

THEMA

Energieversorgungsoptionen für das Stadtentwicklungsgebiet Donaufeld

UNTERSUCHUNG VON ACHT UNTERSCHIEDLICHEN
ENERGIEVERSORGUNGSSZENARIEN, DIE FÜR DAS
STADTENTWICKLUNGSGEBIET DONAUFELD INFRAGE
KOMMEN

NOVEMBER 2016

**Wien!
voraus**

Energieplanung

StoDt+Wien

BEWERTUNG UND EINORDNUNG DER ERGEBNISSE

PRÄAMBEL

Der vorliegende Endbericht beschreibt die Untersuchung von acht unterschiedlichen Energieversorgungszenarien, welche für das Stadtentwicklungsgebiet Donauefeld aus heutiger Sicht infrage kommen. Im Rahmen der Studie wurden die betrachteten Systeme hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit und ihrer Umweltauswirkungen über einen Betrachtungszeitraum von 40 Jahren bewertet und verglichen. Aufgrund fehlender Erfahrungswerte mit erneuerbaren Energieversorgungen in dieser Dimension mussten Bewertungen und Annahmen zugrunde gelegt werden, um eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Wärmeversorgungssysteme zu ermöglichen. Diese noch jungen Technologien wurden mit heutigen Kosten und entsprechenden Sicherheiten bewertet.

Jüngste Erkenntnisse, die für die Untersuchung nicht mehr berücksichtigt werden konnten, zeigen, dass die klassische Energiebedarfs- und Leistungsermittlung überdacht werden sollte, da diese bei modernen, hocheffizienten Bauweisen häufig zu einer starken Überdimensionierung des Energiesystems führt. In weiterer Folge wirken sich die zu hohen Energie- und Leistungswerte negativ auf die Potenzialermittlung erneuerbarer Energietechnologien aus.

Es ist anzunehmen, dass es aufgrund von technologischen Fortschritten künftig zu einer wesentlichen Preisreduktion bei den erneuerbaren Technologien kommt, welche sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit entsprechender Systeme auswirkt. Auch ist davon auszugehen, dass es bei einem großflächigen Einsatz alternativer Energien zu Skaleneffekten und Mengenrabatten bei den Systemen kommen wird. Dem gegenüber stehen nicht prognostizierbare Entwicklungen im Bereich der fossilen Energieträger, welche tendenziell zu höheren Preisen führen können, als heute angenommen.

Die zunehmende Verknappung fossiler Ressourcen, die immer deutlicheren Auswirkungen durch deren Nutzung und die damit einhergehende internationale Klima- und Energiepolitik erhöhen den Druck auf die fossile Energiewirtschaft zusätzlich. Es ist davon auszugehen, dass erforderliche Ausgleichszahlungen beziehungsweise die Investitionen für Emissionszertifikate zu einer zusätzlichen Preissteigerung für die EndnutzerInnen führen wird.

Aus Sicht der Magistratsabteilung 20 sind die Erkenntnisse der Optionenstudie daher folgendermaßen einzustufen:

- Schon eine sehr vorsichtige Bewertung der neuen technischen Lösungen zeigt, dass langfristig wirtschaftliche Modelle entwickelt werden können.
- Das wirtschaftliche Risiko hier Innovationen zu realisieren ist gering und es herrscht ein gutes Umfeld für Investitionen in die Dekarbonisierung des Wärmemarktes.
- Lösungen, die als Hauptenergieträger Gas verwenden, sollten im Neubau nicht mehr realisiert werden, wenn die Beschlüsse von Paris und die Smart City Rahmenstrategie ernst genommen werden. Gasheizungen von heute sind auch noch 2050 und darüber hinaus in Betrieb.
- Fernwärme braucht dringend günstige neue Quellen aus Abwärme und Erneuerbaren, sonst ist die ökologisch günstige Bewertung der Fernwärme nicht haltbar.

- Die ökonomische Bewertung der Wärmepumpen ist sehr vorsichtig vorgenommen worden, wobei vor allem die laufenden Wartungskosten und die Strombezugskosten deutliche Kostensenkungspotenziale aufweisen. Das zeigen auch schon erste Pilotprojekte in Wien.
- Die schon jetzt günstige ökologische Bewertung der Wärmepumpen wird sich noch deutlich verbessern, wenn das Energiesystem auf Erneuerbare umgestellt wird. Es wird dann große Mengen an Wind- und Photovoltaik-Strom geben. Die Wärmepumpenlösungen mit Erdsondenfeldern haben neben der Möglichkeit der Kühlung auch den Vorteil, sich an das Aufkommen erneuerbaren Stroms teilweise anpassen zu können (Lastmanagement).
- Sämtliche Klimadaten für Wien sagen einen deutlichen Anstieg der sommerlichen Hitzetage voraus. Das Thema Kühlung im Sommer wird daher immer wichtiger. Über Wärmepumpen und Erdsondenfelder kann eine sehr ökologische Kühlung gewährleistet werden, die noch dazu „Sommerenergie“ für den Winter nutzbar macht. Wird das mit einberechnet sind diese Wärmeversorgungslösungen schon heute wirtschaftlich.

Bernd Vogl
Stefan Geier
Thomas Kreitmayer

Wien, März 2017

Energieversorgungsoptionen für das Stadtentwicklungsgebiet Donauefeld

Endbericht

November 2016

Auftraggeberin

Stadt Wien, MA 20 – Energieplanung



Gerhard Hofer (Leitung)

Christof Amann

Daniela Bachner

Markus Offermann

Impressum

e7 Energie Markt Analyse GmbH
Walcherstraße 11/43
1020 Wien
Österreich

Telefon +43-1-907 80 26
Fax +43-1-907 80 26-10
office@e-sieben.at
<http://www.e-sieben.at>

Kurzfassung

ZIELSETZUNG UND METHODISCHE VORGANSWEISE

Ziel der Studie „Energieversorgungsoptionen für das Stadtentwicklungsgebiet Donauefeld“ ist die Entwicklung von möglichen technischen Lösungen zur Energieversorgung unter Berücksichtigung von lokalen, erneuerbaren Energiequellen. Im Rahmen der Studie sollen konkrete Systeme zur Energieversorgung analysiert, anhand von energiewirtschaftlichen, ökonomischen und ökologischen Bewertungskriterien bewertet und Beiträge für eine Bauträgerausschreibung formuliert werden. Darüber hinaus soll aus diesem Projekt eine allgemeine Methode abgeleitet werden, die auch für weitere Stadtentwicklungsgebiete angewandt werden und als Instrument für die Energieraumplanung dienen kann.

ÜBERBLICK ZU DEN UNTERSUCHTEN VARIANTEN

Die Auswahl der Energieversorgungsvarianten gliedert sich in Referenzvarianten, Varianten mit Wärmenetz (mit/ohne Fernwärme) und einer Variante ohne Wärmenetz.

Referenzvarianten sind jene Varianten, die derzeit in der Regel zum Einsatz kommen. Das ist zum einen der Anschluss an die Fernwärme (**Varianten 0**) oder eine Wärmebereitstellung mittels Gas-Kessel in jedem Gebäude (**Variante 4**).

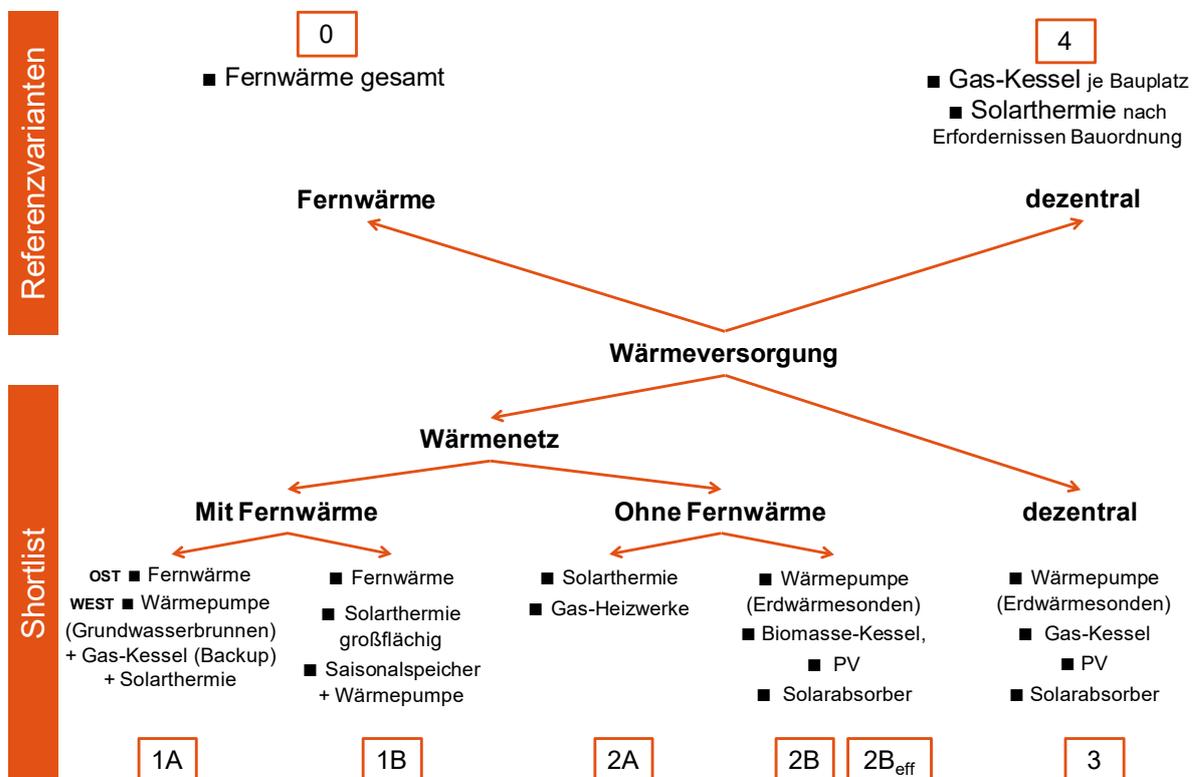


Abbildung 1: Überblick zu den untersuchten Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Darstellung)

Die Varianten mit Wärmenetz und Fernwärme teilen sich wie folgt auf:

- **Variante 1A:** Bauabschnitt 1 und 2 wird mit Fernwärme versorgt. Die Versorgung von Bauabschnitt 3 erfolgt mittels Wärmepumpe und einem zentralen Gas-Kessel im Bauabschnitt zur Spitzenlastabdeckung.
- **Variante 1B:** Diese Variante versucht eine größtmögliche Abdeckung mit Solarthermie. Die Solarwärme wird in einem Saisonspeicher je Bauabschnitt gespeichert. Für den zusätzlichen Wärmebedarf steht eine Wärmepumpe je Saisonspeicher sowie Fernwärme zur Verfügung:

Jene Varianten – mit Wärmenetz, jedoch ohne Fernwärme – sind wie folgt gegliedert:

- **Variante 2A:** Solarthermie auf ca. 30 % der Dachfläche, der restliche Wärmebedarf wird mit einem zentralen Gas-Heizwerk je Bauabschnitt bereitgestellt.
- **Variante 2B und 2B_{eff}:** Kleine Mikro-Wärmenetze je Baufeld, die Wärme wird mittels Wärmepumpe und Erdwärmesonden bereitgestellt. Spitzenlastabdeckung durch einen Biomasse-Kessel. Regenerationswärme der Erdsonden durch Free-Cooling der Wohnungen, Solarabsorbern und den vorhandenen Wärmepumpen. Variante 2B_{eff} hat durch zusätzliche Energieeffizienzmaßnahmen eine geringe Energienachfrage.

Variante 3 kommt ohne ein Wärmenetz zwischen den Gebäuden aus. Hier wird eine Wärmepumpe je Bauplatz eingebaut sowie ein Gas-Spitzenlastkessel. Als Wärmequelle für die Wärmepumpe dienen Erdwärmesonden. Regenerationswärme der Erdsonden wird durch Free-Cooling der Wohnungen, Solarabsorbern und den vorhandenen Wärmepumpen bereitgestellt.

RISIKOBEWERTUNG

Die Risikobewertung wurde in technisches Risiko, Risiko in den Investitionskosten, Risiko der Versorgungssicherheit und Risiko für die EnergiekonsumentInnen eingeteilt.

Technisches Risiko sowie Risiko in den Investitionskosten bestehen insbesondere dort, wo neue technische Lösungen und Komponenten eingebaut werden und geringe Erfahrungswerte vorliegen. Das ist in den Varianten 1B, 2B, 2B_{eff} und 3 der Fall. Hier liegt jedoch auch die Chance, dass durch die Marktentwicklung die Investitionskosten von Komponenten kostengünstiger werden.

Risiko der Versorgungssicherheit und Risiko für die EnergiekonsumentInnen sind insbesondere dort vorzufinden, wo zu einem hohen Anteil auf nicht-erneuerbare Energieträger zurückgegriffen werden muss. Das trifft bei den Varianten mit Gas (3 und 4) und zu einem geringeren Anteil bei jenen mit Fernwärme (0, 1A, 1B) zu.

ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Ergebnisse des Projektes sind die technische, ökologische und ökonomische Bewertung von sechs Energieversorgungsvarianten mit höherem Anteil an lokalen, erneuerbaren Energiequellen sowie zwei Referenzvarianten mit einer Energieversorgung mittels Gas-Brennwertkessel im Gebäude sowie Fernwärme.

Aus **technischer Sicht** sind die Varianten mit hohem Anteil an lokaler, erneuerbarer Energie realisierbar. Wobei bei den Lösungen unter Einbeziehung der oberflächennahe Geothermie höhere Risiken der Bodenbeschaffenheit und der Versorgungssicherheit zu berücksichtigen sind, nachdem noch keine detaillierten Untersuchungen durchgeführt wurden. Die Dimensionierungen dieser Varianten sind demnach mit Vorsicht zu genießen.

Die **ökologische Bewertung** der Varianten ergibt ein sehr heterogenes Bild. Bei den CO₂ Emissionen ist sichtbar, dass Varianten mit Fernwärme (bester Wert) und Wärmepumpen niedrige CO₂ Werte ausweisen (0, 1A, 1B, 2B). Varianten mit hohem Anteil an Gas als Energiequelle müssen mit einem hohen CO₂ Ausstoß rechnen (Varianten 2A, 3, 4).

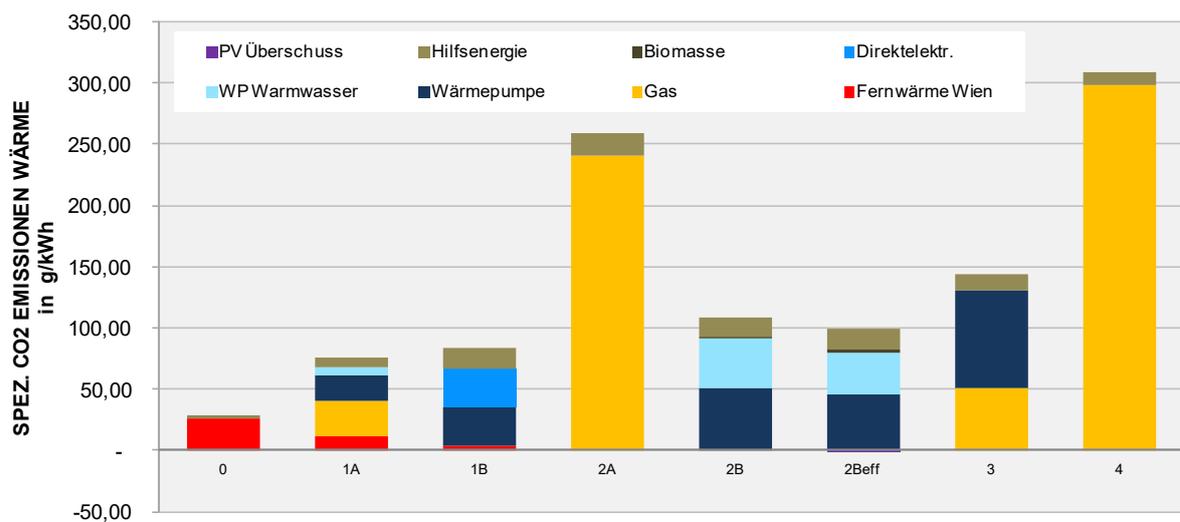


Abbildung 2: Spezifische CO₂ Emissionen der Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Darstellung)

Der Anteil der lokalen, erneuerbaren Energiequellen der jeweiligen Varianten ergibt ein anderes Bild. Hier weisen die Systeme mit Fernwärme-Nutzung einen geringen Anteil auf, da die Wärmebereitstellung außerhalb des Untersuchungsgebietes erfolgt. Hier sind jene Varianten vorteilhaft, die Solaranlagen und Wärmepumpenlösungen berücksichtigen.

Die erneuerbaren Anteile der Fernwärme (Variante 0, 1A und 1B) und von Biomasse (Variante 2B und 2B_{eff}) sind jedoch strichliert dargestellt, um den gesamten Anteil erneuerbarer Energie darzustellen.

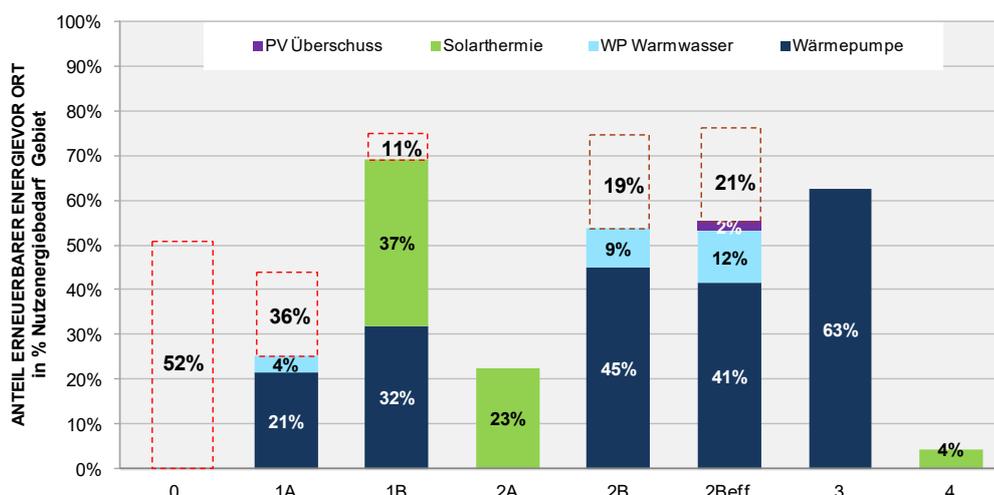


Abbildung 3: Anteil an Erneuerbaren Energiequellen vor Ort (Quelle: eigene Darstellung)

Wird die Systemgrenze zur Betrachtung der CO₂ Emissionen auf die gesamte Stadt ausgeweitet, liegen der Anteil an erneuerbaren Energiequellen der Fernwärme bei 80 %, der Anteil der Erzeugung aus Abfall und Biomasse bei 31%. Zählt man beide Anteile zusammen, so liegt der Anteil an Erneuerbaren bei 52%, also auf einem vergleichbaren Niveau mit den Wärmepumpenvarianten 2B und 3.

Die **Smart City Ziele** von Wien umfassen unter anderem Kriterien für umfassende Ressourcenschonung. Dabei wird als Ziel gesetzt, dass je Person nicht mehr als 2.000 W Dauerleistung auf Primärenergieebene eingesetzt werden soll. Für Wohnen kann diese Anforderung auf rund 500 W Dauerleistung auf Primärenergieebene umgelegt werden. Bei dieser Bewertung ist sichtbar, dass die Varianten mit überwiegender Nutzung von Gas zur Wärmebereitstellung die Smart City Ziele nicht einhalten können, da diese bereits beim Energiebedarf für Raumheizung und Warmwasser das zulässige Höchstmaß knapp ausschöpfen oder sogar überschreiten.

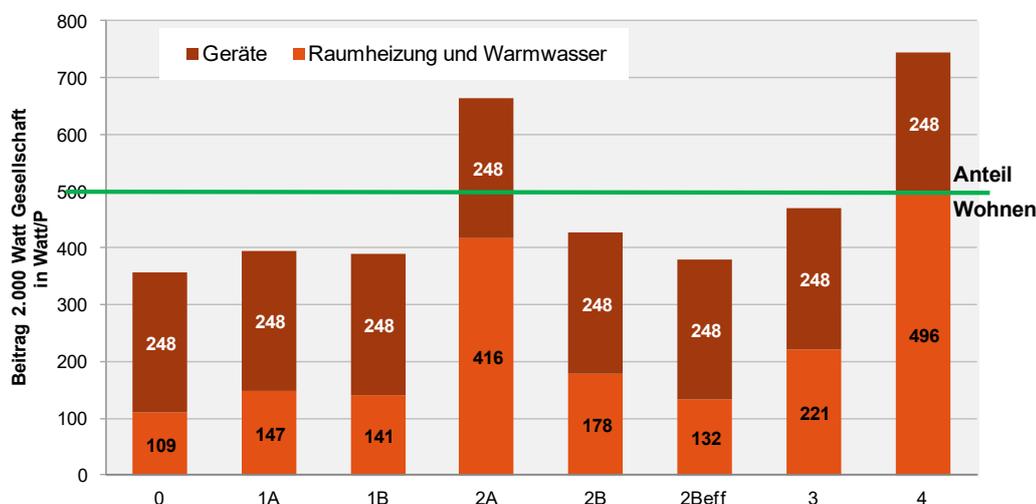


Abbildung 4: Smart City Kennwerte für Wohnen (Quelle: eigene Darstellung)

Die **ökonomische Bewertung** teilt sich auf in Werte für Investitionskosten bei der Errichtung der Energieversorgung sowie die Lebenszykluskosten in einem Zeitraum von 40 Jahren.

Bei den **Lebenszykluskosten** wurden die Investitionskosten, Folgekosten und der Restwert der Energieversorgungssysteme berücksichtigt. Bei den Folgekosten sind Aufwände für Energie, Wartung und Instandhaltung, Erneuerung nach Ablauf der Nutzungsdauer, Betriebsführung und eine Gewinn-Marge von 4%/a für Energieversorgungsunternehmen enthalten. Der Kalkulationszinssatz liegt bei 3%/a. Die Lebenszykluskostenrechnung zeigt Bandbreiten von Barwerten: mit/ohne Restwertbetrachtung, Energiepreissteigerung 2%/a und 4%/a.

Die Annahmen für die Kostenberechnung wurden vorsichtig gewählt, um keine zu großen Erwartungen beispielsweise durch hohe Energiepreissteigerungen zu implizieren. Die Berechnung der Lebenszykluskosten erfolgte auf Basis aktueller Normen und Berechnungsverfahren.

Die Ergebnisse zeigen Vorteile bei Gas-Kessel Lösungen (Variante 4). Die Wärmepumpen-Lösung ohne Wärmenetze (Variante 3) kommt auf ein ähnliches Kostenniveau wie Fernwärme (Variante 0). Die Wärmepumpenvariante mit Mikro-Wärmenetz (Variante 2B) liegt darüber. Die Energieeffizienzmaßnahmen in Variante 2B_{eff} sind nicht wirtschaftlich. Bei der Variante mit Saisonspeicher (1B) ist ersichtlich, dass dieses Konzept ökonomisch nicht geeignet für die Rahmenbedingungen im Donauefeld ist.

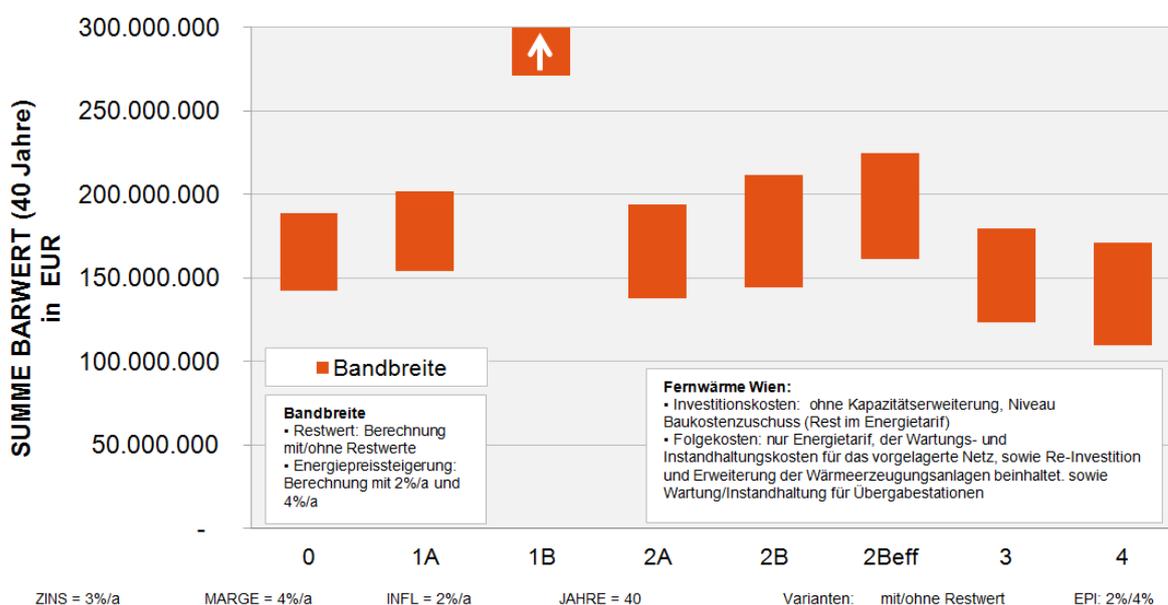


Abbildung 5: Lebenszykluskosten für die Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Darstellung)

Bei den **Investitionskosten** sind jene Varianten mit einem niedrigen Anteil an lokalen, erneuerbaren Energiequellen vorteilhaft (Varianten 0 und 4). Varianten mit hohem Anteil an

lokalen Erneuerbaren, insbesondere jene mit großen Flächen an thermischen Solaranlagen (Variante 1B) weisen die höchsten Investitionskosten auf.

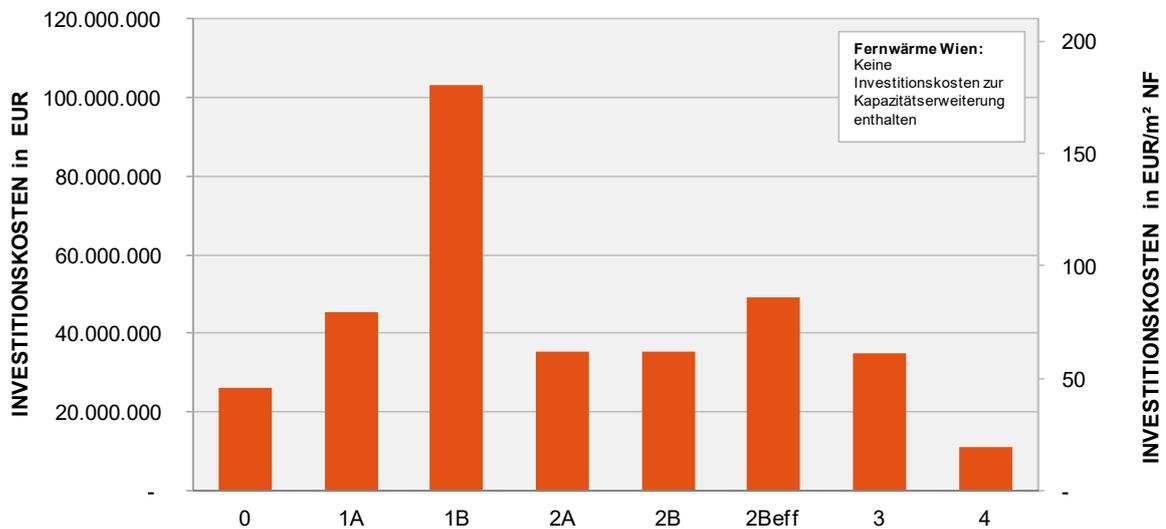


Abbildung 6: Investitionskosten der Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Darstellung)

Die Gesamtbewertung von ökologischen und ökonomischen Kriterien zeigt, dass Varianten mit Fernwärme (Varianten 0 und 1A) und die Varianten mit Wärmepumpenlösungen (Varianten 1A, 2B und 3) am besten geeignet sind für das Untersuchungsgebiet. Die Lösung mit zusätzlichen Energieeffizienzmaßnahmen ist im konkreten Fall ökonomisch nicht sinnvoll. Varianten mit Gas-Kesseln (Varianten 2A und 4) stellen ökologisch keine sinnvolle Lösung dar und sind entsprechend den Grenzwerten der Smart-City-Rahmenstrategie der Stadt Wien künftig in der Wärmeversorgung auszuschließen.

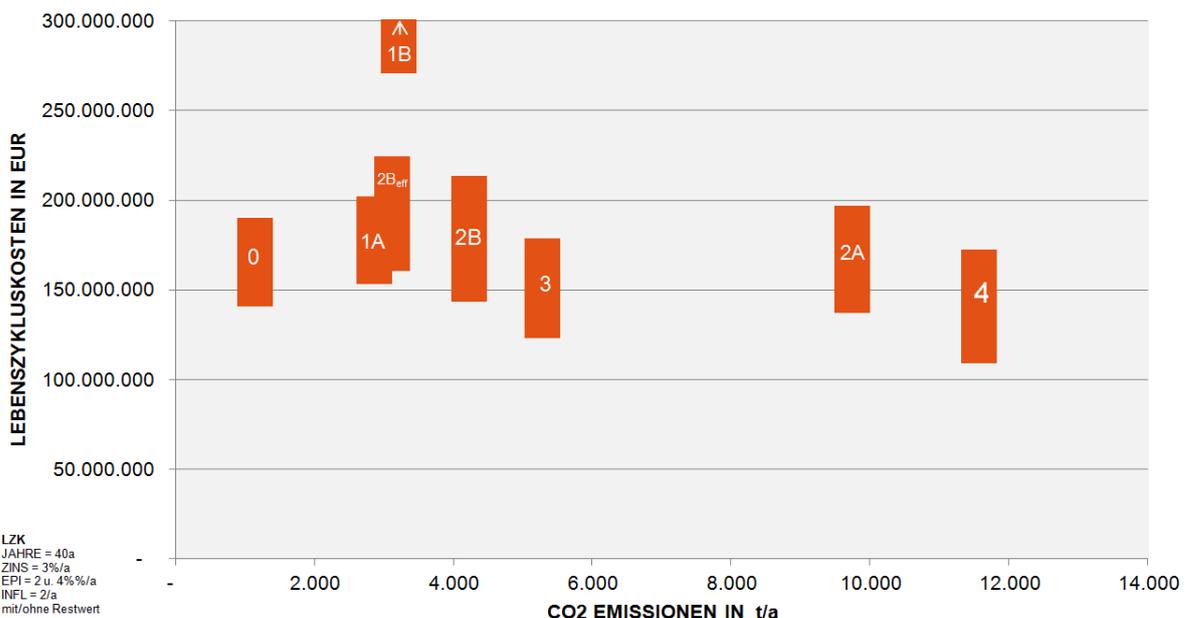


Abbildung 7: Vergleich Lebenszykluskosten und CO₂ Emissionen (Quelle: eigene Darstellung)

Aus den Ergebnissen ableitend sind sowohl ökonomisch als ökologisch Zielgebiete für Energiesysteme sinnvoll: dort, wo bereits Fernwärme-Primärleitungen vorhanden sind, soll auch künftig die Wärmeversorgung über Fernwärme erfolgen. In anderen Gebieten bietet sich die Möglichkeit an, alternative Systeme mit Wärmepumpen und Erdwärmesonden einzusetzen.

Bei alternativen Lösungen mit Wärmepumpen und Erdsonden kann die finanzielle Gesamtbelastung für die Nutzer der Gebäude über einen längeren Zeitraum somit in einem gleichen Niveau gewährleistet werden als für die derzeitigen Lösungen zur Energieversorgung. Aus derzeitiger Sicht ist es entscheidend, Lösungen für die Finanzierung der höheren Erstinvestition mit moderater Verzinsung des eingesetzten Kapitals sicherzustellen, sodass keine Mehrbelastungen verursacht werden. Hier müssen noch geeignete Geschäfts- oder Finanzierungsmodelle definiert werden.

Bei den dargestellten innovativen Lösungen wurden aktuelle Kostenniveaus angesetzt. Aufgrund der erwarteten größeren Verbreitung dieser Lösungen in naher Zukunft sowie unter Berücksichtigung einer Lernkurve bei Innovationen kann erwartet werden, dass das Kostenniveau sinken wird und somit noch eine weitere Kostenoptimierung erfolgen kann.

Zusätzlich lässt sich ein deutlich höherer sommerlicher Komfort erreichen. Durch den Regenerationsbetrieb für die Erdwärmesonden werden die Wohnungen im Sommer passiv gekühlt. Das stellt einen zusätzlichen Nutzen für die Bewohnenden dar, der jedoch monetär nicht abgebildet wurde. Die aktuelle Nachfrage bei Bauträger zeigt eine hohe Sensibilität für Kühlmöglichkeit im Sommer. Wenn der Trend anhält können Systeme mit Wärmepumpe und Erdwärmesonden durch den zusätzlichen Nutzen der passiven Kühlung auch wirtschaftlich tragfähig sein.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	10
1.1	Ziele und erwartete Ergebnisse.....	10
1.2	Aufbau des Endberichts	10
2	Das Untersuchungsgebiet	11
2.1	Allgemeine Informationen.....	11
2.2	Datengrundlagen für die weiteren Berechnungen.....	13
2.3	Zeitplan für die Bebauung	14
3	Methodischer Ansatz	16
4	Energienachfrage und Potential erneuerbarer Energie	20
4.1	Methode	20
4.2	Energienachfrage.....	22
4.3	Potenzial lokaler erneuerbarer Energiequellen	25
4.3.1	Eingrenzung der lokalen erneuerbaren Energiequellen	25
4.3.2	Dimensionierung der ausgewählten Energiequellen	27
4.3.3	Ergebnisse der lokalen erneuerbaren Energiequellen.....	29
4.4	Energieträger außerhalb des Untersuchungsgebietes.....	30
4.5	Gegenüberstellung Energienachfrage und Energiepotentiale.....	31
5	Selektion der Energieversorgungsoptionen	32
5.1	Methode	32
5.2	Mögliche Energieversorgungsoptionen.....	33
6	Auswahl der Energieversorgungsoptionen	36
6.1	Überblick zu den Energieversorgungssystemen.....	36
6.2	Beschreibung der Energieversorgungsoptionen	38
6.2.1	Variante 0: Referenzvariante Fernwärme gesamt.....	38
6.2.2	Variante 1A: Fernwärme Wärmenetz (Wärmepumpe).....	40
6.2.3	Variante 1B: Vollsolar + Saisonspeicher	43
6.2.4	Variante 2A: Gas-Heizwerke.....	47
6.2.5	Varianten 2B und 2B _{eff} : Mikrowärmenetze Wärmepumpe	50
6.2.6	Variante 3: Wärmepumpe Gebäude	53

6.2.7	Variante 4: Referenzvarianten Gas/Solar.....	56
7	Ökologische Bewertung	59
7.1	Methode	59
7.2	Energiekennwerte	60
7.3	Anforderung an den erneuerbaren Anteil nach OIB Richtlinie 6.....	64
8	Ökonomische Bewertung	66
8.1	Methode	66
8.2	Systemgrenzen	69
8.3	Lebenszykluskosten.....	71
8.4	Errechneter Wärmepreis	73
8.5	Sensitivitätsanalyse.....	75
8.6	Teilbereiche der Lebenszykluskosten.....	76
8.6.1	Investitionskosten	76
8.6.2	Energie- und Brennstoffkosten.....	77
9	Anforderungen an den Umsetzungsprozess.....	79
9.1	Anforderungen an die Flächenwidmung	79
9.2	Anforderungen für Bauträgerwettbewerbe.....	80
9.2.1	Variante 1A, West – Wärmenetz (Wärmepumpe)	81
9.2.2	Variante 2B und 2B _{eff} – Mikrowärmenetze Wärmepumpe	82
9.2.3	Variante 3 – Wärmepumpe Gebäude.....	83
10	Interpretation und Schlussfolgerungen.....	84
10.1	Interpretation der Ergebnisse	84
10.2	Gesamtbewertung der Ergebnisse	85
10.3	Schlussfolgerungen.....	87
11	Verzeichnisse	90
11.1	Glossar.....	90
11.2	Abkürzungsverzeichnis	94
11.3	Literaturverzeichnis	94
11.4	Tabellenverzeichnis.....	96
11.5	Abbildungsverzeichnis.....	97

1 Einleitung

1.1 Ziele und erwartete Ergebnisse

Die Studie zur Energieversorgung des Stadtentwicklungsgebietes Wien Donauefeld soll mögliche technische Lösungen zur Energieversorgung in einem Stadtentwicklungsgebiet darstellen und als Entscheidungsgrundlage für die beteiligten Akteure (Planungsdienststellen, Entwickler etc.) dienen.

Im Rahmen der Studie sollen konkrete technische Lösungen zur Energieversorgung im Untersuchungsgebiet Donauefeld analysiert, Beiträge für eine Bauträgerausschreibung formuliert und eine allgemeine Methode abgeleitet werden, die auch für weitere Stadtentwicklungsgebiete angewandt werden und als Instrument für die Energieraumplanung dienen kann. Anhand von energiewirtschaftlichen, ökonomischen und ökologischen Bewertungskriterien werden gemeinsam mit dem Auftraggeber geeignete Energieversorgungsoptionen erarbeitet und bewertet.

1.2 Aufbau des Endberichts

Der Endbericht enthält folgende Abschnitte:

- Kapitel 2 beschreibt das Untersuchungsgebiet, das Stadtentwicklungsgebiet Donauefeld in Wien, und wesentliche Annahmen für die weiteren Berechnungen.
- Kapitel 3 gibt einen Überblick über die methodische Vorgangsweise.
- In Kapitel 4 ist die Dimensionierung der Energiefrage enthalten sowie die Eingrenzung und die Leistungspotentiale der Erneuerbaren vor Ort.
- In Kapitel 5 ist die Auswahl der Energieversorgungsoptionen beschrieben, Kapitel 6 gibt einen Überblick über die festgelegten Energieversorgungsoptionen.
- Kapitel 7 beschreibt die ökologische Bewertung der Energieversorgungsvarianten, in Kapitel 8 ist die ökonomische Bewertung enthalten (Investitions-, Energie-, Nutzungs-, Lebenszykluskosten).
- In Kapitel 9 sind Anforderungen an die Flächenwidmung sowie für einzelne Varianten technische Anforderungen für den Bauträgerwettbewerb enthalten.
- Kapitel 10 bietet die Interpretation der Ergebnisse und Schlussfolgerungen
- Alle Verzeichnisse (Literatur, Abbildungen, Tabellen) sowie ein Glossar sind in Kapitel 11 enthalten.

2 Das Untersuchungsgebiet

2.1 Allgemeine Informationen

Das Stadtentwicklungsgebiet Donauefeld umfasst rund 60 ha und befindet sich in Wien im 21. Gemeindebezirk. Es stellt eines von mehreren Zielgebieten für die Stadtentwicklung in Wien dar.

