

THEMA

Kurzbericht (Kosten-)Vergleich Wärmeversorgungssysteme

APRIL 2016

Wien!
voraus

Energieplanung

StoDt+Wien

Kurzbericht (Kosten-)Vergleich Wärmeversorgungs- systeme

**erstellt im Auftrag der Magistratsabteilung 20
des Magistrats der Stadt Wien**

Robert Freund
Energie.Effizienz.Beratung
Egerlandweg 2
D-83024 Rosenheim
Mobil: +49 (0)176 430 86 217
Email: robert-freund@gmx.net

Kurzfassung -

Für das Jahr 2030 wird für Wien eine Bevölkerungszunahme auf mehr als 2 Mio. Einwohnerinnen und Einwohner prognostiziert. Der Aufgabe, dauerhaft leistbaren und umweltverträglichen Wohnraum bereitzustellen, ist daher besondere Bedeutung beizumessen. Neue Wohnbauprojekte müssen dahingehend beurteilt werden können, inwieweit sie mit dieser Aufgabe konform gehen.

In diesem Zusammenhang wurde von der Magistratsabteilung 20 Energieplanung des Magistrats der Stadt Wien ein Vergleich von Wärmebereitstellungssystemen für großvolumige Wohngebäude beauftragt. Die Untersuchung erstreckt sich auf die Gesamtkosten – unter Berücksichtigung des Betrachtungszeitraums von 40 Jahren – sowie auf Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen.

Ein Referenzgebäude wurde definiert, das in seiner Größe einem heutigen durchschnittlichen Neubau in Wien entspricht. Für die zu untersuchenden Varianten von Wärmebereitstellungssystemen wurden Gesamtkosten ermittelt. Mangels verfügbarer Daten zu geeigneten, in Wien realisierten Objekten wurden die Bauwerkskosten mit Hilfe statistischer Kostendaten generiert; ergänzend wurden hierbei u. a. Daten von Herstellern, Vorgabedaten aus einem (frei verfügbaren) Gesamtkostenberechnungstool sowie Daten zu realisierten Objekten eines Wohnbauunternehmens herangezogen. Zur Absicherung der Aussagekraft der Ergebnisse der zeitraumbezogenen Betrachtungen wurden Sensitivitätsanalysen ausgearbeitet.

Die Ergebnisse der Untersuchung bestätigen die zu Beginn der Projektbearbeitung formulierte Arbeitsthese, wonach auch für Menschen mit geringem Einkommen sinnvolle Lösungen mit geringen CO₂-Emissionen zu vertretbaren Kosten verfügbar sind. Im Projektbericht werden die Ergebnisse zu zehn Varianten dokumentiert.

Hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang Wärmebereitstellungssysteme mit Sole/Wasser-Wärmepumpe und Erdreichwärmenutzung mittels Tiefensonden, gegebenenfalls in Kombination mit Flachkollektoranlagen (zur Erdreichwärmenutzung): Diese Varianten weisen – im Vergleich zu den anderen – niedrigere Gesamtkosten auf und gleichzeitig auch vergleichsweise geringe CO₂-Emissionen.

Die fernwärmebasierte Variante schneidet bei Kapitalkosten, Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen im Vergleich am besten ab, bei den Heizkosten ergibt sich für diese Variante der höchste Wert. Die untersuchten Varianten mit Erdgaskessel und Solarthermieanlagen in zwei unterschiedlichen Größen sind im Hinblick auf die Kriterien CO₂-Emissionen und Primärenergiebedarf schlechter einzustufen als die übrigen betrachteten Varianten.

Im Rahmen der Untersuchung konnte gezeigt werden, dass sich Eigenstromproduktion (für den Betrieb von Wärmepumpenanlagen) mittels Photovoltaik-Anlage vor Ort vorteilhaft auf die Gesamtkosten auswirkt, weil die durchschnittlichen Kosten für den selbst produzierten Strom unter dem mittleren Strombezugstarif (im Betrachtungszeitraum) liegen.

Weiters wurden die Kosteneinsparungen im Zusammenhang mit einem verbesserten Ertrag der thermischen Solaranlagen bzw. verbesserten Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen quantifiziert und die Bedeutung einer Optimierung der betreffenden Anlagen in Planung und Betrieb unterstrichen. Auf Erlösmöglichkeiten im Zusammenhang mit der Teilnahme von strombetriebenen Anlagenkomponenten am Regelenergiemarkt wurde hingewiesen.

Im Zusammenhang mit dem Kriterium der Leistbarkeit des Wohnens sind die Gesamtkosten eines Wärmebereitstellungssystems relevant. Der Errichter eines Gebäudes wird hingegen grundsätzlich den Anreiz haben, durch niedrige Bauwerkskosten die Errichtungskosten im Rahmen zu halten. Der Kostenvergleich belegt, dass die Varianten mit den niedrigsten Kapitalkosten (Erdgas-Solarthermie klein bzw. Fernwärme) – infolge der vergleichsweise hohen Heizkosten – im Hinblick auf die Gesamtkosten über den vier kostengünstigsten Varianten mit Wärmepumpenanlagen liegen. Unter Maßgabe der Zielsetzung, dauerhaft leistbaren Wohnraum bereitzustellen, erscheinen daher Anreize für die Errichter zielführend, Wohnraum mit Wärmebereitstellungssystemen auszustatten, die vergleichsweise niedrige Gesamtkosten aufweisen.

Berichtsteil - Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangssituation und Fragestellung	5 -
2. Methodik, Varianten und Inputdaten.....	6 -
3. Ergebnisse: Darstellung und Diskussion	11 -
3.1 Ermittlung der Gesamtkosten - grundsätzlich.....	11 -
3.2 Basisvergleich	12 -
3.3 Variantenrechnung Preissteigerung Energie = 4 % p.a.	15 -
3.4 Variantenrechnung Basisvergleich ohne Preissteigerung PV.....	16 -
3.5 Variantenrechnung Instandhaltungsrate	17 -
3.6 Sensitivitätsanalyse Ertrag thermische Solaranlage.....	18 -
3.7 Sensitivitätsanalyse Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpenanlagen.....	19 -
3.8 Bewertung Primärenergiebedarf und CO ₂ -Emissionen.....	20 -
4. Kernaussagen und Schlussfolgerungen	22 -

1. Ausgangssituation und Fragestellung -

In Wien gab es im Jahr 2011 rund 165.000 Gebäude, davon etwa 149.000 Wohngebäude. Aufgrund demografischer Veränderungen sowie wegen des erwarteten Bevölkerungszuwachses sollten bis 2025 ca. 120.000 neue Wohnungen bereitgestellt werden.¹ Die Bevölkerungsprognose für das Jahr 2030 beläuft sich für Wien auf mehr als 2 Mio. Einwohnerinnen und Einwohner.²

Um den in der Smart City Wien Rahmenstrategie³ formulierten Zielen gerecht werden zu können, müssen neue Gebäude, Quartiere und Stadtteile anspruchsvolle energetische Standards erfüllen. Politik und Verwaltung haben sich dazu verpflichtet, entsprechende Schritte zu setzen. Relevant sind in diesem Zusammenhang die Themenfelder Gebäude, Energie und Energiesysteme. Bei Gebäuden werden im Zuge der Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie 2010 Niedrigstenergiegebäude zum Standard. Bei der Festlegung und Fortschreibung der Anforderungen wird hierbei auch der Aspekt der Kostenoptimalität berücksichtigt. Die Smart City Wien Rahmenstrategie zielt darauf ab, die Wärmebereitstellungssysteme von Gebäuden hin in Richtung (noch) mehr Klimaschutz weiterzuentwickeln. Der Fokus auf die Optimierung der Heiz- und Gebäudetechnik im Wohnbau ergibt sich weiters auch aus den Empfehlungen, die von einem externen Monitoringteam im Zusammenhang mit der Fortführung des städtischen Energie-Effizienz-Programms formuliert wurden.

Wohnen in Wien muss für die Menschen leistbar sein. Hierbei gehen Kosten im Zusammenhang mit der Errichtung eines Gebäudes mit ein, aber auch die Kosten in der Nutzungsphase. Um geplante Wohnbauprojekte im Hinblick auf die Leistbarkeit besser beurteilen und zukunftsorientiertes Bauen gezielt unterstützen zu können, wurde im Rahmen dieser Studie ein Kostenvergleich zwischen verschiedenen Wärmebereitstellungssystemen für großvolumige Wohngebäude angestellt. Zur Herausarbeitung der relevanten Unterschiede zwischen den betrachteten Varianten wurden Bauwerks-, Kapital-, Betriebs- und Erhaltungskosten⁴ berücksichtigt.

Zu Beginn der Projektbearbeitung wurde folgende Arbeitsthese formuliert:

„Der Unterschied zwischen den betrachteten Systemen ist nicht groß, auch für Menschen mit geringem Einkommen sind sinnvolle Lösungen mit geringen CO₂-Emissionen zu vertretbaren Kosten verfügbar.“

Es ist notwendig, neue Wohnbauprojekte dahingehend beurteilen zu können, inwieweit sie dazu beitragen können, dauerhaft leistbaren und umweltverträglichen Wohnraum bereitzustellen. Gebäude, die heute errichtet werden, werden im Jahr 2030 und darüber hinaus in nahezu unveränderter energetischer Qualität Teil des Gebäudebestands sein.

¹ Magistrat der Stadt Wien (2014a), S. 52

² <https://www.wien.gv.at/statistik/bevoelkerung/prognose/> (abgerufen am 14.12.2015)

³ Magistrat der Stadt Wien (2014a)

⁴ In diesem Abschnitt sowie in den Ausführungen zur Methodik (in Kap. 2) wird – in Anlehnung an die Ermittlung der Lebenszykluskosten gem. ÖNORM – auf die Begriffe gem. ÖNORM B 1801-1 bzw. ÖNORM B 1801-2 zurückgegriffen. Im Zusammenhang mit der Ermittlung der Gesamtkosten werden Kostengliederung bzw. zugehörige Begriffe des Gesamtkostenberechnungstools verwendet; Erläuterungen hierzu finden sich in Kap. 3.1.

2. -Methodik, Varianten und Inputdaten

Gegenstand der Studie ist die Ausarbeitung eines (Kosten-)Vergleichs von Wärmebereitstellungssystemen für großvolumige Wohngebäude. In einem ersten Schritt wurde ein Referenzgebäude definiert. In weiterer Folge wurden für das Referenzgebäude Varianten mit unterschiedlichen Wärmebereitstellungssystemen festgelegt. Für die zu untersuchenden Anlagenkonfigurationen wurden Kostendaten erhoben bzw. generiert und schließlich für den Betrachtungszeitraum von 40 Jahren mittlere jährliche Gesamtkosten ermittelt. Zwecks Absicherung der Aussagekraft der Ergebnisse der zeitraumbezogenen Betrachtungen wurden Sensitivitätsanalysen ausgearbeitet. Weiters wurden die betrachteten Wärmebereitstellungssysteme primärenergetisch und im Hinblick auf die verursachten Treibhausgasemissionen bewertet.

Schritt 1: Definition von Referenzgebäude und Referenzausstattung

Zur Darstellung der Kosten von Wärmebereitstellungssystemen wurde zunächst ein Referenzgebäude definiert, das in seiner Größe einem durchschnittlichen aktuellen Neubau in Wien entspricht.

Die in diesem Zusammenhang getroffenen Festlegungen sind der nachfolgenden Zusammenstellung zu entnehmen:

- Gebäudegröße: konditionierte Bruttogrundfläche = 9.000 m²;
- Effizienzstandard: Heizenergiebedarf HEB = 70 kWh/m² a; -
davon -
 - Heizwärmebedarf HWB = 25 kWh/m² a;
 - Warmwasserbedarf WWB = 12,8 kWh/m² a;
 - Heiztechnikenergiebedarf HTEB = 32,2 kWh/m² a;
- Heiz(verteil)system: Erdgas zentral, 4-Leiter-System;
- Solarthermie: 1 m² Kollektorfläche je 100 m² konditionierte Bruttogrundfläche;
- Heizlast = 350 kW;

Der Heizenergiebedarf für das Referenzgebäude beträgt somit 630.000 kWh/a.

