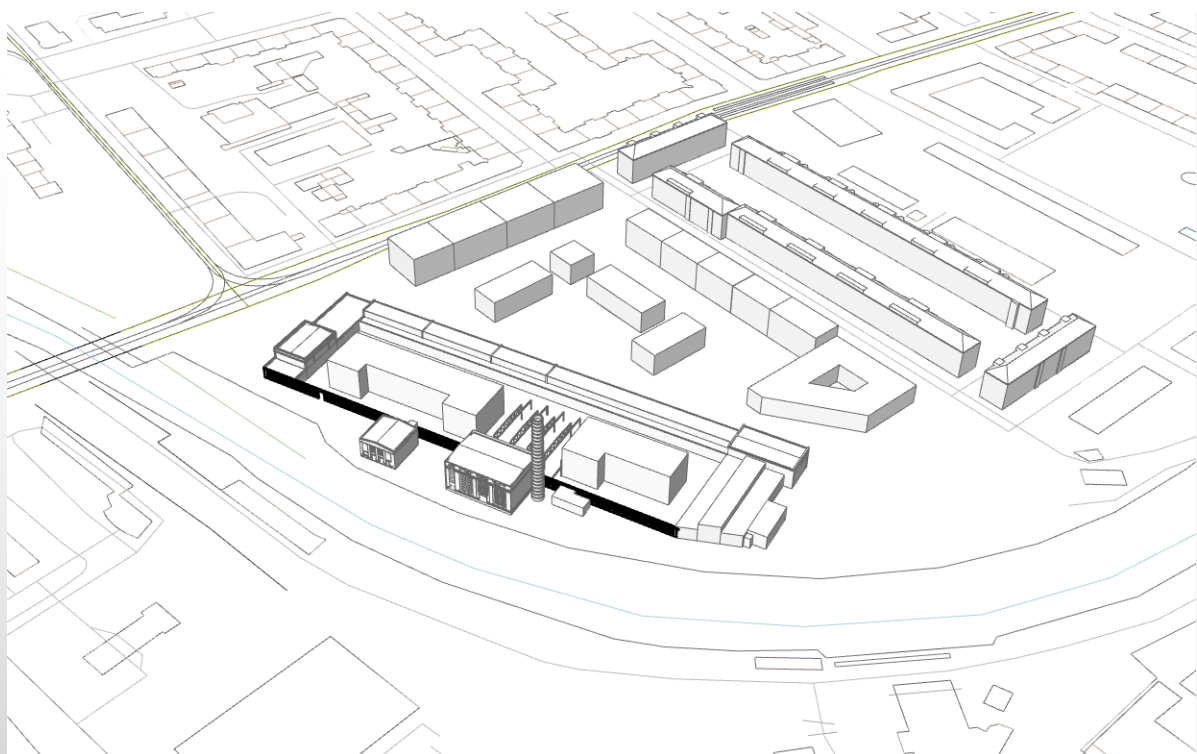


# B-Plan-Verfahren 410 „Lützner Straße/Karl-Heine-Kanal“

## Projekt Hafenwerk

Energiekonzept

---



## Impressum

### Herausgeber:

LEWO AG, Karl-Tauchnitz-Straße 21, 04107 Leipzig

### Redaktion, Satz und Gestaltung:

seecon Ingenieure GmbH, Spinnereistraße 7, Halle 14, 04179 Leipzig

### Stand bzw. Redaktionsschluss:

02.07.2021

### Bildnachweis Titelseite:

seecon Ingenieure GmbH, Spinnereistraße 7, Halle 14, 04179 Leipzig

### Anmerkung:

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Alle geschlechtsspezifischen Bezeichnungen, die in männlicher oder weiblicher Form benutzt wurden, gelten für beide Geschlechter gleichermaßen ohne jegliche Wertung oder Diskriminierungsabsicht.

## Inhaltsverzeichnis

Impressum.....	2
Inhaltsverzeichnis.....	3
1 Einleitung.....	4
2 Energiebedarfsanalyse.....	5
3 Energiepotenzialanalyse.....	11
3.1 Wärmeversorgung.....	11
3.1.1 V0 – Referenzobjekt gebäudebezogene Wärmeversorgung.....	11
3.1.2 V1 – Anschluss an das FW-Verbundnetz der LSW.....	14
3.1.3 V2 – Nahwärme, KWK-Anlage.....	14
3.1.4 V3 – Nahwärme, erneuerbare Energien.....	16
3.2 Stromversorgung.....	19
4 Variantenvergleich.....	22
Abbildungsverzeichnis.....	31
Tabellenverzeichnis.....	32
Abkürzungsverzeichnis.....	33
Quellenverzeichnis.....	34

# 1 Einleitung

Leipzig zählt zu den prosperierendsten Städten Deutschlands. Demzufolge wächst auch die Nachfrage nach Wohnraum innerhalb des Leipziger Stadtgebietes. Nachverdichtung und Umnutzungen bilden hierbei Maßnahmen für eine umweltschonende und klimafreundliche Stadtentwicklung. Auf dem Plangebiet „Hafenwerk – Lützner Straße“ soll durch die bauliche Integrierung in bestehende ehemalige Industriestrukturen (Leipziger Jute – Spinnerei und Weberei) und Neubauten ein modernes und nachhaltiges Quartier im Leipziger Ortsteil Neulindenau entstehen. Hierbei bildet der Wohnungsbau nicht die einzige stadtplanerische Herausforderung, sondern ebenso die Energieversorgung des Quartiers.

Innerhalb des vorliegenden Energiekonzeptes werden verschiedenen Energieversorgungsvarianten untersucht und vor dem Hintergrund des Klimaschutzes und der Wirtschaftlichkeit gegeneinander abgewogen. Neben den Vorgaben des Gebäudeenergiegesetzes (GEG), orientiert sich die Ausgestaltung der Energieversorgungsvarianten auch an dem Sofortmaßnahmenprogramm zum Klimanotstand 2020 der Stadt Leipzig. In der Maßnahme *Entwicklung klimagerechter-wassersensibler & energieeffizienter Quartiere*, werden die Ziele für die Wärme- und Stromversorgung vorgegeben. Demnach soll bei Fertigstellung eines Quartiers der Energiebedarf zu signifikanten Anteilen aus erneuerbaren Energien gedeckt werden (vgl. Tab. 1). Im 1. Quartal 2021 soll die Prüfung der Zielwertanpassung erfolgen (in Klammern gesetzte Werte). Das Quartier ist dem Typ A - vorwiegend dichte Bebauung, Geschosswohnungsbau, Kernstadtlage zuzuordnen.

Tab. 1            Sofortmaßnahmenprogramm Klimanotstand 2020 Stadt Leipzig, Anforderungen an die Entwicklung von Quartieren

Pos.	Anteil erneuerbarer Energien
<i>Wärmeversorgung</i>	
Innerhalb des Fernwärmegebietes (FWG)	mind. 25 % (mind. 40-50 %)
Außerhalb des FWG, Typ A	mind. 50 % (mind. 60 %)
Außerhalb des FWG, Typ B	mind. 75 % (mind. 80 %)
<i>Stromversorgung</i>	
Typ A	mind. 10 % (mind. 40-50 %)
Typ B	mind. 30 % (mind. 50-70 %)

Das Untersuchungsgebiet umfasst das Areal des Bebauungsplanes Nr. 410 "Lützner Straße/Karl-Heine-Kanal" zuzüglich der östlichen Blockrandbebauung (östlicher Block). Das Untersuchungsgebiet wird im Norden durch die Lützener Straße, im Osten durch die Thietmarstraße, im Süden durch die Grotzschersche Straße sowie im Südwesten und Westen durch den Karl-Heine-Kanal begrenzt. Ferner gliedert sich das Untersuchungsgebiet in die Teilbereiche 1 bis 3 sowie den östlichen Block (vgl. Abb. 1).



Abb. 1 Untersuchungsgebiet

## 2 Energiebedarfsanalyse

Der Wärmebedarf der Gebäude wurde auf unterschiedliche Weise ermittelt. Für den Teilbereich 1 (TB 1) lag eine Heizlastberechnung vor [1]. Für den TB 2 wurde anhand des städtebaulichen Konzeptes und dem Vorentwurf des Bebauungsplanes das Bruttogebäudevolumen ermittelt [2]. Anhand der Nutzung, Grundfläche, Höhe und Geschossigkeit der Gebäude sowie in Orientierung an das GEG, wurde der Wärmebedarf und die Heizlast der Gebäude ermittelt. Das TG 3 wurde von der energetischen Betrachtung ausgeschlossen, da der Eigentümer des Teilgebietes eine Änderung seines Gebäudewärmesystems ausschließt. Für den Teilbereich *östlicher Block* wurde mittels Open-Street-Map und google-Street-View die Grundfläche und Geschossigkeit der Blockrandbebauung ermittelt. Das weitere Vorgehen zur Ermittlung des Wärmebedarfs und der Heizlaste des Teilbereichs *östlicher Block* folgt dem des TB 2. Die ermittelten Kennwerte können der Tab. 2 entnommen werden. Die Zuordnung der Objekte innerhalb des Quartiers erfolgt in Abb. 2.

Tab. 2 Nutzfläche, Heizlast ( $P_{th}$ ), Wärmebedarf gesamt ( $Q_{ges}$ ), für Raumwärme ( $Q_{RW}$ ) und Warmwasser ( $Q_{WW}$ )

Objekt	Nutzfläche [m <sup>2</sup> ]	$P_{th}$ [kW]	$Q_{ges}$ [kWh/a]	$Q_{RW}$ [kWh/a]	$Q_{WW}$ [kWh/a]
Neubau 1	3.114	84	126.611	60.734	65.877
Neubau 2	1.846	50	75.046	35.999	39.047
Bestand, Nordriegel KG	3.086	147	281.712	249.289	32.423
Bestand, Osthalle KG	1.594	51	104.394	83.967	20.427
Bestand, Kesselhaus EG	1.348	81	160.784	134.714	26.070
Bestand, Südhalle EG	326	31	47.942	40.847	7.095
Bestand, Westriegel	737	55	93.372	82.107	11.265
Bestand, Gebäude Nord-Ost		51	109.819	94.458	15.361
<b>Summe TB1</b>	<b>12.050</b>	<b>551</b>	<b>999.680</b>	<b>782.115</b>	<b>217.565</b>
Eigentümer 1	815	23	40.763	30.572	10.191
Eigentümer 2	3.004	83	150.188	112.641	37.547
Eigentümer 3	2.372	66	118.575	88.931	29.644
Eigentümer 4 Stadt Leipzig	5.795	145	289.725	217.294	72.431
<b>Summe TB2</b>	<b>11.985</b>	<b>317</b>	<b>599.250</b>	<b>449.438</b>	<b>149.813</b>
Blockseite Lützener Str.	1.800	135	270.000	247.500	22.500
Blockseite Thiertmarstr.	5.100	383	765.000	701.250	63.750
Blockseite Groitzscher Str.	1.800	135	270.000	247.500	22.500
Blockseite Wiprechstr.	5.370	403	805.500	738.375	67.125
<b>Summe Block östlich</b>	<b>14.070</b>	<b>1.055</b>	<b>2.110.500</b>	<b>1.934.625</b>	<b>175.875</b>
<b>Summe Quartier (ohne TB3)</b>	<b>38.105</b>	<b>1.923</b>	<b>3.709.430</b>	<b>3.166.178</b>	<b>543.253</b>

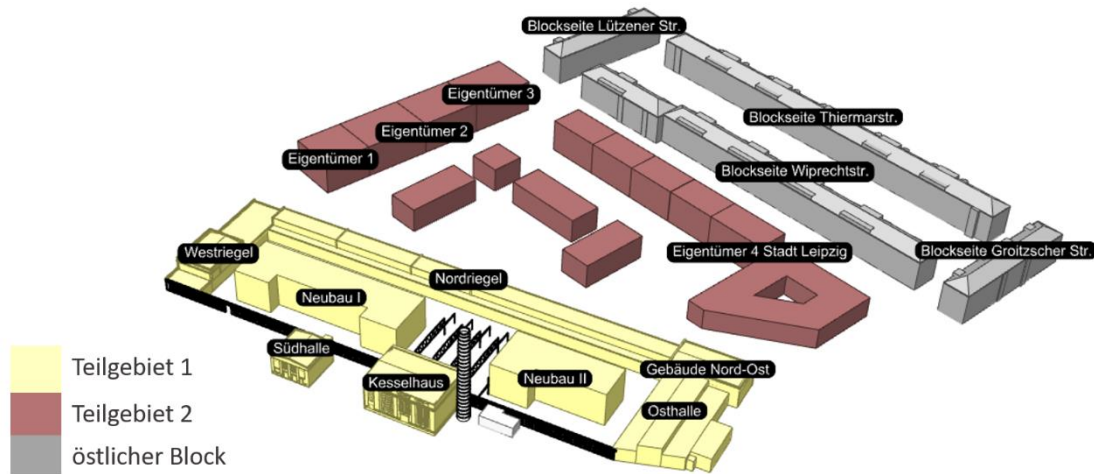


Abb. 2 Zuordnung der Gebäude innerhalb des Quartiers

Der Strombedarf wurde für Wohngebäude (WG) mit  $25 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$  [3] und für Nichtwohngebäude (NWG) mit  $75 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$  [4] angesetzt. Die Bezugsfläche bildet hierbei die Gebäudenutzfläche, welche nach dem bereits oben beschriebenen Verfahren ermittelt wurde.

