestandsbauten. Der sogenannte „Kultur- und Bildungsbaustein“ besteht aus der Musikschule, Volkshochschule, Kunst/Museum/Ausstellung, Bibliothek und Veranstaltungssaal und wird als ein Gebäude zusammengefasst.

4.4. Spezifischer Energiebedarf

Im Rahmen verschiedener Vorabstimmungen zwischen der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen sowie Vertretern des Bezirksamts Schöneberg-Tempelhof und der Berliner Bäder-Betriebe entschied man sich für den energetischen Standard nach KfW-55, um in Anbetracht zukünftig steigender Anforderungen an die Gebäudehülle den zur Zeit der Realisierung geforderten energetischen Standard einhalten und übertreffen zu können. Die Einhaltung der rechtlichen Anforderungen nach EnEV sowie die Zukunftsfähigkeit des Untersuchungsgebiets hinsichtlich Gebäudestandard kann somit auch bei nicht sofortigem Baubeginn gewährleistet werden.



Dabei wird mit der Zahl nach dem Begriff KfW-Effizienzhaus angegeben, wie weit die Vorgaben des Referenzgebäudes der EnEV 2009 unterschritten werden. Der Jahres-Primärenergiebedarf beim KfW-55-Standard beträgt somit 55 % des nach EnEV 2009 geforderten Wertes. Die in der aktuell gültigen EnEV 2016 geforderten Werte an die Gebäudehülle von Bestandsbauten (Transmissionswärmeverluste) entsprechen denen der EnEV 2009. Bei Neubauten wurden die Anforderungen an die Gebäudehülle im Vergleich zur EnEV 2009 um 25% verschärft. Der KfW-55-Standard stellt keine speziellen Anforderungen an die Anlagentechnik; im Gegensatz zum Effizienzstandard KfW-40 Plus. Neben den Anforderungen an die Qualität der Gebäudehülle (Transmissionswärmeverluste) existieren weitere Anforderungen an die Technik nach KfW:

KfW-Effizienzhaus 55	KfW-Effizienzhaus 40 Plus
Primärenergiefaktor beträgt 55% des gültigen Wertes nach EnEV	Primärenergiefaktor beträgt 40% des gültigen Wertes nach EnEV
Thermische Solaranlage zur Heizungsunterstützung und Trinkwassererwärmung	Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Wärmebereitstellungsgrad mind. 80%)
	Stromerzeugung auf dem Grundstück durch eine Anlage, die mit EE gespeist wird
	Stationäres Batteriespeichersystem als Stromspeicher
	Benutzerinterface zur Visualisierung von Stromverbrauch und Stromerzeugung

Tabelle 2: technische Anforderungen nach KfW-55 und KfW-40 Plus⁴

In Anbetracht der hohen Anforderungen an die Haustechnik beim KfW-40 Plus-Standard entschied man sich aus wirtschaftlicher sowie technisch und organisatorischer Sicht für den Effizienzstandard KfW-55.

⁴ Quelle: KfW



Die geplanten Neubauten (außer das Stadtbad) entsprechen jeweils diesen Anforderungen des Effizienzstandards nach KfW-55. Die spezifischen Bedarfswerte für Wärme der genannten Neubauten sind in Tabelle 3 dargestellt. Sie entsprechen allgemeinen Erfahrungswerten für Raumheizung in Haushalten der Effizienzklasse nach KfW-55.

energetischer Standard	spez. Wärmebedarf Heizung	
	Arbeit [kWh/m²a]	Leistung [W/m²]
KfW-55	24	13

Tabelle 3: Spezifischer Wärmebedarf der Neubauten (außer Stadtbad)

Für einige Neubauten, z.B. Polizeigebäude und Kultur- und Bildungsbaustein (siehe Tabelle 1, Lfd. Nr. 5) wird aufgrund der überwiegend büroähnlichen Nutzungsart kein Trinkwarmwasserbedarf prognostiziert. Für die jeweiligen Bedarfe des Stadtbads für Heizung und Strom sind folgende Vollbenutzungsstunden zu Grunde gelegt, die dem allgemeinen Nutzungstyp „Schwimmbad“ entsprechen:

KENNZEICHNUNG	Nutzungsart	Vbh
		[h/a]
Wärme	Schwimmbad	2.000
Strom	Schwimmbad	4.000

Tabelle 4: angesetzte Vollbenutzungsstunden des Stadtbads

Die effizienzstandardübergreifenden, spezifischen Bedarfswerte für Strom der genannten Neubauten sind in Tabelle 5 dargestellt:

energetischer Standard	spez. Strombedarf	
	Arbeit [kWh/m²a]	Leistung [W/m²]
KfW-55	28	9

Tabelle 5: Spezifischer Strombedarf der Neubauten (außer Stadtbad)

Für den Strombedarf ist ein Wert von 28 kWh/(m²*a) angesetzt. Daraus ergibt sich eine benötigte elektrische Leistung von 9 W/(m²*a). Eine Sanierung des Rathaus-Bestands ist zum jetzigen Stand der Berichterstellung nicht geplant. Vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele des Landes Berlins wird jedoch auch eine Sanierung des Rathaus-Bestands-



gebäudes empfohlen, welches zu einer Reduzierung des End- und Primärenergiebedarfs sowie zu einer Reduzierung der erzeugungsbedingten CO₂-Emissionen führen würde. Zudem könnten die aktuell benötigten Vorlauftemperaturen von ca. 90 °C auf Niedertemperaturniveau abgesenkt werden, um Wärmeverluste zu minimieren und eine höhere Effizienz zu erreichen sowie den Anschluss an ein mögliches Niedertemperaturnetz zu realisieren. Es empfiehlt sich daher eine umfangreiche, fachmännische Prüfung auf Machbarkeit und Sinnhaftigkeit einer Sanierung des Rathaus-Bestandes sowie – bei Realisierung eines Nahwärmenetzes – auf eine mögliche Integration umliegender Gebäude, wie die Paul-Simmel-Grundschule oder verschiedene Wohnungsbaugesellschaften im Gebiet.

Die folgende Tabelle zeigt die spezifischen Wärme- und Strombedarfe (Arbeit und Leistung) je Gebäude bzw. je Gebäudeteil:

Lfd. Nr.	KENNZEICHNUNG	TWW		abs. Wärmebedarf Heizung		Gesamt		abs. Strombedarf		energetischer Standard
		Arbeit	Leistung	Arbeit	Leistung	Arbeit	Leistung	Arbeit	Leistung	
		[kWh/m ² a]	[W/m ²]	[kWh/m ² a]	[W/m ²]	[kWh/m ² a]	[W/m ²]	[kWh/m ² a]	[W/m ²]	
Bestand:										
1	Rathaus (Bestandsbau)			100	55	100	55	25	8	
Neubauten:										
2	Rathausenerweiterung			24	13	52	29	28	9	KfW-55
3	Polizei	28	16	24	13	52	29	28	9	KfW-55
4	Stadtbad	181	91	45	23	227	113	40	57	
5	Musikschule			24	13	52	29	28	9	KfW-55
	Volkshochschule (VHS)			24	13	52	29	28	9	KfW-55
	Kunst / Museum / Ausstellung			24	13	52	29	28	9	KfW-55
	Bibliothek			24	13	52	29	28	9	KfW-55
	Veranstaltungssaal			24	13	52	29	28	9	KfW-55
6	Wohnen an der Goetzstrasse	28	16	24	13	52	29	28	9	KfW-55

Tabelle 6: spezifische Wärme- und Strombedarfe je Gebäude bzw. je Gebäudeteil

4.5. Absoluter Energiebedarf

Der absolute Energiebedarf ergibt sich als Produkt aus den spezifischen Werten, die im vorangehenden Kapitel erläutert wurden, und den Bruttogrundflächen (BGF) bzw. als Produkt aus den angesetzten Vollbenutzungsstunden und den bekannten Anschlussleistungen des Stadtbads.

In Tabelle 7 sind die einzelnen Bedarfswerte je Gebäude aufgeführt:



Lfd. Nr.	KENNZEICHNUNG	TWW		abs. Wärmebedarf Heizung		Gesamt		abs. Strombedarf	
		Arbeit [MWh/a]	Leistung [kW]	Arbeit [MWh/a]	Leistung [kW]	Arbeit [MWh/a]	Leistung [kW]	Arbeit [MWh/a]	Leistung [kW]
	Bestand:	0	0	1.878	1.044	1.878	1.044	462	154
1	Rathaus (Bestandsbau)			1.878	1.044	1.878	1.044	462	154
	Neubauten:	2.084	1.131	1.928	1.067	4.012	2.198	2.211	842
2	Rathausenerweiterung			192	107	192	107	224	72
3	Polizei	140	78	120	67	260	145	140	45
4	Stadtbad	544	272	136	68	680	340	120	170
5	Musikschule			36	20	36	20	42	14
	Volkshochschule (VHS)			62	35	62	35	73	23
	Kunst / Museum / Ausstellung			60	33	60	33	70	23
	Bibliothek			107	60	107	60	125	40
	Veranstaltungssaal			14	8	14	8	17	5
6	Wohnen an der Goetzstrasse	1.400	781	1.200	669	2.600	1.450	1.400	450
	Summe:	2.084	1.131	3.806	2.111	5.890	3.242	2.673	996

Tabelle 7: Prognostizierter Energiebedarf für Wärme und Strom je Gebäude und Gesamt⁵

Der Anteil des Trinkwarmwasserbedarfs am Gesamtwärmebedarf des Stadtbaus wird mit 80 % angesetzt.

Für das gesamte Gebiet wird nach Errichtung aller geplanten Gebäude ein Wärmebedarf von 5,9 GWh/a prognostiziert. Die Summe der Anschlussleistungen für Wärme beträgt dann ca. 3,2 MW_{th}.

Der Strombedarf beträgt insgesamt rund 2,7 GWh/a bei einer elektrischen Anschlussleistung von 1 MW_{el}.

Die in Tabelle 7 dargestellten Bedarfswerte entsprechen dem Planungsstand Dezember 2017. Die nachfolgenden Berechnungen basieren auf für das Stadtbad leicht abweichenden Anteilen der TWE (90 % statt 80 %). Der Gesamtwärmebedarf des Stadtbaus ändert sich jedoch nicht wesentlich. Des Weiteren hat sich der Strombedarf des Stadtbaus geringfügig verändert. Dies hat keinen nennenswerten Einfluss auf die Wärmeversorgung.

4.6. Flächen und Bedarfsentwicklung

Basierend auf aktuellen Verbrauchsabrechnungen aller Bestandsbauten für Gas und Strom beträgt der Energieverbrauch für Wärme in etwa 4,5 GWh/a bei einer Bruttogrundfläche von 34.782 m² BGF. Der Strom-

⁵ Quelle Bedarfswerte Stadtbad: Berliner Bäder-Betriebe



verbrauch beträgt ca. 1,4 GWh/a. Die jeweiligen Abriss- und Neubauvorhaben sind (Stand November 2017) wie folgt terminiert und werden in Ist- und Sollzustand unterteilt:

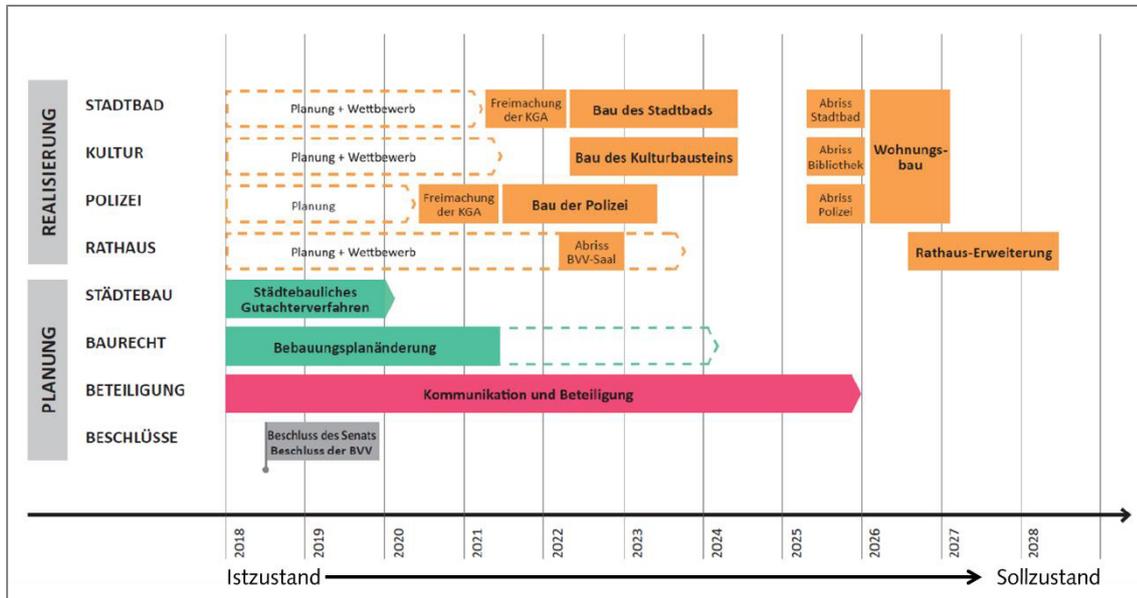


Abbildung 1: Zeitplan der Umsetzung⁶

Die Hauptplanungsphase erstreckt sich bis ins Jahr 2021, bis dahin werden die Gebäude entsprechend des Istzustandes genutzt. Der Baubeginn für verschiedene Neubauvorhaben, beginnend mit dem Polizeigebäude, bzw. der Abriss verschiedener Bestandsgebäude ist für 2021 terminiert. Es schließt unter anderem den Neubau verschiedener öffentlicher Gebäude ab 2022/23 sowie der Rathaus-Erweiterung und den Wohnungsneubau ein, beginnend ab dem Jahr 2026 und darüberhinausgehend.

Die folgende Abbildung stellt die Flächenentwicklung von Ist- zu Sollzustand dar:

⁶ Quelle: AG, angepasst durch MegaWATT

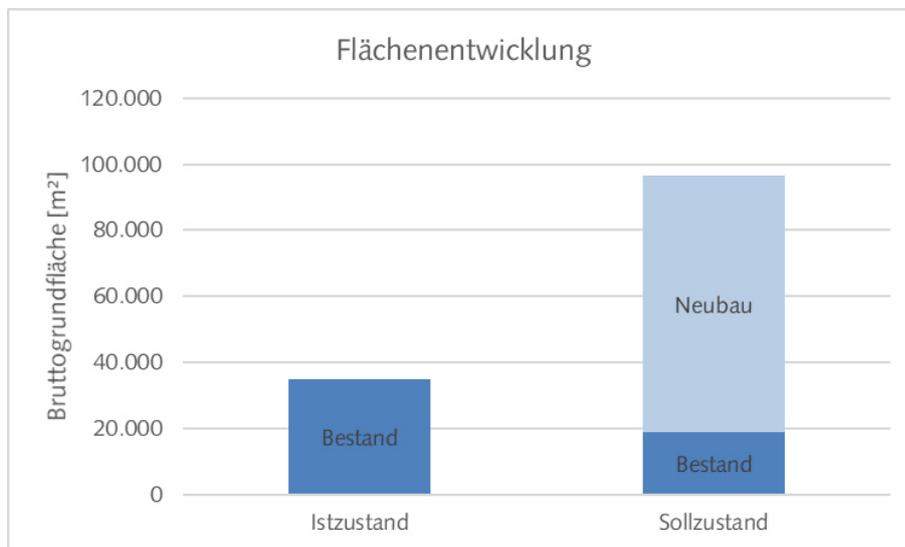


Abbildung 2: Entwicklung der Bruttogrundfläche

Nach Realisierung beträgt die gesamte Bruttogrundfläche in etwa 96.493 m² BGF. Dies entspricht einem Anstieg von ca. 61.711 m² BGF bzw. um das 2,8-fache. Der Flächenanteil der Neubauten beträgt ca. 80 Prozent der Gesamtfläche.

Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung des Wärmebedarfs im Gebiet nach Umsetzung:

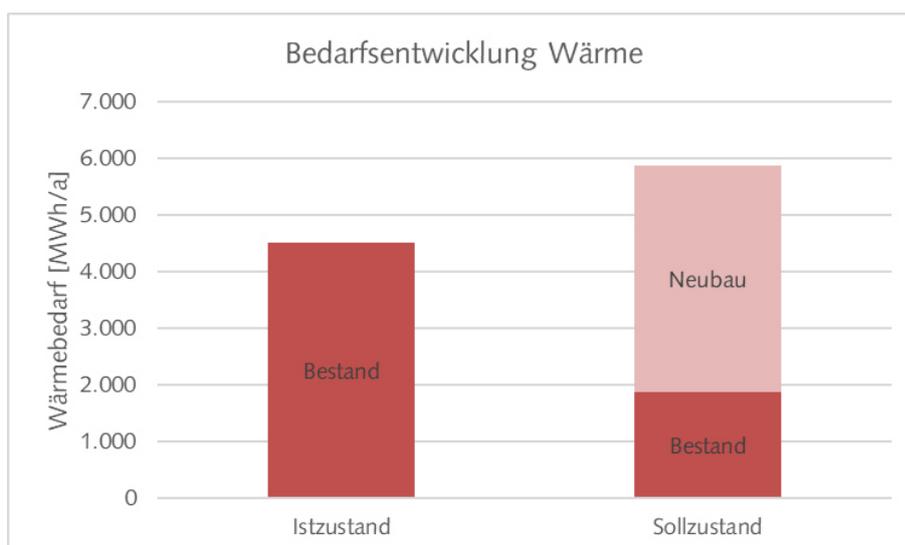


Abbildung 3: Entwicklung des Wärmebedarfs



Nach Umsetzung aller Baumaßnahmen beträgt der absolute Wärmebedarf ca. 5,9 GWh/a. Dies entspricht einer Zunahme von ca. 1,4 GWh/a bzw. dem 1,3-fachen des aktuellen Wärmeverbrauchs.