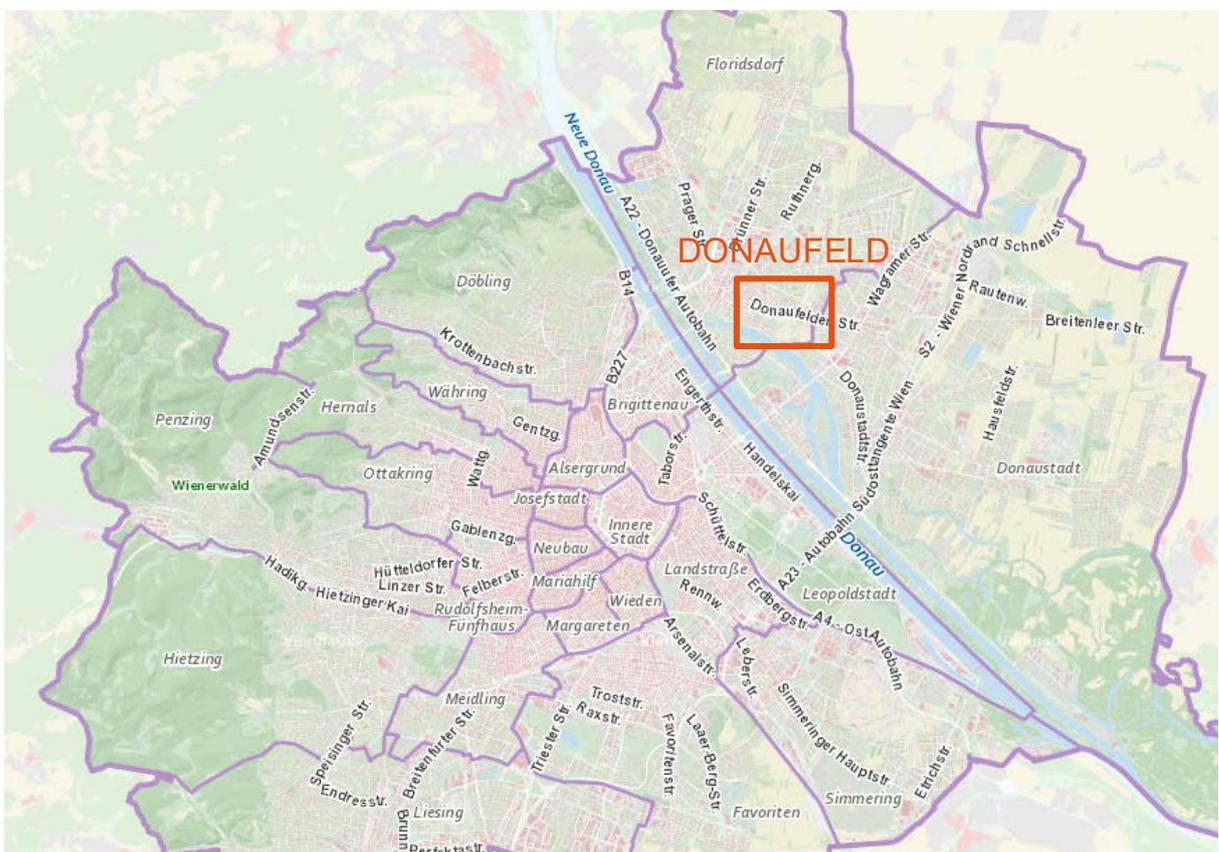


Abbildung 8: Stadtentwicklungsgebiet Donauefeld im Wiener Stadtplan (Quelle: wien.gv.at)

Begrenzt wird das Untersuchungsgebiet von der Donauefelderstraße im Norden, der Dückegasse im Osten, dem Drygalskiweg und An der Oberen Alten Donau im Süden sowie von der vorhandenen Bebauung bzw. von Sportanlagen im Westen (siehe Abbildung 9). Derzeit wird die Fläche weitgehend für Gartenbau genutzt.

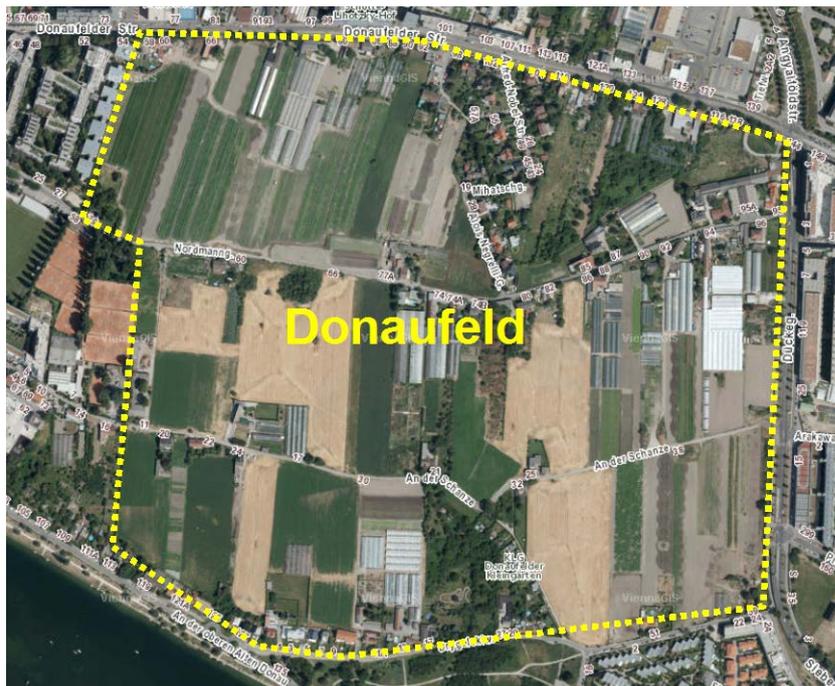


Abbildung 9: Luftbild des Donauefeldes (Quelle: www.wien.gv.at, bearbeitet)

Gemäß Leitbild soll eine Energiestrategie erarbeitet werden, die zu einem umwelt- und klimaverträglichen Stadtteil führt. Dabei spielt neben einer hochwertigen Grünraumversorgung und der Ausstattung mit sozialer Infrastruktur auch eine stadtverträgliche, ressourcenschonende, umweltfreundliche Mobilität eine zentrale Rolle. In Abbildung 9 und Abbildung 10 ist das Planungsgebiet im Überblick dargestellt.

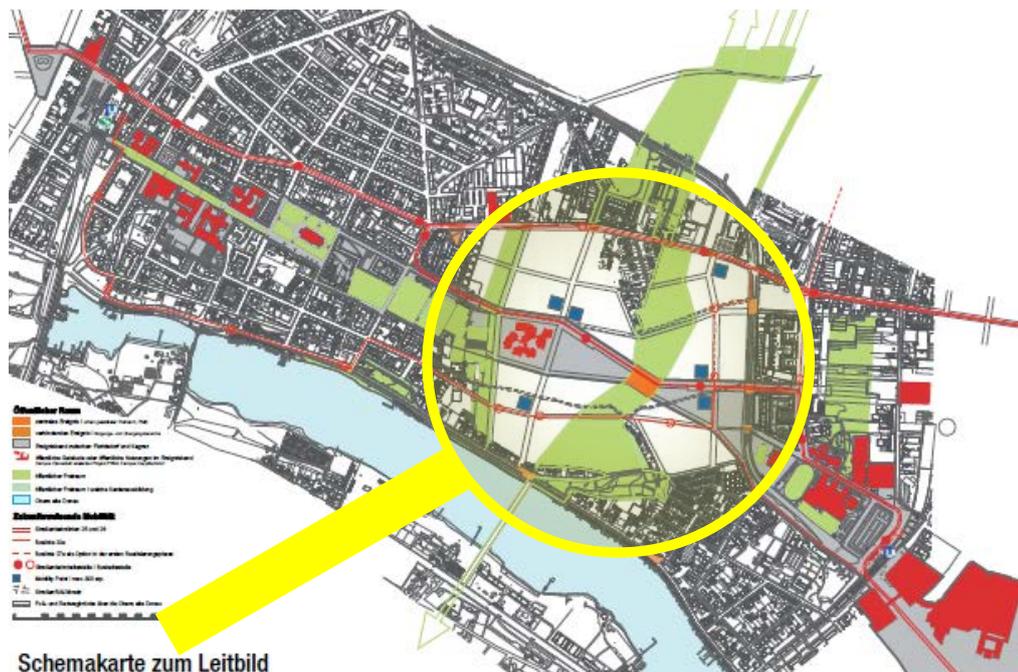


Abbildung 10: Auszug aus dem Leitbild Donauefeld (Quelle: www.wien.gv.at, bearbeitet)

2.2 Datengrundlagen für die weiteren Berechnungen

Für die Berechnung der Energienachfrage sowie für die Energieversorgungsoptionen sind Informationen und Anhaltswerte zum Untersuchungsgebiet erforderlich, um die Größenordnungen der Energienachfrage berechnen sowie plausible Versorgungslösungen dimensionieren zu können. In Tabelle 1 sind wesentliche Kennwerte genannt:

Bezeichnung	Wert	Einheit	Quelle
Bruttogrundfläche der Gebäude	757.000	m ²	Dokument BGF_PH1_Donaufeld. Doc, zur Verfügung gestellt von der MA20
Anzahl der Wohnungen	6.000	-	Ausstellung Donaufeld (STADT WIEN 2014)
Donaufeld Betrachtungsgebiet	60	ha	Leitbild Donaufeld, stadtklima entwerfen, 12.08.2012 (ZECH 2012)

Tabelle 1: Eckdaten des Donaufeldes (Quelle: erwähnt)

Die Bruttogrundfläche der Gebäude wird entsprechend Tabelle 2 in 23 Baufelder aufgeteilt:

Baufeld	BGF [m2]
A1	33.500
B1	62.500
B2	54.000
B3	15.000
B4	41.500
B5	25.000
C1	26.000
C2	47.000
C3	21.500
C4	51.000
C5	44.000
C6	21.500
D1	17.500
D2	22.000
D3	49.000
D4	26.000
D5	18.500
D6	50.000
E1	40.500
E2	48.000
E3	21.000
E4	9.000
E5	13.000
Summe	757.000

Tabelle 2: Bruttogrundfläche der Gebäude für die einzelnen Baufelder, Stand Ende 2014 (Quelle: Leitbild Donaufeld)

Für die Gebäude im Stadtentwicklungsgebiet ist überwiegend die Wohnnutzung vorgesehen. Neben den Wohnflächen sind ein Schulcampus und kleinere Einrichtungen für die Nahversorgung geplant.

2.3 Zeitplan für die Bebauung

Der Zeitplan für die Realisierung der Baumaßnahmen im Untersuchungsgebiet ist zum Zeitpunkt des Projektabschlusses noch nicht endgültig festgelegt. Für die Bearbeitung des Projektes wurden Annahmen der Stadt Wien mit Stand Mitte 2015 herangezogen.

Das Untersuchungsgebiet wird in drei Bauabschnitten realisiert (siehe Abbildung 11). Der erste Bauabschnitt befindet sich im Südosten des Donauefeldes, der zweite Bauabschnitt nördlich davon. Beide sind östlich des Grünstreifens. Der dritte Bauabschnitt liegt westlich des Grünstreifens.

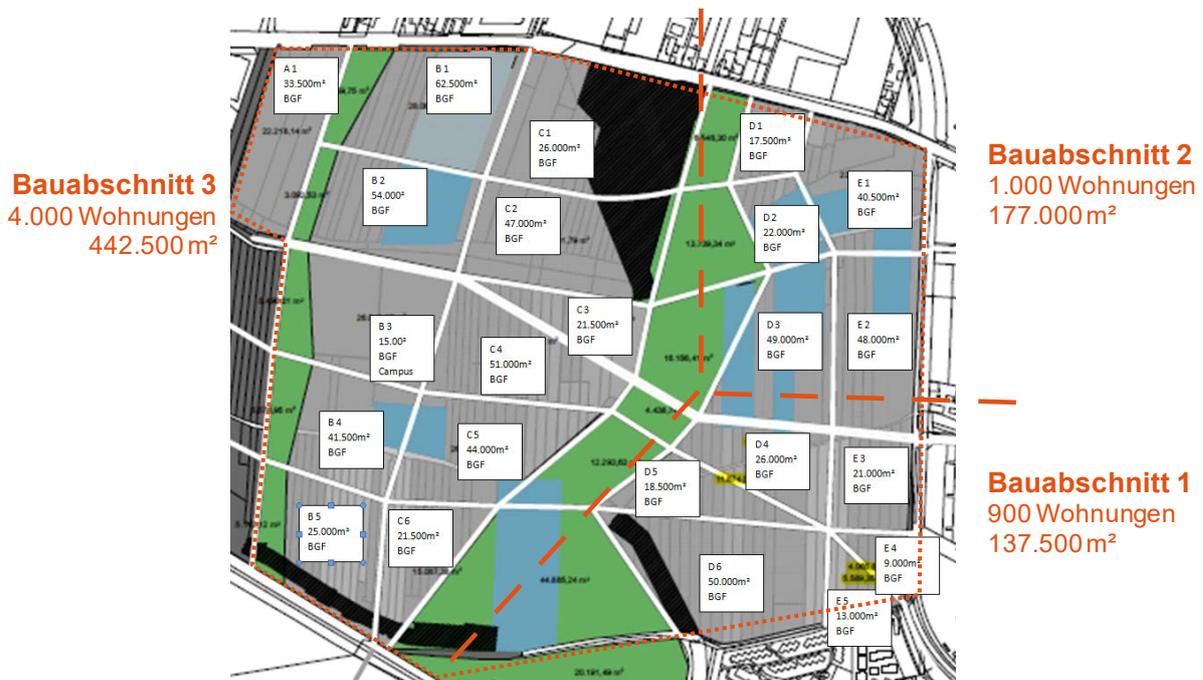


Abbildung 11: Annahmen zur Aufteilung des Untersuchungsgebietes in Bauabschnitte, Stand Ende 2014 (Quelle: wohnfonds Wien, MA21; eigene Darstellung)

Für die zeitliche Abfolge der Realisierung der Bauabschnitte wird angenommen, dass Bauabschnitt 1 und 2 möglichst rasch realisiert werden (Fertigstellung 2019 – 2020), Bauabschnitt 3 jedoch erst zu einem späteren Zeitpunkt umgesetzt wird (Fertigstellung 2025 – 2027).

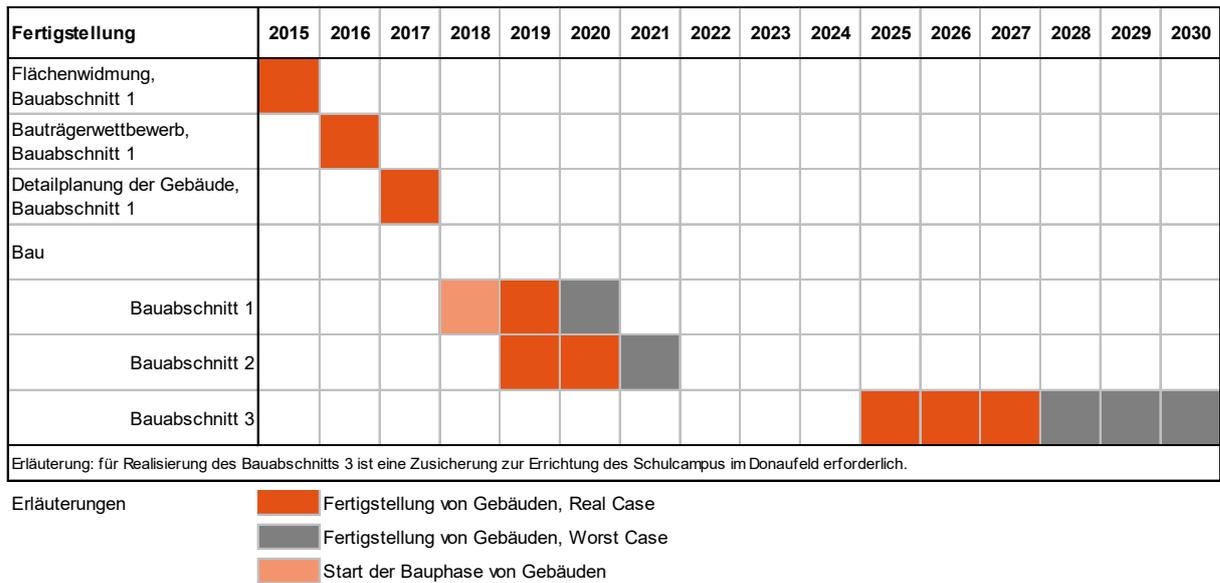


Abbildung 12: Annahmen für die zeitliche Abfolge der Realisierung der Bauabschnitte, Stand Ende 2014 (Quelle: wohnfonds Wien, MA21; eigene Darstellung)

3 Methodischer Ansatz

Ziel des Projektes ist die Entwicklung möglicher Energieversorgungslösungen für den neuen Stadtteil Donaufeld, die Prüfung der technischen Machbarkeit sowie die ökologische und ökonomische Bewertung.

Für die Bewertung und Entwicklung von geeigneten Lösungen zur Energieversorgung wird ein mehrstufiger Ansatz gewählt:

SCHRITT 1: Ermittlung der Energienachfrage

Zu Beginn ist es erforderlich jener Energiemenge und jener Energielasten für Gebäudenutzung zu ermitteln, die im Untersuchungsgebiet zu erwarten sind. Die Energiemengen hängen im Wesentlichen von den Nutzungsarten in den Gebäuden ab. Wohnungen, Büroflächen, Verkaufsstätten oder gar Produktionsstätten. Davon abhängig können die Energiemenge und die –lasten für Raumheizung, Warmwasser, Kühlung und sonstige Stromnutzungen skizziert werden. Dabei ist auch zu berücksichtigen, mit welcher Kompaktheit der Gebäude und mit welchem Wärmeschutz zu rechnen ist. Ergebnis dieses Schrittes ist ein Energie-Nachfragemodell für Wärme, Kälte und Strom.

SCHRITT 2: Ermittlung der Energieressourcen vor Ort

Entscheidend für die Entwicklung geeigneter Lösungen zur Energieversorgung sind die Energieressourcen im Untersuchungsgebiet und in der unmittelbaren Umgebung. Das sind zum einen bestehende leitungsgebundene Energieträger wie Gas, Fernwärme, Fernkälte oder Strom, zum anderen lokale erneuerbare Energieressourcen wie Abwärmenutzung, Grundwasser, Erdwärme oder Solarenergie.

SCHRITT 3: Entwicklung möglicher Lösungen zur Energieversorgung (Longlist)

Auf Basis der Energienachfrage und der möglichen Energieressourcen vor Ort können mögliche Lösungen zur Energieversorgung aufgezeigt werden. Das kann am besten unter Einbeziehung von Stakeholdern für das Untersuchungsgebiet erfolgen, um das Know-how für den Standort gebündelt einzubringen. Zusätzlich bietet die Mitbestimmung von Stakeholdern eine höhere Akzeptanz bei der Festlegung einer Energieversorgungslösung.

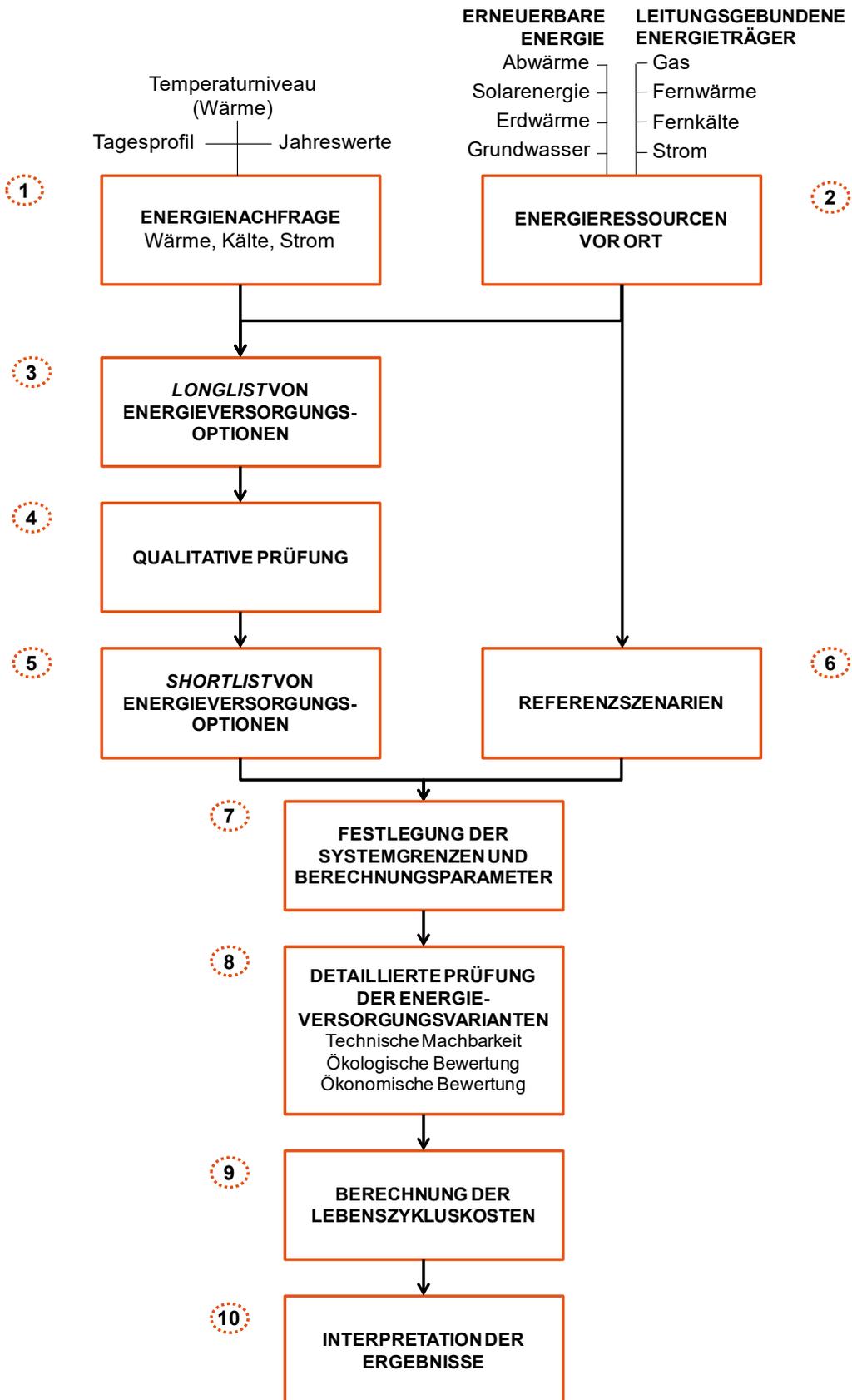


Abbildung 13: Methodischer Ansatz des Projektes (Quelle: eigene Darstellung)

SCHRITT 4: Qualitative Prüfung der Lösungen zur Energieversorgung

Die möglichen Lösungen zur Energieversorgung („Longlist“) werden im Rahmen einer ersten Plausibilitätsprüfung im Bezug auf die Eignung für das vorliegende Untersuchungsgebiet bewertet. Dabei soll erarbeitet werden, welche Lösungen am vielversprechendsten sind und demnach detaillierter untersucht werden sollen.

SCHRITT 5: Entwicklung einer Shortlist von Energieversorgungsoptionen

Basierend auf der qualitativen Bewertung der einzelnen Energieversorgungsoptionen wird eine Shortlist an Varianten festgelegt, die in weiterer Folge detailliert untersucht wird. Diese Festlegung soll nach Möglichkeit wieder unter Einbeziehung der Stakeholder erfolgen.

SCHRITT 6: Festlegung von Referenzszenarien

Die Lösungen zur Energieversorgung sollen Referenzszenarien für technische Lösungen gegenübergestellt werden, die derzeit üblicherweise umgesetzt werden. Als Referenzszenarien für diese Studie werden einerseits eine zentrale Energieversorgung durch Fernwärme und andererseits eine (ebenfalls zentrale) Gasversorgung mit dezentraler Wärmeerzeugung (Brennwertkessel) in den einzelnen Gebäuden vorgeschlagen. Diese beiden Szenarien stellen quasi den konventionellen Ausgangspunkt dar.

SCHRITT 7: Festlegung der Systemgrenzen und der Berechnungsparameter

Für die Bewertung der Energieversorgungsoptionen ist vorab zu klären, welche Systemgrenzen gezogen werden. Hier gilt es beispielsweise Fragen zu klären, welche Investitionskosten in der Bewertung berücksichtigt werden (Grundstückskosten für Heizwerke? Erweiterung des Haustechnikraums durch zusätzliche Elemente des Energiesystems?) oder welche Bestandteile die Energiekosten umfassen (Kosten für Betriebsführung der Anlagen? Gewinn-Marge für ein Unternehmen?). Die Systemgrenzen sind für alle Varianten gleich anzusetzen.

Für die Berechnung der Lebenszykluskosten gilt es jene finanziellen Parameter festzulegen, die in der Berechnung eingesetzt werden sollen. Das sind bei einer dynamischen Methode beispielsweise Werte für die Energiepreissteigerungen, Kalkulationszinssätze oder die Dauer des Betrachtungszeitraumes. Zusätzlich soll festgelegt werden, welche Parameter unsicher oder bei einer anderen Betrachtungsweise zu einem anderen Wert führen. Beispielsweise kann der Kalkulationszinssatz aus Sicht der öffentlichen Hand geringer ausfallen als aus der Sicht eines Privatunternehmens. Diese Parameter können im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse untersucht werden.

SCHRITT 8: Detaillierte Prüfung der Energieversorgungsoptionen

Im Rahmen einer technischen Machbarkeitsprüfung werden bei der Prüfung die als am vielversprechendsten befundenen Varianten weiter detailliert. Für die technische Machbarkeitsprüfung sollen Erfahrungen aus realisierten vergleichbaren Projekten berücksichtigt werden. Die technische Machbarkeitsprüfung umfasst die grundsätzliche Prüfung, ob die Variante realisiert werden kann und welche Randbedingungen zur Realisierung vorliegen. Gleichzeitig werden die Elemente der Energieversorgungsoptionen im Detail definiert und die Dimensionierung berechnet.

Auf Basis der technischen Grundlagen erfolgt die ökologische und ökonomische Bewertung. Die ökologische Bewertung umfasst die Berechnung des Energieeinsatzes der jeweiligen Varianten und die Berechnung der Indikatoren Primärenergie und CO₂ Emissionen. Die ökonomische Bewertung besteht aus der Berechnung der Investitionskosten und der Folgekosten. Die Folgekosten bestehen aus den jährlichen Kosten für Energie und Wartung/Instandhaltung, der Re-Investition der Elemente am Ende der Nutzungsdauer, der Kosten für die Betriebsführung der Anlagen und allenfalls eine Gewinn-Marge für das Unternehmen, das das Energieversorgungssystem errichtet und betreibt.

SCHRITT 9: Berechnung der Lebenszykluskosten

Für sämtliche Varianten sind die Lebenszykluskosten zu ermitteln. Neben den Grundannahmen für die Kostenparameter soll auch eine Sensitivitätsanalyse für kritische Parameter durchgeführt werden. Die Sensitivitätsanalyse soll prüfen, inwieweit Änderungen in den Parameter einen Einfluss auf das Ergebnis haben.

SCHRITT 10: Interpretation der Ergebnisse

Wenn sämtliche Kostendaten und Energiekennwerte vorliegen, können die Ergebnisse ganzheitlich bewertet werden. In dieser Methode soll nicht ausschließlich der Fokus auf die Investitionskosten liegen, sondern auch die Vorteile in der ökologischen Bewertung und die Lebenszykluskosten Berücksichtigung finden. Wenn bei Erneuerbaren Energieträgern ein längerer Betrachtungshorizont verwendet wird, können auf dem ersten Blick (aus Sicht der Investitionskosten) ökonomisch nicht vorteilhafte Projekte plötzlich Sinn machen.

4 Energienachfrage und Potential erneuerbarer Energie

Ziel dieses Kapitels ist zum einen eine Abschätzung der Energienachfrage in Form von Verbrauchs- und Anschlusswerten und zum anderen die Darstellung der Potenziale von lokalen erneuerbaren Energiequellen auf der Versorgungsseite sowie der Erhebung und Bewertung der vorhandenen und geplanten Infrastruktur.

4.1 Methode

SCHRITT 1: Dimensionierung des Niveaus der Energienachfrage

Die Dimensionierung der Energienachfrage erfolgt anhand von Parametern zur Ermittlung des Heizwärmebedarfs, des Warmwasserwärmebedarfs und des Bedarfs für elektrischen Strom der Wohnungen. Dabei ist entscheidend, dass am Ende der Berechnungen nicht ein theoretischer Bedarf sondern ein realitätsnaher (berechneter) Verbrauch steht.

Für die Hochrechnung der Annahmen von Einzelgebäuden auf das gesamte Gebiet werden die Daten aus Abschnitt 2.2 angewandt.

Für die Dimensionierung der Energienachfrage – entsprechend der unterschiedlichen Energienutzungen – werden nachfolgende Parameter definiert:

RAUMHEIZUNG

Der *Wärmebedarf Gebäude* für Raumwärme wird ermittelt aus der Berechnung des Heizwärmebedarfs (HWB) nach ÖNORM B 8110-6 unter Berücksichtigung zusätzlicher Parameter, die dazu führen, dass der Heizwärmebedarf in Form eines realitätsnahen Heizwärmeverbrauchs abgebildet wird.

- HWB-Linie als Ausdruck des Niveaus für den Wärmeschutz des Gebäudes
- Charakteristische Länge als Ausdruck der Kompaktheit des Gebäudes
- Reale Annahmen für die mittleren Innenraumtemperaturen in Gebäuden, abweichend von den Standardwerten aus der ÖNORM B 8110-5
- Annahmen für die Verluste des Heizungssystems sowie für einen nicht-optimalen Betrieb der Heizungsanlagen

WARMWASSER

Beim *Wärmebedarf Gebäude* für Warmwasser ist zuallererst zu prüfen, in welcher Form Benchmarkwerte für den Warmwasserwärmebedarf eingesetzt werden. Diese sind bezogen auf die Einzelperson und bezogen auf die Wohneinheit verfügbar. Nach der Prüfung der verfügbaren Literatur und vorhandenen Messergebnissen von Gebäuden oder Wohnungen ist ein für die Anforderungen des geplanten Stadtentwicklungsgebietes plausibler Wert festzulegen.

STROM

Beim Haushaltsstrombedarf ist zuallererst zu prüfen, in welcher Form Benchmarkwerte für den Strombedarf eingesetzt werden. Diese sind bezogen auf die Einzelperson und bezogen auf die Wohneinheit verfügbar. Nach der Prüfung der verfügbaren Literatur und vorhandenen Messergebnissen von Gebäuden oder Wohnungen ist ein für die Anforderungen des geplanten Stadtentwicklungsgebietes plausibler Wert festzulegen.

SCHRITT 2: Potential Erneuerbarer Energiesysteme vor Ort

Für die Energieversorgung mit lokalen erneuerbaren Energiequellen ist eine Vielzahl von Optionen möglich. Entscheidend ist, für das konkrete Gebiet geeignete Energiequellen und Energiesysteme zu bestimmen (siehe Vorgangsweise in Abbildung 14).

Für das Potential der lokalen erneuerbaren Energiequellen werden in einem ersten Schritt die möglichen erneuerbaren Energiequellen dahingehend geprüft, ob diese für das konkrete Stadtentwicklungsgebiet einsetzbar sind. Hier werden sowohl die lokalen Gegebenheiten (z.B. Windverhältnisse) sowie rechtliche Vorgaben (z.B. Verbot des Betriebs von Windrädern) berücksichtigt.

In einem zweiten Schritt werden weitere Aspekte berücksichtigt, die nicht allgemein festgelegt werden, jedoch projektspezifisch festgelegt werden können. Beispielsweise wird in diesem Stadtentwicklungsgebiet nicht nach Tiefengeothermie sondiert, wenn soeben in einem anderen Gebiet negative Ergebnisse erhalten wurden.

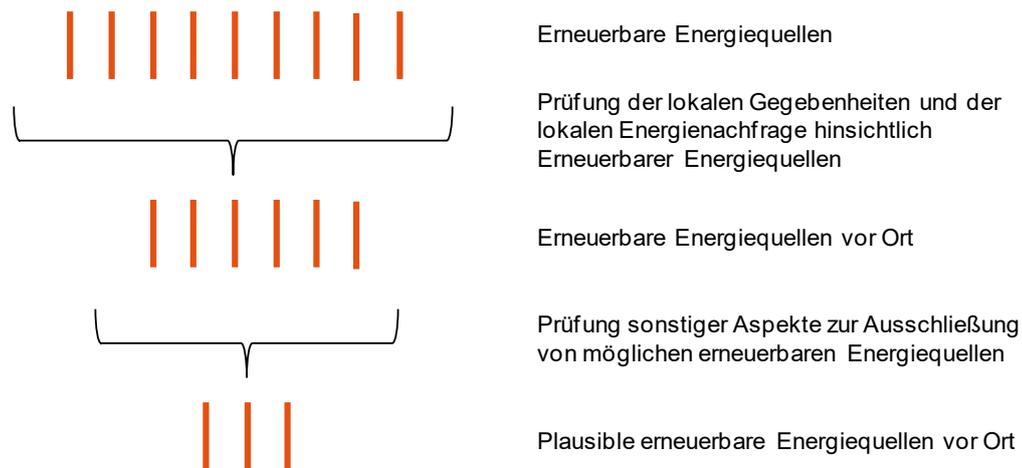


Abbildung 14: Schrittweise Eingrenzung der erneuerbaren Energiequellen vor Ort (Quelle: Eigene Darstellung)

SCHRITT 3: Gegenüberstellung Energienachfrage und Dimensionierung der lokalen erneuerbaren Energiesysteme

Nachdem zum einen die Energienachfrage bestimmt wurde und zum anderen das Niveau für die Bereitstellung von Energie aus erneuerbaren Quellen kann festgestellt werden, ob das Untersuchungsgebiet ausschließlich mit Erneuerbaren vor Ort versorgt werden kann oder ob noch weitere Energiesysteme außerhalb des Untersuchungsgebietes berücksichtigt werden müssen.

4.2 Energienachfrage

Die Energienachfrage wird auf Basis der Daten und Annahmen des Leitbildes Donaufeld (STADT WIEN 2014, ZECH 2011) berechnet. Ergebnisse sind der zu erwartende Energieverbrauch sowie die Anschlusswerte für das Donaufeld.

RAUMHEIZUNG

Für die Dimensionierung des *Wärmebedarfs Gebäude* für Raumheizung sowie für die Ermittlung der Heizleistung je Gebäude gelten folgende Annahmen:

- Die angenommene Geometrie der Gebäude basiert auf internen Erfahrungswerten aus anderen Projekten (NUTZ 2010) und wird mit einer charakteristischen Länge l_c von 2,8m festgelegt ($A/V = 0,36$).
- Als Basisqualität der Gebäudehülle wurde die HWB-Linie 10 laut Nationalem Plan (OIB 2014) ohne Komfortlüftungsgerät herangezogen; $HWB = 10 \cdot (1 + (3,0/l_c))$ in kWh/m²a.

- Zur Ermittlung eines realitätsnahen Verbrauches wurde mit einer Raumtemperatur von 22 °C statt der Auslegungstemperatur von 20 °C gerechnet.
- Zwischen Wohngebäude und Schulcampus wurde nicht unterschieden.
- Berücksichtigung der Verluste des Heizungssystems und der nicht-optimalen Betriebsweise (z.B. durch fehlerhafte Regelung, Mängel bei der Ausführung, etc.) mit zusätzlichen Verlusten von 35%.

Für die weiteren Berechnungen wird mit einem *Wärmebedarf Gebäude* für Raumwärme von 35 kWh/m²_{BGFA} (bezogen auf die konditionierte Bruttogrundfläche) gerechnet. Dieser Wert basiert auf den genannten Annahmen und wurde durch Erfahrungswerte von Wien Energie für ähnliche Gebäude angepasst. Der gesamte *Wärmebedarf Gebäude* für die Bruttogeschoßfläche von insgesamt 757.000 m² liegt somit bei 26.500 MWh/a.

Die erforderliche Heizleistung wurde auf Basis einer Volllaststundenzahl der Heizung von 1.200 h/a (laut Annahmen der Wien Energie, Projektbeirat 1, 17.12.2014) vom *Wärmebedarf Gebäude* abgeleitet und ergibt für das gesamte Stadtentwicklungsgebiet 22,08 MW.

Für eine einzelne Variante wird auch ein geringerer Wert für den Raumwärmebedarf von 28 kWh/m²_{BGFA} geprüft.

WARMWASSERVERBRAUCH

Der Warmwasserverbrauch liegt laut Literatur (FANNINGER 2013, SOLAR GUIDE 2002, RECKNAGEL 2008) zwischen 20 und 40 Liter pro Person und Tag bei 60 °C Warmwassertemperatur. Im Sinne einer konservativen Berechnung wurden 40 l/P/d angenommen.

Im Projektbeirat wurde ein *Wärmebedarf Gebäude* für Warmwasser von 28 kWh/m²_{BGFA} festgelegt. Dieser Wert stammt aus Messungen der Wien Energie für vergleichbare Wohnungen. Für die geplanten 6.000 Wohnungen mit insgesamt 13.200 Bewohnern (durchschnittliche Belegung von 2,2 Personen pro Wohneinheit entsprechend Daten des wohnfonds_wien, Projektbeirat 1, 17.12.2014) ergibt sich somit ein gesamter *Wärmebedarf Gebäude* für Warmwasser von 21.200 MWh/a.

Die Volllaststundenzahl der Warmwasserbereitung wurde mit 2.200 h/a (lt. Wien Energie, 17.12.2014) angenommen. Die erforderliche Leistung für die Warmwasserbereitung beträgt 9,6 MW.

Für eine einzelne Variante wird auch ein geringerer Wert für den Warmwasserwärmebedarf von 25 kWh/m²_{BGFA} geprüft.

STROMVERBRAUCH

Der Stromverbrauch wird mit 3.000 kWh/Wohneinheit in Wohngebäuden laut Literatur (NIPKOW 2013, SCHLOMANN 2004, STRASSER 2013) und 15 kWh/m²_{BGfA} in Schulen (Erfahrungswert aus eigenen früheren Projekten, Mittelwert für Schulen in Salzburg) festgelegt. Der zu erwartete Stromverbrauch liegt somit bei 18.200 MWh/a

ERGEBNISSE DER ENERGIENACHFRAGE

Die Ergebnisse der Energienachfrage sind in Tabelle 3 und Abbildung 15 dargestellt:

Energienutzung	Energiebedarf Gebäude in MWh	Energiebedarf Gebäude in kWh/m ² _{BGfA}	Leistung in MW	Leistung in W/m ² _{BGF}
Raumheizung	26.500	35	22	29
Warmwasser	21.200	28	10	13
Strom	18.200	24	36	48

Tabelle 3: Ergebnisse für die Energienachfrage (Quelle: eigene Berechnungen)

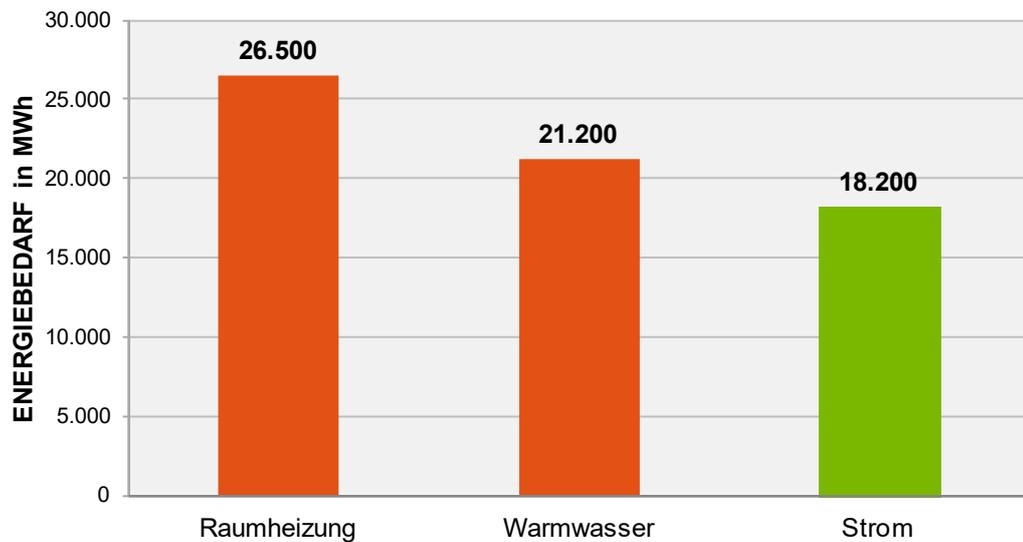


Abbildung 15: Energienachfrage Donaufeld für Raumheizung, Warmwasser und Strom, gerundet (Quelle: eigene Berechnung)

4.3 Potenzial lokaler erneuerbarer Energiequellen

4.3.1 Eingrenzung der lokalen erneuerbaren Energiequellen

In der Studie „Optionen für die Gestaltung des Wiener Energiesystems der Zukunft“ der TU Wien im Auftrag der Wiener Stadtwerke Holding (HAAS 2013) sind nachfolgende erneuerbare Energiequellen für Wien genannt (Abschnitt 6 der Studie) – diese Liste ist Ausgangspunkte für die erneuerbaren Energiesysteme vor Ort:

- Fotovoltaik
- Solarthermie
- Windkraft
- Tiefengeothermie
- Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung
- Wärmepumpen
- Fernkälte
- Virtuelle Kraftwerke, demand und supply side management
- Smart Grids
- Power-to-gas
- Speichertechnologien

Zusätzlich zu dieser Liste werden noch Erneuerbare auf Basis von Biomasse und Abwärme berücksichtigt. Punkte, die keine Energieversorgungsoptionen darstellen, sondern ein eigenes Konzept sind (Virtuelle Kraftwerke, Smart Grids), werden dafür nicht weiter berücksichtigt. Speichertechnologien werden auch nicht berücksichtigt, da diese Bestandteil eines Energieversorgungskonzeptes sind. Diese werden jedoch nicht explizit ausgeschlossen, können jedoch alleinstehend keine Energieversorgung bilden. Daraus wird nachfolgende Liste gebildet.

