

Zürich, 24. September 2020

Stadt Zürich

Heizkostenvergleich

Inhalt

1. Ausgangslage	2
2. Vorgehen	3
3. Ergebnisse und Erkenntnisse	5
4. Bedienungsanleitung Excel-Vergleichstool	13
Anhang	18

1. Ausgangslage

Dieser Heizkostenvergleich wurde durch eine Arbeitsgruppe unter der Leitung des Stv. Energiebeauftragten Felix Schmid in Auftrag gegeben. Weitere Mitglieder dieser Arbeitsgruppe waren:

- Amt für Hochbauten (AHB), Franz Sprecher
- energie360°, Martin Strebel
- ERZ Fernwärme, Bruno Hüppi
- ewz Energielösungen, Reto Burkhart
- Immobilien Stadt Zürich (IMMO), Carmine Del Cotto
- Umwelt- und Gesundheitsschutz Stadt Zürich (UGZ), Hanspeter Wilhelm
- AWEL, Beat Lehmann (als Gast)

Das Ziel dieses Heizkostenvergleichs ist die Berechnung und Darstellung der Wärmegestehungskosten sowie die Analyse von Sensitivitäten von MuKEn- und Netto-Null-kompatiblen Heizungs-/Warmwasserlösungen als Orientierungshilfe für die Energieplanung und Energieberatung im Kontext der Netto-Null-Zielsetzung.

Es werden folgende Heizsysteme miteinander verglichen:

Heizsystem	MuKEn-tauglich	Netto-Null-tauglich	Kälteerzeugung möglich	Stromproduktion	Hinweise
ERZ Fernwärme: aktueller Mix	X				
ERZ Fernwärme: 100% erneuerbar (Spitzenlast 20% Biogas)	X	X			
Abwasser-Fernwärme (EV Altstetten): 80% erneuerbar	X		X		
Abwasser-Fernwärme (EV Altstetten): 100% erneuerbar (Spitzenlast Biogas)	X	X	X		
Seewasser-Fernwärme (EV Seefeld): 80% erneuerbar	X		X		
Seewasser-Fernwärme (EV Seefeld): 100% erneuerbar (Spitzenlast Biogas)	X	X	X		
Gasheizung mit 80% Biogas	X				
Gasheizung mit 100% Biogas	X	X			
Gasheizung mit 100% synthetischem Gas	X	X			
Gas-BHKW mit 10% Spitzenlastdeckung Gas-Kessel: 100% Biogas	X	X		X	
Luft/Wasser-WP: Aussenaufstellung	X	X			
Luft/Wasser-WP: Innenaufstellung	X	X			
Erdsonden-WP: mit Regeneration (50%)	X	X	X		
Erdsonden WP: ohne Regeneration	X	X	X		
Gasheizung mit 20% Biogas	X				Nur Altbau/Heizungersatz
Gasheizung/Solarthermie mit 100% Erdgas	X				Nur Altbau/Heizungersatz

Ölheizung mit 20% Flüssigbrennstoff aus erneuerbaren Quellen ¹	X		Nur Altbau/Heizungsersatz
Gas-BHKW mit 10% Spitzenlastdeckung Gas-Kessel: 100% Erdgas	X	X	Nur Altbau/Heizungsersatz

Tabelle 1: Übersicht Heizsysteme

Zwei weitere Systeme sind im erstellten Vergleichstool (siehe Kapitel 2.1) als Platzhalter hinterlegt. Es wurden aber keine Wärmegestehungskosten berechnet, da keine marktreifen Produkte verfügbar sind:

- Gasmotor-WP
- Brennstoffzelle

Weitere Angaben zu den verschiedenen Heizsystemen sind in Anhang A.1 aufgeführt.

Die Berechnungen werden für die folgenden Gebäude gemacht:

- Neubau:
 - 29 kW (Wohngebäude mit 6 Wohnungen)
 - 68 kW (Wohngebäude mit 12 Wohnungen)
 - 190 kW (MFH mit 36 Wohnungen)
- Altbau/Heizungsersatz:
 - 29 kW (Wohngebäude mit 6 Wohnungen, Altbau Minergie-saniert)
 - 28 kW (Wohngebäude mit 3 Wohnungen, Altbau unsaniert, BJ 1981-1990)
 - 68 kW (Wohngebäude mit 6 Wohnungen, Altbau unsaniert, BJ vor 1980)
 - 190 kW (Wohngebäude mit 20 Wohnungen, Altbau unsaniert, BJ vor 1980)

Die Wärmegestehungskosten werden standardisiert mit dem Tool "Variantenvergleich Energiesysteme" (Version 3.0, Stand Januar 2020) des AHB berechnet. Dieses Tool wird nachfolgend "AHB-Tool" genannt.

2. Vorgehen

Die Anzahl Gebäude multipliziert mit der Anzahl Heizsysteme ergibt in der Grössenordnung 150 zu berechnende Kombinationen. Für diese hohe Anzahl kann nicht einfach je ein AHB-Tool ausgefüllt werden. Deshalb wurde ein Vergleichstool (Excel) erstellt, in welchem alle Kombinationen nebeneinander dargestellt werden können. Das ermöglicht eine systematische Erhebung der Eingabeparameter (z.B. Kosten) und eine einfache Auswertung der Ergebnisse. Dieses Vergleichstool wird nachfolgend beschrieben.

2.1 Vergleichstool

2.1.1 Aufbau und Funktionsweise

Im Vergleichstool enthält ein Tabellenblatt alle (benötigten) Eingabefelder des AHB-Tools:

- Technische Angaben wie Energieverbräuche und Leistungen
- Detaillierte Aufstellung der Investitionskosten
- Weitere Eingabeparameter

Für alle Varianten gleiche Parameter wie Energiepreise werden auf einem separaten Tabellenblatt erfasst (Stammdaten).

¹ FAME (Fatty-Acid-Methyl-Ester), es wird keine 100%-Variante gerechnet, da FAME heute erst beigemischt werden kann.

Per Knopfdruck kopiert ein VBA-Makro im Vergleichstool die Eingabefelder für eine Variante nach der anderen in das AHB-Tool, berechnet dort die Ergebnisse und kopiert diese zurück auf ein drittes Blatt im Vergleichstool. Dieser Ablauf wird schematisch in Abbildung 1 gezeigt.

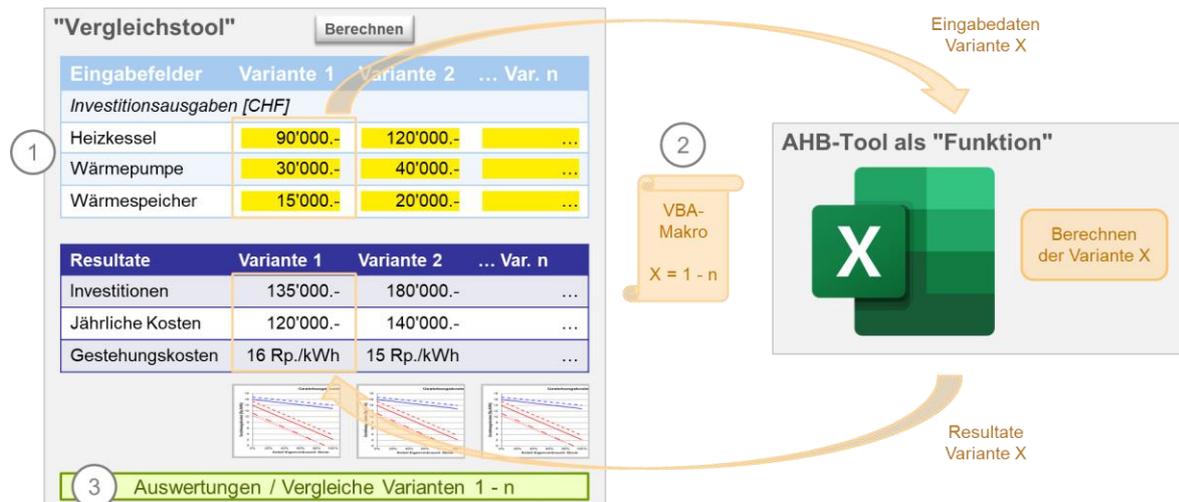


Abbildung 1: Funktionsweise des Vergleichstools

Einzelne Gebäude und Heizsysteme können ebenfalls per Knopfdruck ein- und ausgeblendet werden.

Die dargestellten Ergebnisse umfassen u.a. folgende Größen:

- Wärmegestehungskosten
- Investitionskosten
- Heutige jährliche Kosten (aufgeteilt auf Finanzierungs-, Instandhaltungs- und Energiekosten)
- Mittlere jährliche Kosten (aufgeteilt auf Finanzierungs-, Instandhaltungs- und Energiekosten)
- Endenergiebedarf
- Primärenergiebedarf
- Treibhausgas-Emissionen
- Umweltbelastungspunkte

Die meisten dieser Resultate werden je Gebäude graphisch dargestellt (alle Heizsysteme in einem Balkendiagramm nebeneinander).

2.1.2 Sensitivitäten

Das Vergleichstool kann zusätzlich die Sensitivität verschiedener Eingabeparameter auf die Wärmegestehungskosten rechnen:

- Energiepreis/Arbeitspreis (+/- 30%, alle Preisanteile)
- Leistungspreis (+/- 30%)
- Investitionskosten/Anschlussgebühren (+/- 30%)
- Zinssatz (1.0 bis 4.0%)²
- CO₂-Abgabe (96 bis 210 CHF/tCO₂)

Die Bandbreite kann je Sensitivität einfach angepasst werden.

² Gemeint ist der Zinssatz aus Sicht des Gebäudeeigentümers (bei Contracting-Lösungen nicht der Zinssatz des Contractors zur Bestimmung seines Preises).

Technisch gesehen rechnet das Vergleichstool für alle 150 Kombination je Sensitivität noch einmal zehn Stützpunkte mittels copy/paste ins AHB-Tool und zurückkopieren der Ergebnisse. Diese ganzen Berechnungen (rund 10'000 Berechnungsläufe, inkl. Platzhalter) dauern für alle Kombinationen und alle Sensitivitäten zusammen nur ca. 2 Minuten. Auf Wunsch können die Resultate auch ohne Sensitivitäten berechnet werden, wodurch sich die Berechnungszeit auf wenige Sekunden reduziert.

Die Sensitivitäten werden auf zwei Arten graphisch dargestellt, einerseits als Fehlerindikator bei den Balkendiagrammen (siehe Abbildung 16 in Anhang A.4) und andererseits als X/Y-Diagramm (siehe Abbildung 17 in Anhang A.4).

2.2 Erhebung der Investitionskosten

Die Investitionskosten wurden für alle ungefähr 150 Kombinationen individuell erhoben. Je Anlage setzen sich die Investitionskosten abhängig von der Komplexität aus 7-15 Einzelpositionen zusammen.

Diese Einzelpositionen sind z.T. Katalogpreise abzüglich 15% Rabatt und zum Teil Schätzungen basierend auf eigenen Erfahrungen und umgesetzten Bauprojekten.

Die Kostengenauigkeit beträgt +/- 30%.

2.3 Plausibilisierung der Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden mit anderen Publikationen und Studien verglichen und plausibilisiert. Dies betrifft insb. die Vorgängerstudie, die ERZ bei econcept in Auftrag gegeben hatte. Die Ergebnisse sind sehr ähnlich wie in dieser Vorgängerstudie, obwohl die Kosten völlig unabhängig erhoben wurden.

3. Ergebnisse und Erkenntnisse

Die Ergebnisse werden nachfolgend anhand von Erkenntnissen zu den Heizsystemen und allgemeinen Erkenntnissen interpretiert.