Nachfolgend ist die Entwicklung des Energiebedarfs für Strom im Gebiet nach Umsetzung dargestellt:

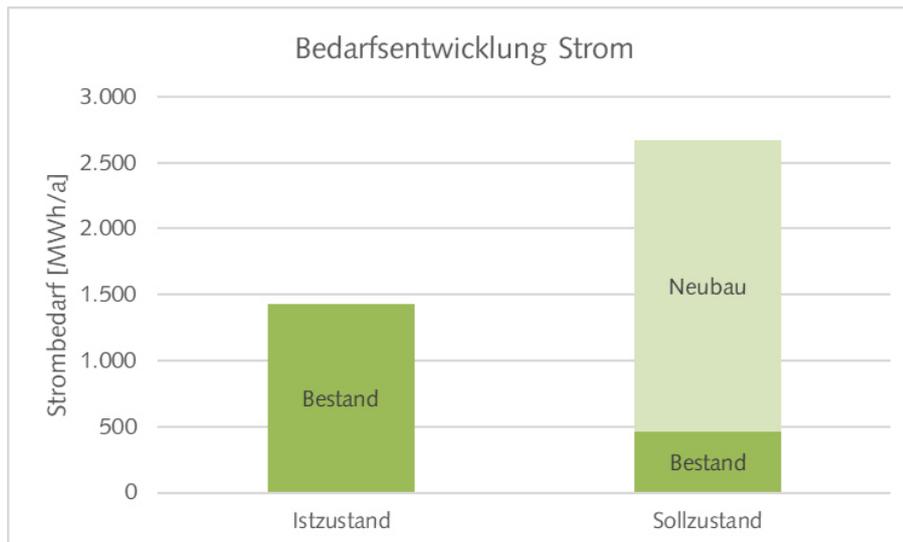


Abbildung 4: Entwicklung des Strombedarfs

Nach Realisierung beträgt der absolute Strombedarf in etwa 2,8 GWh/a. Dies entspricht einem Anstieg von ca. 1,4 GWh/a. Dabei ist zu beachten, dass der Strombedarf abhängig von der Nutzungsart, nicht aber vom energetischen Standard der Gebäudehülle ist.

Aufgrund der hohen Anforderungen an die Neubauten hinsichtlich des energetischen Standards nach KfW-55 kann trotz Flächenzunahme um das 2,8-fache die Zunahme des Wärmebedarfs auf das 1,3-fache begrenzt werden. Somit kann durch die genannten Neubaumaßnahmen – unabhängig von der zukünftigen Art der Wärmeerzeugung – eine Reduzierung des Wärmebedarfs sowie des CO₂-Ausstoßes pro m² BGF im Gebiet erzielt werden.

Potenzial: Sanierung des Rathaus-Bestands

Bei einer Sanierung der Gebäudehülle des Bestandsgebäudes des Rathauses Tempelhof würden sich verschiedene Potenziale ergeben:

- ▶ Reduzierung des Energiebedarfs, damit Reduzierung der erzeugungsbedingten CO₂-Emissionen



- ▶ Absenkung der Systemtemperaturen (aktuell: 90/70 °C im Vor- und Rücklauf) auf Niedertemperaturniveau (z.B. 40 °C) und damit:
 - Anschluss des sanierten Rathaus-Bestands an ein Niedertemperaturnetz möglich
 - Reduzierte Wärmeverluste im Niedertemperaturnetz
 - Grundlage zur Integration erneuerbarer Energien in die Versorgung des Rathaus-Bestands⁷

Nachfolgend ist der Wärmebedarf, aufgeteilt auf Bestands- und Neubauten, im Energieflussdiagramm (Sankey-Diagramm) dargestellt:

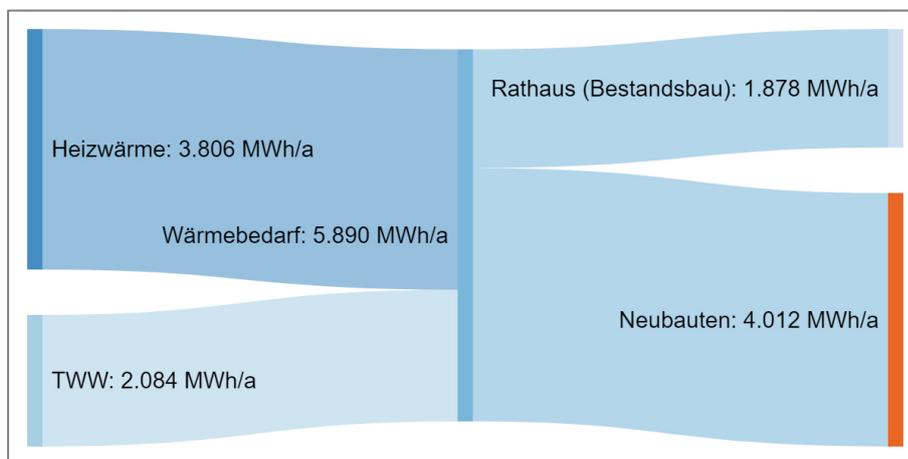


Abbildung 5: Wärmebedarf für Neubau und Bestand (Sankey-Diagramm)

Etwa 32 % der Wärmeerzeugung wird dabei zur Deckung des Raumwärmebedarfs des Rathaus-Bestandes (bei Trinkwarmwasserbedarf = 0) aufgewendet, sodass der spezifische Bedarfswert für Raumwärme gemäß Tabelle 6 mit 100 kWh/m²a angesetzt werden kann. Bei Sanierung des Rathaus-Bestands nach Anforderungen des KfW-55-Standards – entsprechend den Effizienzstandards der übrigen Neubauten – wird der Raumwärmebedarf mit 24 kWh/m²*a angesetzt (siehe Tabelle 3).

Das nachfolgende Sankey-Diagramm zeigt den Wärmebedarf des Rathaus-Bestands nach Sanierung sowie der Neubauten:

⁷ Grund: Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen erfolgt meist auf Niedertemperatur-Niveau

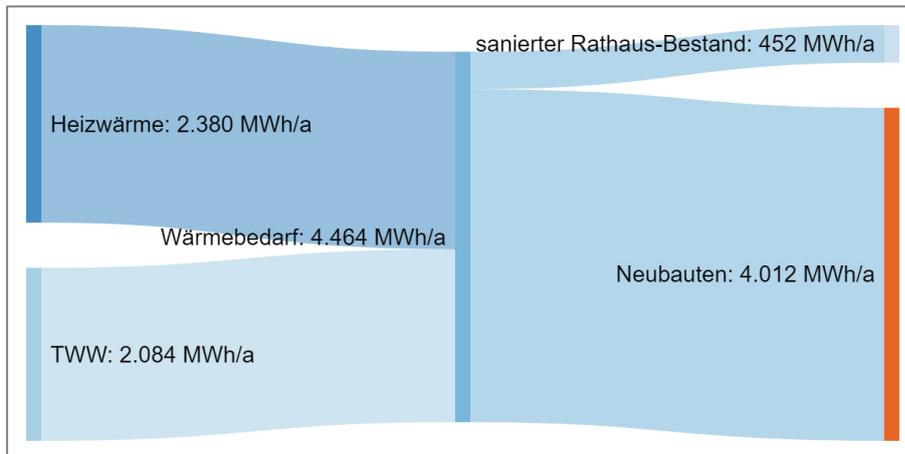


Abbildung 6: Wärmebedarf nach Rathaus-Sanierung (Sankey-Diagramm)

Nach Sanierung des Rathaus-Bestands gemäß KfW-55 entspricht dies einer Einsparung des Wärmebedarfs für Raumwärme des Rathaus-Bestands von rund 76 %. Bezogen auf das Gesamtgebiet kann eine Reduktion des Gesamtwärmebedarfs von rund 1,4 MWh/a bzw. 24 % erzielt werden, neben den eingangs genannten Potenzialen.



5.

Technische Varianten der Energieversorgung

Es werden die folgenden Wärme- und Stromversorgungsvarianten untersucht:

- Variante 1: **Fernwärme**
Anschluss an Fernwärmenetz, Stromversorgung über öffentliches Netz
- Variante 2: **KWK mit BHKW und Nahwärmenetz**
Erdgas-BHKW (Grundlast), Erdgasbrennwertkessel (Spitzenlast), ergänzt um Solarthermie, Errichtung eines Nahwärmenetzes, Stromeigenerzeugung im Quartier
- Variante 3: **Wärmepumpen und Geothermie**
Erdwärmesonden mit nachgeschalteten Wärmepumpen, ergänzt um Solarthermie, Errichtung eines LowEx-Netzes, Stromversorgung (Wärmepumpen) über öffentliches Netz
- Referenzvariante: **Erdgaskessel**
dezentrale Erdgas-Brennwertkessel, ergänzt um Solarthermie, Stromversorgung über öffentliches Netz

Die Umsetzung der Varianten 2 und 3 sowie der Referenzvariante kann durch eine Eigenerrichtung durch den Investor oder durch einen externen Contractor erfolgen. Im letzteren Fall bietet der Contractor die Energielieferung als Dienstleistung an, sodass der Investor keine Eigenmittel benötigt.

In Abschnitt 5.5 werden verschiedene technische Versorgungsmöglichkeiten aufgeführt. Je nach Variante können diese kombiniert oder ausgeschlossen werden. Darin werden die folgenden Potenziale grob untersucht:

- ▶ Abwasserwärmenutzung
- ▶ Heizkraftwerk auf Biomassebasis
- ▶ Windkraft
- ▶ Photovoltaik
- ▶ E-Mobilität



5.1.

Variante 1: Fernwärme

Bei dieser Variante würde jeweils ein Anschluss aller zu versorgenden Gebäude an das Fernwärmenetz des Versorgers erfolgen, wodurch Grund- und Spitzenlast gedeckt werden. Es bedarf keiner Errichtung einer Energiezentrale. Die thermische Gesamtleistung eines Fernwärmeanschlusses beträgt dabei in etwa 3,1 MW_{th}. Die Vor- und Rücklauftemperaturen der Fernwärme betragen in etwa 90/60 °C. Eine Versorgung aus dem Rücklauf auf geringerem Temperaturniveau kann zukünftig möglich sein. Dies muss zu gegebener Zeit geprüft werden. Der Rathaus-Bestandsbau bedarf aktuell Systemtemperaturen von 90/70 °C (Vorlauf/Rücklauf), das Stadtbad über 60 °C. Bei einer zukünftigen Sanierung des Rathaus-Bestandsbaus kann eine Absenkung der Systemtemperaturen, beispielsweise durch Einsatz von Flächenheizungen zu folgendem Zweck erzielt werden (vgl. Potenzial: Sanierung des Rathaus-Bestands):

- ▶ Erhöhung der Systemeffizienz durch Minimierung der Wärmeverluste im Wärmenetz
- ▶ Grundlage zur Integration erneuerbarer Energien in das Wärmenetz⁸

Technische Realisierbarkeit

Der Fernwärmebezug erfolgt über den jeweiligen Versorger (z.B. Vattenfall). Zum jetzigen Zeitpunkt ist das Gebiet rund um den Tempelhofer Damm fernwärmetechnisch nicht erschlossen (siehe Abbildung 7). Daher ist diese Variante Stand jetzt technisch nicht realisierbar. Da eine Erschließung des Gebiets durch den Versorger zukünftig nicht ausgeschlossen werden kann, wird sie als Vergleichsvariante mit betrachtet.

⁸ Grund: Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen erfolgt meist auf Niedertemperatur-Niveau

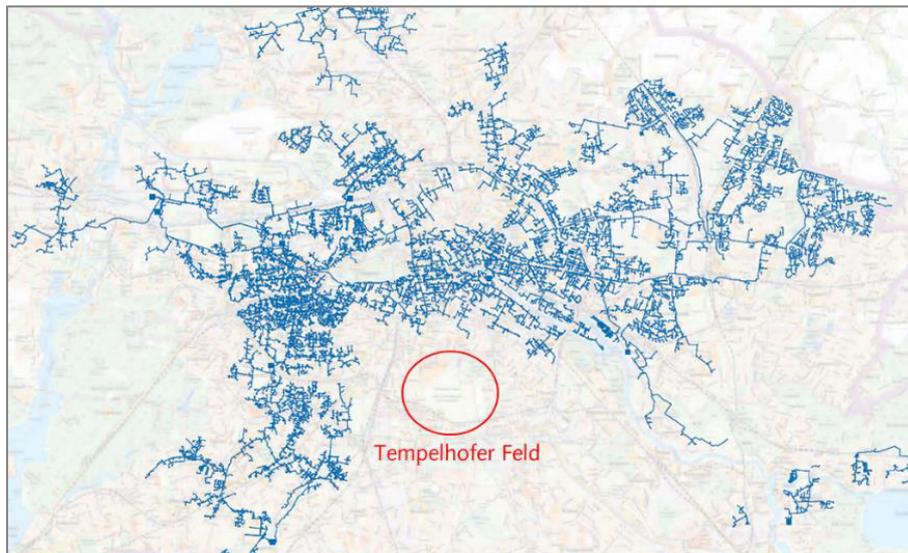


Abbildung 7: Erschließungsplan Fernwärme Berlin⁹

Die Abbildung 8 zeigt eine schematische Darstellung der Variante 1.

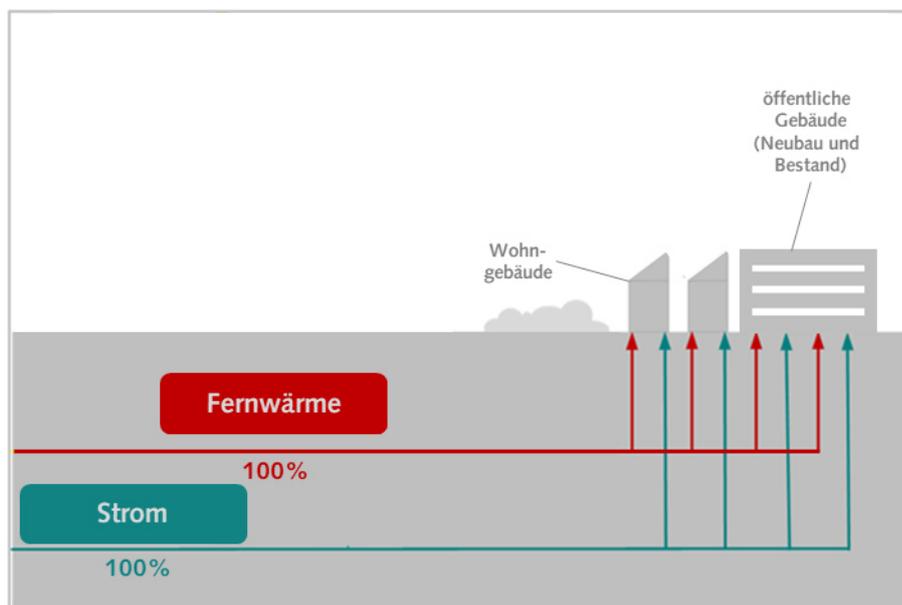


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Variante 1¹⁰

⁹ Quelle: Vattenfall, angepasst durch MegaWATT

¹⁰ Quelle: MegaWATT



Der Strombedarf wird vollständig durch Strombezug aus dem Netz der öffentlichen Versorgung genutzt.

Eine Stromerzeugung durch Photovoltaik auf Wohn- oder öffentlichen Gebäuden kann den Strombedarf anteilig decken. Dafür stehen rund 4.250 m² für PV-Nutzung zur Verfügung (weiteres siehe Abschnitt 5.5).

Eine tabellarische Darstellung der Technik und der erforderlichen Investitionen findet sich hierzu in Anlage 3 (siehe Verzeichnis der Anlagen).

5.2.

Variante 2: KWK mit BHKW und Nahwärmenetz

Bei dieser Variante verbindet ein Nahwärmenetz als Niedertemperatur-Wärmenetz mit Systemtemperaturen von 90/50 °C (Vorlauf/Rücklauf) die zu versorgenden Gebäude, da der Rathaus-Bestandsbau dieser vergleichsweise hohen Systemtemperaturen bedarf. Zur Absicherung der Grund- und Spitzenlast wird eine Energiezentrale bestehend aus einem erdgasbetriebenen Blockheizkraftwerk-Modul sowie einem Erdgas-Brennwertkessel errichtet. Der Standort der Energiezentrale befindet sich im Rathaus-Erweiterungsbau oder alternativ im angrenzenden geplanten Kulturbaustein (siehe Trassenplan). Die Wärmeerzeugung im Grundlastbetrieb wird durch das wärmegeführte BHKW realisiert, Mittel- und Spitzenlast erzeugt der Brennwert-Kessel. Solar erzeugte Wärme kann zur Spitzenlastabdeckung und zur Trinkwarmwasserbereitung genutzt werden. Solare Überschüsse im Sommer können zudem für das Stadtbad nutzbar gemacht werden. Bei vorübergehender Nichtnutzung des Stadtbads in den Schulferien erfolgt die Trinkwassererwärmung ausschließlich solar.

Die Errichtung und der Betrieb zur Wärme- und Stromversorgung kann durch einen Investor oder durch einen externen Energiedienstleister (Contractor) erfolgen.

Die Leistungsdaten der genannten Wärmeerzeugungsanlagen und Vollbenutzungsstunden (Vbh) des BHKW sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt:

KENNZEICHNUNG	Leistungsdaten			Vbh
BHKW	800 kW _{th}	648 kW _{el}	Tiefe: 100 m	5.098 h/a
Erdgas-Brennwertkessel	Anzahl: 2	1.384 kW _{th} gesamt		
Solarthermiekollektoren	Anzahl: 10	2.576 m ² gesamt		

Tabelle 8: Leistungsdaten der Erzeugungsanlage Variante 2



Ein Nahwärmenetz verbindet die Energiezentrale (BHKW und Spitzenkessel) im Untersuchungsgebiet mit allen zu versorgenden Gebäuden. Die Trassenlänge beträgt rund 1.000 m, es werden Kunststoffmantelrohre eingesetzt mit Rohrenweiten von max. DN 150.

Die Abbildung 9 zeigt eine schematische Darstellung der Variante 2.

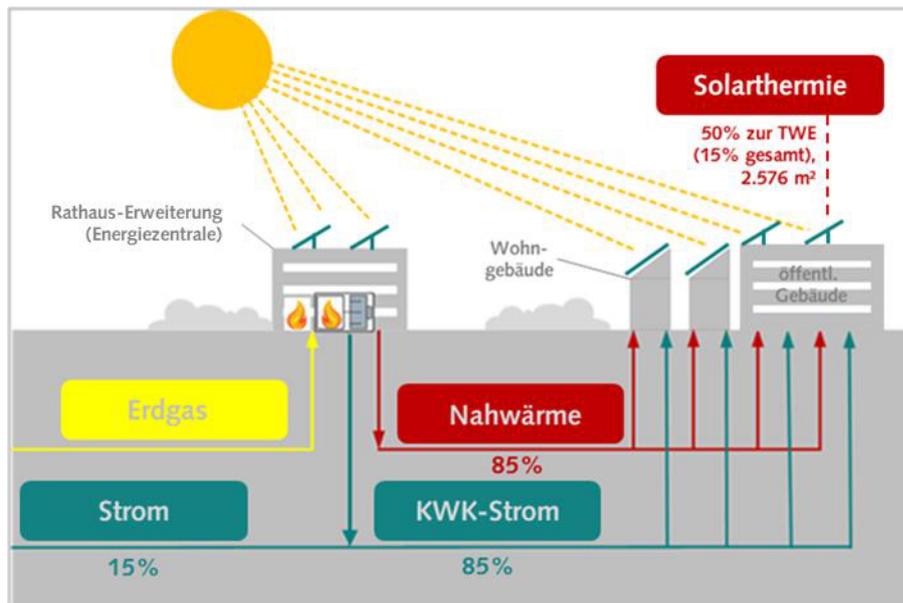


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Variante 2¹¹

Die zentrale BHKW-Anlage ist mit folgender Technik ausgerüstet:

- ▶ Erdgas-BHKW - Kompakt-Aggregat mit Wärmetauschern, Abgasreinigungssysteme (geregelt Katalysatoren), Schalldämpfer, interne Regelung, 0,4 kV- bzw. 10 kV-Generatoren für Netzparallelbetrieb
- ▶ Spitzenkessel als Brennwertkessel, Brennstoff Erdgas, Brenner mit niedrigen Emissionswerten (NOx)
- ▶ zentrale, drehzahlgeregelte Netzumwälzpumpen
- ▶ Druckhaltung und Wasseraufbereitung
- ▶ Be- und Entlüftung
- ▶ zentrale Leittechnik

¹¹ Quelle: MegaWATT



Das BHKW-Modul wird wärmegeführt betrieben. Die Deckung des Wärmebedarfs durch das Modul ist in einem Diagramm (Jahresdauerlinie) in Anlage 4 (siehe Verzeichnis der Anlagen) wiedergegeben. Es zeigt den Leistungsbedarf für Heizwärme über die Anzahl der Stunden im Jahr und die von den Anlagenmodulen gedeckten Anteile. Die Flächen unter der Kurve bzw. in den Rechtecken geben jeweils die Wärmerarbeit wieder.