- Fotovoltaik
- Solarthermie
- Windkraft
- Tiefengeothermie
- Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung
- Wärmepumpen

- Fernkälte
- Power-to-gas
- Biomasse
- Abwärme

Für diese Liste wird der erste Schritt der Eingrenzung durchgeführt: Prüfung der lokalen Gegebenheiten und der lokalen Energienachfrage hinsichtlich erneuerbarer Energiequellen. In Tabelle 4 werden die einzelnen Lösungen beschrieben und bewertet.

Bewertung	Bezeichnung	Beschreibung
✓	Fotovoltaik	Fotovoltaik-Flächen können sowohl am Dach als auch in der Fassade eingesetzt werden.
✓	Solarthermie	Solathermie-Kollektoren können am Dach der Gebäude eingesetzt werden.
✗	Windkraft	Der Einsatz von Windrädern ist in Wohngebieten nicht zulässig und somit in diesem Gebiet nicht möglich.
✓	Tiefengeothermie	Energiepotential für Tiefengeothermie liegt vor.
✓	Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung	Energie-Potential und Energiequellen für Mikro-KWK liegen vor.
✓	Wärmepumpen	Wärmepumpen können, am besten mit Geothermienutzung, eingesetzt werden.
✗	Fernkälte	Im Stadtentwicklungsgebiet liegt aufgrund der überwiegenden Wohnnutzung kein nennenswerter Kältebedarf vor. Daher ist ein Fernkältenetz nicht plausibel.
✓	Power-to-gas	Power-to-gas Anlage am Standort möglich
✗	Biomasse	Im Stadtentwicklungsgebiet sind keine Biomasse-Potentiale gegeben.
✗	Abwärme	Im Stadtentwicklungsgebiet sind keine Abwärme-Potentiale gegeben.

Tabelle 4: Erste Einschränkung der erneuerbaren Energiequellen (Quelle: eigene Angaben)

In einer zweiten Eingrenzung werden zusätzliche projektspezifische Aspekte berücksichtigt. Dabei werden in Tabelle 5 weitere Energiequellen ausgeschlossen.

Bewertung	Bezeichnung	Beschreibung
x	Tiefengeothermie	Aufgrund der Erfahrungen im Stadtentwicklungsgebiet Aspern sind derzeit keine neuen Sondierungen für Tiefengeothermie geplant.
x	Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung	Aufgrund Wohnnutzung wird nur mit einem geringen Strombedarf gerechnet, daher ist eine Mikro-KWK nicht plausibel für diesen Standort.
x	Power-to-gas	Aufgrund Wohnnutzung wird nur mit einem geringen Strombedarf gerechnet, daher ist eine Power-to-gas-Anlage nicht plausibel für diesen Standort.

Tabelle 5: Zweite Einschränkung der erneuerbaren Energiequellen (Quelle: eigene Angaben)

Die vor Ort verfügbaren erneuerbaren Energiequellen, die gut geeignet sind für den Einsatz in der Energieversorgung, sind somit:

- Fotovoltaik
- Solarthermie
- Geothermie: oberflächennahe Geothermie
- Wärmepumpe: Nutzung über Geothermie

4.3.2 Dimensionierung der ausgewählten Energiequellen

Die Dimensionierung der erneuerbaren Energiesysteme vor Ort dient zur Prüfung, ob die Erneuerbaren den gesamten Energiebedarf decken können, oder ob zwingend auf andere Energiesysteme zurückgegriffen werden muss (Abbildung 16)

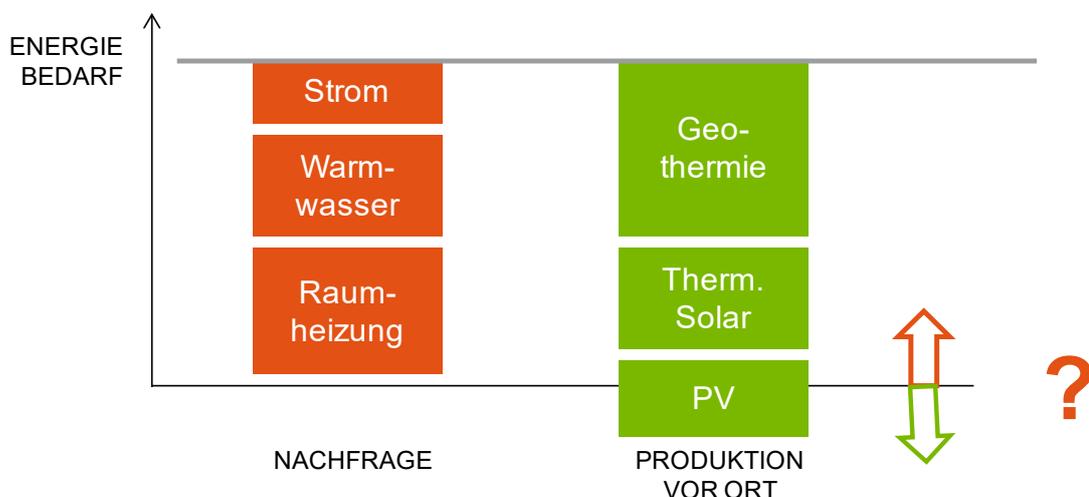


Abbildung 16: Prüfung, ob Erneuerbare die Nachfrage decken oder nicht (Quelle: eigene Darstellung)

FOTOVOLTAIK

Bei Fotovoltaik-Anlagen (PV) wurde das Erzeugungspotenzial von aufgeständerten Anlagen auf den Dächern ermittelt.

In Tabelle 6 sind die Kenndaten der Fotovoltaikmodule angegeben, die für die Potenzialermittlung verwendet wurden.

Fotovoltaikmodule	Beschreibung
Material	Polykristallines Silizium
Wirkungsgrad	16 Prozent
Solarertrag	1000 kWh/kWp

Tabelle 6: Kenndaten Fotovoltaikmodule (Quelle: eigene Annahmen)

Es wird angenommen, dass 30 Prozent der gesamten Dachflächen für Fotovoltaikmodule nutzbar sind. Diese Schätzung beinhaltet sowohl den notwendigen Abstand zwischen aufgeständerten Modulen (Neigungswinkel 30°) als auch notwendige Technik- und Grünflächen auf den Dächern. Die Dachflächen wurden ermittelt, indem die Bruttogrundfläche (BGF) durch die Anzahl oberirdischer Geschosse (Bauklassen) des jeweiligen Baufeldes dividiert wurde.

Die aufgrund der angenommenen Fläche installierbare Leistung beträgt gesamt 6,60 MWp. Der daraus resultierende Jahresertrag liegt bei 6.588 MWh.

SOLARTHERMIE

Ermittelt wurde das Erzeugungspotenzial von aufgeständerten Solarkollektoren mit einem Neigungswinkel von 30° auf den Dächern. In der nachfolgenden Berechnung wurde nicht berücksichtigt, dass Solarthermie und Fotovoltaik aufgrund des Dachflächenbedarfs in Konkurrenz stehen.

In Tabelle 7 sind die Kenndaten des Solarkollektors angegeben, der für die Potenzialermittlung verwendet wurden.

Solarkollektor	Beschreibung
Art	Flachkollektor, selektiv beschichtet
Wirkungsgrad	40 Prozent
Solarertrag	350 kWh/m ² _{Kollektor}

Tabelle 7: Kenndaten Solarkollektor (Quelle: eigene Annahmen)

Es wurde angenommen, dass 30 Prozent der gesamten Dachflächen für Solarkollektoren nutzbar sind. Diese Schätzung beinhaltet sowohl den notwendigen Abstand zwischen aufgeständerten Kollektoren (Neigungswinkel 30°) als auch notwendige Technik- und

Grünflächen auf den Dächern. Die Dachflächen wurden analog zu jener der Fotovoltaik ermittelt.

Die installierbare Leistung beträgt gesamt 16,5 MW_{th}. Der daraus resultierende solare Jahresertrag liegt bei 14.412 MWh.

GEOOTHERMIE

Das Potenzial oberflächennaher Geothermie wurde dem Endbericht „Erdwärmepotenzialerhebung Stadtgebiet Wien“ des Projekts WC-31, Kapitel 4 (GÖTZL 2014), für das Donauefeld entnommen. Das Potential wurde mit dem System geschlossener Wärmetauschersysteme (Erdwärmesonden) angenommen (siehe Tabelle 8), da hier die Erträge höher sind als bei offenen Systemen (Grundwasserbrunnen).

System	Technisches Potenzial [kW]	Jahresertrag Donauefeld gesamt [MWh]
Geschlossene Wärmetauschersysteme	21.114	38.005

Tabelle 8: Leistungskennwerte geschlossene Wärmetauschersysteme (Quelle: Studie MA20)

Der Jahresertrag ergibt sich aus der maximalen Jahresarbeit pro Hektar laut Studie multipliziert mit der Nettobaulandfläche der Baufelder (Grün- und sonstige Flächen wurden für die Berechnung ausgenommen). Das maximale technische Potenzial ermittelt sich aus dem Jahresertrag dividiert durch 1.800 Volllaststunden pro Jahr.

Wichtig dabei ist, dass die vorliegende Werte auf der genannten Studie basieren und noch keine detaillierten Erhebungen und Messungen vor Ort durchgeführt wurden. Daher können die realen Erträge von der Studie abweichen (niedrigere Werte, aber auch höhere Werte möglich).

Bei der Errichtung eines Erdsondenfeldes ist es erforderlich, die Erdsonden in einer Jahresbilanz vollständig zu regenerieren.

4.3.3 Ergebnisse der lokalen erneuerbaren Energiequellen

Die Leistungsaufnahme sowie die jährliche Energieproduktion sind in Tabelle 9 und Abbildung 17 dargestellt.

Erneuerbare Energiequellen	Leistung [MW]	Jahreswärmeproduktion [MWh]
Fotovoltaik	6,70	6.100
Solarthermie	16,50	14.400
Geothermie oberflächennah (geschlossene Wärmetauscher)	21,10	38.000

Tabelle 9: Energieproduktion von lokalen Erneuerbaren (Quelle: eigene Berechnung)

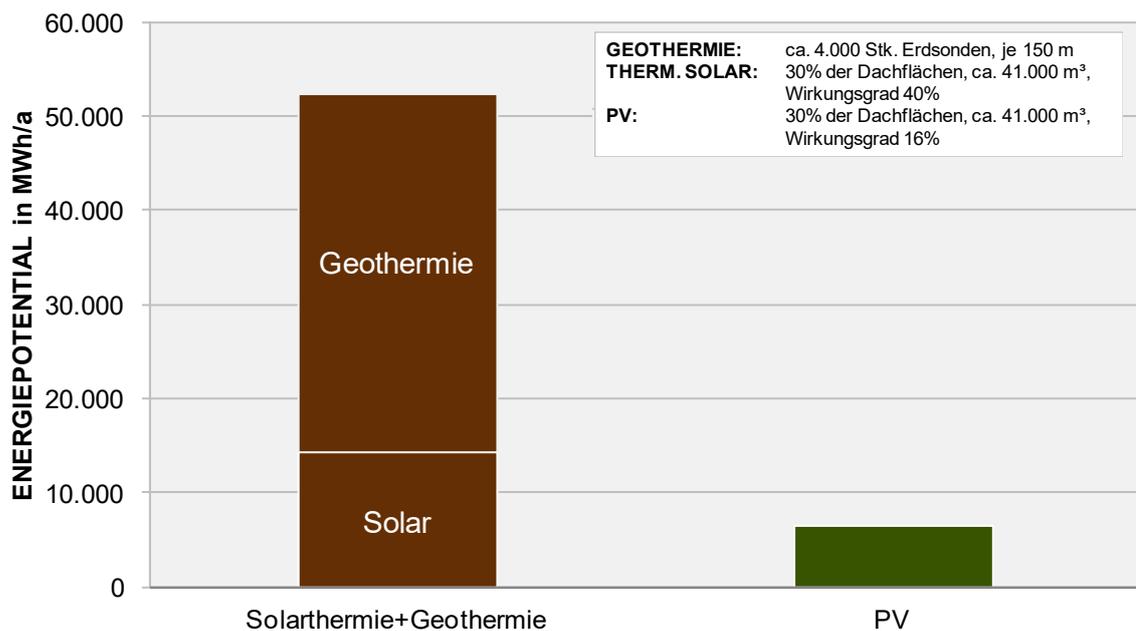


Abbildung 17: Energiepotential der lokalen erneuerbaren Energieträger (Quelle: eigene Darstellung)

4.4 Energieträger außerhalb des Untersuchungsgebietes

Neben den Erneuerbaren Energieträgern vor Ort ist der Einsatz der nachfolgenden Energieträger möglich:

- Fernwärme
- Biomasse
- Gas

In Tabelle 10 wird der Einsatz der genannten Energieträger für das Stadtentwicklungsgebiet Donauefeld geprüft:

Bewertung	Bezeichnung	Beschreibung
✓	Fernwärme	Das Fernwärme-Leitungsnetz der Fernwärme Wien umschließt das Donauefeld. Die verfügbare Kapazität reicht nicht aus, um das gesamte Untersuchungsgebiet abzudecken. Eine Vollversorgung kann nur durch eine zusätzliche Primärleitung aus dem Westen erfolgen.
✓	Gas	Das Gas-Leitungsnetz der Wiener Netze umschließt das Donauefeld. Die verfügbare Leistung reicht aus, um das Untersuchungsgebiet abzudecken.
~	Biomasse	Keine hochrangige Straßeninfrastruktur zum Untersuchungsgebiet, daher auszuschließen. Als Spitzenlastabdeckung jedoch denkbar.

Tabelle 10: Bewertung der Energieträger außerhalb des Untersuchungsgebietes (Quelle: eigene Bewertung)

4.5 Gegenüberstellung Energienachfrage und Energiepotentiale

Die Ergebnisse der Berechnung der Energienachfrage und der Potential der lokalen erneuerbaren Energieträger ergibt, dass die Wärmenachfrage von den lokalen Ressourcen gedeckt werden kann (siehe Abbildung 18). Die Nachfrage nach Strom kann alleine durch die PV nicht gedeckt werden. Dabei ist noch zu berücksichtigen, dass hier das volle Potential für PV und Solarthermie enthalten ist. Hier ist in einem weiteren Schritt noch die Konkurrenz der vorhandenen Dach und Fassadenflächen zu berücksichtigen, da für die verfügbaren Flächen entweder PV Elemente oder Solarkollektoren eingebaut werden können. Bei Hybridsystemen ist jeweils – also bei Wärme und Strom – mit einem geringeren Ertrag zu rechnen.

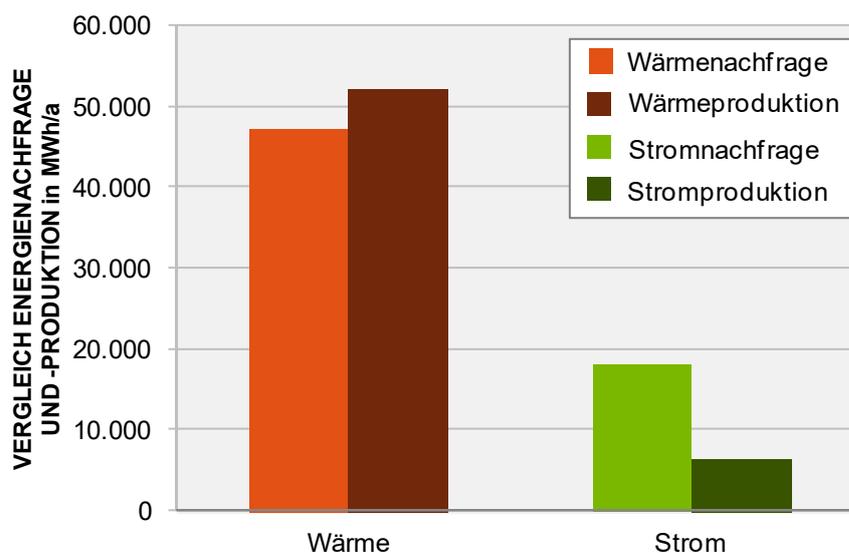


Abbildung 18: Gegenüberstellung von Energienachfrage und -produktion vor Ort (Quelle: eigene Darstellung)

5 Selektion der Energieversorgungsoptionen

Ziel des Kapitels ist ein Überblick über die Vielfalt der möglichen Lösungen zur Energieversorgung sowie erste Schritte, um die möglichen Optionen für das Untersuchungsgebiet einzugrenzen.

5.1 Methode

SCHRITT 1: Energieflussbild

Die Energieversorgungsoptionen für einen Stadtteil sind abzuleiten aus einem allgemeinen Energieflussbild. Hier können alle Energieversorgungsoptionen dargestellt werden, die technisch möglich und sinnvoll sind.

Eine Energieversorgungsoption muss alle Bestandteile des Energieflusses von den Energiequellen bis hin zum Nutzenergiebedarf nachvollziehbar darstellen. Bestandteile des Energieflusses (siehe Abbildung 19) sind Energiequellen, die Sammlung der Erneuerbaren, die Umwandlung, die Speicher, die Verteilung bis hin zum Bedarf.

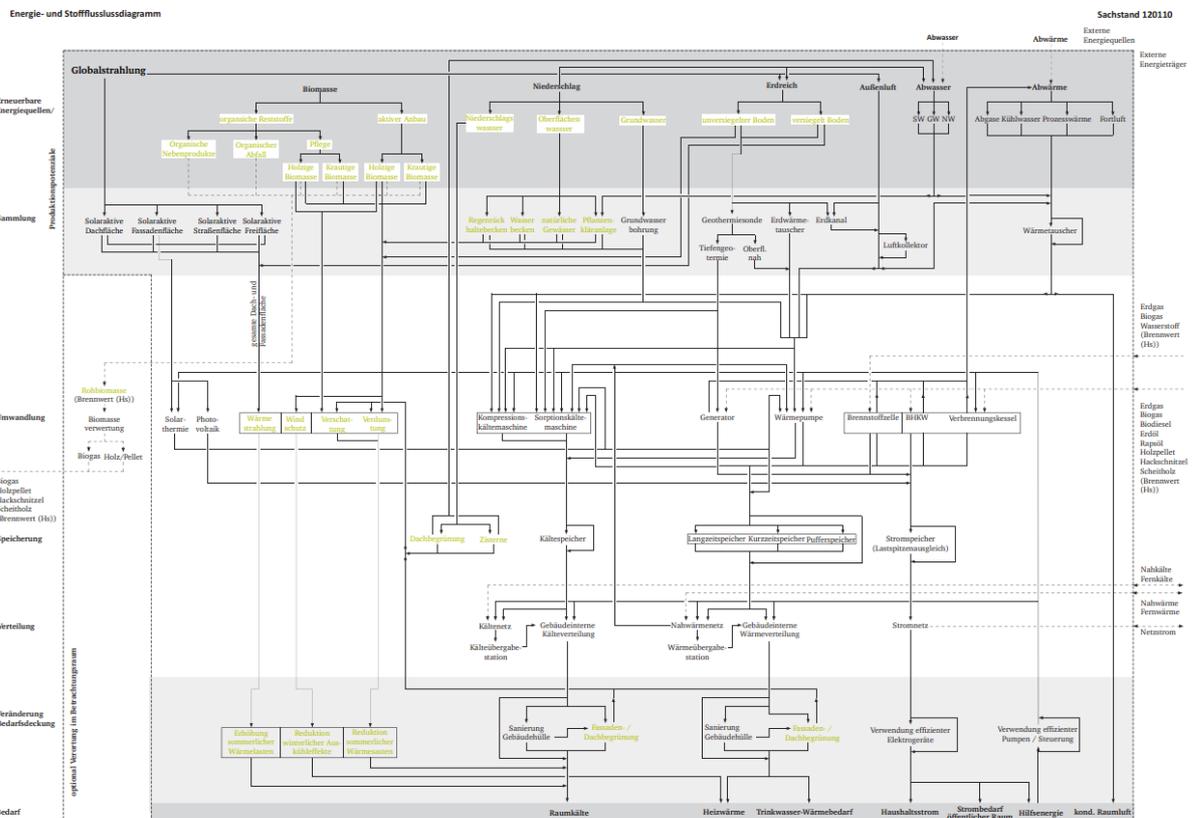


Abbildung 19: Energieflussbild (Quelle: HEGGER 2012, Projekt UrbanReNet)

SCHRITT 2: Anpassung des Energieflussbilds auf Energienachfrage und Potential erneuerbarer Energie

Auf Basis des Energieflussbildes und der Analysen zur Energiefrage und dem Potential erneuerbarer Energien im Untersuchungsgebiet können mögliche Energieversorgungsoptionen bereits eingeschränkt werden.

SCHRITT 3: Einbeziehung von Stakeholdern

Neben der technischen Prüfung von Energieversorgungslösungen sollen im Projekt auch Stakeholder in die Entwicklung von Versorgungskonzepten eingebunden werden. Im Rahmen eines Workshops entwickeln die teilnehmenden Stakeholder – auf Basis einer eingeschränkten Liste von Energieversorgungsoptionen – plausible Lösungen zur Energieversorgung für das Untersuchungsgebiet

SCHRITT 4: Reduktion der Energieversorgungsoptionen auf eine Short List

Die hohe Anzahl an möglichen und plausiblen Energieversorgungsoptionen ist in einem weiteren Schritt auf eine geringere Anzahl zu reduzieren. Dies erfolgt durch konkretere Ausarbeitung der Energieversorgungsoptionen und in Diskussion mit den teilnehmenden Stakeholdern.

5.2 Mögliche Energieversorgungsoptionen

Die Beschreibung von Energieversorgungsoptionen für das Donauefeld ist angelehnt an die Struktur im Energieflussbild, jedoch bereits vereinfacht und eingegrenzt für das konkrete Untersuchungsgebiet.

Darüber hinaus wird der Fokus auf die Wärmeversorgung gelegt. Der Stadtteil bietet aufgrund der Nutzung nur einen geringen Bedarf für Kälte. Für die Versorgung mit elektrischer Energie wird davon ausgegangen, dass ein Stromnetz gegeben ist. Gegebenenfalls werden Beiträge aus alternativen Energiesystemen berücksichtigt.

In Abbildung 20 sind die möglichen Optionen für eine Wärmeversorgung im Stadtteil dargestellt. Die Wärmeversorgung besteht aus Energiequellen (Solar, Fernwärme, Sonstige; diese berücksichtigt die Energiequellen, Sammlung und Umwandlung entsprechen Energieflussbild), die Zentralität der Umwandlung (einmal zentral im Stadtteil, mehrmals semi-zentral im Stadtteil oder für jedes Gebäude), die Möglichkeit der Speicherung, die Temperaturniveaus der Wärmenetze im Untersuchungsgebiet sowie die Temperaturniveaus der Wärmenetze im Gebäude für eine bestimmte Nutzung der Wärme (Warmwasser,

Raumheizung) und Wärmeabgabesysteme (Luftheizung, Radiator, Flächenheizung, Bauteilaktivierung).

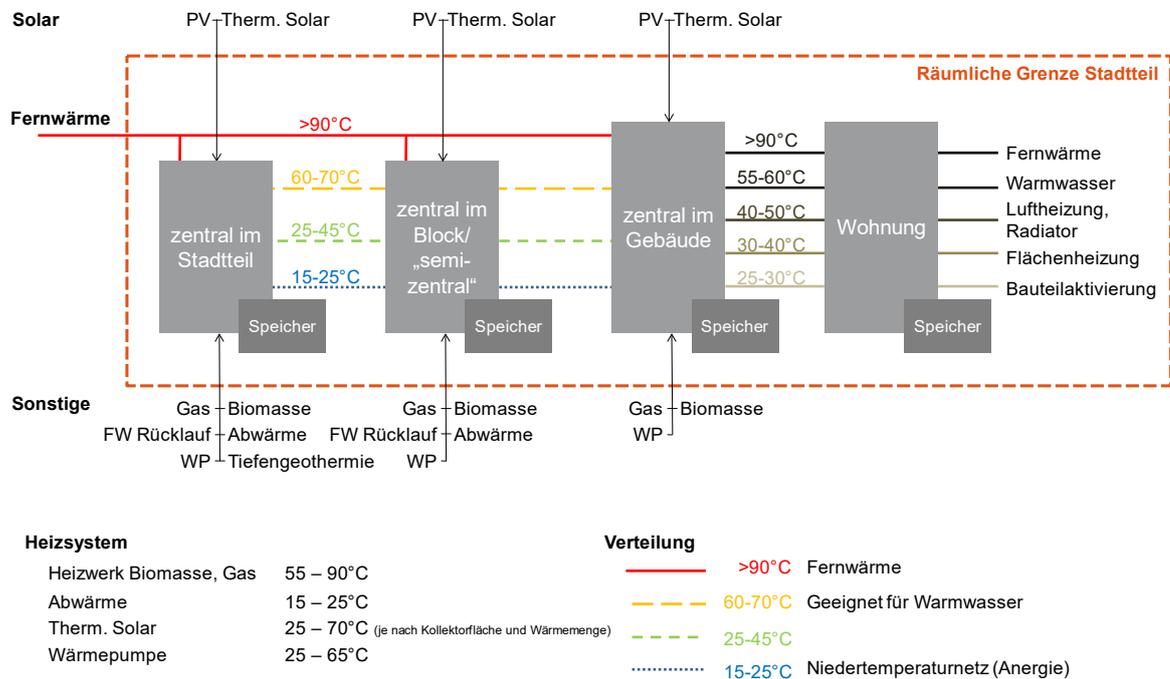


Abbildung 20: Mögliche Energieversorgungsoptionen für das Donauefeld (Quelle: eigene Darstellung)

Bei der Festlegung von Energieversorgungstechnologien ist ein Energiefluss von außerhalb der räumlichen Grenze des Stadtteils bis hin zur Energienutzung in der Wohnung sicherzustellen. Das kann auch bedeuten, dass multiple Systeme geplant sind und mehrere Wege von den Energiequellen bis hin zur Energienutzung dargestellt sind.

Für die Konkretisierung der Energieversorgungsoptionen für das Donauefeld können einige Konkretisierungen vorgenommen werden. Erneuerbare Energiequellen vor Ort können entsprechend der Bewertung in Abschnitt 4.3 eingegrenzt werden. Beispielsweise werden „Biomasse vor Ort“ oder Abwärmenutzung nicht weiter berücksichtigt, da vor Ort keine nennenswerten Potentiale vorhanden sind.

Der Entscheidungsbaum für die Energieversorgung in Abbildung 21 teilt sich auf in Wärmenetz im Untersuchungsgebiet oder dezentrale Wärmeherzeugung in den Gebäuden. Beim Wärmenetz gibt es noch eine Unterscheidung in zentrale Wärmeherzeugung für den gesamten Stadtteil oder mehrere semi-zentrale Erzeugungskapazitäten. Für die jeweiligen Bereiche muss festgelegt werden, welche Art der Wärmebereitstellung geplant ist und mit welchem Temperaturniveau das Wärmenetz im Stadtteil oder im Gebäude vorgesehen ist.

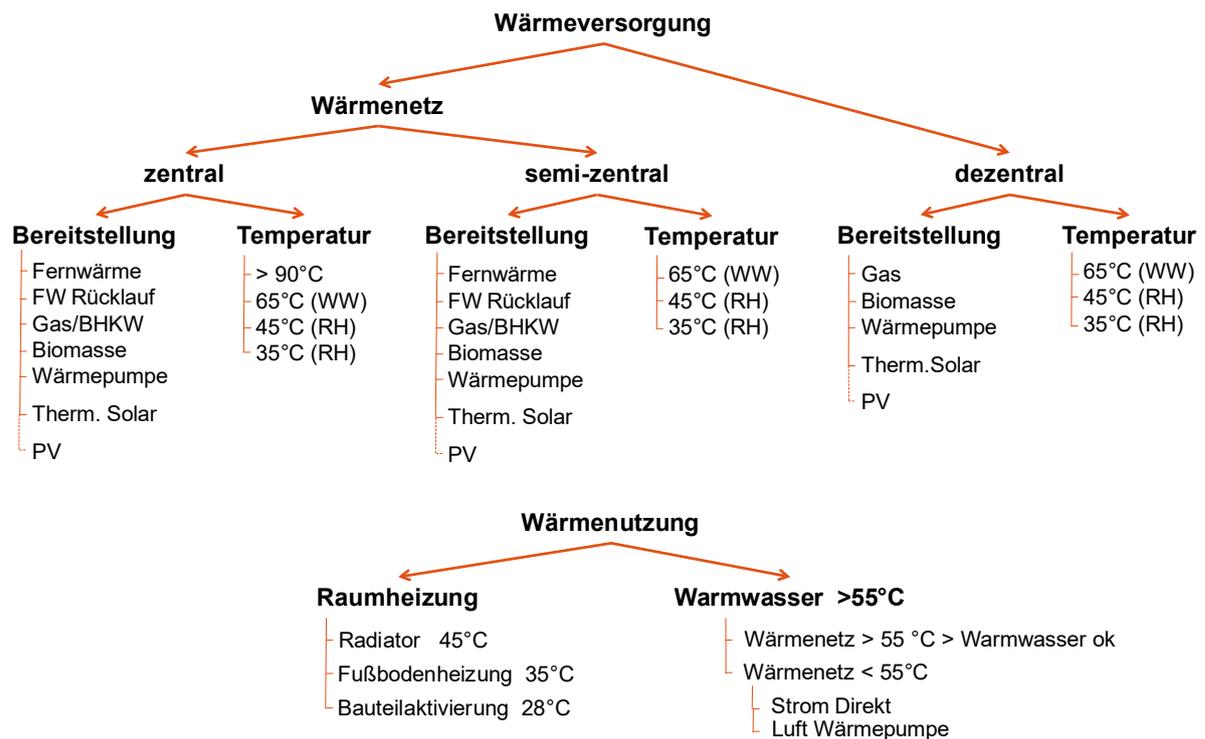


Abbildung 21: Entscheidungsbaum für Energieversorgungsoptionen für das Donauefeld (Quelle: eigene Darstellung)

Die Wärmenutzung teilt sich auf in Raumheizung und Warmwasser. Bei der Raumheizung ist entscheidend, welches Temperaturniveau gegeben ist. Daraus lassen sich die Art und die Möglichkeiten der Systeme für die Wärmeabgabe ableiten. Beim Warmwasser ist wichtig, ob ein Wärmenetz im Gebäude vorhanden ist, das mit einem Temperaturniveau geführt wird, sodass durch einen Wärmetauscher direkt das Warmwasser bereitgestellt werden kann (Temperaturniveau ca. > 55°C). Falls das Wärmenetz im Gebäude ein niedrigeres Temperaturniveau aufweist, muss überlegt werden, wie das für Warmwasser erforderliche Temperaturniveau bereitgestellt werden kann.

Nicht abgebildet sind etwaige Speichertechnologien, die vielfach in Energiekonzepten eine entscheidende Rolle spielen. Zusätzlich können weitere Wärmebereitstellungssysteme zur Regeneration von Erdsonden im Sommer notwendig sein.

Im Rahmen des Projektes wurden konkrete, für den Stadtteil plausible Energieversorgungslösungen festgelegt. Dabei wurden auch die Teilnehmenden am Projektbeirat um Beiträge gebeten. Auf Basis der Vorschläge der teilnehmenden Stakeholder wurde eine Shortlist von Energieversorgungsoptionen erstellt.

6 Auswahl der Energieversorgungsoptionen

In diesem Abschnitt werden die Energieversorgungsvarianten allgemein beschrieben, die Dimensionierungen der einzelnen Elemente dargestellt und die Art des Betriebs der einzelnen Varianten festgelegt.

6.1 Überblick zu den Energieversorgungssystemen

Die Auswahl der Energieversorgungsvarianten gliedert sich in Referenzvarianten, Varianten mit Wärmenetz (mit/ohne Fernwärme) und einer Variante ohne Wärmenetz (siehe Abbildung 22).

Referenzvarianten sind jene Varianten, die derzeit in der Regel zum Einsatz kommen. Das ist zum einen der Anschluss der Fernwärme an die Gebäude (**Variante 0**) oder ein Gas-Kessel in jedem Gebäude (**Variante 4**). Die Anforderung der Wiener Bauordnung ergibt jedoch, dass keine Wärmeversorgung ausschließlich durch einen Gas-Kessel bereitgestellt werden darf. Zur Reduktion der CO₂ Emissionen ist im konkreten Fall eine Solarthermie im Ausmaß von 1 m² Kollektorfläche je 100 m² Wohnfläche der Gebäude zu berücksichtigen.

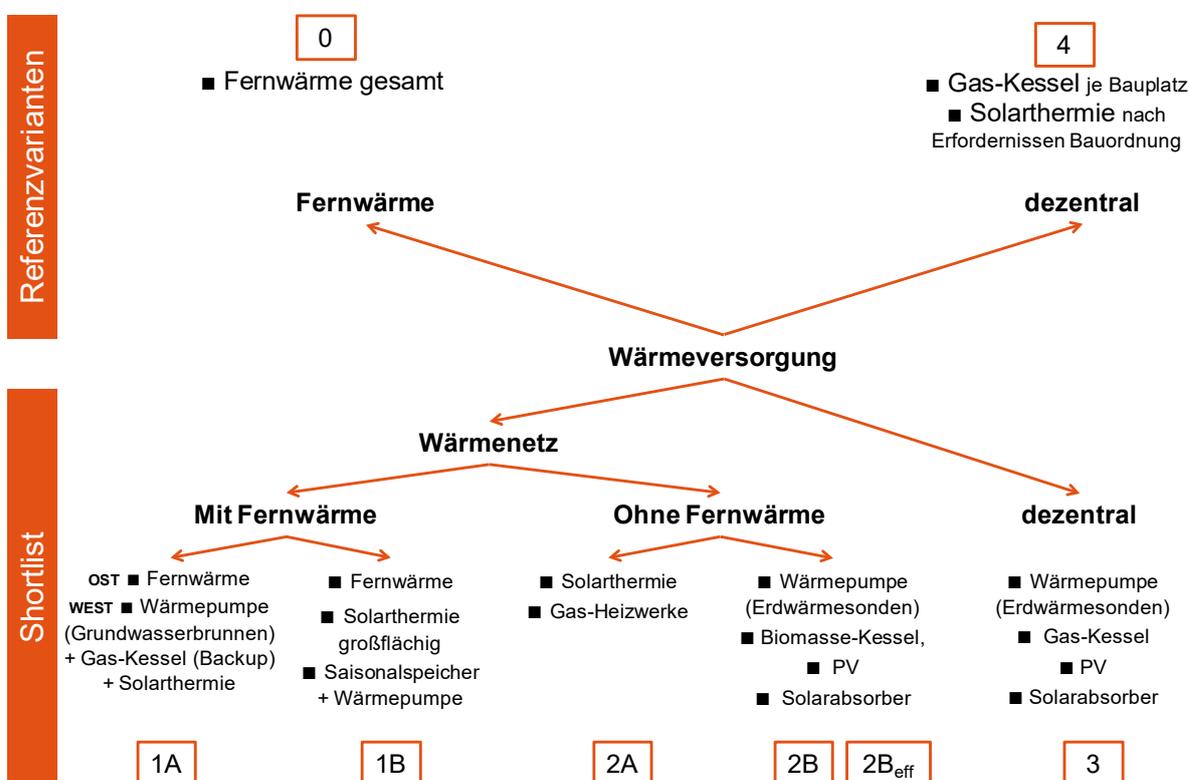


Abbildung 22: Überblick über die untersuchten Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Darstellung)

Die Varianten mit Wärmenetz und Fernwärme teilen sich wie folgt auf:

- **Variante 1A:** Bauabschnitt 1 und 2, östlich des Grünstreifens, werden mit Fernwärme versorgt. Die Versorgung von Bauabschnitt 3, westlich des Grünstreifens, erfolgt mittels Wärmepumpe und einem zentralen Gas-Kessel zur Spitzenlastabdeckung.
- **Variante 1B:** Diese Variante versucht eine größtmögliche Abdeckung mit Solarthermie. Die Solarwärme wird in einem Saisonspeicher je Bauabschnitt gespeichert. Für den zusätzlichen Wärmebedarf steht eine Wärmepumpe je Saisonspeicher sowie Fernwärme zur Verfügung:

Jene Varianten – mit Wärmenetz, jedoch ohne Fernwärme – sind wie folgt gegliedert:

- **Variante 2A:** Solarthermie ist auf ca. 30 % der Dachfläche vorgesehen, der restliche Wärmebedarf wird mit zentralen Gas-Heizwerken je Bauabschnitt bereitgestellt.
- **Variante 2B und 2B_{eff}:** Kleine Mikro-Wärmenetze je Baufeld, die Wärme wird mittels Wärmepumpe und Erdwärmesonden bereitgestellt. Spitzenlastabdeckung durch einen Biomasse-Kessel. Regenerationswärme der Erdsonden durch Free-Cooling der Wohnungen, Solarabsorber und Wärmepumpe.

Variante 3 kommt ohne ein Wärmenetz zwischen den Gebäuden aus. Hier wird eine Wärmepumpe je Bauplatz eingebaut sowie ein Gas-Spitzenlastkessel. Als Wärmequelle für die Wärmepumpe dienen Erdwärmesonden. Regenerationswärme der Erdsonden durch Free-Cooling der Wohnungen, Solarabsorber und Wärmepumpe.

Im Rahmen dieser Studie wurde versucht, eine möglichst hohe Zahl an Technologien und Versorgungskonzepten zu untersuchen. Einen Überblick über die unterschiedliche Ausgestaltung der einzelnen Varianten bietet Abbildung 23. Hier sind die Festlegungen für Wärmebereitstellung, Wärmenetz, Temperaturniveau des Wärmenetzes, Speicherarten, Warmwasserbereitstellung sowie Art der Solarenergienutzung dargestellt.

