

**Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Life Sciences**

Untersuchung ökonomischer und ökologischer Amortisationszeiten von
Sole-Wasser- und Luft-Wasser-Wärmepumpen unter Berücksichtigung
verschiedener Wärmeschutzstandards und Standorte

Bachelorarbeit
im Studiengang
Umwelttechnik

vorgelegt von
Luise Freitag



Hamburg
am 03. Februar 2021

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Armin Gregorzewski (HAW Hamburg)
Gutachter: Dipl. Holzwirt (Uni) Sebastian Schmidt-Häuer (INFENSA)

Die Abschlussarbeit wurde betreut und erstellt in Zusammenarbeit mit der Firma
INFENSA - Institut für energetische Sanierung GmbH

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VI
1 Einleitung	1
2 Theoretische Grundlagen.....	2
2.1 Wärmeerzeuger	2
2.1.1 Brennwertkessel	2
2.1.2 Wärmepumpe.....	2
2.2 Gesetze zum Energieverbrauch von Gebäuden.....	5
2.2.1 Wärmeschutzverordnungen	5
2.2.2 Energieeinsparverordnungen.....	5
2.3 Förderungen.....	6
3 Methodik.....	7
3.1 Standorte.....	7
3.2 Heizlastberechnung.....	8
3.2.1 U-Werte	10
3.2.2 Beispielhafte Heizlastberechnung.....	13
3.3 Heizflächenauslegung.....	14
3.3.1 Heizkörper.....	14
3.3.2 Fußbodenheizungen	16
3.4 Energiebedarfsrechnungen.....	18
3.5 Investitionskosten	20
3.5.1 Wärmeerzeuger	20
3.5.2 Heizkörper.....	21
3.5.3 Fußbodenheizung.....	22
3.6 Laufende Kosten.....	22
3.6.1 Ölpreis	22
3.6.2 Strompreis.....	23
3.6.3 Wartungskosten	24
3.7 Vor Inbetriebnahme anfallende CO ₂ -Emissionen	24
3.7.1 Wärmeerzeuger	24
3.7.2 Wärmeverteilung.....	28
3.8 CO ₂ -Emissionen im Betrieb	29
3.8.1 Wärmepumpen.....	29
3.8.2 Heizkessel.....	30

4	Ergebnisse.....	31
4.1	Ökonomische Amortisation.....	31
4.1.1	Einfluss der Standorte.....	39
4.2	Ökologische Amortisation.....	40
5	Fazit.....	43
	Literaturverzeichnis.....	44
	Eidesstattliche Erklärung.....	47
	Anhang.....	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Funktionsweise einer Wärmepumpe (Quaschnig, 2006).....	3
Abbildung 2: Jahreszeitliche Abhängigkeit der Temperaturen im Erdreich (Milles, 2008)	4
Abbildung 3: Monatsbilanzierung.....	7
Abbildung 4: Originalbaupläne des Beispielhauses	8
Abbildung 5: Screenshot des 3D-Modells.....	9
Abbildung 6: Screenshot des 3D-Modells ohne Außenwände	9
Abbildung 7: Baubeschreibungen des verwendeten Gebäudes aus den Originalgrundrissen	10
Abbildung 8: Screenshot der U-Wert-Berechnung mit ubakus.....	12
Abbildung 9: Fußbodenheizung im Obergeschoss	17
Abbildung 10: Schematische Darstellung der Energiegewinne und Verluste der alten Ölheizung.....	19
Abbildung 11: Schematische Darstellung der Energiegewinne und Verluste der neuen Ölheizung.....	19
Abbildung 12: Schematische Darstellung der Energiegewinne und Verluste der Luft- Wasser-Wärmepumpe.....	19
Abbildung 13: Schematische Darstellung der Energiegewinne und Verluste der Sole- Wasser-Wärmepumpe.....	19
Abbildung 14: CO ₂ -Abdruck von Luft-Wasser-Wärmepumpen in Abhängigkeit der Leistung	25
Abbildung 15: CO ₂ -Abdruck von Sole-Wasser-Wärmepumpen: lineare Trendlinie zwischen 10 kW und 20 kW	26
Abbildung 16: CO ₂ -Abdruck von Sole-Wasser-Wärmepumpen: polynomische Trendlinie zwischen 0 kW und 20 kW	26
Abbildung 17: CO ₂ -Abdruck der Rohre für Erdsonden: polynomische Abhängigkeit zwischen 0 kW und 20 kW	27
Abbildung 18: CO ₂ -Abdruck von Fußbodenheizungen.....	28
Abbildung 19: Heizkostenentwicklung im unsanierten Gebäude in Koblenz ohne Berücksichtigung der Förderungen.....	33
Abbildung 20: Heizkostenentwicklung im 1990 sanierten Gebäude in Koblenz ohne Berücksichtigung der Förderungen.....	33
Abbildung 21: Heizkostenentwicklung im 2016 sanierten Gebäude in Koblenz ohne Berücksichtigung der Förderungen.....	33
Abbildung 22: Heizkostenentwicklung im unsanierten Gebäude in Koblenz mit Berücksichtigung der Förderungen.....	34
Abbildung 23: Heizkostenentwicklung im 1990 sanierten Gebäude in Koblenz mit Berücksichtigung der Förderungen.....	34
Abbildung 24: Heizkostenentwicklung im 2016 sanierten Gebäude in Koblenz mit Berücksichtigung der Förderungen.....	34
Abbildung 25: Betriebskosten der Wärmepumpen und Kostendifferenzen zur Ölheizung.....	36
Abbildung 26: Kostendifferenz zwischen Luft-Wasser-Wärmepumpe und Ölkessel nach 10 Jahren ohne Berücksichtigung der Förderung	37
Abbildung 27: Kostendifferenz zwischen Luft-Wasser-Wärmepumpe und Ölkessel nach 10 Jahren unter Berücksichtigung der Förderung.....	37
Abbildung 28: Kostendifferenz zwischen Sole-Wasser-Wärmepumpe und Ölkessel nach 10 Jahren ohne Berücksichtigung der Förderung	38
Abbildung 29: Kostendifferenz zwischen Sole-Wasser-Wärmepumpe und Ölkessel nach 10 Jahren unter Berücksichtigung der Förderung.....	38

Abbildung 30: Kostendifferenz nach 10 Jahren zwischen Ölheizung und Sole-Wasser-Wärmepumpe im unsanierten Gebäude	39
Abbildung 31: Kostendifferenz nach 10 Jahren zwischen Ölheizung und den Wärmepumpen im 1990 sanierten Gebäude	39
Abbildung 32: Kostendifferenz nach 10 Jahren zwischen Ölheizung und den Wärmepumpen im 2016 sanierten Gebäude	40
Abbildung 33: CO ₂ -Emissionen im unsanierten Gebäude Standort Koblenz.....	42
Abbildung 34: CO ₂ -Emissionen im 1990 sanierten Gebäude Standort Koblenz.....	42
Abbildung 35: CO ₂ -Emissionen im 2016 sanierten Gebäude Standort Koblenz.....	42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Informationen zu den Klimadaten der Standorte	7
Tabelle 2: Für die Berechnung verwendete Räume mit Norminnentemperaturen und Luftwechselraten	9
Tabelle 3: für die thermische Hülle verwendete U-Werte	11
Tabelle 4: für sonstige Bauteile verwendete U-Werte	12
Tabelle 5: Überblick über die Berechnung der Transmissionswärmeverluste	13
Tabelle 6: Ergebnisse der Heizlastberechnungen.....	14
Tabelle 7: Beispiel für die Heizkörperauslegung	15
Tabelle 8: Ergebnisse der Energiebedarfsrechnungen	19
Tabelle 9: Investitionskosten der Heizungsanlagenerneuerung	20
Tabelle 10: Kosten für den Austausch der Heizkörper	21
Tabelle 11: Übersicht über die Daten für die Kosten der Fußbodenheizung	22
Tabelle 12: CO ₂ Bepreisung	23
Tabelle 13: Wartungskosten der Heizungsanlagen.....	24
Tabelle 14: CO ₂ -Abdruck von Luft-Wasser-Wärmepumpen	25
Tabelle 15: CO ₂ -Abdruck von Sole-Wasser-Wärmepumpen.....	26
Tabelle 16: CO ₂ -Abdruck der Rohre für Erdsonden	27
Tabelle 17: CO ₂ -Abdruck der Rohre von Fußbodenheizungen	28
Tabelle 18: CO ₂ -Emissionsfaktor für den deutschen Strommix.....	29
Tabelle 19: Berechnung der jährlichen Gesamtkosten.....	32
Tabelle 20: Ökonomische Amortisationszeiten der Luft-Wasser-Wärmepumpe.....	35
Tabelle 21: Ökonomische Amortisationszeiten der Sole-Wasser-Wärmepumpe.....	35
Tabelle 22: Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen.....	36
Tabelle 23: Berechnung der jährlichen Gesamtemissionen	41

Abkürzungsverzeichnis

EnEV	Energieeinsparverordnung
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.
BMI	Bundesministerium des Inneren für Bau und Heimat

1 Einleitung

Im Jahr 2018 wurden 83,5 % des Primärenergiebedarfs in deutschen Haushalten für die Gewinnung von Raumwärme und Warmwasser verbraucht. Der größte Teil davon wird durch Erdgas und Mineralöl gedeckt (Umweltbundesamt, 2020). Die Umstellung auf die Verwendung von erneuerbaren Energien für das Heizen von Gebäuden und die Warmwasserbereitung ist also ein entscheidender Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen.