Mit Rücksicht auf die Lage des Untersuchungsgebiets im innerstädtischen Bereich ist der BHKW-Aggregat mit einem hochwirksamen Abgasreinigungssystem ausgerüstet, welcher den geltenden Normen zu Schadstoffemissionen weit unterschreitet (1/2 TA-Luft).

Der Flächenbedarf für die Energiezentrale der zentralen Versorgung beträgt ca. 200 m². Der Standort bzw. Alternativstandort der Energiezentrale sowie der Trassenverlauf ist in Abbildung 10 dargestellt:

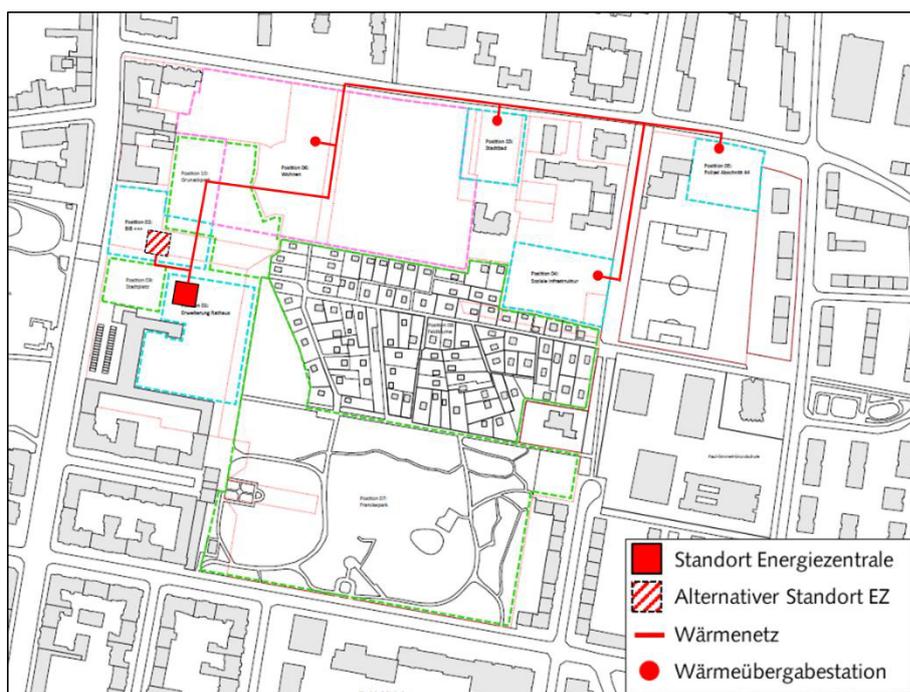


Abbildung 10: Trassenplan Nahwärmenetz Versorgungsvariante 2¹²

¹² Quelle: AG, angepasst durch MegaWATT



Bei der zentralen Versorgung erfolgt die Übergabe der Wärme indirekt in den Übergabestationen (siehe Schema in Anlage 2 im Verzeichnis der Anlagen).

Der Strombedarf der Gebäude wird zu etwa 85 % durch die BHKW gedeckt. Die restlichen 15 % werden aus dem Netz der öffentlichen Versorgung gedeckt. Die Stromtrasse mit einer Länge von ca. 1.000 m wird parallel zur Wärmetrasse verlegt.

Eine zusätzliche Stromerzeugung durch Photovoltaik auf Wohn- oder öffentlichen Gebäuden kann die Deckungsrate des Strombedarfs erhöhen. Ohne den Einsatz von großen, kostenintensiven Batteriespeichern zum Ausgleich von Erzeugung und Bedarf kann jedoch kein Autarkiegrad von 100 % erreicht werden. Unter Einbezug der Dachflächen zur solarthermischen Erzeugung stehen noch rund 1.674 m² für PV-Nutzung zur Verfügung (weiteres siehe Abschnitt 5.5).

Variante 2 sieht zudem einen solarthermischen Anteil an der Wärmeversorgung der Gebäude vor. Als wirtschaftlich und energetisch sinnvoll erscheint in diesem Fall ein Anteil der Solarthermie von 15 % am jährlichen Gesamtwärmebedarf. Dies entspricht in etwa 50 % des Trinkwarmwasserbedarfs zum wirtschaftlichen Betrieb von Solarthermieanlagen. Solare Erzeugungsüberschüsse im Sommer können dabei gegebenenfalls für das Stadtbad nutzbar gemacht werden. Bei geringer Wärmeabnahme des Stadtbads im Sommer kann die erzeugte Wärme saisonal mittels Saisonspeicher bis zum Winter zwischengespeichert oder mittels Absorptionswärmepumpen zu Kühlzwecken genutzt werden. Beide sehr kostenintensiven Anwendungen finden in diesem Konzept keine Berücksichtigung und bedürfen bei Bedarf einer Prüfung und detaillierten Planung.

Bei einer Aufstellung von Solarkollektoren in südlicher bzw. gegebenenfalls in Ost-West-Ausrichtung auf den Dächern der Gebäude kann von einem spezifischen, jährlichen Energieertrag von rund 350 kWh_{th}/m² ausgegangen werden. Es ergibt sich für das Gebiet in Summe eine benötigte Kollektorfläche von rund 2.576 m².

Die Solarthermischen Anlagenkomponenten bestehen aus:

- ▶ thermische Solarkollektoren (z. B. aufgeständert, dach- oder fassadenintegriert)
- ▶ Wärmetauscher zur Einbindung in die TWE
- ▶ Verrohrung und Pumpen
- ▶ Pufferspeicher oder vergrößerte Trinkwarmwasserspeicher.



Eine tabellarische Darstellung der Technik und der erforderlichen Investitionen findet sich hierzu in Anlage 4.

Perspektivisch sind KWK-Systeme mit Nahwärmenetzen und vergleichsweise hohen Systemtemperaturen dafür vorgesehen, erneuerbare Energien zur Wärmeerzeugung durch Absenkung der Systemtemperaturen auf Niedertemperaturniveau integrierbar zu machen. Die Grundlage dafür liefern beispielsweise die energetische Sanierung von Bestandsgebäuden, wie dem Rathaus-Bestand, einschließlich der Ausstattung mit Flächenheizungen, die geringe Vor- und Rücklauftemperaturen benötigen. Dadurch können die Systemtemperaturen des Wärmenetzes gesenkt und erneuerbare Energien auf relativ geringem Temperaturniveau zur Einspeisung in das Wärmenetz integriert werden. Die KWK ist daher als sogenannte „Brückentechnologie“ zu sehen.

5.3.

Variante 3: Wärmepumpen und Geothermie

Hierbei wird ein Nahwärmenetz als LowEx-Netz mit einer Systemtemperatur von 40 °C errichtet. Der Trassenplan entspricht dem des Nahwärmenetzes aus Variante 2. Der Rathaus-Bestandsbau bedarf weiterhin Systemtemperaturen von 90/70 °C (Vorlauf/Rücklauf), das Stadtbad über 60 °C. Diese Gebäude können separat mittels bestehenden oder neuen Erdgas-Brennwertkessel (Austausch der Bestandskessel je nach Alter) versorgt werden. Sie werden somit nicht an das LowEx-Netz mit Systemtemperatur von 40 °C angeschlossen. Für den Fall einer zukünftigen Sanierung des Rathaus-Bestandsbaus kann dieser mit in das LowEx-Netz zur Versorgung integriert werden.

Alternativ kann ein Dreileiter-System errichtet werden. Dieses besteht aus zwei Vorläufen mit unterschiedlichen Temperaturniveaus und einem gemeinsamen Rücklauf. Der warme Vorlauf (HT) versorgt die Gebäude, wie den Rathaus-Bestandsbau und das Stadtbad, die Temperaturen über 60 °C benötigen. Der kalte Vorlauf (NT) versorgt alle Neubauten und sanierten Gebäude, in denen Flächenheizungen mit niedrigen Vorlauftemperaturen zum Einsatz kommen. Abbildung 11 zeigt eine schematische Darstellung des Dreileiter-Systems:

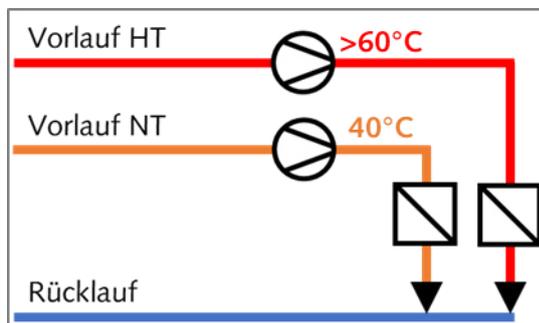


Abbildung 11: Dreileiter-System¹³

In dieser technischen Versorgungsvariante wird jedoch der Betrieb eines LowEx-Netzes zur Einspeisung von niedrigtemperierter Wärme aus erneuerbaren Energiequellen sowie eine separate Versorgung des Rathaus-Bestandsbaus und des Stadtbads mittels Erdgas-Brennwertkessel untersucht. Zusätzlich werden monovalente Sole-Wasser-Wärmepumpen installiert. Zur Gewinnung der Umweltwärme dienen Erdwärmesonden mit einer maximalen Tiefe von 100 m, die zusammen mit den Wärmepumpen auf den im Gebiet dafür geeigneten Flächen installiert werden. Alternativ bzw. zusätzlich kann Abwärme oder Wärme aus erneuerbaren Energien in das Netz eingespeist werden. Solar erzeugte Wärme kann zur Spitzenlastabdeckung genutzt werden und ebenfalls in das LowEx-Netz eingespeist werden. Solare Überschüsse im Sommer können zudem – wie bereits in Abschnitt 5.2 erläutert – für das Stadtbad nutzbar gemacht werden. Die Trinkwarmwassererwärmung (TWE) erfolgt dezentral mittels elektrischer Durchlauferhitzer oder Wärmeübertrager mit Primärspeicher zur Vorbeugung von Legionellen. Als Bestandteil der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) wird die TWE hier nicht weiter betrachtet.

Die Errichtung und der Betrieb zur Wärmeversorgung kann durch einen Investor oder durch einen externen Energiedienstleister (Contractor) erfolgen.

Tabelle 9 enthält durchschnittliche Leistungsangaben zu den Wärmeerzeugern, die ans LowEx-Netz angeschlossen werden:

¹³ Quelle: MegaWATT



KENNZEICHNUNG	Leistungsdaten		
Erdwärmesonden	Anzahl: 364	à 4 kW_th.	Tiefe: 100 m
Wärmepumpen	Anzahl: 15	à 100 kW_th.	1,5 MW_th. gesamt
Solarthermiekollektoren	Anzahl: 10	à 259 m ²	2.576 m ² gesamt
Erdgas-Brennwertkessel	Anzahl: 2	1.384 kW_th. gesamt	

Tabelle 9: Leistungsdaten der Erzeugungsanlage Variante 3

Der Strombezug erfolgt aus dem Netz der öffentlichen Versorgung.

Die Anlagen sind jeweils mit folgender Technik ausgerüstet:

- ▶ Elektrowärmepumpe (Zentraleinheit für Heizung und Warmwasserbereitung)
- ▶ Wärmeübertrager zur hydraulischen Trennung
- ▶ Wärmeentnahmestelle inklusive Verrohrung (Erdsonden und/oder Energiepfähle)

Die Abbildung 12 zeigt eine schematische Darstellung der Variante 3. Die separaten Versorgungsmöglichkeiten des Rathaus-Bestandsbaus und des Stadtbads sind hier nicht eingezeichnet.

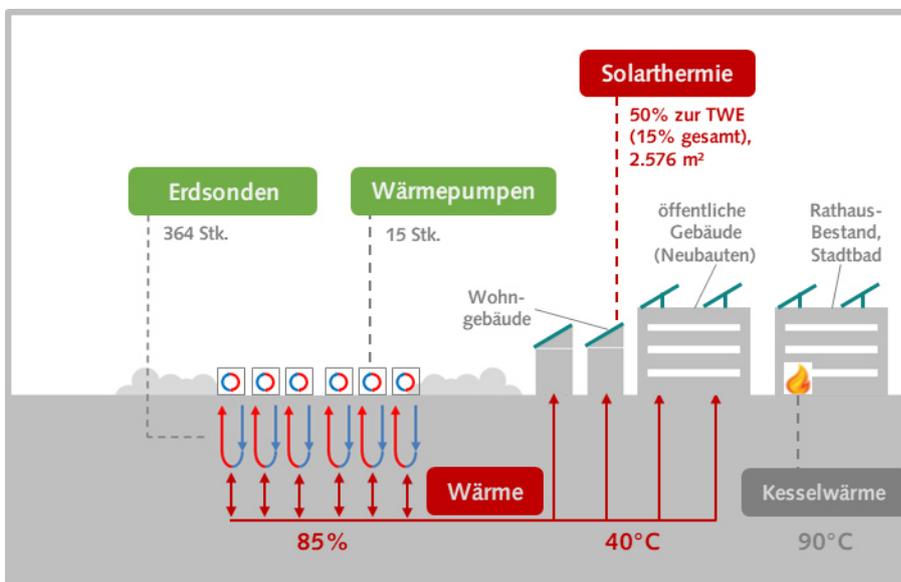


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Variante 3¹⁴

¹⁴ Quelle: MegaWATT



Der Strombedarf zum Betrieb der Wärmepumpen wird aus dem Netz der öffentlichen Versorgung gedeckt.

Eine Stromerzeugung durch Photovoltaik auf Wohn- oder öffentlichen Gebäuden kann den Haushaltstrombedarf bzw. den Strombedarf der Wärmepumpen anteilig decken. Unter Einbezug der Dachflächen zur solarthermischen Erzeugung stehen noch rund 1.674 m² für PV-Nutzung zur Verfügung (weiteres siehe Abschnitt 5.5).

Das Funktionsprinzip der Wärmepumpe ist in Abbildung 13 dargestellt:

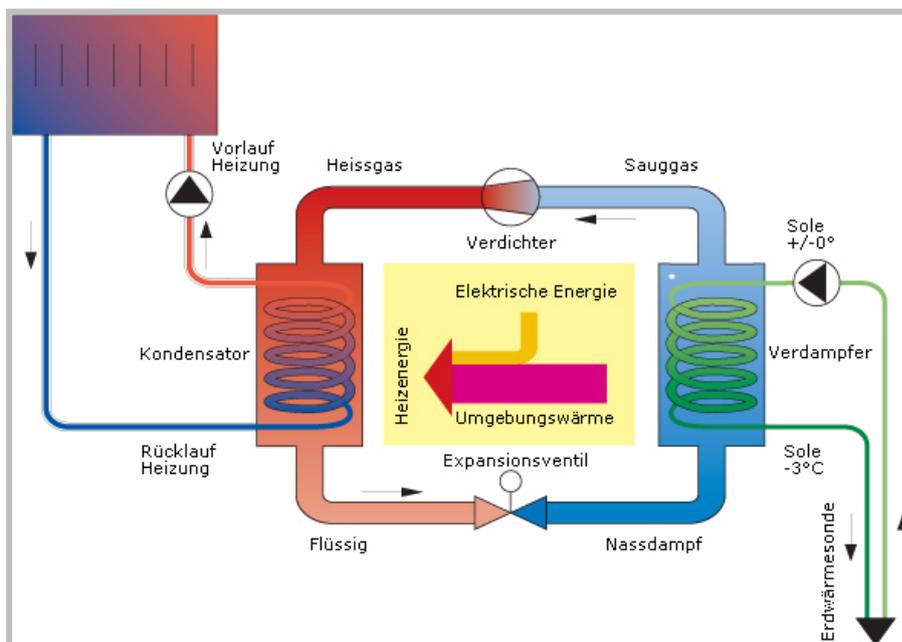


Abbildung 13: Funktionsprinzip der Wärmepumpe¹⁵

Erdwärme auf einem relativ niedrigen Temperaturniveau wird in der Wärmepumpe zur Verdampfung eines FCKW-freien Kältemittels verwendet. Durch Kompression erhitzt sich das Kältemittel und gibt in einem Kondensator Wärme auf einem Temperaturniveau von ca. 40 °C ab, die für Heizzwecke verwendet werden kann.

Potentialabschätzung der Wärmequelle Erdreich

Umgebungswärme ist eine extensive, also vergleichsweise "niedrig konzentrierte" Energieform, die im Gebiet nicht in unbegrenztem Umfang

¹⁵ Quelle: K + W



zur Verfügung steht. Insofern ist eine Potenzialabschätzung erforderlich.

Bedingt durch die thermische Regenerationsfähigkeit des Erdreichs beträgt die spezifische geothermische Ergiebigkeit des Untergrunds bei 100 m Erdsondenlänge (und rund 1.800 Betriebsstunden) unter der Berücksichtigung von unbebauter Erdoberfläche, Versiegelung, Bebauung und Verschattung ca. 40 Watt je m Erdeindringtiefe gemäß der Potenzialstudie zur Nutzung geothermischer Ressourcen in Berlin aus dem Jahr 2010¹⁶ (siehe Anlage 5 im Verzeichnis der Anlagen). Die maximale Bohrungstiefe wird mit 100 m angenommen.

Bei der Nutzung des Erdreichs als Wärmequelle sind folgende Randbedingungen zu beachten:

- ▶ Altlasten können die Nutzung des Erdreichs über Erdsonden einschränken.
- ▶ Die möglichen Entnahmemengen je Erdsonde sind begrenzt.
- ▶ Tiefenbegrenzung auf 100 m aufgrund des Bergrechts

Es wird empfohlen, vor einem Einsatz der Wärmepumpe mit Nutzung des Erdreichs als Wärmequelle detaillierte hydrogeologische Untersuchungen durchzuführen. Grundsätzlich ist die geothermische Nutzung im Untersuchungsgebiet gemäß der Potenzialstudie zur Nutzung geothermischer Ressourcen in Berlin aus dem Jahr 2010 jedoch möglich.