VAR	ABSCHNITT	WÄRME					WÄRMENETZ			TEMP.		SPEICHER				WW		ERN. EN		REGENERATION			
		FW	GAS	WP GW	WP ES	WP SP	GES	FELD	GEB	HT	NT	WP	SOLAR	SAIS	ERD	WP	EL	SOL	PV	FC	SA	WP	
0B	GESAMT	■					■			■													
1A	OST	■					■			■													
1A	WEST			■			■				■	■	■		■		■						
1B	GESAMT	■				■	■			■			■				■						
2A	GESAMT		■				■			■			■				■						
2B	GESAMT			■	■			■		■	■	■			■	■			■	■	■	■	■
2B _{eff}	GESAMT			■	■			■		■	■	■			■	■			■	■	■	■	■
3	GESAMT				■				■	■	■	■			■	■				■	■	■	■
4	GESAMT	■							■	■							■						

ERLÄUTERUNGEN

■	Auswahl	□	Keine Auswahl	▒	Keine Auswahl möglich
WP GW	Wärmepumpe Grundwasserbrunnen	GES	Gesamt/Bauabschnitt	HT	Hochtemperatur 55-65°C
WP ES	Wärmepumpe Erdwärmesonde	FELD	Baufeld	NT	Niedertemperatur 35 - 40°C
WP SP	Wärmepumpe Saisonspeicher	GEB	Gebäude/Bauplatz		
WP	Wärmepumpenspeicher	WP	Wärmepumpe	SOL	Solarthermie
SOLAR	Solarspeicher (vorwiegend)	EL	Direktelektrisch	PV	Photovoltaik
SAIS	Saisonspeicher				
ERD	Erspeicher (saisonal)				
				FC	Free Cooling Wohnungen
				SA	Solarabsorber
				WP	Wärmepumpen zur Regeneration

Abbildung 23: Überblick über die verschiedenen Technologien der Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Darstellung)

6.2 Beschreibung der Energieversorgungsoptionen

6.2.1 Variante 0: Referenzvariante Fernwärme gesamt

ÜBERBLICK

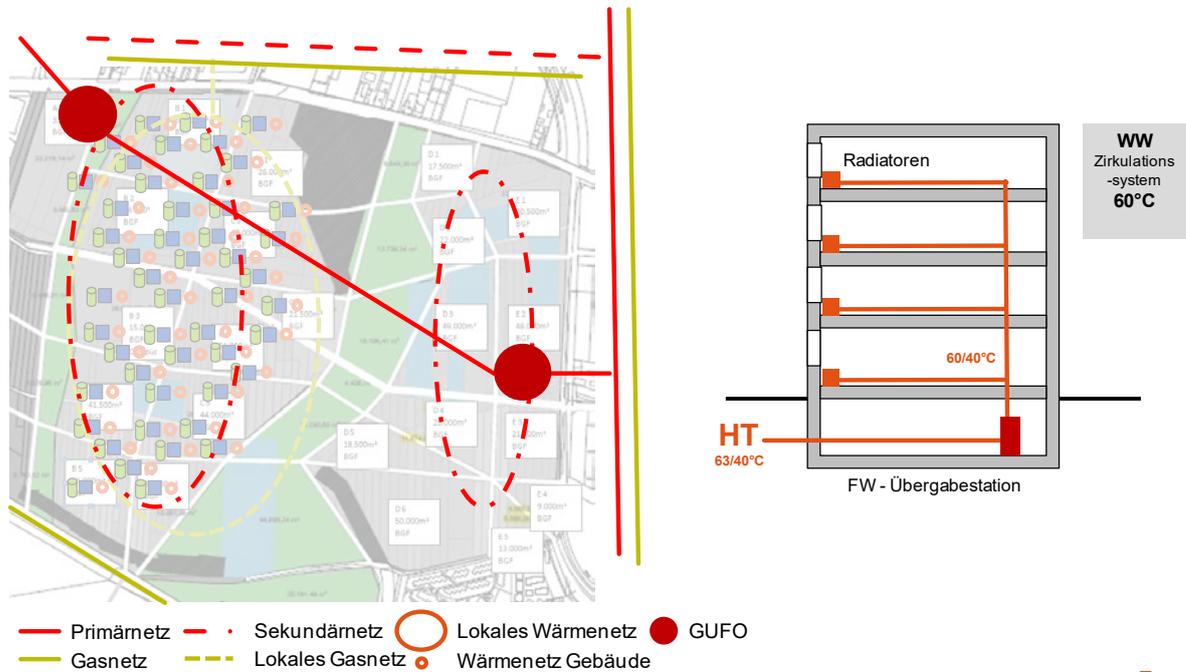
Variante 0 ist jene Variante, die davon ausgeht, dass sämtliche Gebäude im Donaufeld mit Fernwärme versorgt werden. Die derzeit fehlenden Kapazitäten werden durch eine zusätzliche Primärleitung aus dem Westen bereitgestellt. Die Kosten für den Ausbau der Primärleitung bis zum Donaufeld werden in der ökonomischen Bewertung berücksichtigt.

SYSTEMBESCHREIBUNG

Für die Nutzung der Fernwärme im Untersuchungsgebiet ist es erforderlich, das Primärnetz zu erweitern und einen GUFO im Donaufeld zu installieren. Zum einen von Osten aus dem bestehenden Primärnetz, zum anderen vom Westen. Dort ist ein längerer Weg erforderlich, um das Primärnetz ins Untersuchungsgebiet zu erweitern (siehe Abbildung 24). Die Kosten

dafür werden in der Variante berücksichtigt. Im Untersuchungsgebiet wird ein lokales Sekundärnetz mit einem Temperaturniveau von 63/40°C betrieben.

Die Wärmeabgabe erfolgt mittels Radiatoren, das Warmwasser wird mittels Zirkulationssystem bereitgestellt.



7

Abbildung 24: Energieversorgung der Variante 0 (Quelle: eigene Darstellung)

BETRIEBSWEISE

Durch die Fernwärmeversorgung kann eine ganzjährige Versorgung mit Wärme für Heizung und Warmwasser gewährleistet werden.

RISIKOBEWERTUNG

Art des Risikos	Beschreibung des Risikos
Technisches Risiko	Kein oder geringes technisches Risiko, da die angewandten Technologien bereits vielfach realisiert wurden.
Risiko der Investitionskosten	Kein oder geringes Risiko der Investitionskosten, da die angewandten Technologien bereits vielfach realisiert wurden und somit auf Erfahrungswerte für Investitionskosten zurückgegriffen werden kann.

<p>Risiko der Versorgungssicherheit</p>	<p>Hohe Versorgungssicherheit vor Ort, da bei Entfall von Fernwärmekapazitäten zur Wärmebereitstellung andere Kraftwerke zur Verfügung stehen, um den Wärmebedarf zu decken. Bei der zentralen Wärmebereitschaft besteht die Möglichkeit auf andere Energieträger zu setzen, wenn die Versorgungssicherheit bei einem einzelnen nicht gewährleistet werden kann.</p>
<p>Risiko für EnergiekonsumentInnen</p>	<p>Relativ geringes Risiko für EnergiekonsumentInnen, da die Wärmebereitstellung in der Hand des Energieversorgers liegt und bei steigenden Preisen eines Energieträgers mittelfristig auf andere Energieträger gewechselt werden kann.</p>

Tabelle 11: Risikobewertung Variante 0

6.2.2 Variante 1A: Fernwärme | Wärmenetz (Wärmepumpe)

ÜBERBLICK

Variante 1A deckt sich in Bauabschnitt 1 und 2 (Osten) mit der Referenzvariante 0. Dort wird die Wärme ausschließlich über die Fernwärme bereitgestellt. In Bauabschnitt 3 (Westen) wird nun ein Niedertemperatur Wärmenetz mit Systemtemperaturen von 38/30°C vorgesehen. Die Wärme wird über die Erträge der thermischen Solaranlage, über Wärmepumpen mit Grundwasserbrunnen und über einen Gas-Spitzenlastkessel bereitgestellt.

SYSTEMBESCHREIBUNG

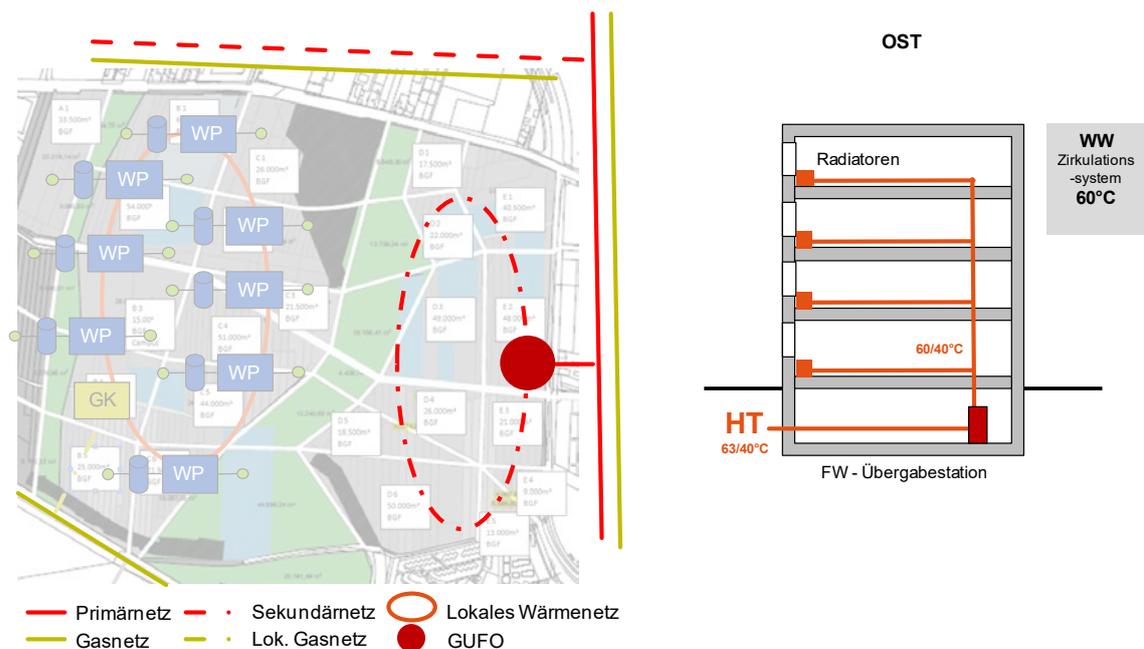


Abbildung 25: Energieversorgung der Variante 1A - Ost (Quelle: eigene Darstellung)

Für die Nutzung der Fernwärme im Untersuchungsgebiet ist es erforderlich, das Primärnetz zu erweitern und einen GUFO im Donauefeld zu installieren. Von da an kann ein lokales Sekundärnetz mit einem Temperaturniveau von 63/40°C betrieben werden.

Die Wärmabgabe erfolgt mittels Radiatoren, das Warmwasser wird mittels Zirkulationssystem bereitgestellt.

Im Westen des Donauefelds (Bauabschnitt 3) ist ein Niedertemperatur-Wärmenetz vorgesehen, dass variablen Systemtemperaturen von 38-50/30°C betrieben wird. Ein Gas-Heizwerk versorgt das Wärmenetz zu Spitzenlasten. In diesem Fall werden höhere Vorlauftemperaturen im Nahwärmenetz berücksichtigt, sodass eine ökologisch sowie ökonomisch sinnvolle Dimensionierung der Wärmeleitungen ermöglicht wird.

In jedem Baufeld werden Wärmepumpenanlagen installiert. Die Grundwasserbrunnen zur Versorgung der Wärmepumpen werden über den gesamten Bauabschnitt 3 verteilt. Dabei ist auf eine Anordnung, die die Fließrichtung des Grundwassers berücksichtigt, zu achten. Die Brunnen werden in ein Grundwassernetz eingebunden, an das die Wärmepumpen angeschlossen werden.

Die Wärmeerträge aus den thermischen Solaranlagen (die Kollektorfläche orientiert sich an einer maximalen 30%-igen Belegung der Dachflächen) werden dezentral je Baufeld in Solarpufferspeichern gespeichert.

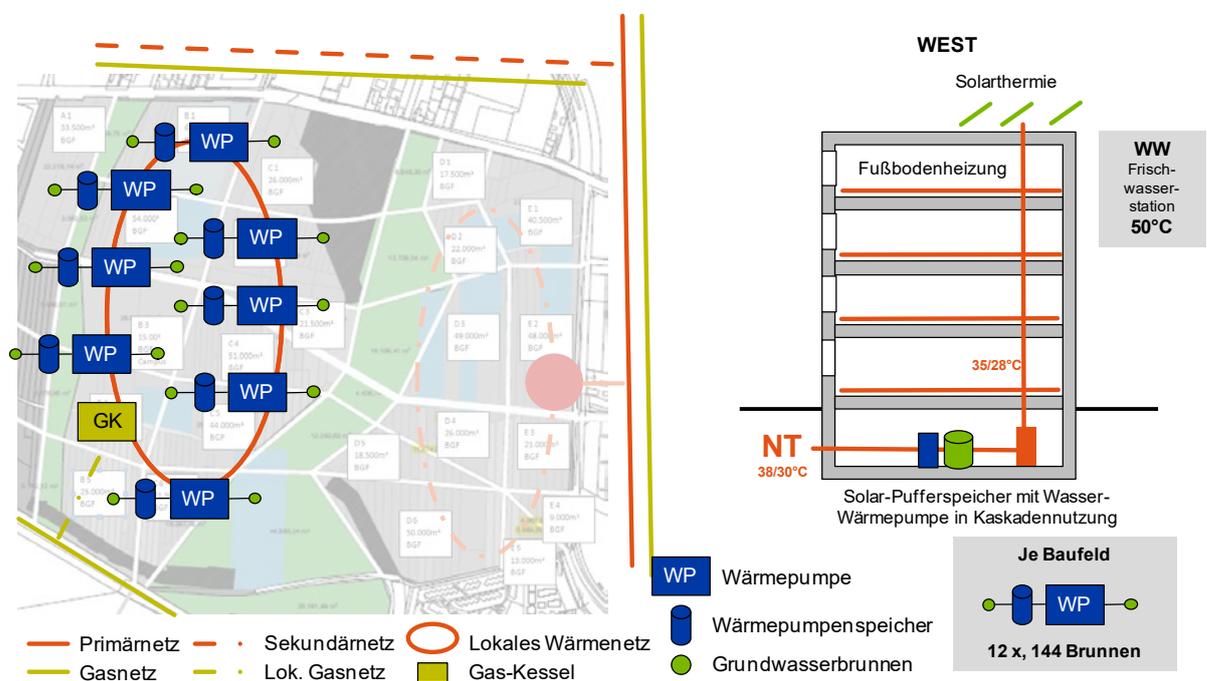


Abbildung 26: Energieversorgung der Variante 1A – West (Quelle: eigene Darstellung)

Die Werte für den Ertrag der Grundwasserbrunnen kommen aus der Studie „Erdwärmepotenzialerhebung Stadtgebiet Wien“ (GÖTZL 2014) sowie aus Gesprächen mit

Experten der Bundesanstalt für Geologie. Dabei wurden noch keine detaillierten Erhebungen und Messungen vor Ort im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Die Erträge aus dem Grundwasser können von den Werten aus der Studie abweichen und somit die Dimensionierung und Funktionsweise dieser Variante ändern.

BETRIEBSWEISE

Analog zur Referenzvariante 0 erfolgt bei der Variante 1A im Ostteil (Bauabschnitte 1 und 2) eine ganzjährige Versorgung mittels Fernwärme.

Das Nahwärmenetz im Westteil wird in den Übergangszeiten vorwiegend über die Grundwasserwärmepumpen versorgt. Das Warmwasser wird, wenn keine ausreichende solarthermische Deckung erreicht werden kann, über dezentrale Kaskaden-Wärmepumpen auf ca. 50 °C vorgeheizt. An heißen Sommertagen, wenn kein Wärmebedarf vorliegt und das Warmwasser ausschließlich über Solarthermie gedeckt werden kann, könnte das Grundwasser auch zur Kühlung der Gebäude eingesetzt werden. Zu Spitzenlastzeiten im Winter wird das Vorlauftemperaturniveau im Nahwärmenetz mittels der semizentralen Spitzenlastgaskessel angehoben, die die Grundwärmeversorgung über die Grundwasserwärmepumpen unterstützen.

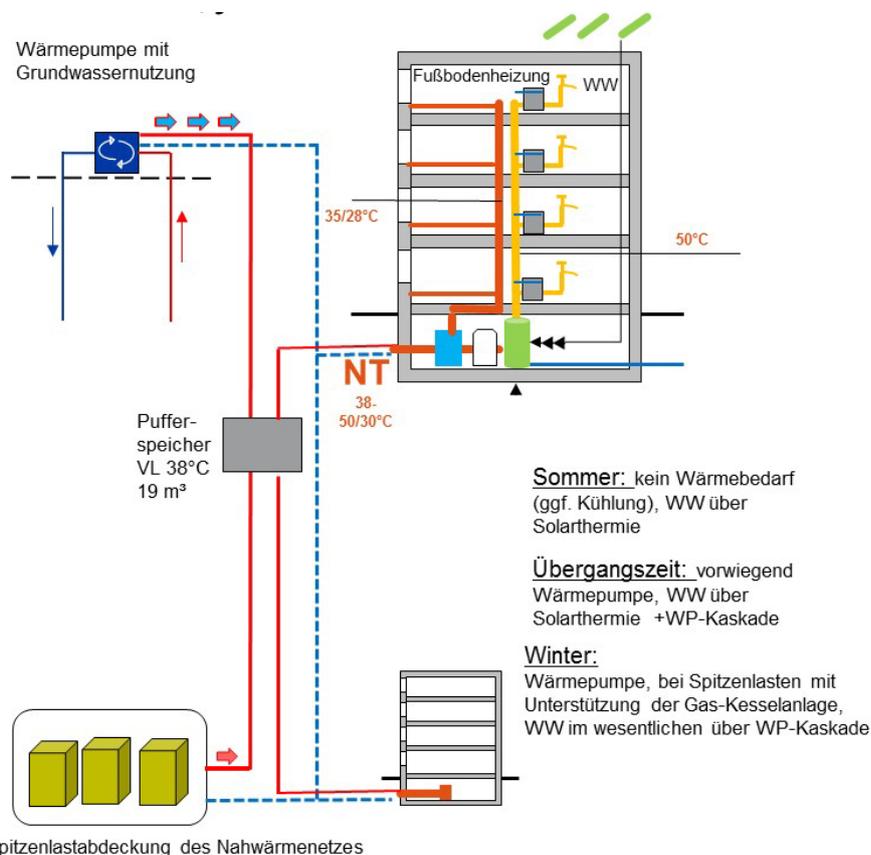


Abbildung 27: Energieversorgung und Betriebsweise der Variante 1A – West (Quelle: eigene Darstellung)

RISIKOBEWERTUNG

Art des Risikos	Beschreibung des Risikos
Technisches Risiko	Bauabschnitt 1 + 2: Kein oder geringes technisches Risiko, da die angewandten Technologien bereits vielfach realisiert wurden. Bauabschnitt 3: Höheres technisches Risiko, da für die Realisierung von Wärmenetzen mit kombinierter Wärmebereitstellung durch ein Gas-Heizwerk und dezentralen Wärmepumpen mit Grundwasserbrunnen keine Erfahrungswerte vorliegen. Bei Grundwasserbrunnen besteht zusätzlich das Risiko, dass die erwarteten Erträge aus dem Grundwasser nicht im entsprechenden Ausmaß realisiert werden können, sowie mittelfristig eine mögliche Veränderung der Erträge im Laufe der Zeit.
Risiko der Investitionskosten	Bauabschnitt 1 + 2: Kein oder geringes Risiko der Investitionskosten, da die angewandten Technologien bereits vielfach realisiert wurden und somit auf Erfahrungswerte für Investitionskosten zurückgegriffen werden kann. Bauabschnitt 3: Höhere Risiken der Investitionskosten durch neue Elemente im Energiesystem (Wärmepumpen, Grundwasserbrunnen), wobei viele Elemente (Gas-Heizwerk, Wärmenetz, Wärmespeicher, Solarthermie) bereits vielfach erprobt sind und auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden kann.
Risiko der Versorgungssicherheit	Hohe Versorgungssicherheit vor Ort, da in Bauabschnitt 1 + 2 bei Entfall von Fernwärmekapazitäten zur Wärmebereitstellung andere Kraftwerke zur Verfügung stehen, um den Wärmebedarf zu decken. In Bauabschnitt 3 kann auch durch das Wärmenetz, einer Vielzahl von Erzeugungskapazitäten und der Nutzung von erneuerbaren Energiequellen vor Ort sowie der unterschiedlichen Energieträger (Gas, Strom) eine hohe Versorgungssicherheit gewährleistet werden.
Risiko für EnergiekonsumentInnen	Relativ geringes Risiko für EnergiekonsumentInnen, da zu einem großen Teil auf erneuerbare Energiequellen vor Ort und auf unterschiedliche Energieträger (Gas, Strom) gesetzt wird, sodass hier auch ein ökonomisch optimierter Betrieb möglich ist.

Tabelle 12: Risikobewertung Variante 1A

6.2.3 Variante 1B: Vollsolar + Saisonspeicher

ÜBERBLICK

Variante 1B soll die solarthermischen Potentiale voll ausschöpfen und berücksichtigt daher eine maximale Fläche für Solarthermie. In dieser Variante wird angenommen, dass 80% der Dachflächen für Solarthermie genutzt werden. Da eine derart große Dachfläche zumeist nicht vollständig verfügbar sein wird, müssen hierzu auch Fassadenflächen der oberen Geschosse genutzt werden.

Die Wärmeerträge der Solarthermie werden in Saisonspeichern eingebracht. Die Saisonspeicher werden als Behälter-Wärmespeicher, d.h. unterirdische Stahlbetonbehälter, die mit Wasser gefüllt sind, berücksichtigt. Diese Behälter können normalerweise auch unter Grünflächen untergebracht werden, wobei dies zu einer Erhöhung des Geländes führt („Rodelhügel“).

Als Back-Up Systeme werden zum einen Wärmepumpen eingesetzt, die auch den Wärmespeicher als Senkenmedium (Tiefenentladung) einsetzen. Darüber hinaus wird als zusätzliche Versorgung Fernwärme eingesetzt.

SYSTEMBESCHREIBUNG

Thermische Solaranlagen werden auf sämtlichen Dächern der Gebäude berücksichtigt, zum Teil auch an Fassadenfläche, sofern der Platzbedarf am Dach nicht ausreicht. Der Wärmeertrag wird über ein lokales Wärmenetz in die Saisonspeicher eingebracht. Um einen Betrieb, weitestgehend unabhängig vom Entwicklungsfortschritt im Planungsgebiet zu gewährleisten, werden jeweils mehrere Saisonspeicher in allen Bauabschnitten vorgesehen. Die insgesamt vorgesehenen 12 Saisonspeicher haben eine Größe von 6.000 bis 10.000 m³. Die Grundwasser-Wärmepumpenanlagen können genutzt werden um die Speicher auch unter die Vorlauftemperaturen zu entladen. Fernwärme wird eingesetzt, wenn höhere Wärmeleistungen erforderlich werden und auch als Backup, wenn die Speicher aufgebraucht sind.

Das lokale Wärmenetz wird mit Systemtemperaturen von 38/30°C betrieben, im Gebäude liegen Systemtemperaturen von 35/28°C vor.

Die Heizwärmeversorgung erfolgt mittels Fußbodenheizung. Das Warmwasser wird über die Wärmeübergabestationen in den Gebäuden vorerwärmt und mittels dezentralen Durchlauferhitzern in den Wohnungen auf das jeweils erforderliche Temperaturniveau nacherhitzt.

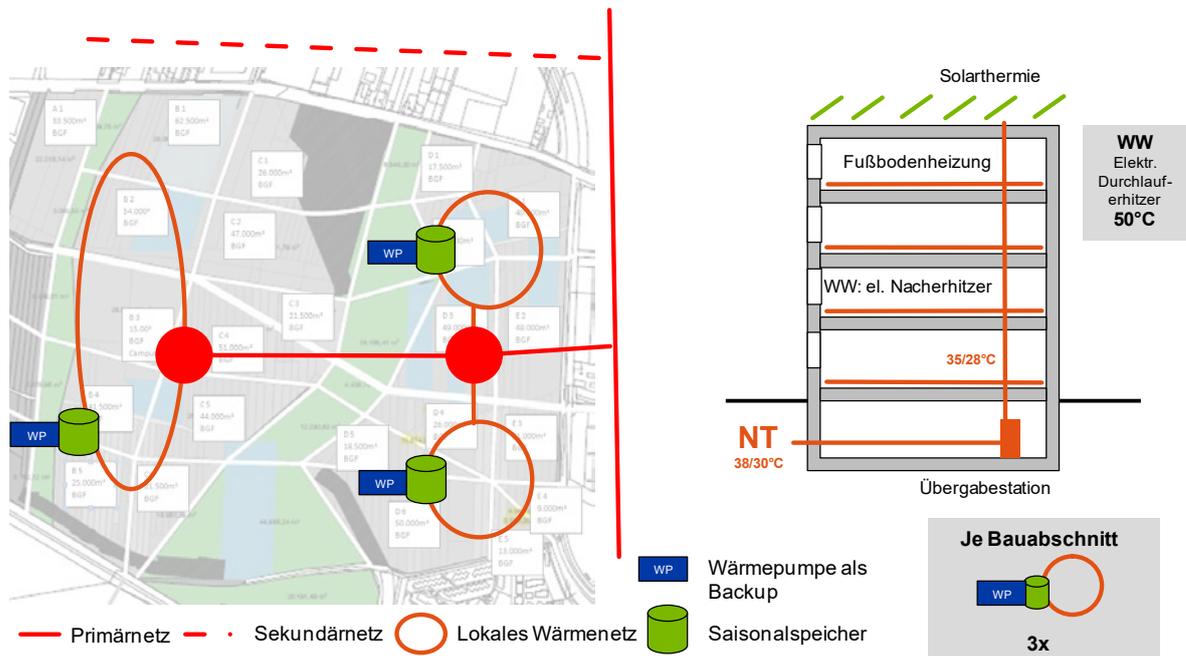


Abbildung 28: Energieversorgung der Variante 1B (Quelle: eigene Darstellung)

BETRIEBSWEISE

Das zentrale Element des Energiekonzeptes der Variante 1B sind die Saisonalspeicher. Diese werden während des Sommers durch die solarthermischen Anlagen auf den Dächern und Fassaden bis zu einer maximalen Temperatur von 85 °C aufgeladen. Diese Temperatur ist ausreichend, um die Warmwasserversorgung während der Sommer- und Herbstmonate zu gewährleisten. Sinkt die Vorlauftemperatur in den Nahwärmenetzen unter 55 °C erfolgt eine Nacherhitzung über die Durchlauferhitzer. Solange die Temperatur im Saisonalspeicher über 38 °C ist, kann die Beheizung über die Fußbodenheizung, ohne weitere Wärmeerzeuger erfolgen. Sinkt sie unter 38 °C erfolgt eine Speicher-Tiefenentladung bis auf ca. 10 °C über die Wärmepumpen. Ist der Speicher im Winter vollständig entladen, erfolgt die Grundwärmeversorgung über die Speicherwasser-Wärmepumpen. Bei niedrigen Außentemperaturen wird die Fernwärme als weiterer Wärmelieferant hinzugezogen. Wenn im Frühjahr die solaren Gewinne wieder ansteigen, kann der Saisonalspeicher wieder beladen werden und Beiträge zur Versorgung des Raumwärme- und Warmwasserbedarfs liefern.

Sommer: 100 % Solarthermie (Temperaturniveau Vorlauf 65-85 °C)

Herbst: 100 % Solarthermie aus Saisonspeicher ggf. dezentrale el. Nacherhitzung des Warmwassers (Temperaturniveau Vorlauf ca. 40-70 °C)

Winter: 5-20 % Solarthermie aus Saisonspeicher; Spitzenlast: Fernwärme ca. 10-20 %; Rest (ca. 70 %): Wärmepumpe bzw. dezentrale el. Nacherhitzung des Warmwassers (Temperaturniveau Vorlauf ca. 40°C)

Frühjahr: 10-30 % Solarthermie; Rest (ca. 80 %): Wärmepumpe bzw. dezentrale el. Nacherhitzung des Warmwassers (Temperaturniveau Vorlauf max. 40°C, ggf. höher bei ausreichendem Solarertrag)

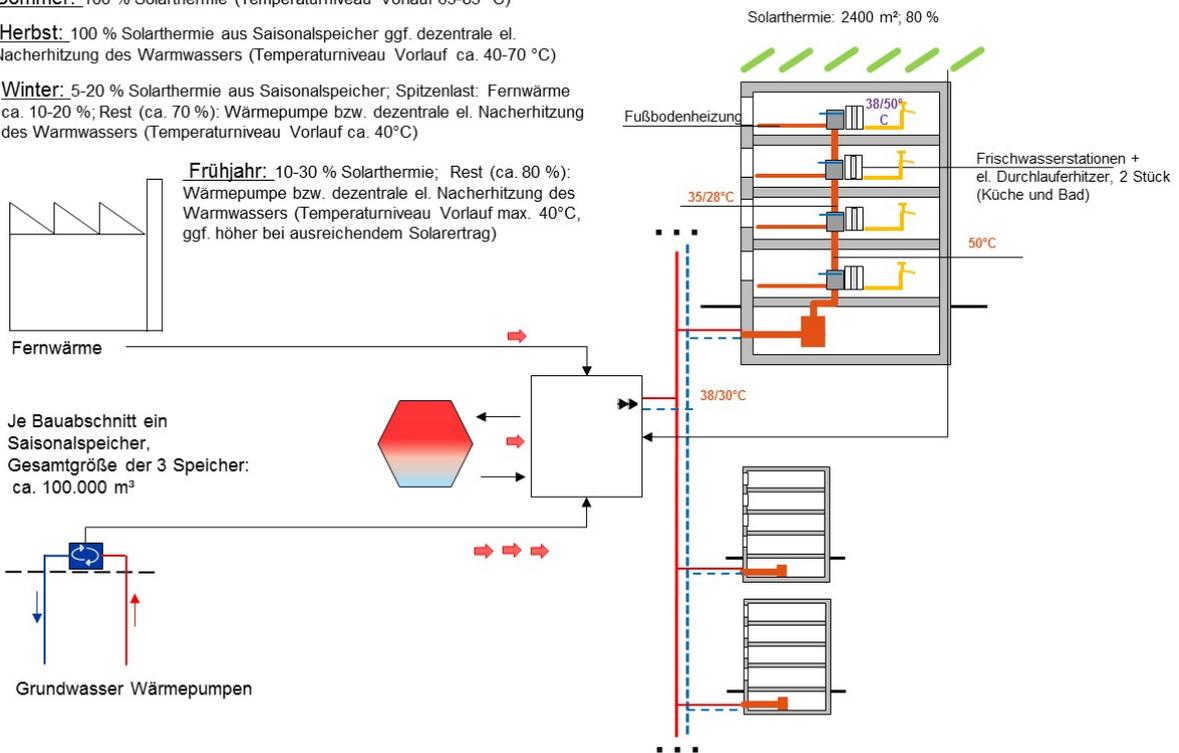


Abbildung 29: Energieversorgung und Betriebsweise der Variante 1B (Quelle: eigene Darstellung)

Für das System der Saisonspeicher konnte auf Basis einer Simulationsberechnung eine solare Deckungsrate von ca. 50 % errechnet werden (siehe Abbildung 30). Hierfür sind Saisonspeicher von einer Gesamtgröße von insgesamt ca. 100.000 m³ erforderlich. Für die Saisonspeicher und die zentralen Systeme sind bei der Flächenwidmung entsprechende Flächen zu reservieren.

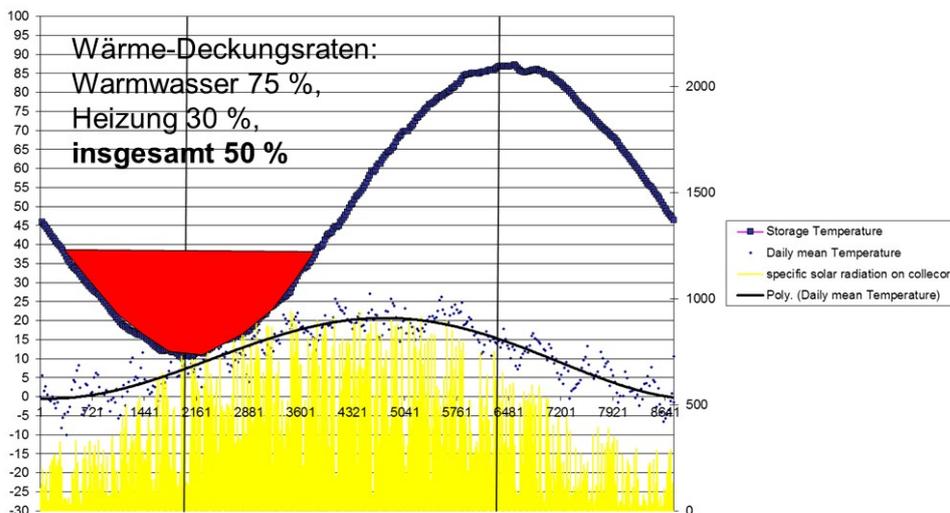


Abbildung 30: Simulation der Saisonspeicher der Variante 1B (Quelle: eigene Darstellung)

RISIKOBEWERTUNG

Art des Risikos	Beschreibung des Risikos
Technisches Risiko	<p>Hohes technisches Risiko, da die geplanten technischen Lösungen für Saisonspeicher derzeit nur eine geringe Verbreitung haben. Als Saisonspeicher kommen große Erdtanks aus Beton zur Speicherung von Wasser in Frage, die im Boden die Fundamente aufweisen und in der Regel vom Boden herausragen. Vor dem Bau eines derartigen Saisonspeichers ist zu prüfen, ob der Boden ausreichend tragfähig für die gewählte Konstruktion ist.</p> <p>In dieser Variante ist vorgesehen, dass rund 80% der gesamten Dachflächen für die Installation von Solarkollektoren zur Verfügung stehen müssen. Die Dachflächen müssten hierfür überwiegend als nach Süden geneigte Pultdächer ausgebildet werden und könnten dann nicht mehr für andere Nutzungen wie z.B.: Haustechnik, Dachbegrünung, Dachwohnungen, etc. bereitgestellt werden. Aus jetziger Sicht ist es fraglich, ob 80% der Dachflächen oder eine entsprechende weitestgehend unverschattete Alternativfläche tatsächlich für Solarthermie zur Verfügung steht.</p>
Risiko der Investitionskosten	Hohes Risiko der Investitionskosten, da die Saisonspeicher nur in wenigen Fällen realisiert wurden und nur auf wenige Erfahrungswerte für Investitionskosten zurückgegriffen werden kann.
Risiko der Versorgungssicherheit	Geringes Risiko der Versorgungssicherheit, da zu einem Großteil auf erneuerbare Energiequellen vor Ort zurückgegriffen werden kann. Zu einem kleinen Teil auf die Fernwärme Wien, wo auch von einer guten Versorgungssicherheit ausgegangen werden kann.
Risiko für EnergiekonsumentInnen	Das Risiko für EnergiekonsumentInnen liegt hier weniger bei den Kosten für Energieträger und Energietarife, als vielmehr bei den hohen Investitionskosten für Saisonspeicher und Solarthermie sowie deren Wartung, Instandhaltung und Erneuerung. Durch die Vielzahl an Elementen und komplexen Systemen bestehen Risiken für steigende Wärmetarife.

Tabelle 13: Risikobewertung Variante 1B

6.2.4 Variante 2A: Gas-Heizwerke

ÜBERBLICK

In den Varianten 2A und 2B besteht ein Wärmenetz zwischen den Gebäuden, die Wärme wird jedoch ohne Beitrag der Fernwärme bereitgestellt. In Variante 2A sind Gas-Heizwärmezentralen für jeden Bauabschnitt vorgesehen. Ein geringer Anteil wird abermals durch die Solarthermie beigetragen.

SYSTEMBESCHREIBUNG

Die Versorgung der Gas-Heizwerke erfolgt durch Gas-Leitungen im Osten und an der Alten Donau. Die Größe der Gas-Heizwerke in den Bauabschnitten liegt zwischen 6 und 18 MW. Von den Heizwerken wird ein bauabschnittsweise lokales Wärmenetz mit einem Temperaturniveau von 63/40°C betrieben. Die Erträge der Solarthermie werden lokal im Wärmespeicher eingebracht.

Die Leistung der Gaszentralen richtet sich nach dem Leistungsbedarf in den einzelnen Bauabschnitten. Für ein optimales Teillastverhalten und eine maximale Betriebssicherheit werden pro Zentrale drei Kessel berücksichtigt. Für die Heizzentralen müssen entsprechende Flächen auf den Baufeldern (jeweils ca. 1000 m²) reserviert werden. Die Wärmeübergabe für Heizung und Warmwasser erfolgt an den Bauplätzen über Wärmeübergabestationen.

Durch die relativ hohe Spreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur (63/40°C) kann eine energie- und kosteneffiziente Nahwärmeversorgung gewährleistet werden.

Die Wärmabgabe erfolgt mittels Radiatoren, die bzgl. der Systemtemperaturen geeignet dimensioniert sind. Das Warmwasser wird mittels Zirkulationssystem bereitgestellt.

Die Warmwasserversorgung wird durch Solaranlagen unterstützt. Die Kollektorfläche wird so ausgelegt, dass 30 % der Dachflächen belegt sind. Dadurch kann ca. 60 % des Warmwasserbedarfs gedeckt werden.

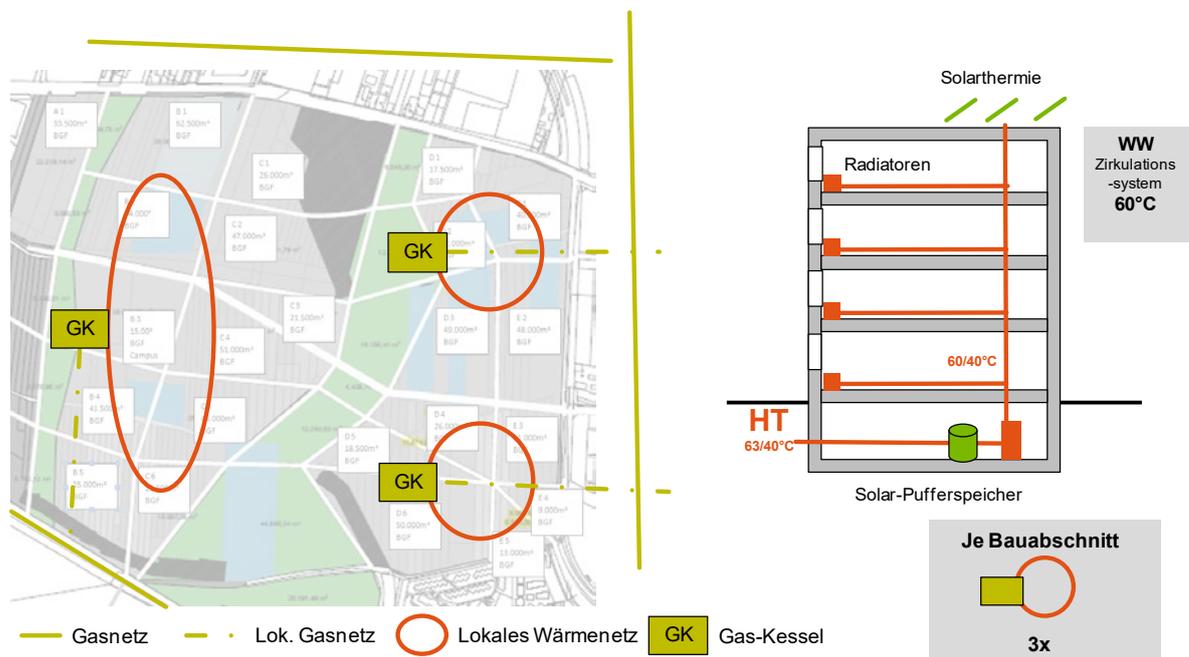


Abbildung 31: Energieversorgung der Variante 2A (Quelle: eigene Darstellung)

BETRIEBSWEISE

Die Heizzentralen gewährleisten eine Ganzjährige Versorgung des Warmwasser- und Heizwärmebedarfs. Insbesondere während der Sommermonate wird ein wesentlicher Anteil des Warmwassers (insgesamt ca. 60 %) durch die Solaranlagen bereitgestellt.