Da gerade während der Jahreszeiten mit hohem Heizwärmebedarf die Verfügbarkeit von Solarenergie eher gering ist, bietet hier die Wärmegewinnung mittels Wärmepumpen eine vielversprechende Möglichkeit zur Nutzung erneuerbarer Energien.

Die Anschaffung von Wärmepumpen ist mit hohen Kosten verbunden. Außerdem fallen für Produktion und Transport von neuen Heizungsanlagen bereits vor Inbetriebnahme CO₂-Emissionen an. Gleichzeitig ist der Energieverbrauch von Wärmepumpen deutlich geringer als der von Heizkesseln.

In dieser Arbeit soll untersucht werden, wann sich der Einsatz von Wärmepumpen ökologisch und ökonomisch lohnt. Dazu sollen sowohl die ökonomische als auch die ökologische Amortisationszeit für den Austausch einer Ölheizung gegen eine Wärmepumpe untersucht werden. Es wird ein Zeitraum von 10 Jahren betrachtet.

Diese Untersuchung erfolgt beispielhaft an einem Einfamilienhaus. Die Berechnungen werden für vier verschiedene Standorte in Deutschland durchgeführt. Gleichzeitig werden an allen Standorten drei verschiedene Baualtersklassen untersucht. Für das erste Szenario soll angenommen werden, dass das Haus 1950 gebaut wurde und seitdem keine Veränderungen vorgenommen wurden. Für das zweite Szenario wird angenommen, dass das Gebäude 1990 kernsaniert wurde. Für das dritte Szenario wird von einer Kernsaniierung 2016 ausgegangen, bei der die Heizungsanlage nicht erneuert wurde.

Bei der alten Heizung handelt es sich um einen Niedertemperatur-Ölkessel. Dieser soll ausgetauscht werden. Es sollen ein neuer Öl-Brennwertkessel, eine Luft-Wasser-Wärmepumpe und eine Sole-Wasser-Wärmepumpe verglichen werden.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Wärmeerzeuger

2.1.1 Brennwertkessel

In einem Brennwertkessel werden die Abgase auf eine Temperatur heruntergekühlt, die unter dem Wasserdampftaupunkt liegt, damit der bei der Verbrennung entstehende Wasserdampf weitgehend kondensiert. Die Kondensationswärme kann zusätzlich zu der bei der eigentlichen Verbrennung entstehenden Wärme genutzt werden. Durch den höheren Wasserstoffanteil im Erdgas ist der zusätzliche Energiegewinn größer als der von Heizöl.

Um den Brennwerteffekt möglichst gut nutzen zu können, sollten die Rücklauftemperaturen des Heizungssystems möglichst niedrig sein. Die Taupunkttemperatur von Erdgas liegt bei etwa 58 °C, die von Heizöl bei etwa 48 °C. Die Abgase müssen bei Ölkesseln also weiter abgekühlt werden als bei Gasheizungen (Albers & Seifert, 2017).

2.1.2 Wärmepumpe

Bei einer Kompressionswärmepumpe, wie sie in Abbildung 1 zu sehen ist, wird ein Kältemittel durch Zufuhr von Umweltwärme verdampft. Das Kältemittel muss dafür einen sehr niedrigen Siedepunkt haben, um auch bei niedrigen Temperaturen zu verdampfen. Der Dampf wird dann unter Energiezufuhr auf einen hohen Druck verdichtet, wodurch die Temperatur ansteigt. Durch Kondensation des Dampfes kann die bei der Verdichtung entstandene Wärme abgeführt und genutzt werden. Das Kältemittel wird durch ein Expansionsventil wieder entspannt und anschließend wieder zurück zum Verdampfer geleitet.

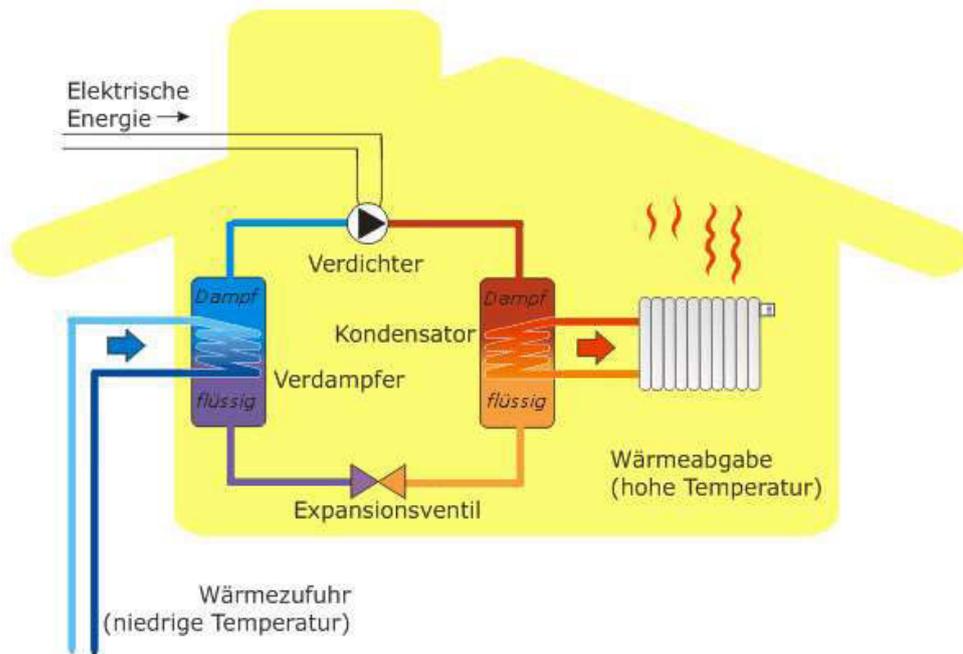


Abbildung 1: Funktionsweise einer Wärmepumpe (Quaschnig, 2006)

Die Leistungszahl einer Wärmepumpe, oder auch COP (Coefficient of Performance), wird aus dem abgeführten Wärmestrom und der zugeführten elektrischen Leistung berechnet:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{ab}}{P}$$

Die ideale Leistungszahl wird nach Carnot aus der niedrigen Temperatur der zugeführten Wärme und der hohen Temperatur der abgeführten Wärme berechnet:

$$\varepsilon_C = \frac{T_{ab}}{T_{ab} - T_{zu}}$$

Die reale Leistungszahl liegt deutlich unter der idealen Leistungszahl.

Die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe ist das Mittel der Leistungszahlen, die unter den unterschiedlichen Bedingungen während ihres Betriebs variieren.

Wie in der Berechnung für die ideale Leistungszahl zu erkennen ist, sollte die Temperaturdifferenz zwischen der Wärmezufuhr und der Wärmeabfuhr möglichst gering sein. Um die benötigte Vorlauftemperatur zum Heizen von Gebäuden niedrig zu halten, können Fußbodenheizungen verwendet werden.

Einfluss auf die Leistungszahlen hat auch der Typ der Wärmepumpe. Bei Luft-Wasser-Wärmepumpen wird Luft als Quelle der Wärmezufuhr genutzt. Da die Temperatur der Luft

saisonal dem Wärmebedarf entgegengesetzt ist und starken Schwankungen unterliegt, sind die Jahresarbeitszahlen bei Luft-Wasser-Wärmepumpen am niedrigsten.

Bei Sole-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen, die Grundwasser als Wärmequelle benutzen, ist die genutzte Umgebungstemperatur deutlich konstanter und im Winter höher.

Abbildung 2 zeigt die Temperatur im Boden zu verschiedenen Jahreszeiten. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Temperatur in 15 m Tiefe unabhängig von der Jahreszeit bei etwa 10 °C liegt.