Zum wirtschaftlichen Einsatz in LowEx-Netzen erfordert die Wärmepumpe auf der Gebäudeseite eine Flächenheizung mit einer Vorlauftemperatur von 40 °C. Zur Vorbeugung von Legionellen erfolgt die Trinkwarmwasserbereitung dezentral mittels elektrischer Durchlauferhitzer oder Wärmeübertrager mit Primärspeicher.

Anlage 5 enthält eine Beschreibung zur technischen Auslegung und zu den Investitionen (siehe Verzeichnis der Anlagen).

5.4.

Referenzvariante: Erdgaskessel

In der Referenzvariante erfolgt die Wärmeerzeugung in mehreren Energiezentralen mittels Erdgas-Brennwertkessel. Zusätzliche Wärme wird

¹⁶ Quelle: GeoPortal Berlin



hier über dezentrale Solarthermieanlagen bereitgestellt, sodass mindestens 15 % des jährlichen Gesamtwärmebedarfs solar gedeckt werden.

Die Errichtung und der Betrieb zur Wärme- und Stromversorgung kann durch einen Investor oder durch einen externen Energiedienstleister (Contractor) erfolgen).

Abbildung 14 zeigt eine schematische Darstellung der Referenzvariante:

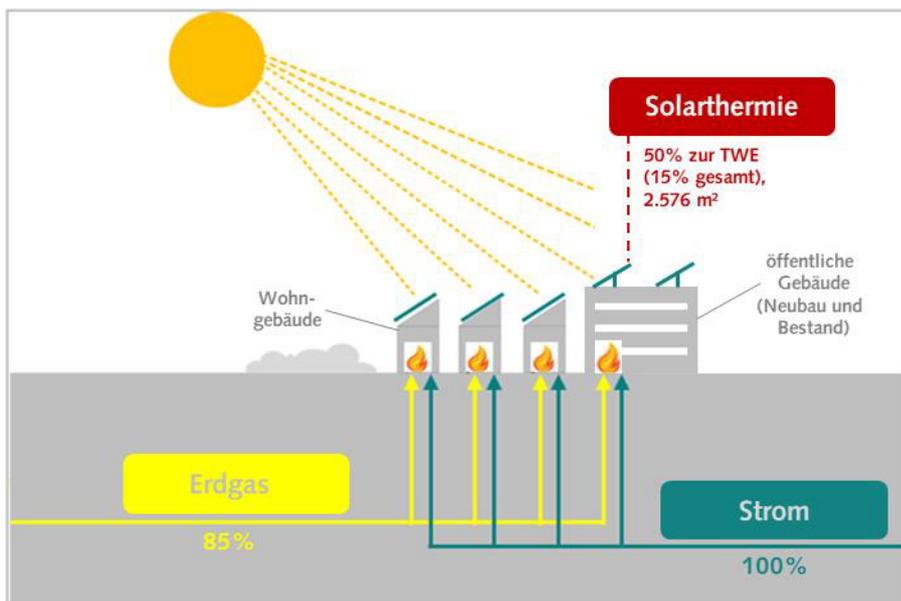


Abbildung 14: Schematische Darstellung der Referenzvariante¹⁷

Alle Gebäude werden mit Kesseln ausgerüstet. Es ergibt sich eine durchschnittliche Kesselleistung von 306 kW_{th} pro Energiezentrale.

Bei einer Aufstellung von Solarkollektoren in südlicher Ausrichtung auf den Dächern der Gebäude kann von einem spezifischen, jährlichen Energieertrag von rund 350 kWh_{th}/(m²*a) ausgegangen werden.

Die Anlagenkomponenten zur Energieversorgung der Basisvariante sind in Tabelle 10 aufgeführt.

¹⁷ Quelle: MegaWATT



KENNZEICHNUNG	Leistungsdaten		
Erdgas-Brennwertkessel	Anzahl: 10	à 306 kW _{th} .	3.060 kW _{th} . gesamt
Solarthermiekollektoren	Anzahl: 10	à 259 m ²	2.576 m ² gesamt

Tabelle 10: Anlagenkomponenten der Basisvariante

Die solarthermischen Anlagenkomponenten entsprechen denen aus Variante 2.

Der Strombedarf wird durch Strombezug aus dem Netz der öffentlichen Versorgung gedeckt.

Eine Stromerzeugung durch Photovoltaik auf Wohn- oder öffentlichen Gebäuden kann den Strombedarf anteilig decken. Unter Einbezug der Dachflächen zur solarthermischen Erzeugung stehen noch rund 1.674 m² für PV-Nutzung zur Verfügung (weiteres siehe Abschnitt 5.5).

Anlage 6 enthält eine Beschreibung zur technischen Auslegung und zu den Investitionen (siehe Verzeichnis der Anlagen).

5.5. Zusätzliche Versorgungsmöglichkeiten

Abwasserwärmenutzung

Im Gebiet am Tempelhofer Damm besteht nach Auskunft der Berliner Wasserbetriebe (BWB, Abteilung Abwasserentsorgung/Strategien und Technische Steuerung) die Möglichkeit der Abwasserwärmenutzung unter den nachfolgenden Voraussetzungen.

a) Abstand Wärmeübertrager zu versorgenden Gebäuden

Die Entfernung zur Wärmequelle am Tempelhofer Feld beträgt in etwa 1,5 km. Aktuell befinden sich anliegend am Tempelhofer Damm drei Abwasserdruckleitungen, von denen zukünftig eine zur Abwasserwärmenutzung geeignet sein wird. Anlage 7 (siehe Verzeichnis der Anlagen) enthält Leitungspläne der anliegenden Abwasserleitungen im Untersuchungsgebiet. In Abhängigkeit weiterer Interessenten zur Nutzung von Abwasserwärme im Gebiet steht potenziell etwa eine thermische Anschlussleistung von 500 kW_{th} zu Verfügung. Dabei darf die maximale Leitungslänge vom Wärmeübertrager bis hin zum zu versorgenden Gebäude nicht mehr als 100 m betragen. Der Wärmeübertrager kann in etwa mit einer Länge parallel zur Abwasserleitung von 60 m bemessen werden.



b) Sanierung der bestehenden Abwasserdruckleitung

Die wirtschaftliche Nutzung von Abwasserwärme setzt eine Sanierung der Abwasserdruckleitungen am Tempelhofer Damm voraus, die zum jetzigen Zeitpunkt nicht terminiert ist. Daher wird die Abwasserwärmenutzung im Konzept lediglich als Potenzial und nicht in der Dimensionierung der technischen Versorgungsvarianten aufgeführt. Sie kann jedoch bei technischer und wirtschaftlicher Realisierbarkeit effizient in die Versorgungsvariante 3 integriert und zur Einspeisung in ein LowEx-Netz auf Niedertemperatur genutzt werden. Die Einspeisung der niedrigtemperierten Abwasserwärme in ein Nahwärmenetz mit hohen Systemtemperaturen ist mittels Wärmepumpen zur Temperaturerhöhung möglich, jedoch ineffizient.

Die Nutzung der Abwasserwärme führt allgemein zur Ressourcenschonung und Vermeidung von CO₂-Emissionen zur Wärmeerzeugung. Die Abwasserwärmenutzung kann den Primärenergiefaktor verbessern. Es empfiehlt sich die Nutzung der Abwasserwärme erneut zu einem späteren Zeitpunkt in enger Abstimmung mit den Berliner Wasserbetrieben (BWB) zu prüfen, da die Abwasserwärmenutzung im Gebiet zukünftig möglich erscheint.¹⁸

Heizkraftwerk auf Biomassebasis

Durch Nutzung von Biomasse, wie Holzhackschnitzel oder Holzpellets, wird Wärme in einem Verbrennungsprozess zur Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung in einem herkömmlichen Kessel erzeugt. Trotz des Verbrennungsprozesses ist Holz als nachwachsender Rohstoff bilanziell klimaneutral. Aufgrund der CO₂-Emissionen des Kessels bedarf es jedoch eines Genehmigungsverfahrens. Darüber hinaus muss die Brennstofflogistik bedacht werden, die aufgrund der Lage im Stadtgebiet angesichts des entstehenden Anlieferungsverkehrs problematisch erscheint. Daher wurde diese technische Versorgungsmöglichkeit im Konzept nicht berücksichtigt.

Windkraft

Mittels Windenergieanlagen kann Strom aus der Energiequelle Wind generiert werden. Dieser kann ins Stromnetz unterschiedlicher Spannungsebenen eingespeist werden. Horizontale Anlagen mit Höhen weit über 100 m sind für den Betrieb im Stadtgebiet nicht zugelassen. Auch

¹⁸ Quelle: Berliner Wasserbetriebe (BWB)



bei vertikalen Windenergieanlagen existieren hohe Genehmigungsanforderungen an den Aufstellort. Eine Studie des Bundesverbandes WindEnergie (BWE) aus dem Jahr 2011 schätzt den Anteil an nutzbaren Flächen zur Windenergienutzung in Berlin auf nur 1 Prozent, die meistens auch in Schutzgebieten liegen.¹⁹ Aufgrund des sehr geringen Potenzials wird die Stromerzeugung aus Windkraft in diesem Konzept nicht berücksichtigt.

Photovoltaik

Verfügbare Dachflächen können neben der Solarthermie zur TWE oder Heizungsunterstützung auch zur Stromerzeugung mittels Photovoltaik-Modulen (PV) genutzt werden. Bei dezentraler TWE auf elektrischer Basis, z.B. über Durchlauferhitzer, kann der erzeugte PV-Strom eigens zur TWE oder als Haushaltsstrom genutzt werden, wodurch der Eigenverbrauchsanteil erhöht werden kann. Zudem können Stromkosten für den Verbraucher gesenkt und CO₂-Emissionen eingespart werden.

Im Rahmen einer Potenzialanalyse wurden verfügbare Dachflächen zur PV-Nutzung analysiert. Nach derzeitigen Planungsstand ergeben sich in Abstimmung mit der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen folgende maximal verfügbare Dachflächen. Unter Berücksichtigung von Grünflächen auf den Dächern sowie von bereits zur solarthermischen Erzeugung genutzten Dachflächen ergeben sich die nachfolgenden potenziell nutzbaren Dachflächen zur PV-Stromerzeugung:

KENNZEICHNUNG	Dachfläche			
	max. verfügbar [m ²]	abzgl. Technikflächen [m ²]	Solarthermie [m ²]	Photovoltaik [m ²]
Öffentliche Gebäude:	5.000	1.700	1.030	670
Stadtbad	1.500	510	309	201
Polizei	1.000	340	206	134
Bibliothek	2.500	850	515	335
Private Gebäude:	7.500	2.550	1.546	1.004
Wohnungsbau	7.500	2.550	1.546	1.004
Summe:	12.500	4.250	2.576	1.674

Tabelle 11: Angaben zu verfügbaren Dachflächen für PV und Solarthermie

¹⁹ Quelle: „Studie Potenzial der Windenergienutzung an Land“; Bundesverband WindEnergie (BWE); Mai 2011



Der Anteil der Technikflächen bzw. der Flächen, die aufgrund der Dachneigung ausgeschlossen werden können, wurde hier mit 66 Prozent angenommen. Grünflächen können prinzipiell mit PV kombiniert werden. Die Gesamtgröße der solarthermischen Anlagen wird aus der Dimensionierung der technischen Versorgungsvarianten 2 bis 4 herangezogen. Die Flächenangaben der solarthermischen Anlagen je Gebäude entsprechen verhältnismäßig den maximal verfügbaren Dachflächen und können je nach Auslegung differieren.

Die maximal verfügbare Dachfläche beträgt in etwa 12.500 m². Abzüglich des Anteils der Grünflächen sind maximal 4.250 m² zur Energieerzeugung mittels Solarthermie oder PV nutzbar. Nach Abzug der Flächen, die bereits zur solarthermischen Erzeugung vorgesehen sind, verbleiben ca. 1.674 m² zur Installation von PV-Modulen.

Photovoltaik (PV)		
Erzeugung Elektroenergie	[MWh/a]	167
Strombedarf	[MWh/a]	2.803
Deckungsgrad	[%]	17
Kollektorertrag	[kWh/m ² a]	100
Kollektorfläche	[m ²]	1.674
Leistung/Fläche	[kWp/m ²]	0,14
Leistung gesamt	[kWp]	234

Tabelle 12: Angaben und Annahmen zur PV-Stromerzeugung

Unter Annahme eines durchschnittlichen jährlichen Solarertrags von rund 100 kWh/m²a (Quelle: DWD unter Einbezug des Kollektorwirkungsgrads und typ. Verluste) ergibt sich mit der oben ermittelten PV-Fläche eine Erzeugung von rund 167 MWh/a. Dies entspricht bilanziell in etwa 17 Prozent des Jahresstrombedarfs – tageszeitliche Erzeugungs- und Verbrauchsschwankungen unberücksichtigt – und einer Gesamtleistung von ca. 234 kW_p.

Die Erzeugung von PV-Strom ist in den nachfolgenden Energie- und CO₂-Bilanzen sowie der Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht berücksichtigt, sondern wird hier nur als Potenzial aufgeführt. Zur Berücksichtigung in der Berechnung des Primärenergiefaktors der Versorgung bedarf es einer umfangreichen Prüfung durch einen Gutachter.

E-Mobilität

Die Bundesregierung verfolgt das Ziel von einer Million Elektrofahrzeuge auf Deutschlands Straßen bis zum Jahr 2020. In Deutschland sind



aktuell ca. 46 Millionen PKW gemeldet²⁰, Tendenz steigend. Bei konstant bleibender Anzahl an PKW entspricht dies einer Quote von ca. 2 %.; jedes 46. Auto wäre demnach elektrisch betrieben.

Stromüberschüsse aus KWK und PV in Zeiten eines geringen Stromverbrauchs können durch Elektrofahrzeuge und/oder zur elektrischen Trinkwarmwassererwärmung sinnvoll genutzt werden. Im erstgenannten Fall werden die Batteriespeicher der E-Fahrzeuge meist über Ladesäulen, die vor Ort installiert werden, geladen. Die Förderungen der Elektromobilität stellen eine wesentliche Maßnahme der Bundesregierung zum Klimaschutz dar.

In der nachfolgenden Potenzialanalyse zur Nutzung des erzeugten PV-Stroms für E-Mobilität im Gebiet wurden folgende, marktübliche Annahmen getroffen, aufgeführt in Tabelle 13:

E-Mobilität			
Erzeugung	pro Jahr	[MWh/a]	167
	pro Monat	[MWh/a]	14
	pro Tag	[kWh/d]	465
E-Auto	Kapazität	[kWh/Stk.]	50
	Anzahl	[Stk.]	8
tägliche Vollladezyklen		[1/d]	1
Batterie	Wirkungsgrad	[%]	90
	Entladetiefe	[%]	80
Ladestationen	Anzahl	[Stk.]	8
	Leistung	[kW/Stk.]	22
	Gleichzeitigkeit	[%]	100
	Gesamtleistung	[kW]	176

Tabelle 13: Angaben und Annahmen zur E-Mobilität

Bei vollständiger Nutzung des durch PV erzeugten Stroms stehen täglich durchschnittlich 465 kWh elektrischer Energie für E-Mobilität, sprich zur Beladung von E-Autos, zur Verfügung. Jahres- und tageszeitlich bedingte Schwankungen in der PV-Stromerzeugung sind hier unberücksichtigt und erfordern eine detaillierte Simulation auf Stunden- oder ¼-Stundenbasis. Herkömmliche E-Autos mit den oben aufgeführten Angaben können somit mittels 8 Ladesäulen mit einer durchschnittlichen elektrischen Anschlussleistung von 22 kW beladen werden. Dies entspricht einer Gesamtleistung von 176 kW.

²⁰ Quelle: Statistisches Bundesamt



Bei rund 300 PKW-Stellplätzen im Untersuchungsgebiet wären demnach ca. 3 % der Stellplätze mit Elektroladesäulen ausgestattet (entspricht etwa 8 Ladesäulen insgesamt). Unter der o.g. Annahme eines Ladezyklus von einem E-Auto pro Tag sowie unter Anbetracht der geplanten E-Fahrzeugquote der Bundesregierung von ca. 2 % - wie eingangs erläutert – wird das Ziel zur E-Mobilität im Untersuchungsgebiet durch die Installation von insgesamt 8 Ladesäulen erreicht.

Zu beachten ist hier der ordnungsgemäße Anschluss der Stromtankstellen an die Niederspannungshauptverteilung.

Als Aufstellort bieten sich öffentliche Gebäude mit Zugang zu Hauptverkehrsstraßen, wie beispielsweise der Rathaus-Neubau, sowie – bei der KWK-Variante – in unmittelbarer Nähe zur Energiezentrale bzw. zum Transformator an. Die Nutzung des PV-Stroms für E-Mobilität ist in den nachfolgenden Energie- und CO₂-Bilanzen sowie der Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht berücksichtigt, sondern wird hier nur als Potenzial aufgeführt.



6.

Energie- und CO₂-Bilanz

In einer Energiebilanz für die einzelnen Versorgungsvarianten werden die benötigten und erzeugten Energiemengen zur Deckung des Wärme- und Strombedarfes bilanziert. Hierdurch werden u. a. die erforderlichen Brennstoffeinsätze (Primärenergie) ermittelt. Nachfolgend werden die CO₂-Emissionen der Erzeugungsanlagen für jede Versorgungsvariante bilanziell bestimmt.

Die Bilanzierung erfolgt in den folgenden Arbeitsschritten:

1. Festlegung der System- und Bilanzgrenzen
2. Aufstellen der Energiebilanzen
3. Ermittlung des Brennstoffeinsatzes (MWh/a)
4. Ermittlung der spezifischen CO₂-Emissionen (kg/MWh)
5. Bestimmung der absoluten CO₂-Emissionen (t/a).

6.1.

Systeme, Bilanzgrenzen und Berechnungsmethoden

Bei der Erstellung der Energie- und CO₂-Bilanz für das betrachtete Gebiet sind folgende Energiebilanzkreise zu berücksichtigen:

- ▶ Endenergiebedarf (Wärme und Strom)
- ▶ Sekundärenergiebedarf (Wärme und Strom)
- ▶ Erzeugung von Sekundärenergie vor Ort (z.B. Wärme aus BHKW)
- ▶ Fremderzeugung von Sekundärenergie (z.B. Fremdstromerzeugung)

6.2.

Energiebilanz und Brennstoffeinsatz

Die Energiebilanz der Varianten und der jeweilige Brennstoffeinsatz ist detailliert in Anlage 7 (siehe Verzeichnis der Anlagen) dargestellt.