- Winter:** Warmwasser: geringer Solarthermiebeitrag
Heizung: über Nahwärme
- Sommer:** Warmwasser: Solarthermie deckt große Teile des WW-Bedarfs,
Heizung: keine (Nahwärmenetz nur bei Bedarf aktiv)

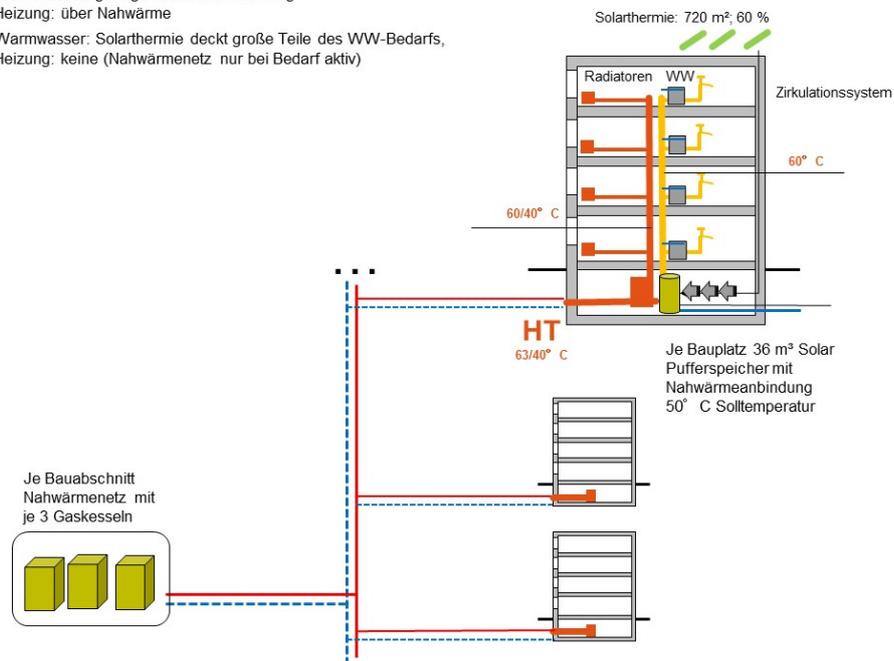


Abbildung 32: Energieversorgung und Betriebsweise der Variante 2A (Quelle: eigene Darstellung)

RISIKOBEWERTUNG

Art des Risikos	Beschreibung des Risikos
Technisches Risiko	Kein oder geringes technisches Risiko, da die angewandten Technologien bereits vielfach realisiert wurden.
Risiko der Investitionskosten	Kein oder geringes Risiko der Investitionskosten, da die angewandten Technologien bereits vielfach realisiert wurden und somit auf Erfahrungswerten für Investitionskosten zurückgegriffen werden kann.
Risiko der Versorgungssicherheit	Hohe Versorgungssicherheit vor Ort, da im Heizwerk mehrere Kessel installiert werden und so bei einem Ausfall eines Kessels noch andere genutzt werden können. Die langfristige Verfügbarkeit und die Versorgungssicherheit von Gas liegen nicht in den Händen des Energieversorgers für das Donauefeld, sodass hier erhebliche Risiken vorliegen.
Risiko für EnergiekonsumentInnen	Die Wärmeversorgung wird zu einem großen Teil mit dem Energieträger Gas gewährleistet. Hier liegt die Preisbildung nicht in den Händen des Energieversorgers, da diese Ressourcen extern zugekauft werden müssen. Somit besteht langfristig das Risiko von steigenden Gas-Preisen, unter Berücksichtigung einer weltweit steigenden Nachfrage und einem geringeren Angebot an Gas.

Tabelle 14: Risikobewertung Variante 2A

6.2.5 Varianten 2B und 2B_{eff}: Mikrowärmenetze Wärmepumpe

ÜBERBLICK

In Variante 2B werden Mikro-Wärmenetze innerhalb der Baufelder vorgesehen. Die Mikro-Wärmenetze verbinden die einzelnen Gebäude der Bauplätze und gehen nicht über ein Baufeld hinaus.

Die Wärmebereitstellung erfolgt mittels Wärmepumpen, die von Erdwärmesonden gespeist werden. Zur Spitzenlastabdeckung ist ein Biomasse-Kessel vorgesehen. Das Mikro-Wärmenetz wird auf Niedertemperaturniveau betrieben mit Systemtemperaturen von 38/30°C.

Die Variante 2B_{eff} unterscheidet sich von Variante 2B im Niveau der Energienachfrage: Durch zusätzliche Effizienzmaßnahmen wird der Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser reduziert.

SYSTEMBESCHREIBUNG

In jedem Baufeld wird eine Heizzentrale mit Wärmepumpen und Biomasse-Kesseln installiert. Als Quellmedium für die Wärmepumpen werden Erdwärmesonden verwendet.

Das Warmwasser wird mittels kombinierter Wasser- und Luft-Wärmepumpen bereitgestellt. Diese Wärmepumpen stehen in den einzelnen Gebäuden und liefern die Wärme in die dezentralen Wärmespeicher. In der Zeit der Regeneration der Erdsonden (im Sommer) ist das Quellmedium die Außenluft oder die Abluft, sofern eine zentrale Entlüftung vorgesehen ist. Außerhalb der Zeit der Regeneration wird der Vorlauf der Raumheizung mit einer Auslegungstemperatur von 38°C als Quellmedium für die Warmwasserbereitstellung verwendet. Die Erträge der Solaranlagen auf den Dächern werden für die Regeneration der Erdsonden (Solarabsorber) und für den Betrieb der Luft-Wärmepumpe (PV) genutzt.

Die Wärmabgabe erfolgt mittels Fußbodenheizung, das Warmwasser wird mittels Frischwasserstationen bereitgestellt. Durch die gegenüber Radiatoren und Zirkulationssystem abgesenkten Systemtemperaturen kann eine effiziente Wärmeversorgung gewährleistet werden.

Die Regeneration der Erdsonden erfolgt mittels Free-Cooling der Wohnungen über die Fußbodenheizung und über Solarabsorber am Dach (Größenordnung 25% der Dachfläche) sowie er Luft/Wasser-Wärmepumpe, die im Sommer auch zur Regeneration der Erdsonden eingesetzt werden kann.

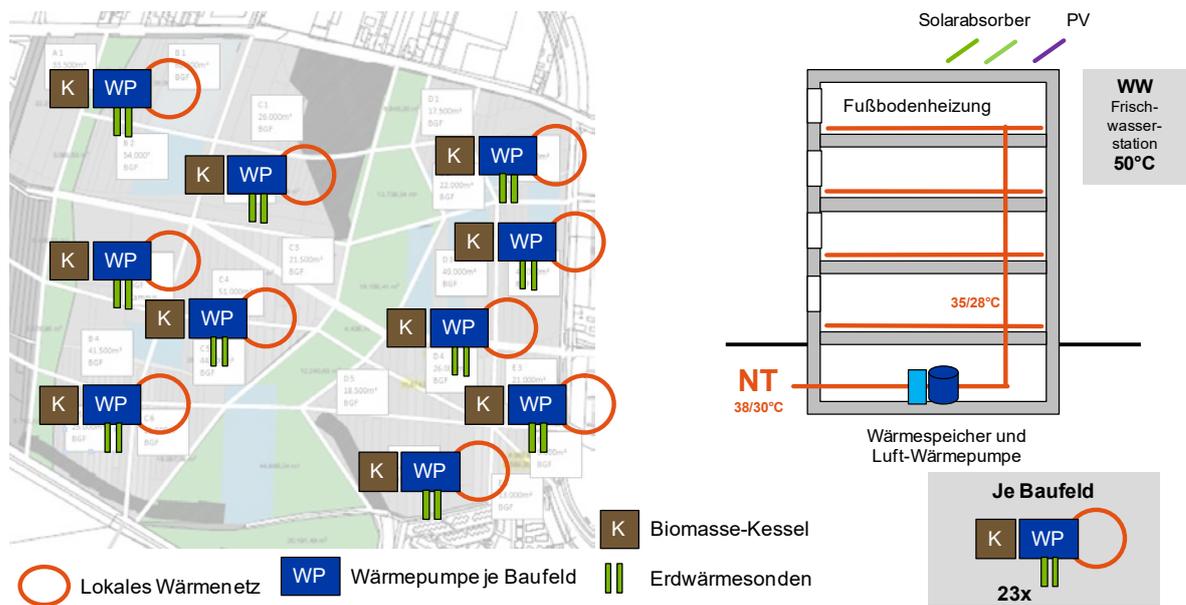


Abbildung 33: Energieversorgung der Variante 2B (Quelle: eigene Darstellung)

Zur Gewährleistung einer maximalen Betriebssicherheit und optimalen Teillasteffizienz werden pro Baufeld je zwei Wärmepumpen von je rund 215 kW vorgesehen. Für diese Wärmepumpen werden 47 Sonden á 150 m je Baufeld benötigt bei einer Entnahmeleistung von 40 W/m. Das sind insgesamt 1.076 Erdsonden im Ausmaß von 161.470 m.

Die Werte für den Ertrag der Erdwärmesonden kommen aus der Studie „Erdwärmepotenzialerhebung Stadtgebiet Wien“ (GÖTZL 2014). Dabei wurden noch keine detaillierten Erhebungen und Messungen vor Ort im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Die Erträge können von den Werten aus der Studie abweichen und somit die Dimensionierung und Funktionsweise dieser Variante ändern.

Die Leistungsaufnahme der zwei Biomassekessel beträgt insgesamt 400 kW. Die separate Wärmebereitstellung für den Warmwasserbedarf wird pro Bauplatz über dezentrale ca. 90 kW große Luftwärmepumpen gewährleistet.

In Variante 2B_{eff} sind die Leistungsaufnahmen geringer: zwei Wärmepumpen zu je 165 kW und 290 kW für die Biomasse Kesseln. Erdsonden sind im Ausmaß von 123.918 m eingeplant.

BETRIEBSWEISE

Die Betriebsweise der Wärmepumpen, insbesondere der gebäudedezentralen kombinierten Wasser- und Luft-Wärmepumpen zur Warmwasserbereitung, erfolgt PV ertrags geregelt. Die überschüssige Energie der dezentralen kombinierten Wasser- und Luft-Wärmepumpen wird

in den dezentralen Warmwasserpufferspeichern eingespeichert. Auch bei der Beheizung könnte durch thermische Aktivierung der Gebäudespeichermassen (unmerkliche temporäre Überheizung $< 0,5 \text{ K}$) ein begrenzter ertrags geregelter Betrieb ermöglicht werden. In den Sommermonaten werden die Erdwärmesonden genutzt, um die Gebäude über die Fußbodenheizung zu kühlen. Eine weitere Regeneration der Erdsonden wird durch die Aktivierung der auf den Dächern vorgesehenen Solarabsorber erreicht. Diese können aktiviert werden, wenn weder Heiz- noch Kühlbedarf besteht. Diese Art der Saisonspeichernutzung hat einen positiven Effekt auf die Auslegung und die Effizienz der Systeme. Während des Regenerationsbetriebes schalten die kombinierten Wasser- und Luft-Wärmepumpen zur Warmwasserbereitung in den einzelnen Gebäuden auf den Luftbetrieb um. Während der Heizperiode werden sie als 2. Kaskadenstufe über den Heizkreis betrieben.

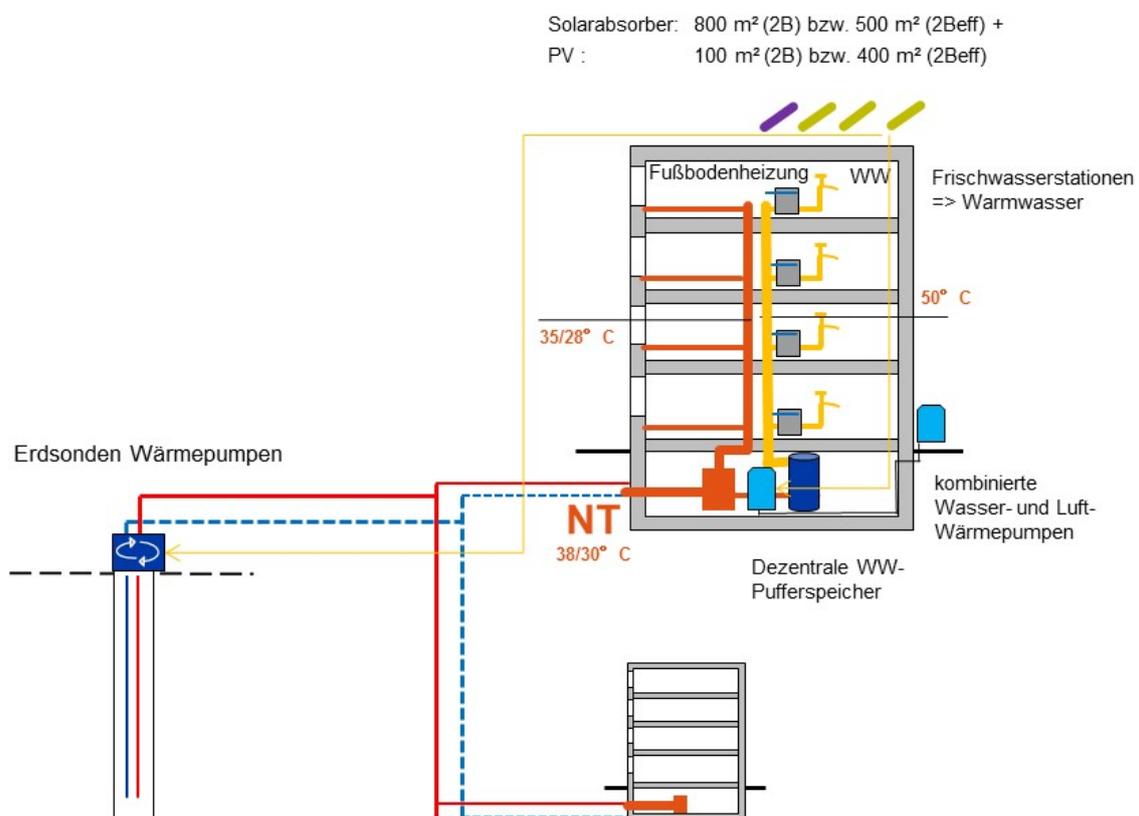


Abbildung 34: Energieversorgung und Betriebsweise der Variante 2B (Quelle: eigene Darstellung)

RISIKOBEWERTUNG

Art des Risikos	Beschreibung des Risikos
Technisches Risiko	Die zu Grunde gelegten Erdwärmepotentiale basieren auf einem weitläufigen Raster an Bohrungen und Messungen sowie Modellen zur Ermittlung der Werte für bestimmte Standorte in Wien. Für Erdwärmesonden sind Bohrungen und Messungen vor Ort im Donauefeld zu realisieren, um präzisere Werte für die Entnahmeleistung zu erhalten. Das Konzept mit Erdwärmesonden in dieser Größenordnung wurde bisher noch nicht realisiert. Daher müssen vorab noch Prüfungen zur Realisierung dieses Konzeptes umgesetzt werden, da nicht auf bestehendes Know-how zurückgegriffen werden kann.
Risiko der Investitionskosten	Aufgrund geringer Erfahrungswerte bei den eingesetzten Technologien bei der Anwendung in dieser Größenordnung besteht Risiko bei den Investitionskosten.
Risiko der Versorgungssicherheit	Zum einen liegt eine hohe Versorgungssicherheit vor, da hier vorwiegend auf erneuerbare Energiequellen vor Ort zurückgegriffen wird. Zum anderen jedoch basiert die Kapazität der Wärmebereitstellung alleinig auf Erdwärmesonden. Hier kann die Entnahmeleistung anders ausfallen als geplant und sich auch im Laufe der Zeit verändern. Für den Fall veränderter Bedingungen bei der oberflächennahen Geothermie liegt kein Backup-Heizsystem vor.
Risiko für EnergiekonsumentInnen	Das Risiko für EnergiekonsumentInnen liegt hier weniger bei den Kosten für Energieträger und Energietarife, als vielmehr bei den hohen Investitionskosten für Erdwärmesonden. Begünstigt wird die Situation durch den hohen Anteil an erneuerbaren Energiequellen vor Ort und die geringe Endenergie sowie die derzeit niedrigen Stromtarife.

Tabelle 15: Risikobewertung Variante 2B und 2B_{eff}

6.2.6 Variante 3: Wärmepumpe Gebäude

ÜBERBLICK

Die Variante 3 kommt ganz ohne Wärmenetz aus. Hier wird die Wärme im Gebäude bereitgestellt. Diese Variante sieht vor, dass dezentrale Wärmepumpen mit Quellmedium Erdwärmesonden die Wärme für Raumheizung und Warmwasser bereitstellen. Die Spitzenlastabdeckung erfolgt mittels Gas-Kesseln. Die Beheizung erfolgt über eine Fußbodenheizung.

Das Warmwasser wird mittels Frischwasserstationen in den Wohnungen bereitgestellt.

SYSTEMBESCHREIBUNG

Pro Bauplatz sind zwei Wärmepumpen mit einer Leistung von je 125 kW vorgesehen. Dafür werden 25 Sonden a 150 m bei einer Entnahmeleistung von 40 W/m benötigt. Zusätzlich zur Wärmepumpe sind 2 Gaskessel mit Leistungen von 90 und 190 kW eingeplant. Die Solarabsorber zur Regeneration der Erdsonden werden so dimensioniert, dass eine maximale Dach-Belegung (ca. 30% der Dachflächen) erreicht wird. Um die Systemtemperaturen niedrig zu halten, werden für das Warmwasser Frischwasserstationen anstelle eines Zirkulationssystems vorgesehen.

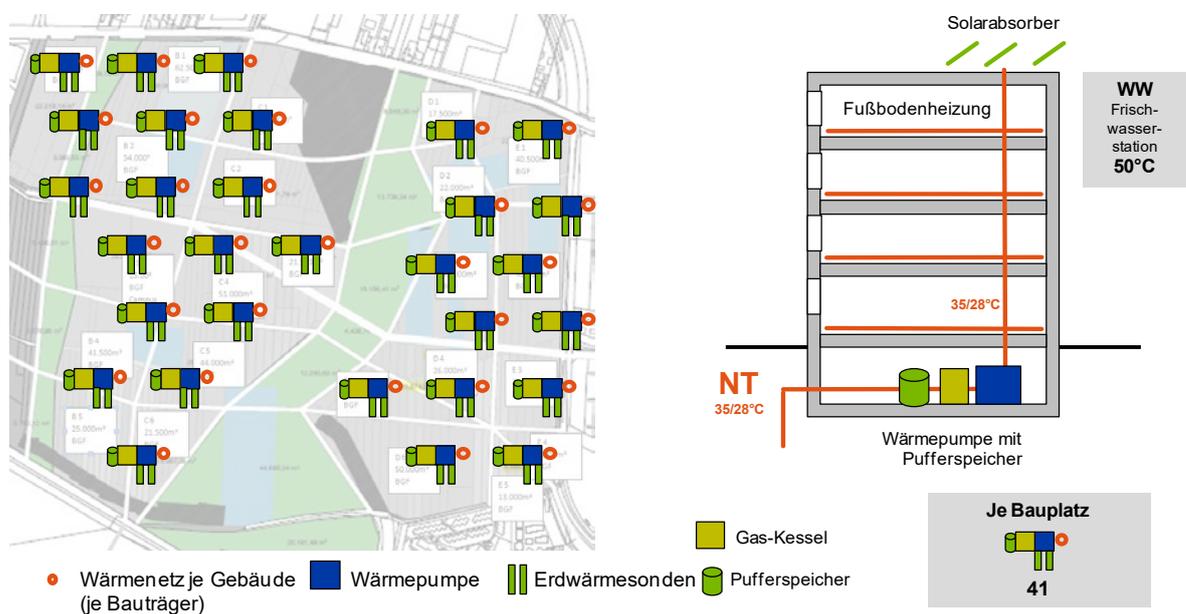


Abbildung 35: Energieversorgung der Variante 3 (Quelle: eigene Darstellung)

BETRIEBSWEISE

Die Warmwassererzeugung kann entweder über die Wärmepumpen oder die Gaskessel erfolgen. Bei Stromerzeugung aus PV (vor allem im Sommer) sind sicher die Wärmepumpen die günstigere Option. Zur Regeneration der Erdsonden wird die Wärme aus Solarabsorber im Sommer genutzt. Die Beheizung erfolgt maßgeblich über die Wärmepumpen. Lediglich während extrem kalter Witterung werden die Gaskessel zugeschaltet. Um eine maximale Effizienz der Anlage zu erreichen, müssen die Vorlauftemperaturen für die Fußbodenheizung witterungsabhängig so niedrig wie möglich gehalten werden.

Winter: Warmwasser und Heizung Großteils über WP

Sommer: Regeneration der Erdsonden (Solarabsorber/PVT)
 Warmwasser entweder über Wärmepumpen (PVT-Strom) alternativ
 über Gaskessel möglich

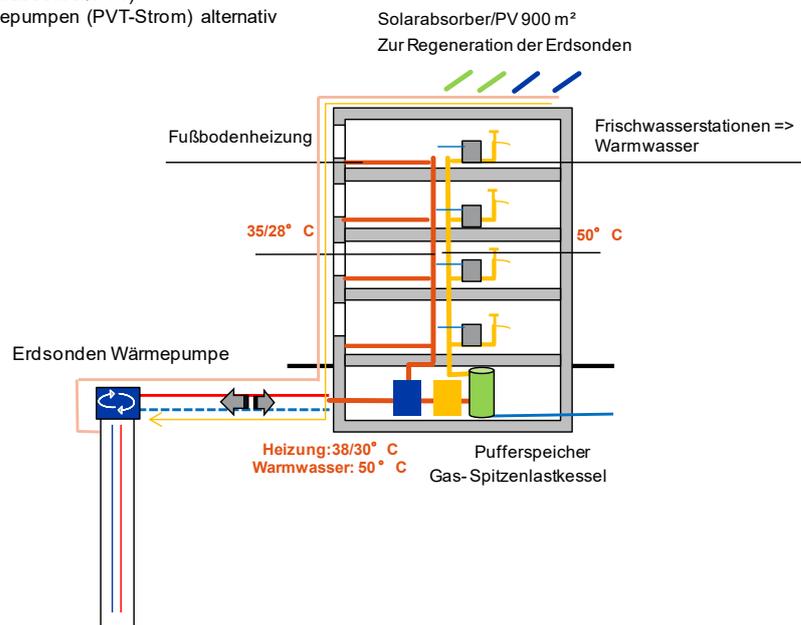


Abbildung 36: Energieversorgung und Betriebsweise der Variante 3 (Quelle: eigene Darstellung)

Die Werte für den Ertrag der Erdwärmesonden kommen aus der Studie „Erdwärmepotenzialerhebung Stadtgebiet Wien“ (GÖTZL 2014). Dabei wurden noch keine detaillierten Erhebungen und Messungen vor Ort im Untersuchungsgebiet durchgeführt. Die Erträge der Erdwärmesonden können von den Werten aus der Studie abweichen und somit die Dimensionierung und Funktionsweise dieser Variante ändern.

RISIKOBEWERTUNG

Art des Risikos	Beschreibung des Risikos
Technisches Risiko	Die zu Grunde gelegten Erdwärmepotentiale basieren auf einem weitläufigen Raster an Bohrungen und Messungen sowie Modellen zur Ermittlung der Werte für bestimmte Standorte in Wien. Für Erdwärmesonden sind Bohrungen und Messungen vor Ort im Donauefeld zu realisieren, um präzisere Werte für die Entnahmeleistung zu erhalten. Das Konzept mit Erdwärmesonden in dieser Größenordnung wurde bisher noch nicht realisiert. Daher müssen vorab noch Prüfungen zur Realisierung dieses Konzeptes umgesetzt werden, da nicht auf bestehendes Know-how zurückgegriffen werden kann.
Risiko der Investitionskosten	Aufgrund geringer Erfahrungswerte bei den eingesetzten Technologien bei der Anwendung in dieser Größenordnung besteht Risiko bei den Investitionskosten.

Risiko der Versorgungssicherheit	Die Versorgungssicherheit wird als hoch eingestuft, da zum einen durch die Regeneration über die Solarabsorber einer Auskühlung des Erdreiches entgegengewirkt wird. Zum anderen wird durch die Vorsehung von Spitzenlastkesseln und mehreren Wärmeerzeugern das Ausfallrisiko minimiert.
Risiko für EnergiekonsumentInnen	Das Risiko für EnergiekonsumentInnen liegt hier weniger bei den Kosten für Energieträger und Energietarife, als vielmehr bei den hohen Investitionskosten für Erdwärmesonden und Wärmepumpen. Begünstigt wird die Situation durch den hohen Anteil an erneuerbaren Energiequellen vor Ort und die geringe Endenergie sowie die derzeit niedrigen Stromtarife.

Tabelle 16: Risikobewertung Variante 3

6.2.7 Variante 4: Referenzvarianten Gas/Solar

ÜBERBLICK

Variante 4 ist die dritte Referenzvariante. Hier wird von einem Business-as-usual Szenario ausgegangen, wenn keine Fernwärmeversorgung vorliegt. Hier wird angenommen, dass die Gebäude auf den Bauplätzen mit Gas versorgt werden. Die Wärmeversorgung erfolgt somit mit einem Gas-Kessel und Solarthermie entsprechend den Anforderungen der Bauordnung.

SYSTEMBESCHREIBUNG

Die Gas-Brennwertkessel sind in jedem Gebäude im Untersuchungsgebiet untergebracht. Die Gasversorgung erfolgt von Norden, von Osten und von der Leitung an der Alten Donau. Die Systemtemperaturen der Verteilleitung im Gebäude betragen 60/40°C. Für die Wärme-Energieversorgung dieser Variante sind Gas-Anschlusskapazitäten von insgesamt 31 MW erforderlich. Für die Wärmebereitstellung der Baufelder werden Gasbrennwertkessel von jeweils durchschnittlich 760 kW benötigt.

Zusätzlich zum Gas-Kessel ist eine thermische Solaranlage am Dach installiert, die entsprechend den Anforderungen der Wiener Bauordnung bei einer Gas-Heizung erforderlich ist. Gemäß Bauordnung werden Solaranlagen auf den Dächern von 1 m² Kollektorfläche je 100 m² Wohnfläche des Gebäudes, entsprechend ca. 150 m² pro Baufeld, berücksichtigt. Als Solarpufferspeicher werden hierfür passend 8 m³ je Baufeld berücksichtigt.

Die Wärmabgabe erfolgt mittels Radiatoren, das Warmwasser wird mittels Zirkulationssystem bereitgestellt.

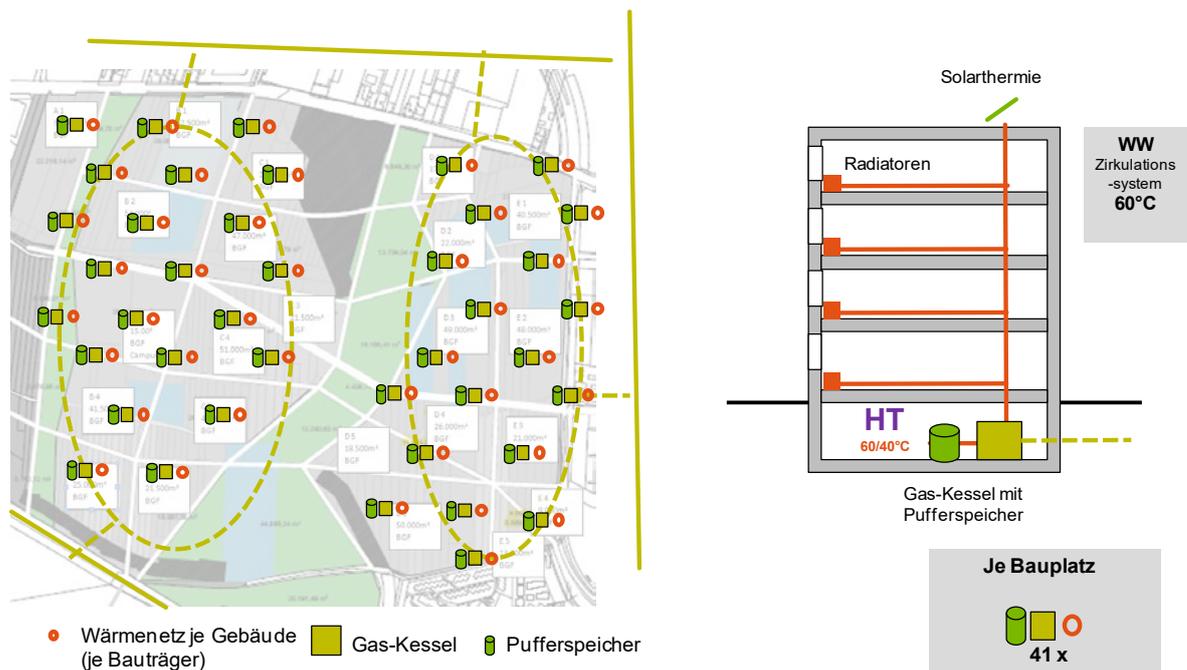


Abbildung 37: Energieversorgung der Variante 4 (Quelle: eigene Darstellung)

BETRIEBSWEISE

Für eine maximale Ausschöpfung des Brennwertnutzens werden die Vorlauftemperaturen witterungsabhängig bis zur Auslegungstemperatur von 60 °C angepasst. Die Solarkollektoren liefern vor allem in den Sommermonaten einen Beitrag zur Warmwasserversorgung.

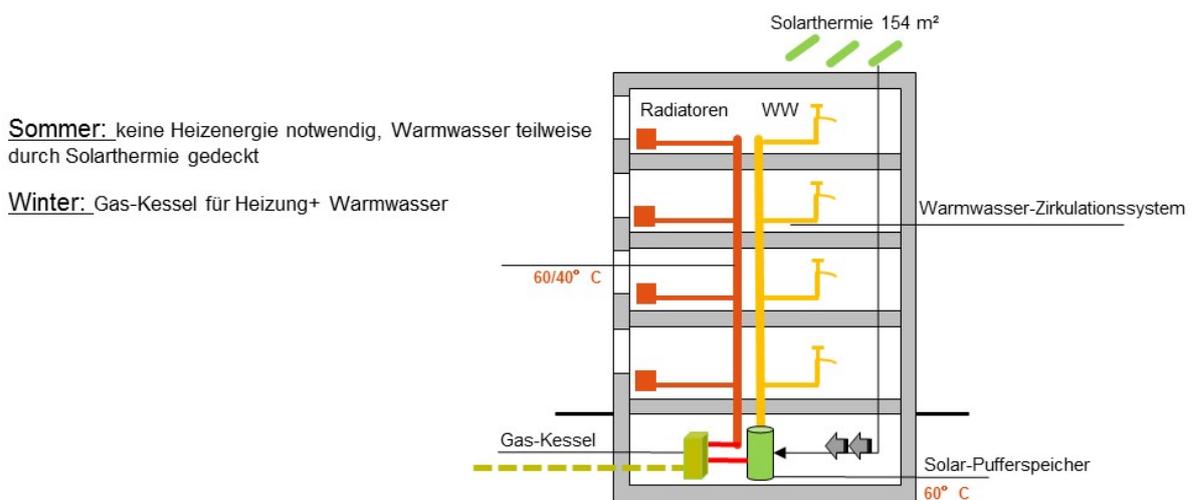


Abbildung 38: Energieversorgung und Betriebsweise der Referenz-Variante 4 (Quelle: eigene Darstellung)

RISIKOBEWERTUNG

Art des Risikos	Beschreibung des Risikos
Technisches Risiko	Kein oder geringes technisches Risiko, da die angewandten Technologien bereits vielfach realisiert wurden.
Risiko der Investitionskosten	Kein oder geringes Risiko der Investitionskosten, da die angewandten Technologien bereits vielfach realisiert wurden und somit auf Erfahrungswerte für Investitionskosten zurückgegriffen werden kann.
Risiko der Versorgungssicherheit	Die langfristige Verfügbarkeit und die Versorgungssicherheit von Gas liegen nicht in den Händen des Energieversorgers für das Donauefeld, sodass hier erhebliche Risiken vorliegen.
Risiko für EnergiekonsumentInnen	Die Wärmeversorgung wird mit dem Energieträger Gas gewährleistet. Hier liegt die Preisbildung nicht in den Händen des Energieversorgers, da diese Ressourcen extern zugekauft werden müssen. Somit besteht langfristig das Risiko von steigenden Gas-Preisen, unter Berücksichtigung einer weltweit steigenden Nachfrage und einem geringeren Angebot an Gas.

Tabelle 17: Risikobewertung Variante 4

7 Ökologische Bewertung

Ziel der ökologischen Bewertung ist die Ermittlung des erforderlichen Energieeinsatzes je Energieversorgungsvariante sowie die Auswirkungen auf den Primärenergiebedarf und die CO₂ Emissionen.

7.1 Methode

SCHRITT 1: Strukturierung der Energieversorgungsvarianten

Die Energieversorgungsvarianten werden in die Teilbereiche Wärmeverteilung, Wärmespeicherung und Wärmebereitstellung strukturiert. Die Energiemengen bauen auf den Wärmebedarf für Warmwasser und Raumwärme auf, die in Abschnitt 4 definiert wurden.

SCHRITT 2: Berechnung der Endenergie

Die Berechnung des Energieverbrauchs je Versorgungsvariante erfolgt mittels Jahresbilanzierung auf Basis der Rechenmethoden der ÖNORM H 5056. Der Wärmebedarf für Raumwärme und Warmwasser wurde bereits definiert (siehe Abschnitt 3), darauf aufbauend wurden die Verluste für Wärmeverteilung, Wärmespeicherung sowie die Wärmebereitstellung ermittelt.

Für die Wärmebereitstellung wurden Energieeffizienzkennwerte nach Tabelle 11 eingesetzt:

ENERGIESYSTEM		VAR 0	VAR 1A	VAR 1B	VAR 2A	VAR 2B	VAR 2BEFF	VAR 3	VAR 4
Fernwärme Übergabestation	Jahresnutzungsgrad in %	98,50	98,50	98,50					
Gas Kessel	Jahresnutzungsgrad in %		93,00		95,00			93,00	93,00
Wasser-Wärmepumpe	Jahresarbeitszahl		4,60	4,60		4,20	4,20	4,30	
Wasser-Wärmepumpe mit Kaskadennutzung	Jahresarbeitszahl		3,20						
Luft-Wärmepumpe	Jahresarbeitszahl					3,20	3,20		
Solarthermie	Nettowärmeertrag in kWh/m ² a (Kollektorfläche)		380,00	380,00	380,00			380,00	350,00
PV	Nettostromertrag in kWh/m ² a Kollektorfläche					135,00	135,00		
	Wirkungsgrad Strom in %					15,00	15,00		
Biomasse Kessel	Wirkungsgrad in %					85,00	85,00		
Solarabsorber	Nettowärmeertrag in kWh/m ² a (Kollektorfläche)	Annahme: 650 kWh/m ² a bei VL < 20°C, jedoch zeitlich nur ca. 60% für Regeneration (außerhalb der Heizperiode)					390,00	390,00	390,00

Tabelle 18: Energieeffizienzkennwerte für Energiebereitstellung (Quelle: eigene Darstellung)

SCHRITT 3: Berechnung der Primärenergie und CO₂ Emissionen

Ergebnis der Jahresbilanzierung sind Endenergiekennwerte der jeweiligen Energieversorgungsvariante. Für die Ermittlung der CO₂ Emissionen und Primärenergiekennwerte wurde die Endenergie mit den nachfolgenden Konversionsfaktoren multipliziert:

Energieträger	Primär- energiefaktor	Primär- energiefaktor erneuerbar	Einheit	CO ₂ Emissions- kennwert	Einheit
Strom	1,91	0,59	-	276	g/kWh
Gas	1,17	0,00	-	236	g/kWh
Fernwärme Wien	0,33	0,06	-	20	g/kWh
Biomasse	1,08	1,02	-	4	g/kWh

Tabelle 19: Konversionsfaktoren für Primärenergie und CO₂ (Quelle: OIB Richtlinie 6, Ausgabe 2015; Wien Energie)

7.2 Energiekennwerte

Der *Wärmebedarf Gebäude* für Raumheizung und Warmwasser liegt bei rund 47.700 MWh/a. Der *Wärmebedarf Gebiet* – unter Berücksichtigung der Verluste für Wärmeverteilung, Wärmespeicherung außerhalb des Gebäudes – liegt in etwa bei 50.000 MWh/a (siehe Abbildung 39).

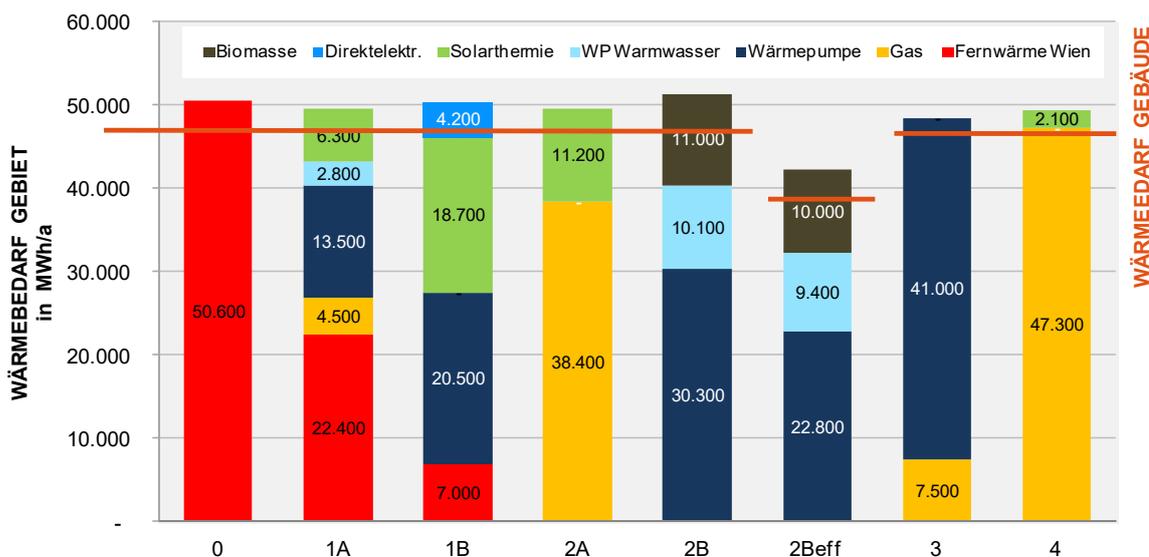


Abbildung 39: Wärmebedarf Gebiet (Quelle: eigene Berechnung)

In Abbildung 40 sind jene Anteile dargestellt, den die einzelnen Wärmebereitstellungssysteme zur Befriedigung des *Wärmebedarfs Gebiet* liefern. In Variante 1B wurde nur der direkt nutzbare Anteil der Wärme aus Solarthermie berücksichtigt. Die restliche Wärme wird als Umweltwärme der Wärmepumpe gutgeschrieben, die dadurch auch eine hohe Jahresarbeitszahl aufweisen kann.