Folgende Vorbemerkungen sind anzumerken:

- In diesem Heizkostenvergleich werden sehr viele Heizsysteme miteinander verglichen und die Unterschiede der Wärmegestehungspreise der verschiedenen Systeme sind relativ gross. In der Praxis steht ein Gebäudeeigentümer aber nie vor einer so grossen Auswahl. Er ist immer eingeschränkt aufgrund der Energiegesetzgebung, der Energieplanung und der Verfügbarkeit von Technologien. Zudem ist das Potenzial der Systeme zum Teil beschränkt.
- Bei Abwasser-Fernwärme, Seewasser-Fernwärme und Erdsonden-WP wäre eine kombinierte Wärme-/Kältenutzung möglich und wird häufig auch so realisiert. Die Kostenberechnung in diesem Bericht umfasst aber nur den Wärmebezug, eine allfällige Kältenutzung wurde nicht berücksichtigt. Eine Kältenutzung würde die Wirtschaftlichkeit dieser Systeme verbessern. Bei der Erdsonden-WP können mittels Kältenutzung die Erdsonden regeneriert werden (siehe auch Kapitel 3.1.3).
- Die Ausführungen in den Kapiteln 3.1 und 3.2 entspricht nur einer Auswahl an Erkenntnissen.

Diese Punkte sind bei der Interpretation der nachfolgenden Ergebnisse und Grafiken immer zu berücksichtigen.

Eine Übersicht zu allen Ergebnissen ist im Anhang A.2 zu finden.

3.1 Erkenntnisse zu den Heizsystemen

3.1.1 Einordnung der Ergebnisse (Heizsysteme mit 100% erneuerbarer Energie)

In diesem Abschnitt und auch im weiteren Verlauf des Berichts werden meist die Varianten mit 100% erneuerbarer Energie miteinander verglichen. Die Unterschiede zwischen 80 und 100% erneuerbar werden in Kapitel 3.2.1 dargestellt.

Um die relativen Kostendifferenzen zwischen den verschiedenen Heizsystemen mit 100% erneuerbarer Energie aufzuzeigen, werden die Wärmegestehungskosten auf den nachfolgenden beiden Grafiken aufsteigend sortiert und in Prozent relativ zur ERZ Fernwärme angezeigt (ERZ Fernwärme = 100%). Als Beispiel dient die 68 kW-Anlage.

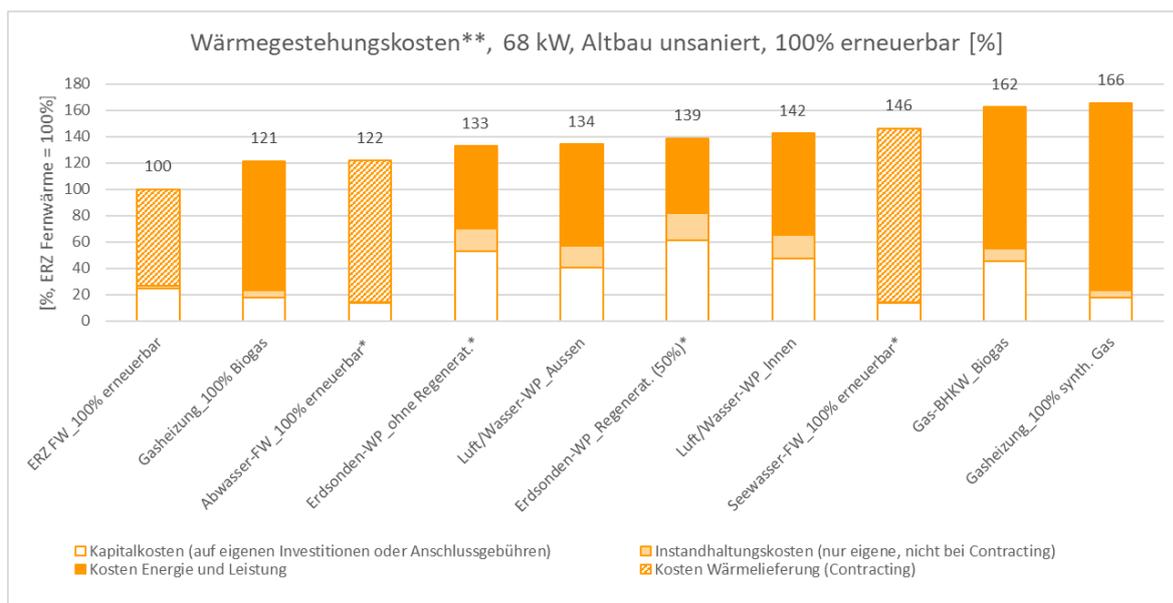


Abbildung 2: Relative Wärmegestehungskosten 68 kW Altbau (ERZ Fernwärme = 100%), *die Kostenberechnung umfasst nur den Wärmebezug, eine allfällige Kältenutzung wurde nicht berücksichtigt, **Sensitivität der Wärmegestehungskosten: max. - 37%/+42 % (siehe Tabelle 5 und Kapitel 3.2.7)

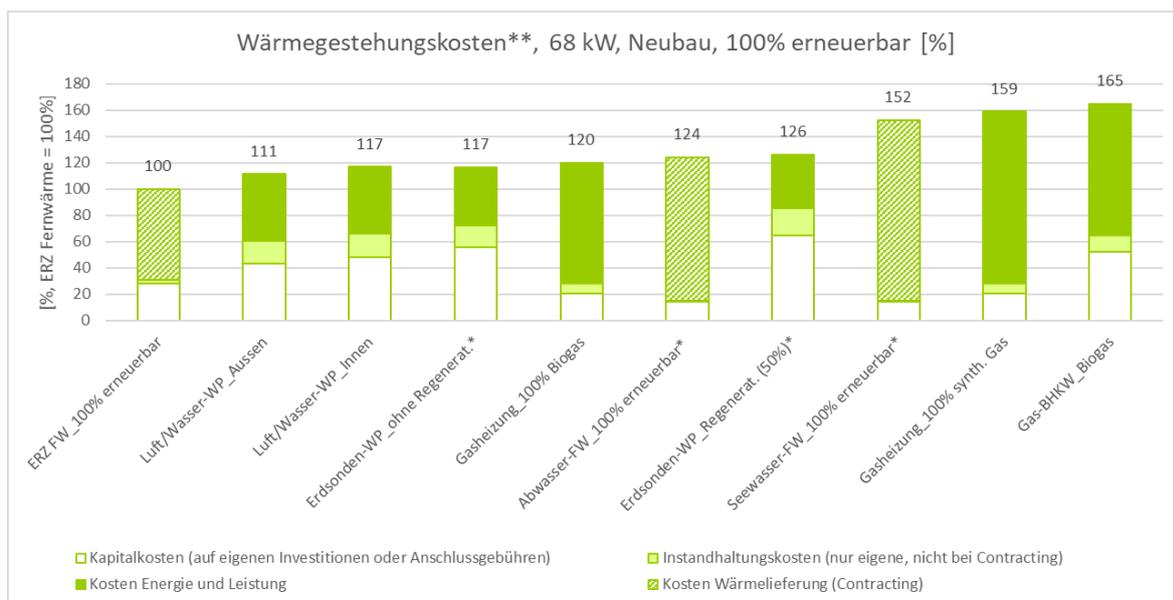


Abbildung 3: Relative Wärmegestehungskosten 68 kW Neubau (ERZ Fernwärme = 100%), *die Kostenberechnung umfasst nur den Wärmebezug, eine allfällige Kältenutzung wurde nicht berücksichtigt, **Sensitivität der Wärmegestehungskosten: max. -39%/+44% (siehe Tabelle 6 und Kapitel 3.2.7)

Bis auf die Wärmepumpen ist die Reihenfolge bei Altbau und Neubau fast identisch. Die Wärmepumpen profitieren beim Neubau von der besseren JAZ (siehe auch Kapitel 3.2.1). Die Tendenzen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst, wobei im Einzelfall Abweichungen möglich sind.

Wärmegestehungskosten	Altbau (68 kW, unsaniert)	Neubau (68 kW)
Referenz	ERZ Fernwärme	ERZ Fernwärme
Tendenziell im Bereich von 10% bis 25% Kostenunterschied	Biogas Abwasser-Fernwärme	Luft/Wasser-WP Erdsonden-WP Biogas Abwasser-Fernwärme
Tendenziell im Bereich von 25% bis 50% Kostenunterschied	Erdsonden-WP Luft/Wasser-WP Seewasser-Fernwärme	Keine
Tendenziell im Bereich von mehr als 50% Kostenunterschied	BHKW Synthetisches Gas	Seewasser-Fernwärme Synthetisches Gas BHKW

Tabelle 2: Wärmegestehungskosten 68 kW relativ zur ERZ Fernwärme (alle Heizsysteme mit 100% erneuerbarer Energie)

Obige Ergebnisse verändern sich abhängig von der Leistung, wenn wie in diesem Fall bei der ERZ Fernwärme mit einer Fernwärme mit degressivem Leistungspreis verglichen wird. Je höher die Leistung ist, desto günstiger wird die ERZ Fernwärme im Vergleich zu den anderen Heizsystemen. Aus diesem Grund haben bei den 28/29 kW-Anlagen die anderen günstigen Systeme zum Teil sogar leicht tiefere Wärmegestehungskosten als die ERZ Fernwärme. Umgekehrt sind bei den 190 kW-Anlagen die relativen Differenzen zur ERZ Fernwärme grösser als oben für 68 kW dargestellt ist. Dies ist in den Grafiken in Anhang A.2 ersichtlich.

3.1.2 Fernwärme/Energieverbunde

Die Kosten von Fernwärmeversorgungen und Energieverbunden können stark variieren. Dies ist u.a. abhängig von der Wärmequelle. Fernwärme aus Seewasser ist in obigem Beispiel (siehe Kapitel 3.1.1) z.B. rund 50% teurer als Fernwärme, die zum grossen Teil aus Abwärme des Kehrlichtheizkraftwerks stammt. Mit ein Grund sind aber auch unterschiedliche ökonomische Rahmenbedingungen (siehe Kapitel 3.2.5).

3.1.3 Wärmepumpen

Dezentrale Wärmepumpen sind in der Regel teurer als ERZ Fernwärme. Dagegen sind sie mit Wärme aus Energieverbunden, die mit WP betrieben werden in der Regel konkurrenzfähig. Ihre Kosten sind vergleichbar mit denjenigen von Biogas-Anwendungen. Allerdings ist zu sagen, dass der Einsatz von Wärmepumpen im Gegensatz zur ERZ Fernwärme und zur Nutzung von Biogas mit einer kommunalen Abgabe auf der Nutzung des Stromnetzes in der Grössenordnung von rund 0.4 Rp./kWh Wärme belastet wird.

Luft/Wasser-Wärmepumpen

Bei Luft/Wasser-Wärmepumpen gibt es je nach Objekt unterschiedliche Varianten für die Aufstellung der Anlagenteile mit folglich variierenden Investitionskosten. In diesem Heizkostenvergleich wird deshalb eine aussen- und eine innenaufgestellte Wärmepumpe gerechnet. Dies wirkt sich bei den Altbauten mit bis zu 1.5 Rp./kWh auf die Wärmegestehungskosten aus (Neubauten bis 1.1 Rp./kWh).

Erdsonden-Wärmepumpen

Die Regeneration von Erdsonden führt dazu, dass Zusatzkosten für (in diesem Heizkostenvergleich) Rückwärmer anfallen, dafür aber weniger Erdsonden gebohrt werden müssen. Zusammen mit einer 10% besseren JAZ führt eine Regeneration von 50% des Wärmeentzugs zu höheren Wärmegestehungskosten von bis zu 4 Rp./kWh bei den kleinen Anlagen (deutlich weniger bei den grossen Anlagen). Wenn die Regeneration statt über Rückwärmer über eine Kältenutzung erfolgt, erhalten die Mehrkosten einen Gegenwert in Form von Gebäudekühlung.