Schritt 2: Festlegung der zu untersuchenden Varianten von Wärmebereitstellungssystemen

Es wurden zwölf Varianten von Wärmebereitstellungssystemen für das Referenzgebäude untersucht. Für die in Tabelle 1 angeführten zehn Varianten werden die Ergebnisse im Rahmen dieses Berichts dargestellt.

Komponenten Varianten ⁵	Erdgas- kessel	Fernwär- meüber- gabestat.	Solar- thermie	WP Heizung	WP Warm- wasser	Erdwärme Tiefenson- de	Erdwärme Flachkol- lektor	PV-Anlage
	Leistung	Leistung	Kollek- tor- fläche	Heiz- leistung	Heiz- leistung	Gesamt- länge	Gesamt- länge	Leistung
A Erdgas- Solarthermie-klein	350 kW		90 m ²					
C1 Fernwärme		350 kW						
D1 Erdgas- Solarthermie-groß	350 kW		300 m ²					
F1 Sole/Wasser- WP-Tiefen- sonde				244 kW	151,8 kW	6000 m		
F1a Sole/Wasser- WP-Tiefen- sonde- Flachkollektor kombiniert				244 kW	151,8 kW	4750 m	3070 m	
F2 Sole/Wasser- WP-Tiefen- sonde- PV				244 kW	151,8 kW	6000 m		43 kW _p
F2a Sole/Wasser- WP-Tiefen- sonde- Flachkollektor kombiniert PV				244 kW	151,8 kW	4750 m	3070 m	43 kW _p
G Sole/Wasser- WP-Tiefen- sonde- Solarthermie			300 m ²	244 kW	151,8 kW	6000 m		
I1 Luft/Wasser- WP-Erdgas-PV	59 kW			3 x 61 kW	2 x 58 kW			43 kW _p
I2 Luft/Wasser- WP-Erdgas- Solarthermie	59 kW		300 m ²	3 x 61 kW	2 x 58 kW			

Tabelle 1: Übersicht Varianten Energiebereitstellungssysteme

Weiters wurden zwei Varianten mit Sole/Wasser-Wärmepumpe in Kombination mit Flachkollektor mit bzw. ohne PV-Anlage untersucht. Infolge des (hohen) Flächenbedarfs für die Flachkollektoranlage (ca. 12.000 m²) kommen diese Varianten jedoch nur für wenige Standorte in Frage und werden daher bei der vergleichenden Darstellung der Ergebnisse nicht mit berücksichtigt. Grundwasser-Wärmepumpen wurden nicht in die Untersuchung mit einbezogen, da bei stärkerer Verbreitung bzw. entsprechend dichter Nutzung das verfügbare Wärmeangebot für ein konkretes Objekt nicht verlässlich quantifizierbar ist.

Mittelfristig sollte im Hinblick auf mögliche Wärmequellen auch die Nutzung der im (Kanal-) Abwasser enthaltenen Wärme beim Variantenvergleich Berücksichtigung finden. In absehbarer Zeit werden Erfahrungen und Kostendaten zu bereits umgesetzten bzw. sich in Umsetzung befindenden Projekten vorliegen, wie z.B. Betriebsgebäude Stadtwerke Amstetten (ein-

⁵ Die Bezeichnung der Varianten entspricht jener, die im Zuge der Bearbeitung vergeben wurden. In Tabelle 1 werden nur die Varianten angeführt, deren Ergebnisse im gegenständlichen Bericht dargestellt werden.

schl. Kraftwerk)⁶, Erweiterung Kolpinghaus Salzburg⁷ bzw. Aktiv-Stadthaus Frankfurt am Main⁸.

Die Ausführung des Verteilnetzes sowie die zugehörigen Verluste wurden für den Kostenvergleich für alle betrachteten Varianten (vereinfachend) als konstant angenommen. Unterschiede im Hinblick auf Systemtemperaturen und Wärmeabgabe zwischen Wärmepumpensystemen und anderen Systemen wurden im Rahmen der Studie nicht berücksichtigt.

Schritt 3: Festlegung von Systemgrenzen und Berechnungsparametern

Im Zuge der Bewertung wurden berücksichtigt im Hinblick auf:

(1) ... die Anlagen:

- Wärmeerzeugungsanlagen (Kostenbereich 3C.01 gem. ÖNORM B 1801-1 bzw. KG 420 gem. DIN 276);
- Anlagen zur Eigenstromversorgung (Kostenbereich 3F.02 gem. ÖNORM B 1801-1 bzw. KG 420 gem. DIN 276).

(2) ... Anschaffungs- bzw. nutzerspezifische Kosten (Gliederung gem. ÖNORM B 1801-1 bzw. ÖNORM B 1801-2):

- Bauwerkskosten;
- Kapitalkosten;
- Betriebskosten;
- Erhaltungskosten.

Gegenstand der Untersuchung war es, gezielt die Kostenunterschiede der betrachteten Varianten von Wärmebereitstellungssystemen herauszuarbeiten. Daher wurden Kostenbereiche bzw. Kostenarten, die nicht von der Wahl des Wärmebereitstellungssystems abhängen, nicht in die Betrachtung mit einbezogen. Beispiele hierfür sind Grundkosten, Kosten im Zusammenhang mit Außenanlagen bzw. Steuern und Abgaben oder Verwaltungskosten.

Im Hinblick auf relevante Berechnungsparameter für den Kostenvergleich wurden die nachfolgend dargestellten Festlegungen übernommen⁹:

⁶ <http://www.abwasserenergie.at/index.php?id=179> (abgerufen am 4.12.2015) -

⁷ <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id7318> (abgerufen am 4.12.2015) -

⁸ <http://www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/modellvorhaben/netzwerk/aktiv-stadthaus-frankfurt-am-main/> (abgerufen am 4.12.2015) -

⁹ Hofer, G. et al. (2015), S. 67 -

	Basiswert	Sensitivität
Kalkulationszinssatz	3 %/a	
Betrachtungszeitraum	40 Jahre	
Preissteigerung Haustechnik	2,5 %/a	
Preissteigerung Instandhaltung	2,5 %/a	
Preissteigerung Energie	2 %/a	4 %/a

Tabelle 2: Berechnungsparameter Kostenvergleich

Die im Rahmen der Berechnung verwendeten Energieträgerpreise (im Ausgangsjahr) sind in Tabelle 3 dargestellt. Für die Berechnung wurde für jeden Energieträger (vereinfachend) jeweils nur der in der Tabelle angeführte Arbeitspreis herangezogen. Eine detailliertere Differenzierung in verschiedene Kostenkomponenten erfolgte im Rahmen des Kostenvergleichs nicht.

Energieträger	Arbeitspreis in EUR pro kWh (inkl. USt.) ¹⁰
Fernwärme	0,1083
Strom Wärmepumpentarif	0,1700
Strom Haushaltstarif	0,2185
Erdgas	0,0627

Tabelle 3: Arbeitspreise Energieträger Ausgangsjahr

Für primärenergetische Bewertung sowie für die Bewertung im Hinblick auf die verursachten Treibhausgasemissionen im Zusammenhang mit den betrachteten Wärmebereitstellungssystemen wurde auf die betreffenden Konversionsfaktoren gem. OIB-Richtlinie 6 Energieeinsparung und Wärmeschutz (Ausgabe März 2015)¹¹ zurückgegriffen.

Schritt 4: Erhebung der Kosten und Durchführung der Berechnungen – ökonomisch sowie im Hinblick auf CO₂-Emissionen und Primärenergiebedarf

Zur Generierung der Inputdaten wurden – mangels verfügbarer Daten zu in Wien realisierten geeigneten Objekten – für die einzelnen zu untersuchenden Varianten statistische Kostendaten herangezogen, die den Publikationen des Baukosteninformationszentrums Deutscher Architektenkammern (BKI)^{12 13 14 15} zu entnehmen sind.¹⁶

¹⁰ Hofer, G. et al. (2015), S. 76. Die in der Quelle angegebenen Werte wurden direkt übernommen bzw. wurden - Mittelwerte berechnet, wenn dort eine Bandbreite angegeben ist. -

¹¹ Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.) (2015) -

¹² BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.) (2015a) -

¹³ BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.) (2015b) -

¹⁴ BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.) (2015c) -

¹⁵ BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.) (2015d) -

Die Kosten für eine Variante wurden unter Berücksichtigung der im Zusammenhang mit dem jeweiligen Wärmebereitstellungssystem relevanten Komponenten berechnet. Die Umrechnung auf das Preisniveau in Österreich erfolgte mittels Regionalfaktor. Ergänzend wurden u.a. Informationen bzw. Daten von Herstellern^{17 18}, Vorgabedaten aus einem (frei verfügbaren) Gesamtkostentool¹⁹ sowie Daten zu realisierten Objekten eines Wiener Wohnbauunternehmens²⁰ herangezogen. Eine Plausibilitätskontrolle erfolgte mit Hilfe von Kostendaten zu realisierten vergleichbaren Objekten, die in Publikationen des Baukosteninformationszentrums Deutscher Architektenkammern (BKI) dokumentiert sind.

Ein Überblick zur Generierung und Verwendung der Kostendaten ist der nachfolgenden Grafik zu entnehmen:

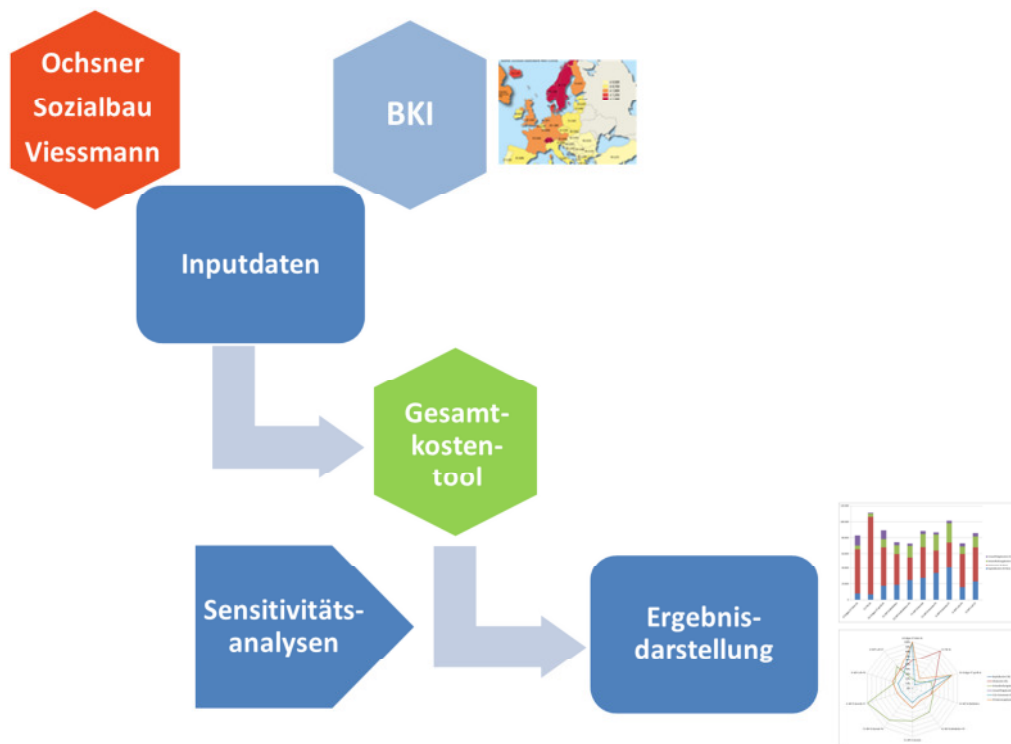


Abbildung 1: Berechnungen und Analysen im Überblick

Die Kostendaten für die verschiedenen Varianten von Wärmebereitstellungssystemen wurden jeweils in einzelnen Tabellenblättern eines Excel-Files ermittelt. Gesamtkosten-Berechnungstool und Tabellenblätter zu den einzelnen Varianten sind dynamisch verknüpft. CO₂-Emissionen und Primärenergiebedarf für die betrachteten Varianten wurden ebenfalls mit Hilfe des Excel-Tools berechnet.