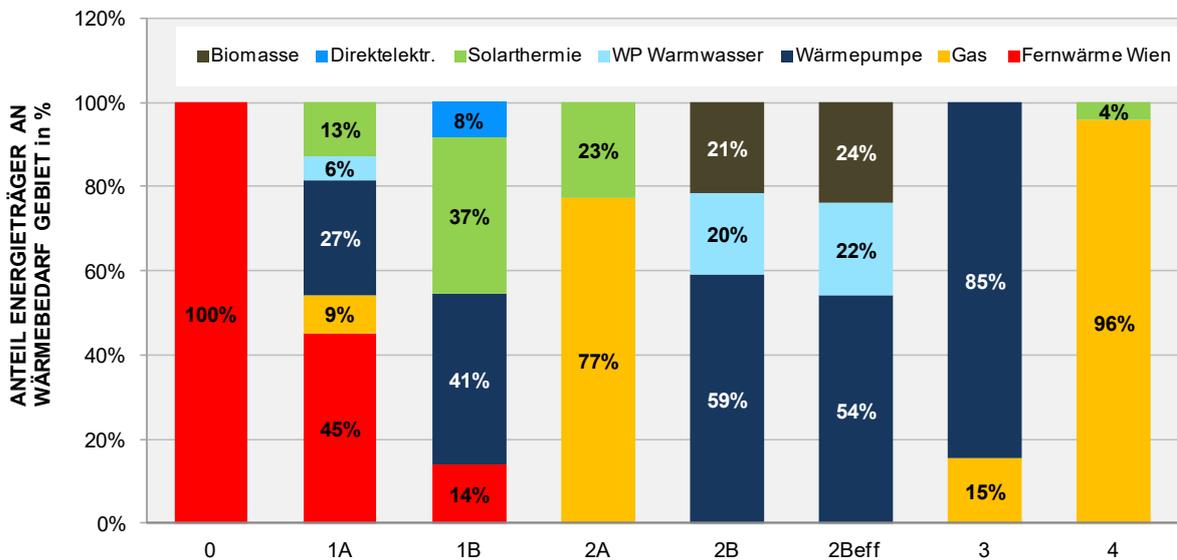
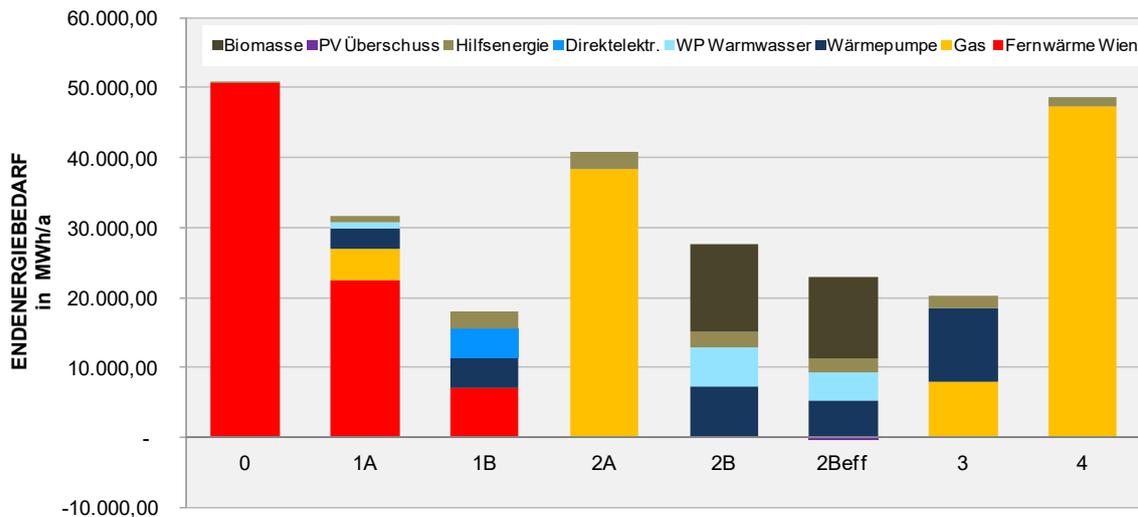


Abbildung 40: Anteil der Energieträger, die nutzbare Wärme bereitstellen (Quelle: eigene Berechnung)

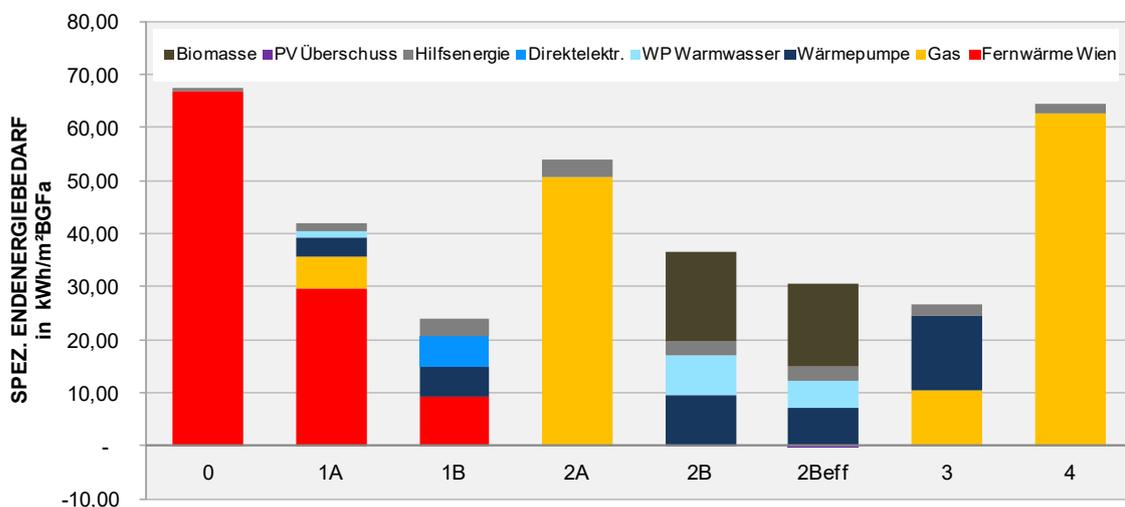
Die Endenergie stellt jene Energiemenge dar, die für den Betrieb des Systems der Wärmebereitstellung erforderlich ist. Für Fernwärme ist es die Wärmemenge, für Gas die erforderliche Energiemenge an Gas, bei Wärmepumpen ist es der erforderliche Einsatz an elektrischer Energie (siehe Abbildung 41). In allen Varianten ist die erforderliche Hilfsenergie wie beispielsweise für Pumpen enthalten. Die Wärmeerträge der Solaranlage sind in dieser Darstellung nicht enthalten, da sie die Wärmemenge für das zusätzliche System der Wärmebereitstellung reduzieren. Die Erträge der PV Anlage wurden bereits bei der Wärmepumpe für Warmwasser anteilig berücksichtigt. Überschüssige Energiemengen der PV werden ins Stromnetz eingespeist.



Anmerkung: in 2B und 2Beff wird der PV-Ertrag bei der Luft-Wärmepumpe direkt genutzt und reduziert die Endenergie

Abbildung 41: Endenergiebedarf der Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Berechnung)

Der flächenspezifische Endenergiebedarf veranschaulicht den spezifischen Energiebedarf der Energieversorgungsvarianten. Dieser liegt bei rund 25 kWh/m²a für Variante 1B, zwischen 40 – 50 kWh/m²a in Variante 2B und 3 mit einer Wärmepumpe in jedem Gebäude bzw. bei ca. 65 – 70 kWh/m²a bei Systemen mit Fernwärme und Gas-Kessel.



Anmerkung: in 2B und 2Beff wird der PV-Ertrag bei der Luft-Wärmepumpe direkt genutzt und reduziert die Endenergie

Abbildung 42: Flächenspezifische Endenergie der Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Berechnung)

Für die Bewertung der Primärenergie sowie der CO₂ Emissionen für das Untersuchungsgebiet gilt es vorab, die Konversionsfaktoren festzulegen. Die Werte wurden von der OIB Richtlinie 6, Ausgabe 2015 übernommen (siehe Tabelle 12). Mit diesen Werten liegt der spezifische Primärenergiebedarf (erneuerbar und nicht-erneuerbar) zwischen 40 -

60 kWh/m²a für die Varianten 2B und 3, sowie bei einem Wert von rund 80 kWh/m²a bei einer rein Gas-versorgten Variante. Bei einer Versorgung mit ausschließlich Fernwärme Wien in Variante 0 kann sogar ein Wert für Primärenergie von rund 20 kWh/m²a erreicht werden.

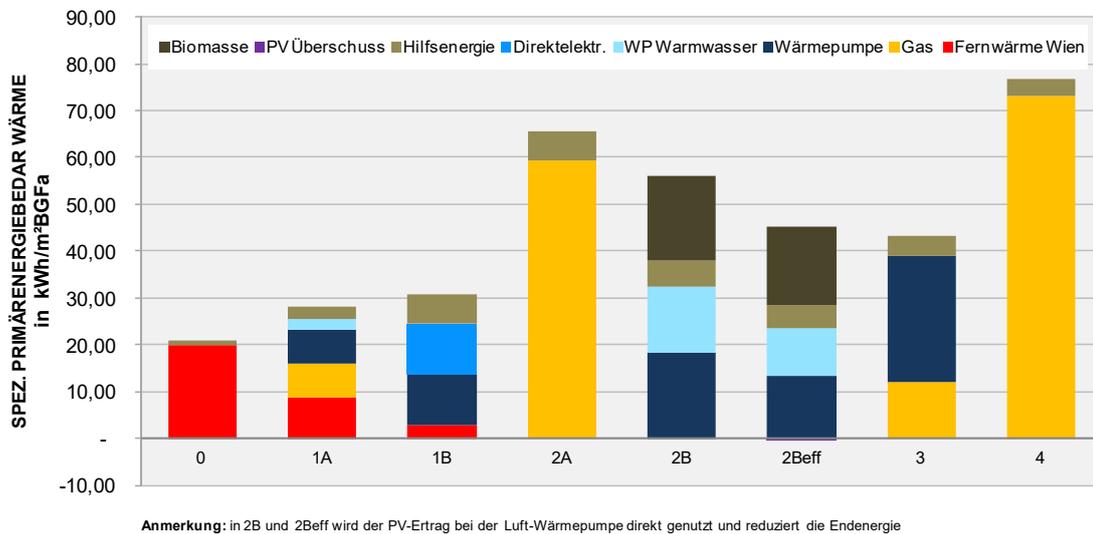


Abbildung 43: Flächenspezifische Primärenergie der Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Berechnung)

Ein ähnliches Bild ist bei der Bewertung der CO₂ Emissionen für das Untersuchungsgebiet zu sehen (siehe Abbildung 44). Hier sind die Varianten mit Gas-Versorgung für die höchsten CO₂ Emissionen verantwortlich. Varianten mit Fernwärme und Wärmepumpe (mit Biomasse als Spitzenlastkessel) verursachen dagegen sehr geringe Emissionen.

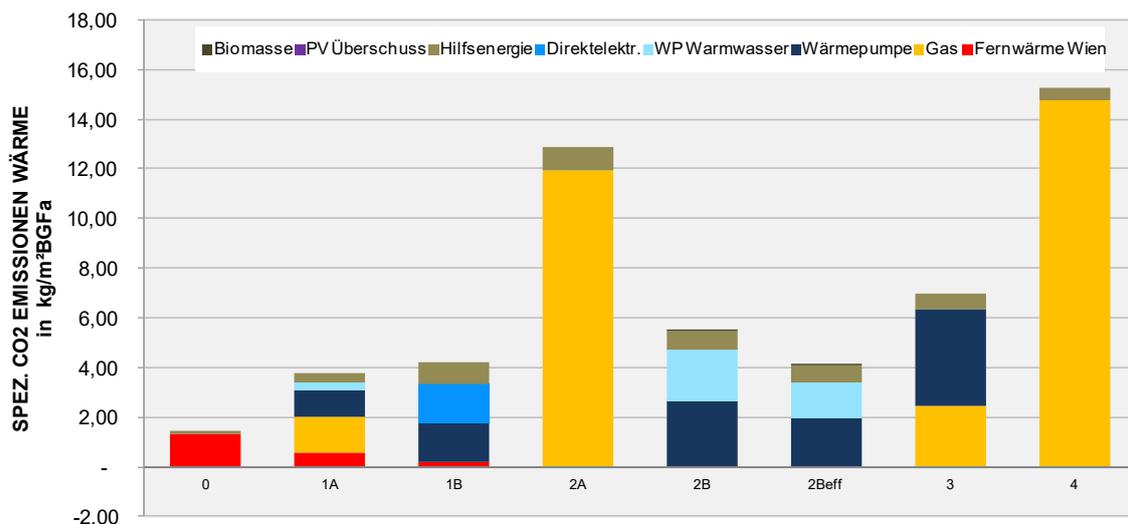


Abbildung 44: Flächenspezifische CO₂ Emissionen der Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Berechnung)

Im Rahmen der Studie wird auch geprüft, welche Energiemenge vor Ort im Untersuchungsgebiet aus erneuerbaren Energieträgern bereitgestellt wird (siehe Abbildung 45). Bei den Wärmepumpen sind die Anteile aus Umweltenergie berücksichtigt (Der Überschuss durch die Solarthermie in Variante 1B wird als Umweltenergie für die Wärmepumpe genutzt). Bei Solarthermie und PV ist die Endenergiemenge dargestellt. Mit dieser Systemgrenze können die Varianten 2B, 2B_{eff} und 3 zwischen 50% und 65% der Wärme mit lokalen Erneuerbaren bereitstellen. Dagegen liegen die Varianten 0 und 4 bei einem sehr niedrigen Wert bzw. bei null. Der niedrige Wert wird durch die erforderliche Kollektorfläche an Solarthermie bei Wärmeversorgung durch Gas-Kessel erreicht.

Die Anteile in Abbildung 45 enthalten keine Beiträge der Fernwärme und von Biomasse, da die Wärmebereitstellung bzw. die Materialgewinnung für Biomasse außerhalb des Untersuchungsgebietes erfolgen. Zum Vergleich der erneuerbaren Energieträger sind die Beiträge von Fernwärme und Biomasse in strichlierte Balken dargestellt. Die Fernwärme kommt laut Wien Energie Jahrbuch 2014 auf rund 52% aus erneuerbaren Energieträger sowie aus Abfall und Biomasse. Biomasse ist in dieser Darstellung zu 100% erneuerbar.

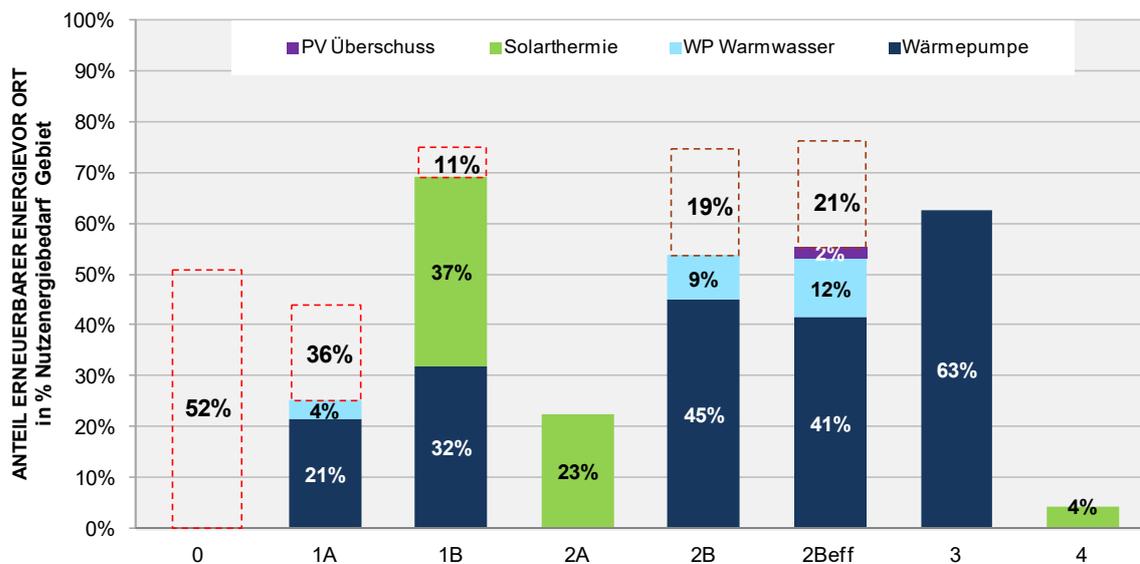


Abbildung 45: Anteil erneuerbarer Energie vor Ort (Quelle: eigene Berechnung)

7.3 Anforderung an den erneuerbaren Anteil nach OIB Richtlinie 6

Die OIB-Richtlinie 6, Ausgabe 2015, gibt Anforderungen hinsichtlich des Anteils an „erneuerbaren, nichtfossilen Energiequellen“ vor. „Wird Energie aus hocheffizienten alternativen Systemen gemäß Punkt 5.2.2 eingesetzt, gilt diese als Energie aus erneuerbaren Quellen“.

In Punkt 5.2.2. sind u.a. folgende Systeme als hocheffizient alternativ genannt:

(c) *Fern-/Nahwärme oder Fern-/Nahkälte, insbesondere, wenn sie ganz oder teilweise auf Energie aus erneuerbaren Quellen beruht oder aus hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen stammt,*

(d) *Wärmepumpen.*

Unter Berücksichtigung dieser Punkte, werden folgende Energieversorgungsvarianten von der Prüfung der Anforderungen an den Anteil Erneuerbarer ausgenommen, da diese den Punkt 5.2.2 der OIB-Richtlinie 6 erfüllen: Variante 0, Variante 1A (Ost), Variante 2B, Variante 2B_{eff} und Variante 3.

Für die restlichen Varianten wird die Prüfung des Anteils an Erneuerbaren durchgeführt. In erster Näherung anhand Abbildung 40, wo die Anteile des *Wärmebedarfs Gebiet* den Energiesystemen zugeordnet sind.

- Variante 1A, West: Gas deckt lediglich 9% des Wärmebedarfs für Raumheizung und Warmwasser, der Rest wird von Erneuerbaren bereitgestellt. Die Anforderung wird eingehalten.
- Variante 2A: Der Anteil der Wärme für Raumheizung und Warmwasser durch Solarthermie liegt bei 23%. Das ist deutlich über dem Schwellenwert von „10% des Endenergiebedarfs für Warmwasser“. Die Anforderung wird eingehalten.

Eine detailliertere Untersuchung ist bei jenen Varianten erforderlich, die ausschließlich auf einer Gas-Versorgung basieren und die erforderliche Menge an Solarkollektoren vorsehen, die derzeit in der Bauordnung Wien vorgeschrieben ist (Variante 4). Für diese Variante gilt folgende Anforderung entsprechend OIB Richtlinie 6: *„Es sind durch aktive Maßnahmen, wie beispielsweise durch Solarthermie, Netto-Endenergieerträge am Standort oder in der Nähe von mindestens 10% des Endenergiebedarfs für Warmwasser ohne diese aktive Maßnahmen zu erwirtschaften“.*

Bezeichnung	Wert
Nutzenergiebedarf Gebäude für Warmwasser	21.200 MWh/a
Netto-Endenergie der Solarthermie, bei Netto-Solarertrag von 350 kWh/m ² a	2.072 MWh/a
Anteil der Netto-Endenergieerträge der Solarthermie am Nutzenergiebedarf Gebäude	9,7 %

Tabelle 20: Prüfung der Anforderung der OIB Richtlinie 6 für Erneuerbare an der Variante 4

Nachdem die Anforderung nur knapp nicht eingehalten wurde und beim Netto-Solarertrag noch Potential für eine Verbesserung des Ertrags möglich ist, wird Variante 1A und 4 in der vorliegenden Form beibehalten.

8 Ökonomische Bewertung

Ziel der ökonomischen Bewertung ist ein Vergleich der Kosten zwischen den einzelnen Varianten, insbesondere im Rahmen einer langfristigen ökonomischen Bewertung in Form der Lebenszykluskosten.

8.1 Methode

SCHRITT 1: Festlegung der Systemgrenzen für Kosten

Entscheidend für das Kostenniveau ist auch die Überlegung, welche Kostenarten und Kostenverursacher in der Analyse berücksichtigt werden.

Als Kostenart werden Investitionskosten, Kosten für Wartung und Instandhaltung, Energiekosten, Kosten der Betriebsführung, Kosten für die Re-Investition nach Ablauf der Nutzungsdauer der Elemente der Energieversorgung sowie (mit Ausnahme bei Fernwärmeversorgung) Kosten für eine Marge zur Deckung von Risiken für Unternehmen sowie für den Gewinn, die diese Energiedienstleistungen umsetzen, berücksichtigt. Bei der Berechnung der Lebenszykluskosten werden auch Restwerte von Elementen mit einbezogen.

Als Verursacher für die Kosten gelten im Wesentlichen der Einbau von Energietechnologien wie Fernwärme, Wärmepumpen, Verteilleitungen usw. Zusätzliche müssen jedoch auch noch jene Kosten berücksichtigt werden, die neben den Technologiekosten vorliegen. Beispielsweise Kosten für ein Grundstück für ein Heizwerk oder Kosten für einen größeren Haustechnikraum in den Gebäuden, wenn zusätzliche Technologien eingebaut werden.

Auch für die restlichen Kostenbestandteile der Lebenszykluskosten sind die Systemgrenzen zu definieren.

SCHRITT 2: Strukturierung in Elemente

Die Energieversorgungsvarianten sind in einzelne Elemente zu unterteilen. Das erfolgt entsprechend Abschnitt 7 in Wärmeverteilung, Wärmespeicherung und Wärmebereitstellung und in die einzelnen eingeplanten Technologien (z.B. Wärmepumpe, Solarthermie, Wärmespeicher, ...).

SCHRITT 3: Dimensionierung der Elemente

Auf Basis der Ergebnisse der detaillierten technischen Machbarkeit werden die Dimensionierungen der einzelnen Elemente ermittelt (z.B. Gas-Kessel mit 750 kW). Diese Dimensionierung erfolgt für sämtliche Elemente der Energieversorgungsvarianten.

SCHRITT 4: Erhebung von Kostendaten für Elemente

Entsprechend der Gliederung in Elemente und der jeweiligen Dimensionierungen werden spezifische Daten für die Erstinvestition erhoben.

Datengrundlagen bilden dabei Werte von den teilnehmende Stakeholdern Wien Energie und MA 25, sowie Kostendaten aus der LZK-Tool Datenbank von e7 und Literaturquellen. Für die Wärmepumpen wurden Daten des Herstellers Ochsner eingearbeitet werden. Die Ermittlung der Kosten für die Wärmenetze sowie für Fernwärme als Wärmebereitstellung wurde von Wien Energie durchgeführt bzw. koordiniert.

Die Kosten für Wartung und Instandhaltung werden weitgehend als Prozentsätze von den Investitionskosten angesetzt. Die Werte der Prozentsätze entstammen der ÖNORM M 7140. Sofern konkrete Daten vorlagen, wurden auch Pauschalwerte in Abhängigkeit einer Technologie eingesetzt.

Die Energiekosten werden auf Basis der berechneten Endenergie ermittelt. Die Energie- und Brennstoffkosten werden auf Basis der Arbeitspreise sowie der Netzentgelte und sonstigen Abgaben ermittelt.

SCHRITT 5: Berechnung der Kostendaten

Mit den spezifischen Kostendaten, den Dimensionierungsgrößen und der Summe der Kosten über alle Elemente können die Investitionskosten sowie die Kosten für Wartung und Instandhaltung ermittelt werden.

Die Energiekosten ermitteln sich auf Basis der Endenergie der Varianten und den spezifischen Energie- und Brennstoffkosten der jeweiligen Energieträger.

Als Kosten der Betriebsführung werden pauschale Werte bezogen auf die Wärmemenge der Gebäude angesetzt. Die Marge für Risiko und Gewinn wird für jene Kostenelemente berücksichtigt, die nicht im Gebäude installiert werden und nicht Bestandteil der Fernwärme-Versorgung sind, da dort dieser Anteil bereits im Energietarif enthalten ist.

SCHRITT 5: Festlegung der Methode zur Lebenszykluskostenrechnung

Zur Ermittlung der Lebenszykluskosten wird eine dynamische Berechnungsmethode angewandt. Konkret werden Kosten nach der Methode des Barwertes sowie der Annuität entsprechend der ÖNORM M 7140 ermittelt.

SCHRITT 6: Annahmen für Berechnungsparameter

Bei einer dynamischen Berechnungsmethode sind für die Ermittlung der Lebenszykluskosten einige ökonomische Parameter zu definieren. Für das vorliegende Projekt sind als Basisvariante nachfolgen Parameter festgelegt worden:

Parameter NOMINALWERTE	Basiswert	Sensitivität	Einheit
Kalkulationszinssatz	3,0	7,0	%/a
Marge für Risiko und Gewinn des Energieversorgers	4,0		%/a
Betrachtungszeitraum	40	20	Jahre
Inflation/Preissteigerung allgemein	2,0		%/a
Preissteigerung Bau	2,5		%/a
Preissteigerung Haustechnik	2,5		%/a
Preissteigerung Wartung/Instandsetzung	2,5		%/a
Preissteigerung Energie – Strom	2,0	4,0	%/a
Preissteigerung Energie – Fernwärme Wien	2,0	4,0	%/a
Preissteigerung Energie – Gas	2,0	4,0	%/a
Restwertbetrachtung	ja	nein	-

Tabelle 21: Berechnungsparameter für die Lebenszykluskostenrechnung

SCHRITT 7: Berechnung der Barwerte

Auf Basis der festgelegten Berechnungsmethode und unter Berücksichtigung der Annahmen für ökonomische Parameter werden die Barwerte der einzelnen Varianten berechnet.

SCHRITT 8: Sensitivitätsanalyse

Neben den Basiswerten für die ökonomischen Parameter werden für vereinzelte Parameter weitere Werte zur Barwertberechnung herangezogen. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse werden von den Basiswerten abweichende Parameter für Kalkulationszinssatz und Energiepreissteigerung eingesetzt. Bei den Energiepreissteigerungen werden auch unterschiedliche Steigerungsraten für Gas und Strom berücksichtigt.

8.2 Systemgrenzen

In der nachfolgenden Abbildung 46 sind jene Kosten dargestellt, die zusätzlich zu den Technologiekosten berücksichtigt werden. Gleichzeitig ist dargestellt, für welche dieser Kostentypen für das konkrete Untersuchungsgebiet Kosten berücksichtigt werden oder nicht.

VAR	ABSCHNITT	FERNWÄRME	GAS	WÄRMEPUMPE	SPEICHER	WÄRMENETZ	GASNETZ	HAUSTECHNIK IM GEBÄUDE				
		Grundfläche/ Raum für GUFO	Grundfläche/ Raum für Gas- Heizwerk	Grundfläche/Rau- m für Wärmepumpen (außerhalb d. Gebäudes)	Grundstücks- kosten für WP Speicher, Saisonal- Speicher	Wärmenez, Kosten Servitutsrechte	Gasnetz, Kosten Servitutsrechte	Kosten f. Fläche/Raum für Wärmespeicher	Kosten f. Fläche/Raum Warmwasser Wärmepumpe (im Gebäude)	Kosten f. Fläche/Raum Spitzenlast kessel	Kosten Schornstein	
OB	GESAMT											
1A	OST					*)						
1A	WEST											
1B	GESAMT											
2A	GESAMT											
2B	GESAMT											
2B _{eff}	GESAMT											
3	GESAMT											
4	GESAMT											

ERLÄUTERUNGEN
Referenz: Fernwärme Übergabestation oder Gas-Kessel
Wärmebereitstellung mittels Wärmepumpe im Gebäude entspricht Referenzvariante

*) Kosten für das Leitungsnetz von den Grundwasserbrunnen zu den Wärmepumpen. Die Verortung der Grundwasserbrunnen erfolgt im gesamten Untersuchungsgebiet.

 Für diese Kostentypen fallen im Untersuchungsgebiet Donauefeld Kosten an.

 Für diese Kostentypen fallen im Untersuchungsgebiet Donauefeld KEINE Kosten an.

Abbildung 46: Zusätzliche Kostentypen für die Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Darstellung)

Entsprechend Abbildung 46 sind nachfolgende Kosten im Rahmen einer ökonomischen Bewertung zu berücksichtigen:

- **Wärmebereitstellung Fernwärme, Gas, Wärmepumpe:** Kosten für Grundstücksfläche zur Unterbringung der Maschinenbauelemente. Die Kosten für Bautechnik (Maschinenhaus) wird bei allen Wärmebereitstellungskosten berücksichtigt, sofern diese nicht schon in den Kostendaten berücksichtigt sind. Im konkreten Fall werden lediglich bei großen Gas-Heizwerken getrennte Grundstücke vorgesehen, wo die Heizwerke errichtet werden. Die GUFOs werden im öffentlichen Gut errichtet und sollen deshalb keine Kosten verursachen. Die Wärmepumpen werden bei Variante 1A verteilt auf die Baufelder. Der Abzug des Raumes für Wärmepumpe im einzelnen Keller sollte die zusätzliche Fläche für Wärmepumpen auf Ebene des Bauplatzes aufheben. Bei Variante 1B wird die zusätzliche Grundfläche beim Saisonalpeicher berücksichtigt.
- **Speicher:** Grundstücksfläche für Aufstellung der Speicher im Untersuchungsgebiet. Hier für jene Varianten, die einen Speicher aufweisen, der sich nicht im Haustechnikraum in den einzelnen Gebäuden befindet. Der Saisonalpeicher in Variante 1B soll sich teilweise unterirdisch befinden, gegebenenfalls mit einer

Erhöhung der Bodenniveaus („Rodelhügel“). Diese sind im öffentlichen Gut, in den Parks zu errichten. Bei Variante 1A wird der Speicher in Kosten für einen größeren Haustechnikraum berücksichtigt.

- Wärmenetz/Gasnetz: Kosten für Servitutsrechte bei Überquerung der Leitungen bei privaten Grundstücken. Bei einem Neubau in der „grünen Wiese“ fallen üblicherweise keine Kosten für Servitutsrechte an.
- Haustechnikraum im Gebäude: Kosten für zusätzliche Flächen im Haustechnikraum, im konkreten Fall für Wärmespeicher oder Spitzenlastkessel.

Die Systemgrenze der Energiekosten orientiert sich an den Kostenbestandteilen der Fernwärme (siehe Tabelle 15). Die Fernwärme berücksichtigt im Energietarif für Endkunden neben den Brennstoffkosten auch die überwiegenden Kosten für Wartung und Instandhaltung, Betriebsführung, Re-Investition in Elemente der Energieversorgung nach Ablauf der Nutzungsdauer, Erweiterung der Leistungskapazitäten und eine Gewinn-Marge für das Unternehmen. Zusätzlich sind sämtliche Investitionskosten enthalten, die nicht durch einen Baukostenzuschuss abgedeckt sind.

Bei den spezifischen Energiekosten der Varianten und Abschnitte, die nicht mit Fernwärme versorgt werden, werden diese Bestandteile getrennt ermittelt. Die Energiekosten, Kosten für Wartung- und Instandhaltung sowie Betriebsführung werden je Variante ermittelt. Die Re-Investition erfolgt im Rahmen der Lebenszykluskostenrechnung: hier werden Elemente, deren Nutzungsdauer abgelaufen ist, durch neue Elemente ersetzt. Die Gewinn-Marge wird für die Errichtung und den Betrieb (Energieverbrauch) von jenen Elementen berücksichtigt, die Bestandteil des Energiesystems sind bis zur Steigleitung für Warmwasser und Raumheizung im Gebäude. Für Kosten der Wartung/Instandhaltung sowie für die Betriebsführung wird angenommen, dass diese von Externen durchgeführt werden, und daher wird für alle Varianten eine Gewinn-Marge berücksichtigt.

SYSTEME	KOSTENART	INVESTITIONS-KOSTEN	RE-INVESTITIONS-KOSTEN	ENERGIE-KOSTEN	WARUNG-/INSTANDHALTUNG	BETRIEBS-FÜHRUNGS-KOSTEN	GEWINN-MARGE
Fernwärme	Investition	*					
	Energietarif						
	Wartung/ Instandhaltung				**		
Andere Systeme	Investition						
	Re-Investition						
	Energietarif						
	Wartung/ Instandhaltung						
	Betriebsführung						
	Gewinn-Marge						

LEGENDE

- * Nur in der Höhe des Baukostenzuschusses, die restlichen Kosten sind im Energietarif abgebildet.
- ** Wartung und Instandhaltung für Wärmetauscher im Gebäude sind nicht im Fernwärme-Energietarif enthalten

Tabelle 22: Systemgrenzen der Kosten (Quelle: eigene Darstellung)

8.3 Lebenszykluskosten

Die Lebenszykluskosten beinhalten die Investitionskosten zu jenem Zeitpunkt, in dem sie investiert werden. Wenn Investitionskosten später anfallen (beispielsweise in Bauabschnitt 3 in den Jahren 2025 – 2027 als Basisszenario), dann werden die Kosten mit der erwarteten Baupreissteigerung indiziert. Das gilt auch für die Energiekosten, Nutzungskosten, Betriebsführungskosten und die Marge des Unternehmens, die entsprechend der erwarteten Energiepreissteigerung und Inflation jährlich erhöht werden. Die Kosten für die Re-Investition von Elementen fallen dann an, wenn die Nutzungsdauer des Elements aus der Erstinvestition abgelaufen ist. Die Kosten werden mit der Baupreissteigerung indiziert. Am Ende des Betrachtungszeitraums wird der Restwert der einzelnen Elemente – entsprechend der noch vorhandenen Restlaufzeit der Nutzungsdauer – als lineare Abschreibung der Investitionskosten gutgeschrieben.

Bei Fernwärme ist die Betrachtung anders: dort wird als Investitionskosten der Baukostenzuschuss angesetzt. Alle weiteren Kosten sind im Energietarif enthalten.

Beim Barwert werden sämtliche Ausgaben in der Zukunft mit dem Kalkulationszinssatz auf den Jetztzeitpunkt zurückverzinst.

Die Basisvariante für die Berechnung der Lebenszykluskosten enthält die Berechnungsparameter entsprechend Tabelle 14.

In Abbildung 47 sind Bandbreiten für Barwerte für die Lebenszykluskosten dargestellt. Die Bandbreite berücksichtigt eine Energiepreissteigerung von 0%/a oder 2%/a real sowie eine Berechnung mit/ohne Berücksichtigung von Restwerten nach Ablauf des Betrachtungszeitraums.

Die Variante 4 weist die niedrigsten Lebenszykluskosten auf. Danach folgt die Wärmepumpen-Variante 3. Gefolgt gleichauf von der Fernwärme-Variante 0 und dem Gas-Heizwerk in Variante 2A. Die Varianten 2B und 1A haben noch etwas höhere Kosten. Die Effizienzmaßnahmen in 2B bringen im Rahmen dieser Betrachtung wirtschaftlich keine Vorteile mit sich. Die Variante 1B mit Saisonspeicher und sehr hohen Kollektorflächen für Solarthermie weist die höchsten Lebenszykluskosten auf.

Die Varianten mit Wärmepumpen (2B und 3) liegen - mit einer etwas größeren Bandbreite – am gleichen Niveau wie die Fernwärme-Variante 0.

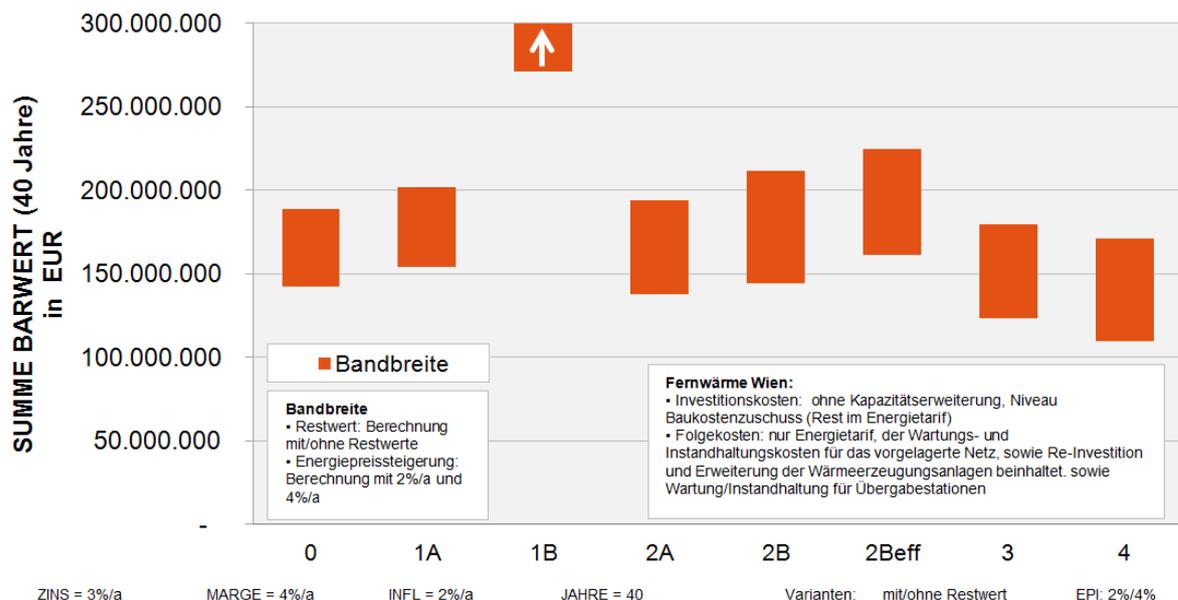


Abbildung 47: Barwert der Energieversorgungsvarianten, Kalkulationszinssatz 3%/a (Quelle: eigene Berechnung)

Die Lebenszykluskostenberechnung berücksichtigt die anfallenden Kosten des Energiesystems sowie die Kosten für Risiko und Gewinn eines Energiedienstleisters, der diese Anlage betreibt (Abbildung 47). Diese Sichtweise kommt an die Grenze der Kostenbetrachtung, da hier bereits Geschäfts- und Finanzierungsmodelle für die Energieversorgung eine Rolle spielen. Diese Kosten sollen jedoch berücksichtigt werden, um zum einen ein möglichst reales Szenario zu bilden und zum anderen gleiche Systemgrenzen wie die Fernwärme abzubilden. Im Fernwärme-Tarif sind bereits Bestandteile einer Gewinnerwartung für das Unternehmen enthalten.

Die Marge für Risiko und Gewinn wird für die zusätzlichen Investitionskosten (abzüglich einen Bauträgerzuschuss von 20 EUR/m² BGF, das sind maximal 15.140.000 EUR je

Variante) ermittelt, die von einem etwaigen Energiedienstleister zu entrichten sind. Es gilt die Annahme, dass bei den Kosten für Wartung und Instandhaltung sowie für die Betriebsführung bereits Kosten für eine externe Beauftragung berücksichtigt sind.

Kosten für Teile des Energiesystems nach der Technikzentrale im Gebäude, die von den Bauträgern übernommen werden, werden nicht berücksichtigt (z.B. zusätzliche Steigleitungen oder Umstellung auf Fußbodenheizung). Varianten mit Fernwärme oder Elemente der Fernwärme werden nicht berücksichtigt, da dort bereits die Gewinnerwartung im Energie-Tarif enthalten ist.