Um ein Wärmeversorgungssystem optimal auslegen zu können, bedarf es der Kenntnis über den zeitlichen Verlauf des Wärmebedarfes, dem so genannten Wärmelastgang. In Orientierung an [5], wurde in Abhängigkeit der Gebäudenutzung und des Gebäudewärmebedarfes der Wärmelastgang modelliert. Da innerhalb des Energiekonzeptes verschiedene Versorgungsszenarien untersucht werden, wurden insgesamt je drei Wärme- und Stromlastgänge erstellt (Szenario 1 = TB1, Szenario 2 = TB 1 + 2, Szenario 3 = TB 1 + 2 + *östliche Block*). Der Visualisierung der Lastgänge erfolgt in den Abb. 3 bis Abb. 8. Ferner berücksichtigen die Stromlastgänge auch den Strombedarf für Elektromobilität. Die zu veranschlagende Anzahl an Elektrofahrzeugen bzw. der für Sie notwendigen Ladeinfrastruktur wurde [5] entnommen. Da sich diese Aussagen nur auf den TB 1 beziehen, wurde für den TB 2 eine Hochrechnung vorgenommen. Der östliche Block findet an dieser Stelle keine Berücksichtigung.

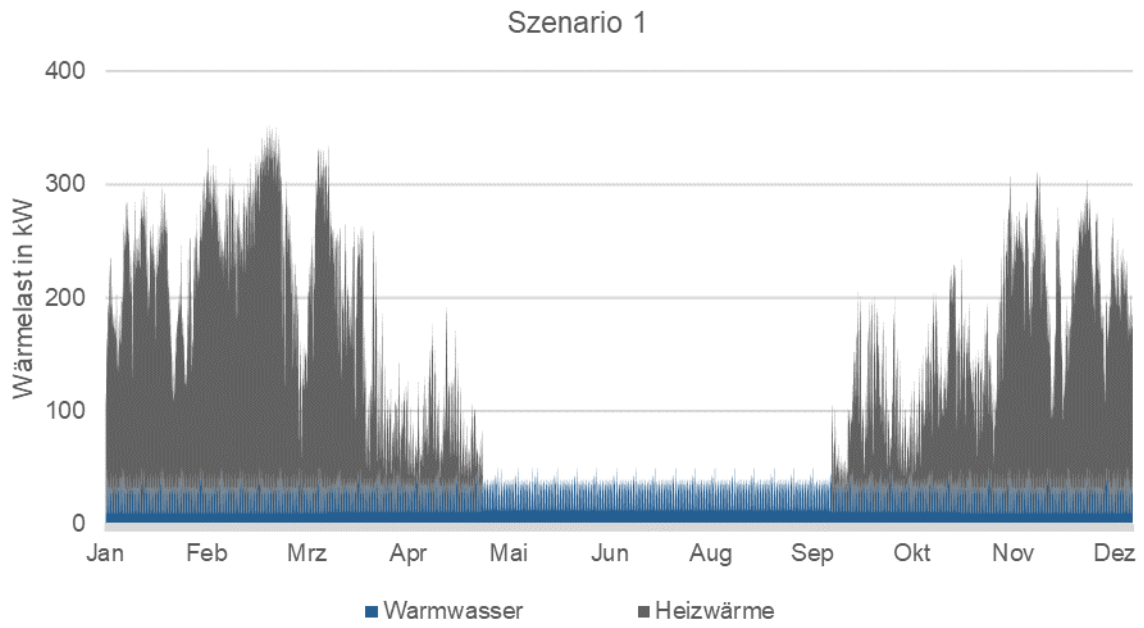


Abb. 3 Wärmelastgang Szenario 1

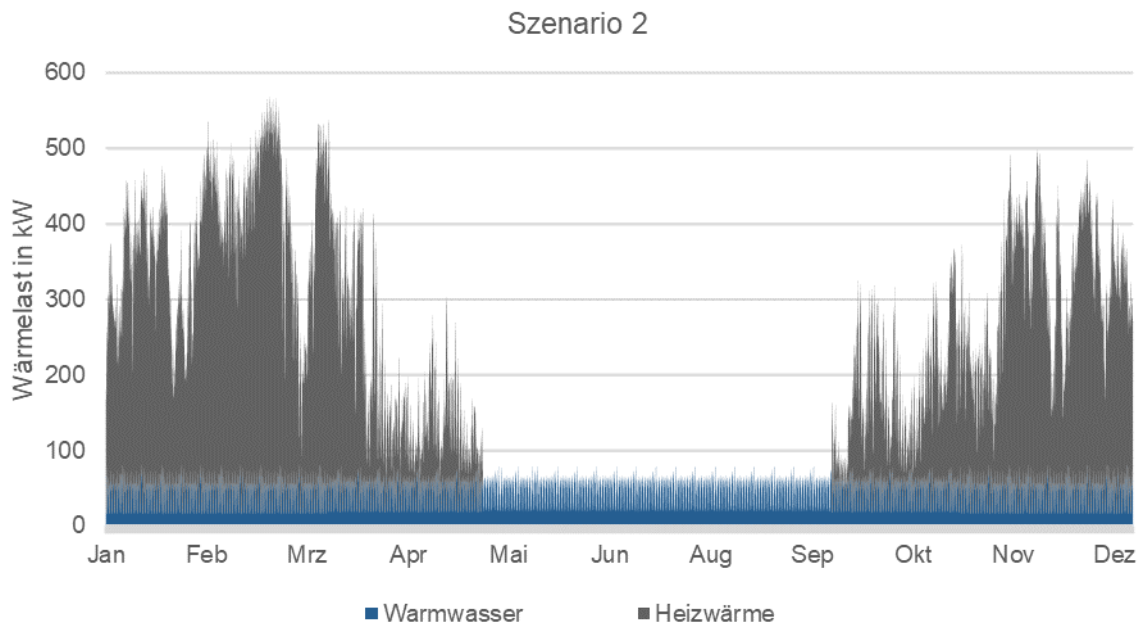


Abb. 4 Wärmelastgang Szenario 2



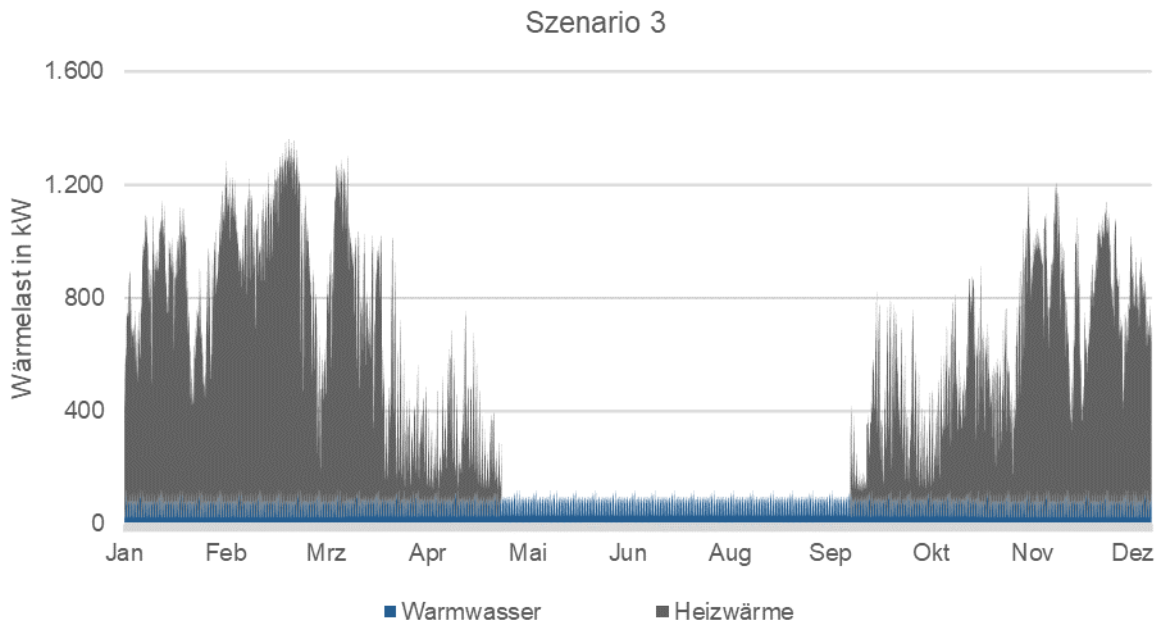


Abb. 5 Wärmelastgang Szenario 3

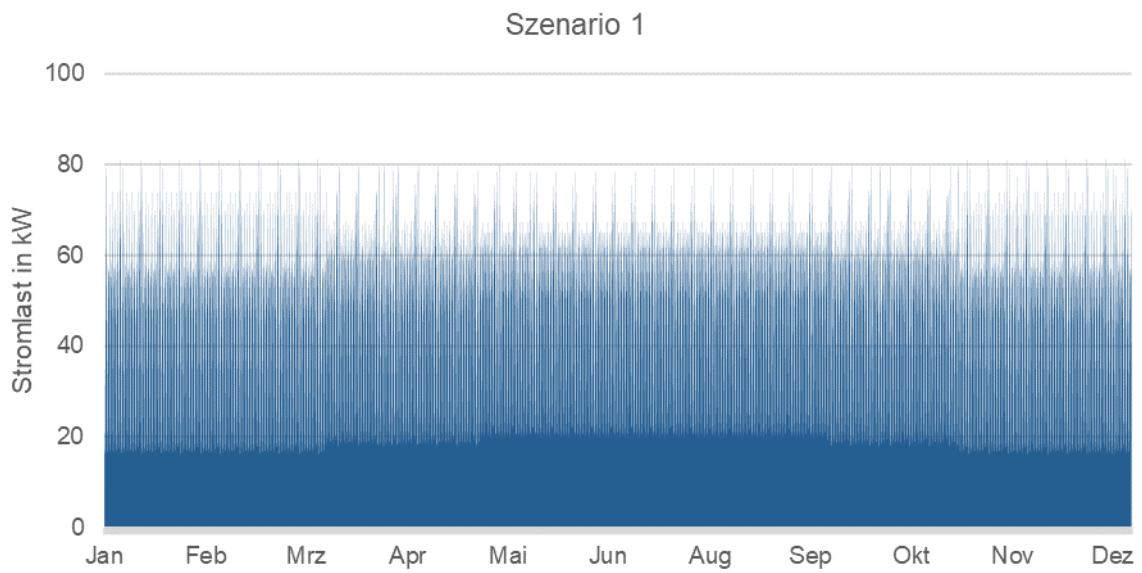


Abb. 6 Stromlastgang Szenario 1

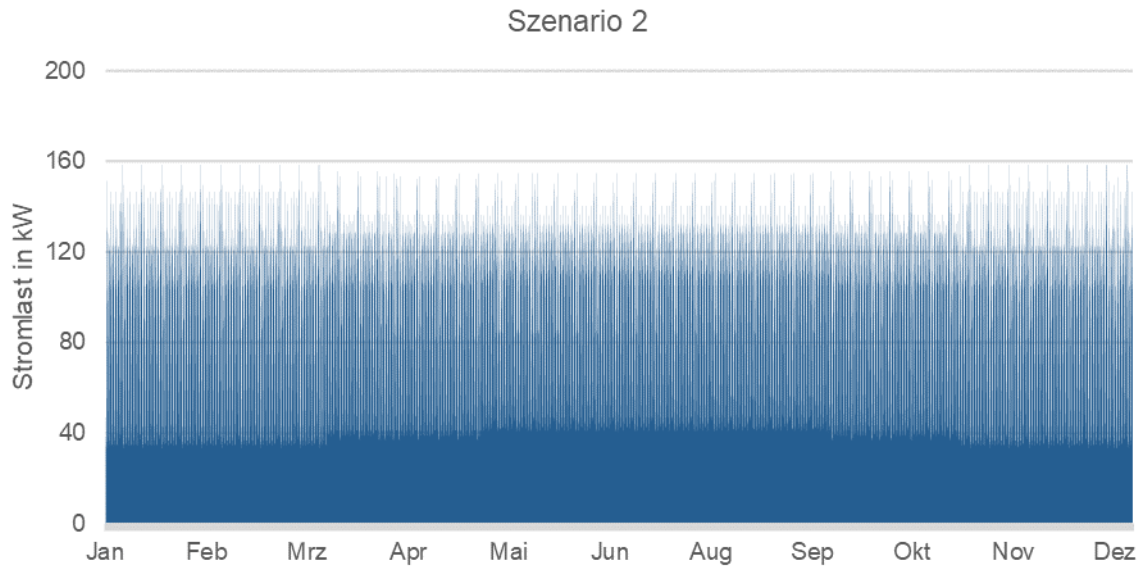


Abb. 7 Stromlastgang Szenario 2

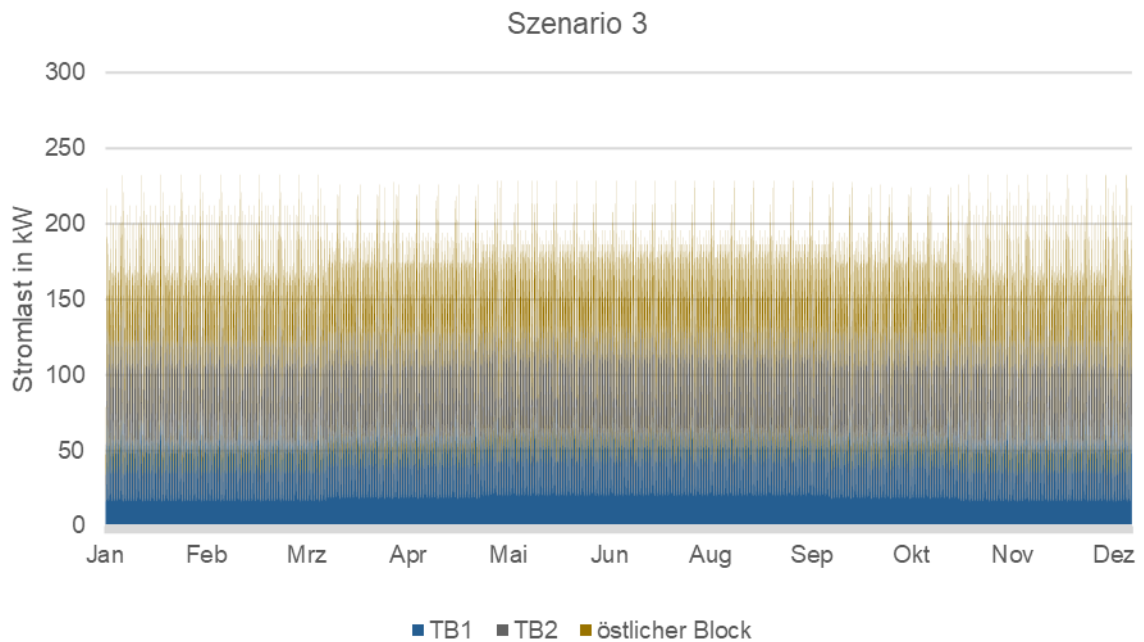


Abb. 8 Stromlastgang Szenario 3

## 3 Energiepotenzialanalyse

Die Wärmeversorgung des Quartiers kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Grundsätzlich kann zwischen einer gebäudebezogenen und einer quartiersbezogenen Wärmeversorgung unterschieden werden. Bei der gebäudebezogenen Wärmeversorgung verfügt jedes Objekt über eine eigene gebäudezentrale Wärmeversorgung (bspw. einer Wärmepumpe). Bei der quartiersbezogenen Wärmeversorgung hingegen versorgt eine Wärmezentrale mehrere Objekte. Im vorliegenden Fall werden für die quartiersbezogene Wärmeversorgung drei Ausbauszenarien berücksichtigt: Szenario 1 = TB1, Szenario 2 = TB 1 +2, Szenario 3 = TB 1 + 2 + *östlicher Block*. Um die Eigenschaften einer gebäudebezogenen Wärmeversorgung einer quartiersbezogenen Wärmeversorgung gegenüberstellen zu können, wurde ein Referenzobjekt (Neubau 1) für eine gebäudezentrale Wärmeversorgung gewählt und mit einem entsprechenden Wärmeerzeuger ausgestattet. Die Energiepotenzialanalyse für die Wärmeversorgungsvarianten erfolgt im nachfolgenden Kapitel 3.1.

Neben der Wärmeversorgung erfolgt auch die Betrachtung der Eigenstromversorgung. Hierzu wird neben der Nutzung von BHKW-Strom (vgl. Kapitel 3.1.3) auch der Einsatz von Photovoltaikanlagen (PVA) auf Dach- und an Fassadenflächen untersucht. Die Energiepotenzialanalyse für die Stromversorgung des Quartiers erfolgt im Kapitel 3.2.

### 3.1 Wärmeversorgung

In den nachfolgenden Abschnitten werden die untersuchten Wärmeversorgungsvarianten vorgestellt. Diese umfassen neben der Einzelversorgung des Referenzobjektes (V0) die quartiersbezogenen Wärmeversorgungsvarianten:

- Anschluss an das Fernwärmeverbundnetz der Leipziger Stadtwerke (V1),
- Aufbau einer Nahwärmeversorgung, basierend auf einer KWK-Anlage (V2),
- Aufbau einer Nahwärmeversorgung, basierend auf erneuerbaren Energien (V3).