¹⁶ Im Zuge der Berechnung wurde jeweils auf die Mittelwerte der statistischen Kostenwerte zurückgegriffen. - Die Bandbreite der zugrundeliegenden spezifischen Kostenangaben aus umgesetzten Objekten ist für die meisten Komponenten beträchtlich. Für einen Gas-Brennwertkessel mit einer Leistung von 226 bis 400 kW wird - beispielsweise ein Mittelwert von 13.729 EUR netto angegeben; die zugehörige Bandbreite reicht von 12.902 - bis 15.884 EUR (ohne die Berücksichtigung von absolutem Minimum und absolutem Maximum) – siehe BKI - Baukosteninformationszentrum (Hrsg.) (2015d), S. 868 -

¹⁷ Ochsner (2015) -

¹⁸ Viessmann (2015) -

¹⁹ Hochbauamt Frankfurt (2014) -

²⁰ Sozialbau (2015) -

Schritt 5: Sensitivitätsanalysen und Variantenrechnungen

Der Kostenvergleich wurde auch unter Verwendung der (gegenüber dem Basiswert von 2 %) höheren Energiepreisstiegrate von 4 % (gem. Festlegung Berechnungsparameter, siehe oben Tabelle 2) durchgeföhrt.

Darüber hinaus wurden die folgenden Parameter variiert:

- Instandhaltungsraten;
- Ertrag thermische Solaranlagen;
- Jahresnutzungsgrade der Wärmepumpenanlagen.

Schritt 6: Analyse und Interpretation der Ergebnisse

Die für die einzelnen Varianten ermittelten Ergebnisse wurden – unter Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den Sensitivitätsanalysen – analysiert und interpretiert. Insbesondere relevant in diesem Zusammenhang ist die Beantwortung der Fragestellung, inwieweit eine untersuchte Variante dazu beiträgt, dauerhaft leistbaren und umweltverträglichen Wohnraum bereitzustellen. Kernaussagen und Schlussfolgerungen wurden abgeleitet.

3. Ergebnisse: Darstellung und Diskussion

3.1 Ermittlung der Gesamtkosten - grundsätzlich

Bei der Berechnung der Gesamtkosten wurden gem. der Gliederung des Gesamtkostenberechnungstools²¹ folgende Kostengruppen²² berücksichtigt:

- Kapitalkosten,
- Heizkosten,
- Instandhaltungskosten und
- Umweltfolgekosten.

Bei der Ermittlung der Kapitalkosten wurde (gem. Festlegung der Referenzparameter, siehe oben Tabelle 2) ein Kalkulationszinssatz in Höhe von drei Prozent zum Ansatz gebracht. Diese Kostengruppe beinhaltet jeweils Tilgung und Zinszahlungen im Zusammenhang mit der Errichtung des betreffenden Wärmebereitstellungssystems. Ersatzinvestitionen im Betrachtungszeitraum (einschließlich einer Preisstiegrung in Höhe von 2,5 % p.a. – siehe oben Tabelle 2) wurden berücksichtigt, allfällige Restwerte jedoch nicht. Für alle zu betrachtenden Anlagenkomponenten wurde für jeden Investitionszyklus jeweils separat die zugehörige Annuität berechnet.

²¹ Hochbauamt Frankfurt (2014)

²² Wie oben in Fußnote 4 ausgeführt, wird in den grundlegenden Ausführungen zur Methodik (in Kap. 2) – in Anlehnung an die Ermittlung der Lebenszykluskosten gem. ÖNORM – auf die Begriffe gem. ÖNORM B 1801-1 bzw. ÖNORM B 1801-2 zurückgegriffen. Im Zusammenhang mit der Ermittlung der Gesamtkosten werden Kostengliederung bzw. zugehörige Begriffe des Gesamtkostenberechnungstools verwendet; Erläuterungen hierzu sind den nachfolgenden Ausführungen zu entnehmen.

Die Kapitalkosten einer Wärmebereitstellungsvariante entsprechen dem mittleren Wert der Annuitäten über den Betrachtungszeitraum von 40 Jahren.

Bei den Heizkosten wurde in einem ersten Schritt mittels Jahresarbeitszahlen bzw. Jahresnutzungsraden der im Zusammenhang mit der Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser im Referenzgebäude erforderliche Energieeinsatz berechnet und in der Folge mit den festgelegten Energieträgerpreisen (siehe oben Tabelle 3) bewertet.

Aus den Energiekosten für das Ausgangsjahr wurden mit Hilfe eines Mittelwertfaktors zur Berücksichtigung der angenommenen jährlichen Energiepreissteigerungsrate (in Höhe von 2 % - siehe oben Tabelle 3) für den Betrachtungszeitraum von 40 Jahren mittlere jährliche Energiekosten bestimmt.

Zur Berechnung der Instandhaltungskosten wurde eine mittlere Instandhaltungsrate in Höhe von 1,64 % p.a. (bezogen auf die Investitionskosten) herangezogen; diese setzt sich zusammen aus dem Mittelwert für die Kostengruppe 400 (Bauwerk – technische Anlagen, gem. DIN 276) in Höhe von 1,52 %²³ und einem Aufschlag für hohe Technisierung (7,8 %²⁴). Die angeführte Instandhaltungsrate umfasst Kosten im Zusammenhang mit Inspektion, Wartung und Instandsetzung (gem. DIN 31051). Für die Komponenten Tiefensonde und Flachkollektor wurde abweichend eine Instandhaltungsrate von 0,5 % p.a. (bezogen auf die Investitionskosten) festgelegt. Unter Berücksichtigung der mittleren Preissteigerungsrate für Instandhaltungsleistungen in Höhe von 2,5 % p.a. (siehe oben Tabelle 2) wurde für die Instandhaltungskosten ein Mittelwert über den Betrachtungszeitraum berechnet. Preisangepasste Investitionskosten im Zusammenhang mit Ersatzinvestitionen wurden berücksichtigt. Die Instandhaltungskosten wurden für alle zu betrachtenden Anlagenkomponenten jeweils separat berechnet.

Die Umweltfolgekosten umfassen Kosten im Zusammenhang mit der Emission von Kohlendioxid; für die Berechnung wurde ein Wert von 80 EUR/t CO₂²⁵ herangezogen. Dieser Betrag wurde für den gesamten Betrachtungszeitraum von 40 Jahren als konstant angenommen.

Unter Berücksichtigung von Kapital-, Heiz-, Instandhaltungs- und Umweltfolgekosten wurden die Gesamtkosten für die untersuchten Varianten ermittelt. Es handelt sich hierbei um mittlere jährliche Gesamtkosten im Betrachtungszeitraum (von 40 Jahren). Dieser Ansatz wurde gewählt, da sich die Leistbarkeit auf Basis mittlerer jährlicher Kosten anschaulicher beurteilen lässt als unter Heranziehung eines Barwerts. Weiters trägt dieser Ansatz dem Aspekt der Generationengerechtigkeit besser Rechnung.

3.2 Basisvergleich

Die mittleren jährlichen Gesamtkosten (unter Verwendung der vorangehend beschriebenen Festlegungen) für zehn untersuchte Varianten von Wärmebereitstellungssystemen für großvolumige Wohngebäude sind in Abbildung 2 dargestellt.

²³ rotermund.ingenieure (Hrsg.) (o.J.), S. 28

²⁴ rotermund.ingenieure (Hrsg.) (o.J.), S. 32

²⁵ Umweltbundesamt (Hrsg.) (2012), S. 5

Der Darstellung ist zu entnehmen, dass ein Wärmebereitstellungssystem, das aus einer Sole/Wasserwärmepumpe, Tiefensonden- und Flachkollektoranlage sowie einer PV-Anlage (Variante F2a) besteht, die niedrigsten mittleren jährlichen Gesamtkosten aufweist. Die Varianten F2 (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-PV) und F1a (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Flachkollektor kombiniert) liegen nahezu gleichauf. Danach folgen die Varianten F1 (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde) und die Variante mit Erdgaskessel und einer Solarthermieanlage (A) mit einer Kollektorfläche, die der Mindestanforderung entspricht (90 m²).

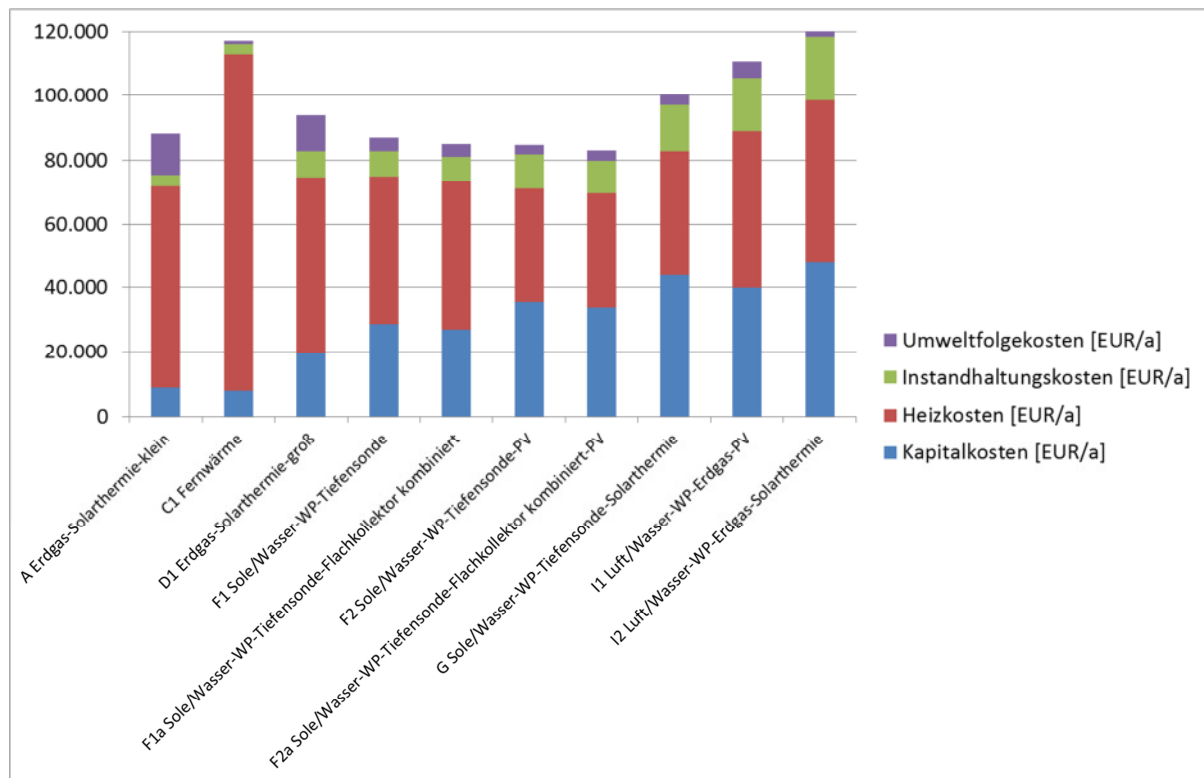


Abbildung 2: Mittlere jährliche Gesamtkosten – Basisvergleich - Säulendiagramm

Die mittleren jährlichen Gesamtkosten für Variante A (Erdgas-Solarthermie-klein) liegen um 6,2 % über jenen für die kostengünstigste Variante F2a (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Flachkollektor kombiniert-PV). Die mittleren jährlichen Gesamtkosten der beiden teuersten Varianten im Vergleich liegen um 41,1 % (Variante C1 Fernwärme) bzw. 49,0 % (Variante I2 Luft/Wasser-WP-Erdgas-Solarthermie) über jenen der kostengünstigsten.

Die Varianten mit Wärmepumpenanlagen und PV-Anlage weisen jeweils niedrigere Gesamtkosten auf als jene ohne, da mittels PV-Anlage über den Betrachtungszeitraum von 40 Jahren (unter Berücksichtigung von Kapital- und Instandhaltungskosten sowie Elektrizitätsabgabe) Strom zu einem durchschnittlichen Preis in Höhe von 0,181 EUR/kWh (ohne USt.) bereitgestellt werden kann.