Variante 1:

Der Wärmebedarf wird vollständig durch Fernwärmebezug vom Versorger gedeckt. Der gesamte Strombedarf wird aus dem öffentlichen Stromnetz bezogen.

Variante 2:

Der Wärmebedarf wird zentral über ein Wärmenetz gedeckt, das durch ein Erdgas-BHKW, einen erdgasgefeuerten Spitzenlastkessel sowie einer



Solarthermieanlage gespeist wird. Der Strombedarf wird zu etwa 85 % eigenerzeugt, der restliche Bedarf wird aus dem öffentlichen Stromnetz bezogen.

Variante 3:

Der Wärmebedarf der Neubauten wird zentral über ein LowEx-Netz gedeckt, das durch Erdwärmesonden in Kombination mit Wärmepumpen sowie durch Solarthermieanlagen gespeist wird. Der Rathaus-Bestandsbaus sowie das Stadtbad werden nicht an das Wärmenetz angeschlossen und durch jeweils einen Erdgaskessel separat versorgt. Der gesamte Strombedarf wird aus dem öffentlichen Stromnetz bezogen.

Referenzvariante:

Der Wärmebedarf wird durch dezentrale Brennwertkessel abgedeckt. Zur Trinkwarmwassererwärmung (TWE) dienen zusätzlich Solarthermieanlagen. Der gesamte Strombedarf wird aus dem öffentlichen Stromnetz bezogen.

6.3.

Spezifische CO₂-Emissionen

Die CO₂-Bilanz der betrachteten Varianten ist in Anlage 8 (siehe Verzeichnis der Anlagen) dargestellt.

Bei den spezifischen CO₂-Emissionen werden die aktuellen Werte für das Jahr 2016 vom Umweltbundesamt verwendet (vgl. Tabelle 14). Für den Bezug von Fremdstrom aus dem öffentlichen Stromnetz wird der aktuelle Kraftwerkspark der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2016 angesetzt.

Emissionsfaktoren	[kg/MWh]	Quelle
Erdgas	201	GEMIS
Strom	569	Umweltbundesamt
Fernwärme	129	Vattenfall Berlin, Stand: 03.11.2017

Tabelle 14: Spezifische CO₂-Emissionsfaktoren

Die Berechnung der spezifischen CO₂-Emissionen erfolgt nach der aktuell gültigen Berechnungsgrundlage, der Stromgutschriftmethode. Die durch die Wärmeversorgung verursachten, spezifischen CO₂-Emissionen der einzelnen Versorgungsvarianten und je Effizienzstandard sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

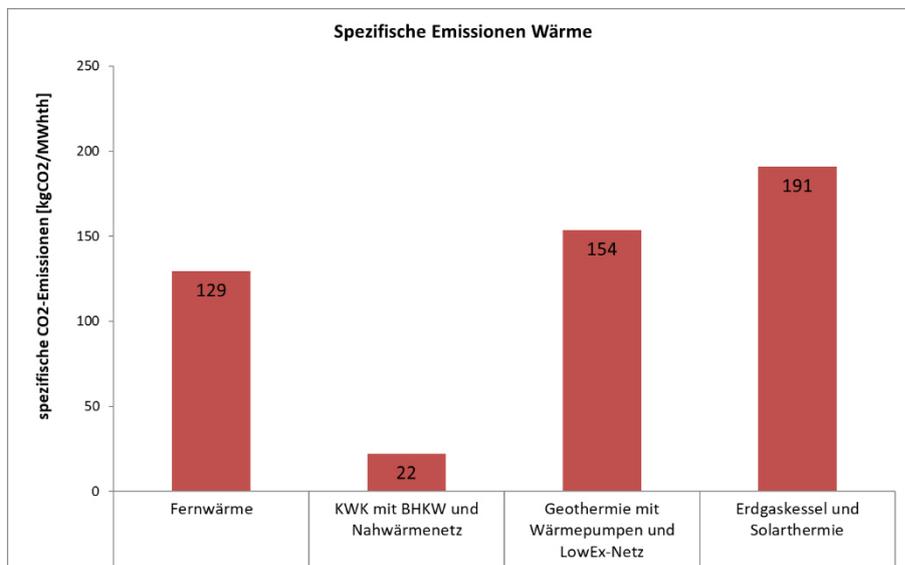


Abbildung 15: Spezifische CO₂-Emissionen der Wärmeversorgung im Vergleich

Die zentrale KWK-Lösung in Variante 2 weist aufgrund der relativ hohen Stromgutschrift (vgl. Abbildung 15) den geringsten Emissionsfaktor von 22 kgCO₂/MWh_{th} auf.

Variante 3, die die Errichtung eines Niedertemperaturnetzes mit Geothermie und Solarthermie sowie eine Weiterversorgung des Rathaus-Bestands und des Stadtbads auf Erdgasbasis vorsieht, weist aufgrund des Strombezugs zum Betrieb der Wärmepumpen relativ hohe spezifische Emissionsfaktoren von ca. 154 kgCO₂/MWh_{th}, die Fernwärmevariante etwa 129 kgCO₂/MWh_{th}.

Die spezifischen CO₂-Emissionen der Basisvariante liegen bei 191 kgCO₂/MWh_{th}, bedingt durch den Verbrennungsprozess von Erdgas.

Langfristig ist von einer Verschlechterung der Variante 2 sowie von einer Verbesserung der Variante 3 auszugehen. Grund dafür ist der steigende Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung.

Bei steigendem Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung sinken die spezifischen CO₂-Emissionen für Strom. Somit sinkt perspektivisch auch der positive Einfluss der Stromverdrängung bei KWK-Systemen (Variante 2), während der Einfluss der geringer werdenden CO₂-Emissionen für den Strombezug wächst.



Bei Versorgungsvariante 3, d.h. bei strombetriebenen Systemen auf Basis erneuerbarer Energien, wird sich hingegen die CO₂-Bilanz verbessern, da der zum Betrieb der Wärmepumpen aus dem öffentlichen Netz bezogene Strom ökologischer und „sauberer“ wird.

Die KWK ist daher schätzungsweise über den Zeitraum der nächsten 20 Jahre als „Brückentechnologie“ sinnvoll und aus ökologischer Sicht geeignet.

6.4. Absolute Emissionen

Die absoluten Emissionen durch den Brennstoffeinsatz, Fernwärme- und Fremdstrombezug für das betrachtete Gebiet werden multiplikativ aus den spezifischen CO₂-Emissionen und den Brennstoffmengen bzw. Fernwärme- und Fremdstrombezugsmengen ermittelt.

Die Berechnung der treibhausrelevanten CO₂-Emissionen ist tabellarisch in Anlage 8 (siehe Verzeichnis der Anlagen) dargestellt. Die Ergebnisse der einzelnen Varianten bezogen auf das gesamte Entwicklungsgebiet zeigt die nachfolgende Abbildung 16.

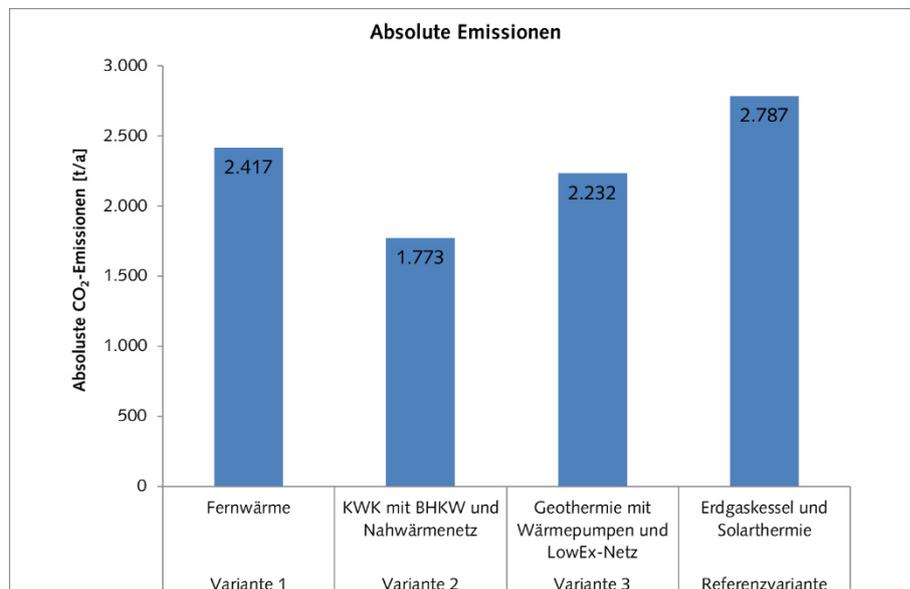


Abbildung 16: Absolute CO₂-Emissionen der Versorgungsvarianten im Vergleich

In der KWK-Variante 2 erfolgt eine Verdrängung von Verbundstrom aufgrund von lokaler Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung mit einem im Vergleich zum Fremdstrombezug niedrigeren Emissionsfaktor.



Bei dieser Variante werden somit CO₂-Emissionen bei der Stromerzeugung im Kraftwerksverbund vermieden. Diese Variante weist geringe CO₂-Emissionen auf, bedingt durch die Stromgutschrift.

Variante 3, bestehend aus Erdwärmesonden, Wärmepumpen und Solar Kollektoren zur Einspeisung in ein LowEx-Netz sowie dem Erdgaskessel im Rathaus-Bestandsbaus und Stadtbad, weist die zweit höchsten CO₂-Emissionen auf.

Die Basisvariante weist die höchsten absoluten CO₂-Emissionen auf, gefolgt von der Fernwärme-Variante.

6.5.

Primärenergiefaktor der Wärmeversorgung

Der Primärenergiefaktor der Wärmeversorgung ist eine wesentliche Stellgröße bei der Berechnung des Primärenergiebedarfes eines Gebäudes und ist nach der Stromgutschriftmethode gemäß AGFW berechnet.

Folgende Primärenergiefaktoren sind der Berechnung zugrunde gelegt (vgl. Tabelle 15).

Primärenergiefaktoren	Quelle	
Erdgas	1,10	DIN 18599-1
Strombezug	1,80	gem. EnEV 2014/16
Stromverdrängung	2,80	DIN 18599-1
Fernwärme	0,45	Vattenfall Berlin

Tabelle 15: Primärenergiefaktoren

Die Abbildung 17 zeigt die überschlägig berechneten Primärenergiefaktoren der Wärmeversorgung der drei verschiedenen technischen Varianten, unterteilt je Gebäudeeffizienzstandard.

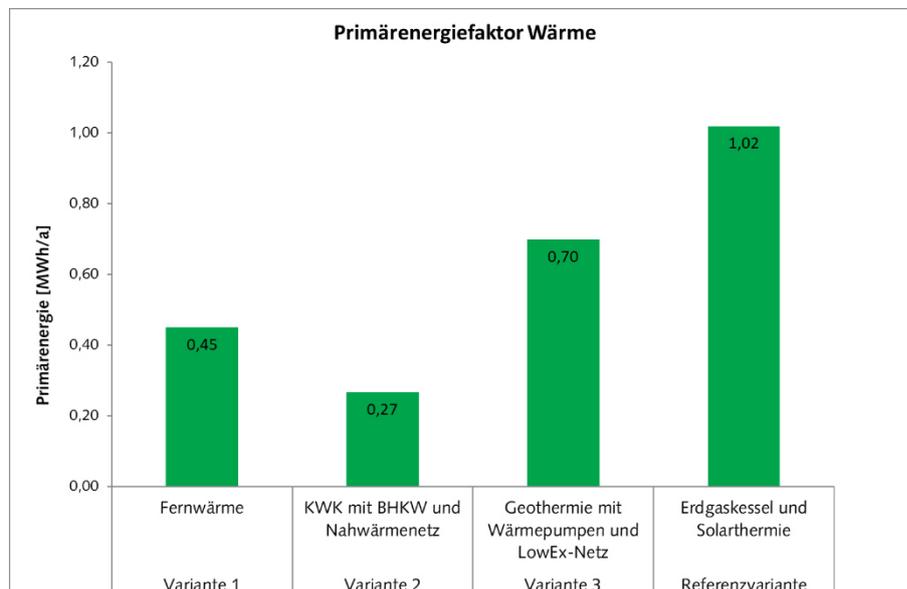


Abbildung 17: Überschlüssig berechnete Primärenergiefaktoren der Wärmeversorgung

In Variante 1 liegt der Primärenergiefaktor der Wärmeversorgung bei 0,45. Dieser Wert entspricht dem vom AGFW zertifizierten Primärenergiefaktor für das Verbundnetz Vattenfall in Berlin.

Bei Variante 2 ergibt sich für die KWK-Variante inkl. Spitzenlastkessel und Solarthermie der geringste Primärenergiefaktor von ca. 0,27, bedingt durch die Stromerzeugung, die als Stromgutschrift mitberücksichtigt wird.

In Variante 3 wird ein Primärenergiefaktor von ca. 0,70 erreicht, aufgrund der Bilanzierung des Strombezugs mit dem Emissionsfaktor des Deutschen Strommixes zum Betrieb der Wärmepumpen sowie der Verbrennung von Erdgas zur Versorgung des Rathaus-Bestandsbaus.

Die Referenzvariante weist mit 1,02 den höchsten Primärenergiefaktor auf.

Für Zertifizierungen sind die Vorgaben der DIN V 18599 und die Rechenvorschriften der AGFW Richtlinie FW 309 zu beachten. Entsprechende Nachweise des Primärenergiefaktors der Wärmeversorgung sind bei Einzellösungen durch den Bauherrn, bei Wärmelieferung durch den Contractor zu erbringen.



7.

Wirtschaftlichkeit der Versorgungsvarianten

Ein wirtschaftlicher Vergleich der Versorgungsvarianten wird anhand der jeweiligen Jahreskosten der Energieversorgung als Vollkostenrechnung vorgenommen. Die Jahreskosten der Varianten werden in annuitätischer Rechnung nach VDI 2067 ermittelt. Hierbei werden alle wesentlichen Kostenkomponenten beachtet, wie:

- ▶ Energie- und Brennstoffpreise
- ▶ Kapitaldienst
- ▶ Betriebskosten
- ▶ Personalkosten

Alle Angaben verstehen sich netto, zzgl. ges. MwSt.

7.1.

Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI 2067

7.1.1.

Energie- und Brennstoffpreise

Die Preise für den Bezug von

- ▶ Erdgas
- ▶ Fernwärme
- ▶ Strom

wurden auf Basis von aktuellen Marktpreisen in Abhängigkeit von den Bezugsmengen ermittelt.

Hierbei werden alle Kostenkomponenten berücksichtigt, wie:

- ▶ Grundpreis, Arbeitspreis
- ▶ Verrechnungskosten (z. B. Gebühren für Messung und Abrechnung)
- ▶ Steuern und Abgaben (z. B. Zuschläge für EEG/KWKG, Ökosteuer, etc.)

Die Energiepreise betragen je nach Versorgungsvariante:

Erdgas:

30 €/MWh_{Hi} (zentral),

40 €/MWh_{Hi} (dezentral),

Preisbasis: Aktuelle Marktpreise



Fernwärme:

Mischpreis: 66,03 €/MWh

Preisbasis: Aktuelle Marktpreise Fernwärme Vattenfall
(Quelle: AGFW Preisübersicht 2016)

Strombezug:

Strompreis (Mischpreis): 225 €/MWh_{el}

Strompreis (Wärmepumpe): 170 €/MWh_{el}

Preisbasis: Aktuelle Marktpreise

Stromvergütung:

Einspeisevergütung (Netz): 40 €/MWh_{el}

Eigennutzung (Mieterstrom): 225 €/MWh_{el}

Zukünftig muss von steigenden Energiepreisen ausgegangen werden.
Aufgrund der Unvorhersehbarkeit der Energiepreissteigerung erfolgt die
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung statisch.

7.1.2.

Prämissen der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Bei den Investitionen wurden gängige Fördermittel berücksichtigt.

Weitere Prämissen:

Wartung, Instandhaltung, Reparaturen:	2% der Investition p. a.
Wartung KWK:	20 €/MWh _{el}
Versicherung, Verwaltung:	1,5% der Investition p. a.
Nutzungsdauer:	15 Jahre (einheitlich)
Zinssatz:	6% p. a.

7.1.3.

Investitionen

Die nachfolgende Tabelle 16 zeigt die in den einzelnen Varianten erforderlichen Investitionen bei Versorgung aller Liegenschaften. Es wurden keine Fördermittel berücksichtigt.

Die detaillierte Wirtschaftlichkeitsberechnung ist in Anlage 9 dargestellt (siehe Verzeichnis der Anlagen).



alle Angaben in T€ netto	Fernwärme	BHKW mit Nahwärmenetz	Wärmepumpen und Geothermie	Erdgaskessel und Solarthermie
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Referenzvariante
Fernwärmeanschluss	198			
BHKW-Module		299		
Brennwert-Erdgaskessel		452	277	612
Solarthermie		747	747	747
Förderung Solarthermie		-129	-129	-129
Wärmepumpen			582	
Förderung Wärmepumpen			-80	
Erdwärmesonden			1.164	
Nahwärmetrasse		500	500	
Förderung Wärmenetz		-400	-400	
Wärmeübergabestationen		421	421	
Stromtrasse		400		
Zwischensumme:	198	2.290	3.082	1.231
Planungsleistungen	40	458	616	250
Summe Invest:	238	2.748	3.698	1.480

Tabelle 16: Übersicht der Investitionen der Versorgungslösungen

Die geringsten Investitionen ergeben sich mit rund 238 T€ für die Variante 1. Die Investitionskosten der Varianten 2 und 3 liegen bei 2,7 Mio. € bzw. 3,7 Mio. €. Die Referenzvariante weist mit 1,5 Mio. € relativ niedrige Investitionskosten auf.

7.2.

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die spezifischen Wärmepreise der Wärmeversorgung des Gesamtgebietes sind in Abbildung 18 als Mischpreise dargestellt.