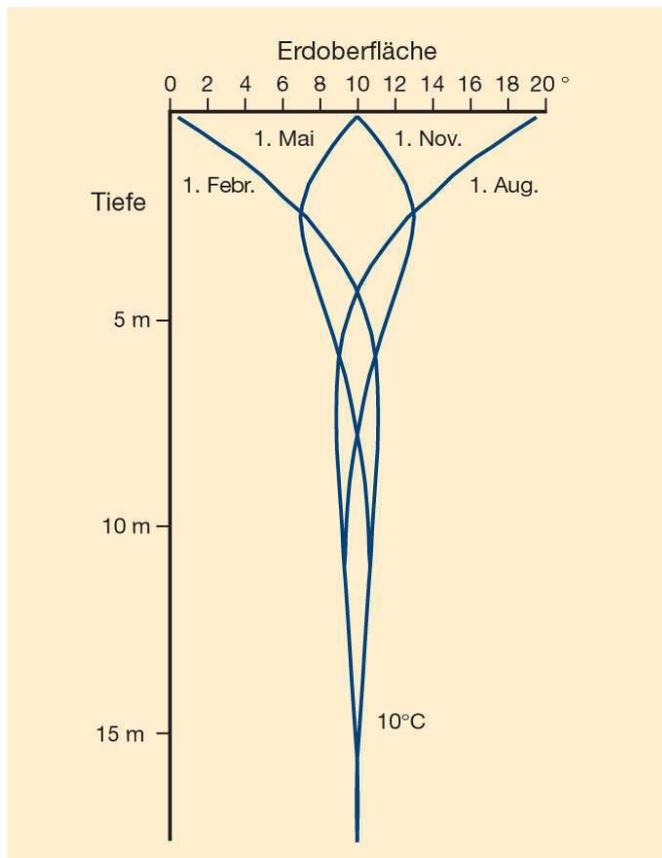


Abbildung 2: Jahreszeitliche Abhängigkeit der Temperaturen im Erdreich (Milles, 2008)

2.2 Gesetze zum Energieverbrauch von Gebäuden

2.2.1 Wärmeschutzverordnungen

Die erste Wärmeschutzverordnung trat 1977 als Folge des 1976 im Zuge der ersten Ölkrise verabschiedeten Energieeinspargesetzes in Kraft. In dieser Verordnung wurden Mindeststandards für neu errichtete Gebäude festgelegt. Die zweite Wärmeschutzverordnung trat 1984 in Kraft und die dritte 1995 (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2020).

Seit der Wärmeschutzverordnung 1984 gelten auch für Veränderungen an bestehenden Gebäuden Mindestanforderungen für die Wärmedurchlässigkeit.

Zusätzlich zu den Anforderungen an die einzelnen Bauteile ist in der Wärmeschutzverordnung 1995 auch eine Begrenzung des Heizwärmebedarfs und in den beiden älteren Verordnungen eine Begrenzung der Wärmedurchlässigkeit der Gebäudehülle festgelegt.

Der maximale Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) der Gebäudehülle ist abhängig vom Verhältnis der Fläche der Gebäudehülle zum Gebäudevolumen. Bei einem A/V-Verhältnis von 0,24 liegt der maximale mittlere U-Wert in der Wärmeschutzverordnung von 1977 beispielsweise bei $1,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$ und bei einem A/V-Verhältnis von 1,0 bei $0,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$.

Der maximale Heizwärmebedarf pro Quadratmeter und Jahr hängt ebenfalls von diesem A/V-Verhältnis ab.

2.2.2 Energieeinsparverordnungen

Die erste EnEV trat 2002 in Kraft. Sie ersetzte die Wärmeschutzverordnung von 1995 und die Heizungsanlagenverordnung von 1998. Die Anforderungen an Gebäude wurden dabei deutlich verschärft (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2020).

Der EnEV 2002 folgten eine Novellierung 2004, dann die EnEV 2007, die EnEV 2009, die EnEV 2014 und deren Novellierung 2016. Die Anforderungen an die Energieeffizienz der Gebäude wurden dabei immer wieder verschärft. Die Energieeinsparverordnungen wurden am 01. November 2020 durch das Gebäudeenergiegesetz ersetzt (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2020).

Seit 2002 wird für Gebäude der Primärenergiebedarf ermittelt, dabei werden Transmissionswärmeverluste, Lüftungswärmeverluste, Warmwasser und Heizung berücksichtigt (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2020).

Wie schon bei den Wärmeschutzverordnungen ist der maximale Energiebedarf in den ersten Energieeinsparverordnungen anhängig vom A/V-Verhältnis. Mit der EnEV 2007 wurde das Referenzgebäude für Nichtwohngebäude und 2009 auch für Wohngebäude eingeführt.

Das Referenzgebäude und das zu untersuchende Gebäude haben eine identische Gebäudegeometrie. Die U-Werte der einzelnen Bauteile und sonstige Anforderungen sind in den Anlagen der jeweiligen Verordnungen festgelegt. Der maximale Primärenergiebedarf eines neuen Gebäudes hängt von dem des Referenzgebäudes ab.

2.3 Förderungen

Für den Einbau von Heizungsanlagen, die erneuerbare Energien verwenden, gibt es staatliche Förderungen vom BAFA. Der Fördersatz für Wärmepumpen liegt bei 35 % beziehungsweise 45 %, wenn dadurch eine Ölheizung ersetzt wird (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle , 2020).

Für bestehende Wohngebäude muss die Jahresarbeitszahl von Sole-Wasser-Wärmepumpen mindestens 3,8 betragen, die von Luft-Wasser-Wärmepumpen 3,5. Es muss ein Wärmemengenzähler und für elektrisch betriebene Wärmepumpen ein Stromzähler eingebaut werden. Außerdem müssen ein hydraulischer Abgleich und die Anpassung der Heizkurve an das Gebäude durchgeführt werden. Bohrungen für Erdsonden dürfen nur von DVGW zertifizierten Unternehmen durchgeführt werden und es muss eine Versicherung gegen unvorhergesehene Sachschäden abgeschlossen werden (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2019).

3 Methodik

3.1 Standorte

Für die Standorte werden Orte aus Nord-, Ost-, Süd- und Westdeutschland gewählt. Die Standorte sollen beispielhaft für Orte in ähnlicher Lage und mit ähnlichen klimatischen Bedingungen stehen.

- Norden: Neumünster
- Osten: Potsdam
- Süden: Regensburg
- Westen: Koblenz

Die für die Heizlastberechnungen verwendeten Normaußentemperaturen nach DIN 12831 und die für die Energiebedarfsrechnungen relevanten Klimaregionen sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Informationen zu den Klimadaten der Standorte

Ort	Normaußentemperatur in °C	Referenzhöhe in m	Klimaregion
Neumünster	-8,8	25	3
Potsdam	-12,4	81	4
Regensburg	-13,3	379	5
Koblenz	-9,3	291	13

Für die Energiebedarfsrechnungen werden wesentlich umfangreichere Wetterdaten verwendet. Opake Gewinne durch Sonneneinstrahlung werden berücksichtigt. Für die Berechnung der Wärmeverluste werden monatliche Durchschnittstemperaturen verwendet.

Abbildung 3 zeigt beispielhaft die Monatsbilanzierung des in dieser Arbeit berechneten Hauses in Neumünster.

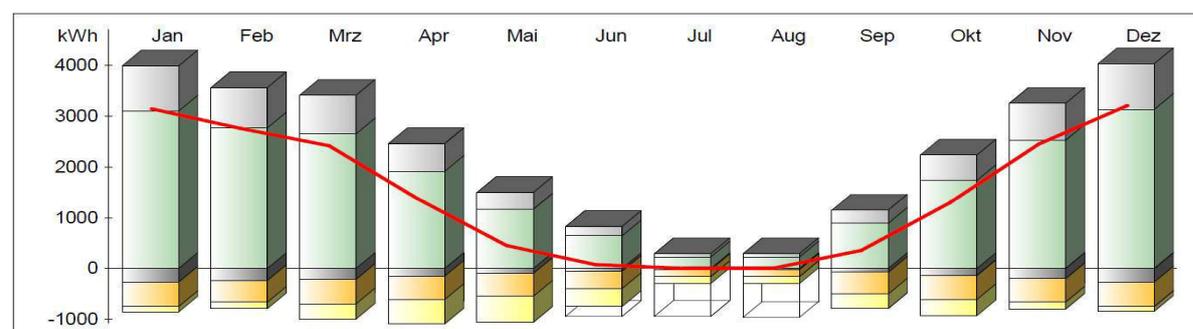


Abbildung 3: Monatsbilanzierung

3.2 Heizlastberechnung

Die Heizlast der Gebäude wird mit Hilfe der Software „TGA Heizung“ der Firma Hottgenroth Software berechnet. Für die Auslegung der Heizungsanlage wird die Gesamtheizlast benötigt, für die Auslegung der Heizkörper und Heizflächen die Heizlast der einzelnen beheizten Räume.

Im verwendeten Programm wird das Gebäude als 3D-Modell nachgezeichnet. Grundlage dafür sind die Originalgrundrisse des Beispielhauses, die in Abbildung 4 zu sehen sind.