Jede Versorgungsvariante wird differenziert nach den bereits beschriebenen drei Ausbauszenarien untersucht. Die Analyseergebnisse sind in den nachfolgenden Abschnitten dargestellt.

#### 3.1.1 V0 – Referenzobjekt gebäudebezogene Wärmeversorgung

Als Referenzobjekt wurde das Objekt *Neubau 1* ausgewählt. Die energetischen Eigenschaften des Gebäudes sind der Tab. 2, Seite 6 zu entnehmen. In der nachfolgenden Tab. 3 erfolgt die Definition der Wärmeversorgungsaufgabe.

Tab. 3 Wärmeversorgungsaufgabe V0

Erzeugungsanlage	Einheit	Wert
thermische Leistung	kW	33
Heizwärmebedarf	kWh/a	60.734
Warmwasserbedarf	kWh/a	65.877
Gesamtwärmebedarf	kWh/a	126.611

Zur Erfüllung der Wärmeversorgungsaufgabe wurden insgesamt fünf Varianten untersucht. Die Eigenschaften einer jeden Versorgungsvariante sind der nachfolgenden Tab. 4 zu entnehmen. Die untersuchten Varianten sind dabei wie folgt definiert:

- V0a – BHKW, Anteil 50 % in Kombination mit EG-Spitzenlastkessel
- V0b – Solarthermie auf Dachflächen, Anteil 15 % in Kombination mit EG-Spitzenlastkessel
- V0c – Solarthermie auf Dachflächen, Anteil 30 % in Kombination mit EG-Spitzenlastkessel
- V0d – Luft/Wasser-Wärmepumpe, Anteil 100 %
- V0e – Luft/Wasser-Wärmepumpe, Anteil 100 % in Kombination mit PV-Anlage zur anteiligen Eigenstromversorgung der Wärmepumpe

Tab. 4 Eigenschaften der Wärmeversorgungsvarianten V0a bis V0e

Szenario	Einheit	BHKW (50%)	Solar (15 %)	Solar (30%)	L/W-WP (100%)	L/W-WP & PV (100%)
Kessel	kWh/a	60.764	106.679	87.737	-	-
BHKW (Modul 1)	kWh/a	65.846	-	-	-	-
BHKW (Modul 2)	kWh/a	-	-	-	-	-
L/W-WP	kWh/a	-	-	-	126.674	126.674
S/W-WP	kWh/a	-	-	-	-	-
Solarthermie	kWh/a	-	19.916	38.859	-	-
Fernwärme	kWh/a	-	-	-	-	-
Gesamt	kWh/a	126.610	126.595	126.595	126.674	126.674

Die Investitionskosten (abzgl. Förderung), Höhe der Förderung sowie die Wärmegestehungskosten einer jeden Versorgungsvariante sind der nachfolgenden Tab. 5 zu entnehmen. Demnach führt der Einsatz einer Solarthermieanlage in Verbindung mit einem erdgasbetriebenen Kessel zum niedrigsten Wärmegestehungspreis von 130 €/MWh. Die grafische Darstellung der Investitionskosten ist der Abb. 9 zu entnehmen.

Tab. 5      Wirtschaftliche Eigenschaften der Wärmeversorgungsvarianten V0a bis V0e

Szenario	Einheit	BHKW (50%)	Solar (15 %)	Solar (30%)	L/W-WP (100%)	L/W-WP & PV (100%)
Förderung	€	1.483	14.705	29.861	18.578	18.578
Investitionskosten	€	72.710	62.411	102.826	64.173	112.765
Wärmegestehungskosten	€/MWh	179	130	146	134	133

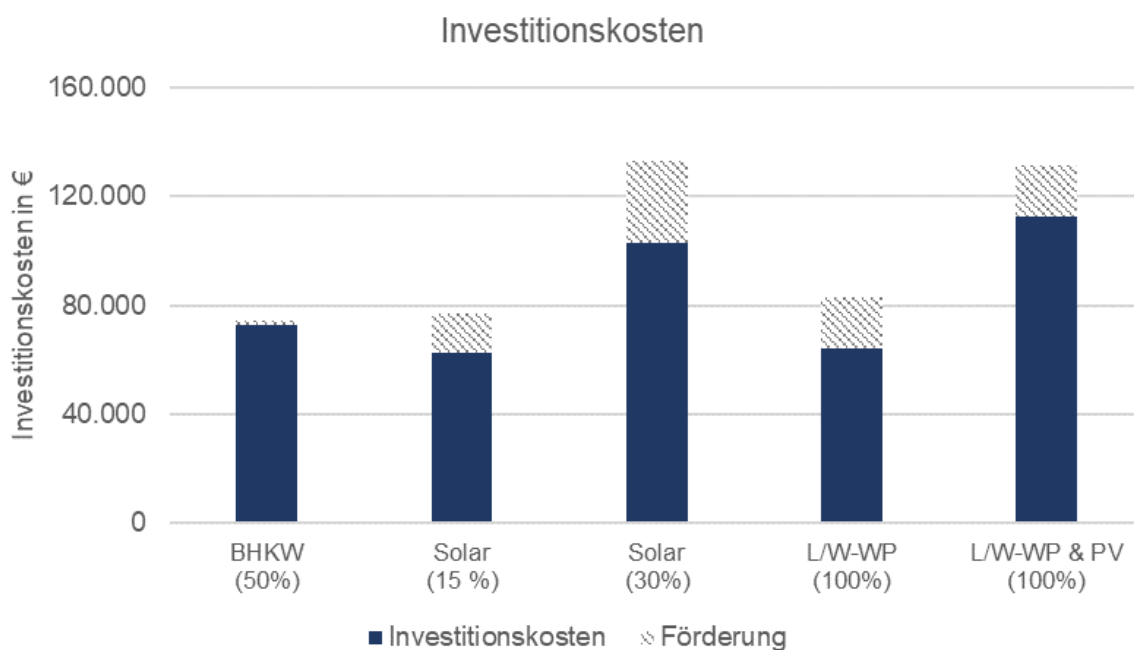


Abb. 9      Investitionskosten Wärmeversorgungsvarianten V0a bis V0e

In der Abb. 10 sind die Wärmegestehungskosten in Abhängigkeit der CO<sub>2</sub>-Bepreisung dargestellt. Dabei erfolgt die Berücksichtigung der CO<sub>2</sub>-Bepreisung als Mittelwert über 20 Jahre. Unterstellt wird ein linearer Anstieg der CO<sub>2</sub>-Bepreisung in Höhe von 7,5 €/a.

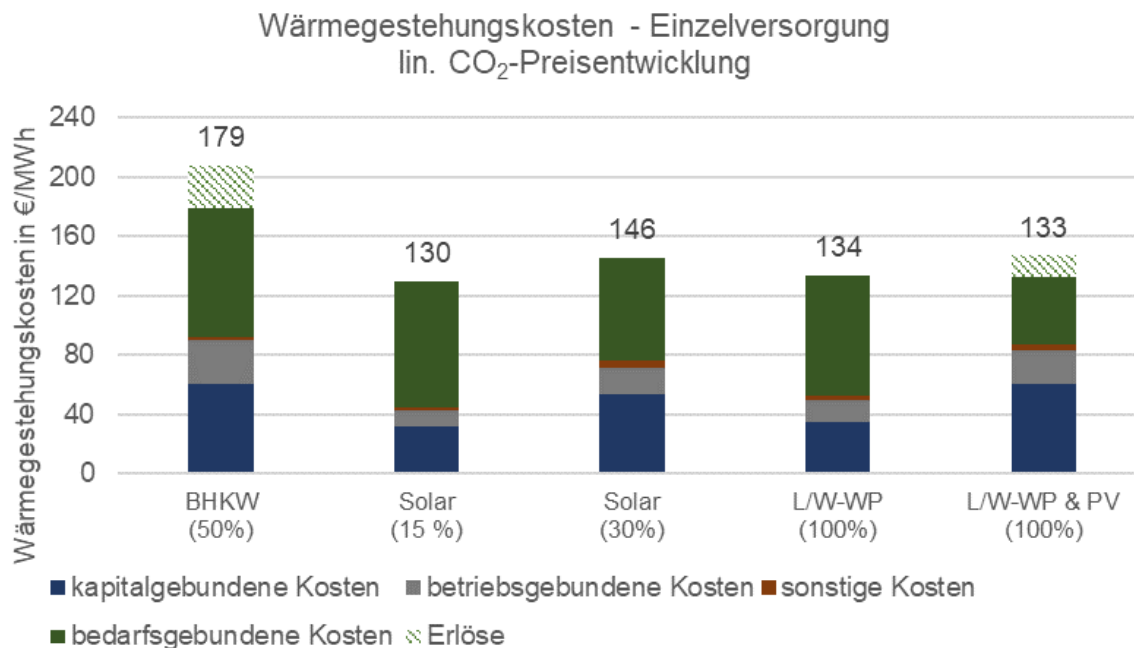


Abb. 10 Wärmegestehungskosten Wärmeversorgungsvarianten V0a bis V0e

### 3.1.2 V1 – Anschluss an das FW-Verbundnetz der LSW

Ein Anschluss an das Fernwärmeverbundnetz der Leipziger Stadtwerke (LSW) ist grundsätzlich möglich [6]. Der naheliegendste Anschlusspunkt befindet sich in etwa 300 m westlich des Quartiers, auf der Lützener Straße, Höhe Sprint-Tankstelle. Zur Herstellung eines Anschlusses ist die Querung der Luisenbrücke notwendig.