Für diese Kosten wird eine Gewinn-Marge von 4 %/a, zusätzlich zum Kalkulationszinssatz von 3 %/a, ermittelt. Dieser Wert wird durch die Differenz der steigenden Annuität (unter Berücksichtigung der Inflation) zwischen den eben genannten Kosten bei 3%/a und bei 7%/a ermittelt (also 3 + 4 %/a). Daraus ergeben sich nachfolgende Werte für die Gewinn-Marge:

Variante	0	1A	1B	2A	2B	2Beff	3	4
Gewinn-Marge in EUR/a	-	107.002	763.520	221.430	278.748	187.317	190.474	-

Tabelle 23: Annahmen für Unternehmensmarge je Variante, Summe aller Bauabschnitte (Quelle: eigene Berechnung)

In Tabelle 16 ist zu sehen, dass die Varianten mit Fernwärme (Variante 0) als auch jene Variante mit niedrigen Investitionskosten (Gas in Variante 4) keine Gewinn-Marge aufweisen. Bei der Fernwärme ist ein Gewinn bereits im Energietarif enthalten. Bei Gas sind die Investitionskosten so niedrig, dass diese durch den Baukostenzuschuss abgedeckt sind. Bei Variante 1A und 1B (auch mit Fernwärme) sind zusätzliche Investitionskosten erforderlich, die höher als der Baukostenzuschuss sind.

8.4 Errechneter Wärmepreis

Der errechnete Wärmepreis in diesem Projekt ist ein über die Lebensdauer konstanter Preis (jedoch unter Berücksichtigung der allgemeinen Preissteigerung), der von einem Nutzer für die bereitgestellte Wärme zu verlangen wäre, damit der Kapitalwert der Investition gerade null ergäbe. Ab diesem Preis wäre die Investition wirtschaftlich positiv zu bewerten. Dieser Wert berücksichtigt nur die Dienstleistung der Energielieferung, jedoch keine zusätzlichen Dienstleistungen wie Verrechnung der Wärmelieferung.

Für die Varianten mit Fernwärme wird der Wärmepreis wie folgt berechnet:

- Berücksichtigung des Baukostenzuschusses für die Erstinvestitionskosten
- Restliche Erstinvestitionskosten sind im Energietarif abgebildet

- Kosten für Energie, Wartung und Instandsetzung, Betriebsführung und Re-Investition der Anlagen sind im Energietarif enthalten.
- Die Kosten für Wartung und Instandsetzung sowie Re-Investition der Wärmeübergabestation in den Gebäuden wird getrennt berechnet.
- Sämtliche Energieaufwendungen sind im Fernwärme-Tarif abgebildet, mit Ausnahme des Energieverbrauchs in den Gebäuden ab der Systemgrenze Wärmeübergabestation (z.B. Pumpen für Wärmeverteilung im Wärmenetz des Gebäudes).

Für alle anderen Varianten wird der Wärmepreis wie folgt berechnet:

- Berücksichtigung des Baukostenzuschusses für die Erstinvestitionskosten
- Berücksichtigung der Kosten für Energie, Wartung und Instandsetzung, Betriebsführung und Re-Investition der Anlagen
- Berücksichtigung einer Marge für Risiko und Gewinn auf die Investitionskosten der Anlagen. Diese Marge wird als jährliche Kosten im Wärmepreis berücksichtigt.

Der Wärmepreis wird in den Varianten entsprechend Tabelle 17 ermittelt:

Parameter	Wert 1	Wert 2	Einheit
Restwert	Mit	ohne	%/a
Betrachtungszeitraum	20	40	Jahre
Kalkulationszinssatz	3,0	7,0	%/a

Tabelle 24: Bandbreiten der Kalkulationsparameter zur Berechnung des Wärmepreises

Diese Annahmen werden wie folgt begründet:

- Mit und ohne Berücksichtigung des Restwertes: bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Energieanlagen wird in vielen Fällen der Restwert nicht berücksichtigt, weil die Anlagen nach Ende des Betrachtungszeitraumes ohnehin nicht wiederverwendet werden können. Demgegenüber stehen jedoch langfristige Investitionen wie beispielsweise eine Erdwärmesonde, die bei einem kurzen Betrachtungszeitraum sehr wohl weiterverwendet werden muss, um wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt zu werden.
- Betrachtungszeitraum von 20 und 40 Jahren: in vielen Fällen wird bei der Errichtung von Energieanlagen ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren eingesetzt, weil in diesem Zeitraum die Anlagen genutzt, abgeschrieben und danach ohnehin – zu einem gewissen Anteil – erneuert werden müssen. Demgegenüber stehen wieder langfristige Bestandteile der Anlagen wie etwa Erdwärmesonden. Hier ist eine langfristige Betrachtung erforderlich, um auf wirtschaftlich tragbare Ergebnisse zu kommen.

- Kalkulationszinssatz von 3% und 7%: Bei einem reinen Investorenprojekt liegt üblicherweise eine hohe Renditeerwartung zu Grunde. Für diesen Fall werden 7% angenommen. Bei nachhaltigen und langfristigen Investitionen in Anlagen ist eine nachhaltige Finanzierung mit niedrigeren Zinssätzen erforderlich, die hier mit 3% angenommen werden. Die Art und Umsetzung dieser Finanzierung ist zu klären, jedoch nicht Bestandteil dieser Studie.

In Abbildung 48 ist die Bandbreite der Ergebnisse der Berechnung des Wärmepreises dargestellt. In Tabelle 18 sind Wärmepreise für ausgewählte Kalkulationsparameter enthalten.

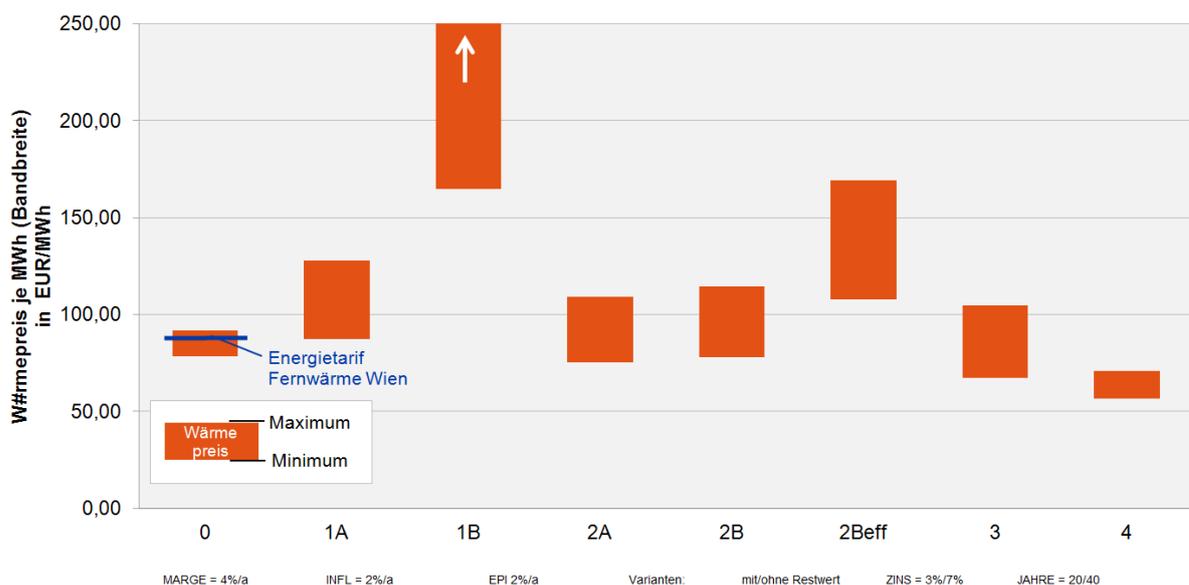


Abbildung 48: Bandbreite des Wärmetarif, je nach Berechnungsart (Quelle: eigene Darstellung)

Bei Variante 0 Fernwärme ist die Bandbreite gering, da die die Investitionskosten nur zum Teil zum Zeitpunkt der Errichtung ausgewiesen werden. Fehlende Investitionskosten sind im Fernwärmetarif abgebildet. Die Variante 4 stellt ebenfalls eine geringe Bandbreite dar. Hier aufgrund der generell geringen Investitionskosten.

8.5 Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse prüft verschiedene Parameter der Berechnung hinsichtlich der Sensitivität auf das Ergebnis: Können höhere Energiepreissteigerungen das Ergebnis signifikant verändern? Kann unterschiedliche Kalkulationszinssätze zu einer anderen Variante mit den geringsten Lebenszykluskosten führen?

In der Sensitivitätsanalyse werden insbesondere die Kalkulationszinssätze und die Energiepreissteigerungen betrachtet. Entsprechend Tabelle 14 soll ein Kalkulationszinssatz

von 7 %/a in der Berechnung berücksichtigt werden, zusätzlich eine höhere Energiepreissteigerung von 4 %/a, sowie Kombinationen dieser Parameter.

Die Kombinationen der Parameter führen dazu, dass die niedrigsten Barwerte bei einem Kalkulationszinssatz von 7%/a sowie einer Energiepreissteigerung von 2 %/a ermittelt werden, den höchsten Barwert erhält man bei einem Kalkulationszinssatz von 3 %/a sowie einer Energiepreissteigerung von 4 %/a.

In Abbildung 49 ist die Bandbreite der Barwerte zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wert dargestellt. Diese Darstellung zeigt, dass eine Veränderung der Parameter zu einem anderen Ergebnis führen.

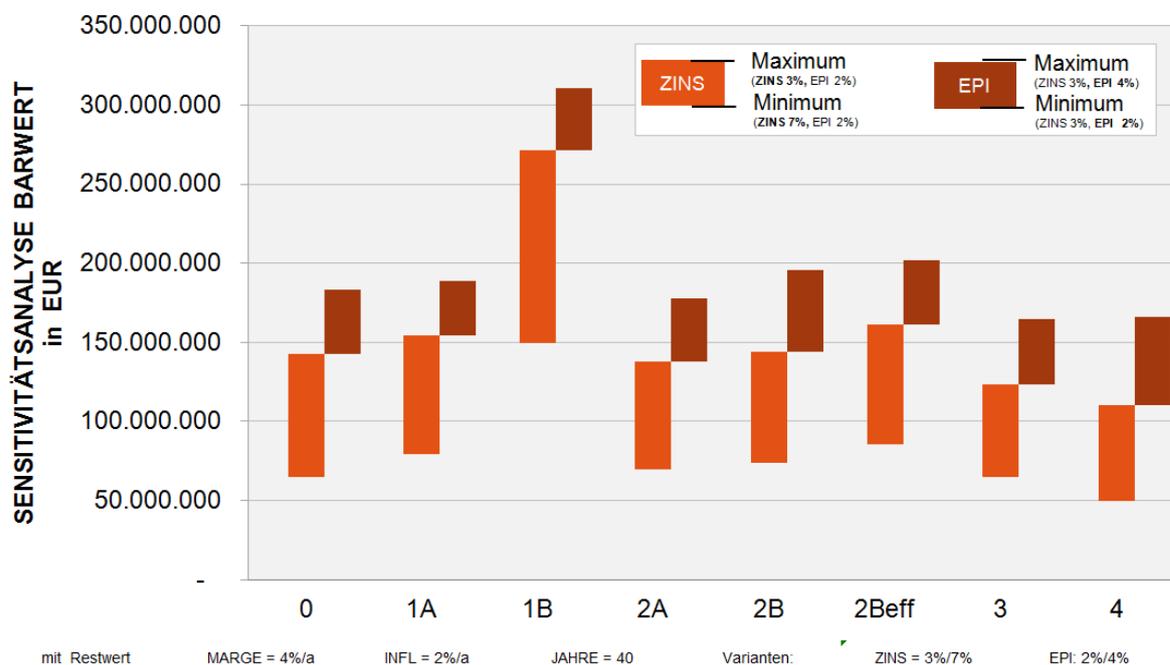


Abbildung 49: Bandbreite der Barwerte in der Sensitivitätsanalyse (Quelle: eigene Darstellung)

8.6 Teilbereiche der Lebenszykluskosten

8.6.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten enthalten jene Kosten, die zu Beginn bei der Errichtung der Gebäude anfallen. Dabei werden nur jene Kosten berücksichtigt, die bei den einzelnen Varianten zu Unterschieden führen. Jene Kosten, die bei allen Varianten gleich sind, werden nicht berücksichtigt (ceteris paribus). In Abbildung 51 sind die Kosten für die Energieversorgungsvarianten enthalten, die in Abschnitt 6 beschrieben wurden.

Die Investitionskosten beinhalten Baukosten für die Maßnahmen (Kostenbereich 0 – 6 nach ÖNORM B 1801). Die Maßnahmen berücksichtigen keine Kosten für zusätzliche Aufwände in der Planung oder Honorare für Gutachten.

Die Referenzvariante 0 und 4 verursachen die geringsten Investitionskosten. Die Werte liegen bei rund 10 - 25 Mio. EUR. Die Lösungen mit Wärmepumpen (2B und 3) kommen auf Kosten von rund 35 Mio. EUR. Auch die Errichtung von Gas-Heizwerken führt zu Mehr-Investitionskosten von rund 35 Mio. EUR. Variante 2Beff führt aufgrund höherer Kosten für die Energieeffizienz zu höheren Kosten von rund 52 Mio. EUR. Insbesondere die hohe Kollektorfläche der Solaranlage führt bei Variante 1B zu Mehr-Investitionskosten von rund 100 Mio. EUR.

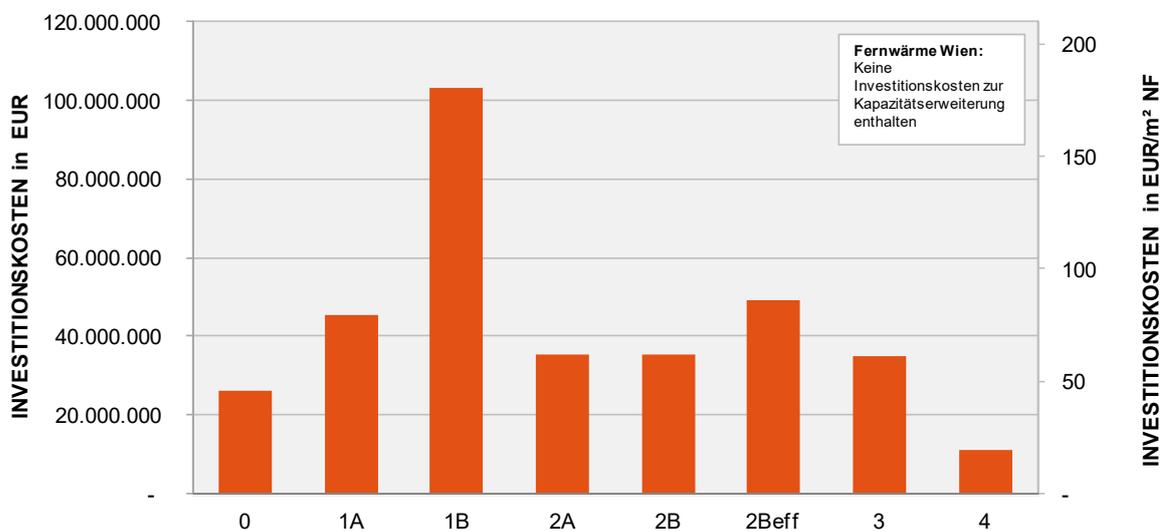


Abbildung 50: Investitionskosten der Energieversorgungsvarianten, statisch (Quelle: eigene Berechnung)

Bei der Bewertung der Investitionskosten sind nachfolgenden Anmerkungen entscheidend: Fernwärme berücksichtigt in den Investitionskosten sämtliche Anlagen und Leitungen, die vor Ort im Untersuchungsgebiet eingebaut werden. In den Investitionskosten sind jedoch keine Kosten für die Erweiterung der Leistungskapazitäten enthalten – im Gegensatz zu den anderen Technologien. Diese Kosten sind im Energietarif enthalten.

8.6.2 Energie- und Brennstoffkosten

Die Energie- und Brennstoffkosten wurden für Gas und Strom anhand der Tarife für die Netznutzung entsprechend der Werte der Wiener Netze ermittelt. Die Arbeitspreise wurden angenommen und mit Wien Energie abgestimmt. Diese spezifischen Energie- und Brennstoffkosten sind Werte für Großkunden. In Abbildung 52 sind Bandbreiten für die Energie- und Brennstoffkosten für Gas, Strom und Biomasse enthalten. Die spezifischen

Kosten je Energieversorgungsvarianten hängen von der erforderlichen Leistung und dem Energieverbrauch ab.

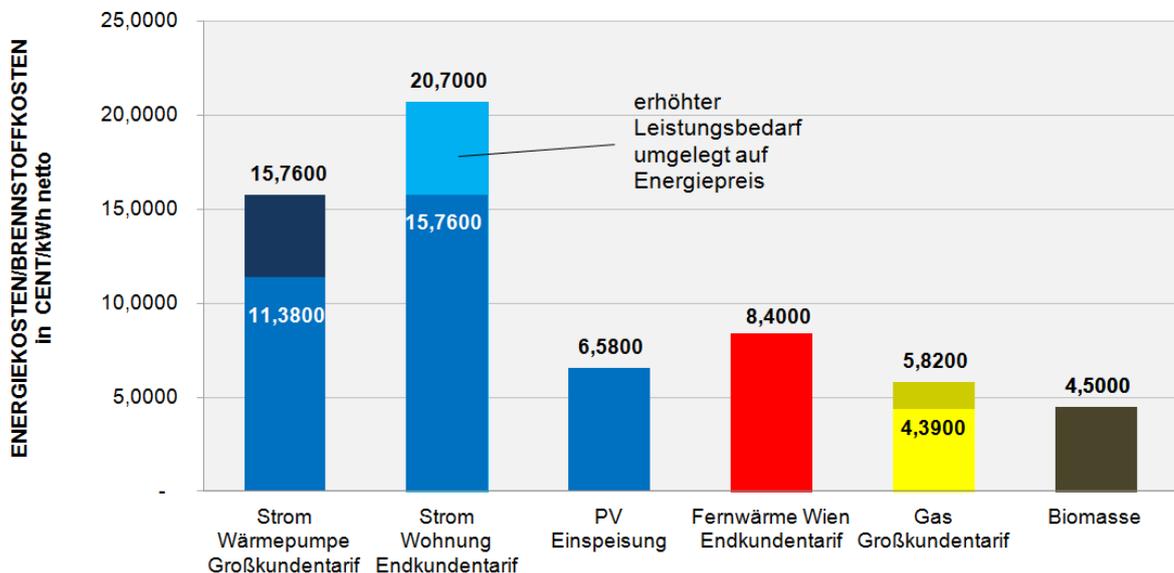


Abbildung 51: Bandbreite für Energietarife in den Energieversorgungsvarianten, Stand Mitte 2015 (Quelle: eigene Berechnung)

Anmerkungen zu den spezifischen Energie- und Brennstoffkosten in Abbildung 52:

- Die Werte beinhalten den Arbeitspreis und sämtliche Abgaben, jedoch keine Umsatzsteuer.
- Wenn zwei Werte angesetzt sind, so bilden die Werte eine Bandbreite zwischen höchsten und geringsten spezifischen Energiekosten, in Abhängigkeit von der Leistung des Wärmebereitstellungssystems sowie der Höhe des Energieverbrauchs.
- Bei Strom gibt es Unterschiede in Strom für die Wärmepumpe und den Allgemeinstrom in der Wohnung. Beim Wärmepumpenstrom wird ein Gewerbetarif angesetzt, beim Wohnungsstrom den Endkundertarif. Bei Variante 1B mit Durchlauferhitzer ist mit höheren Stromtarifen aufgrund einer höheren Leistungsbereitschaft zu rechnen. Die Kosten für den erhöhten Leistungsbedarf werden auf die spezifischen Energiekosten umgelegt.
- Bei der Fernwärme wurde der Endkundertarif der Wien Energie übernommen. Dieser Tarif enthält bereits Kosten für Wartung der Anlagen sowie für Re-Investition nach Ablauf der Nutzungsdauern der Anlagen. Zusätzliche sind Kosten für die Betriebsführung sowie eine Gewinn-Marge für das Unternehmen enthalten.

9 Anforderungen an den Umsetzungsprozess

9.1 Anforderungen an die Flächenwidmung

Bei den betrachteten Wärmeversorgungs-lösungen sind gegebenenfalls nachfolgende Punkte im Rahmen der Flächenwidmung zu berücksichtigen.

Geschoßhöhen

Die Forderung nach Fußbodenheizungen führt zu einem geringfügig höheren Fußbodenaufbau pro Geschoß von in etwa fünf Zentimetern. Dies sollte bei der Festsetzung der Gebäudehöhe berücksichtigt werden um eine volle Ausnützbarkeit der Widmung zu gewährleisten. Bei rechtzeitiger Abstimmung kann dies jedoch durch die Festsetzung der genauen Geschossanzahl vorgesehen werden. Problematisch könnte es nur bei Gebäuden in der Bauklasse VI werden. Da bei einer Überschreitung des obersten Abschlusses von 35m diese Gebäude dann in die Hochhausrichtlinie fallen würden und dadurch erhöhte Anforderungen angewandt werden müssten.

Einbautentrassen für Wärmenetze

Bei den Varianten mit Wärmenetzen (Fern- oder Nahwärmenetze) soll eine Verlegung der Netze nicht nur im öffentlichen Gut möglich sein. Dadurch soll eine möglichst wirtschaftliche Errichtung erreicht werden. Zur Absicherung der Leitungstrassen kann die Festlegung einer Einbautentrasse sinnvoll sein.

Da zum Zeitpunkt der Widmung die genaue Lage der Leitungen wahrscheinlich noch nicht bekannt ist, müssten die Bauträger bzw. Entwickler dies im Rahmen der Detailplanung untereinander regeln.

Nutzung der Dachflächen

Aus Sicht der MA 20 wäre es sinnvoll im Bebauungsplan bei den Bestimmungen über die Ausgestaltung der Dachflächen dezidiert die Errichtung von Solaranlagen (Solarthermie- und/ oder Fotovoltaikanlagen) auszuweisen. Zudem sollte das Mindestausmaß der notwendigen Flächen festgeschrieben werden. Jedoch ist es nicht erforderlich dies in der Widmung zu berücksichtigen, da auf Flachdächern die Errichtung von Solarthermie- bzw. Fotovoltaikanlagen generell möglich ist. Das genaue Ausmaß und die Art der Anlagen kann

auch im Zuge von Bauträgerwettbewerben oder gegebenenfalls in städtebaulichen Verträgen geregelt werden.

Jedoch sollte in der Widmung unbedingt der notwendige Höhenabstand für die Errichtung solcher Anlagen berücksichtigt werden, da sonst bei Überschreiten des obersten Abschlusses die Errichtung nicht möglich wäre.

Gasheizwerk

Bei der Variante 2A wird ein Gas-Heizwerk mit einer Grundfläche von ca. 500 m² benötigt. Dieses würde eine spezielle Kennzeichnung „Sondergebiet Heizwerk“ (SO, Heizwerk) benötigen. Zudem müsste die genaue Lage und die allenfalls notwendigen Abstandsflächen zu anderen Nutzungen berücksichtigt werden, wodurch sich der Platzbedarf noch erhöhen könnte.

Bei der Errichtung eines Gasheizwerkes müsste aufgrund der lokalen Emissionen die SEVESO-Richtlinie¹ beachtet werden.

9.2 Anforderungen für Bauträgerwettbewerbe

Für die drei interessantesten Varianten werden technische Anforderungen für Bauträgerwettbewerbe formuliert, diese sind:

- Variante 1A, west – Wärmenetz (Wärmepumpe)
- Variante 2B und 2B_{eff} – Mikrowärmenetze Wärmepumpe
- Variante 3 – Wärmepumpe Gebäude

Diese Varianten sind zum einen anders als die Referenzvarianten und sind ökologisch und ökonomisch sinnvoll. Variante 1B und 2A werden nicht berücksichtigt, da Variante 1B zu hohe Kosten (Investition und über den Lebenszyklus) aufweist und sich bei Variante 2A schlechte Werte in der ökologischen Bewertung ergeben.

¹ Richtlinie 2012/18/EU vom 4. Juli 2012 zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen

9.2.1 Variante 1A, West – Wärmenetz (Wärmepumpe)

Kriterium	Anforderung
Wärmeschutz	Der Wärmeschutz des Gebäudes muss die Anforderungen an den Heizwärmebedarf der HWB-Linie 10 einhalten. Der Wärmeschutz muss so gestaltet sein, dass eine Fußbodenheizung mit Systemtemperaturen von 35/28°C die Heizlast abdecken kann.
Wärmeabgabe	Die Wärmeabgabe erfolgt über eine Fußbodenheizung: In allen Räumen der Wohnungen sind Fußbodenheizungen vorzusehen.
Wärmeverteilung	Die Wärmeverteilung verläuft für Raumheizung und Warmwasser getrennt (4-Leiter System). Die Wärmeverteilung für Raumheizung wird mit Systemtemperaturen von 35/28°C betrieben.
Wärmespeicherung	In der Haustechnikzentrale ist ein Wärmespeicher für die Solarthermie mit einer Größe von mind. 36 m ³ einzuplanen.
Wärmebereitstellung	Das Warmwasser wird mit einer Wasser/Wasser-Wärmepumpe bereitgestellt. Als Energiequelle wird der Vorlauf der Wärmeverteilung für Raumheizung mit einer Systemtemperatur von 38°C genutzt. Im Sommer wird das Warmwasser Großteils von den Erträgen der Solarthermie bereitgestellt, bei zu geringer Temperatur im Wärmespeicher muss die Wasser/Wasser-Wärmepumpe die Temperaturdifferenz zwischen 38°C der Wärmeverteilung und den erforderlichen 55°C für Warmwasser überbrücken. Diese Energie ist in den Wärmespeicher einzubringen. Für die Versorgung des Wärmenetzes sind Räumlichkeiten für die Wasser/Wasser-Wärmepumpe samt dazugehörigen Installationen und Wärmepumpenspeicher am Baufeld vorzusehen (ca. 40 m ²).
Erneuerbare Energie	Auf den Dachflächen sind Kollektorflächen für Solarthermie zu installieren. Die Größe der Kollektorfläche darf 30% der Bruttofläche des Obersten Geschoßdecke nicht unterschreiten.
Anschluss Wärmenetz	Das Gebäude ist an das lokale Wärmenetz anzuschließen. Mit dieser Wärme ist die Raumheizung zu bedienen. Die Systemtemperaturen des Wärmenetzes betragen 38/30°C. Im Gebäude ist eine Wärme-Übergabestation vom Wärmenetz (Primärnetz) zum Gebäudenetz (Sekundärnetz) vorzusehen.

Tabelle 25: Anforderungen für den Bauträgerwettbewerb für Variante 1A, West – Wärmenetz (Wärmepumpe)

Für die Ausschreibung eines Bauträgerwettbewerbs sind Informationen zum Grundwasser, Fließrichtung des Grundwassers im Bauabschnitt etc. beizulegen.

9.2.2 Variante 2B und 2B_{eff} – Mikrowärmenetze Wärmepumpe

Kriterium	Anforderung
Wärmeschutz	Der Wärmeschutz des Gebäudes muss die Anforderungen an den Heizwärmebedarf der HWB-Linie 10 einhalten. Der Wärmeschutz muss so gestaltet sein, dass eine Fußbodenheizung mit Systemtemperaturen von 35/28°C die Heizlast abdecken kann.
Wärmeabgabe	Die Wärmeabgabe erfolgt über eine Fußbodenheizung: In allen Räumen der Wohnungen sind Fußbodenheizungen vorzusehen.
Wärmeverteilung	Die Wärmeverteilung verläuft für Raumheizung und Warmwasser getrennt (4-Leiter System). Die Wärmeverteilung für Raumheizung wird mit Systemtemperaturen von 35/28°C betrieben.
Wärmespeicherung	In der Haustechnikzentrale ist ein Wärmespeicher für die Wärmepumpe mit einer Größe von 30 m ³ einzuplanen.
Wärmebereitstellung	Das Warmwasser wird mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe bereitgestellt. Die Wärmepumpe muss die Temperaturdifferenz zwischen 38°C der Wärmeverteilung und den erforderlichen 55°C für Warmwasser überbrücken. Diese Energie ist in den Wärmespeicher einzubringen. Die Wärmepumpe wird direkt mit der Fotovoltaik am Dach zusammengehängt, sodass ein hoher Anteil der PV Erträge direkt für den Betrieb der Wärmepumpe genutzt werden kann.
Lüftungsanlage (nur bei Variante 2B _{eff})	Das Gebäude ist mit einer zentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung auszustatten. Die Abluft ist zentral zu sammeln und wird für die Warmwasser-Wärmepumpe genutzt.
Erneuerbare Energie	Auf den Dachflächen sind Kollektorflächen für Fotovoltaik und Solarabsorber zu installieren. Die Größe der Kollektorfläche umfasst 900 m ² , davon wird ein Teil für Solarabsorber zur Regeneration der Erdsonden.
Anschluss Wärmenetz	Das Gebäude ist an das lokale Wärmenetz anzuschließen. Mit dieser Wärme ist die Raumheizung zu bedienen. Die Systemtemperaturen des Wärmenetzes betragen 38/30°C.
Heizzentrale Baufeld	Die Heizzentrale im Baufeld enthält die Sole/Wasser-Wärmepumpen sowie die Biomasse Kesseln (ca. 100 m ²).

Tabelle 26: Anforderungen für den Bauträgerwettbewerb für Variante 2B – Mikrowärmenetze Wärmepumpe

Für die Ausschreibung eines Bauträgerwettbewerbs sind Informationen zum Erdwärmepotential im Bauabschnitt beizulegen. Für die Erdwärmesonden ist eine Genehmigung der MA58 einzuholen. Für die Biomasse Kesseln ist vorab zu klären, ob eine Genehmigung möglich ist (Feinstaub).

9.2.3 Variante 3 – Wärmepumpe Gebäude

Kriterium	Anforderung
Wärmeschutz	Der Wärmeschutz des Gebäudes muss die Anforderungen an den Heizwärmebedarf der HWB-Linie 10 einhalten. Der Wärmeschutz muss so gestaltet sein, dass eine Fußbodenheizung mit Systemtemperaturen von 35/28°C die Heizlast abdecken kann.
Wärmeabgabe	Die Wärmeabgabe erfolgt über eine Fußbodenheizung: In allen Räumen der Wohnungen sind Fußbodenheizungen vorzusehen.
Wärmeverteilung	Die Wärmeverteilung verläuft für Raumheizung und Warmwasser getrennt (4-Leiter System). Die Wärmeverteilung für Raumheizung wird mit Systemtemperaturen von 35/28°C betrieben.
Wärmespeicherung	In der Haustechnikzentrale ist ein Wärmespeicher für die Wärmepumpe mit einer Größe von mind. 30 m ³ einzuplanen.
Wärmebereitstellung	Das Warmwasser wird mit der Sole/Wasser-Wärmepumpe bereitgestellt. Die Wärmepumpe muss die erforderliche Temperatur von 55°C für Warmwasser liefern. Diese Energie ist in den Wärmespeicher einzubringen. Die Sole/Wasser-Wärmepumpe muss für die Raumheizung Systemtemperaturen von 35/28°C sicherstellen. Als Spitzenlastabdeckung ist ein Gas-Kessel vorgesehen (Angabe des Raumbedarfs für die Wärmebereitstellung)
Erneuerbare Energie	Auf den Dachflächen sind Kollektorflächen für Fotovoltaik und Solarabsorber zu installieren. Die Größe der Kollektorfläche darf 900 m ² nicht unterschreiten, wovon ein Teil für Solarabsorber genutzt werden.
Anschluss Wärmenetz	Kein Anschluss an ein Wärmenetz.

Tabelle 27: Anforderungen für den Bauträgerwettbewerb für Variante 3 – Wärmepumpe Gebäude

Für die Ausschreibung eines Bauträgerwettbewerbs sind Informationen zum Erdwärmepotential im Bauabschnitt beizulegen. Für die Erdwärmesonden ist eine Genehmigung der MA58 einzuholen.

10 Interpretation und Schlussfolgerungen

10.1 Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisse der ökonomischen Bewertung geben folgendes Bild:

- Systeme mit alternativen Energiesystemen, zur Steigerung der erneuerbaren Energie vor Ort (Variante 2B, 2B_{eff} und 3), weisen deutlich höhere Investitionskosten auf als übliche Energieversorgungsvarianten mit Fernwärme oder Gas. Die Lebenszykluskosten sind in einem ähnlichen Niveau wie Fernwärme.
- System mit Gas-Kesseln in den Haustechnikräumen (Variante 4) der Gebäude liefern die niedrigsten Investitionskosten. Zum einen ist es ein erprobtes System und Kosten für Heizkessel sind niedrig, zum anderen sind die Kosten für ein Gasnetz wesentlich niedriger als für ein Wärmenetz
- Die Fernwärme (Varianten 0 und 1A) bietet hinsichtlich der ökologischen und ökonomischen Bewertung ein gutes System. Hier sind die Investitionskosten deutlich niedriger, die Lebenszykluskosten liegen auch im niedrigen Bereich.
- Das Konzept des Saisonalspeichers (Variante 1B) bietet keine gute Lösung, weder ökonomisch noch ökologisch. Die Saisonalspeicher können aufgrund der Belegungsdichte des Wohnbaus nicht alleinig von der Solarthermie betrieben werden und benötigen kostenintensive Back-Up Systeme für den Betrieb.

Im errechneten Wärmepreis sind jene Kosten abgebildet, die von einem Energieversorger im Rahmen der Errichtung der Wärmeversorgung zu realisieren sind. In dieser Betrachtung kommt die Gas-Versorgung (Variante 4) auf den niedrigsten Wärmepreis, die Variante mit Fernwärme (Variante 0) liegt höher und stellt in etwa den aktuellen Wärmepreis dar. Die Lösungen mit Wärmepumpe (2B und 3) kommen auf ein ähnliches Preisniveau im Vergleich zur Fernwärme.

Im Prozess zur Selektion der Energieversorgungsvarianten wurde bereits zu einem frühen Zeitpunkt geklärt, ob einzelne Lösungen im Donaufeld realisierbar sind oder nicht bzw. nur sehr eingeschränkt. Aus diesem Grund ergibt die technische Prüfung der Machbarkeit, dass alle untersuchten Varianten technisch realisierbar sind. Wobei das Risiko der technischen Realisierung unterschiedlich beurteilt wird. Jene Varianten, die bereits oft umgesetzt wurden, weisen ein geringeres Risiko auf als jene, bei denen auf geringe Erfahrungswerte gesetzt werden kann.

Bei jenen Varianten, wo der Untergrund zur Energiegewinnung genutzt wird (Variante 1A, 2B, 2B_{eff} und 3) besteht darüber hinaus das Risiko, ob die Werte für den Energieertrag aus Grundwasser und Erdwärmesonden auch tatsächlich eintritt.

Dem gegenüber stehen die technische Entwicklung sowie die Marktentwicklung im Bereich Wärmepumpen und Erdsondenfelder. Hier ist zu erwarten, dass durch einen vermehrten Einsatz von Großwärmepumpen und einer Vielzahl von Bohrungen für Erdsonden die Weiterentwicklung forciert wird und die Kosten reduziert werden (*economy of scale*).

In ökologischer Hinsicht werden die Parameter Primärenergie, CO₂ Emissionen und Anteil Erneuerbarer vor Ort analysiert. Am besten schneiden die Varianten mit Fernwärme und hoher Solarabdeckung in Variante 1B ab. Bei Primärenergie bietet die Variante 0 mit Fernwärme niedrige Werte, bei CO₂ Emissionen sind die Varianten 0 Fernwärme und 2B/2B_{eff} mit Wärmepumpe und Biomasse als Spitzenlastabdeckung sehr vielversprechend. Dem gegenüber steht die Gas-Nutzung, die zu deutlich höheren Werten in beiden Indikatoren führt. Der Anteil erneuerbarer Energie vor Ort zeigt deutlich jene Varianten mit Solarthermie und mit Wärmepumpe führend. Variante 1B weist einen Anteil an erneuerbarer Energie vor Ort von rund 70% aus, Variante 3 liegt bei rund 60 %, Varianten 2B und 2B_{eff} liegen bei rund 55%.

10.2 Gesamtbewertung der Ergebnisse

Die Stadt Wien hat sich Smart City Ziele (SMART CITY WIEN 2014) gesetzt. Diese Ziele umfassen unter anderem Kriterien für umfassende Ressourcenschonung. Dabei wird als Ziel gesetzt, dass je Person nicht mehr als 2.000 W Dauerleistung auf Primärenergieebene eingesetzt werden soll (entsprechend der Regeln der 2.000 Watt Gesellschaft in der Schweiz).

Die Anforderung setzt sich aus allen Energienutzungen zusammen, die eine Person benötigt: Mobilität, Wohnen, Gewerbe, Industrie und Dienstleistungen bei Produkten. Für Wohnen kann diese Anforderung auf rund 500 W Primärenergieleistung umgelegt werden.

In Abbildung 53 sind die Energieversorgungsvarianten am 500 W Leistungsziel gemessen. Hier wird dargestellt, dass die Varianten mit überwiegender Gas-Versorgung die Smart City Ziele nicht einhalten können, da diese bereits beim Energiebedarf für Raumheizung und Warmwasser (RH+WW) die Ziele nur knapp unterschreiten oder sogar überschreiten. Varianten mit Fernwärme sowie mit Wärmepumpe und geringer Energienachfrage können dieses Ziel einhalten. Varianten mit Wärmepumpe und Standard-Energienachfrage liegen geringfügig über dem Ziel der 500 W. Für den Fall, dass die sommerliche Wärme zu Regeneration der Erdsonden aus Abwärme zur Verfügung steht und nicht produziert werden muss, können niedrigere Werte erreicht werden.

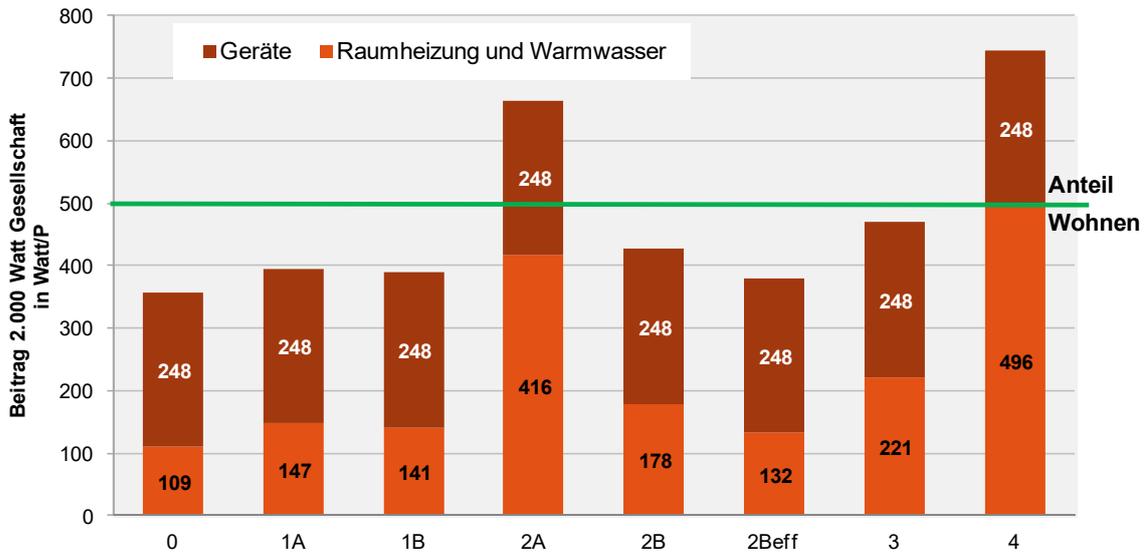


Abbildung 52: Orientierung an 2.000 Watt Primärleistung je Person (Quelle: eigene Darstellung)

Wie deutlich die Energiesysteme ökologischer sind und welche Gesamtbelastungen dadurch induziert werden ist in Abbildung 55 ersichtlich. Hier wird dargestellt, dass Variante 4 zwar mitunter die niedrigsten Lebenszykluskosten aufweist, jedoch mit Abstand die höchsten CO₂ Emissionen verursacht. Gefolgt von den anderen Varianten mit Gas-Versorgung (2A und 3). Varianten mit Wärmepumpe und Fernwärme sind in den ökonomischen und ökologischen Auswirkungen auf einem sehr hohen Niveau mit geringem Abstand.