3.1.4 Biogas

Die Kompetitivität von Biogas ist bei den derzeitigen Marktpreisen gut. Angesichts des begrenzt vorhandenen Potenzials besteht allerdings eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass der Preis für Biogas bei steigender Nachfrage und Verknappung des Angebotes stärker steigt als die Energiepreise der Konkurrenzsysteme.

3.1.5 Synthetisches Gas

Die Gasheizung mit synthetischem Gas ist trotz negativer Energiepreisteuerung sehr teuer (siehe Kapitel 3.1.1 und Anhang A.2). Eine Konkurrenzfähigkeit von synthetischem Gas ist derzeit nicht absehbar.

3.1.6 BHKW

Das mit 100% Biogas betriebene BHKW ist sehr teuer und kaum konkurrenzfähig (siehe Kapitel 3.1.1 und Anhang A.2). Die Wärmegestehungskosten sind dabei stark abhängig von der Dimensionierung/Laufzeit und vom "Wert" des produzierten Stroms.

3.2 Allgemeine Erkenntnisse

3.2.1 Mehrkosten für Heizsysteme mit 100% erneuerbarer Energie

Insbesondere bei der Fernwärmeversorgung aber auch bei Energieverbunden ist heute aus Kostengründen eine fossile Spitzenlastdeckung üblich. Diese macht typischerweise rund

20% des Jahresenergieverbrauchs aus. Erfolgt diese Spitzenlastdeckung mit erneuerbaren Energien oder Abwärme statt mit Heizöl oder Erdgas, entstehen Mehrkosten. Diese liegen bei Fernwärme aus Abwasser und Seewasser bei ca. 10% und bei der ERZ Fernwärme bei bis zu 20%.

Bei den Neubauten sind die prozentualen Mehrkosten leicht tiefer, da aufgrund der tieferen Volllaststunden die Investitionskosten resp. Anschlussgebühren stärker ins Gewicht fallen.

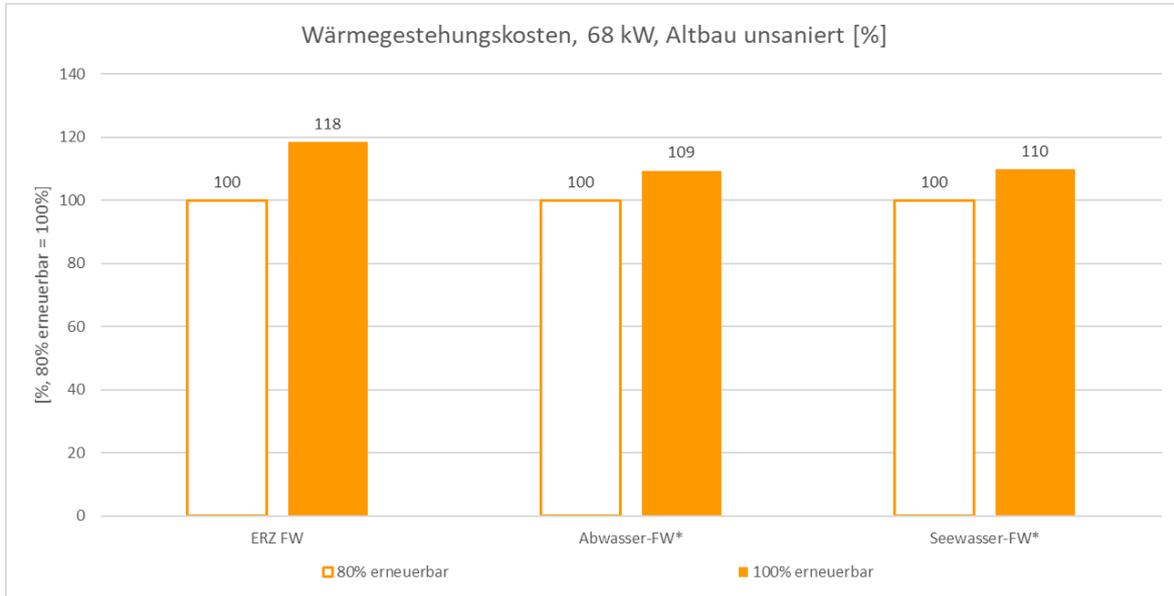


Abbildung 4: Vergleich der Wärmegestehungskosten abhängig vom Anteil erneuerbarer Energie (80 und 100%) am Beispiel der 68 kW-Anlagen bei Altbauten (80% erneuerbar = 100%), *die Kostenberechnung umfasst nur den Wärmebezug, eine allfällige Kältenutzung wurde nicht berücksichtigt

3.2.2 Höhere spezifische Wärmegestehungskosten bei Neubauten (die absoluten Energiekosten sind aber natürlich viel tiefer)

Neubauten haben einen tieferen Energiebedarf und tiefere Volllaststunden als Altbauten. Deshalb sind die spezifischen Wärmegestehungskosten pro kWh bei gleicher Leistung bei Neubauten höher als bei Altbauten. Eine Ausnahme bilden die Wärmepumpen: Die bessere JAZ bei Neubauten und die damit verbundenen tieferen Energiekosten kompensieren den Effekt der tieferen Volllaststunden. Dies wird in der nachfolgenden Grafik exemplarisch für die 68 kW-Anlagen dargestellt (nur Heizsysteme mit 100% erneuerbarer Energie).

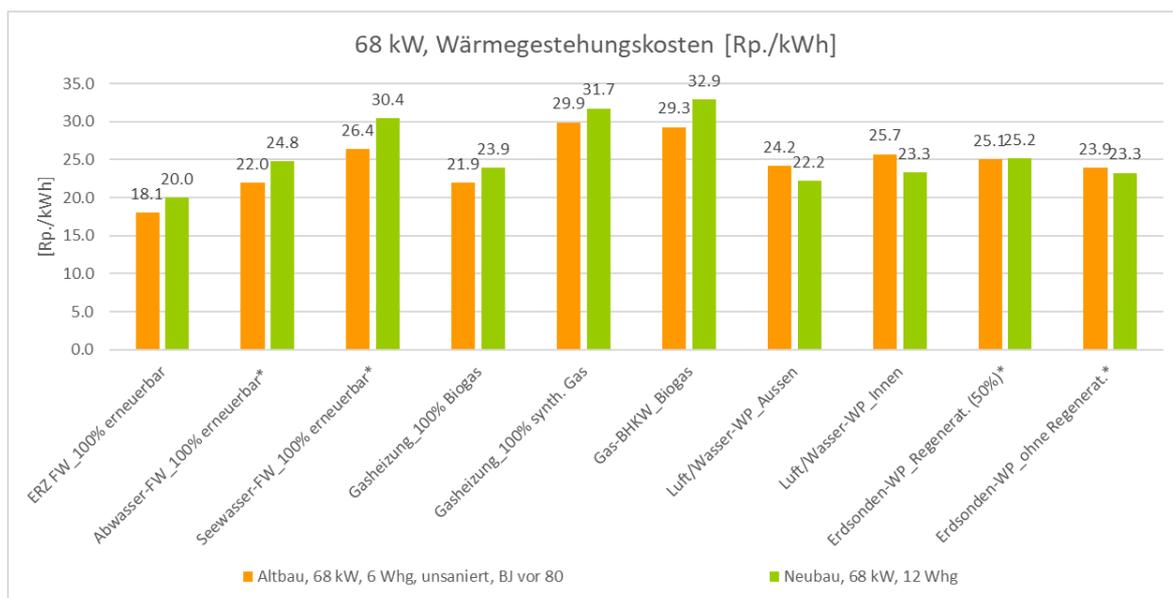


Abbildung 5: Vergleich der Wärmegestehungskosten bei Alt- und Neubauten am Beispiel der 68 kW-Anlagen, *die Kostenberechnung umfasst nur den Wärmebezug, eine allfällige Kältenutzung wurde nicht berücksichtigt

3.2.3 Dienstleistungsgebäude

Bei Dienstleistungsgebäuden liegen der Nutzenergiebedarf und damit die Volllaststunden je nach Alter 8% (bei Altbauten) bis 25% (bei Neubauten) tiefer als bei Wohngebäuden. Bei kapitalintensiven Varianten und solchen mit hohem Leistungspreis erhöhen sich die Wärmegestehungskosten nahezu um diese Prozentsätze.

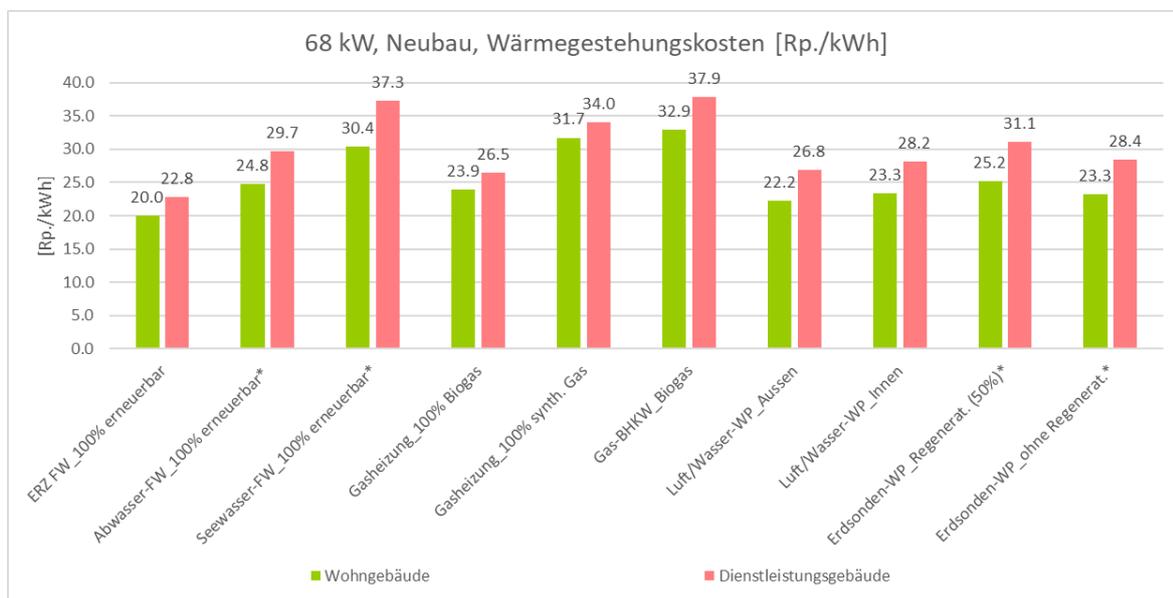


Abbildung 6: Vergleich der Wärmegestehungskosten bei Wohn- und Dienstleistungsgebäuden am Beispiel der 68 kW-Anlagen bei Neubauten, bei Altbauten sind die Differenzen kleiner (höherer Heizungsanteil), *die Kostenberechnung umfasst nur den Wärmebezug, eine allfällige Kältenutzung wurde nicht berücksichtigt

3.2.4 Saisonale Strompreise

Es wurde ein Szenario mit saisonal variierenden Strompreisen berechnet. Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Strompreis Sommer: 20% günstiger
- Strompreis Winter: 40% teurer
- Strompreis Übergangszeit: unverändert

Mit diesen Annahmen erhöht sich bei einer Wärmepumpe der mittlere Strompreis über ein Jahr betrachtet um etwa 15%. Die Auswirkungen einer solchen Erhöhung auf die Wärmegestehungskosten von Wärmepumpen sind relativ klein, wie in der nachfolgenden Grafik dargestellt wird.