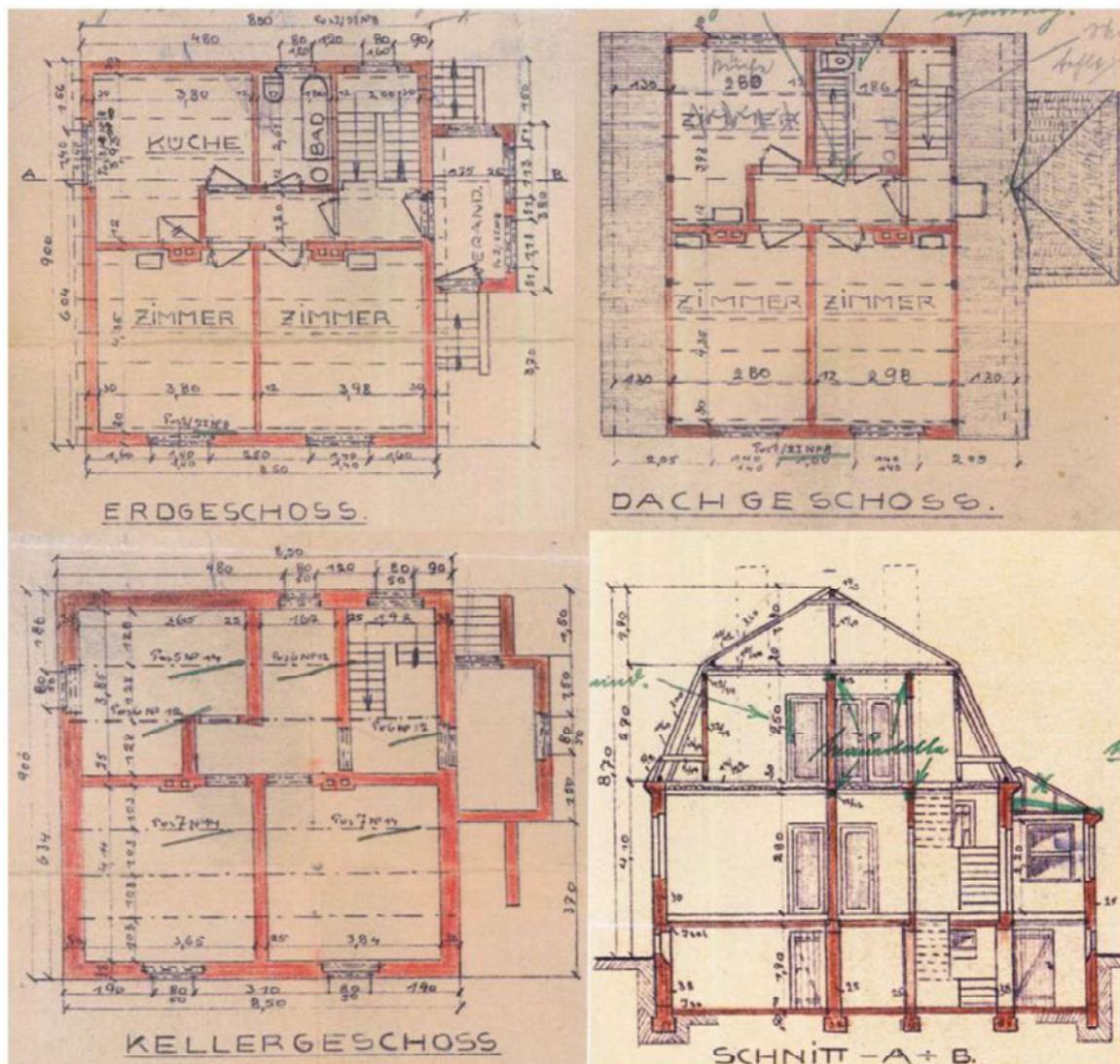


Abbildung 4: Originalbaupläne des Beispielhauses

In Abbildung 5 ist das vollständige 3D-Modell zu sehen. In Abbildung 6 sind die Außenwände ausgeblendet. Den Räumen, die in der Abbildung farblich zu sehen sind, werden verschiedene Funktionen zugeordnet. Die Funktion der Räume bestimmt die Norminnentemperatur und die Mindestluftwechselrate. Die verwendeten Räume mit den zugehörigen Temperaturen und Luftwechselraten nach DIN 12831 sind in Tabelle 1 aufgelistet.



Abbildung 5: Screenshot des 3D-Modells



Abbildung 6: Screenshot des 3D-Modells ohne Außenwände

Tabelle 2: Für die Berechnung verwendete Räume mit Norminnentemperaturen und Luftwechselraten

Raum	Norminnentemperatur in °C	Luftwechselrate in 1/h
Kinderzimmer	20	0,5
Schlafzimmer	20	0,5
Badezimmer	24	0,5
Flur	15	0,0
Wohnzimmer	20	0,5
Esszimmer	20	0,5
Küche	20	0,5

3.2.1 U-Werte

3.2.1.1 Katalogwerte

Den einzelnen Bauteilen werden U-Werte zugeordnet. Im Beispiel des unsanierten Gebäudes werden für die Außenbauteile der thermischen Hülle Katalogwerte nach Baualtersklasse ausgewählt. Für die Fenster werden Kastenfenster mit Holzrahmen ausgewählt. Für Dachfenster und Kellerfenster wird eine Einfachverglasung angenommen. Der Aufbau von Kellerdecke und Außenwänden werden der Originalbaubeschreibung (Abbildung 7) entnommen.

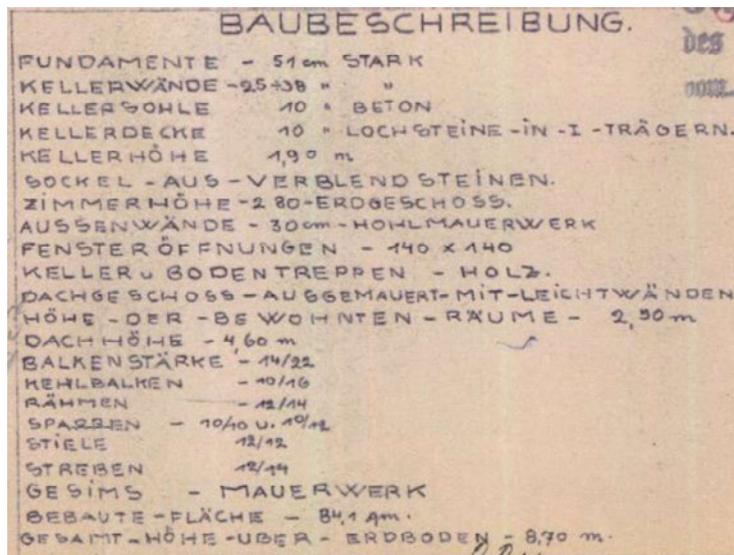


Abbildung 7: Baubeschreibungen des verwendeten Gebäudes aus den Originalgrundrissen

Für die Beispiele der sanierten Gebäude werden jeweils die Mindestanforderungen für die Erneuerung von Außenbauteilen nach Wärmeschutzverordnung 1984 und EnEV 2016 angenommen. Die U-Werte für alle Bauteile der thermischen Hülle sind in Tabelle 3 aufgelistet. Für das 2016 sanierte Gebäude werden 3-fach verglaste Fenster angenommen, deren U-Werte die Anforderungen der EnEV 2016 unterbieten.

Wenn in einem Raum eine Fußbodenheizung verbaut werden soll, muss der Boden an dieser Stelle gedämmt werden. Deshalb gibt es für die sanierten Gebäude zwei verschiedene Heizlastberechnungen mit gedämmten Geschossdecken für Fußbodenheizungen und ungedämmten Geschossdecken für die Verwendung von Heizkörpern.

Tabelle 3: Für die thermische Hülle verwendete U-Werte

Bauteil	U-Wert nach Baualtersklasse 1950	U-Wert nach Wärme-schutzverordnung 1984	U-Wert nach EnEV 2016
Außenwände	1,3	0,6	0,24
Dach	1,4	0,45	0,24
Kellerdecke	1,5	0,7 (0,5 für Fußbodenheizung)	0,5
Oberste Geschossdecke	0,8	0,45	0,24
Fenster	2,7 5,0 (Dachfenster)	2,7	0,95 (3-fach Verglasung) 1,1 (Dachfenster)

3.2.1.2 Berechnete U-Werte

Für Innenbauteile gibt es weder Mindestanforderungen an den Wärmeschutz noch Katalogwerte nach Baualtersklassen. Die U-Werte dieser Bauteile werden mit dem Online-Tool „ubakus“ der Firma u-Wert.net GmbH ermittelt.

Für die Berechnung werden die Bauteile virtuell nachgebaut. Es wird für jede Schicht ein Baumaterial ausgewählt und die Schichtdicke eingetragen. Die λ -Werte werden von dem Programm aus einer internen Datenbank entnommen. Der Aufbau und das Material der Bauteile sind an die Baubeschreibung angelehnt. Zusätzliche Schichten wie Wandfarbe werden vernachlässigt.

Abbildung 8 zeigt exemplarisch einen vereinfachten Aufbau der Decke zwischen Erdgeschoss und Obergeschoss. Es sind die ausgewählten Materialien, die Maße für den Aufbau der Decke und die λ - und die μ -Werte für die Berechnung der U-Werte zu erkennen. Für die Luftschichten wird als λ -Wert „auto“ angegeben. Dort wird der λ -Wert abhängig von der Dicke der Luftschicht berechnet und hat keinen vorher vorgegebenen Wert.