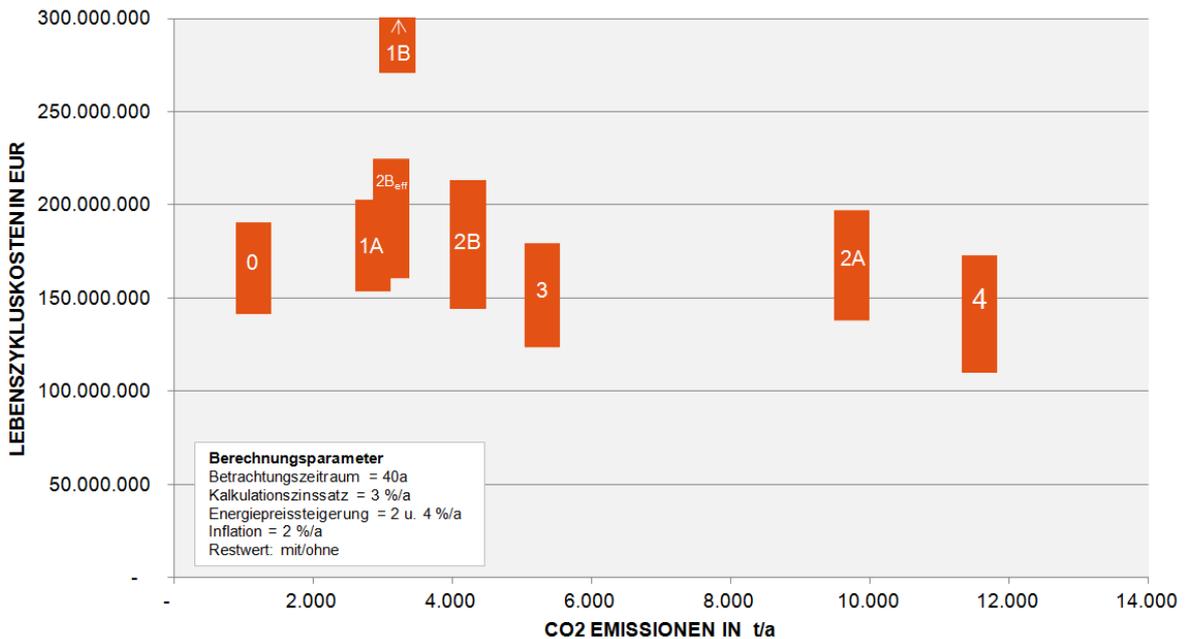


Abbildung 53: Vergleich Lebenszykluskosten und CO₂ Emissionen (Quelle: eigene Darstellung)

Die Bewertung der Machbarkeit erfolgte in technischer, ökologischer und ökonomischer Hinsicht. Die Gesamtbewertung und Interpretation soll auch in diesen Kriterien erfolgen. In Abbildung 56 sind einzelne relevante quantitative Parameter der Varianten zur Bewertung von ökologischen und ökonomischen Kriterien dargestellt. Diese Parameter decken den Energieeinsatz, den Anteil Erneuerbarer vor Ort, CO₂ Emissionen sowie Investitions- und Lebenszykluskosten ab. Die Bewertung erfolgt anhand der Ergebnisse der Berechnungen in Form von Schulnoten (Skale von 1 – 5). Die Ergebnisse der Importabhängigkeit sowie des Nutzungskomfort erfolgt durch direkte Notenvergabe ohne Berechnungsdaten.

KRITERIUM	EINHEIT	VARIANTEN								
		0	1A	1B	2A	2B	2Beff	3	4	
ÖKOLOGISCH	Primärenergie gesamt	Note	1	2	2	4	4	3	3	5
	CO2 Emissionen	Note	1	1	1	4	2	1	2	5
	Smart City Ziele - Wohnen - RH+WW + Haushaltstrom	Note	1	1	1	4	1	1	2	5
	Anteil lokaler erneuerbarer Energieträger	Note	3	3	1	5	1	1	2	5
ÖKONOMISCH	Investitionskosten	Note	1	2	5	2	2	2	2	1
	Lebenszykluskosten	Note	2	3	5	3	3	3	2	2
	Importabhängigkeit von fossilen Energieträgern	Note	3	3	1	4	2	2	2	5
SOZIAL	Nutzungskomfort - passive Kühlung im Sommer	Note	3	2	3	3	1	1	1	3
	Lokale Beschäftigungseffekte	Note	4	3	1	4	2	1	2	4

Abbildung 54: Gesamtbewertung der Ergebnisse im Farbenteppich und in Noten (Quelle: eigene Darstellung)

10.3 Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen und Interpretationen werden nachfolgende Schlussfolgerungen gestellt:

- **Fernwärme:** Die Fernwärme Wien bietet sowohl ökonomisch als ökologisch eine sehr gute Lösung für das Untersuchungsgebiet. Voraussetzung dabei ist, dass der Anteil Erneuerbarer im derzeitigen Niveau erhalten bleibt. Entscheidend für die ökonomische Sinnhaftigkeit sind die hohe Bebauungsdichte und eine Anschlussmöglichkeit an ein bestehendes Primärnetz.
- **Varianten mit hohem Anteil an Erneuerbaren vor Ort:** der Vergleich der Lebenszykluskosten zeigt, das – bei guter Konzeptionierung – die ökonomische Gesamtbelastung für die Bewohner bei Varianten mit hohem Anteil an

Erneuerbaren vor Ort (Varianten 2B und 3) im gleichen Niveau liegen kann als bei Fernwärme-Versorgung. Entscheidend dabei ist die Art der Vorfinanzierung für die höheren Investitionskosten für Erdwärmesonden, Grundwasserbrunnen und Solaranlagen (PV und thermisch).

- **Zielgebiete für Wärmeversorgung:** Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass es Sinn macht in Gebieten, wo Fernwärme-Primärleitungen vorhanden sind, die Fernwärme zu nutzen. Im Gegensatz bietet es die Möglichkeit, in Gebieten ohne Fernwärme-Primärleitungen alternative Konzepte mit Wärmepumpen und Erdwärmesonden einzusetzen.
- **Niedertemperatur-Wärmenetz:** bei Niedertemperatur-Wärmenetzen müssen höhere Rohrleistungsquerschnitten eingesetzt werden als bei Wärmenetzen mit höheren Temperaturen, um die gleiche Energiemenge zu transportieren (die Spreizung zwischen Vor- und Rücklauftemperatur ist geringer). Die Investitionskosten für die höheren Rohrlängendurchmesser sind höher.
- **Thermische Solaranlagen:** Der Einbau von thermischen Solarkollektoren führt zu höheren Investitionskosten. Bei den aktuell angenommenen Baukosten für Kollektoren und den vergleichsweise niedrigen Wärmetarife ist die thermische Solaranlage nicht wirtschaftlich darstellbar. Das führt auch dazu, dass Variante 1B und 2A höhere Lebenszykluskosten aufweisen im Vergleich zu Lösungen ohne thermische Solaranlage. Hier muss ergänzt werden, dass bei den Kosten keine Förderungen berücksichtigt wurden.
- **Regenerationsbetrieb für Nutzung der oberflächennahen Geothermie:** Die Varianten mit Wärmepumpen unter Nutzung von oberflächennahen Geothermie wurde mit einseitigem Heizbetrieb ausgelegt. Die Dimensionierung der Erdwärmesonden und der Grundwasserbrunnen können höher ausfallen (die spezifischen Energieerträge werden höher), wenn ein Regenerationsbetrieb für diese Systeme vorhergesehen wird. Dieser Regenerationsbetrieb wurde in den Varianten 2B, 2B_{eff} und 3 so konzipiert, dass im Sommer die Heizflächen der Wohnungen (Fußbodenheizung oder Bauteilaktivierung, somit Heizung über die Decke) mit dem Ertrag aus der oberflächennahen Geothermie – ohne Zwischenschaltung einer Wärmepumpe – gespeist werden können. Das führt zu einer passiven Kühlung der Räumlichkeiten, die nur dadurch erreicht wird, dass das Trägermedium Wasser vom Grundwasserbrunnen oder der Erdwärmesonde bis zu den Heizflächen transportiert wird. Zusätzliche Regenerationswärme wird durch Solarabsorber am Dach und die bereits vorhandenen Wärmepumpen gewonnen.
- **Geschäftsmodelle:** Bei der Betrachtung von Energiesystemen ist entscheidend, neben der Möglichkeit der technischen Umsetzung, der ökologischen Bewertung und des Kostenvergleichs, die Möglichkeiten der Realisierung in Form von Geschäftsmodellen mitzudenken. Aufgrund der Geschäftsmodelle können Teile von

Energiesystemen von anderen Organisationen getragen werden (z.B. Übernahmen von Investitionskosten), im Gegenzug steht jedoch eine Gewinnerwartung des Unternehmens, die in den Kosten berücksichtigt werden muss.

- **Energietarife:** Die Vorteilhaftigkeit von Energiesystemen im Betrieb muss auch auf der Seite der Energietarife sichtbar werden. Es soll der Fall vermieden werden, dass bei Varianten mit höheren Investitionskosten höhere Bauträgerzuschüsse zu liefern sind, im Betrieb jedoch ein Standard Energietarif (wie beispielsweise bei der Fernwärme) angewandt wird, der die ökonomischen Vorteile im Betrieb nicht berücksichtigt.
- **Importabhängigkeit von Energie:** Die Variante 4 mit Gas-Kessel weist niedrige Lebenszykluskosten auf. Diese Variante hat jedoch auch die größte Abhängigkeit des Energieträgers von Importen außerhalb von Österreich. Die Beeinflussbarkeit des Energietarifes ist daher sehr gering. Durch die Knappheit der nicht-erneuerbaren Ressourcen ist das Risiko einer langfristigen Energiepreissteigerung höher als bei großem Einsatz Erneuerbarer.
- **Beschäftigungsimpuls:** Technologien für erneuerbare Energien vor Ort weisen einen höheren Investitionskosten und Kosten für Wartung und Instandhaltung auf. Dafür sind die Energiekosten geringer. Dieser Effekt zeigt sich jedoch positiv bezüglich Arbeitsintensität für diese Varianten. Bei Variante mit höherem Anteil an Erneuerbaren ist die Anzahl der Beschäftigten vor Ort höher als bei jenen Varianten, wo die Energie außerhalb der Stadt bezogen wird. Der höhere Einsatz von erneuerbaren Energien in Wien führt daher zu einem Beschäftigungsimpuls in der Stadt.
- **Nutzungskomfort:** Erdwärmesonden erfordern eine jährliche ausgeglichene Wärmebilanz, um langfristig effizient eingesetzt werden zu können (Regeneration). Eine nahezu kostenneutrale Möglichkeit der Regeneration erfolgt durch den Wärmeentzug in den Wohnungen im Sommer über die Fußbodenheizungen, ohne das Zuschalten einer Kältemaschine (passives Kühlen). Das führt zu einem höheren sommerlichen Komfort in diesen Wohnungen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, durch Zuschalten der reversiblen Wärmepumpe auch aktiv zu kühlen. Die Steigerung des Komforts der Wohnungen durch Kühlen ist in den Kosten nicht berücksichtigt. Hier müsste ein zusätzliches Kühlsystem für Wohnungen ohne Regenerationsbetrieb der Wärmepumpen eingeplant und in den Kosten berücksichtigt werden.
- **Marktentwicklung:** Durch den vermehrten Einsatz von Lösungen mit Wärmepumpen und Erdsondenfelder sowie durch die technische Weiterentwicklung in diesem Bereich können die Investitionskosten für die einzelnen Komponenten noch reduziert werden.

11 Verzeichnisse

11.1 Glossar

Annuität: Betrag, der als Produkt aus dem Gesamtbarwert der Kosten und/oder Erträge und dem Annuitätsfaktor ermittelt wird und einer jährlich gleich bleibenden Rate von Kosten und/oder Erträgen entspricht (Quelle: ÖNORM M 7140)

A/V Verhältnis: Oberflächen-Volums-Verhältnis

Barwert: Wert sämtlicher Kosten und Einnahmen, die im Betrachtungszeitraum anfallen und auf den Beginn des Betrachtungszeitraumes bezogen (abgezinst) werden (Quelle: ÖNORM M 7140)

Bauklasse: Der Begriff Bauklasse nach österreichischem Recht ist eine Regelung für die Errichtung von Gebäuden auf Grundstücken und beschreibt die maximal erlaubte Bauhöhe (Quelle: wikipedia.org).

Betrachtungszeitraum: Das ist jener Zeitraum, in der die Kosten für die Berechnung der Lebenszykluskosten berücksichtigt werden. In diesem Zeitraum werden auch Re-Investitionen von Elementen berücksichtigt, sofern die Nutzungsdauer der Elemente geringer ist als die Restlaufzeit des Betrachtungszeitraums. Der Betrachtungszeitraum beginnt mit der Fertigstellung des ersten Bauabschnitts im Jahr 2019.

Betriebsführungskosten: diese Kosten berücksichtigen jenes Personal, das erforderlich ist, um das Energiesystem dauerhaft zu betreiben.

Charakteristische Länge (Ic): Maßzahl für die Kompaktheit, Verhältnis zwischen Volumen und Oberfläche eines Gebäudes

Energiekosten: Energie- und Brennstoffkosten für den Betrieb des Energiesystems. Bei den Energiekosten für Fernwärme sind noch Bestandteile der Re-Investition der Anlagen, Wartung und Instandhaltung, Erweiterung der Leistungskapazität und eine Gewinn-Marge für das Unternehmen enthalten.

Endenergiebedarf (EEB): Beim Endenergiebedarf für die Wärmeversorgung werden zusätzlich zum Heiz- und Warmwasserwärmebedarf die Verluste des technischen Systems berücksichtigt, dazu zählen insbesondere die Verluste der Wärmebereitstellung, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeabgabe sowie allfälliger Hilfsenergie. (Quelle: OIB Richtlinie 6, Ausgabe 2015, Begriffsbestimmungen). Der Endenergiebedarf umfasst jene Wärmemenge,

die eingekauft werden muss, und wird reduziert um Gewinne aus Sonne und Erdwärme. Der Endenergiebedarf basiert auf den Annahmen des *Wärmebedarfs Gebäude* und des *Wärmebedarfs Gebiet*.

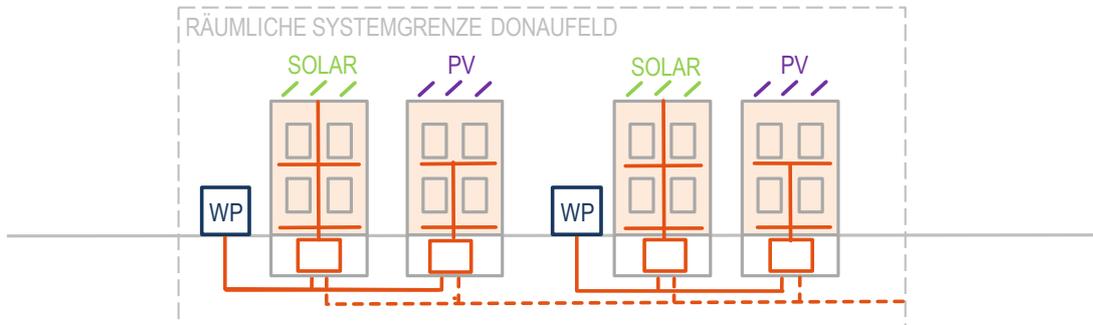


Abbildung 55: Endenergiebedarf (Quelle: eigene Darstellung)

Haushaltsstrombedarf: Wert für den Strombedarf von elektrischen Anlagen innerhalb von Wohnungen. Dieser Bedarf beinhaltet nicht den allfälligen Strombedarf für Raumheizung und Warmwasserbereitstellung.

Heizwärmebedarf (HWB): Rechnerischer Wärmebedarf zur Einhaltung der Innenraumtemperaturen von 20°C, nach ÖNORM B 8110-6, Systemgrenze Raum

Inflation/Preissteigerungsrate Bau/Haustechnik/Wartung/Instandsetzung: Die Inflation drückt die durchschnittliche Preiserhöhung nach einem festgelegten allgemeinen Warenkorb über den Zeitraum des Betrachtungszeitraums aus, die Preissteigerung Bau berücksichtigt dabei Preissteigerungen von Bauleistungen (bzw. Haustechnik sowie Wartung/Instandsetzung).

Investitionskosten: Kosten für die Errichtung von Gebäuden und Anlagen, entsprechend der ÖNORM B 1801-1, Kostengruppen 0 – 6. Es werden nur die Kosten für das Energiesystem berücksichtigt.

Kalkulationszinssatz: der Kalkulationszinssatz bezeichnet die subjektive Mindestverzinsungsforderung eines Anlegers an seine Investition und bestimmt, wie stark weiter in der Zukunft liegende Zahlungen auf ihren Barwert abgewertet werden. Der Zinssatz orientiert sich auch an der Renditeerwartung: während aus volkswirtschaftlicher Sicht die Verzinsung niedriger ist (hier werden im Wesentlichen die Kosten für die Finanzierung berücksichtigt), kann bei Unternehmen die Verzinsung höher liegen (hier kommen noch Zuschläge für Risiko und erwartbaren Unternehmensgewinn hinzu).

Nutzenergiebedarf (NEB): Der Nutzenergiebedarf besteht aus dem Heizwärmebedarf und dem Warmwasserwärmebedarf. Der Heizwärmebedarf ist die Wärmemenge, die den konditionierten Räumen zugeführt werden muss, um deren vorgegebene

Solltemperatur einzuhalten. Der Warmwasserwärmebedarf ist jene Wärmemenge, die ohne Berücksichtigung der Wärmeverluste der Anlagentechnik zur Erzeugung der gewünschten Menge Warmwasser benötigt wird. (Quelle: OIB Richtlinie 6, Ausgabe 2015, Begriffsbestimmungen; ÖNORM H 5056)

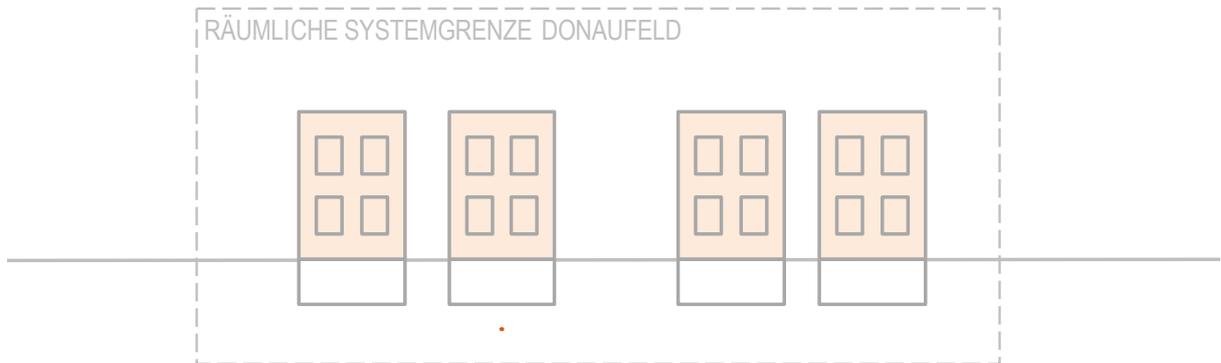


Abbildung 56: Nutzenergiebedarf (Quelle: eigene Abbildung)

Preissteigerung Energie: drückt die durchschnittliche Preiserhöhung der Energiekosten – je Energieträger – über den Betrachtungszeitraum aus.

Primärenergiebedarf (PEB): Der Primärenergiebedarf ist der Endenergiebedarf einschließlich der Verluste in allen Vorketten. (Quelle: OIB Richtlinie 6, Ausgabe 2015, Begriffsbestimmungen).

Primärenergiebedarf Wärme: Der Primärenergiebedarf Wärme ist der Endenergiebedarf zur Wärmeversorgung einschließlich der Verluste in allen Vorketten. Der Primärenergiebedarf Wärme basiert auf den Annahmen des *Wärmebedarfs Gebäude* und des *Wärmebedarfs Gebiet*.

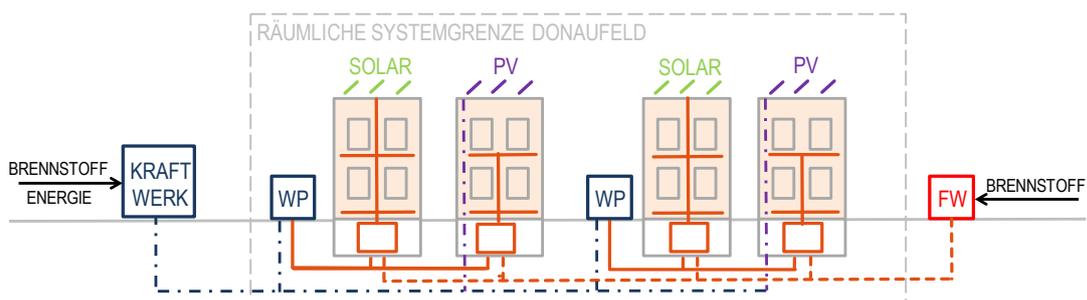


Abbildung 57: Primärenergiebedarf Wärme (Quelle: eigene Darstellung)

Restwert: der Restwert ist die Differenz zwischen den Investitionskosten und bisher vorgenommenen Abschreibungen während der Nutzungsdauer des Elements

SEVESO-Richtlinie: Richtlinie 2012/18/EU vom 4. Juli 2012 zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen.

Wärmebedarf Gebäude: Der *Wärmebedarf Gebäude* für Raumheizung und Warmwasser berücksichtigt in der vorliegenden Studie ein reales Szenario für die Raumheizung (23°C Innenraumtemperatur, Verluste der Wärmeverteilung und Wärmeabgabe im Gebäude) und Warmwasser (Erfahrungswerte von realen Gebäuden, inklusive Verluste der Wärmeverteilung im Gebäude).

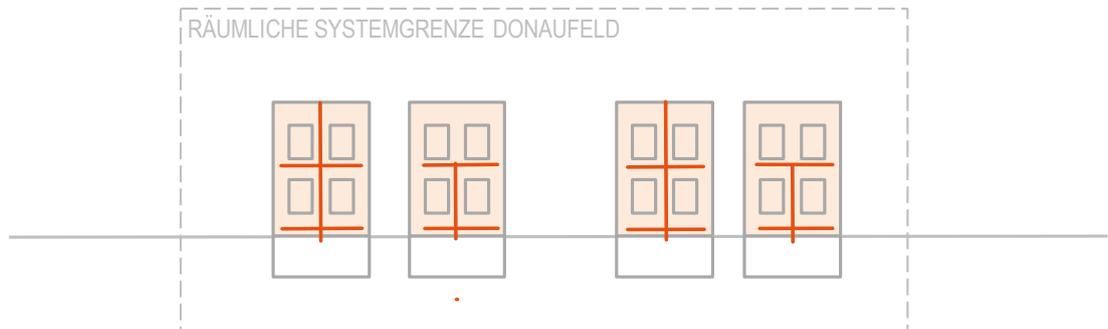


Abbildung 58: Wärmebedarf Gebäude (Quelle: eigene Darstellung)

Wärmebedarf Gebiet: Der *Wärmebedarf Gebiet* berücksichtigt den *Wärmebedarf Gebäude* sowie sämtliche Verluste außerhalb des Gebäudes (Wärmeverteilung, Wärmespeicherung) bis zur Wärmebereitstellung. Der *Wärmebedarf Gebiet* ist jene Wärmemenge, die von den Wärmebereitstellungssystemen abgegeben werden muss. Wenn die Wärmebereitstellung im Gebäude erfolgt, d.h. ohne Wärmenetz, dann entspricht der *Wärmebedarf Gebiet* dem *Wärmebedarf Gebäude*.

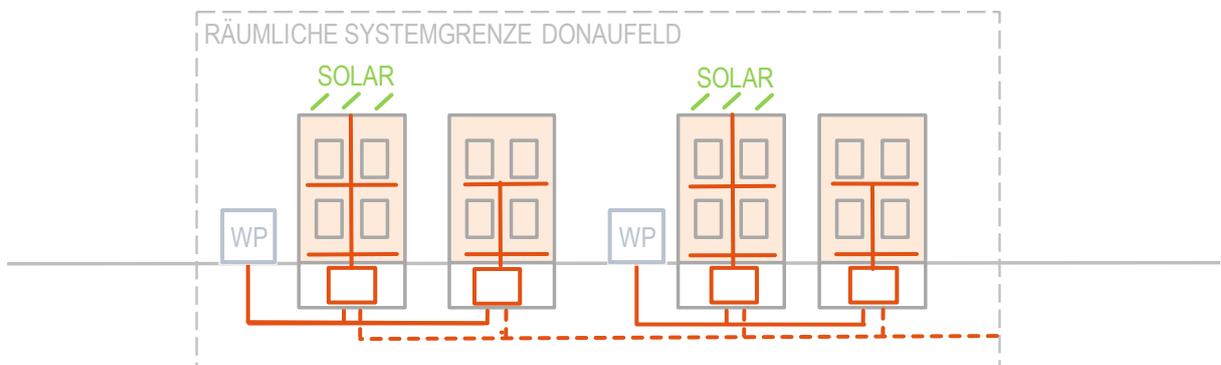


Abbildung 59: Wärmebedarf Gebiet (Quelle: eigene Darstellung)

Wärmepreis: Der Wärmepreis ist ein über die Lebensdauer konstanter Preis (jedoch unter Berücksichtigung der allgemeinen Preissteigerung), der von einem Nutzer für die bereitgestellte Wärme zu verlangen wäre, damit der Kapitalwert der Investition gerade null ergäbe. Ab diesem Preis wäre die Investition wirtschaftlich positiv zu bewerten.

Wartungs-/Instandhaltungskosten: diese Kosten berücksichtigen jenen Aufwand für Elemente des Energieversorgungssystems (Austausch von Verschleißteilen, kleine Reparaturen,...), um den reibungslosen Betrieb sicherzustellen.

11.2 Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
A/V	A/V-Verhältnis
BGF	Bruttogrundfläche in m ²
FW	Fernwärme
GUFO	Gebietsumformer
ha	Hektar
HWB	Heizwärmebedarf
l	Liter
l_c	charakteristische Länge
MA20	Stadt Wien, Magistratsabteilung 20, Energieplanung
MA21	Stadt Wien, Magistratsabteilung 21, Stadtteilplanung und Flächennutzung
MA25	Stadt Wien, Magistratsabteilung 25, Stadterneuerung und Prüfstelle für Wohnhäuser
Mio	Millionen
P	Personen
PV	Fotovoltaik
RH	Raumheizung
WP	Wärmepumpe
WW	Warmwasser
WWWB	Warmwasserwärmebedarf

11.3 Literaturverzeichnis

FANNINGER, G (2013): Präsentationsfolien „TOOL zur Vorprojektierung von thermischen Solaranlagen für Warmwasser & Raumheizung. AEE Intec, Gleisdorf 2013.

GÖTZL, G. ET AL. (2014): Erdwärmepotentialerhebung Stadtgebiet Wien, Endbericht. MA 20 des Magistrats der Stadt Wien, Wien 2014.

HAAS, R. ET AL. (2013): Optionen für die Gestaltung des Wiener Energiesystems der Zukunft, Endbericht. Wiener Stadtwerke Holding AG, Wien 2013.

HEGGER, M. ET AL. (2012): UrbanReNet. EnEff.Stadt – Verbundprojekt Netzoptimierung. Teilprojekt: Vernetzte regenerative Energiekonzepte im Siedlungs- und Landschaftsraum. Schlussbericht. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Darmstadt 2012.

NIPKOW, J. (2013): Der typische Haushalt-Stromverbrauch. Schweizerische Agentur für Energieeffizienz S.A.F.E., Dezember 2013.

NUTZ, C. ET AL. (2010): NACHASPERN, Nachhaltiger Stadtteil „Aspern“, Endbericht. Energie der Zukunft, Wien 2010.

OIB (2014): OIB-Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“ gemäß Artikel 9 (3) zu 2010/31/EU. Österreichisches Institut für Bautechnik, Wien 2014.

OIB (2015): OIB Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz, Ausgabe März 2015

ÖNORM B 8110-6:2014-11-15: Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf. Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2010.

ÖNORM B 8110-5:2011-03-01: Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile

SCHLOMANN ET AL. (2004): Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD). Abschlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, 2004.

SOLAR GUIDE (2002): Handbuch zur Planung von thermischen Solaranlagen für Mehrfamilienhäuser, Austria Solar Innovation Center, 2002.

RECKNAGEL, SPRENGER, SCHRAMEK (2008): Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, 74. Auflage. Oldenbourg Industrieverlag 2008, Seite 1491.

SMART CITY WIEN (2014): Smart City Wien, Rahmenstrategie. Magistrat der Stadt Wien, MA 18 Stadtentwicklung und Stadtplanung, Wien 2014.

STADT WIEN (2014): Leitbild Donauefeld, Website, <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/zielgebiete/donauefeld/leitbild.html>

STRASSER, M. (2013): Strom- und Gastagebuch 2012. Strom- und Gaseinsatz sowie Energieeffizienz österreichischer Haushalte. Projektbericht. Statistik Austria, Direktion Raumwirtschaft, Energie, 2013.

WIEN ENERGIE (2014): Auf Wiener Energie ist Verlass. Wien Energie Jahrbuch 2014. Wien Energie, Wien 2014.

ZECH, S. ET AL. (2011): Leitbild Donauefeld, stadtklima entwerfen. Magistrat der Stadt Wien, Magistratsabteilung 21B, Wien 2011.

ZECH, S. ET AL. (2012): Leitbild Donauefeld, stadtklima entwerfen, Kurzfassung. Magistrat der Stadt Wien, Magistratsabteilung 21B, Wien 2012.

11.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eckdaten des Donauefeldes (Quelle: erwähnt).....	13
Tabelle 2: Bruttogrundfläche der Gebäude für die einzelnen Baufelder, Stand Ende 2014 (Quelle: Leitbild Donauefeld).....	13
Tabelle 3: Ergebnisse für die Energienachfrage (Quelle: eigene Berechnungen).....	24
Tabelle 4: Erste Einschränkung der erneuerbaren Energiequellen (Quelle: eigene Angaben)	26
Tabelle 5: Zweite Einschränkung der erneuerbaren Energiequellen (Quelle: eigene Angaben)	27
Tabelle 6: Kenndaten Fotovoltaikmodule (Quelle: eigene Annahmen)	28
Tabelle 7: Kenndaten Solarkollektor (Quelle: eigene Annahmen)	28
Tabelle 8: Leistungskennwerte geschlossene Wärmetauschersysteme (Quelle: Studie MA20)	29
Tabelle 9: Energieproduktion von lokalen Erneuerbaren (Quelle: eigene Berechnung).....	30
Tabelle 10: Bewertung der Energieträger außerhalb des Untersuchungsgebietes (Quelle: eigene Bewertung).....	31
Tabelle 11: Risikobewertung Variante 0.....	40
Tabelle 12: Risikobewertung Variante 1A	43
Tabelle 13: Risikobewertung Variante 1B	47
Tabelle 14: Risikobewertung Variante 2A	49
Tabelle 15: Risikobewertung Variante 2B und 2B _{eff}	53
Tabelle 16: Risikobewertung Variante 3.....	56
Tabelle 17: Risikobewertung Variante 4.....	58
Tabelle 18: Energieeffizienzkennwerte für Energiebereitstellung (Quelle: eigene Darstellung)	59

Tabelle 19: Konversionsfaktoren für Primärenergie und CO ₂ (Quelle: OIB Richtlinie 6, Ausgabe 2015; Wien Energie)	60
Tabelle 20: Prüfung der Anforderung der OIB Richtlinie 6 für Erneuerbare an der Variante 4	65
Tabelle 21: Berechnungsparameter für die Lebenszykluskostenrechnung	68
Tabelle 22: Systemgrenzen der Kosten (Quelle: eigene Darstellung)	71
Tabelle 23: Annahmen für Unternehmensmarge je Variante, Summe aller Bauabschnitte (Quelle: eigene Berechnung)	73
Tabelle 24: Bandbreiten der Kalkulationsparameter zur Berechnung des Wärmepreises	74
Tabelle 25: Anforderungen für den Bauträgerwettbewerb für Variante 1A, West – Wärmenetz (Wärmepumpe).....	81
Tabelle 26: Anforderungen für den Bauträgerwettbewerb für Variante 2B – Mikrowärmenetze Wärmepumpe	82
Tabelle 27: Anforderungen für den Bauträgerwettbewerb für Variante 3 – Wärmepumpe Gebäude.....	83

11.5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Überblick zu den untersuchten Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Darstellung)	1
Abbildung 2: Spezifische CO ₂ Emissionen der Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Darstellung)	3
Abbildung 3: Anteil an Erneuerbaren Energiequellen vor Ort (Quelle: eigene Darstellung)	4
Abbildung 4: Smart City Kennwerte für Wohnen (Quelle: eigene Darstellung)	4
Abbildung 5: Lebenszykluskosten für die Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Darstellung)	5
Abbildung 6: Investitionskosten der Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Darstellung)	6
Abbildung 7: Vergleich Lebenszykluskosten und CO ₂ Emissionen (Quelle: eigene Darstellung)	6
Abbildung 8: Stadtentwicklungsgebiet Donauefeld im Wiener Stadtplan (Quelle: wien.gv.at). 11	
Abbildung 9: Luftbild des Donauefeldes (Quelle: www.wien.gv.at, bearbeitet)	12

Abbildung 10: Auszug aus dem Leitbild Donauefeld (Quelle: www.wien.gv.at, bearbeitet).....	12
Abbildung 11: Annahmen zur Aufteilung des Untersuchungsgebietes in Bauabschnitte, Stand Ende 2014 (Quelle: wohnfonds Wien, MA21; eigene Darstellung)	14
Abbildung 12: Annahmen für die zeitliche Abfolge der Realisierung der Bauabschnitte, Stand Ende 2014 (Quelle: wohnfonds Wien, MA21; eigene Darstellung)	15
Abbildung 13: Methodischer Ansatz des Projektes (Quelle: eigene Darstellung).....	17
Abbildung 14: Schrittweise Eingrenzung der erneuerbaren Energiequellen vor Ort (Quelle: Eigene Darstellung)	22
Abbildung 15: Energienachfrage Donauefeld für Raumheizung, Warmwasser und Strom, gerundet (Quelle: eigene Berechnung)	24
Abbildung 16: Prüfung, ob Erneuerbare die Nachfrage decken oder nicht (Quelle: eigene Darstellung)	27
Abbildung 17: Energiepotential der lokalen erneuerbaren Energieträger (Quelle: eigene Darstellung)	30
Abbildung 18: Gegenüberstellung von Energienachfrage und –produktion vor Ort (Quelle: eigene Darstellung).....	31
Abbildung 19: Energieflussbild (Quelle: HEGGER 2012, Projekt UrbanReNet)	32
Abbildung 20: Mögliche Energieversorgungsoptionen für das Donauefeld (Quelle: eigene Darstellung)	34
Abbildung 21: Entscheidungsbaum für Energieversorgungsoptionen für das Donauefeld (Quelle: eigene Darstellung)	35
Abbildung 22: Überblick über die untersuchten Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Darstellung)	36
Abbildung 23: Überblick über die verschiedenen Technologien der Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Darstellung)	38
Abbildung 24: Energieversorgung der Variante 0 (Quelle: eigene Darstellung).....	39
Abbildung 25: Energieversorgung der Variante 1A - Ost (Quelle: eigene Darstellung).....	40
Abbildung 26: Energieversorgung der Variante 1A – West (Quelle: eigene Darstellung).....	41
Abbildung 27: Energieversorgung und Betriebsweise der Variante 1A – West (Quelle: eigene Darstellung)	42
Abbildung 28: Energieversorgung der Variante 1B (Quelle: eigene Darstellung).....	45
Abbildung 29: Energieversorgung und Betriebsweise der Variante 1B (Quelle: eigene Darstellung)	46

Abbildung 30: Simulation der Saisonspeicher der Variante 1B (Quelle: eigene Darstellung)	46
Abbildung 31: Energieversorgung der Variante 2A (Quelle: eigene Darstellung)	48
Abbildung 32: Energieversorgung und Betriebsweise der Variante 2A (Quelle: eigene Darstellung)	49
Abbildung 33: Energieversorgung der Variante 2B (Quelle: eigene Darstellung)	51
Abbildung 34: Energieversorgung und Betriebsweise der Variante 2B (Quelle: eigene Darstellung)	52
Abbildung 35: Energieversorgung der Variante 3 (Quelle: eigene Darstellung)	54
Abbildung 36: Energieversorgung und Betriebsweise der Variante 3 (Quelle: eigene Darstellung)	55
Abbildung 37: Energieversorgung der Variante 4 (Quelle: eigene Darstellung)	57
Abbildung 38: Energieversorgung und Betriebsweise der Referenz-Variante 4 (Quelle: eigene Darstellung)	57
Abbildung 39: Wärmebedarf Gebiet (Quelle: eigene Berechnung)	60
Abbildung 40: Anteil der Energieträger, die nutzbare Wärme bereitstellen (Quelle: eigene Berechnung)	61
Abbildung 41: Endenergiebedarf der Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Berechnung)	62
Abbildung 42: Flächenspezifische Endenergie der Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Berechnung)	62
Abbildung 43: Flächenspezifische Primärenergie der Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Berechnung)	63
Abbildung 44: Flächenspezifische CO ₂ Emissionen der Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Berechnung)	63
Abbildung 45: Anteil erneuerbarer Energie vor Ort (Quelle: eigene Berechnung)	64
Abbildung 46: Zusätzliche Kostentypen für die Energieversorgungsvarianten (Quelle: eigene Darstellung)	69
Abbildung 47: Barwert der Energieversorgungsvarianten, Kalkulationszinssatz 3%/a (Quelle: eigene Berechnung)	72
Abbildung 48: Bandbreite des Wärmetarifes, je nach Berechnungsart (Quelle: eigene Darstellung)	75

Abbildung 49: Bandbreite der Barwerte in der Sensitivitätsanalyse (Quelle: eigene Darstellung)	76
Abbildung 51: Investitionskosten der Energieversorgungsvarianten, statisch (Quelle: eigene Berechnung)	77
Abbildung 52: Bandbreite für Energietarife in den Energieversorgungsvarianten, Stand Mitte 2015 (Quelle: eigene Berechnung)	78
Abbildung 53: Orientierung an 2.000 Watt Primärleistung je Person (Quelle: eigene Darstellung)	86
Abbildung 55: Vergleich Lebenszykluskosten und CO ₂ Emissionen (Quelle: eigene Darstellung)	86
Abbildung 56: Gesamtbewertung der Ergebnisse im Farbenteppich und in Noten (Quelle: eigene Darstellung)	87
Abbildung 57: Endenergiebedarf (Quelle: eigene Darstellung)	91
Abbildung 58: Nutzenergiebedarf (Quelle: eigene Abbildung)	92
Abbildung 59: Primärenergiebedarf Wärme (Quelle: eigene Darstellung)	92
Abbildung 60: Wärmebedarf Gebäude (Quelle: eigene Darstellung)	93
Abbildung 61: Wärmebedarf Gebiet (Quelle: eigene Darstellung)	93