Die ökologische Einordnung der Fernwärme der LSW erfolgt getrennt nach zwei Szenarien: gemäß Zukunftskonzept und nach Ausstieg aus der Abwärmenutzung aus dem Braunkohlekraftwerk Lippendorf [7]. Demnach soll der CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Leipziger Fernwärme von heute rund 190 g<sub>CO2</sub>/kWh bis 2030 auf rund 100 g<sub>CO2</sub>/kWh reduziert werden. Der Primärenergiefaktor der Leipziger Fernwärme beträgt nach § 22 Absatz 3, GEG 2020 aktuell 0,3.

### 3.1.3 V2 – Nahwärme, KWK-Anlage

In dieser Wärmeversorgungsvariante wird der Einsatz einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (BHKW) in zwei Ausbaugraden untersucht (KWK-Anteil 50 % und 75 %). Der erste Ausbaugrad entspricht dabei den aktuellen Vorgaben des GEG (Nah- oder Fernwärme als Ersatzmaßnahme). Der zweite Ausbaugrad orientiert sich an den Fördervorgaben des KWKG zur Erlangung eines Investitionszuschusses für

den Wärmenetzausbau. Die Eigenschaften der Wärmeversorgungsvarianten V2a (KWK-Anteil 50 %) und V2b (KWK-Anteil 75 %) nach Ausbauszenarien sind der nachfolgenden Tab. 6 zu entnehmen. Die grafische Darstellung des Lastprofils erfolgt exemplarisch für das Ausbauszenario 1 in der Abb. 11.

Tab. 6 Eigenschaften der Wärmeversorgungsvarianten V2a und V2b nach Ausbauszenario 1 bis 3

Erzeugungsanlage	Einheit	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Nennleistung	kW	329	560	1.295
thermische Leistung BHKWs 50 %-KWK	kW(th)	78	130	336
elektrische Leistung BHKWs 50 %-KWK	kW(el)	40	60	214
thermische Leistung BHKWs 75 %-KWK	kW(th)	148	239	566
elektrische Leistung BHKWs 75 %-KWK	kW(el)	68	123	390
VBH 50 %-KWK	h/a	6.596	6.667	6.006
VBH 70 %-KWK	h/a	5.407	5.510	5.178

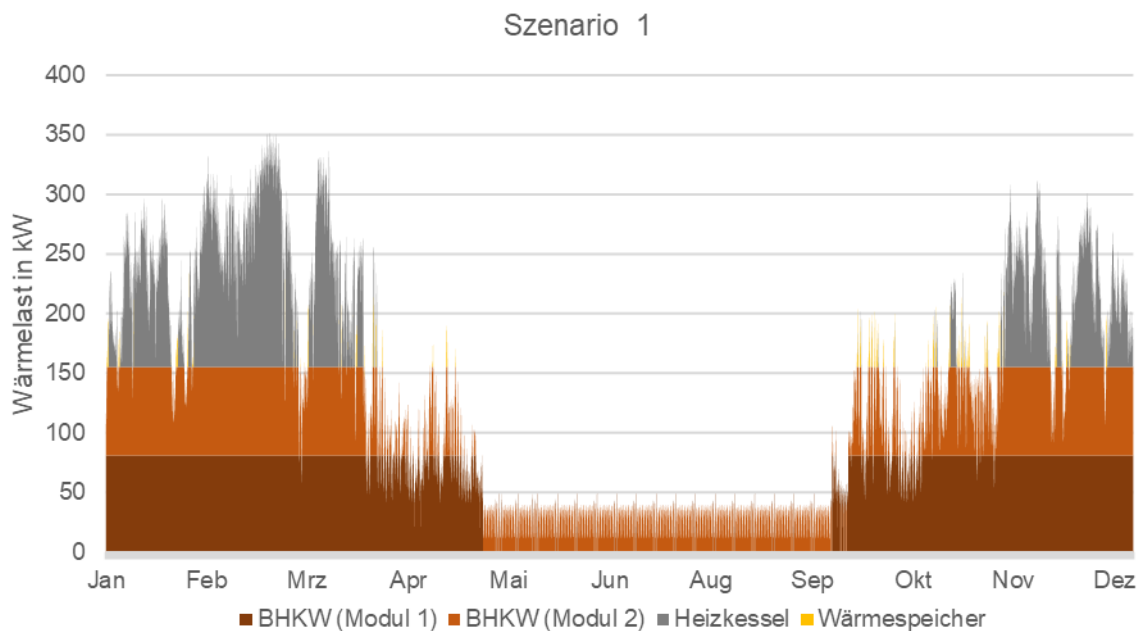


Abb. 11 Last- und Ertragsprofil Wärmeversorgungsvariante V2, Szenario 1

### 3.1.4 V3 – Nahwärme, erneuerbare Energien

In dieser Variante werden insgesamt sechs Möglichkeiten der erneuerbaren Wärmeversorgung in unterschiedlichen Ausbaugraden untersucht. Diese sind:

- V3a - Solarthermie auf Dachflächen, Anteil 15 % in Kombination mit EG-Spitzenlastkessel
- V3b - Solarthermie auf Dachflächen, Anteil 30 % in Kombination mit EG-Spitzenlastkessel
- V3c - Luft/Wasser-Wärmepumpe, Anteil 50 % in Kombination mit EG-Spitzenlastkessel
- V3d - Luft/Wasser-Wärmepumpe, Anteil 90 % in Kombination mit EG-Spitzenlastkessel
- V3e - Sohle/Wasser-Wärmepumpe, Anteil 50 % in Kombination mit EG-Spitzenlastkessel
- V3f - Luft/Wasser-Wärmepumpe, Anteil 50 % in Kombination mit BHKW, Anteil 25 % und EG-Spitzenlastkessel

Die Eigenschaften der Wärmeversorgungsvariante V3a nach Ausbauszenarien sind der nachfolgenden Tab. 7 zu entnehmen. Die grafische Darstellung des Lastprofils erfolgt exemplarisch für das Ausbauszenario 1 in der Abb. 12.

Tab. 7 Eigenschaften der Wärmeversorgungsvariante V3a – Solarthermie (15 % Deckung)  
nach Ausbauszenario 1 bis 3

Erzeugungsanlage	Einheit	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Kollektorzahl	1	128	208	616
Kollektorfläche	m <sup>2</sup>	478	777	2.302



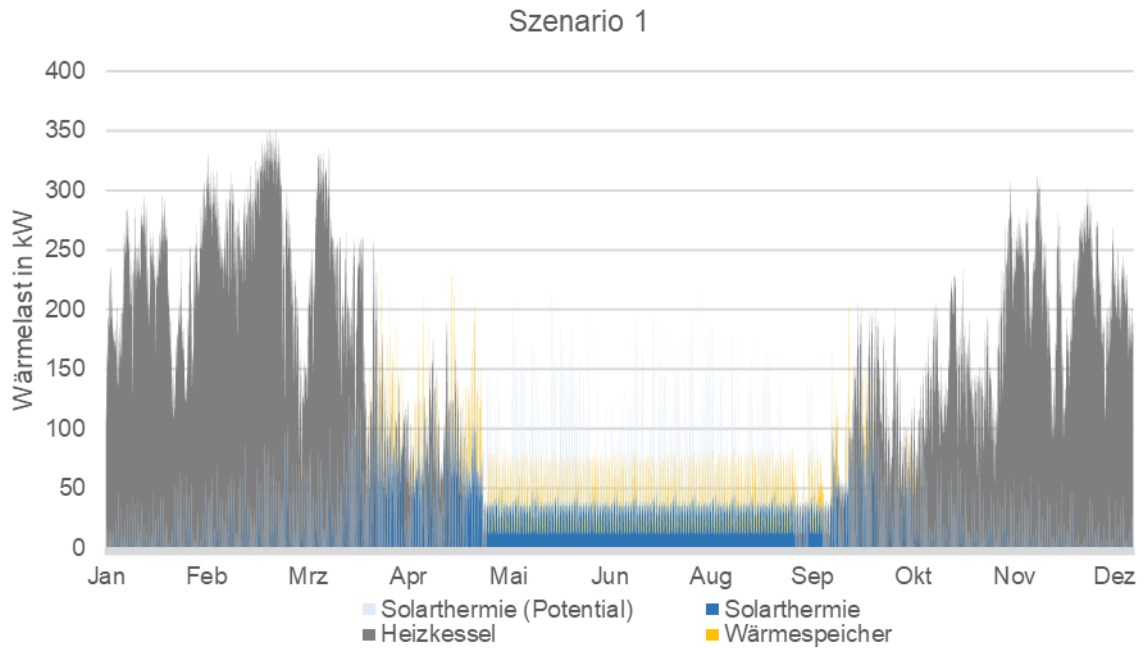


Abb. 12 Last- und Ertragsprofil Wärmeversorgungsvariante V3a, Szenario 1

Die Eigenschaften der Wärmeversorgungsvariante V3d nach Ausbauszenarien sind der nachfolgenden Tab. 8 zu entnehmen. Die grafische Darstellung des Lastprofils erfolgt exemplarisch für das Ausbauszenario 1 in der Abb. 13.

Tab. 8 Eigenschaften der Wärmeversorgungsvariante V3d – Luft/Wasser-Wärmepumpe (90% Deckung)

Erzeugungsanlage	Einheit	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Heizleistung WP gesamt	kW	336	504	1.239
VL-Temperatur	°C	65,00		
COP	1	2,8		

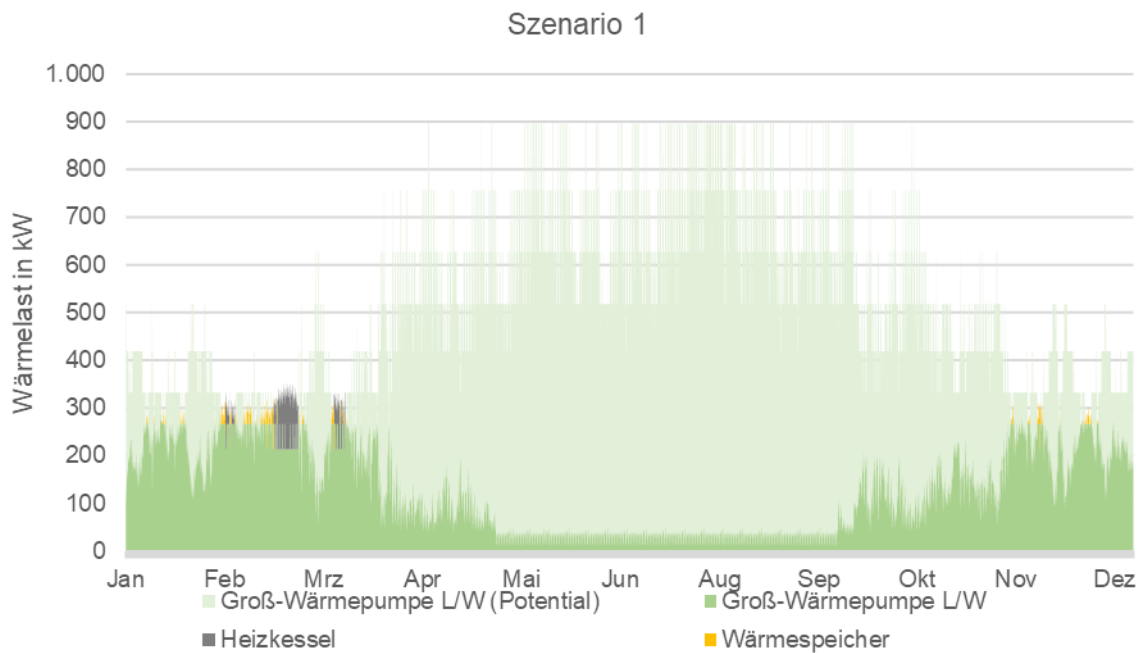


Abb. 13 Last- und Ertragsprofil Wärmeversorgungsvariante V3d, Szenario 1

Die Eigenschaften der Wärmeversorgungsvariante V3e nach Ausbauszenarien sind der nachfolgenden Tab. 7 zu entnehmen. Die grafische Darstellung des Lastprofils erfolgt exemplarisch für das Ausbauszenario 1 in der Abb. 14.