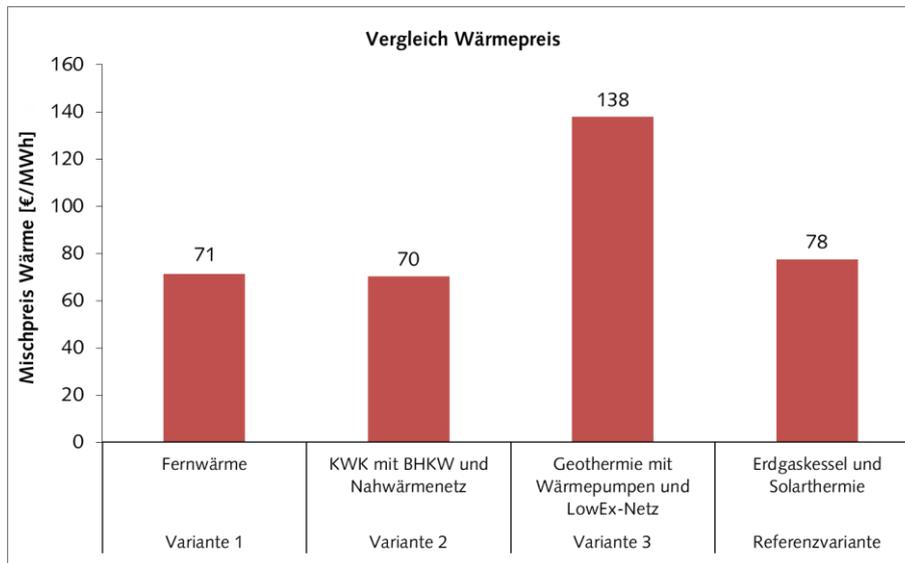


Abbildung 18: Spezifische Kosten der Energieversorgung im Vergleich

Der niedrigste Wärmemischpreis wird in Variante 2 mit etwa 70 €/MWh_{th} erreicht. In Variante 1 können Wärmepreise von rund 71 €/MWh_{th}, in der Referenzvariante Wärmepreise von rund 78 €/MWh_{th} erzielt werden. Diese drei Varianten liegen also in etwa gleich auf. Variante 3 weist mit 138 €/MWh_{th} hohe Wärmepreise auf.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Gesamtkosten zur Wärme- und Stromversorgung.

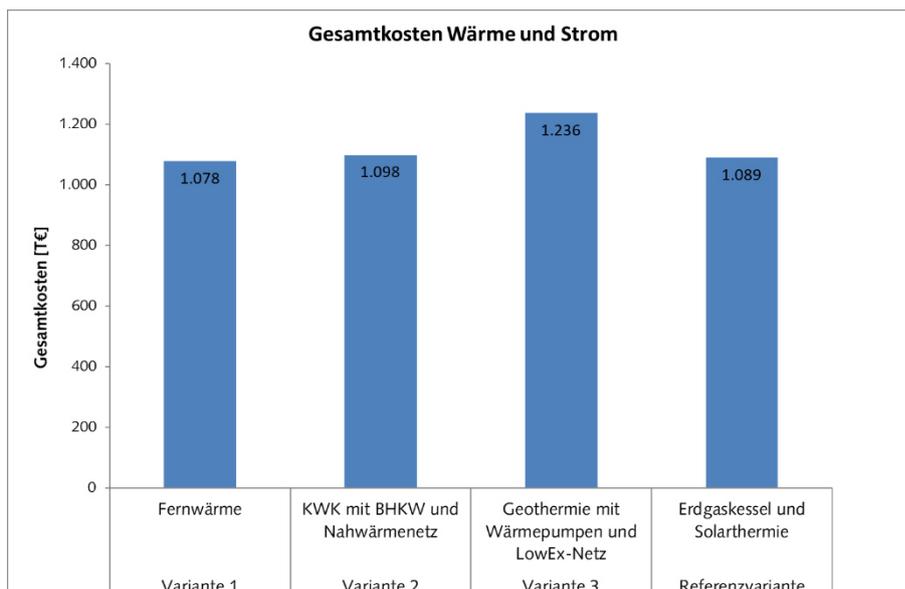


Abbildung 19: Gesamtkosten Wärme, Kälte und Strom im Vergleich



Die Varianten 1, 2 und die Referenzvariante weisen mit 1,0 bis 1,1 Mio. €/a vergleichbare Kosten auf. Die Jahreskosten in Variante 3 liegen um rund 10 % höher.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI 2067 ist ausführlich in Anlage 9 dargestellt (siehe Verzeichnis der Anlagen).



8.

Organisatorische Umsetzungsmöglichkeiten

Neben der technisch-wirtschaftlichen Bewertung der Versorgungsvarianten ist das Aufzeigen der organisatorischen Umsetzungsmöglichkeiten entscheidend.

Die Umsetzung kann durch eine Eigenerrichtung durch den Investor oder durch einen externen Energiedienstleister (Contractor) erfolgen.

8.1.

Energetische Festsetzung im Bebauungsplan

Vorgaben zur Gestaltung einer klimaschonenden Energieversorgung erfolgen mittels einer Festsetzung im Bebauungsplan.

Die Festsetzung, die eine Nahwärmeversorgung im Plangebiet ermöglicht, sollte z.B. wie folgt formuliert sein:

„Für die Beheizung und Bereitstellung des Warmwassers sind neu zu errichtende Gebäude an ein Wärmenetz anzuschließen, das überwiegend mit erneuerbaren Energien versorgt wird. Beim Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung oder Abwärmenutzung, die nicht mit erneuerbaren Energien erzeugt wird, sind mindestens 30 vom Hundert des Jahreswarmwasserbedarfs auf Basis erneuerbarer Energien zu decken. Ausnahmen können neu zu errichtende Gebäude mit einem Jahres-Heizwärmebedarf kleiner/gleich $15 \text{ kWh/m}^2 \text{ Nutzfläche}$ (entspricht in etwa Passivhausstandard) oder im Einzelfall wegen unbilliger Härte darstellen.“²¹

²¹ Angewandt in verschiedensten Hamburger Projekten in Abstimmung mit der Behörde für Umwelt und Energie (BUE Hamburg)



9.

Zusammenfassung und Empfehlung zum weiteren Vorgehen

Das Gebiet rund um das Rathaus Tempelhof stellt ein relevantes Wohnflächenpotenzial in zentraler Lage – besonders vor dem Hintergrund der anhaltenden dynamischen und prognostizierten Bevölkerungsentwicklung für Berlin – dar, sodass bei einer Neuordnung der Areale im Untersuchungsgebiet „Neue Mitte Tempelhof“, bestehend aus Rathaus und ehemaligem BVV-Saal, Bezirksbibliothek, Stadtbad und Polizei, größere zusammenhängende Flächen für den Wohnungsbau geschaffen werden können (ca. 3,5 ha).

Der Senat von Berlin hat im Jahr 2016 die Einleitung vorbereitender Untersuchungen gemäß § 141 Baugesetzbuch (BauGB) für das Gebiet „Rathaus Tempelhof und näheres Umfeld“ im Bezirk Tempelhof-Schöneberg beschlossen. Gegenstand dieser Voruntersuchung sind die Grundlagenermittlung und Übersicht über die medientechnische Erschließung für das genannte Gebiet und darauf aufbauend die Entwicklung eines Konzeptes zur Energieversorgung.

Das erarbeitete Energiekonzept stellt – vor dem Hintergrund einer nachhaltigen, umweltgerechten Entwicklung im Rahmen der Berliner Klimaschutzziele – unterschiedliche Möglichkeiten der Energieversorgung für das Wohnquartier und die öffentlichen Gebäude gegenüber und aufbauend Handlungsempfehlungen zur energetischen Versorgung (Strom, Wärme, Kälte und Elektromobilität) heraus.

Im Rahmen dieses Gutachtens wurden die Wirtschaftlichkeit, der End- und Primärenergiebedarf und -faktor, die Energiekosten für den Verbraucher (Mieter), sowie die CO₂-Emissionen für folgende technische Versorgungsvarianten ermittelt:

- Variante 1: **Fernwärme**
Anschluss an Fernwärmenetz, Stromversorgung über öffentliches Netz
- Variante 2: **KWK mit BHKW und Nahwärmenetz**
Erdgas-BHKW (Grundlast), Erdgasbrennwertkessel (Spitzenlast), ergänzt um Solarthermie, Errichtung eines Nahwärmenetzes, Stromeigenerzeugung im Quartier
- Variante 3: **Wärmepumpen und Geothermie**
Erdwärmesonden mit nachgeschalteten Wärmepumpen, ergänzt um Solarthermie, Errichtung eines



LowEx-Netzes, Stromversorgung (Wärmepumpen)
über öffentliches Netz

Referenzvariante: **Erdgaskessel**

dezentrale Erdgas-Brennwertkessel, ergänzt um Solarthermie, Stromversorgung über öffentliches Netz

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass mit Variante 2 die wirtschaftlichste Energieversorgung des Gebietes mit niedrigen CO₂-Emissionen möglich ist. Hierbei werden alle Gebäude an ein Nahwärmenetz angeschlossen, das auf Basis von Kraft-Wärme-Kopplung und Solarthermie gespeist wird. Auf diese Weise lassen sich Wärme und Strom für das Gebiet effizient und wirtschaftlich sinnvoll erzeugen.

Langfristig ist von einer leichten Verschlechterung der Variante 2 sowie von einer Verbesserung der Variante 3 auszugehen. Grund dafür ist der steigende Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung.

Bei Versorgungsvariante 3, d.h. bei strombetriebenen Systemen auf Basis erneuerbarer Energien, wird sich hingegen die CO₂-Bilanz verbessern, da der zum Betrieb der Wärmepumpen aus dem öffentlichen Netz bezogene Strom ökologischer und „sauberer“ wird. Zudem kann eine Verbesserung der Klimabilanz durch Abwasserwärmenutzung, die zukünftig möglich werden kann, erzielt werden.

Die KWK ist daher schätzungsweise über den Zeitraum der nächsten 20 Jahre als „Brückentechnologie“ sinnvoll und aus ökologischer Sicht geeignet, besonders vor dem Hintergrund einer späteren Umrüstung auf Niedertemperaturniveau mittels LowEx-Netz zur Integration erneuerbarer Energien sowie zur Nutzung von Abwasserwärme.

Als aktuelle Vorzugsvariante entsprechend dieser energietechnischen und energiewirtschaftlichen Untersuchung stellt sich daher dar:

Variante 2: **KWK mit BHKW und Nahwärmenetz**

Erdgas-BHKW (Grundlast), Erdgasbrennwertkessel (Spitzenlast), ergänzt um Solarthermie, Errichtung eines Nahwärmenetzes, Stromeigenerzeugung im Quartier

Die Vorzüge dieser Variante sind:

- ▶ Niedrige Wärmepreise der Heizung und Trinkwarmwasserbereitung
- ▶ Geringe CO₂-Emissionen Wärmeerzeugung (durch Eigenstromerzeugung und damit Verdrängung von Verbundstrom bzw. durch die Nutzung von Abwärme)



- ▶ Hohe Effizienz durch den Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung
- ▶ sehr niedriger Primärenergiefaktor durch Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbare Energien
- ▶ KWK in Kombination mit einem Wärmenetz als „Brückentechnologie“ und Grundlage für eine zukünftige vollständige Versorgung auf Basis erneuerbarer Energien mit Niedertemperaturnetz
- ▶ Erhöhung der Attraktivität des Quartiers für Investoren durch Reduktion der Anforderungen nach EnEV an zu errichtende Gebäude (z.B. an den Dämmstandard)

Üblicherweise vergeben Stadtentwicklungsgesellschaften bzw. Entwicklungsträger die Energieversorgung im Wettbewerb (Vergabeverfahren, d.h. Vergabe einer Dienstleistungskonzession zur Wärmeversorgung). Bei **Durchführung eines Vergabeverfahrens** für die Wärmeversorgung können die formulierten Ziele möglichst effizient und bei Minimierung des eigenen Aufwands erreicht werden.

Als Umsetzungsmaßnahme wird eine Festsetzung im Bebauungsplan zum **Anschluss- und Benutzungszwang** empfohlen. Diese beinhaltet für die Beheizung und Bereitstellung von Warmwasser einen Anschluss von neu zu errichtenden Gebäuden an ein Wärmenetz, das überwiegend mit erneuerbaren Energien versorgt oder alternativ durch Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung oder Abwärme gespeist wird.



10.

Verzeichnis der Anlagen

- Anlage 1: Grundlagenplan
- Anlage 2: Trassenplan und Anlagenschemata
- Anlage 3: Technik und Investitionen der Wärme- und Stromversorgung, Variante 1
- Anlage 4: Technik und Investitionen der Wärme- und Stromversorgung, Variante 2
- Anlage 5: Technik und Investitionen der Wärme- und Stromversorgung, Variante 3
- Anlage 6: Technik und Investitionen der Wärme- und Stromversorgung, Referenzvariante
- Anlage 7: Leitungspläne Abwasserleitungen BWB
- Anlage 8: Energiebilanz
- Anlage 9: CO₂-Bilanz
- Anlage 10: Wirtschaftlichkeitsberechnung



Anlage 1: Grundlagenplan



MASSNAHMEN HOCHBAU

Position 01: Erweiterung Rathaus	Baufeld 8.200 qm
Position 02: BIB +++	Baufeld 4.200 qm
Position 03: Stadtbad	Baufeld 3.000 qm
Position 04: Soziale Infrastruktur	Baufeld 5.000 qm
Position 05: Polizei Abschnitt 44	Baufeld 3.300 qm
Position 06: Wohnen	Baufeld 3.04 ha

MASSNAHMEN FREIRAUM

Position 07: Qualifizierung Franckepark	Bearbeitungsfeld 46.400 qm
Position 08: Qualifizierung Feldblume	Bearbeitungsfeld 33.300 qm
Position 09: Stadtplatz	Bearbeitungsfeld 2.300 qm
Position 10: Qualifizierung Grunackpark	Bearbeitungsfeld 8.700 qm

LEGENDE

---	Baufeld öffentliche Einrichtung
---	Baufeld Wohnen
---	Bearbeitungsfeld Freiraum
---	Grenze Flurstück

BAUVORHABEN
Neue Mitte Tempelhof
 Grundlagenplan

AUFTRAGGEBER
Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen
 Referat IV | Wohnungsneubau -
 Projektmanagement und Bauleitplanung
 Würtembergsche Straße 6
 10707 Berlin
 T: +49 (0) 30.901394215
 E: neuemittetempelhof@SenSW.berlin.de



PLANUNG
ff-Architekten
 Feldhusen und Fleckenstein PartGmbH
 Reichenberger Str.113A
 10999 Berlin
 T: +49 (0) 30.61280513
 E: mail@ff-architekten.de

Schwarz Architekt
 Schlessische Str. 26
 10997 Berlin
 T: +49 (0) 30.61657816
 E: schwarz@architektur-schwarz.com

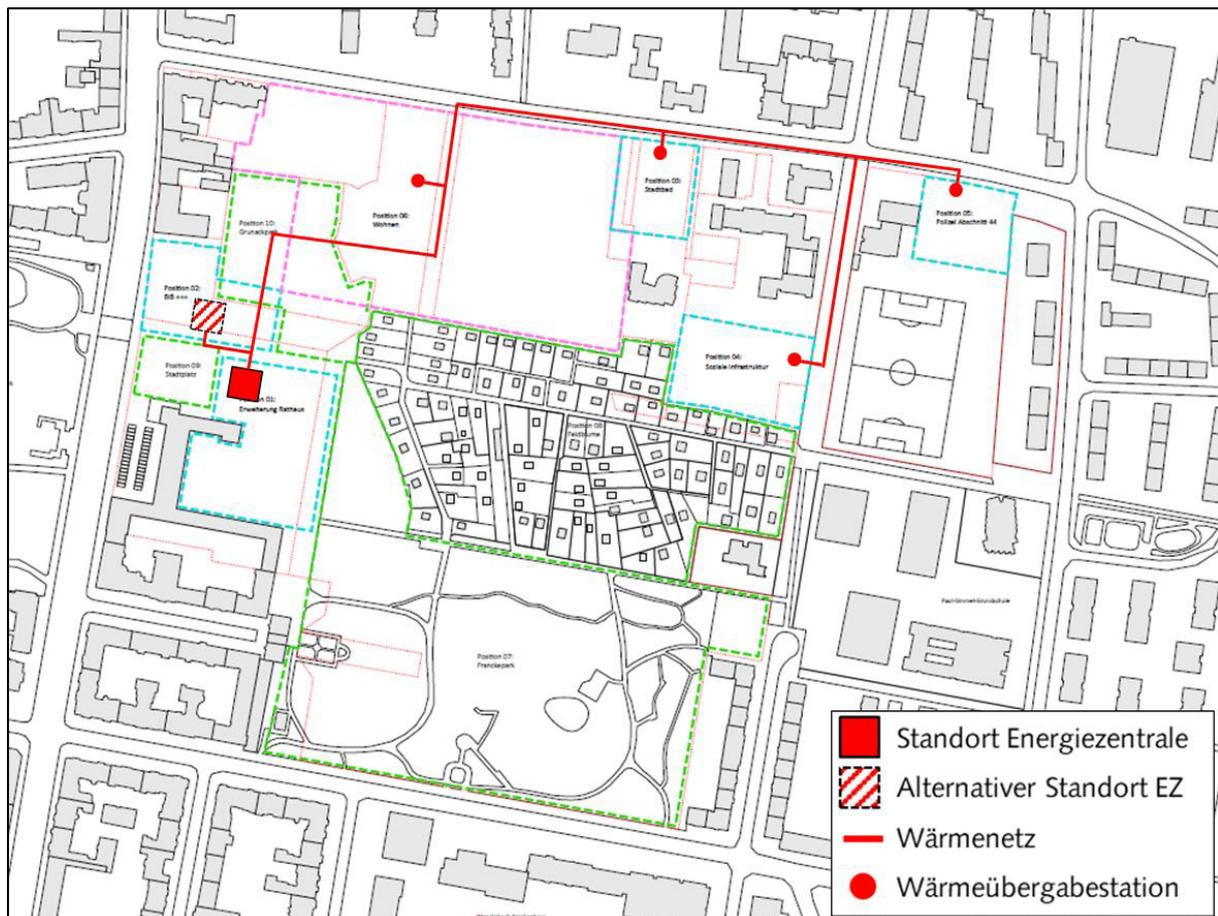
Treibhaus Landschaftsarchitekten
 Gerko Schröder
 Bernstorffstraße 71
 22767 Hamburg T
 T: +49 (0) 40.84891414
 E: gerko.schroeder@THland.de

PLANSTAND	PLANBEZEICHNUNG	PLAN-NR.	INDEX
Machbarkeitsstudie	Grundlagenplan	THM_001	-
BEARBEITET	GEZEICHNET	FORMAT	MASSTAB
ff-Architekten	Preis	1240x770	1:1000
			DATUM
			18.12.2017