Diese Gestehungskosten liegen unter dem mittleren Wert für den Wärmepumpentarif für den gesamten Betrachtungszeitraum in Höhe von 0,214 EUR/kWh (ohne USt.); der zugehörige Arbeitstarif im Ausgangsjahr beträgt 0,142 EUR/kWh (ohne USt. – vgl. Tabelle 3), die Energie-Preissteigerungsrate gem. Festlegung 2 % (siehe Tabelle 2). Für den Kostenvergleich wird angenommen, dass der vor Ort generierte Strom vollständig dazu genutzt wird, um ex-

ternen Strombezug für die Wärmepumpe zu verdrängen.²⁶ Im Zusammenhang mit der Elektrizitätsabgabe wurde keine Steigerungsrate zum Ansatz gebracht.

Allfällige Erlöse für die Varianten mit Wärmepumpenanlage aus einer Teilnahme am Regelenergiemarkt wurden in der Vergleichsrechnung nicht berücksichtigt. Am A1 Regelenergiepool²⁷ ist beispielsweise eine Teilnahme auch mit kleineren Anlagen möglich (ab ca. 100 kW_{el.}).

Dem nachfolgend (in Abbildung 3) dargestellten Netzdiagramm ist zu entnehmen, wie die einzelnen Kostenkomponenten der betrachteten Varianten jeweils im Verhältnis zur Variante mit den höchsten Kosten in einer Kategorie einzuordnen sind.

Aus der Darstellung ist ersichtlich, dass

- Variante A (Erdgas-Solarthermie-klein) die höchsten Umweltfolgekosten aufweist,
- Variante C1 (Fernwärme) die höchsten Heizkosten und
- Variante I2 (Luft/Wasser-WP-Erdgas-Solarthermie) die höchsten Instandhaltungskosten.

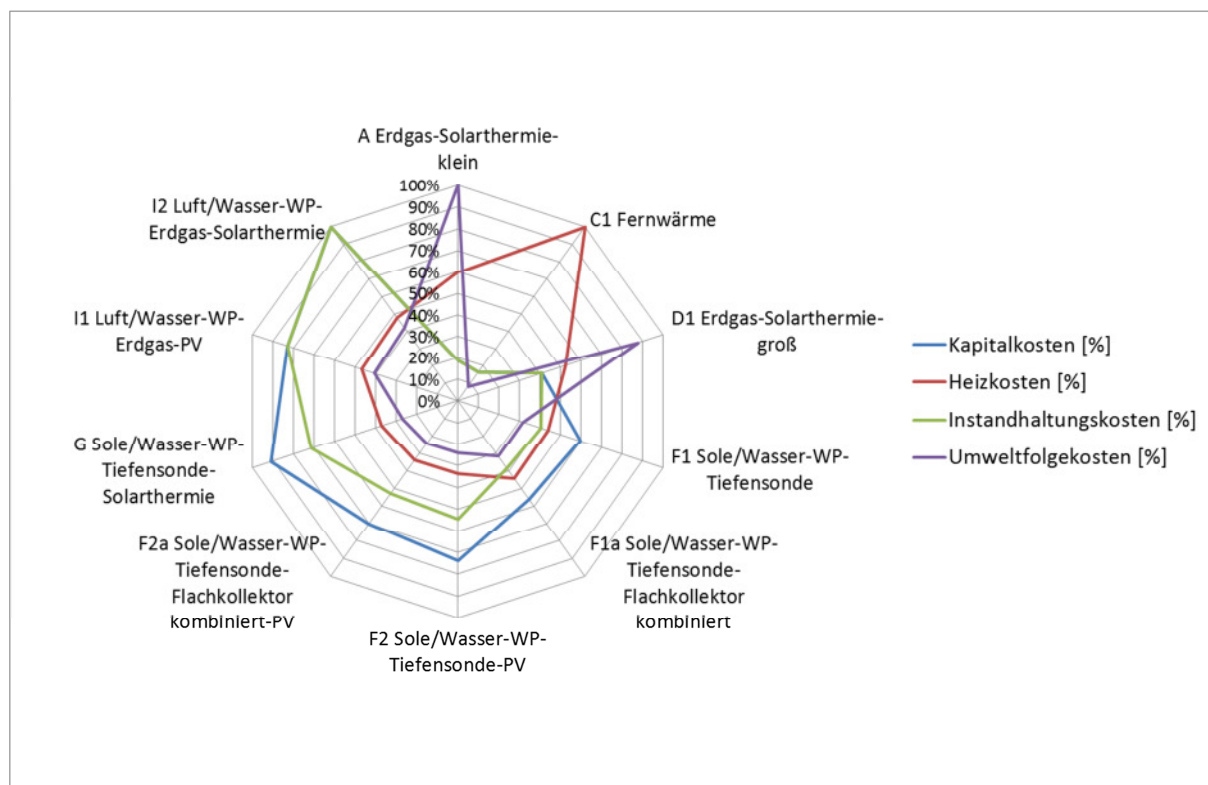


Abbildung 3: Mittlere jährliche Gesamtkosten – Basisvergleich - Netzdiagramm

²⁶ Für den Betrieb der Wärmepumpe zur Raumwärmebereitstellung wurde in der Vergleichsrechnung für die Variante F2 (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-PV) ein Strombezug in Höhe von ca. 98 MWh/a zum Ansatz gebracht, für den Betrieb der Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung ein Strombezug in Höhe von ca. 81 MWh/a. Im Hinblick auf den Ertrag der PV-Anlage wurde mit einer Strommenge von 43 MWh/a kalkuliert. Es wird angenommen, dass 100 % des mittels PV-Anlage produzierten Stroms für den Betrieb der Wärmepumpen (gegebenenfalls unter Nutzung zeitlich disponiblen Betriebs) verwendet werden kann.

²⁷ <https://www.a1energypool.at/> (abgerufen am 4.12.2015)

Aufgrund der Tatsache, dass im Basisvergleich eine einheitliche mittlere Instandhaltungsrate zum Ansatz gebracht wurde (mit Ausnahme der Komponenten Tiefensonde und Flachkollektor), sind die für Kapitalkosten bzw. Instandhaltungskosten dargestellten Verhältnisse (der Kosten der betreffenden Variante im Verhältnis zu den Kosten der teuersten Variante) im Fall der Varianten ohne Tiefensonde und Flachkollektor jeweils gleich. Aus der Darstellung ist ersichtlich, dass die beiden Varianten F1 (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde) und F1a (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Flachkollektor kombiniert) bei allen betrachteten Kostengruppen jeweils vergleichsweise günstig liegen. Die Variante C (Fernwärme) weist bei Kapital-, Instandhaltungs- und Umweltfolgekosten jeweils die niedrigsten mittleren jährlichen Kosten auf.

3.3 Variantenrechnung Preissteigerung Energie = 4 % p.a.

Wird eine Energiepreissteigerung in Höhe von 4 % p.a. (siehe oben Tabelle 2) zum Ansatz gebracht, verändern sich die Energiekosten bei den einzelnen Varianten entsprechend. Die mittleren jährlichen Heizkosten im Fall der Variante C (Fernwärme) belaufen sich dann auf 165.400 EUR pro Jahr – anstatt 105.100 EUR unter Zugrundelegung der Annahmen des Basisvergleichs. Dies ist im Hinblick auf die Heizkosten der höchste Wert der betrachteten Varianten, der niedrigste Wert wurde mit 55.600 EUR pro Jahr für die Variante F2 (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-PV) ermittelt - siehe Abbildung 4.

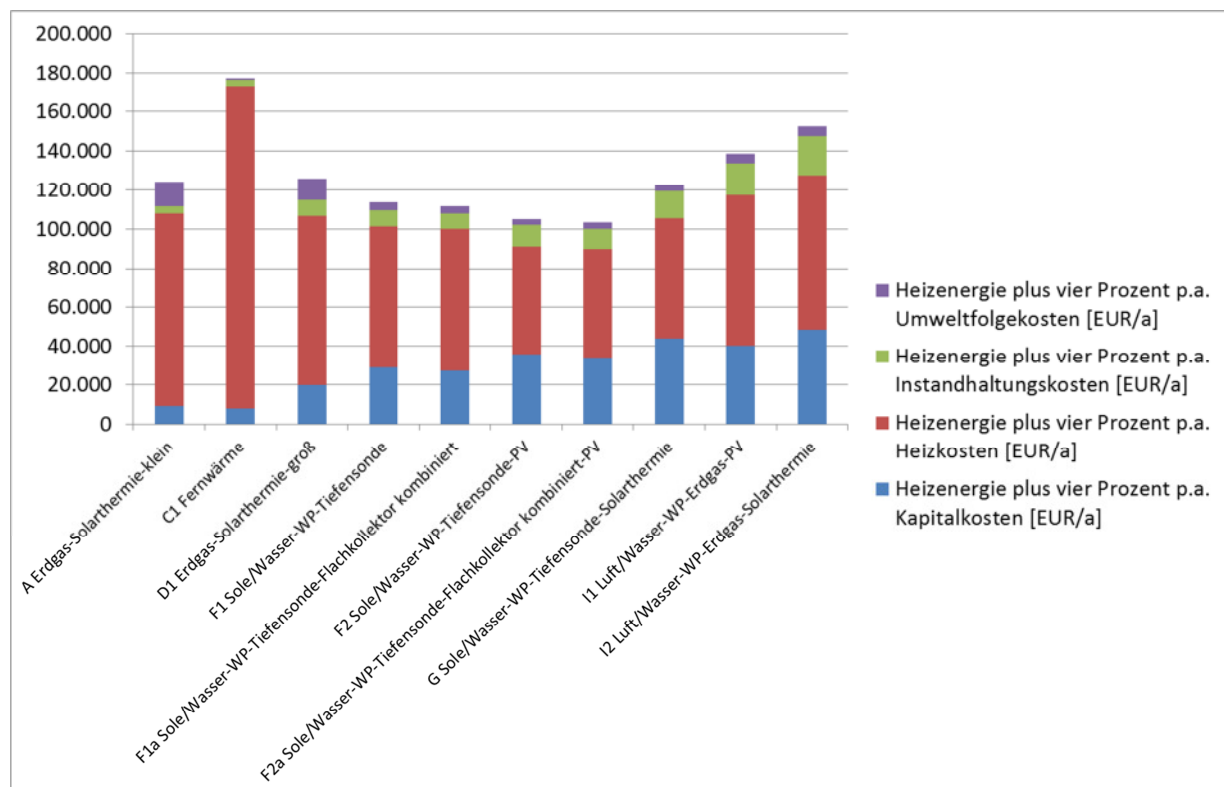


Abbildung 4: Mittlere jährliche Gesamtkosten – Variante mit Energiepreissteigerung 4 % p.a. – Säulendiagramm

Im Hinblick auf die Gesamtkosten liegen die nachfolgend angeführten Varianten – wie auch beim Basisvergleich – in dieser Reihenfolge auf den ersten vier Plätzen:

- F2a (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Flachkollektor kombiniert-PV),
- F2 (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-PV),
- F1a (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Flachkollektor kombiniert) und
- F1 (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde).

Danach folgt Variante G (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Solarthermie) mit mittleren jährlichen Gesamtkosten in Höhe von 122.700 EUR. Der niedrigste Wert wurde für Variante F2a (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Flachkollektor kombiniert-PV) zu 103.300 EUR ermittelt.

3.4 Variantenrechnung Basisvergleich ohne Preissteigerung PV

Im Rahmen des Basisvergleichs wurde für alle Anlagenkomponenten im Zusammenhang mit den Kosten für Ersatzinvestitionen eine einheitliche Preissteigerungsrate in Höhe von 2,5 % p.a. angenommen (siehe oben Tabelle 2). Im Hinblick auf die Anlagenkomponente PV-Anlage ist eher mit fallenden als mit steigenden Preisen zu rechnen. Um den Einfluss dieses Effekts auf die Gesamtkosten quantifizieren zu können, wurde eine Variante des Basisvergleichs gerechnet, bei welcher für die Ersatzinvestition der PV-Anlage nach 20 Jahren der gleiche Wert wie für die Anfangsinvestition angesetzt wurde. Säulendiagramm und Netzdiagramm ist jeweils zu entnehmen, dass Kapital- und Instandhaltungskosten der Varianten mit PV-Anlage und somit auch deren Gesamtkosten jeweils entsprechend niedriger sind.