Tab. 9 Eigenschaften der Wärmeversorgungsvariante V3e – Sohle/Wasser-Wärmepumpe (50 % Deckung)

Erzeugungsanlage	Einheit	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Heizleistung WP gesamt	kW	251	419	886
VL-Temperatur	°C	65,00		
COP	-	4,00		
<i>Erdsonden</i>				
Entzugsleistung	kW	189	314	665
Anzahl Bohrungen	Stck	36	59	125
Flächenbedarf	m <sup>2</sup>	1.006	1.676	3.545
<i>Spitzenlastkessel</i>				
Nennleistung	kW	329	560	1.295
Wirkungsgrad	%	95,0		
<i>Wärmespeicher</i>				
Volumen	m <sup>3</sup>	19	19	75
Speicherkapazität	kWh	775	775	3.048

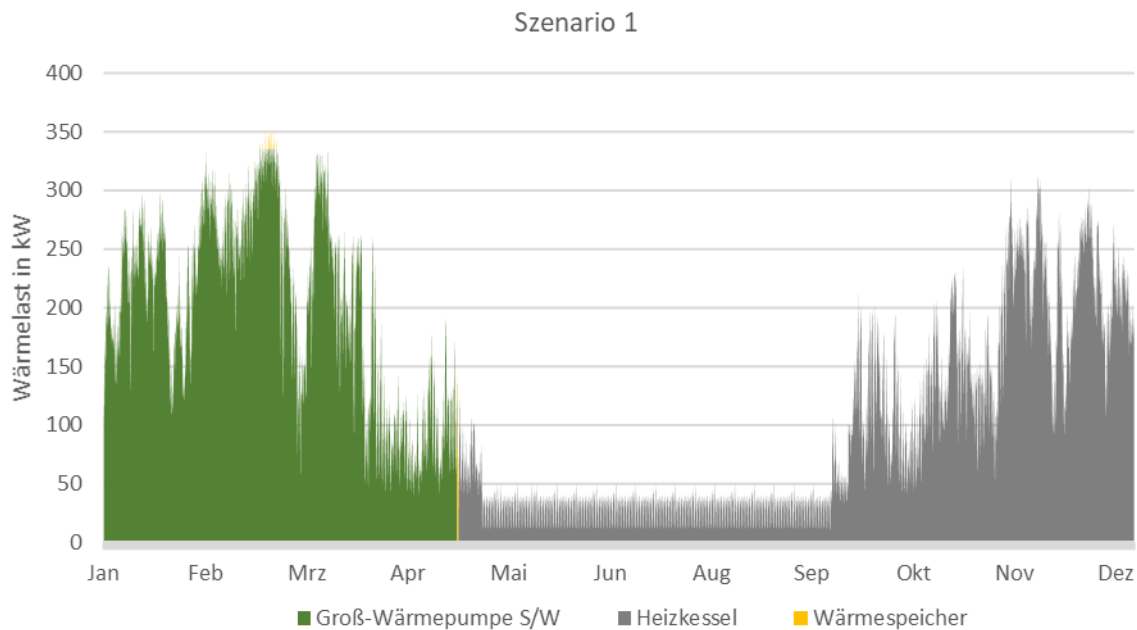


Abb. 14 Last- und Ertragsprofil Wärmeversorgungsvariante V3e, Szenario 1

## 3.2 Stromversorgung

Im vorliegenden Kapitel wird die Eigenstromversorgung eines Referenzobjektes (*Neubau 1*) untersucht. Als Betreibermodell wird eine Mieterstromanlage differenziert nach Projektart und Grad der Beteiligung berücksichtigt. Unterschieden wird nach den Projektarten Einzelprojekt (EP) und Sammelprojekt (SP). Dabei berücksichtigt das Sammelprojekt Skaleneffekte bei der Etablierung mehrere Mieterstromprojekte im Quartier (max. fünf) eintreten. Der Skaleneffekt bezieht sich dabei auf die Anschaffung einer Abrechnungssoftware, die in jeder Projektart dieselben absoluten Kosten verursacht, jedoch relativ gesehen mit steigender Anzahl von Projekten einen kleineren Anteil einnimmt.

Grundlage der Analyse zur Nutzung von Dachflächen für Photovoltaik- und / oder Solarthermieanlagen bildet ein eigens entworfenes 3D-Modell. Dabei wurden sowohl die Dach- (vgl. Abb. 15) als auch die Fassadenflächen (vgl. Abb. 16) hinsichtlich der direkten Sonneneinstrahlung analysiert. Die Nutzung der Fassadenflächen wurde in den anschließenden Berechnungen nicht weiterverfolgt, da die für eine Nutzung infrage kommenden Flächen mit einem hohen Fensterflächenanteil versehen sind, die Dachflächen bereits hinreichend Potenzial bieten und daher eine zusätzliche Nutzung der Fassadenflächen nicht sinnvoll erscheint.

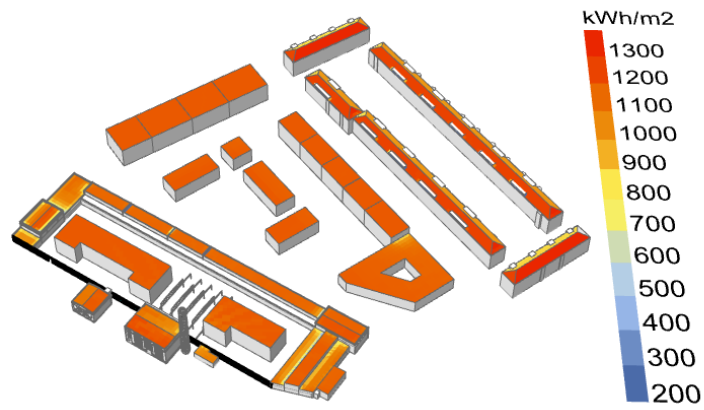


Abb. 15 Direkte Sonneneinstrahlung Dachflächen

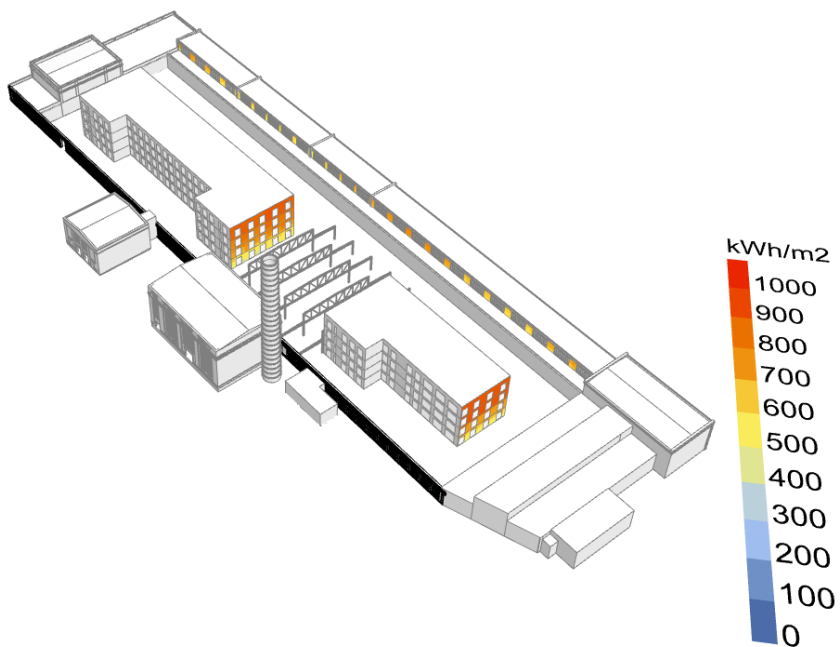


Abb. 16 Direkte Sonneneinstrahlung nutzbare Fassadeflächen

Die wirtschaftliche Betrachtung des Mieterstrommodells erfolgt nach Kapitalwertmethode (vgl. Abb. 17) sowie statischer und dynamischer Amortisationszeit (vgl. Abb. 18). Bei Bewertung des Vorhabens nach Kapitalwertmethode wird ersichtlich, dass die Projektart Sammelprojekt gegenüber dem Einzelprojekt bei gleichem Grad der Teilnahme höhere Kapitalwerte zeigt. Begründet ist dies durch die Wirkung des Skaleneffektes durch die einmalige Anschaffung der Abrechnungssoftware. Ferner zeigt die Berechnung der Kapitalwerte, dass ein zunehmender Grad der Teilnahme wirtschaftlich vorteilhaft wirkt. Eine Beteiligungsgrad von größer 50 % wird als schwer erzielbar, aber nicht unerreichbar eingestuft. Im Sinne einer höchstmöglichen Wirtschaftlichkeit, respektive größtmöglichen Kapitalwertes, gilt es einen hohen Grad der Beteiligung anzustreben. Aufgrund der Liberalität im Strommarkt sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass eine dauerhafte vertragliche Bindung der Abnehmer an das Mieterstrommodell nicht möglich ist, da eine Wahlfreiheit des Stromanbieters besteht. Ein Mieterstrommodell muss also fester Bestandteil der Vermarktungsstrategie der Immobilien sein, um einen höchstmöglichen Beteiligungsgrad zu erzielen. Ein aus Sicht des Mieters überzeugendes Argument ist dabei die größere Stabilität der spezifischen Strombezugskosten gegenüber eines klassischen Netzbezuges. Für die wirtschaftliche Bewertung nach statischer und dynamischer Amortisationszeit (vgl. Abb. 18) gelten prinzipiell dieselben Aussagen wie für die Kapitalwertmethode. Bei der dynamischen Betrachtung wird ein Kalkulationszins von 3 %/a angesetzt. Bei einem Teilnahmegrad von 50 % in der Projektart Einzelprojekt wird eine dynamische Amortisationszeit von rund 18 Jahren erzielt, in der Projektart Sammelprojekt hingegen rund 14 Jahre.

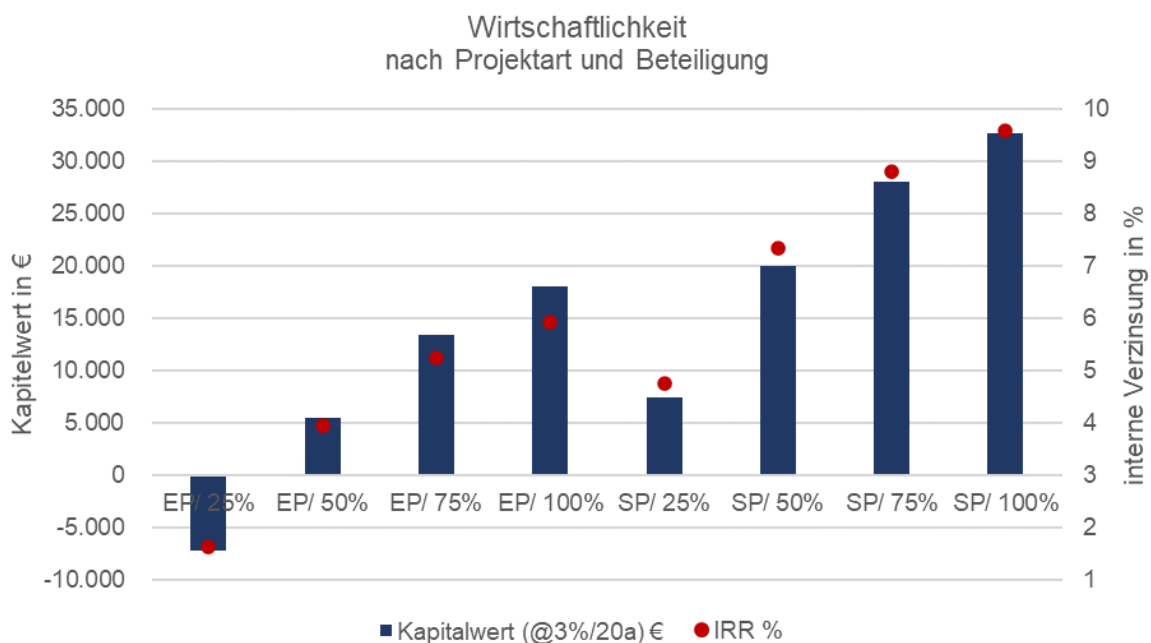


Abb. 17 Wirtschaftliche Betrachtung Mieterstrommodell nach Kapitalwertmethode

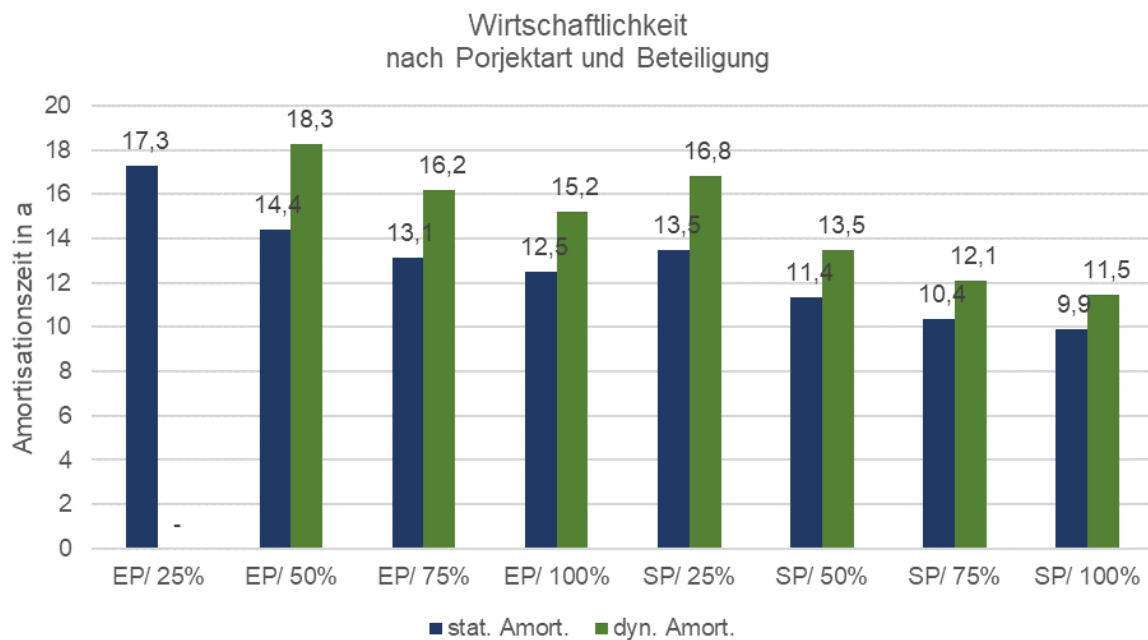


Abb. 18 Wirtschaftliche Betrachtung Mieterstrommodell nach statischer und dynamischer Amortisationszeit

## 4 Variantenvergleich

Innerhalb des Variantenvergleiches erfolgt die Gegenüberstellung nach technischen, wirtschaftlichen, rechtlichen und klimarelevanten Aspekten.