Anlage 2: Trassenplan und Anlagenschemata

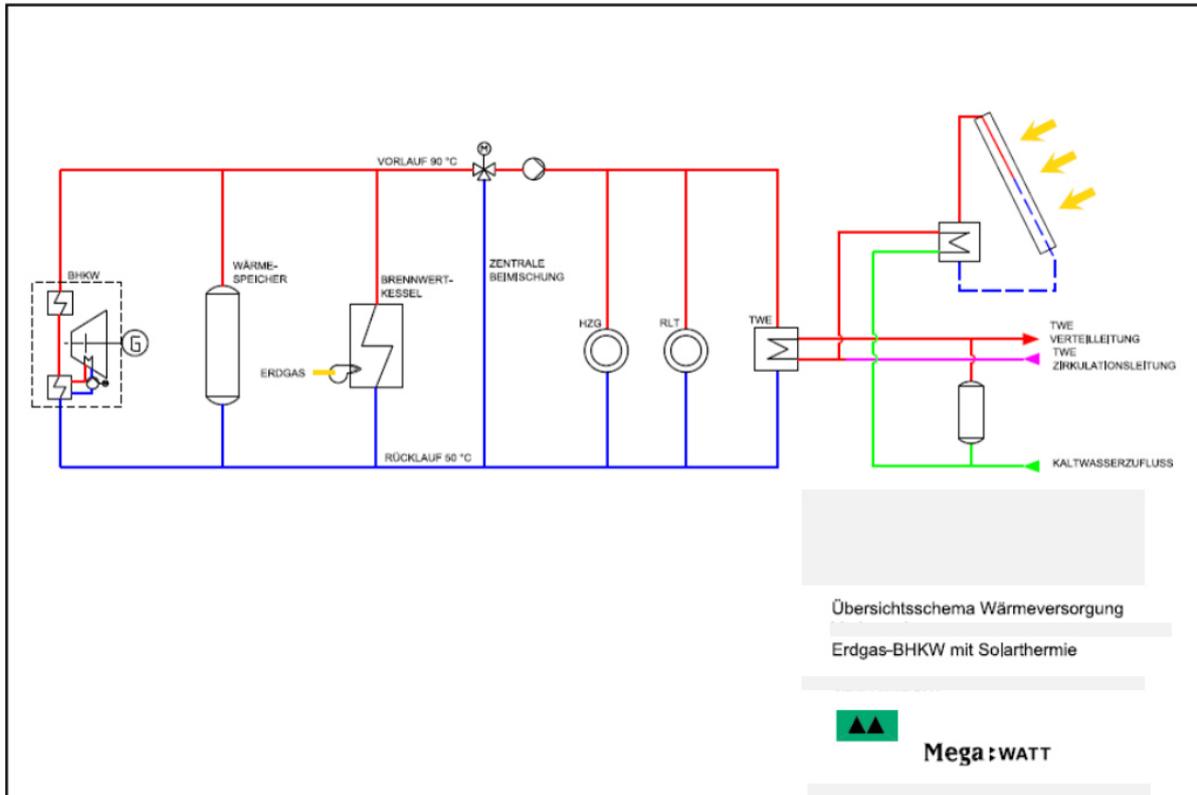
► Trassenplan der Nahwärmeleitungen



(Quelle: AG)



► Anlagenschema Variante 2

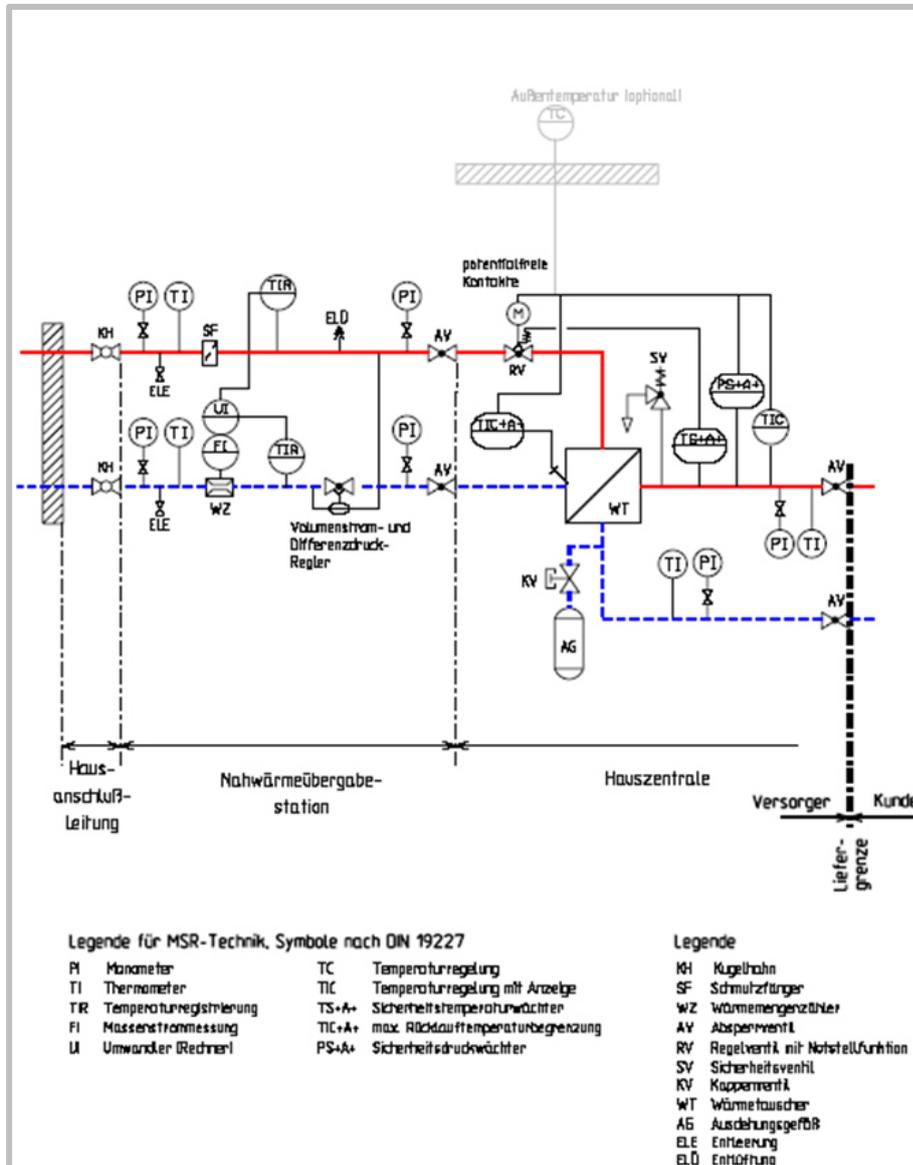


©MegaWATT 2011

(Quelle: MegaWATT)



► Schema indirekte Übergabestation (Varianten 1 bis 3)



(Quelle: MegaWATT)



Anlage 3: Technik und Investitionen der Wärme- und Stromversorgung, Variante 1

20.763		Neue-Mitte Tempelhof Energiekonzept Technik und Investitionen		Variante 1 Fernwärme			Invest gesamt [T€]
Medium	Anlage	Gewerk	Größe	Einheit	technische Spezifikation	Anzahl	
Anlagentechnik & Verteilung							
Fernwärmeanschluss							
	Anschlussleistung		3.062	[kW_th]	Anschlusskostenbeitrag		198
TWE Solarthermie							
	Solarthermie		0	[m²]	Flachkollektoren incl. Einbindung TWE	0	0
			0	[m²]	Förderung	0	0
Nahwärmetrasse							
	Trassenlänge		0	[m]	ohne Oberflächenwiederherstellung ohne Wasserhaltungsarbeiten		0
			0	[m]	Förderung		0
Wärmeübergabestationen							
			0	[kW_th]	incl. Regeleinrichtung, Rohrleitungen und Wärmeübertrager	10	0
Stromtrasse							
			0	[m]	incl. Übergabestationen		0
Zwischensumme							
						<i>Summe Invest Gesamtanlage:</i>	198
Sonstiges							
	Planungsleistungen		20%	nach HOAI			40
Gesamt-Investition							
						<i>Summe Invest</i>	238

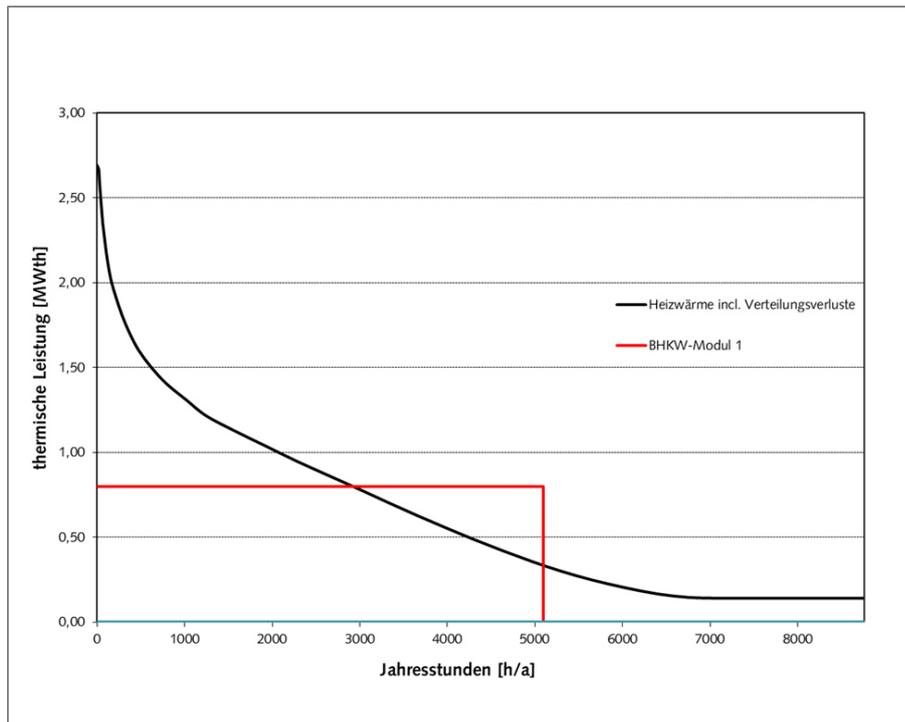


Anlage 4: Technik und Investitionen der Wärme- und Stromversorgung, Variante 2

20.763 Neue-Mitte Tempelhof Energiekonzept Technik und Investitionen		Variante 2 BHKW mit Nahwärmenetz					Invest gesamt [T€]
Medium	Anlage	Gewerk	Größe	Einheit	technische Spezifikation	Anzahl	
Anlagentechnik & Verteilung							
Wärmeerzeuger							
	BHKW-Aggregate		598	[kW_el]		1	299
			800	[kW_th]	Modul komplett incl. Heißwasserverrohrung und Speicher		
	Kessel		2.262	[kW_th]	incl. Peripherie	1	452
	Wärmepumpen		0	[kW_th]	monovalent; Sole/Wasser Heizung 55 °C, TWE 45 °C	0	0
			0	[kW_th]	Förderung	0	0
	Erdsonden		0	[kW_th]	Tiefe 100 m	0	0
TWE Solarthermie							
	Solarthermie		258	[m²]	Flachkollektoren incl. Einbindung TWE	10	747
			258	[m²]	Förderung	10	-129
Nahwärmetrasse							
	Trassenlänge		1.000	[m]	ohne Oberflächenwiederherstellung ohne Wasserhaltungsarbeiten		500
			1.000	[m]	Förderung		-400
Wärmeübergabestationen							
			601	[kW_th]	incl. Regeleinrichtung, Rohrleitungen und Wärmeübertrager	10	421
Stromtrasse							
			1.000	[m]	incl. Übergabestationen		400
Zwischensumme							
<i>Summe Invest Gesamtanlage:</i>							2.290
Sonstiges							
	Planungsleistungen		20%	nach HOAI			458
Gesamt-Investition							
<i>Summe Invest</i>							2.748



► Jahresdauerlinie zur Wärmeversorgung



(Quelle: MegaWATT)

Erläuterung:

Das BHKW-Modul wird wärmegeführt betrieben. Die Deckung des Wärmebedarfs durch das Modul ist im Diagramm (Jahresdauerlinie, siehe oben) wiedergegeben. Es zeigt den Leistungsbedarf für Heizwärme über die Anzahl der Stunden im Jahr und die von den Anlagenmodulen gedeckten Anteile. Die Flächen unter der Kurve bzw. in den Rechtecken geben jeweils die Wärmearbeit wieder.



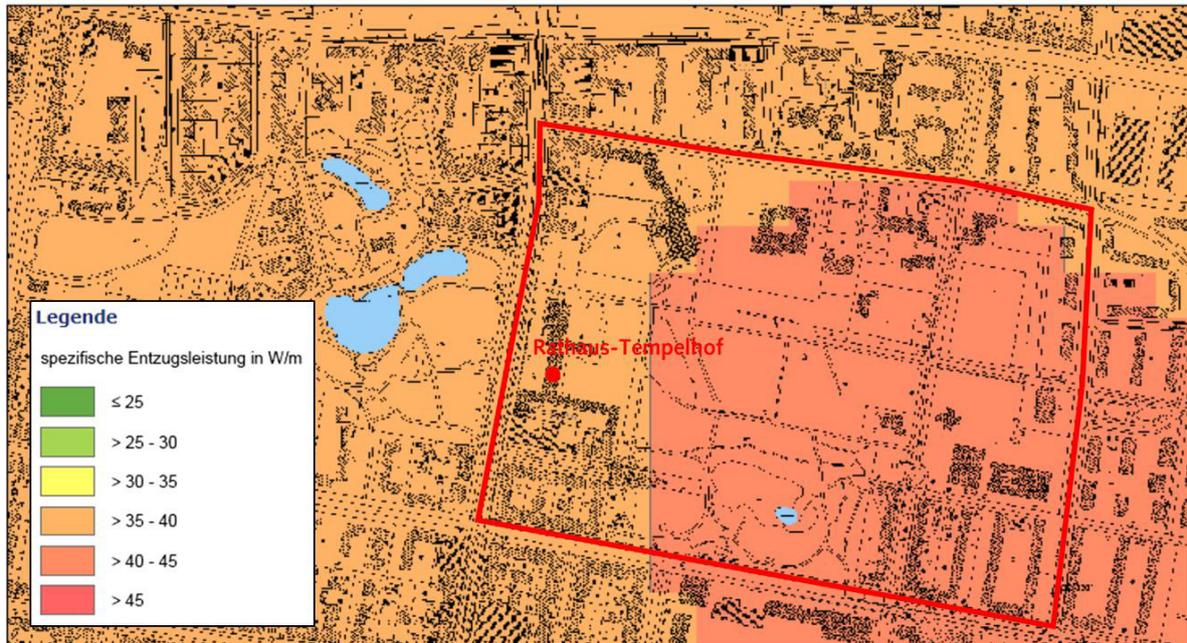
Anlage 5: Technik und Investitionen der Wärme- und Stromversorgung, Variante 3

20.763 Neue-Mitte Tempelhof Energiekonzept Technik und Investitionen			Variante 3 Wärmepumpen und Geothermie				Invest gesamt [T€]
Medium	Anlage	Gewerk	Größe	Einheit	technische Spezifikation	Anzahl	
Anlagentechnik & Verteilung							
Wärmeerzeuger							
	BHKW-Aggregate		0	[kW_el]	Modul komplett incl.	0	0
			0	[kW_th]	Heißwasserverrohrung und Speicher		
	Kessel		1.384	[kW_th]	incl. Peripherie	1	277
	Wärmepumpen		100	[kW_th]	monovalent; Sole/Wasser Heizung 55 °C, TWE 45 °C	15	582
			100	[kW_th]	Förderung	15	-80
	Erdsonden		4	[kW_th]	Tiefe 100 m	364	1.164
TWE Solarthermie							
	Solarthermie		258	[m²]	Flachkollektoren incl. Einbindung TWE	10	747
			258	[m²]	Förderung	10	-129
Nahwärmetrasse							
	Trassenlänge		1.000	[m]	ohne Oberflächenwiederherstellung ohne Wasserhaltungsarbeiten		500
			1.000	[m]	Förderung		-400
Wärmeübergabestationen							
			601	[kW_th]	incl. Regeleinrichtung, Rohrleitungen und Wärmeübertrager	10	421
Stromtrasse							
			0	[m]	incl. Übergabestationen		0
Zwischensumme							
						<i>Summe Invest Gesamtanlage:</i>	3.082
Sonstiges							
		Planungsleistungen		20%	nach HOAI		616
Gesamt-Investition						<i>Summe Invest</i>	3.698



- ▶ Geothermisches Potenzial im Gebiet:

Geothermisches Potenzial - spezifische Entzugsleistung bis 100 m, für 1800 h/a



(Quelle: GeoPortal Berlin, Abb. geändert durch MegaWATT)

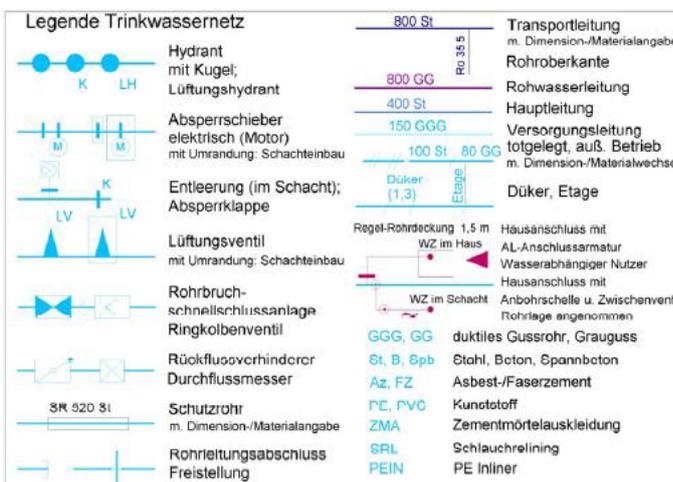
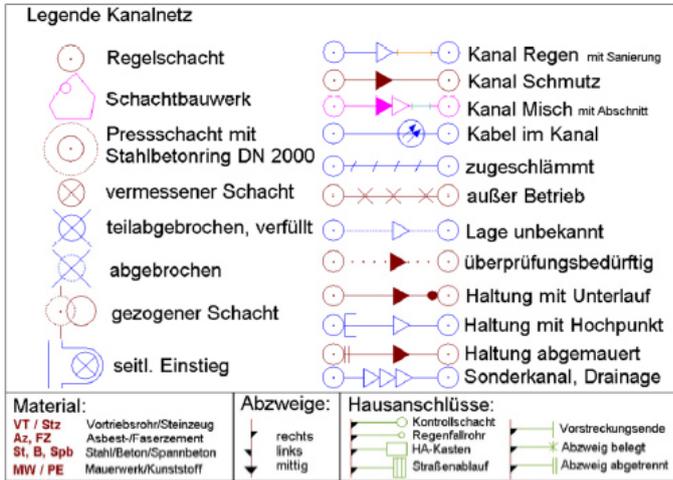