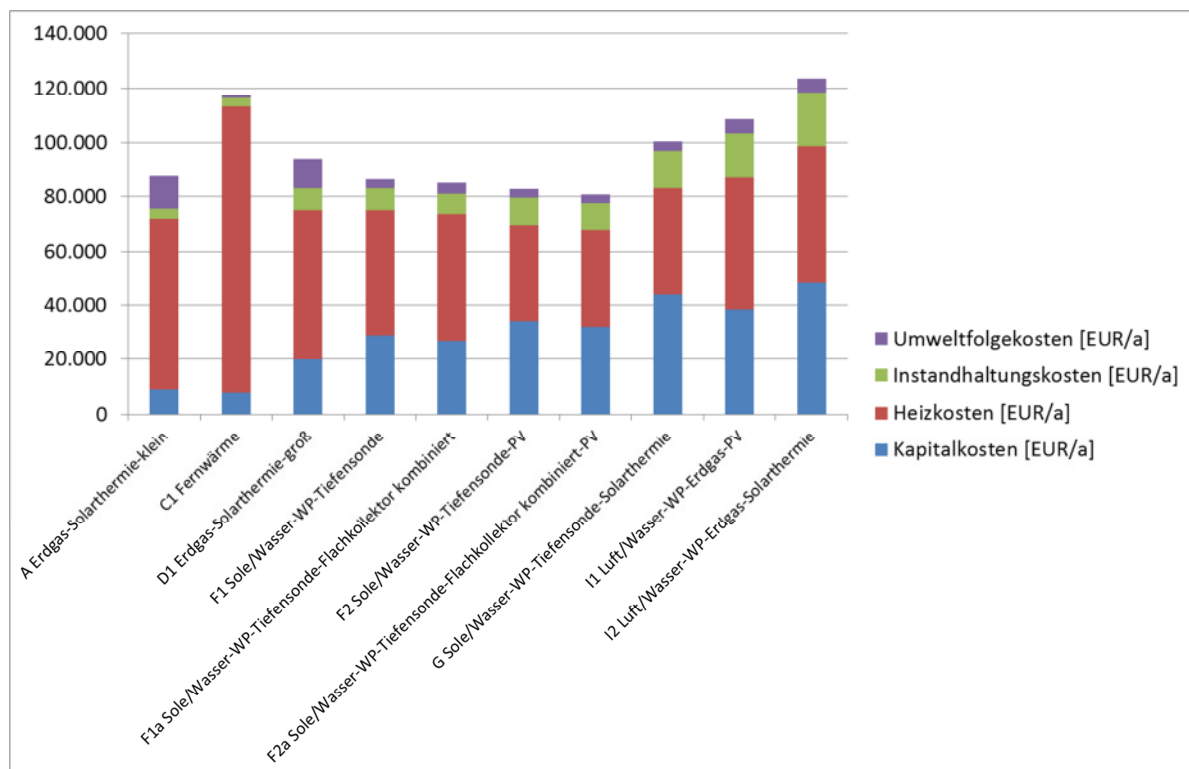


Abbildung 5: Mittlere jährliche Gesamtkosten – Variante mit Steigerung Invest PV = 0 %, Energiepreissteigerung 2 % p.a. – Säulendiagramm

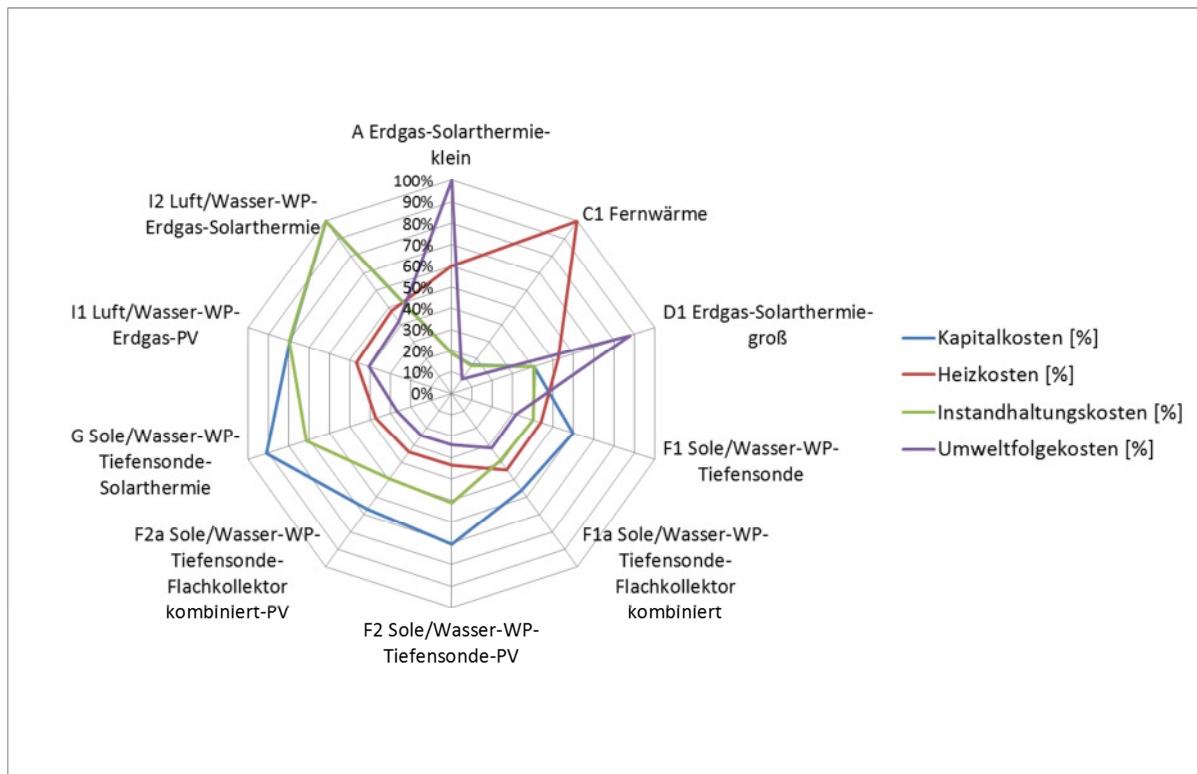


Abbildung 6: Mittlere jährliche Gesamtkosten – Variante mit Steigerung Invest PV = 0 %, Energiepreissteigerung 2 % p.a. – Netzdiagramm

3.5 Variantenrechnung Instandhaltungsrate

Zur Ermittlung der Instandhaltungskosten wurde – wie oben in Kap. 2 beschrieben – grundsätzlich eine Instandhaltungsrate in Höhe von 1,64 % p.a. (bezogen auf die Investitionskosten) herangezogen; für die Komponenten Tiefensonde und Flachkollektor wurde abweichend eine Instandhaltungsrate von 0,5 % p.a. verwendet.

Im Zuge der Variantenrechnung erfolgte eine weitere Differenzierung. Unter Berücksichtigung von Preisangaben aus einer Wartungspreisliste²⁸, von Instandhaltungsraten gem. VDI 2067 sowie gem. DIN EN 15449²⁹ wurden differenzierte Instandhaltungsraten (bezogen auf die Investitionskosten) für die nachfolgend genannten Anlagenkomponenten festgelegt:

Flachkollektor / Tiefensonde	0,4 % p.a.
Heizkessel gasförmige / flüssige Brennstoffe	4,0 % p.a.
Thermische Solaranlage 90 m ² Kollektorfläche	0,4 % p.a.
Thermische Solaranlage 300 m ² Kollektorfläche	0,3 % p.a.
Wärmepumpe Heizung	1,8 % p.a.
Wärmepumpe Warmwasser	1,8 % p.a.

Tabelle 4: Variantenrechnung Instandhaltung - abweichende Instandhaltungsraten

²⁸ Viessmann (2015) -

²⁹ entnommen aus: Lützkendorf, T. (2014) -

Für die übrigen Anlagenkomponenten wurde der im Rahmen der Berechnungen zur Basisvariante verwendete Standardwert zum Ansatz gebracht.

Insbesondere für die Varianten mit großer thermischer Solaranlage ergeben sich nun signifikant niedrigere Beträge für die jährlichen Instandhaltungskosten: Variante D1 (Erdgas-Solarthermie-groß) minus 48 %, Variante G (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Solarthermie) minus 38 % bzw. Variante I2 (Luft/Wasser-WP-Erdgas-Solarthermie) minus 18 %. Für die Variante I1 (Luft/Wasser-WP-Erdgas-PV) ergeben sich Instandhaltungskosten, die um 10 % über dem Wert liegen, der im Rahmen der Berechnungen zur Basisvariante ermittelt wurde. Für die übrigen Komponenten liegt die Abweichung jeweils in einer Bandbreite von plus/minus 10 %. Im Hinblick auf die Gesamtkosten entspricht die Reihung, die sich unter Anwendung teilweise modifizierter Instandhaltungsraten ergibt, der Reihung des Basisvergleichs.

Auf eine stärker differenzierte Betrachtung wurde im Rahmen dieser Studie verzichtet. Im Hinblick auf den Aspekt der Leistbarkeit des Wohnens ist aber (auch) auf die Kosten im Zusammenhang mit Instandhaltungsleistungen entsprechendes Augenmerk zu legen, z.B. indem für die betreffenden Leistungen mehrere Vergleichsangebote eingeholt werden.³⁰

3.6 Sensitivitätsanalyse Ertrag thermische Solaranlage

Im Rahmen der Berechnungen zur Basisvariante wurde für die thermischen Solaranlagen ein durchschnittlicher Jahresertrag von 350 kWh/m² a (Nutzwärme) angesetzt³¹. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wurde ein Ertrag angenommen, der um 10 % höher bzw. 10 % niedriger ist als der Ausgangswert. Die Berechnungen zeigen, dass ein spezifischer Mehrertrag der thermischen Solaranlage in Höhe von 10 % bei den betreffenden Varianten zu einer Reduzierung der Gesamtkosten um 0,45 bis 1,41 % führt (unter den Bedingungen der Basisvariante mit einer Energiepreissteigerungsrate von 2 % p.a.). Bringt man eine Energiepreissteigerungsrate von 4 % p.a. zum Ansatz, so liegt die betreffende Bandbreite bei 0,47 bis 1,56 %. Ein spezifischer Minderertrag führt zu entsprechend höheren Gesamtkosten. Unter Maßgabe des Ziels der Bereitstellung leistbaren Wohnraums erscheint es daher zielführend, Optimierungspotenziale bei Planung und Betrieb einer thermischen Solaranlage zu erschließen.

Vergleicht man die beiden Varianten mit Erdgaskessel mit einer thermischen Solaranlage mit einer Kollektorfläche von 90 m² (Variante A) und einer Kollektorfläche mit 300 m² (Variante D1), so liegen die Gesamtkosten – mit einem gegenüber dem Mittelwert um 10 % erhöhten spezifischen Ertrag und unter Annahme einer Energieträgerpreissteigerung von 4 % p.a. – nahezu gleichauf: Variante A (Erdgas-Solarthermie-klein): 123.619 EUR/a bzw. Variante D1 (Erdgas-Solarthermie-groß): 123.648 EUR/a. Unter den Bedingungen des Basisvergleichs belaufen sich die betreffenden Beträge auf 88.100 EUR/a (A Erdgas-Solarthermie-klein) bzw. 94.000 EUR/a (D1 Erdgas-Solarthermie-groß).

³⁰ siehe hierzu z.B. Schöberl, H., Hofer, R. (2012)

³¹ Faninger, G. (o.J.)

3.7 Sensitivitätsanalyse Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpenanlagen

Im Hinblick auf die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpenanlagen wurden für die verschiedenen Anlagenkonfigurationen (im Rahmen des Basisvergleichs) jeweils spezifische Werte verwendet (siehe Tabelle 5).