Die technische Machbarkeit ist grundsätzlich in jeder der untersuchten Varianten gegeben. Besonderheiten treten bei den Varianten der Quartiersversorgung mittels Nahwärmenetz auf. Besteht die Möglichkeit die Heizungstechnik in den Ausbauszenarien 1 und 2 noch im Haustechnikraum des *Neubau 1* unterzubringen, ist beim Ausbauszenario 3 hingegen die Errichtung eines Heizhauses notwendig. Die hierfür anfallenden Kosten von rund 300.000 € erhöhen entsprechend den Kapitaleinsatz. Demgegenüber steht jedoch eine weitaus größere Abnahme im Verhältnis zum Aufwand der Erschließung im Ausbauszenario 2, was tendenziell in fast allen Wärmeversorgungsvarianten der Quartierlösungen zu den höchsten Wärmegestehungskosten im Ausbauszenario 2 führt (vgl. Abb. 21 und Tab. 13).

Aus rechtlicher Perspektive gilt es ein geeignetes Betreibermodell für die Wärmeversorgung zu wählen. Neben dem Bezug von Fernwärme der LSW bestünde auch die Möglichkeit die Wärmeversorgung, bspw. durch ein Nahwärmenetz, in ein Wärmecontracting zu überführen. Im Rahmen der Konzepterstellung haben die LSW ihr prinzipielles Interesse sowohl an einer Fernwärmeversorgung als auch an einem Wärmecontracting bekundet.

**Zum Zeitpunkt der Fertigstellung der vorliegenden Konzeption wurde den Verfasser\*innen mitgeteilt, dass die Teilgebiete I und II an das Fernwärmeverbundnetz der Leipziger Stadtwerke angeschlossen werden sollen. Somit wird ein wesentlicher Beitrag zur klimaschonenden Quartiersentwicklung in Leipzig geleistet. Zudem wird damit der Empfehlung zur Umsetzung der Zielvariante aus Perspektive der Klimarelevanz Folge geleistet.**

Aus der Perspektive der Klimarelevanz gilt es die Primärenergie-(PEF) und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren der Wärmeversorgungsvarianten zu vergleichen. Für die Einzelversorgungsvarianten (vgl. Tab. 10) nimmt der PEF in der Variante *Luft/Wasser-Wärmepumpe & PV (100 %)* mit 0,49 den niedrigsten, in der Variante *Solar (15 %)* mit 0,98 den höchsten Wert ein. Diese spiegelt sich auch in den CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren der jeweiligen Variante wider (*Luft/Wasser-Wärmepumpe & PV (100 %)*: 69 g<sub>CO2</sub>/kWh, *Solar (15 %)*: 182 g<sub>CO2</sub>/kWh). Demgegenüber stehen die Wärmeversorgungsvarianten der Quartiersversorgung (vgl. Tab. 11 sowie Abb. 19 und Abb. 20). Hier nimmt der PEF im Ausbauszenario 1 für die Variante *Fernwärme heute (100 %)* mit 0,3 den niedrigsten, in der Variante *Luft/Wasser-Wärmepumpe (50 %)* mit 1,08 den höchsten Wert ein. Diese Aussage gilt im weitesten Sinne auch für die Ausbauszenarien 2 und 3, wobei sich hier die Variante *KWK (75 %)* mit 0,46 der Variante *Fernwärme heute (100 %)* mit weiterhin 0,3 annähert. Wie auch schon bei der Auswertung der Einzelversorgungsvarianten, spiegeln sich die primärenergetischen Erkenntnisse auch bei der emissionsseitigen Betrachtung wider. Hier nimmt die Variante *Fernwärme 2030 (100 %)* mit 100 g<sub>CO2</sub>/kWh den niedrigsten, die Variante *Solar (15 %)* mit 184 g<sub>CO2</sub>/kWh hingegen den höchsten Wert an.

Aus Perspektive der Wirtschaftlichkeit gilt es sowohl die Investitions- als auch die Wärmegestehungskosten miteinander zu vergleichen. Wobei der Vergleich der Investitionskosten nur innerhalb der Wärmeversorgungsvarianten der Einzelversorgung bzw. der Quartiersversorgung erfolgt. Die Wärmegestehungskosten hingegen dienen dem Vergleich aller Wärmeversorgungsvarianten, sowohl für die Einzel- als auch die Quartiersversorgung. Bei der Einzelversorgung nimmt die Variante *Solar (15 %)* mit 62.411 € den niedrigsten, die Variante *Luft/Wasser-Wärmepumpe & PV (100 %)* mit 112.765 € den höchsten Wert an (vgl. Tab. 12). Bei Betrachtung der Wärmegestehungskosten ergibt sich jedoch ein anderes Bild. Hier nimmt die Variante *Solar (15 %)* mit 130 €/MWh den niedrigsten, die Variante *BHKW (50 %)* mit 179 €/MWh den höchsten Wert an. Die Auswertung der wirtschaftlichen Ergebnisse der Quartierslösungen ergibt folgendes (vgl. Tab. 13 und Abb. 21 sowie Abb. 22 bis Abb. 27). Wie bereits oben beschrieben, nehmen tendenziell alle Wärmeversorgungsvarianten beim Ausbauszenario 2 gegenüber den Ausbauszenarien 1 und 3 den höchsten Wert an. Besonders auffällig ist, dass die Wärmegestehungskosten der Variante *Fernwärme (100 %)* mit dem Ausbaugrad stetig abnehmen, von 148 €/MWh (147.497 €) im SZ1, auf 117 €/MWh (59.940 €) im SZ3. Dies ist liegt in den Anschlusskosten der Fernwärme begründet, welche mit zunehmender Anschlussleistung sinken [8]. Die niedrigsten Wärmegestehungskosten fallen im SZ1 in der Variante *KWK (50 %)* mit 95 €/MWh (95.070 €) an, die höchsten in der Variante *Solar (30 %)* mit 159 €/MWh (159.315 €). Diese Aussage gilt auch für die anderen Ausbauszenarien, wobei im SZ3 aufgrund nicht ausreichend zur Verfügung stehender Dachflächen die Variante *Solar (30 %)* entfällt, wodurch die höchsten Wärmegestehungskosten in der Variante *Luft/Wasser-Wärmepumpe (90 %)* mit 125 €/MWh (1.443.836 €) anfallen.

Abschließend sollen die Einzel- und Quartiersversorgungslösungen miteinander verglichen werden, um hieraus sowie aus den obenstehenden Ausführungen eine Empfehlung ableiten zu können. Die Variante *Solar (15 %)* mit 130 €/MWh nimmt unter den Einzelversorgungsvarianten den niedrigsten

Wert an, die Variante *KWK (50 %)* mit 95 €/MWh im SZ1 (SZ2: 101 €/MWh, SZ3: 97 €/MWh) hingegen bei den Quartiersversorgungsvarianten. **Aus wirtschaftlicher Sicht ist demnach die die Quartiersversorgung mit der Variante *KWK (50 %)* zu empfehlen.** Aus Perspektive der Klimarelevanz nimmt die Variante *Luft/Wasser-Wärmepumpe & PV* unter den Einzelversorgungsvarianten mit 0,49 (PEF) und 99 g<sub>CO2</sub>/kWh den niedrigsten Wert an, die Variante *Fernwärme heute / 2030 (100 %)* mit 0,3 (PEF, heute) und 100 g<sub>CO2</sub>/kWh (2030) in den SZ1-3 hingegen bei den Quartiersversorgungsvarianten. **Aus Perspektive der Klimarelevanz ist demnach die Quartiersversorgung mit der Variante *Fernwärme heute / 2030 (100 %)* zu empfehlen.**

Tab. 10 Primärenergie-(PEF) und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren je Wärmeversorgungsvariante Einzelversorgung

Pos.	Einheit	BHKW (50%)	Solar (15 %)	Solar (30%)	L/W-WP (100%)	L/W-WP & PV (100%)
PEF	1	0,70	0,98	0,80	0,69	0,49
CO <sub>2</sub>	g <sub>CO2</sub> /kWh	165	182	154	99	69

Tab. 11 Primärenergie-(PEF) und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren je Wärmeversorgungsvariante Quartiersversorgung nach Ausbauszenario (SZ) 1 bis 3

Pos.	Einheit	KWK (50%)	KWK (75%)	Solar (15 %)	Solar (30%)	L/W- WP (50%)	L/W- WP (90%)	S/W- WP (50%)	KWK & L/W-WP (25/50%)	Fern- wärme heute (100%)	Fern- wärme 2030 (100%)
PEF SZ1	1	0,76	0,62	0,98	0,81	1,08	1,01	0,92	0,76	0,3	-
CO <sub>2</sub> SZ1	g <sub>CO2</sub> /kWh	166	153	184	155	179	148	154	136	190	100
PEF SZ2	1	0,82	0,50	0,98	0,81	1,08	1,02	0,92	0,75	0,3	-
CO <sub>2</sub> SZ2	g <sub>CO2</sub> /kWh	176	138	184	155	175	149	154	131	190	100
PEF SZ3	1	0,70	0,46	0,98	-	1,08	1,02	0,93	0,68	0,3	-
CO <sub>2</sub> SZ3	g <sub>CO2</sub> /kWh	164	141	184	-	178	148	157	117	190	100



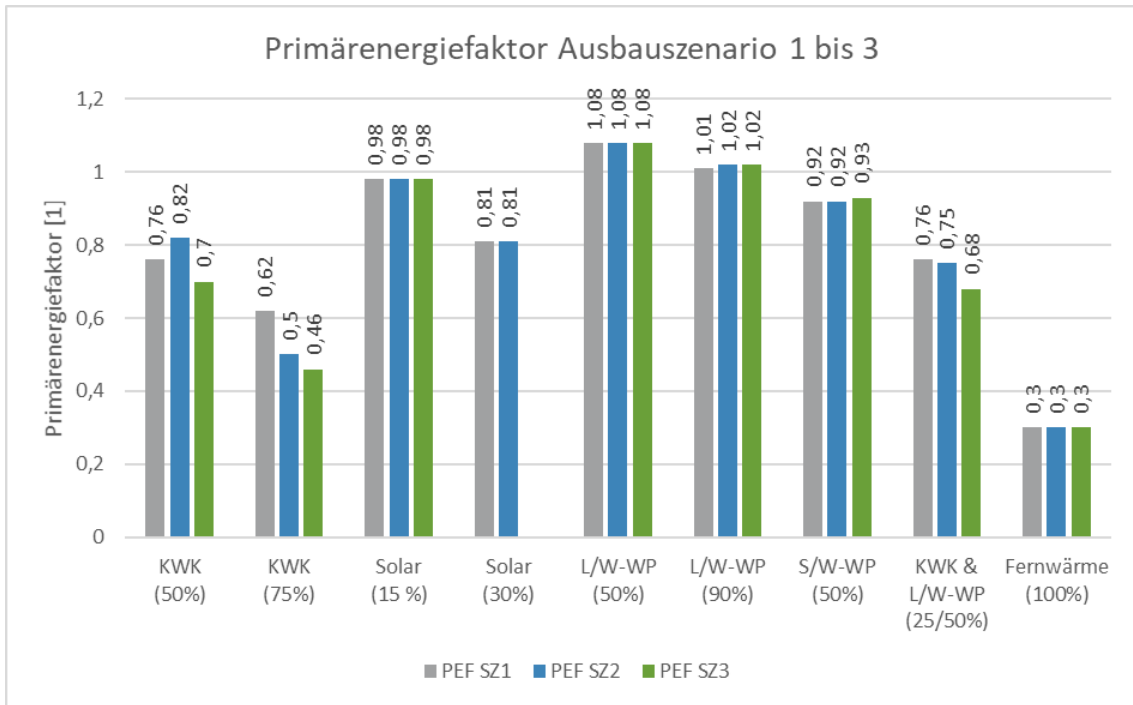


Abb. 19 Primärenergiefaktor (PEF) je Wärmeversorgungsvariante Quartiersversorgung nach Ausbauszenario 1 bis 3