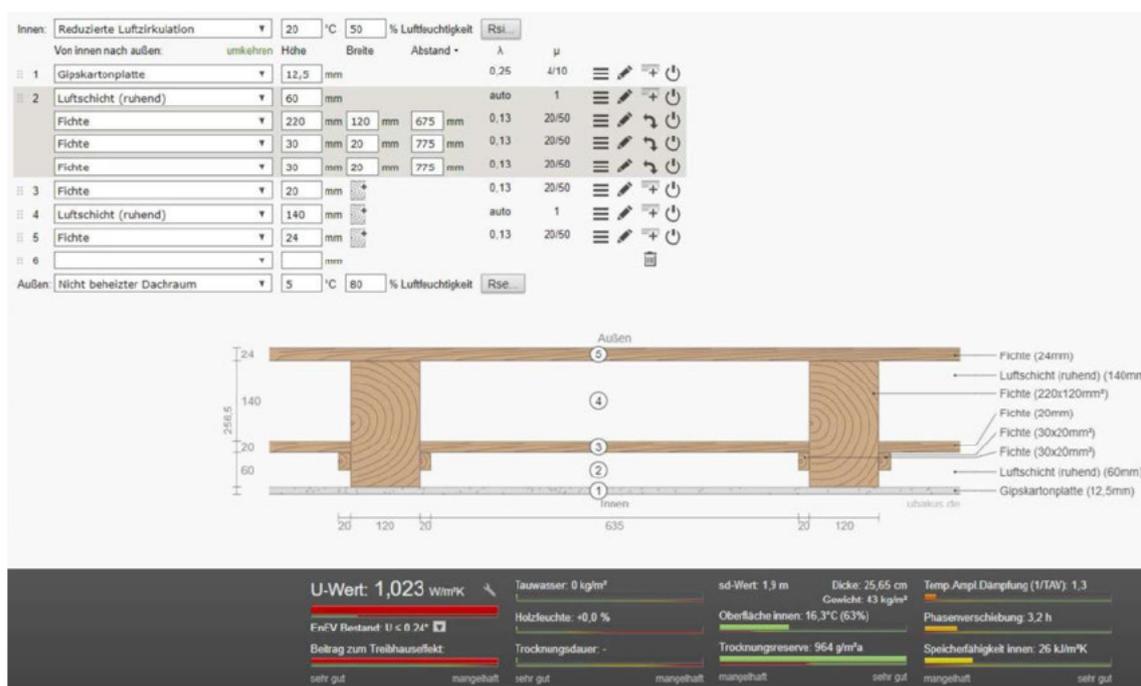


Abbildung 8: Screenshot der U-Wert-Berechnung mit ubakus

Die auf gleiche Weise erhobenen Daten der übrigen Bauteile sind in Tabelle 4 dargestellt.

Wie schon bei der Kellerdecke (Tabelle 3) wird der Fußbodenaufbau der Zwischendecke für Gebäude mit Fußbodenheizung durch Einbringen einer Dämmung und einer Estrichschicht angepasst. Alle anderen Bauteile bleiben in allen Gebäuden gleich.

Tabelle 4: Für sonstige Bauteile verwendete U-Werte

Bauteil	Dicke	Bezeichnung bei ubakus	λ -Wert	μ -Wert	U-Wert
Außenwand Keller	380	Vollziegel 1600 kg/m ³ , DIN 105	0,68	5/10	1,22
Innenwand Keller	240	Vollziegel 1600 kg/m ³ , DIN 105	0,68	5/10	1,63
Außenwand Windfang	250	Vollziegel 1600 kg/m ³ , DIN 105	0,68	5/10	1,59
Innenwand Erdgeschoss	120	Vollziegel 1600 kg/m ³ , DIN 105	0,68	5/10	2,29
Innenwand Obergeschoss	120	Rabitzwand	0,29	15	1,48
Innentüren	40	Spanplatten 600 kg/m ³	0,14	15/50	1,83
Wand gegen Abseite (OG)	120	Gipskartonplatten	0,25	4/10	1,35
Zwischendecke mit Dämmung und Estrich für Fußbodenheizung	12,5	Gipskartonplatte	0,25	4/10	0,36
	60	Luftschicht	auto	1	
	220	Fichte (120 mm mit 675 mm Abstand)	0,13	20/50	
	20	Fichte	0,13	20/50	
	95	Hartschaum, XPS 035	0,035	82/200	
	45	Zementestrich	1,4	15/35	
	10	Fliesen	1,2	150/300	

3.2.2 Beispielhafte Heizlastberechnung

In Tabelle 5 ist beispielhaft eine Heizlastberechnung für die Küche im unsanierten Gebäude in Potsdam zu sehen. Durch jedes einzelne Bauteil werden die Transmissionswärmeverluste nach außen oder in angrenzende Räume berechnet. Der Ausdruck der Heizlastberechnung für die Küche findet sich in Anlage A.

Für die Flächen, die an Außenluft oder unbeheizte Räume grenzen, wird der berechnete U-Wert um den Wärmebrückenzuschlag von $0,1 \frac{W}{m^2K}$ erhöht. In der Tabelle sind diese U-Werte mit einem Sternchen (*) markiert.

Tabelle 5: Überblick über die Berechnung der Transmissionswärmeverluste

Bauteil	Angrenzender Raum	Angrenzende Temperatur [°C]	U-Wert $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$	Bauteilfläche [m ²]	Transmissionswärmeverlust [W]
Decke	unbeheizter Dachraum (Abseite)	7,0	1,12*	5,3	78
Decke	Schlafzimmer	20,0	1,02	10,9	
Außenwand Nord	Außenluft	-12,4	1,40*	12,9	585
Außenwand West	Außenluft	-12,4	1,40*	11,3	514
Fenster	Außenluft	-12,4	2,80*	2,0	178
Innenwand	Esszimmer	20,0	2,29	9,1	
Innenwand	Flur	15,0	2,29	1,8	21
Innentür	Flur	15,0	1,83	1,8	16
Innenwand	Flur	15,0	2,29	4,1	47
Innenwand	Badezimmer	24,0	2,29	9,2	-84
Fußboden	unbeheizter Keller	10,0	1,60*	16,1	258
Gesamtheizlast durch Transmissionswärmeverluste					1613

Zu den Transmissionswärmeverlusten kommen die Lüftungswärmeverluste hinzu. In diesem Beispiel sind das 504 W. Die Gesamtheizlast des Raumes liegt also bei 2.116 W.

Die Ergebnisse aller durchgeführten Heizlastberechnungen sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Ergebnisse der Heizlastberechnungen

PLZ, Ort	Art der Heizflächen	Heizlast in W nach Sanierungszustand		
		Unsaniert	Saniert 1990	Saniert 2016
14480 Potsdam	Heizkörper	11.851	7.771	4.106
	Fußbodenheizung		7.519	4.017
24534 Neumünster	Heizkörper	10.819	7.086	3.784
	Fußbodenheizung		6.833	3.695
56076 Koblenz	Heizkörper	10.962	7.181	3.829
	Fußbodenheizung		6.929	3.740
93053 Regensburg	Heizkörper	12.108	7.943	4.106
	Fußbodenheizung		7.690	4.098

3.3 Heizflächenauslegung

3.3.1 Heizkörper

Alle Gebäude, in die eine Brennwertheizung eingebaut wird, sollen mit Flachheizkörpern beheizt werden, die Auslegungstemperaturen betragen 55 °C für den Vorlauf und 45 °C für den Rücklauf.

Außer in Flur und Bad werden die Heizkörper unter den Fenstern platziert. Bei einer Brüstungshöhe von 70 cm bedeutet das, dass die Höhe der Heizkörper auf 50 cm begrenzt ist, um ausreichend Platz zum Boden und zur Fensterbank zu haben. Die Breite der Heizkörper soll maximal der Fensterbreite von 140 cm entsprechen. In den unsanierten Gebäuden reicht ein Heizkörper in einigen Räumen nicht aus, um den Raum bei der gegebenen Vorlauftemperatur auf die Norminnentemperatur zu heizen. Wenn ein zweiter Heizkörper notwendig ist, wird dieser mit einer Höhe von 90 cm angenommen, um Platz in der Breite zu sparen.

In Tabelle 7 sind die Maße der Heizkörper, deren Leistung bei den Systemtemperaturen 55/45 °C und die Heizlast des Raumes aufgelistet. Als Beispiel wird das unsanierte Gebäude mit dem Standort Regensburg ausgewählt, weil es das Gebäude mit der größten Heizlast ist.

Tabelle 7: Beispiel für die Heizkörperauslegung

Geschoss	Raum	Typ	Höhe [mm]	Länge [mm]	Leistung Heizkörper [W]	Heizlast Raum [W]
OG	Kind 002	33	500	1.400	1.404	1.350
OG	Flur	22	900	600	860	876
OG	Bad	22	900	800	868	809
OG	Schlafen	33	500	1.100	1.104	1.146
OG	Kind	33	500	1.300	1.304	1.267
EG	Wohnraum	33	500	1.300	2.535	2.446
		33	900	800		
EG	Flur	11	900	600	521	457
EG	Essen	33	500	1.200	2.435	2.379
		33	900	800		
EG	Bad	22	900	1.100	1.061	1.036
EG	Küche	33	500	1.100	2.155	2.166
		22	900	900		

Schon in diesem Beispiel ist zu erkennen, dass die Heizlast des Flurs im Erdgeschoss deutlich geringer ist als die der anderen Räume. In den sanierten Gebäuden wird die Heizlast wegen der geringen Norminnentemperatur noch geringer oder sogar negativ. In diesen Fällen wird für den Flur kein Heizkörper angenommen.