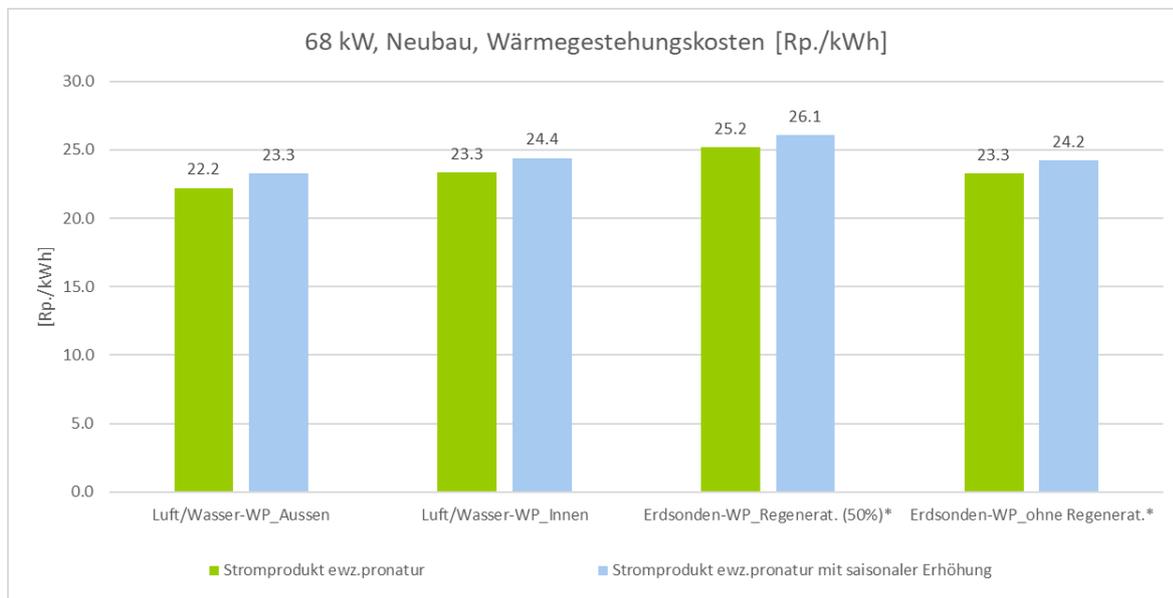


Abbildung 7: Vergleich der Wärmegestehungskosten von Wärmepumpen bei normalen und saisonalen Strompreisen am Beispiel der 68 kW-Anlagen bei Neubauten, *die Kostenberechnung umfasst nur den Wärmebezug, eine allfällige Kältenutzung wurde nicht berücksichtigt

3.2.5 Contracting-Lösungen

Bei Contracting-Lösungen ist zwischen den Gestehungskosten und dem Preis inkl. Marge zu unterscheiden. Die Differenz kann bis zu einigen Rp./kWh ausmachen. In diesem Heizkostenvergleich sind bei den verschiedenen Fernwärmesystemen jeweils auf dem Preisblatt des Anbieters basierende Preise dargestellt.

3.2.6 Vergleichbarkeit der Varianten

Es ist wichtig, dass bei Vergleichen von gleichen Rahmenbedingungen ausgegangen wird. Einen grösseren Einfluss als ein bisschen höhere oder tiefere Investitionskosten haben häufig andere Parameter wie Zinssatz oder Dimensionierung der Anlage (Volllaststunden). Aus diesem Grund sind die mit dem Vergleichstool berechenbaren Sensitivitäten sehr wertvoll (siehe Kapitel 2.1.2).

Die nachfolgende Grafik zeigt beispielhaft für die 68 kW-Anlagen mit 100% erneuerbarer Energie, wie sich bei einem Altbau 20% höhere Volllaststunden auswirken würden. Die Reduktion der Wärmegestehungskosten ist dabei grösser bei Heizsystemen mit hohen Investitions- oder Leistungskosten.

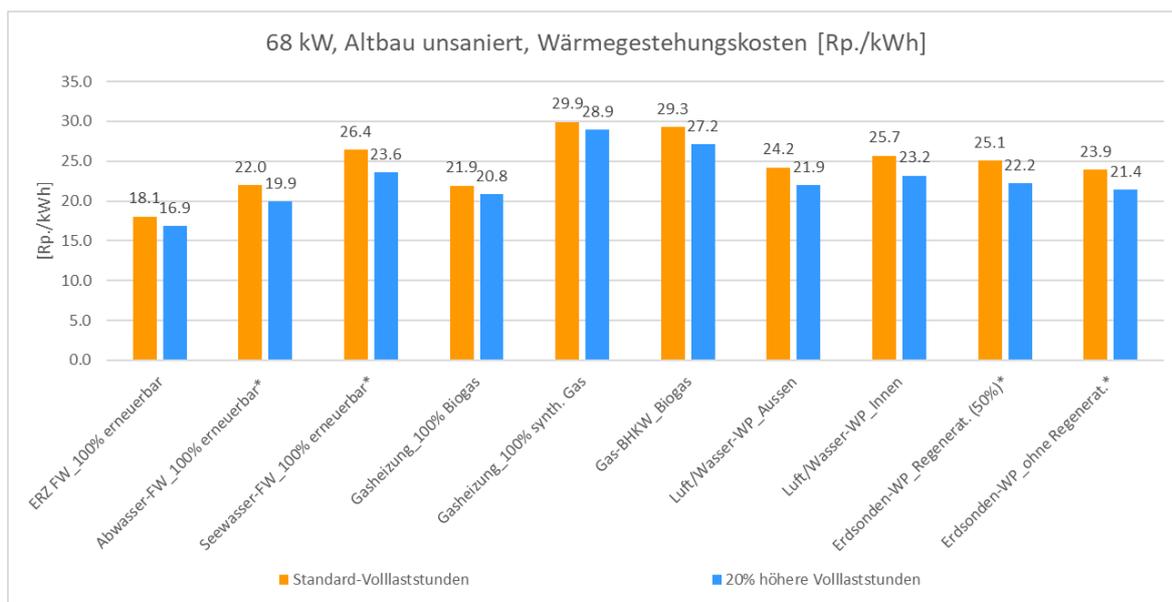


Abbildung 8: Vergleich der Wärmegestehungskosten bei 20% höheren Volllaststunden am Beispiel der 68 kW-Anlagen bei Altbauten (2'400 h/a statt Standard 2'000 h/a, bezogen auf Nutzenergie), *die Kostenberechnung umfasst nur den Wärmebezug, eine allfällige Kältenutzung wurde nicht berücksichtigt

3.2.7 Sensitivitäten

Einige Sensitivitäten wurden in den obigen Kapiteln bereits näher betrachtet. Ein Überblick über sämtliche Sensitivitäten ist im Anhang A.3 zu finden. Erwartungsgemäss zeigen sich dabei folgende Punkte deutlich:

- Die Sensitivität auf den Energiepreis/Arbeitspreis ist bei den Gasheizungen am höchsten. Diese haben tiefe Investitionskosten und einen tiefen Leistungspreis haben und die Wärmegestehungskosten sind hauptsächlich vom Gaspreis abhängig.
- Die Sensitivität auf den Leistungspreis ist bei der Abwasser- und der Seewasser-Fernwärme am höchsten.
- Die Sensitivität auf die Investitionskosten/Anschlussgebühren und den Zinssatz ist bei den Systemen mit eigenen, grossen Investitionen am höchsten (BHKW und Wärmepumpen).

In Anhang A.3 wird auch gezeigt, wie stark sich die Wärmegestehungskosten ändern, wenn alle Parameter gleichzeitig nach unten resp. nach oben variiert werden. Diese summarische Sensitivität ist etwas grösser als die Summe der einzelnen Sensitivitäten, da die Investitionskosten und der Zinssatz nicht unabhängig voneinander sind (wenn die Investitionskosten und der Zinssatz gleichzeitig erhöht werden, erhöhen sich die Finanzierungskosten stärker, als wenn beide Parameter einzeln erhöht werden).

Tabelle 7 im Anhang A.3 zeigt die Unterschiede zwischen Altbauten und Neubauten:

- Die Sensitivität auf den Energiepreis/Arbeitspreis ist bei den Altbauten aufgrund der höheren Volllaststunden höher.
- Alle anderen Sensitivitäten sind bei den Neubauten wegen den tieferen Volllaststunden höher. Einzige Ausnahme ist die Sensitivität auf den Leistungspreis bei den Wärmepumpen. Diese Sensitivität ist bei den Altbauten aufgrund der schlechteren JAZ höher.

4. Bedienungsanleitung Excel-Vergleichstool

Im Kapitel 2.1 wurde der grundsätzliche Aufbau und die Funktionsweise des Vergleichstools erläutert. Nachfolgend wird nun genauer auf die Bedienung des Tools eingegangen.

4.1 Voraussetzungen und Start des Tools

Damit das Vergleichstool funktioniert, muss die mitgelieferte Version des AHB-Tools mit unverändertem Dateinamen im gleichen Ordner wie das Vergleichstool liegen. Das Vergleichstool soll nur einmal und während Berechnungen als einzige Excel-Datei geöffnet sein. Per Makro werden die automatischen Berechnungen im Excel temporär deaktiviert, was in anderen Dokumenten unterwünscht sein kann (manuelle Kontrolle unter "Formeln / Berechnungsoptionen"). Im Weiteren muss die Ausführung von VBA-Makros in Excel zugelassen werden.

4.2 Aufbau des Tools

Das Vergleichstool setzt sich aus nachfolgenden Tabellenblättern zusammen:

- Start: Selektion der gewünschten Gebäude und Heizsysteme
- Eingabefelder: Konfiguration der Eingabefelder je Kombination
- Stammdaten: Konfiguration und Selektion globaler Energie- und Umweltdaten, Volllaststunden sowie technischer Faktoren mit Relevanz für mehrere Systeme
- Resultate je Kombination: Detaillierte Ergebnisse je Kombination mit Sensitivitäten und entsprechenden Grafiken
- Resultate Diagramme: Zusammenfassende Grafiken und Tabellen je Gebäude

4.3 Selektion der Gebäude und Wärmeerzeugung (Datenschnitte)

Im ersten Schritt können die für die gewünschte Auswertung relevanten Gebäude und Heizsysteme selektiert werden. Die Selektion erfolgt über sogenannte Datenschnitte (siehe Abbildung 9) mittels Klicken auf die Schaltflächen. Eine farbig hinterlegte Schaltfläche bedeutet dabei, dass das entsprechende Objekt selektiert ist. Mehrfachselektionen je Datenschnitt sind mittels Drücken und Halten der "Ctrl-Taste" und anschließender Klicks auf mehrere Schaltflächen möglich.

Die Datenschnitte sind auf dem Tabellenblatt "Start" sowie in vereinfachter Form auch auf den Tabellenblättern "Eingabefelder" und "Resultate je Kombination" verfügbar.