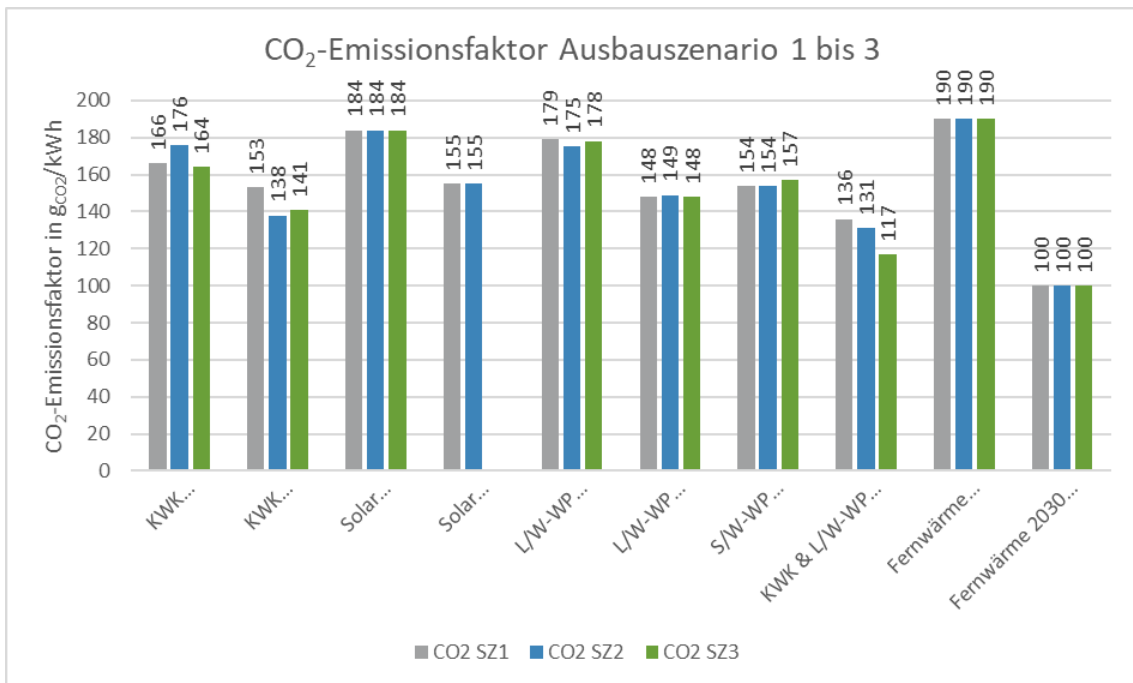


Abb. 20 CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor je Wärmeversorgungsvariante nach Ausbauszenarien (SZ) 1 bis 3

Tab. 12      Wirtschaftliche Eigenschaften der Wärmeversorgungsvarianten Einzelversorgung

Szenario	Einheit	BHKW (50%)	Solar (15 %)	Solar (30%)	L/W-WP (100%)	L/W-WP & PV (100%)
Förderung	€	1.483	14.705	29.861	18.578	18.578
Investitionskosten	€	72.710	62.411	102.826	64.173	112.765
Wärmegestehungskosten	€/MWh	179	130	146	134	133

Tab. 13      Wirtschaftliche Eigenschaften der Wärmeversorgungsvarianten Quartiersversorgung  
nach Ausbauszenario (SZ) 1 bis 3

Pos.	Einheit	KWK (50%)	KWK (75%)	Solar (15 %)	Solar (30%)	L/W-WP (50%)	L/W-WP (90%)	S/W-WP (50%)	KWK & L/W-WP (25/50%)	Fern- wärme heute (100%)
FÖ SZ1	€	6.012	29.479	106.818	374.655	30.020	58.879	30.020	56.435	-
IK SZ1	€	95.070	98.392	104.756	159.315	103.786	127.319	121.645	98.414	147.497
WK SZ1	€/MWh	95	98	105	159	104	127	122	98	148
FÖ SZ2	€	10.220	71.787	172.338	595.650	47.690	79.538	47.690	114.568	-
IK SZ2	€	694.450	711.942	948.995	2.007.276	672.217	735.913	1.154.944	662.834	405.812
WK SZ2	€/MWh	101	100	110	163	111	130	126	106	135
FÖ SZ3	€	23.638	110.605	487.991	-	87.081	148.225	87.081	221.818	-
IK SZ3	€	1.490.576	1.557.785	2.298.613	-	1.321.548	1.443.836	2.325.024	1.767.429	59.940
WK SZ3	€/MWh	97	99	111	-	105	125	117	107	117

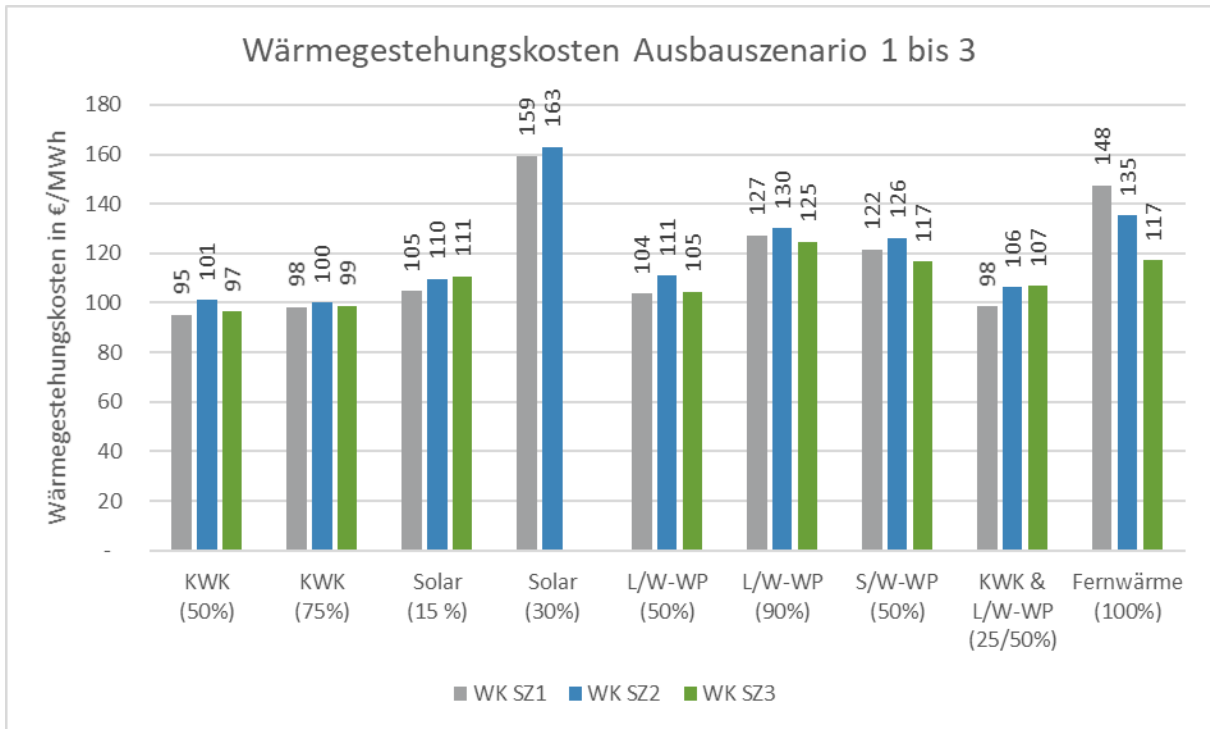


Abb. 21 Wärmegestehungskosten (WK) je Wärmeversorgungsvariante nach Ausbauszenarien (SZ) 1 bis 3

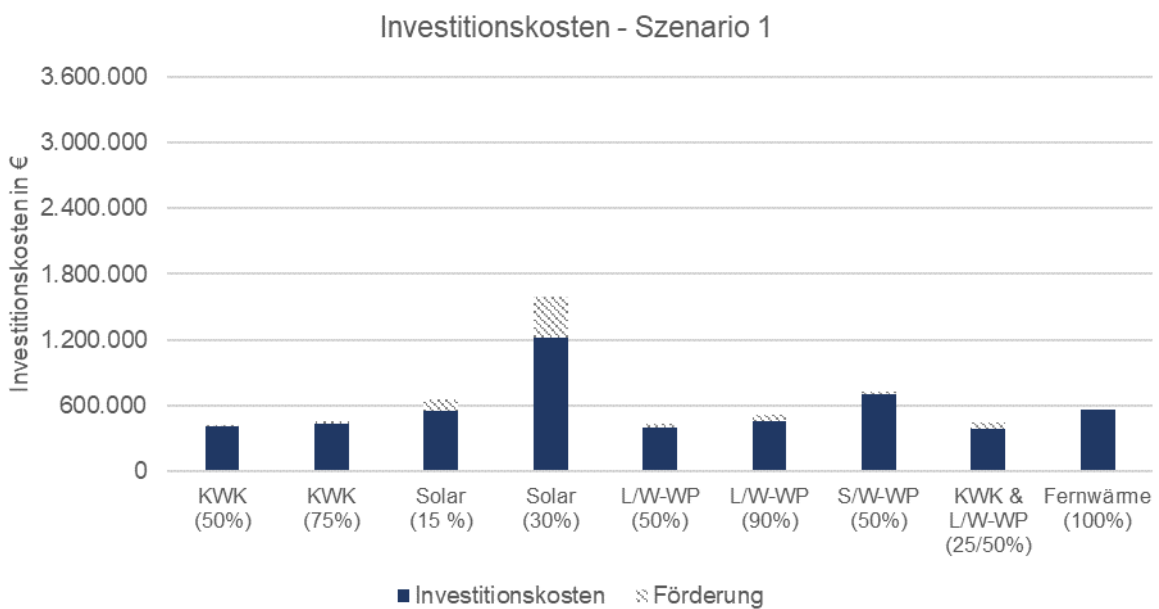


Abb. 22 Investitionskosten nach Wärmeversorgungsvarianten abzgl. Förderung, Szenario 1

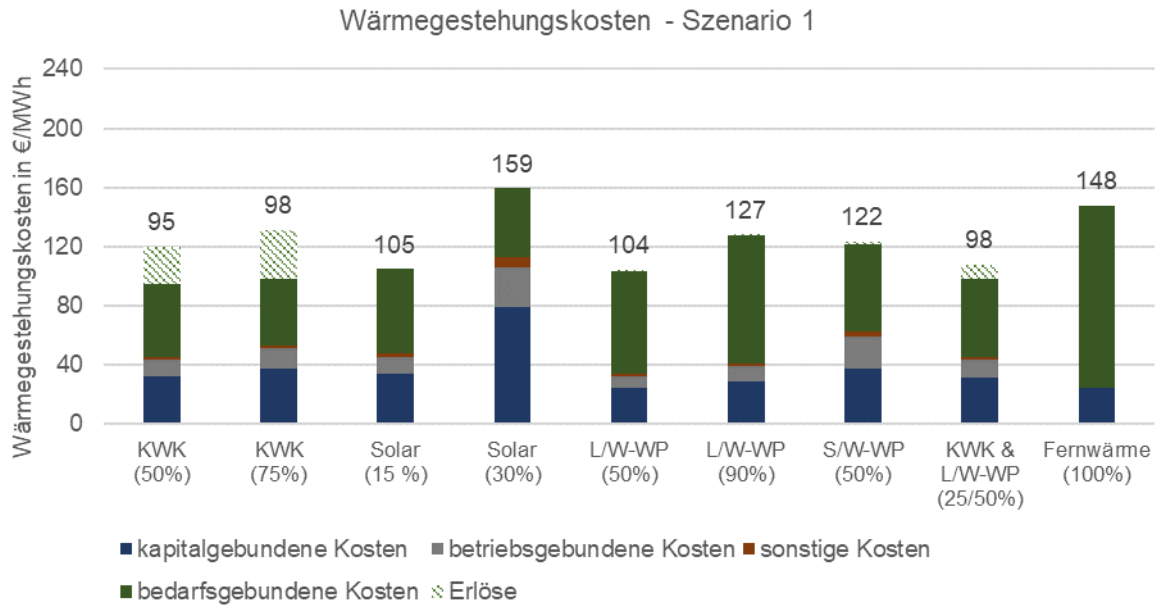


Abb. 23 Wärmegestehungskosten nach Wärmeversorgungsvarianten abzgl. Erlöse, Szenario 1

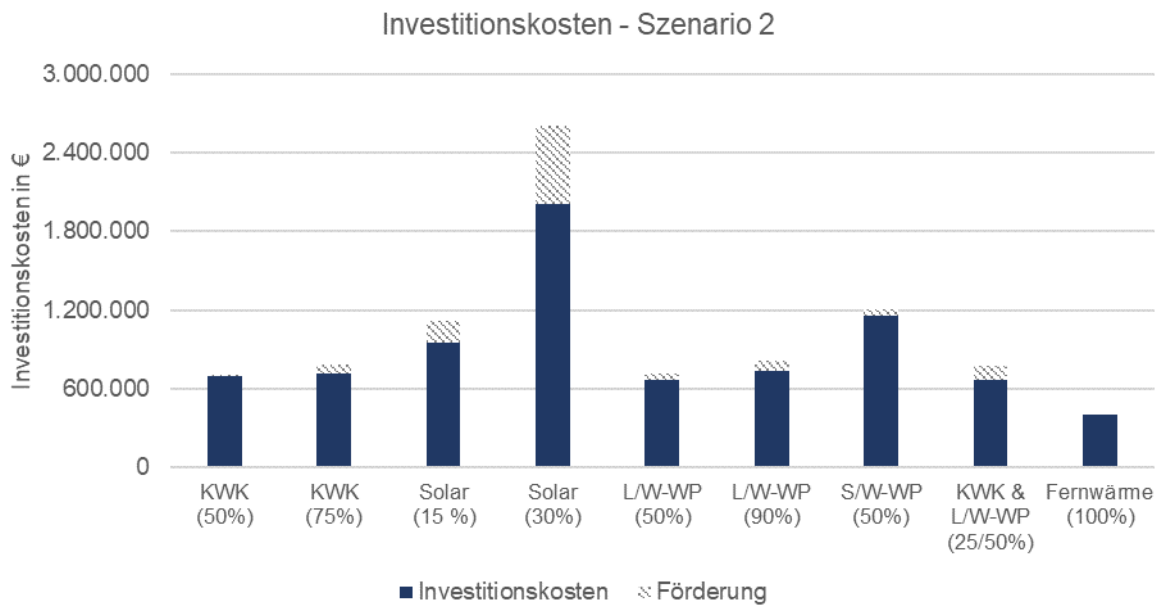


Abb. 24 Investitionskosten nach Wärmeversorgungsvarianten abzgl. Förderung, Szenario 2