Wärmepumpe für...	Wärmequelle	Jahresarbeitszahl
Warmwasserbereitung		
	Tiefensonde	2,6
	Flachkollektor	2,6
	Tiefensonde – Flachkollektor	2,6
Raumwärmebereitstellung	Luft	2,4
	Tiefensonde	4,25
	Flachkollektor	4
	Tiefensonde – Flachkollektor	4,21
	Luft	3

Tabelle 5: Verwendete Jahresarbeitszahlen Basisvergleich in Abhängigkeit von der Wärmequelle

Die in der Tabelle für die Jahresarbeitszahlen angegebenen Werte sind entweder Mittelwerte der betreffenden Bandbreiten im Technologieleitfaden Wärmepumpen³² bzw. wurden auf Basis von Herstellerangaben zur Leistungszahl³³ unter Berücksichtigung eines Abschlags³⁴ ermittelt. Für die Kombination von Flachkollektor und Tiefensonde wurde unter Berücksichtigung der durch Flachkollektor bzw. Tiefensonde bereitgestellten Energiemengen ein gewichteter Mittelwert berechnet. Im Hinblick auf die Auslegung wurde hierbei in einem ersten Schritt aus Grundstücksfläche und Grundfläche des Gebäudes – unter der Berücksichtigung des nutzbaren Anteils – die Fläche ermittelt, die für den (kostengünstiger zu errichtenden) Flachkollektor zur Verfügung steht. In einem zweiten Schritt wurde für die verbleibende Energiemenge, die nicht mittels Flachkollektor bereitgestellt werden kann, die erforderliche Gesamtlänge an Tiefensonden ermittelt.

Für die Sensitivitätsanalyse wurden die in der Tabelle angeführten Jahresarbeitszahlen jeweils um 10 % angehoben bzw. vermindert. Bei der im Rahmen des Basisvergleichs angenommenen Energiepreissteigerungsrate von 2 % ergeben sich bei einer um 10 % verminderten Jahresarbeitszahl bei den Wärmebereitstellungssystemen mit Wärmepumpenanlagen höhere Gesamtkosten in einer Größenordnung von 4.700 bis 6.200 EUR/a. Die zugehörigen prozentualen Steigerungsraten (bezogen auf die Gesamtkosten gem. Basisvergleich) liegen innerhalb einer Bandbreite von 4,1 bis 6,8 %. Bringt man eine um 10 % verbesserte Jahresarbeitszahl zum Ansatz, so belaufen sich die Einsparungen bei den Gesamtkosten auf 3.900 bis

³² Magistrat der Stadt Wien (2014b), S. 32 f. -

³³ Ochsner (2015) -

³⁴ Albers, K.-J. (2015b), S. 2086 -

5.100 EUR/a; die zugehörige Bandbreite beträgt 3,4 bis 5,4 %. Unterstellt man eine Energiepreissteigerungsrate von 4 % p.a., so liegen die Mehrkosten bei den Gesamtkosten bei 7.200 bis 9.500 EUR/a (prozentuale Mehrkosten: 5,1 bis 8,3 %) bzw. die Einsparungen bei 5.900 bis 7.800 EUR/a (prozentuale Einsparung: 4,2 bis 6,8 %).

Unterstellt man bei den Jahresarbeitszahlen um 10 % verminderte Werte, so führen die höheren Gesamtkosten der Varianten mit Wärmepumpenanlagen dazu, dass sich die Variante A (Erdgas mit Solarthermie-klein) im Vergleich als die kostengünstigste Variante (im Hinblick auf die Gesamtkosten) darstellt. Die Gesamtkosten dieser Variante betragen 88.100 EUR/a, die der nächstkostengünstigeren Variante (F2a Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Flachkollektor kombiniert-PV) 88.600 EUR/a. Bei Annahme einer jährlichen Energiepreissteigerung in Höhe von 4 % liegen – trotz der jeweils um 10 % verminderten Jahresarbeitszahlen – die Anlagenvarianten mit Wärmepumpenanlagen auf den ersten vier Plätzen, die auch im Rahmen des Basisvergleichs vorne liegen.

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse bestätigen, dass (auch) im Zusammenhang mit den Wärmebereitstellungssystemen mit Wärmepumpenanlagen besonderes Augenmerk auf optimierte Planung und Betrieb gelegt werden muss, um einen kostengünstigen Betrieb gewährleisten zu können und dem Ziel der Leistbarkeit gerecht werden zu können.^{35 36}

3.8 Bewertung Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen

Zum Vergleich im Hinblick auf Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen wurden die betreffenden Konversionsfaktoren gem. OIB-Richtlinie 6 Energieeinsparung und Wärmeschutz (Ausgabe März 2015)³⁷ verwendet (siehe Tabelle 6). Beim Energieträger Fernwärme wurden jeweils die besten der in der genannten OIB-Richtlinie angeführten Werte zur Berechnung herangezogen.

	f_{PE}	f_{CO_2}
Energieträger	[-]	[g/kWh]
Erdgas	1,17	236
Strom (AT-Mix)	1,91	276
Fernwärme aus hocheffizienter KWK (Bestwert)	0,3	20

Tabelle 6: Konversionsfaktoren Primärenergie f_{PE} und Konversionsfaktor Kohlendioxid f_{CO_2}

Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen für die verschiedenen betrachteten Varianten von Energiebereitstellungssystemen für großvolumige Wohngebäude sind den nachfolgend dargestellten Säulendiagrammen in Abbildung 7 bzw. Abbildung 8 zu entnehmen.

³⁵ Siehe hierzu z.B. Ministerium für ein lebenswertes Österreich (Hrsg.) (2015): klima.aktiv Wegweiser zur guten Heizungs- und Lüftungsinstallation. Qualitätslinie 2: Wärmepumpe. Wien 2015

³⁶ Das Angebot einer entsprechenden Förderung erscheint zielführend. Das BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) beispielsweise fördert die Optimierung einer geförderten Wärmepumpe nach einem Betriebsjahr – siehe http://www.bafa.de/bafa/de/energie/erneuerbare_energien/optimierung/index.html (abgerufen am 4.12.2015).

³⁷ Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.) (2015), S. 10

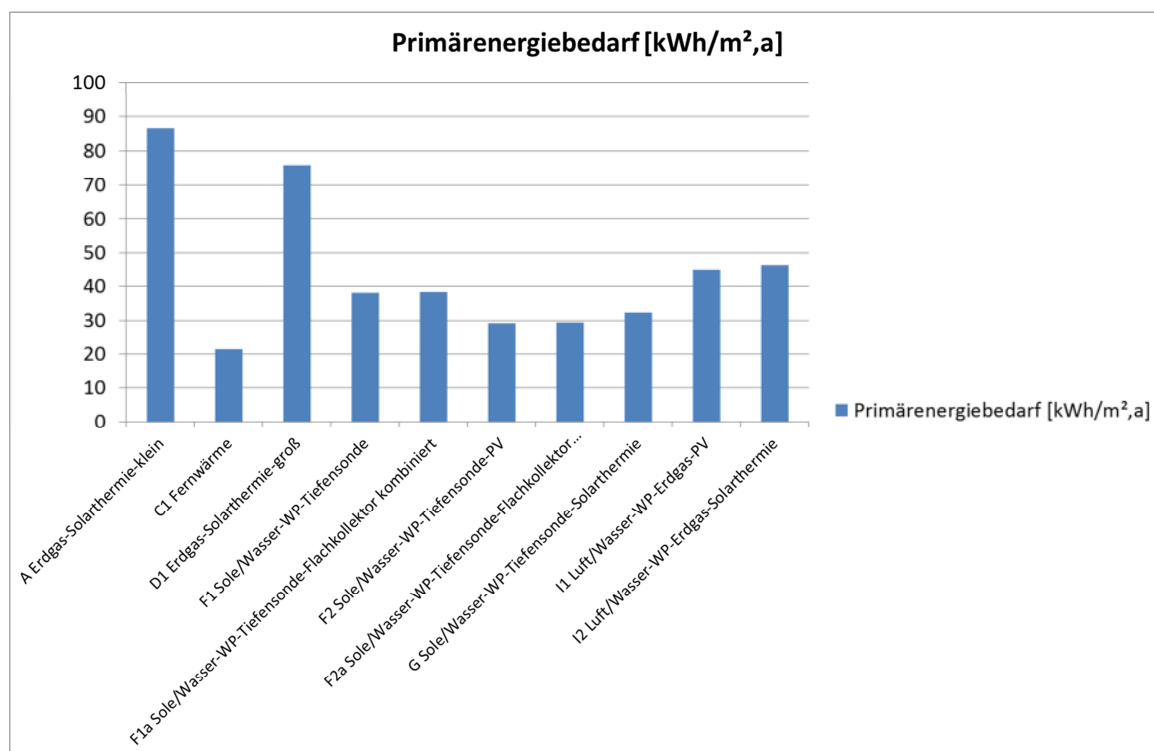


Abbildung 7: Wärmebereitstellungssysteme für großvolumige Wohngebäude - Primärenergiebedarf

Aus der Darstellung ist ersichtlich, dass – unter Anwendung der Konversionsfaktoren gem. einschlägiger OIB Richtlinie³⁸ das Fernwärme versorgte Referenzgebäude (Variante C) mit einem – auf die konditionierte Bruttogrundfläche bezogenen – Wert von 21 kWh/m² a den niedrigsten spezifischen Primärenergiebedarf aufweist, die Variante A (Erdgas-Solarthermie-klein) dagegen den höchsten Wert (86 kWh/m² a). Bei den Varianten mit Wärmepumpenanlage schneiden F2 (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-PV) mit 29,1 kWh/m² a bzw. F2a (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Flachkollektor kombiniert-PV) mit 29,3 kWh/m² a am besten ab. Die betreffenden Varianten ohne PV-Anlage F1 (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde) und F1a (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Flachkollektor kombiniert) weisen Primärenergiebedarfswerte von 38,2 (F1) bzw. 38,4 kWh/m² a (F1a) auf, Variante G (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Solarthermie) einen Primärenergiebedarfswert von 32 kWh/m² a.

Auch im Hinblick auf die CO₂-Emissionen weist das mit Fernwärme versorgte Referenzgebäude unter Anwendung des Konversionsfaktors von 20 g/kWh mit 1,4 kg/m² a den niedrigsten spezifischen Wert auf. Die nächsthöheren Werte wurden für die Varianten F2 (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-PV, 4,20 kg/m² a), F2a (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Flachkollektor kombiniert-PV, 4,23 kg/m² a) und G (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Solarthermie, 4,7 kg/m² a) ermittelt. Die höchsten Werte ergeben sich für Variante A (Erdgas-Solarthermie-klein) mit 17,4 kg/m² a und D1 (Erdgas-Solarthermie-groß) mit 15,3 kg/m² a.

³⁸ Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.) (2015), S. 10

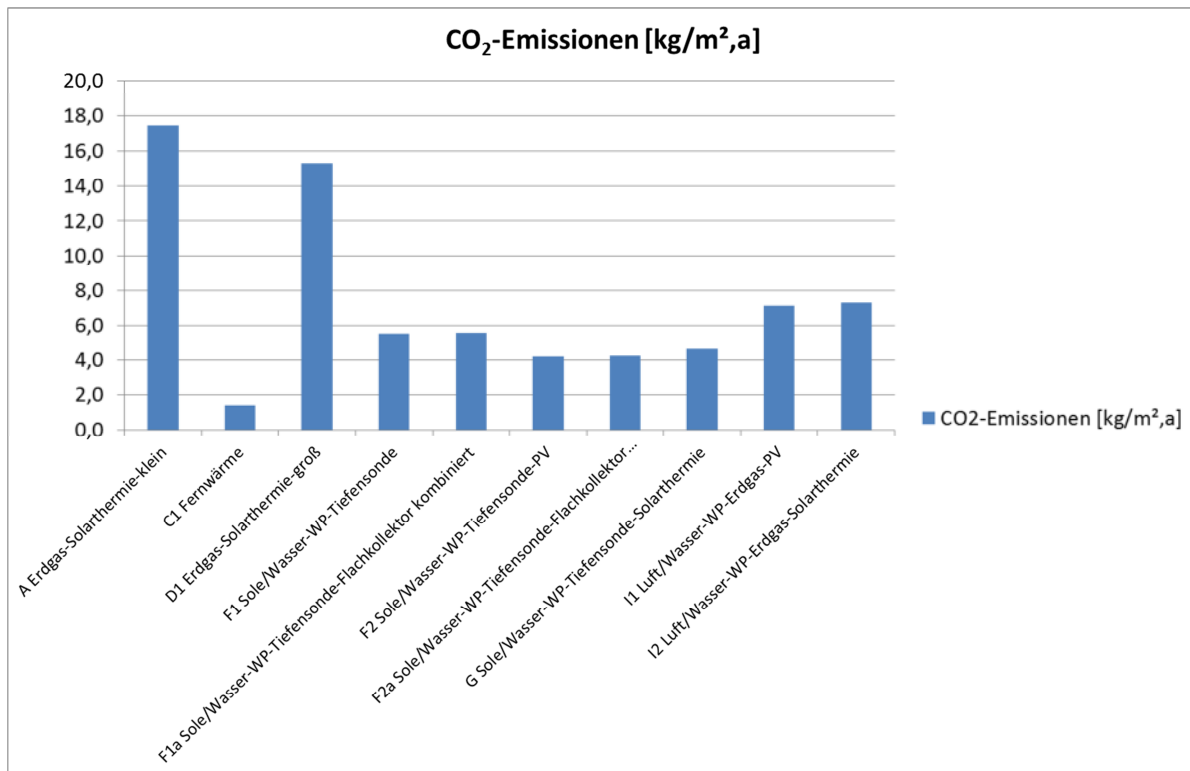


Abbildung 8: Wärmebereitstellungssysteme für großvolumige Wohngebäude – CO₂-Emissionen

Die Varianten A (Erdgas-Solarthermie-klein) und D1 (Erdgas-Solarthermie-groß) gehen somit am wenigsten mit der Anforderung konform, umweltverträglichen Wohnraum bereitzustellen (wenn als Maßstab die Höhe der CO₂-Emissionen herangezogen wird).