Heizsystem	Detailierte Beschreibung		Neubau und Heizungsersatz
ERZ FW_ aktueller Mix	ERZ Fernwärme, aktueller Mix		Neubau und Heizungsersatz
ERZ FW_100% erneuerbar	ERZ Fernwärme, 100% erneuerbar (Spitzenlast Biogas)		
Abwasser-FW_80% erneuerbar	Abwasser-Fernwärme (EV Altstetten), 80% erneuerbar		
Abwasser-FW_100% erneuerbar	Abwasser-Fernwärme (EV Altstetten), 100% erneuerbar (Spitzenlast Biogas)		
Seewasser-FW_80% erneuerbar	Seewasser-Fernwärme (EV Seefeld/Klausstrasse), 80% erneuerbar		
Seewasser-FW_100% erneuerbar	Seewasser-Fernwärme (EV Seefeld/Klausstrasse), 100% erneuerbar (Spitzenlast Biogas)		
Gasheizung_80% Biogas	Gasheizung mit 80% Biogas		
Gasheizung_100% Biogas	Gasheizung mit 100% Biogas		
Gasheizung_100% synth. Gas	Gasheizung mit 100% synthetischem Gas		
Gasmotor-WP_80% Biogas	Gasmotor-Wärmepumpe mit 80% Biogas (Platzhalter)		
Gasmotor-WP_100% Biogas	Gasmotor-Wärmepumpe mit 100% Biogas (Platzhalter)		
Gas-BHKW_Erdgas	Gas-BHKW mit 10% Spitzenlastdeckung Gas-Kessel: 100% Erdgas		
Gas-BHKW_Biogas	Gas-BHKW mit 10% Spitzenlastdeckung Gas-Kessel: 100% Biogas		
Brennstoffz. Spitzenlast Erdgas	Brennstoffzelle, Brennstoffzelle 100% Biogas, Spitzenlast Erdgas (Platzhalter)		
Brennstoffz. Spitzenlast Biogas	Brennstoffzelle, Brennstoffzelle 100% Biogas, Spitzenlast Biogas (Platzhalter)		
Ölheizung_20% Flüssigbr. Erneuerbar	Ölheizung mit 20% Flüssigbrennstoff aus erneuerbaren Quellen		
Ölheizung_100% Flüssigbr. Erneuerbar	Ölheizung mit 100% Flüssigbrennstoff aus erneuerbaren Quellen		
Luft/Wasser-WP_Aussen	Luft/Wasser-Wärmepumpe Aussenauflistung		
Luft/Wasser-WP_Innen	Luft/Wasser-Wärmepumpe Innenaufstellung		
Erdsonden-WP_Regenerat. (50%)	Erdsonden-Wärmepumpe mit Regeneration (50%)		
Erdsonden-WP_ohne Regenerat.	Erdsonden-Wärmepumpe ohne Regeneration		
Gasheizung_20% Biogas	Gasheizung mit 20% Biogas		Nur Heizungsersatz
Gasheiz./Solartherm._100% Erdgas	Gasheizung/Solarthermie mit 100% Erdgas		

Gebäude	Detailierte Beschreibung		Neubau Heizungs-ersatz
Neubau_29 kW_6 Whg	29 kW, Wohngebäude mit 6 Wohnungen, Neubau		Neubau
Neubau_68 kW_12 Whg	68 kW, Wohngebäude mit 12 Wohnungen, Neubau		
Neubau_190 kW_MFH 36 Whg	190 kW, MFH mit 36 Wohnungen, Neubau		
Altbau_29 kW_6 Whg_saniert	29 kW, Wohngebäude mit 6 Wohnungen, Altbau Minergie-saniert		Heizungs-ersatz
Altbau_28 kW_3 Whg_81-90_unsaniert	28 kW, Wohngebäude mit 3 Wohnungen, Altbau unsaniert, Baujahr 1981 bis 1990		
Altbau_68 kW_6 Whg_vor80_unsaniert	68 kW, Wohngebäude mit 6 Wohnungen, Altbau unsaniert, Baujahr vor 1980		
Altbau_190 kW_20 Whg_vor80_unsaniert	190 kW, Wohngebäude mit 20 Wohnungen, Altbau unsaniert, Baujahr vor 1980		
Eigenes_Objekt	Freie Eingabewerte zur Darstellung eines eigenen Objekts		

Abbildung 9: Datenschnitte zur Auswahl der Gebäude und Heizsysteme, Beschreibungen

Die Selektion der gewünschten Kombinationen an Gebäuden und Heizsystemen führt dazu, dass auf den Tabellenblättern der Eingabe- und Resultatwerte nur die relevanten Datensätze angezeigt werden.

4.4 Konfiguration der Eingabefelder

Auf dem Tabellenblatt "Eingabefelder" werden die spezifischen Eingabewerte je Kombination konfiguriert. Zur übersichtlichen Darstellung, Vergleichbarkeit und Konfiguration der Kombinationen sind diese in Spalten abgebildet. In den Zeilen sind die Eingabefelder aus dem AHB-Tool untereinander aufgeführt.

Die in der Kopfzeile erneut aufgeführten Datenschnitte ermöglichen ein rasches Selektieren der Kombinationen. Damit können beispielsweise alle WP-Varianten für ein Gebäude oder mehrere Gebäude für eine WP-Variante nebeneinander dargestellt werden. Die Kopfzeile kann auf Wunsch über die Checkbox "Navigation" ein- oder ausgeblendet werden. Über dieselbe Checkbox können die Datenschnitte auch neu horizontal positioniert werden. Mittels Schaltfläche "Alle anzeigen" werden die Datenschnitte zurückgesetzt und alle Kombinationen eingeblendet.

Die Konfiguration der Kombinationen erfolgt mittels veränderbaren Eingabefeldern (gelb markierte Zellen). Darauf basierend werden im Vergleichstool Zwischenberechnungen durchgeführt (graue Zeilen). Weitere Eingabewerte (violette Zellen) werden vom Stammdaten-Tabellenblatt angezogen (siehe Kapitel 4.5).

Mittels Filter der "Spalte #", die die Anzahl Einträge in der entsprechenden Zeile in allen Kombinationen zählt, können Zeilen ohne Werte ausgeblendet werden (Anzahl = 0 ausblenden).

4.4.1 Eigenes Objekt

Mit dem Gebäude "Eigenes Objekt" steht für jedes Heizsystem eine Kombination für die Konfiguration einer individuellen Leistung (kW) zur Verfügung. Dabei sind bei den technischen Angaben die notwendigen Eingabefelder je Heizsystem gelb hinterlegt. Ergänzend müssen, wo nötig, die Kostenpositionen befüllt werden.

4.5 Konfiguration der Stammdaten

Das Tabellenblatt "Stammdaten" enthält Parameter mit Relevanz für mehrere oder alle Kombinationen. Dazu gehören die folgenden:

- Objektnutzung: Umschaltung zwischen Wohn- und Dienstleistungsgebäude, was wiederum die dazugehörigen Volllaststunden selektiert
- Energieprodukte und -preise: Selektion der Energie-Produkte sowie Definition der Preiskomponenten der Energieprodukte
- Umweltdaten: Fixe Definition der Faktoren für Primärenergie, Treibhausgasemissionen, Umweltbelastungspunkte
- Technische Parameter: Jahresarbeitszahlen der WP sowie Parameter für BHKWs

4.6 Konfiguration der Sensitivitäten

Im Vergleichstool können aktuell die Sensitivitäten auf folgende Perimeter berechnet und abgebildet werden:

- CO₂-Abgabe
- Zinssatz
- Arbeitspreise Energie
- Leistungspreise Energie
- Gesamtinvestition

Die Konfiguration der Sensitivitäten erfolgt auf dem Tabellenblatt "Eingabefelder" in den Spalten vor der ersten Kombination. Am Beispiel des Zinssatzes sehen die Eingabefelder wie folgt aus:

Eingabefeld	Einheit	Wert	Sensitivität	
			Von	Bis
Kalkulationszinssatz (real)	%	2.5%	1.0%	4.0%

Abbildung 10: Konfiguration der Sensitivitäten

Unter "Wert" wird der der Standard- oder Ausgangswert eingetragen. Anschliessend kann ein Bereich der Sensitivität eingetragen werden. In obigem Beispiel werden die Hauptergebnisse mit einem Zinssatz von 2.5% berechnet. Die Sensitivität wird über den Bereich von 1% bis 4% berechnet.

4.7 Berechnungen ausführen

Wenn die Konfiguration der Kombinationen abgeschlossen ist, können die Berechnungen ausgeführt werden. Dazu stehen zwei Funktionen zur Verfügung:

Als erste Möglichkeit kann u.a. zu Kontrollzwecken eine Kombination ins AHB-Tool abgefüllt, berechnet und angezeigt werden. Dabei werden jedoch keine Resultate ins Vergleichstool zurückgeholt. Zur Nutzung dieser Funktion reicht ein Doppelklick auf den Button [AHB] bei der entsprechenden Kombination. Dabei wird das im Hintergrund schreibgeschützt vorgeladene AHB-Tool angezeigt und mit den Eingabewerten befüllt. Im AHB-Tool

kann dann wie gewohnt navigiert werden. Nach der Betrachtung kann das AHB-Tool minimiert oder geschlossen werden. Wird das AHB-Tool nur minimiert und eine andere Kombination angezeigt, wird die noch geöffnete "Instanz" des AHB-Tools erneut abgefüllt und maximiert, was eine schnelle Berechnung ermöglicht (allfällige manuelle Manipulationen im AHB-Tool bleiben dabei z.T. bestehen, wenn das entsprechende Eingabefeld vom Vergleichstool nicht genutzt wird).

Als zweite Möglichkeit können die Berechnungen über alle Kombinationen automatisch ausgeführt werden. Dabei werden die Resultate aus dem AHB-Tool zurück ins Vergleichstool abgefüllt. Diese Funktion wird über den Button "Berechnen" ausgelöst. Nach klicken des Buttons kann situativ gewählt werden, ob nur die Hauptresultate oder auch die Sensitivitäten mit oder ohne detaillierte Sensitivitätsgrafiken berechnet werden sollen. Diese Auswahl hat auch Auswirkungen auf die Laufzeit der Berechnungen da für die Sensitivitäten sehr viele Berechnungsgänge nötig sind.

Während der Laufzeit der Berechnungen darf nicht mit Excel interagiert und im Falle der Erstellung der Sensitivitäts-Grafiken die Zwischenablage nicht genutzt werden.

Falls die Sensitivitäts-Grafiken erstellt werden, empfiehlt es sich, nach Abschluss der Berechnungen das Vergleichstool zu speichern und neu zu öffnen.

4.8 Betrachtung und Auswertung der Resultate

Auf dem Tabellenblatt "Resultate je Kombination" sind die detaillierten Resultate je Kombination ersichtlich. Auch hier können wiederum mittels Datenschnitten auf einfache Art die gewünschten Resultate nebeneinander dargestellt werden (siehe Kapitel 4.3).

In den Zeilen folgen zuerst die einzelnen Resultate je Kombination. Diese basieren auf den eingetragenen Standard-Werten. Auf Wunsch können über die Checkbox "Sensitivitäten" die Resultate zu den Sensitivitäten ein- oder ausgeblendet werden. Dadurch werden im Anschluss an die Resultate auch die detaillierten Sensitivitäts-Grafiken je Kombination ersichtlich (sofern diese bei der Berechnung generiert wurden).

Auf dem Tabellenblatt "Resultate Diagramme" werden die Ergebnisse je Gebäude zusammengefasst. Mit dem ersten Dropdown kann das darzustellende Gebäude selektiert werden. Dadurch werden in der nachfolgenden Tabelle und den Grafiken die Werte zum selektierten Gebäude angezogen. Mit dem zweiten Dropdown kann die darzustellende Sensitivität auf der Grafik der Gestehungskosten selektiert werden. Wird die Auswahl leer gelassen, wird der Bereich über alle ausgewerteten Sensitivitäten dargestellt (d.h. es wird je Heizsystem die Sensitivität mit der grössten Abweichung vom Standardwert ausgewählt und dargestellt).

In der Tabelle werden die Resultate je Grafik für allfällige eigene Darstellungen in Tabellenform ausgegeben.

Anschliessend folgen die Grafiken zum selektierten Gebäude für folgende Hauptresultate:

- Investitionskosten / Anschlussgebühren
- Mittlere jährliche Kosten (aufgeteilt auf Energie, Instandhaltung- und Finanzierung)
- Gestehungskosten inklusive Darstellung der selektierten Sensitivität
- Umweltdaten: Primärenergiebedarf, Treibhausgas-Emissionen, Umweltbelastungspunkte³

³ Aktuell sind im Vergleichstool nur die standardmässig im AHB-Tool hinterlegten Umweltdaten hinterlegt. Es fehlen die Umweltdaten der folgenden Heizsysteme: Synthetisches Gas, Flüssiggas, erneuerbar, ERZ Fernwärme 100% erneuerbar, Abwasser-Fernwärme und Seewasser-Fernwärme

Bei Bedarf können die Bezeichnungen der Gebäude und der Heizsysteme manuell überschrieben werden (gelbe Eingabefelder).