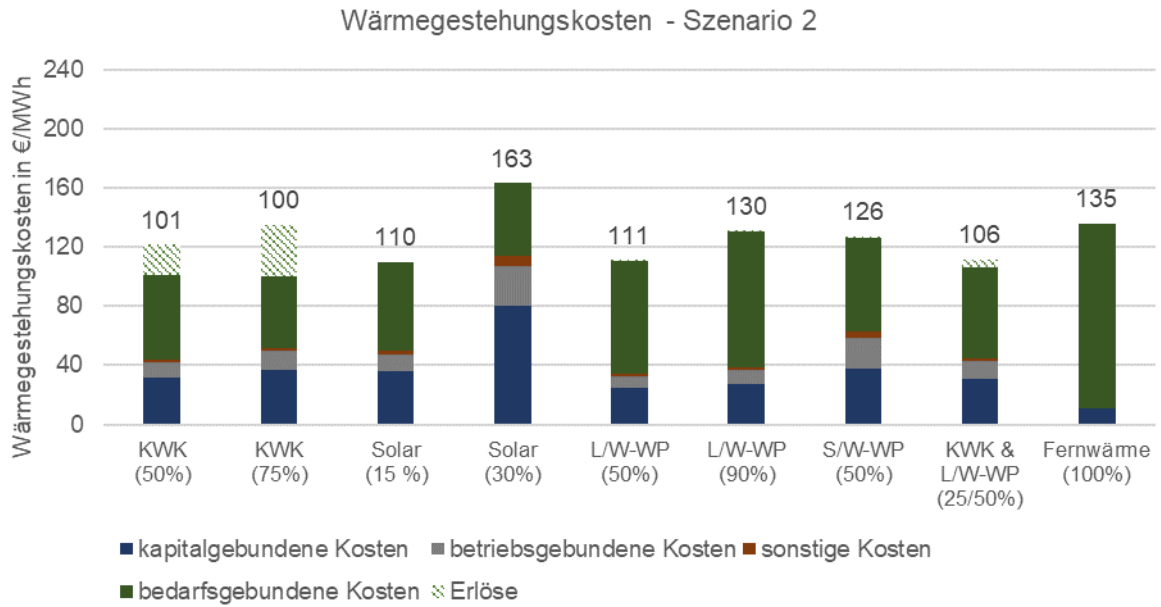


Abb. 25 Wärmegestehungskosten nach Wärmeversorgungsvarianten abzgl. Erlöse, Szenario 2

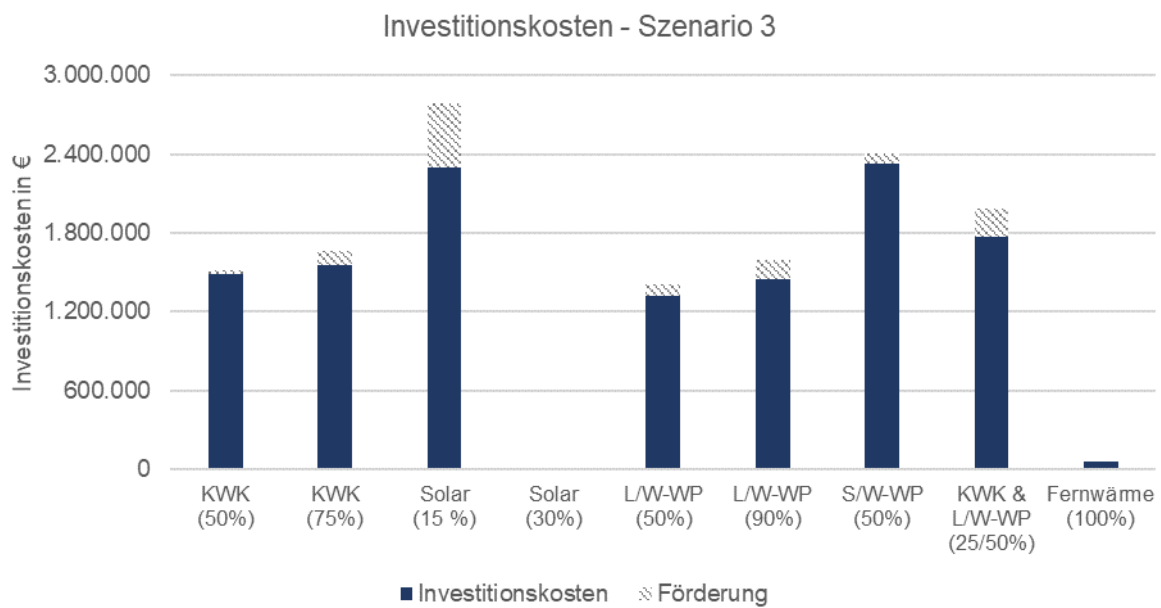


Abb. 26 Investitionskosten nach Wärmeversorgungsvarianten abzgl. Förderung, Szenario 3

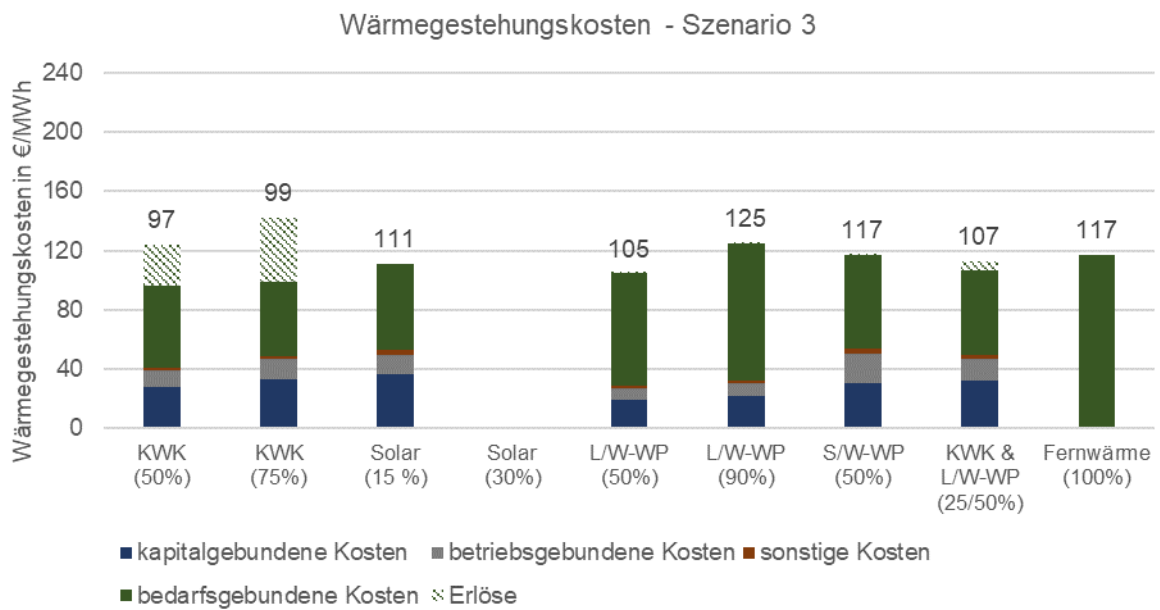


Abb. 27 Wärmegestehungskosten nach Wärmeversorgungsvarianten abzgl. Erlöse, Szenario 3

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Untersuchungsgebiet.....	5
Abb. 2	Zuordnung der Gebäude innerhalb des Quartiers.....	7
Abb. 3	Wärmelastgang Szenario 1 .....	8
Abb. 4	Wärmelastgang Szenario 2 .....	8
Abb. 5	Wärmelastgang Szenario 3 .....	9
Abb. 6	Stromlastgang Szenario 1 .....	9
Abb. 7	Stromlastgang Szenario 2 .....	10
Abb. 8	Stromlastgang Szenario 3 .....	10
Abb. 9	Investitionskosten Wärmeversorgungsvarianten V0a bis V0e .....	13
Abb. 10	Wärmegestehungskosten Wärmeversorgungsvarianten V0a bis V0e .....	14
Abb. 11	Last- und Ertragsprofil Wärmeversorgungsvariante V2, Szenario 1.....	15
Abb. 12	Last- und Ertragsprofil Wärmeversorgungsvariante V3a, Szenario 1.....	17
Abb. 13	Last- und Ertragsprofil Wärmeversorgungsvariante V3d, Szenario 1.....	18
Abb. 14	Last- und Ertragsprofil Wärmeversorgungsvariante V3e, Szenario 1.....	19
Abb. 15	Direkte Sonneneinstrahlung Dachflächen .....	20
Abb. 16	Direkte Sonneneinstrahlung nutzbare Fassadeflächen .....	20
Abb. 17	Wirtschaftliche Betrachtung Mieterstrommodell nach Kapitalwertmethode .....	21
Abb. 18	Wirtschaftliche Betrachtung Mieterstrommodell nach statischer und dynamischer Amortisationszeit.....	22
Abb. 19	Primärenergiefaktor (PEF) je Wärmeversorgungsvariante Quartiersversorgung nach Ausbauszenario 1 bis 3.....	25
Abb. 20	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor je Wärmeversorgungsvariante nach Ausbauszenarien (SZ) 1 bis 3.....	25
Abb. 21	Wärmegestehungskosten (WK) je Wärmeversorgungsvariante nach Ausbauszenarien (SZ) 1 bis 3 .....	27
Abb. 22	Investitionskosten nach Wärmeversorgungsvarianten abzgl. Förderung, Szenario 1 .....	27
Abb. 23	Wärmegestehungskosten nach Wärmeversorgungsvarianten abzgl. Erlöse, Szenario 1.....	28
Abb. 24	Investitionskosten nach Wärmeversorgungsvarianten abzgl. Förderung, Szenario 2 .....	28
Abb. 25	Wärmegestehungskosten nach Wärmeversorgungsvarianten abzgl. Erlöse, Szenario 2.....	29
Abb. 26	Investitionskosten nach Wärmeversorgungsvarianten abzgl. Förderung, Szenario 3 .....	29
Abb. 27	Wärmegestehungskosten nach Wärmeversorgungsvarianten abzgl. Erlöse, Szenario 3.....	30

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Sofortmaßnahmenprogramm Klimanotstand 2020 Stadt Leipzig, Anforderungen an die Entwicklung von Quartieren .....	4
Tab. 2	Nutzfläche, Heizlast ( $P_{th}$ ), Wärmebedarf gesamt ( $Q_{ges}$ ), für Raumwärme ( $Q_{RW}$ ) und Warmwasser ( $Q_{WW}$ ).....	6
Tab. 3	Wärmeversorgungsaufgabe V0 .....	12
Tab. 4	Eigenschaften der Wärmeversorgungsvarianten V0a bis V0e .....	12
Tab. 5	Wirtschaftliche Eigenschaften der Wärmeversorgungsvarianten V0a bis V0e .....	13
Tab. 6	Eigenschaften der Wärmeversorgungsvarianten V2a und V2b nach Ausbauszenario 1 bis 3 .....	15
Tab. 7	Eigenschaften der Wärmeversorgungsvariante V3a – Solarthermie (15 % Deckung) nach Ausbauszenario 1 bis 3.....	16
Tab. 8	Eigenschaften der Wärmeversorgungsvariante V3d – Luft/Wasser-Wärmepumpe (90% Deckung) .....	17
Tab. 9	Eigenschaften der Wärmeversorgungsvariante V3e – Sohle/Wasser-Wärmepumpe (50 % Deckung) .....	18
Tab. 10	Primärenergie-(PEF) und CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren je Wärmeversorgungsvariante Einzelversorgung.....	24
Tab. 11	Primärenergie-(PEF) und CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren je Wärmeversorgungsvariante Quartiersversorgung nach Ausbauszenario (SZ) 1 bis 3 .....	24
Tab. 12	Wirtschaftliche Eigenschaften der Wärmeversorgungsvarianten Einzelversorgung .....	26
Tab. 13	Wirtschaftliche Eigenschaften der Wärmeversorgungsvarianten Quartiersversorgung nach Ausbauszenario (SZ) 1 bis 3 .....	26



## Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
EE	erneuerbare Energien
GEG	Gebäudeenergiegesetz
IK	Investitionskosten
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
LSW	Leipziger Stadtwerke
NWG	Nichtwohngebäude
PEF	Primärenergiefaktor
PVA	Photovoltaikanlage
SZ	Szenario
WG	Wohngebäude
WK	Wärmegestehungskosten

## Quellenverzeichnis

- [1] Heilastberechnung nach DIN 12831-2, seecon Ingenieure GmbH, 13.03.2019
- [2] Vorentwurf Bebauungsplan, seecon Ingenieure GmbH, 22.01.2021
- [3] Energieverbrauchswerte energetisch hocheffizienter Gebäude, ages, Sept. 2015
- [4] Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand, BMU, 07.04.2015
- [5] Mobilitätskonzept Hafenwerk, Entwurf, Stand: 10.02.2021
- [6] Telefonische Aussage Hr. Winter, LSW, 12.02.2021
- [7] Zukunftskonzept Fernwärme LSW, <https://zukunft-fernwaerme.de/>, Aufruf am 17.02.2021
- [8] Kostenindikation LSW FW-Erschließung Quartier Hafenwerk vom 19.02.2021