Der effektive Betrieb einer Wärmepumpe erfordert möglichst niedrige Vorlauftemperaturen. Um das unter Verwendung von Heizkörpern im unsanierten Gebäude zu erreichen, werden diese mit Systemtemperaturen von 50 °C für den Vorlauf und 40 °C für den Rücklauf ausgelegt. Die Heizkörpermaße sind auch hier auf 50 cm in der Höhe und die Fensterbreite begrenzt. Allein in den Kinderzimmern kann diese Bedingung nicht eingehalten werden. Um einen zweiten Heizkörper zu vermeiden, werden hier 160 cm und 180 cm Breite ausgewählt.

In den sanierten Gebäuden ist bei Betrieb einer Wärmepumpe die Verwendung von Fußbodenheizungen sinnvoller.

3.3.2 Fußbodenheizungen

Die Auslegung der Fußbodenheizungen erfolgt wie die der Heizkörper anhand der Heizlast der einzelnen Räume. Die Vorlauftemperaturen sollten möglichst niedrig ausgewählt werden. Die Wärmedurchgangswiderstände des Fußbodenbelags und des Estrichs sind ebenfalls relevant. Für den Estrich wird ein U-Wert von $1,7 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ angenommen. Als Fußbodenbelag in den Kinderzimmern wird ein dünner Parkettboden mit einem Wärmedurchlasswiderstand von $R = 0,038 \frac{m^2 \cdot K}{W}$ und in den restlichen Räumen Fliesen ($R = 0,015 \frac{m^2 \cdot K}{W}$) angenommen.

In den unsanierten Gebäuden können die Räume mit einer Fußbodenheizung selbst bei hohen Vorlauftemperaturen von 45 °C oder sogar 50 °C nicht ausreichend geheizt werden. Insbesondere wegen der hohen Kosten für das Verlegen einer Fußbodenheizung ist diese hier nicht sinnvoll.

Für den Sanierungszustand 1990 sind Auslegungstemperaturen von 38 °C Vorlauf und 30 °C Rücklauf ausreichend. Hier sind allerdings Verlegeabstände von 55 mm notwendig, um eine ausreichende Heizleistung zu erreichen.

In den 2016 sanierten Gebäuden sind Auslegungstemperaturen von 35 °C ausreichend. Hier sind dann in den Wohnräumen Verlegeabstände von 10 cm bis 20 cm möglich.

Wie schon bei der Heizkörperauslegung sind in einigen Fluren keine Heizflächen notwendig, also werden auch hier keine angenommen.

In Fluren und Badezimmern gibt es Sperrflächen für die Treppe und die Badarmaturen, in denen keine Fußbodenheizung verlegt werden kann.

In den Badezimmern reicht die Fußbodenheizung nicht aus, um die Raumheizlast abzudecken. Dort werden zusätzlich Plattenheizkörper angenommen. Die Plattenheizkörper werden an den Fußbodenheizkreis angeschlossen und mit den gleichen Systemtemperaturen ausgelegt. Die Heizkörper sind daher sehr groß.

Abbildung 9 zeigt einen von der Software „TGA Heizung“ erstellten Grundriss. Bei dem Beispiel handelt es sich um das Obergeschoss des Gebäudes in Potsdam mit dem Sanierungsstand 2016. Den Raumstempeln können die Heizlast der einzelnen Räume sowie die Daten zur Fußbodenheizung entnommen werden.

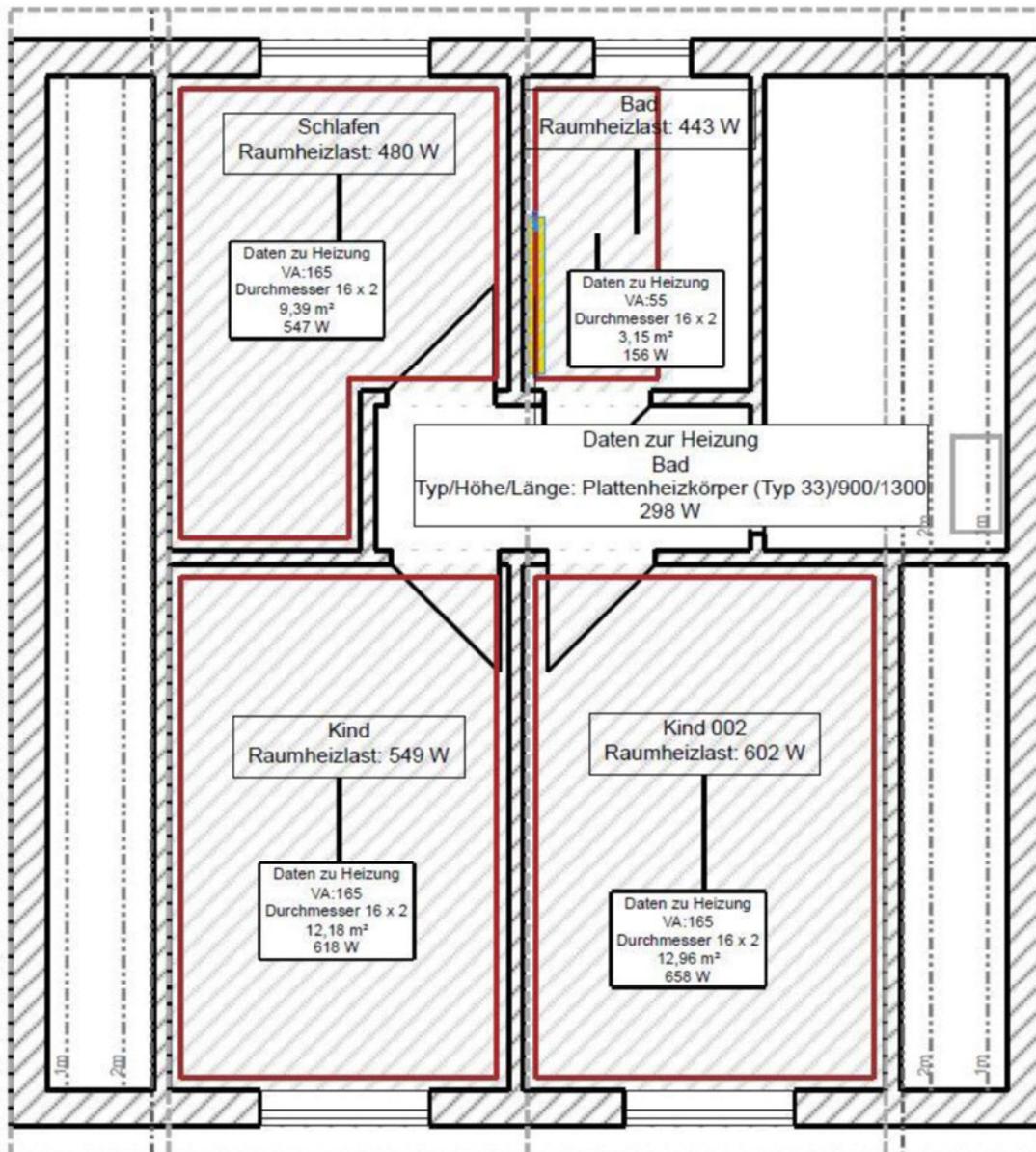


Abbildung 9: Fußbodenheizung im Obergeschoss

3.4 Energiebedarfsrechnungen

Um den jährlichen CO₂-Ausstoß und die jährlichen Strom- und Brennstoffkosten bestimmen zu können, wird für alle Gebäude und alle Wärmeerzeuger eine Energiebedarfsrechnung durchgeführt.

Die verwendete Software ist „Energieberater 18599“ der Firma Hottgenroth Software. Die schon für die Heizlastberechnungen eingesetzten 3D-Modelle werden auch hier angewendet. Zusätzlich benötigt die Software Informationen über die eingebaute Anlagentechnik. Da eine Energiebedarfsrechnung nach DIN 18599 für Wohngebäude mit der oben genannten Software noch nicht möglich ist, wird die Berechnung nach DIN 4108-6 durchgeführt. Das entspricht dem Stand der EnEV 2016.

Für den Ist-Zustand des Gebäudes wird ein Niedertemperatur-Ölkessel mit Gebläse aus dem Zeitraum 1987-1994 angenommen. Für den Warmwasserspeicher, die Rohrisolierungen und Heizkörperventile wird das gleiche Alter angesetzt. Die Systemtemperaturen sollen bei 70/55 °C liegen.

Für alle Szenarien mit neu eingebauten Wärmeerzeugern werden für die Leitungen und Pufferspeicher Isolierungen nach EnEV-Standard angenommen. Die Wärmepumpen, mit denen gerechnet wird, werden so ausgewählt, dass die für die Förderung notwendigen Jahresarbeitszahlen erreicht werden und die Überdimensionierung möglichst gering ist.

In den Abbildungen 10 bis 13 sind die Gewinne und Verluste der Heizungssysteme im Vergleich dargestellt. Bei dem Beispiel handelt es sich um die Berechnungen für das 1990 sanierte Haus in Neumünster.