Falls in einer Grafik nicht alle Heizsysteme dargestellt werden sollen, kann mittels Filter der Datenreihen eine Selektion erfolgen:

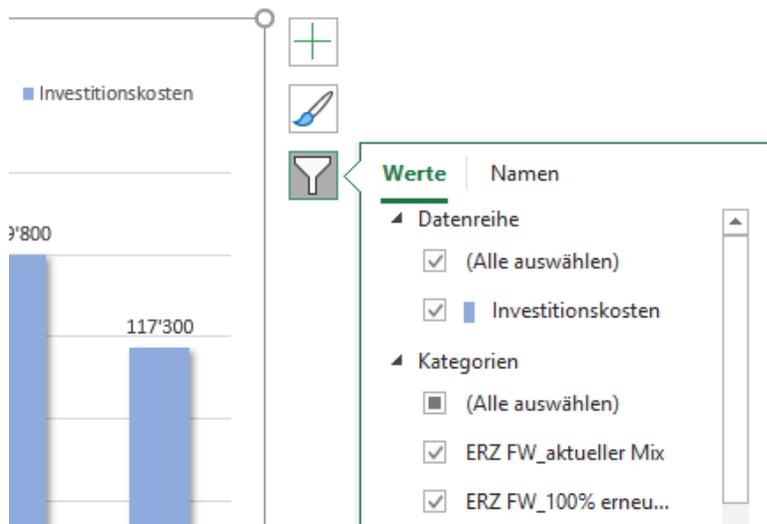


Abbildung 11: Auswahl der darzustellenden Heizsysteme

Die Grafiken können zur weiteren Verwendung direkt aus Excel in eine andere Anwendung kopiert werden. Dazu die Grafik mit rechter Maustaste kopieren und z.B. in Word als Grafik einfügen:

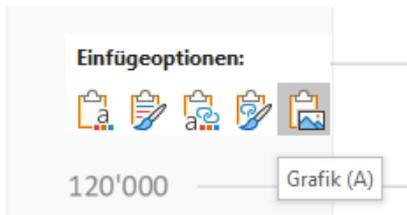


Abbildung 12: Grafiken kopieren

Anhang

A.1 Berechnungsparameter, Annahmen und Abgrenzungen

In der nachfolgenden Tabelle werden je Heizsysteme die angewendeten Berechnungsparameter, Annahmen und Abgrenzungen aufgeführt.

Heizsystem	Energiepreise	Weitere Annahmen/Abgrenzungen
ERZ Fernwärme: aktueller Mix	Gemäss Preisblatt Zürich Wärme, Stand Januar 2020	Schnittstelle: Übergabestation durch Gebäudeeigentümer zu bezahlen → Teil der Investitionskosten
ERZ Fernwärme: 100% erneuerbar (Spitzenlast Biogas)	Gemäss Preisblatt Zürich Wärme, Stand Januar 2020 35% Preiszuschlag auf den Energiepreis (Arbeitspreis P1), Annahme: 20% Spitzenlastanteil zu 100% mit Biogas gedeckt ⁴	Schnittstelle: Übergabestation durch Gebäudeeigentümer zu bezahlen → Teil der Investitionskosten
Abwasser-Fernwärme (EV Altstetten): 80% erneuerbar	Gemäss Preisblatt von ewz Energiepreis linear umgerechnet von 75% auf 80% erneuerbar Förderbeiträge herausgerechnet: Grundpreis (Leistung) 15.1% höher ⁵	Übergabestation ist im Anschlusspreis von ewz enthalten.
Abwasser-Fernwärme (EV Altstetten): 100% erneuerbar (Spitzenlast Biogas)	Gemäss Preisblatt von ewz Förderbeiträge herausgerechnet: Grundpreis (Leistung) 15.1% höher ⁵	Übergabestation ist im Anschlusspreis von ewz enthalten.
Seewasser-Fernwärme (EV Seefeld): 80% erneuerbar	Gemäss Preisblatt von ewz Förderbeiträge herausgerechnet: Grundpreis (Leistung) 10.7% höher ⁵	Übergabestation ist im Anschlusspreis von ewz enthalten.
Seewasser-Fernwärme (EV Seefeld): 100% erneuerbar (Spitzenlast Biogas)	Gemäss Preisblatt von ewz Förderbeiträge herausgerechnet: Grundpreis (Leistung) 10.7% höher ⁵	Übergabestation ist im Anschlusspreis von ewz enthalten.
Gasheizung mit 80% Biogas	Gemäss Preisblatt von energie360° Biogasprodukt: naturemade star von energie360°	Neubauten: Kosten Gasanschluss eingerechnet Altbauten: Annahme, dass Gasanschluss vorhanden ist
Gasheizung mit 100% Biogas	Gemäss Preisblatt von energie360° Biogasprodukt: naturemade star von energie360°	Neubauten: Kosten Gasanschluss eingerechnet Altbauten: Annahme, dass Gasanschluss vorhanden ist

⁴ Quelle: ERZ Fernwärme

⁵ Quelle: ewz Energielösungen

Gasheizung mit 100% synthetischem Gas	Energiepreis: Faktor 1.7 zu Biogas 12.4 Rp./kWh * 1.7 = 21.1 Rp./kWh plus 2 Rp./kWh für Speicherung → 23.1 Rp./kWh ⁶ Energiepreisteuerung: -1.3%/a ⁶	Neubauten: Kosten Gasanschluss eingerechnet Altbauten: Annahme, dass Gasanschluss vorhanden ist
Gas-BHKW mit 10% Spitzenlastdeckung Gas-Kessel: 100% Biogas	Gas: Gemäss Preisblatt von energie360° Biogasprodukt: naturemade star von energie360° Verwendung des Stroms: 1/3 Eigenverbrauch (ewz.pronatur) und 2/3 Rückspeisung (Standardwerte AHB-Tool, HT 8.5 Rp./kWh, NT 4.5 Rp./kWh)	
Luft/Wasser-WP: Aussenaufstellung	Gemäss Preisblatt von ewz Stromprodukt: ewz.pronatur	JAZ: - Neubau (VL 35°C): 3.08 - Altbau, Minergie-saniert (VL 35°C): 3.08 - Altbau, unsaniert, BJ 1981-1990, VL 50°C): 2.59 - Altbau, unsaniert, BJ vor 1980, VL 60°C: 2.1
Luft/Wasser-WP: Innenaufstellung	Gemäss Preisblatt von ewz Stromprodukt: ewz.pronatur	JAZ: - Neubau (VL 35°C): 3.08 - Altbau, Minergie-saniert (VL 35°C): 3.08 - Altbau, unsaniert, BJ 1981-1990, VL 50°C): 2.59 - Altbau, unsaniert, BJ vor 1980, VL 60°C: 2.1
Erdsonden-WP: mit Regeneration (50%)	Gemäss Preisblatt von ewz Stromprodukt: ewz.pronatur	50% Regeneration mit Rückwärmern JAZ: - Neubau (VL 35°C): 3.84 - Altbau, Minergie-saniert (VL 35°C): 3.84 - Altbau, unsaniert, BJ 1981-1990, VL 50°C): 3.19 - Altbau, unsaniert, BJ vor 1980, VL 60°C: 2.86
Erdsonden WP: ohne Regeneration	Gemäss Preisblatt von ewz Stromprodukt: ewz.pronatur	JAZ: - Neubau (VL 35°C): 3.49 - Altbau, Minergie-saniert (VL 35°C): 3.49 - Altbau, unsaniert, BJ 1981-1990, VL 50°C): 2.9 - Altbau, unsaniert, BJ vor 1980, VL 60°C: 2.6

⁶ Quellen: energie360° basierend auf "Weissbuch Power-to-X" und "Metropolitanraum-Fachbericht"

Gasheizung mit 20% Biogas	Gemäss Preisblatt von energie360° Biogasprodukt: naturemade star von energie360°	
Gasheizung/Solarthermie mit 100% Erdgas	Gemäss Preisblatt von energie360°	Dimensionierung Solaranlage: 10% der Nutzenergie Annahme Schrägdach: Kosten für Dachdecker eingerechnet
Ölheizung mit 20% Flüssigbrennstoff aus erneuerbaren Quellen	Heizöl: Standardwert AHB-Tool (7.4 Rp./kWh) Flüssigbrennstoff aus erneuerbaren Quellen: Preisaufschlag von 5.5 Rp./kWh gegenüber Heizöl ⁷ → 12.9 Rp./kWh Energiepreisteuerung: 2.5%/a (wie Standardwert Heizöl)	Bei Altbau/Heizungersatz Tanksanierung eingerechnet
Gas-BHKW mit 10% Spitzenlastdeckung Gas-Kessel: 100% Erdgas	Gas: Gemäss Preisblatt von energie360° Verwendung des Stroms: 1/3 Eigenverbrauch (ewz.pronatur) und 2/3 Rückspeisung (Standardwerte AHB-Tool, HT 8.5 Rp./kWh, NT 4.5 Rp./kWh)	

Tabelle 3: Heizsystemspezifische Berechnungsparameter, Annahmen und Abgrenzungen

Der Nutzenergiebedarf wurde aus der Leistung mit den standardmässigen Volllaststunden gemäss Tabelle 4 gerechnet. Aus Abbildung 8 wird ersichtlich, wie andere Volllaststunden die Ergebnisse beeinflussen würden.

Gebäude	Volllaststunden zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs
Altbau, unsaniert	2'000 h/a
Altbau, Minergie-saniert	1'800 h/a
Neubau	1'600 h/a

Tabelle 4: Volllaststunden zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs⁸

Üblicherweise werden die Volllaststunden in Relation zum Endenergiebedarf angegeben. Diese wären prozentual im Umfang der Verluste des jeweiligen Heizsystems höher.

Hinweis: sämtliche Gestehungskosten sind ohne Förderbeiträge gerechnet.

⁷ Quelle: Suter Joerin AG (beliefert Testanlagen mit FAME, Fatty-Acid-Methyl-Ester): der Preis für FAME liegt beim Endkunden ca. CHF 50.-/100 Liter resp. 5.5 Rp./kWh (ca. 10% tieferer Energieinhalt pro Liter) über dem Heizölpreis. Die beiden Preise verändern sich ziemlich parallel.

⁸ Damit resultiert ein um 10% höherer Nutzenergiebedarf als in der Vorgängerstudie von ERZ/econcept. Diese Erhöhung wird gemacht, weil in der Vorgängerstudie eine Leistungsreserve von 10% eingerechnet war.