4. Kernaussagen und Schlussfolgerungen

In der Anfangsphase der Projektbearbeitung wurde diese Arbeitsthese formuliert:

„Der Unterschied zwischen den betrachteten Systemen ist nicht groß, auch für Menschen mit geringem Einkommen sind sinnvolle Lösungen mit geringen CO₂-Emissionen zu vertretbaren Kosten verfügbar.“

Auf Basis der Ergebnisse von Berechnungen und Analysen werden – unter besonderer Berücksichtigung der zu Projektbeginn formulierten Arbeitsthese – die nachfolgend angeführten Kernaussagen und Schlussfolgerungen formuliert bzw. bestätigt.

(1) Ökologisch sinnvolle Varianten sind leistbar

Im Netzdiagramm in Abbildung 9 ist für zehn untersuchte Varianten von Wärmebereitstellungssystemen für großvolumige Wohngebäude dargestellt, wie sie bei den nachfolgend genannten Parametern jeweils im Vergleich zur Variante mit dem höchsten Wert einzuordnen sind:

- Kapitalkosten;
- Laufende Kosten;
- Gesamtkosten;

- CO₂-Emissionen;
- Primärenergiebedarf.

Wird für eine Variante im Netzdiagramm ein Wert von 100 % ausgewiesen, so hat die Variante beim betreffenden Parameter den höchsten Wert im Vergleich. Kapitalkosten umfassen Tilgung und Zinszahlungen, unter laufenden Kosten wurden (aus Gründen der Übersichtlichkeit) Heiz-, Instandhaltungs- und Umweltfolgekosten zusammengefasst dargestellt.

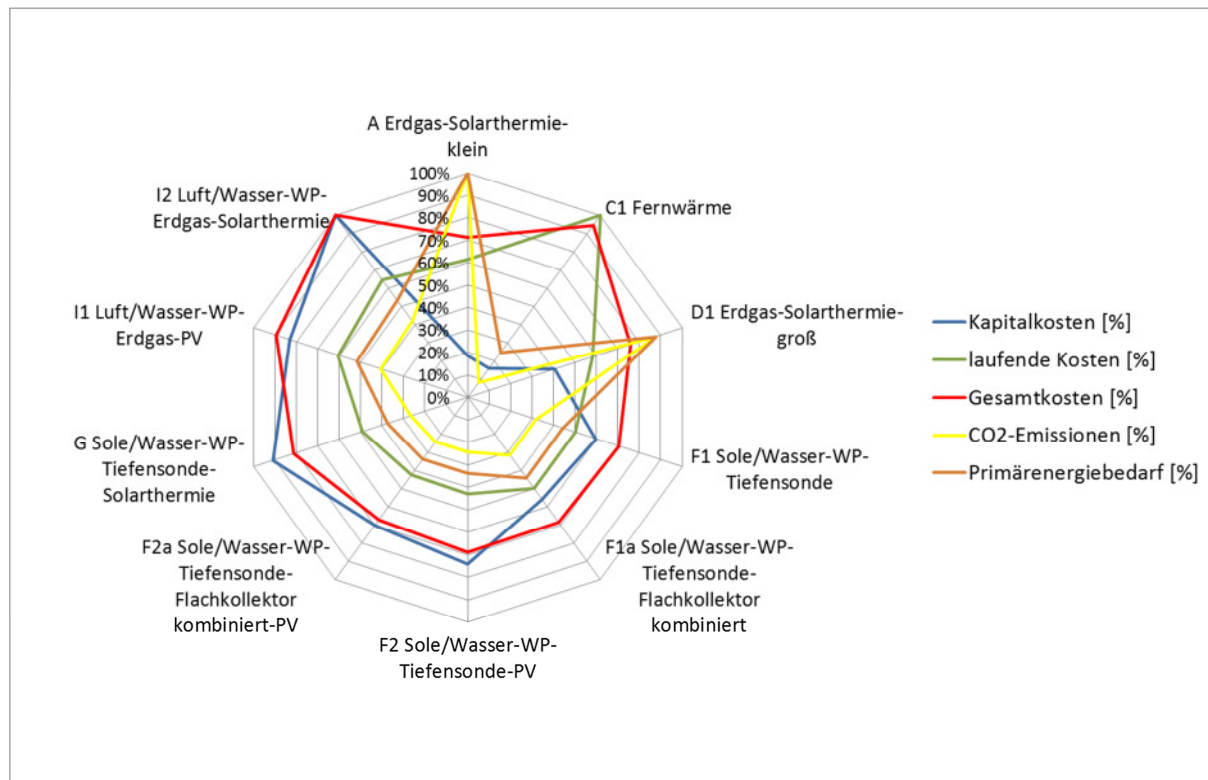


Abbildung 9: Netzdiagramm – Basisvergleich Kosten, CO₂-Emissionen und Primärenergiebedarf

Die Ergebnisse der Studie zeigen: Es sind Varianten von Wärmebereitstellungssystemen für großvolumige Wohngebäude verfügbar, bei deren Nutzung vergleichsweise geringe laufende Kosten anfallen und die gleichzeitig auch vergleichsweise niedrige CO₂-Emissionen aufweisen. Es handelt sich hierbei jeweils um Wärmebereitstellungssysteme mit Wärmepumpenanlagen: Variante F1 Sole/Wasser-WP-Tiefensonde, Variante F1a Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Flachkollektor kombiniert, Variante F2 Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-PV und Variante F2a Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Flachkollektor kombiniert-PV.

Variante C1 Fernwärme schneidet bei Kapitalkosten, Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen im Vergleich am besten ab. Infolge der höchsten laufenden Kosten aller untersuchten Varianten ergibt sich für diese Variante jedoch der zweithöchste Wert für die Gesamtkosten. Das Kriterium der Leistbarkeit wird somit – verglichen mit anderen Varianten – weniger gut erfüllt.

Beide Varianten mit Erdgaskessel und Solarthermieanlage mit 90 m² Kollektorfläche (A) bzw. 300 m² Kollektorfläche (D1) liegen im Hinblick auf die Kriterien CO₂-Emissionen und Primärenergiebedarf schlechter als die übrigen betrachteten Varianten. Dem in der Arbeitsthese

formulierten Anspruch geringer CO₂-Emissionen werden diese Varianten im Vergleich zu den anderen untersuchten Varianten weniger gut gerecht.

Die Ergebnisse der Berechnungen mit einer Energiepreissteigerungsrate von 4 % p.a. verstärken die oben formulierten Aussagen: Variante C1 (Fernwärme) weist unter diesen Bedingungen sowohl die höchsten laufenden wie auch die höchsten Gesamtkosten auf; vergleichsweise günstige Werte für die Gesamtkosten ergeben sich für Variante F1 (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde), Variante F1a (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Flachkollektor kombiniert), Variante F2 (Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-PV) und Variante (F2a Sole/Wasser-WP-Tiefensonde-Flachkollektor kombiniert-PV). Das zugehörige Netzdiagramm ist in Abbildung 10 dargestellt.

Fazit: Ökologisch sinnvolle Varianten von Wärmebereitstellungssystemen sind – unter Maßgabe einer Gesamtkostenbetrachtung – leistbar.

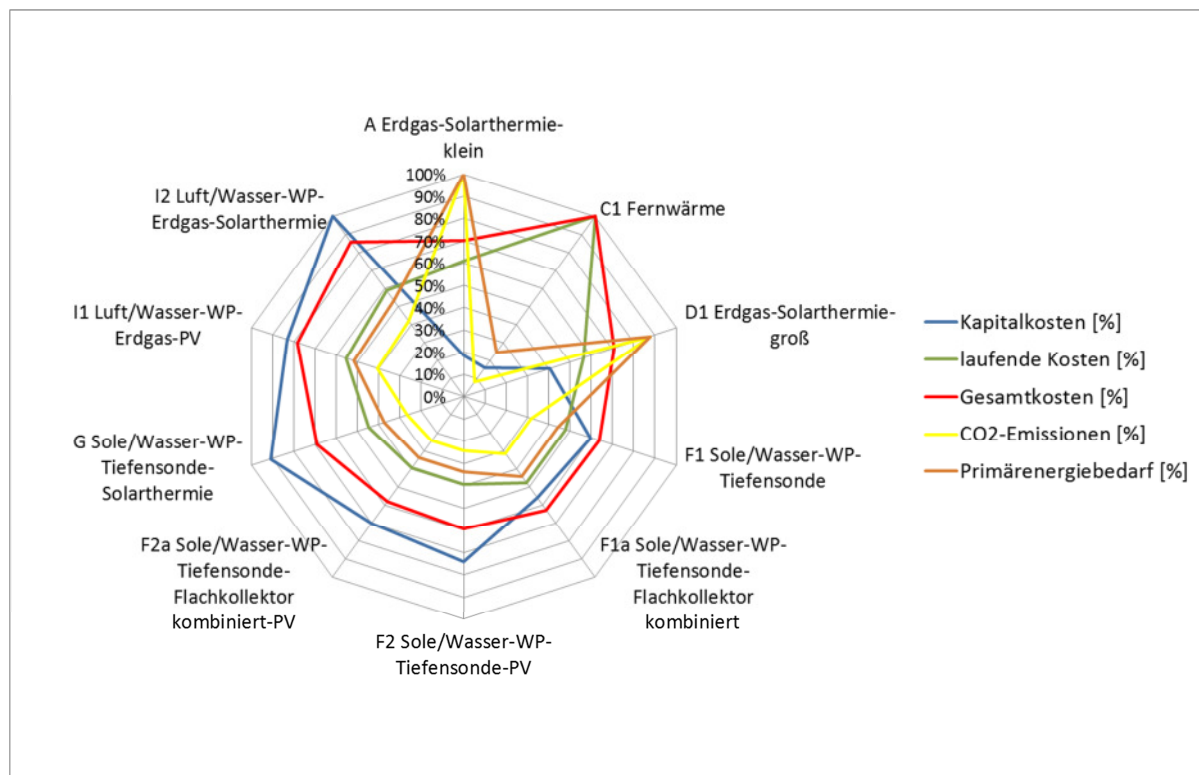


Abbildung 10: Netzdiagramm – Variante Energiepreise + 4%: Kosten, CO₂-Emissionen und Primärenergiebedarf

(2) Wärmepumpenanlagen: Konzepte für leistbares Wohnen mit Flachkollektor und Tiefen-sonde

Da an den meisten Standorten die für einen Flachkollektor verfügbare Fläche nicht ausreichen wird, um den Energiebedarf im Zusammenhang mit Raumwärmebereitstellung und Warmwasserbereitung zu decken, wird eine Kombination aus Flachkollektor und Tiefen-sonde zielführend sein (Variante F1a bzw. F2a), um die Investitionskosten im Zusammenhang mit der Erschließung der Wärmequelle Erdreich gering zu halten. Wie die Netzdiagramme in Abbildung 9 bzw. Abbildung 10 zeigen, liegen auch die Gesamtkosten der Varianten mit Tie-

fensonde (ohne Flachkollektor, Variante F1 bzw. F2) auf vergleichsweise niedrigem Niveau. Die Varianten mit Luft/Wasser-Wärmepumpen weisen höhere Gesamtkosten auf.