Der jährliche Energiebedarf, der für das Heizen des Gebäudes entsteht, ist der Heizwärmebedarf. Darin enthalten ist auch die Hilfsenergie, die zum Beispiel für die Umwälzpumpe benötigt wird. Dazu kommen der Energiebedarf für die Erzeugung von Warmwasser und die Verluste, die im Heizungs- und Warmwassersystem entstehen. In den Abbildungen zu den Wärmepumpen sind die Wärmeverluste für das Heizungssystem negativ, weil hier der Großteil der Energie aus der Umgebungsenergie gewonnen wird. Der Endenergiebedarf gibt an, wie viel Energie im Gebäude selbst benötigt wird. Der Primärenergiebedarf wird mit Hilfe von Primärenergiefaktoren, die in der EnEV 2016 vorgegeben sind, berechnet. Dabei wird die gesamte Energie, die zur Bereitstellung der Endenergie anfällt, berücksichtigt. Für die Betrachtung der Amortisationszeiten ist der Endenergiebedarf entscheidend.

Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse aller durchgeführten Energiebedarfsrechnungen.

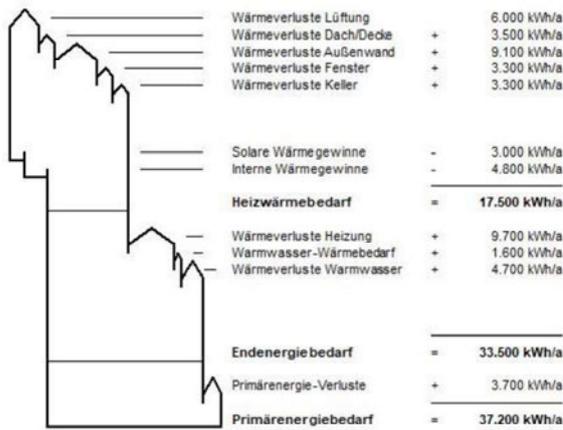


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Energiegewinne und Verluste der alten Ölheizung

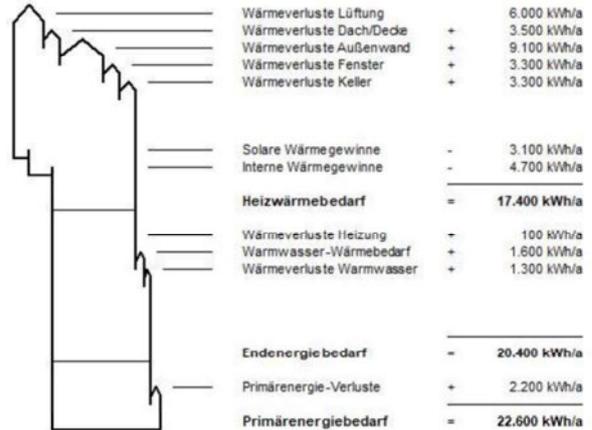


Abbildung 11: Schematische Darstellung der Energiegewinne und Verluste der neuen Ölheizung

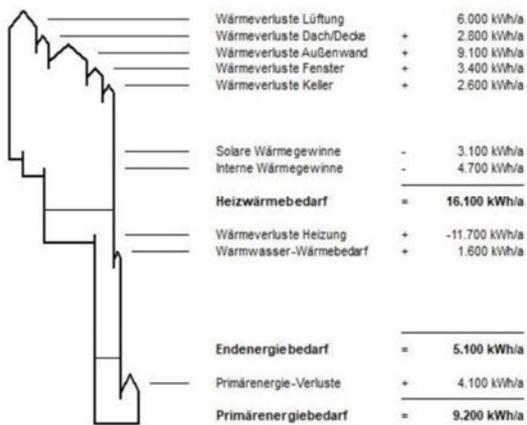


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Energiegewinne und Verluste der Luft-Wasser-Wärmepumpe

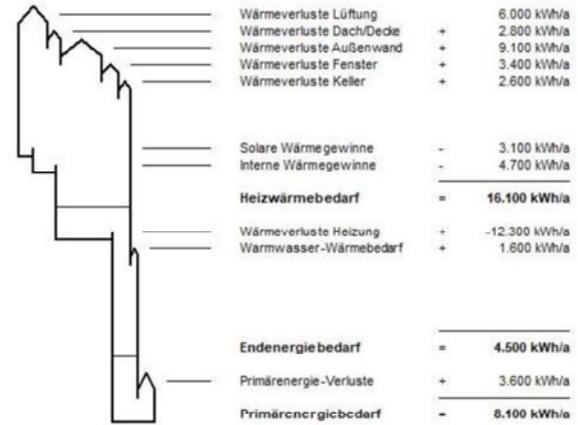


Abbildung 13: Schematische Darstellung der Energiegewinne und Verluste der Sole-Wasser-Wärmepumpe

Tabelle 8: Ergebnisse der Energiebedarfsrechnungen

Standort	Sanierungsstand	Endenergiebedarf in kWh/a			
		Alter Ölkessel	Neuer Ölkessel	Luft-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe
Potsdam	Unsaniert	48.332	32.699	9.564	7.733
	1990 saniert	33.711	20.736	5.172	4.590
	2016 saniert	26.534	14.577	3.940	3.264
Neumünster	Unsaniert	48.147	32.323	9.471	7.661
	1990 saniert	33.506	20.397	5.091	4.523
	2016 saniert	26.387	14.256	3.854	3.199
Koblenz	Unsaniert	44.705	29.490	8.643	7.018
	1990 saniert	31.289	18.619	4.657	4.164
	2016 saniert	24.802	13.042	3.535	2.956
Regensburg	Unsaniert	52.238	35.911	10.499	8.460
	1990 saniert	36.236	22.818	5.683	5.013
	2016 saniert	25.371	16.005	4.316	3.551

3.5 Investitionskosten

3.5.1 Wärmeerzeuger

Um Annahmen zu den Investitionskosten treffen zu können, werden vertrauliche firmeninterne Daten der Firma INFENSA – Institut für energetische Sanierung GmbH analysiert. In den Kosten sind Materialkosten der Wärmepumpen, Ölkessel, Pufferspeicher und sonstige Materialkosten sowie Installationskosten, Entsorgung der alten Heizungsanlage und Inbetriebnahme enthalten.

Der Einfluss der notwendigen Leistung der Wärmepumpe ist im Vergleich zu den Gesamtkosten sehr gering und wird deshalb nicht berücksichtigt.

Die Investitionskosten der Wärmeerzeuger sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Investitionskosten der Heizungsanlagenerneuerung

Wärmeerzeuger	Investitionskosten in €
Ölkessel	14.000
Luft-Wasser-Wärmepumpe	21.000
Sole-Wasser-Wärmepumpe (ohne Bohrung)	25.000

Ein beträchtlicher Kostenfaktor von Sole-Wasser-Wärmepumpen ist die Bohrung für die Erdsonde. Die Tiefe der Bohrung ist von der notwendigen Leistung abhängig. Um die Kosten zu berechnen, wird mit einer Entzugsleistung des Bodens von $60 \frac{\text{W}}{\text{m}}$ und Kosten von $75 \frac{\text{€}}{\text{m}}$ gerechnet. Es wird davon ausgegangen, dass 75 % der Heizleistung durch den Boden bereitgestellt werden sollen (Greenhouse Media GmbH, 2018).

Ist eine Heizlast von 8 kW abzudecken, werden die Kosten für die Bohrung also wie folgt berechnet:

$$\text{Kosten} = \frac{8.000 \text{ W} \cdot 0,75}{60 \frac{\text{W}}{\text{m}}} \cdot 75 \frac{\text{€}}{\text{m}} = 7.500 \text{ €}$$

3.5.2 Heizkörper

Um die Kosten für den Austausch der Heizkörper zu bestimmen, werden die Preise der Heizkörper aus der Preisliste des Herstellers angenommen. Es wird damit gerechnet, dass die Heizungsbaufirma 65 % des Listenpreises bezahlt. Als weitere Kosten werden pro Heizkörper 50 € für Lieferung, Montage und weitere Arbeitskosten und 70 € für weitere Materialkosten angenommen. Ein Beispiel für die Berechnung zeigt Tabelle 10. Es handelt sich dabei, wie schon bei dem Beispiel in Kapitel 3.3.1, um das unsanierte Gebäude mit Standort Regensburg und Systemtemperaturen von 55/45 °C.

Die Preisliste ist in Anlage B zu finden.

Tabelle 10: Kosten für den Austausch der Heizkörper

Geschoss	Raum	Typ	Höhe	Länge	Preis in €	35 % Rabatt	+ 50 € Arbeiten	+ 70 € weitere Materialien
OG	Kind 002	33	500	1.400	651	423	473	543
OG	Flur	22	900	600	396	257	307	377
OG	Bad	22	900	900	506	329	379	449
OG	Schlafen	33	500	1.100	556	361	411	481
OG	Kind	33	500	1.300	620	403	453	523
EG	Wohnraum	33	500	1.300	620	403	453	523
		33	900	800	707	460	510	580
EG	Flur	11	900	600	255	166	216	286
EG	Essen	33	500	1.200	588	382	432	502
		33	900	800	707	460	510	580
EG	Bad	22	900	1.100	579	376	426	496
EG	Küche	33	500	1.100	557	362	412	482
		22	900	900	506	329	379	449

3.5.3 Fußbodenheizung

Für die Kosten der Fußbodenheizung wird mit einem Preis von $35 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$ für Systemplatte, Dämmung, Estrich und Verlegekosten gerechnet, für die Rohre der Heizkreise mit einem Preis von $1 \frac{\text{€}}{\text{m}}$. Dazu kommen 900 € für die Heizkreisverteiler und Heizkreisverteilerschränke und 1500 € für sonstige Kosten. Für das Verlegen von neuen Fußbodenbelägen werden 110 €/m^2 angenommen (Piasecki, kein Datum).