A.2 Übersicht Ergebnisse

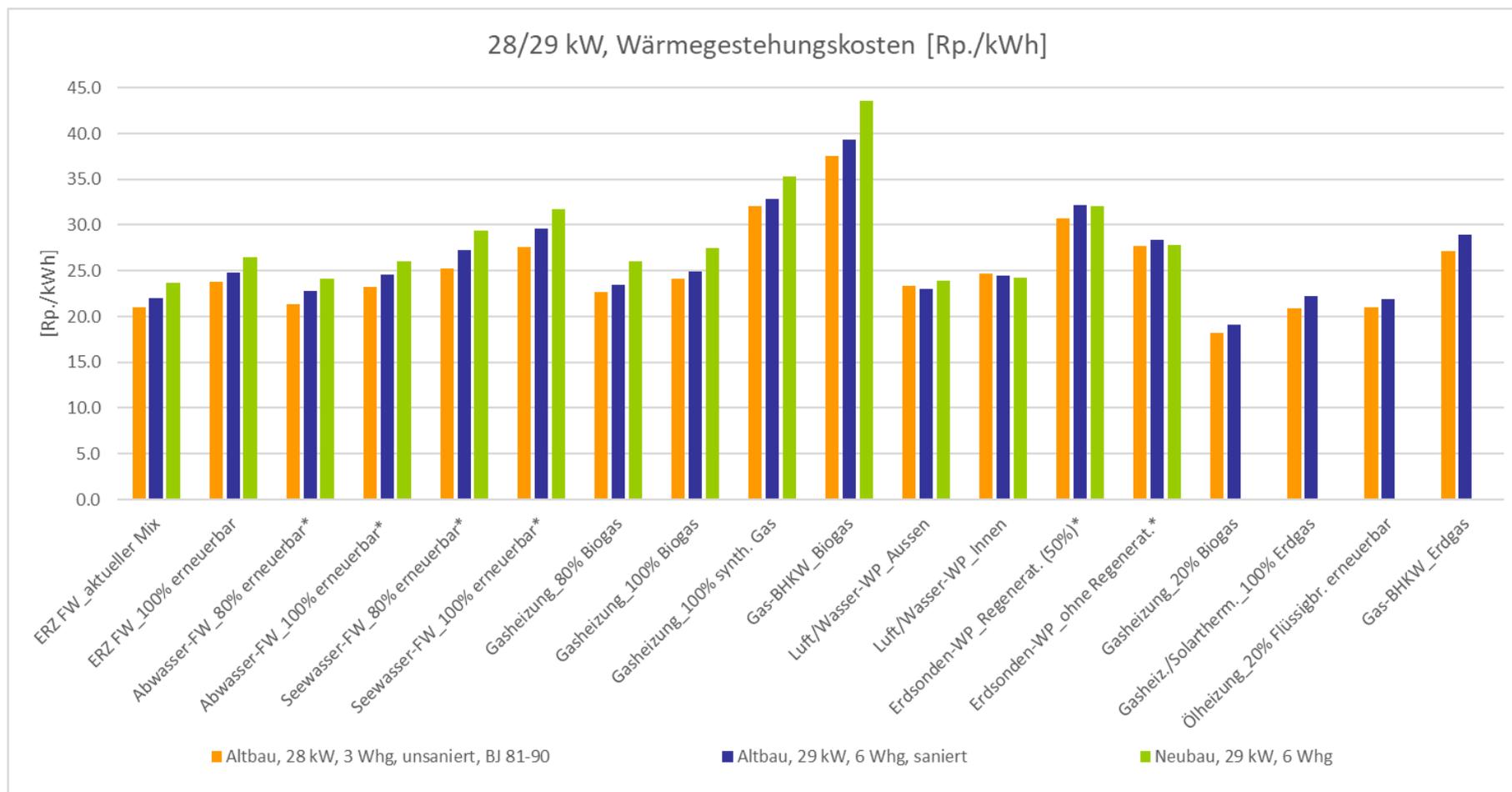


Abbildung 13: Übersicht Wärmegestehungskosten 28/29 kW, *die Kostenberechnung umfasst nur den Wärmebezug, eine allfällige Kältenutzung wurde nicht berücksichtigt

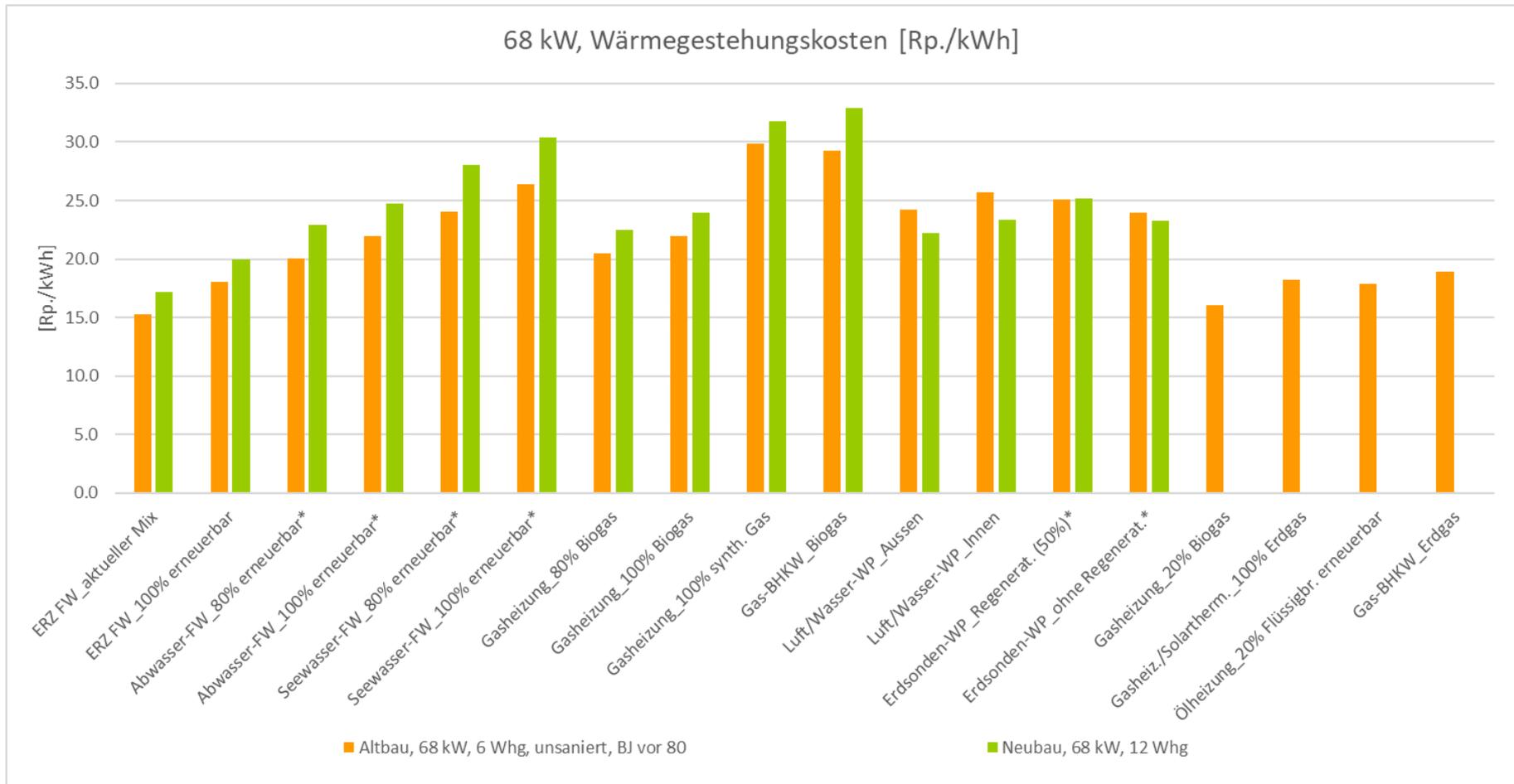


Abbildung 14: Übersicht Wärmegestehungskosten 68 kW, *die Kostenberechnung umfasst nur den Wärmebezug, eine allfällige Kältenutzung wurde nicht berücksichtigt

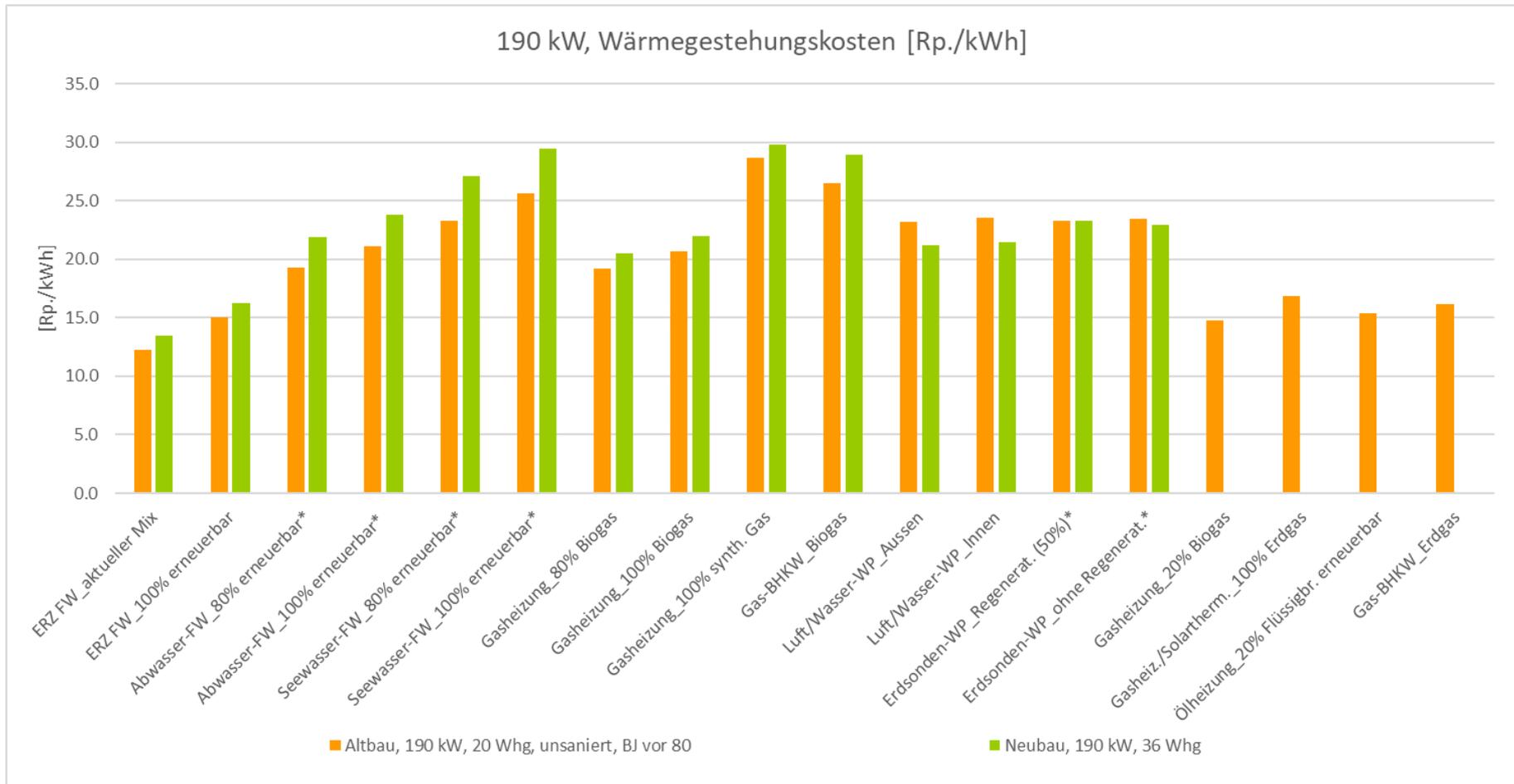


Abbildung 15: Übersicht Wärmegestehungskosten 190 kW, *die Kostenberechnung umfasst nur den Wärmebezug, eine allfällige Kältenutzung wurde nicht berücksichtigt

A.3 Übersicht Sensitivitäten

Die nachfolgenden beiden Tabellen zeigen die prozentuale Sensitivität der Wärmegestehungskosten bei 68 kW-Anlagen. Je dunkler die Farbe, desto höher ist die Sensitivität. Interpretationen zu diesen Tabellen sind in Kapitel 3.2.7 zu finden.

Lesebeispiel beim Altbau: Wenn bei der ERZ Fernwärme der Energiepreis/Arbeitspreis um 30% reduziert wird, reduzieren sich die Wärmegestehungskosten um 17.9%.