Gründe hierfür sind zusätzlich erforderliche (Erdgaskessel) bzw. mit einbezogene Komponenten (Solarthermieanlage) und niedrigere Jahresarbeitszahlen. Die Variante mit Sole/Wasser-Wärmepumpe, Tiefensonde und thermischer Solaranlage (G) weist wegen der zusätzlich erforderlichen Investitionskosten im Zusammenhang mit der Solarthermieanlage vergleichsweise hohe Gesamtkosten auf. Die Wärmeerträge der thermischen Solaranlage reichen nicht dazu aus, über niedrigere Heizkosten einen Ausgleich zu schaffen. Mittelfristig wird es zielführend sein, auch die Wärmequelle (Kanal-)Abwasser in die Betrachtungen mit einzubeziehen.

(3) Eigenstromproduktion vor Ort senkt die Gesamtkosten

Für ausgewählte Varianten mit Wärmepumpenanlagen wurde jeweils auch eine Variante mit Eigenstrombereitstellung mittels PV untersucht. Ergebnis: Unter den (für den Basisvergleich) getroffenen Annahmen liegen die Kosten für Strom, der vor Ort mittels PV-Anlage produziert wird (unter Berücksichtigung der Elektrizitätsabgabe) mit 18,1 cent/kWh (ohne USt.) niedriger als der mittlere Preis für Wärmepumpenstrom (über den Betrachtungszeitraum): 21,4 cent/kWh (ohne USt.). Dieser Effekt wird verstärkt unter der Annahme einer höheren Energiepreissteigerungsrate von 4 % p.a. bzw. wenn man davon ausgeht, dass im Zusammenhang mit der Ersatzinvestition in die PV-Anlage keine Preissteigerung zum Ansatz zu bringen ist. Die Gesamtkosten der Varianten mit PV-Anlage liegen somit jeweils niedriger als die Gesamtkosten der betreffenden Variante ohne PV-Anlage.

(4) Die Optimierung der Wärmebereitstellungsanlagen senkt die Gesamtkosten

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalysen quantifizieren die Kosteneinsparungen im Zusammenhang mit dem verbesserten Ertrag einer thermischen Solaranlage bzw. einer Wärmepumpenanlage. Zieht man für die Ermittlung der Kosten für die Varianten mit Wärmepumpenanlagen jeweils Arbeitszahlen heran, die um 10 % unter den Werten liegen, die für den Basisvergleich angenommen wurden, so ergeben sich für die betreffenden Varianten jeweils höhere Gesamtkosten; kostengünstigste Variante im Vergleich ist dann (unter Annahme einer Energieträgerpreissteigerung von 2 % p.a.) jene mit Erdgaskessel und einer Solarthermieanlage mit einer Kollektorfläche von 90 m² (Variante A). Eine Optimierung der Wärmebereitstellungsanlagen trägt somit dazu bei, die Zielsetzung leistbaren Wohnens zu erreichen. Es erscheint zielführend, einen optimierten Betrieb durch geeignete Maßnahmen zu begünstigen – ein Beispiel hierfür ist die Förderung eines Wärmepumpenqualitätschecks, z.B. ein Jahr nach Inbetriebnahme.

(5) Das Energiesystem bietet Erlösmöglichkeiten für strombetriebene Komponenten

Mit strombetriebenen Komponenten können durch eine Teilnahme am Regelenergiemarkt Erlöse erzielt werden. Ein Beispiel hierfür ist der A1 Regelenergiepool; hier ist eine Teilnahme auch bereits mit kleineren Anlagen (ab ca. 100 kW_{el}) möglich. Für die betrachteten Varianten mit Wärmepumpenanlagen können somit Erlöse generiert und damit die Gesamtkosten gesenkt werden.

(6) Niedrige Bauwerkskosten können hohe Heizkosten zur Folge haben -

Niedrige Bauwerkskosten leisten einen Beitrag dazu, die Errichtungskosten im Rahmen zu halten. Im Hinblick auf die Leistbarkeit des Wohnens sind jedoch die Gesamtkosten im Zusammenhang mit dem Betrieb eines Wärmebereitstellungssystems relevant. Der Kostenvergleich zeigt, dass die Varianten mit den niedrigsten Kapitalkosten (A Erdgas-Solarthermie klein bzw. C1 Fernwärme) im Hinblick auf die Gesamtkosten über den vier kostengünstigsten Varianten mit Wärmepumpenanlagen liegen; die niedrigen Bauwerkskosten im Zusammenhang mit der Errichtung der Heizungsinstallation haben somit vergleichsweise hohe Heizkosten zur Folge. Ergänzend sei angemerkt, dass der Anteil der Kosten für die Heizungsinstallation an den Bauwerkskosten in einem Bereich von 5,4 bis 8,8 %³⁹ liegt.

Damit Wohnen auch in Zukunft leistbar ist, erscheinen Anreize für die Errichter der Gebäude zielführend, Wohnraum mit Wärmebereitstellungssystemen auszustatten, die zu vergleichsweise niedrigen Gesamtkosten betrieben werden können.

³⁹ Siehe Walberg, D. (2014), S. 22. Die betreffende Angabe bezieht sich auf den Anteil der Position „Heizungsinstallation“ an der Summe der Kosten für KG 300 (Bauwerk – Baukonstruktionen) und KG 400 (Bauwerk – technische Anlagen) gem. DIN 276.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis -

Abbildung 1: Berechnungen und Analysen im Überblick.....	10 -
Abbildung 2: Mittlere jährliche Gesamtkosten – Basisvergleich - Säulendiagramm.....	13 -
Abbildung 3: Mittlere jährliche Gesamtkosten – Basisvergleich - Netzdiagramm	14 -
Abbildung 4: Mittlere jährliche Gesamtkosten – Variante mit Energiepreissteigerung 4 % p.a. - – Säulendiagramm.....	15 -
Abbildung 5: Mittlere jährliche Gesamtkosten – Variante mit Steigerung Invest PV = 0 %, - Energiepreissteigerung 2 % p.a. – Säulendiagramm.....	16 -
Abbildung 6: Mittlere jährliche Gesamtkosten – Variante mit Steigerung Invest PV = 0 %, - Energiepreissteigerung 2 % p.a. – Netzdiagramm	17 -
Abbildung 7: Wärmebereitstellungssysteme für großvolumige Wohngebäude - Primärenergiebedarf	21 -
Abbildung 8: Wärmebereitstellungssysteme für großvolumige Wohngebäude – CO ₂ - Emissionen	22 -
Abbildung 9: Netzdiagramm – Basisvergleich Kosten, CO ₂ -Emissionen und - Primärenergiebedarf	23 -
Abbildung 10: Netzdiagramm – Variante Energiepreise + 4%: Kosten, CO ₂ -Emissionen und - Primärenergiebedarf	24 -
Tabelle 1: Übersicht Varianten Energiebereitstellungssysteme	7 -
Tabelle 2: Berechnungsparameter Kostenvergleich	9 -
Tabelle 3: Arbeitspreise Energieträger Ausgangsjahr	9 -
Tabelle 4: Variantenrechnung Instandhaltung - abweichende Instandhaltungsraten	17 -
Tabelle 5: Verwendete Jahresarbeitszahlen Basisvergleich in Abhängigkeit von der - Wärmequelle.....	19 -
Tabelle 6: Konversionsfaktoren Primärenergie f_{PE} und Konversionsfaktor Kohlendioxid f_{CO_2}	20 -

Quellenverzeichnis

Albers, K.-J. (Hrsg.) (2015a): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Band 1. 77. Auflage. - DIV Deutscher Industrieverlag. München 2015 -

Albers, K.-J. (Hrsg.) (2015b): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Band 2. 77. Auflage. - DIV Deutscher Industrieverlag. München 2015 -

BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.) (2015a): BKI Baukosten 2015 Neubau. Statistische Kostenwerte für Bauelemente. Stuttgart 2015 -

BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.) (2015b): BKI Baukosten 2015 Neubau. Statistische Kostenwerte für Positionen. Stuttgart 2015 -

BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.) (2015c): BKI Objektdaten: Kosten abgerechneter - Bauwerke. E6 Energieeffizientes Bauen. Stuttgart 2015 -

BKI Baukosteninformationszentrum (Hrsg.) (2015d): BKI Objektdaten: Kosten abgerechneter - Objekte und statistische Kostenwerte. G4 Technische Gebäudeausrüstung. Stuttgart 2015 -

Faninger, G. (o.J.): Thermische Solaranlagen für Warmwasser und Heizung. Hinweise zum Einsatz und zur Auslegung – als Download verfügbar über <http://www.aee-intec.at/index.php?seitenName=projekteDetail&projektId=153> (abgerufen am 4.12.2015)

Hochbauamt Frankfurt (2014): Gesamtkostenberechnungstool des Hochbauamts der Stadt Frankfurt am Main, verfügbar über <http://www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de/> > Gesamtkostenberechnung > Leerformulare. Verwendet wurde die Version vom 30.09.2014.

Hofer, G. et al. (2015): Energieversorgungsoptionen für das Stadtentwicklungsgebiet Donaufeld. Endbericht, 2. Entwurf. Wien 2015 -

Lützkendorf, T. (2014): Umgang mit der Lebenszykluskostenrechnung. Einführung, Überblick und Identifikation von Problemen. Vortrag auf dem EnOB-Workshop 2014: Lebenszykluskosten energieoptimierter Gebäude. Wirtschaftlichkeit systematisch verbessern, Frankfurt am Main, 27.11.2014
<http://www.enob.info/de/forschung-im-dialog/enob-workshop-2014-lebenszykluskosten-energieoptimierter-gebaeude/> (abgerufen am 4.12.2015)

Magistrat der Stadt Wien (Hrsg.) (2013): Energie! Voraus. Energiebericht der Stadt Wien. - Daten 2011 / Berichtjahr 2013, MA 20. Wien 2013 -

Magistrat der Stadt Wien (Hrsg.) (2014a): Smart City Wien Rahmenstrategie. Wien 2014 -

Magistrat der Stadt Wien (Hrsg.) (2014b): Wärmepumpen zur energieeffizienten Wärmeversorgung. Technologieleitfaden Wärmepumpen. Wien 2014 -

Ministerium für ein lebenswertes Österreich (Hrsg.) (2015): klima.aktiv Wegweiser zur guten Heizungs- und Lüftungsinstallation. Qualitätslinie 2: Wärmepumpe. Wien 2015

Ochsner (2015): Unterlagen und Informationen, zur Verfügung gestellt von der Ochsner Wärmepumpen GmbH – www.ochsner.at

Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.) (2015): OIB-Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz. Ausgabe März 2015. Wien 2015

rotermund.ingenieure (Hrsg.) (o.J.): fm.benchmarking Detailbericht. Technisches Gebäudemanagement für Bürogebäude. Höxter

Schöberl, H., Hofer, R. (2012): Reduktion der Wartungskosten von Lüftungsanlagen in Plus-Energiehäusern. Schriftenreihe des BMVIT. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 2/2012

<http://www.hausderzukunft.at/results.html/id5977> (abgerufen am 4.12.2015)

Sozialbau (2015): Unterlagen und Informationen, zur Verfügung gestellt von der Sozialbau AG – www.sozialbau.at

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2012): Best-Practice-Kostensätze für Luftschadstoffe, Verkehr, Strom- und Wärmeerzeugung. Anhang B der „Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten“. Dessau-Roßlau 2012

Viessmann (2015): Unterlagen und Informationen, zur Verfügung gestellt von der Viessmann Ges.m.b.H. – www.viessmann.at

Walberg, D. (2014): Optimierter Wohnungsbau. Untersuchung und Umsetzungsbetrachtung zum bautechnisch und kostenoptimierten Mietwohnungsbau in Deutschland. Kiel 2014