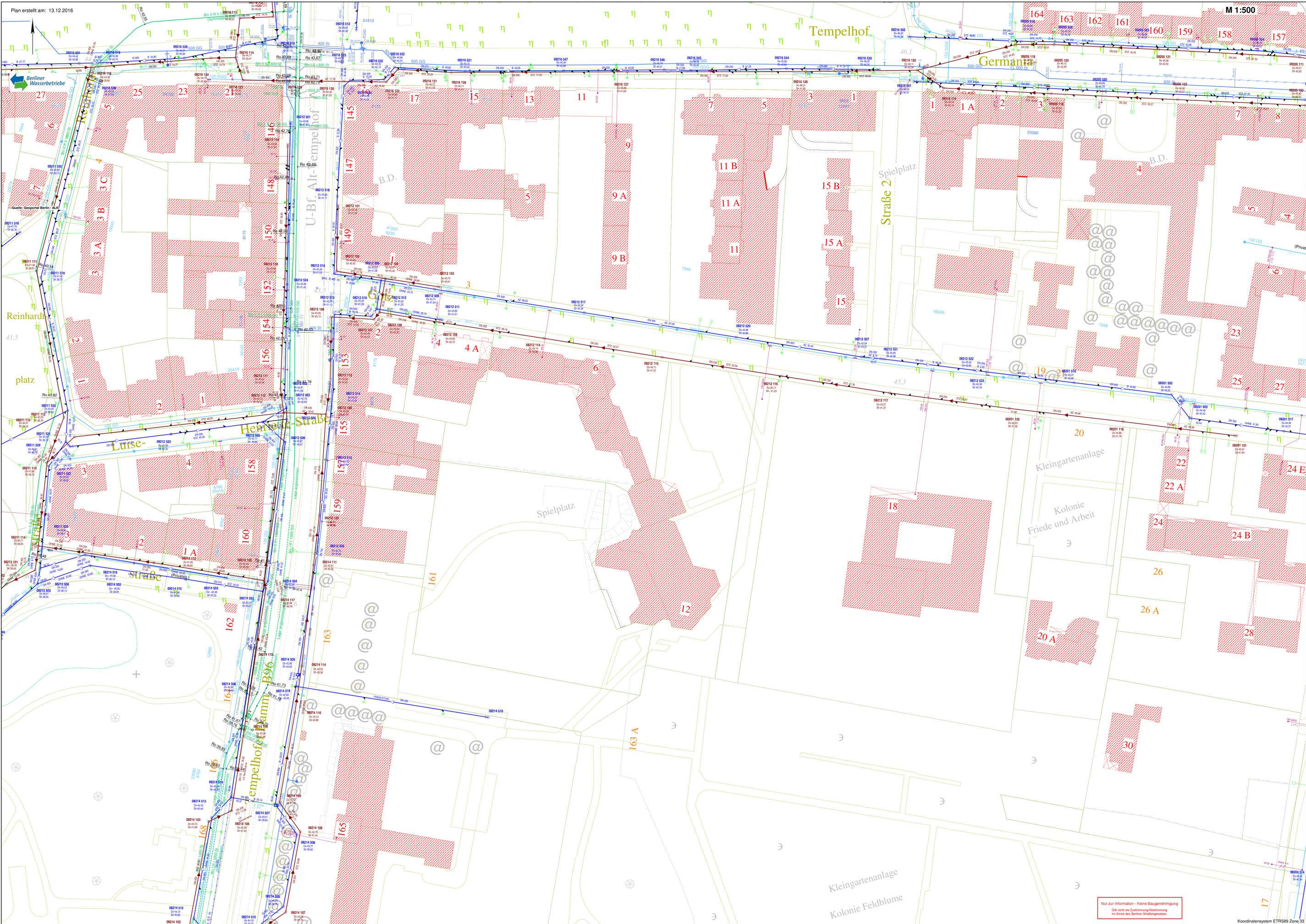
Anlage 6: Technik und Investitionen der Wärme- und Stromversorgung, Referenzvariante

20.763 Neue-Mitte Tempelhof Energiekonzept Technik und Investitionen			Referenzvariante Erdgaskessel und Solarthermie				Invest gesamt [T€]
Medium	Anlage	Gewerk	Größe	Einheit	technische Spezifikation	Anzahl	
Anlagentechnik & Verteilung							
Wärmeerzeuger							
	BHKW-Aggregate		0	[kW_el]	Modul komplett incl.	0	0
			0	[kW_th]	Heißwasserverrohrung und Speicher		
	Kessel		306	[kW_th]	incl. Peripherie	10	612
					Kosten für Erdgasanschluss	10	18
	Wärmepumpen		0	[kW_th]	monovalent; Sole/Wasser	0	0
			0	[kW_th]	Heizung 55 °C, TWE 45 °C		
			0	[kW_th]	Förderung	0	0
	Erdsonden		0	[kW_th]	Tiefe 100 m	0	0
TWE Solarthermie							
	Solarthermie		258	[m²]	Flachkollektoren	10	747
			258	[m²]	incl. Einbindung TWE		
					Förderung	10	-129
Nahwärmetrasse							
	Trassenlänge		0	[m]	ohne Oberflächenwiederherstellung		0
			0	[m]	ohne Wasserhaltungsarbeiten		0
					Förderung		0
Wärmeübergabestationen							
			0	[kW_th]	incl. Regeleinrichtung, Rohrleitungen	0	0
					und Wärmeübertrager		
Stromtrasse							
			0	[m]	incl. Übergabestationen		0
Zwischensumme							
						<i>Summe Invest Gesamtanlage:</i>	1.249
Sonstiges							
		Planungsleistungen	20%	nach HOAI			250
Gesamt-Investition							
						<i>Summe Invest</i>	1.498



Anlage 7: Leitungspläne Abwasserleitungen BWB





Nur zur Information - Keine Baugenehmigung
 Geb. nicht als Zustimmung/Anerkennung
 im Sinne des Berliner Strassenrechts



Nur zur Information - Keine Baugenehmigung
 Gibt nicht die Zustimmung/Anerkennung
 im Sinne des Berliner Strassenrechts



Anlage 8: Energiebilanz

Energiebilanz

20.763

Neue-Mitte Tempelhof

		zentral Variante 1	zentral Variante 2	zentral Variante 3	dezentral Referenzvariante
		Fernwärme	KWK mit BHKW und Nahwärmenetz	Geothermie mit Wärmepumpen und LowEx-Netz	Erdgaskessel und Solarthermie
1. Endenergiebedarf					
Wärme (gesamt)	[MWh_th/a]	6.010	6.010	6.010	6.010
	[MW_th]	3.062	3.062	3.062	3.062
davon TWE (gesamt)	[MWh_th/a]	1.940	1.940	1.940	1.940
Wärme (Rathaus-Altbau + Stadtbad)	[MWh_th/a]			2.558	2.558
	[MW_th]			1.384	1.384
Strom	[MWh_el/a]	2.883	2.883	2.883	2.883
	[MW_el]	1.053	1.053	1.053	1.053
Umwandlungsanlagen					
Solarthermie					
Erzeugte Wärme	[MWh_th/a]		902	902	902
Strombedarf	[MWh_el/a]		13,5	13,5	13,5
spezif. Ertrag / Fläche	[kWh/m²*a]		350	350	350
Fläche	[m²]		2.576	2.576	2.576
Wärmesysteme					
Strombedarf	[MWh_el/a]		108	52	102
Verluste					
Nahwärmenetz im Gebiet	[MWh_th/a]		301	69	
2. Sekundärenergiebedarf					
Wärme	[MWh_th/a]	6.010	5.409	2.619	5.109
Strom	[MWh_el/a]	2.883	3.005	2.949	2.999
3. Erzeugung von Sekundärenergie vor Ort					
Wärmepumpe					
spez. Entzugsleistung bei 100 m Tiefe	[W/m]			40	
Anzahl Erdwärmesonden (U-Rohr)	[St]			364	
Tiefe Erdwärmesonde	[m]			100	
Max. Wärmeleistung	[MW_th]			1.455	
Durchschnittliche Laufzeit	[h/a]			1.800	
Erzeugung Wärme (netto)	[MWh_th/a]			2.619	
Jahresarbeitszahl Wärme	[-]			4,50	
Stromeinsatz	[MWh_el/a]			582	
BHKW bei Wärmeleitung (Erdgas)					
Anzahl Module	[St]		1		
Max. Wärmeleistung pro Modul (durchschn.)	[MW_th]		0,800		
Max. Wärmeleistung gesamt	[MW_th]		0,800		
Max. elektr. Leistung pro Modul (durchschn.)	[MW_el]		0,648		
Max. elektrische Leistung	[MW_el]		0,648		
Durchschnittliche Laufzeit	[h/a]		5.098		
Erzeugung Wärme (netto)	[MWh_th/a]		4.078		
Erzeugung Elektroenergie (netto)	[MWh_el/a]		3.305		
Jahresnutzungsgrad Wärme	[%]		49,3		
Jahresnutzungsgrad Strom	[%]		40,0		
Jahresarbeitszahl	[-]				
Brennstoffeinsatz	[MWh_Hi/a]		8.270		
Kesselanlage (Erdgas)					
Max. Wärmeleistung	[MW_th]		2.262	1.384	3.062
Erzeugung Wärme	[MWh_th/a]		1.331	2.619	5.109
Jahresnutzungsgrad Wärme	[%]		95,0	95,0	95,0
Brennstoffeinsatz	[MWh_Hi/a]		1.401	2.757	5.378
4. Fremderzeugung von Sekundärenergie					
Endenergiebezug von EVU					
Fernwärme	[MWh_th/a]	6.010	0	0	0
Strom	[MWh_el/a]	2.883	451	2.949	2.999
5. Gesamtenergiebilanz					
Erzeugung Elektroenergie vor Ort (netto)	[MWh_el/a]	0	3.305	0	0
Eigenutzung des erzeugten Stroms	[MWh_el/a]	0	2.554	0	0
davon Eigennutzung Strom durch Kunde	[MWh_el/a]	0	2.433	-648	-116
Techn. Stromverbraucher Wärmeenergieerzeugung	[MWh_el/a]	0	122	648	116
Einspeisung Elektroenergie	[MWh_el/a]	0	751	0	0
Wärmeerzeugung gesamt	[MWh_th/a]	0	6.311	6.140	6.010
Eigenutzung Wärme	[MWh_th/a]	0	6.311	6.140	6.010
Wärmeverluste	[MWh_th/a]	0	301	69	0
Brennstoffeinsatz gesamt	[MWh_Hi/a]	0	9.671	2.757	5.378
Primärenergie gesamt	[MWh/a]	2.705	1.602	4.199	6.124
Primärenergiefaktor Wärme	[-]	0,45	0,27	0,70	1,02



Anlage 9: CO₂-Bilanz

Energiebilanz

20.763

Neue-Mitte Tempelhof

		zentral Variante 1	zentral Variante 2	zentral Variante 3	dezentral Referenzvariante
		Fernwärme	KWK mit BHKW und Nahwärmenetz	Geothermie mit Wärmepumpen und LowEx-Netz	Erdgaskessel und Solarthermie
Brennstoffeinsatz					
Erdgas	[MWh_Hi/a]	0	9.671	2.757	5.378
Biomethan	[MWh_Hi/a]	0	0	0	0
Sekundärbrennstoff 1	[MWh_Hi/a]	0	0	0	0
Sekundärbrennstoff 2	[MWh_Hi/a]	0	0	0	0
Brennstoffeinsatz gesamt	[MWh_Hi/a]	0	9.671	2.757	5.378
Fremdstrombezug	[MWh_el/a]	2.883	451	2.949	2.999
Erzeugter Strom	[MWh_el/a]	0	3.305	0	0
CO₂-Emissionen					
Emissionen Erdgas Kesselanlagen	[t/a]	0	282	554	1.081
Emissionen Erdgas BHKW	[t/a]	0	1.662	0	0
Emissionen Holzpellets	[t/a]	-1	0	0	0
Emissionen Strombezug	[t/a]	1.641	256	1.678	1.706
Emissionsgutschrift KWK Strom	[t/a]	0	-427	0	0
Emissionen Fernwärme (niedrig)	[t/a]	777	0	0	0
Summe	[t/a]	2.417	1.773	2.232	2.787
Emissionen Technische Stromverbraucher	[t/a]	0	69	369	66
Emission Erzeugung Elektroenergie	[t/a]	0	-1.881	0	0
Spez. Emissionen Wärme	[kg/MWh]	129	22	154	191



Anlage 10: Wirtschaftlichkeitsberechnung

Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI 2067
Gesamtwirtschaftlichkeit, alle Angaben ohne MWST. (netto)

20.763

Neue-Mitte Tempelhof

1. Energieanlage

		zentral Variante 1	zentral Variante 2	zentral Variante 3	dezentral Referenzvariante
Brennstoffeinsatz	[MWh_Hi/a]	0	9.671	2.757	5.378
Erzeugung Elektroenergie	[MWh_el/a]	0	3.305	0	0
Eigennutzung Wärme	[MWh_th/a]	0	6.311	6.140	6.010
davon solarthermische Wärme	[MWh_th/a]	0	902	902	902
Sekundärenergiebedarf Strom	[MWh_el/a]	2.883	3.005	2.949	2.999
Technische Stromverbraucher	[MWh_el/a]	0	122	648	116
Endenergiebedarf Strom Kunde	[MWh_el/a]	2.883	2.883	2.883	2.883
davon Erzeugung vor Ort	[MWh_el/a]	0	2.554	0	0

2. Energiepreise

Primärenergie

			Erdgas	Erdgas	Erdgas
Jahresmenge	[MWh_Hi/a]		9.671	2.757	5.378
Mischpreis	[€/MWh_Hi]		30.000	40.000	40.000
Jahreskosten	[T€/a]		290	110	215

Strombezug von EVU

Technische Verbraucher

Jahresmenge	[MWh_el/a]	0	0	648	116
Mischpreis	[€/MWh_el]	225	225	170	225
Jahreskosten	[T€/a]	0	0	110	26

Endenergiebedarf Strom Kunde

Jahresmenge	[MWh_el/a]	2.883	451	2.301	2.883
Mischpreis	[€/MWh_el]	225	225	225	225
Jahreskosten	[T€/a]	649	101	518	649
Gesamtjahreskosten Strombezug	[T€/a]	649	101	628	675

Stromverkauf an EVU (BHKW-Strom)

Jahresmenge	[MWh_el/a]	0	751	0	0
Mischpreis	[€/MWh_el]	-40	-40	-40	-40
Jahreserlöse	[T€/a]	0	-30	0	0

Wärmebezug Fernwärme

Endenergiebezug Wärme	[MWh_th/a]	6.010			
Preis Fernwärme	[€/MWh_th]	66,03			
Jahreskosten	[T€/a]	396,9			

KWK-Zuschlag

Jahresmenge	[MWh_el/a]		3.305		
Vergütungssatz	[€/MWh_el]		27,2		
Vergütungsdauer	[vbh]		30.000		
Vergütungsdauer in Jahren	[a]		5,9		
Erlös in den ersten Jahren	[T€/a]		-89,9		
Erlös auf Abschreibungszeit verteilt	[T€/a]		-54,5		

3. Kostenstrukturwerte

Wartung, Inst., Rep. (ohne KWK)	[% der Invest.]	2,0	2,0	2,0	2,0
Wartung KWK	[€/MWh_el]	20	20	20	20
Betrieb und Management KWK	[€/MWh_el]	5	5	5	5
Versicherung, Verwaltung	[% der Invest.]	1,5	1,5	1,5	1,5

Abschreibungszeiten [a]

	Annuitäten				
Gesamtanlage	15 a [% p.a.]	10,30	10,30	10,30	10,30
Zinssatz	[% p.a.]	6,0	6,0	6,0	6,0

Personalbedarf, Bedienung	[AN]	0,0	0,0	0,0	0,0
Lohnaufwand	[T€/AN,a]	50	50	50	50



Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI 2067
Gesamtwirtschaftlichkeit, alle Angaben ohne MWSt. (netto)

20.763

Neue-Mitte Tempelhof

4. Investitionen

		zentral Variante 1	zentral Variante 2	zentral Variante 3	dezentral Referenzvariante
			KWK mit BHKW und Fernwärme	Geothermie mit Wärmepumpen und LowEx-Netz	Erdgaskessel und Solarthermie
Fernwärmeeanschluss	[T€]	198	0	0	0
BHKW-Module	[T€]	0	299	0	0
Brennwert-Erdgaskessel	[T€]	0	452	277	612
Solarthermie	[T€]	0	747	747	747
Förderung Solarthermie	[T€]	0	-129	-129	-129
Wärmepumpen	[T€]	0	0	582	0
Förderung Wärmepumpen	[T€]	0	0	-80	0
Erdwärmesonden	[T€]	0	0	1.164	0
Nahwärmetrasse	[T€]	0	500	500	0
Förderung Wärmenetz	[T€]	0	-400	-400	0
Wärmeübergabestationen	[T€]	0	421	421	0
Stromtrasse	[T€]	0	400	0	0
Planungsleistungen	[T€]	40	458	616	250
Summe Investitionen	[T€]	238	2.748	3.698	1.480

5. Jahreskosten und -erlöse

Fixe Kosten

Kapitalkosten	[T€/a]	24	283	381	152
Wartung, Inst., Rep. (ohne KWK)	[T€/a]	4	40	62	25
Versicherung, Verwaltung	[T€/a]	4	41	55	22
Personal, Bedienung	[T€/a]	0	0	0	0
Sonstiges (Raummiete)	[T€/a]	0	0	0	0
Summe Fixe Kosten	[T€/a]	32	364	498	199

Variable Kosten und Erlöse

Brennstoffkosten	[T€/a]	0	290	110	215
Bezug Elektroenergie Kunden	[T€/a]	649	101	518	649
Bezug Elektroenergie Technik	[T€/a]	0	0	110	26
EEG-Umlage 100 % auf Quartiersst 6,9 ct	[T€/a]	0	176	0	0
Reservekapazität BHKW-Ausfall	[T€/a]	0	0	0	0
Wartung BHKW	[T€/a]		66		
Betrieb und Management BHKW	[T€/a]		17		
Sonstiges (Entsorgung, Verluste)	[T€/a]				
Jahreskosten Wärmebezug	[T€/a]	397	0	0	0
Summe Variable Kosten	[T€/a]	1.046	650	738	890

Erlöse durch Stromverkauf, KWK-Zuschlag	[T€/a]	0	-85	0	0
---	--------	---	-----	---	---

Gesamtkosten Wärme und Strom

Gesamtkosten Wärme und Strom	[T€/a]	1.078	1.098	1.236	1.089
Strom					
Bilanzraum Kunde					
Strombezugskosten Kunden	[T€/a]	649	101	518	649
Stromerzeugung BHKW für Kunden	[T€/a]	0	575	-110	-26
Bilanzraum BHKW					
Erlöse durch Stromverkauf, KWK-Zuschlag	[T€/a]	0	85	0	0
Stromerzeugung BHKW für Kunden	[T€/a]	0	575	-110	-26
Wert der Stromerzeugung BHKW	[T€/a]	0	659	-110	-26
Wärmerestkosten	[T€/a]	429	422	828	466

Energiepreise für Endkunde

Wärmemenge	[MWh_th/a]	6.010	6.010	6.010	6.010
Wärmekosten	[T€/a]	429	422	864	466
Mischpreis Wärme gesamt	[€/MWh_th]	71	70	138	78
Strompreis EVU (Benchmark)	[€/MWh_el]	225	225	170	225