Sensitivität auf die Wärmegestehungskosten in % (68 kW, Altbau)		ERZ FW_100% erneuerbar	Abwasser- FW_100% erneuerbar	Seewasser- FW_100% erneuerbar	Gasheizung_ 100% Biogas	Gasheizung_ 100% synth. Gas	Gas-BHKW_ Biogas	Luft/Wasser- WP_Aussen	Luft/Wasser- WP_Innen	Erdsonden- WP_Regenerat. (50%)	Erdsonden- WP_ohne Regenerat.
Energiepreis/	min (-30%)	-17.9	-13.1	-10.5	-21.1	-24.2	-16.9	-13.1	-12.4	-9.3	-10.7
Arbeitspreis	max (+30%)	17.9	13.1	10.5	21.2	24.2	16.9	13.2	12.4	9.4	10.8
Leistungspreis	min (-30%)	-4.0	-13.4	-16.6	-3.2	-1.6	-2.9	-4.1	-3.9	-2.9	-3.4
	max (+30%)	4.0	13.3	16.6	3.2	1.6	2.9	4.2	3.9	3.0	3.4
Investitionskosten/	min (-30%)	-8.0	-3.6	-3.0	-5.7	-4.2	-10.5	-11.6	-13.4	-19.6	-18.5
Anschlussgebühren	max (+30%)	8.0	3.7	3.1	5.5	4.1	10.5	11.5	13.2	19.4	18.3
Zinssatz	min (1%)	-3.1	-1.2	-0.9	-1.4	-2.1	-3.3	-4.0	-4.5	-6.9	-6.5
	Standard: 2.5% max (4%)	3.3	1.3	1.1	1.6	2.2	3.6	4.4	5.0	7.7	7.3
CO ₂ -Abgabe	min (96.-/tCO ₂)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Standard: 96.-/tCO ₂ max (210.-/tCO ₂)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Alle Sensitivitäten	min	-32.1	-30.9	-30.7	-31.0	-31.5	-32.8	-31.8	-32.9	-36.8	-37.3
zusammen	max	34.2	31.8	31.5	31.8	32.7	34.9	34.4	35.9	41.5	41.8

Tabelle 5: Prozentuale Sensitivität der Wärmegestehungskosten (68 kW, Altbau)

Sensitivität auf die Wärmegestehungskosten in % (68 kW, Neubau)		ERZ FW_100% erneuerbar	Abwasser- FW_100% erneuerbar	Seewasser- FW_100% erneuerbar	Gasheizung_ 100% Biogas	Gasheizung_ 100% synth. Gas	Gas-BHKW_ Biogas	Luft/Wasser- WP_Aussen	Luft/Wasser- WP_Innen	Erdsonden- WP_Regenerat. (50%)	Erdsonden- WP_ohne Regenerat.
Energiepreis/	min (-30%)	-16.3	-11.7	-9.1	-19.3	-22.8	-15.0	-9.8	-9.3	-6.9	-8.2
Arbeitspreis	max (+30%)	16.2	11.6	9.1	19.3	22.8	15.0	9.7	9.3	6.9	8.3
Leistungspreis	min (-30%)	-4.6	-14.8	-18.0	-3.6	-1.9	-3.3	-3.9	-3.7	-2.7	-3.2
	max (+30%)	4.5	14.8	18.0	3.6	1.9	3.2	3.8	3.6	2.7	3.2
Investitionskosten/	min (-30%)	-9.2	-3.7	-3.0	-7.2	-5.4	-12.3	-14.7	-15.8	-22.4	-21.6
Anschlussgebühren	max (+30%)	9.1	3.7	3.0	7.1	5.4	12.1	14.5	15.8	22.1	21.4
Zinssatz	min (1%)	-3.7	-1.3	-0.9	-2.1	-2.6	-4.1	-5.3	-5.7	-8.2	-8.0
	Standard: 2.5% max (4%)	3.9	1.4	1.1	2.3	2.8	4.4	5.7	6.2	9.2	9.0
CO ₂ -Abgabe	min (96.-/tCO ₂)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Standard: 96.-/tCO ₂ max (210.-/tCO ₂)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Alle Sensitivitäten	min	-32.5	-31.0	-30.8	-31.6	-31.9	-33.5	-32.1	-33.0	-38.0	-39.0
zusammen	max	34.9	31.9	31.5	33.0	33.6	36.0	35.4	36.7	43.4	44.2

Tabelle 6: Prozentuale Sensitivität der Wärmegestehungskosten (68 kW, Neubau)

Tabelle 7 zeigt die Differenz der Werte der Tabelle 5 und Tabelle 6. Negative Werte (orange) zeigen Sensitivitäten, die beim Altbau höher sind. Positive Werte (grün) entsprechen Sensitivitäten, die beim Neubau höher sind.

Differenz der Sensitivitäten zwischen Altbau und Neubau		ERZ FW_100% erneuerbar	Abwasser- FW_100% erneuerbar	Seewasser- FW_100% erneuerbar	Gasheizung_100 % Biogas	Gasheizung_100 % synth. Gas	Gas- BHKW_Biogas	Luft/Wasser- WP_Aussen	Luft/Wasser- WP_Innen	Erdsonden- WP_Regenerat. (50%)	Erdsonden- WP_ohne Regenerat.
Energiepreis/	min (-30%)	-1.7	-1.5	-1.4	-1.8	-1.4	-1.9	-3.3	-3.0	-2.4	-2.5
Arbeitspreis	max (+30%)	-1.7	-1.5	-1.4	-1.8	-1.4	-1.9	-3.5	-3.2	-2.5	-2.5
Leistungspreis	min (-30%)	0.6	1.5	1.4	0.5	0.3	0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
	max (+30%)	0.5	1.4	1.5	0.5	0.3	0.3	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1
Investitionskosten/ Anschlussgebühren	min (-30%)	1.2	0.1	0.0	1.5	1.3	1.7	3.1	2.5	2.8	3.1
	max (+30%)	1.1	0.0	-0.1	1.6	1.3	1.7	3.0	2.6	2.7	3.0
Zinssatz	min (1%)	0.6	0.1	0.0	0.6	0.5	0.7	1.3	1.2	1.3	1.4
	Standard: 2.5% max (4%)	0.6	0.0	0.0	0.7	0.5	0.8	1.3	1.3	1.4	1.6
CO2-Abgabe	min (96.-/tCO2)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Standard: 96.-/tCO2 max (210.-/tCO2)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Alle Sensitivitäten zusammen	min	0.4	0.1	0.0	0.6	0.5	0.7	0.3	0.1	1.2	1.6
	max	0.7	0.0	0.0	1.2	0.9	1.1	0.9	0.8	1.9	2.4

negativ: höhere Sensitivität beim Altbau

positiv: höhere Sensitivität beim Neubau

Tabelle 7: Differenz der prozentualen Sensitivitäten zwischen Altbau und Neubau

Hinweis: Da die obigen Tabellen nur erneuerbare Systeme zeigen, ist die Sensitivität auf die CO₂-Abgabe überall 0.

A.4 Beispielgraphiken Sensitivitäten aus dem Vergleichstool

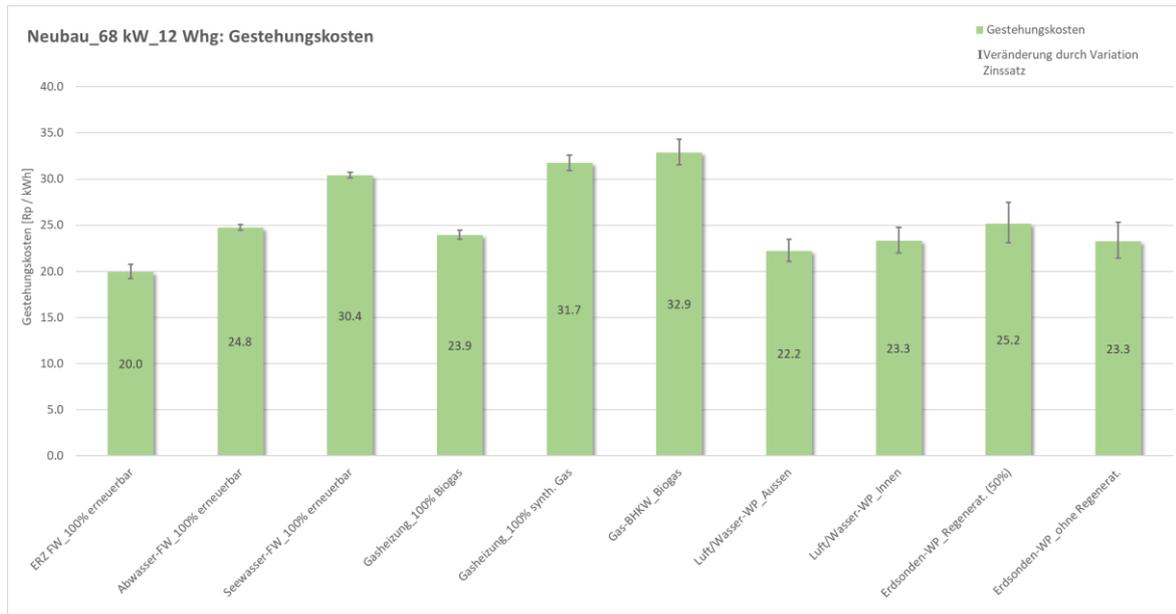


Abbildung 16: Sensitivität als Fehlerindikator im Balkendiagramm (Neubau 68 kW, Zinssatz variiert zwischen 1 und 4%)

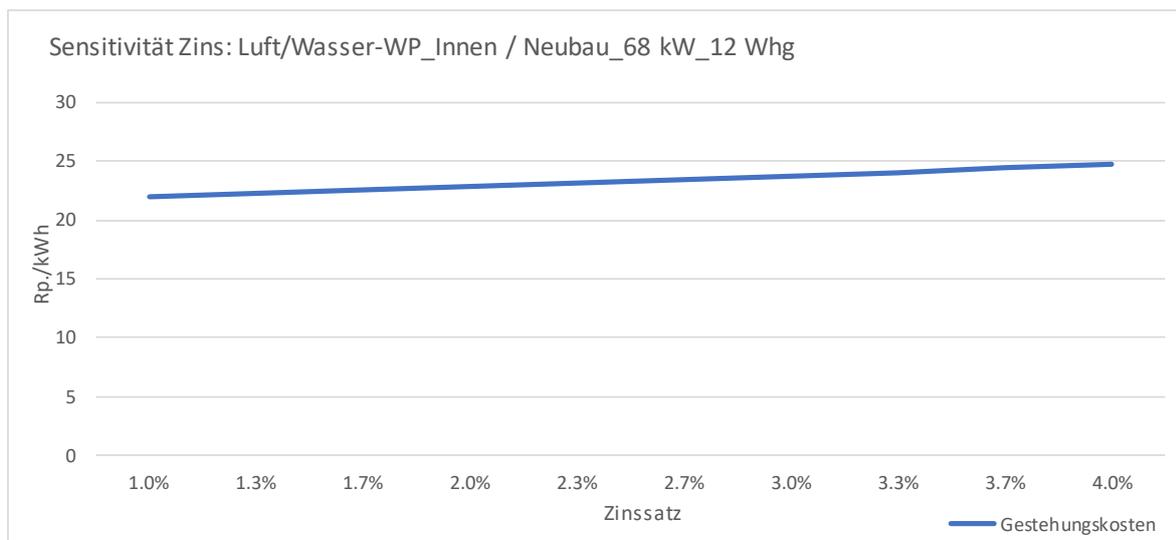


Abbildung 17: Sensitivität Zinssatz als X/Y-Diagramm (Luft/Wasser-WP innenaufgestellt, Neubau 68 kW)