Die folgende Tabelle zeigt die Kostenrechnung für die Fußbodenheizung in dem 2016 sanierten Gebäude in Potsdam.

Tabelle 11: Übersicht über die Daten für die Kosten der Fußbodenheizung

Heizkörper im Bad EG	Heizkörper im Bad OG	Kosten der Heizkörper	Länge aller Heizkreise in m	Fläche in m ²	Kosten der Fußbodenheizung in €	Gesamtkosten in €
33/900/2000	33/900/1300	1.490	600	88	15.760	17.370

Gesamtkosten

$$= 900 \text{ €} + 1.500 \text{ €} + 88 \text{ m}^2 \cdot 35 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} + 600 \text{ m} \cdot 1 \frac{\text{€}}{\text{m}} + 88 \text{ m}^2 \cdot 110 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} + 1.490 \text{ €}$$

3.6 Laufende Kosten

3.6.1 Ölpreis

Eine vom BMI in Auftrag gegebene Studie aus dem Jahr 2014 zur Entwicklung der Strommärkte geht von einer Steigung des Ölpreises um 1,8 % zwischen 2020 und 2030 aus (Schlesinger, et al., 2014). In dieser Studie wird noch keine CO₂-Steuer berücksichtigt. Zusätzlich zu der Steigung von 1,8 % wird also die im Klimaschutzprogramm 2020 beschlossene CO₂-Abgabe angenommen. Von 2021 bis 2025 soll der CO₂-Preis von $25 \frac{\text{€}}{\text{t}}$ nach und nach auf $55 \frac{\text{€}}{\text{t}}$ angehoben werden. Zwischen 2025 und 2030 soll er sich zwischen $55 \frac{\text{€}}{\text{t}}$ und $65 \frac{\text{€}}{\text{t}}$ bewegen. Hier wird von einer jährlichen Steigung von $2 \frac{\text{€}}{\text{t}}$ ausgegangen. Die genauen CO₂-Preise sind in Tabelle 12 dargestellt (Greenhouse Media GmbH, 2020).

Tabelle 12: CO₂-Bepreisung

Jahr	CO ₂ -Preis in € pro t	CO ₂ -Preis in Cent pro l Heizöl
2021	25	7,9
2022	30	9,5
2023	35	11,1
2024	45	14,2
2025	55	17,4
2026	57	18,0
2027	59	18,6
2028	61	19,3
2029	63	19,9
2030	65	20,5

Als Ausgangspreis wird mit dem durchschnittlichen Heizölpreis von 2019 von $67,3 \frac{\text{Cent}}{\text{Liter}}$ gerechnet, um den Einfluss der COVID-19-Pandemie ausschließen zu können.

Die Heizölkosten zwischen 2010 und 2020 unterlagen großen Schwankungen. Ein Vergleich der 2014 prognostizierten mit der tatsächlichen Entwicklung des Ölpreises zeigt, dass die Vorhersage der Preisentwicklung mit Unsicherheiten behaftet ist. (Statista, 2021)

3.6.2 Strompreis

Für den Betrieb der Wärmepumpen wird ein Stromtarif für Wärmepumpen von $22,5 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$ angenommen, für den Hilfsenergieverbrauch ein Haushaltsstromtarif von $28,8 \frac{\text{Cent}}{\text{kWh}}$. Für die Entwicklung der Strompreise wird die Prognose aus derselben Quelle wie für den Heizölpreis zugrunde gelegt, damit die Vorhersagen von gleichen Voraussetzungen ausgehen. Es wird eine Änderung von $-0,3 \%$ von 2020 bis 2030 prognostiziert. Für Strom fällt keine CO₂-Steuer an (Bundesverband Wärmepumpe [BWP] e.V., 2021) (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021).

3.6.3 Wartungskosten

Die jährlichen Wartungskosten der Öl-Brennwertanlage und der Luft-Wärmepumpe werden auf die gleiche Weise ermittelt wie die Investitionskosten, die Wartungskosten der Sole-Wasser-Wärmepumpe basieren auf Herstellerangaben (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Wartungskosten der Heizungsanlagen

Wärmeerzeuger	Art der Kosten	Kosten pro Jahr in €
Luft-Wasser-Wärmepumpe	Wartung	175
Sole-Wasser-Wärmepumpe	Wartung	175 (Bosch Thermotechnik GmbH 2021, 2021)
Öl-Brennwertkessel	Wartung	200
	Schornsteinfeger	50

3.7 Vor Inbetriebnahme anfallende CO₂-Emissionen

Um die ökologische Amortisationszeit der neuen Heizungsanlagen ermitteln zu können, muss zunächst der CO₂-Ausstoß bestimmt werden, der für Herstellung und Transport der Wärmeerzeuger und Materialien anfällt. Die genutzten Daten stammen aus der Datenbank ÖKOBAUDAT des BMI (Bundesministerium des Inneren für Bau und Heimat, 2021).

Die notwendige Dimensionierung für alle Wärmeerzeuger geht aus den Heizlastberechnungen hervor.

3.7.1 Wärmeerzeuger

3.7.1.1 Öl-Brennwertgerät

Für Öl-Brennwertgeräte als Standgeräte mit einer Leistung kleiner als 20 kW wird ein Wert von 697 kg CO₂-Äquivalent pro Heizkessel angegeben. Da die Heizlast in allen Gebäuden kleiner als 20 kW ist, kann dieser Wert für alle Gebäude mit Öl-Brennwertkessel angenommen werden.

3.7.1.2 Luft-Wasser-Wärmepumpe

Die für den CO₂-Abdruck von Luft-Wasser-Wärmepumpen gegebenen Werte sind in Tabelle 14 aufgelistet. Werden diese Werte in einem Graphen dargestellt, lässt sich eine Trendlinie einfügen, die fast den Nullpunkt schneidet. Mithilfe der Formel dieser Trendlinie können die Werte für die Wärmepumpen mit den benötigten Leistungen bestimmt werden. Der verwendete Graph ist in Abbildung 14 zu sehen.

Tabelle 14: CO₂-Abdruck von Luft-Wasser-Wärmepumpen

Leistung der Wärmepumpe in kW	Anfallende CO ₂ -Äquivalente in kg
14	354
10	253
7	177

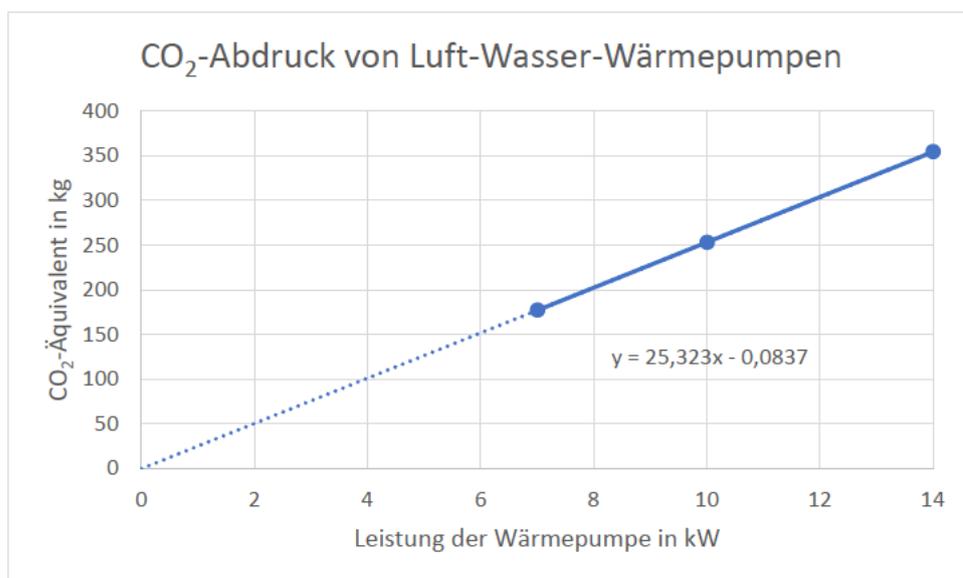


Abbildung 14: CO₂-Abdruck von Luft-Wasser-Wärmepumpen in Abhängigkeit der Leistung

3.7.1.3 Sole-Wasser-Wärmepumpe

Für den CO₂-Abdruck von Sole-Wasser-Wärmepumpen sind in der Datenbank Werte für 10-kW- und 20-kW-Wärmepumpen gegeben. Wenn für diese Werte ein linearer Verlauf angenommen wird, hat der Graph bereits bei 3,8 kW eine Nullstelle. In Abbildung 15 ist das durch die blaugepunktete Trendlinie zu erkennen. Für den Bereich unter 10 kW kann dieser Ansatz also nicht verwendet werden.

Tabelle 15: CO₂-Abdruck von Sole-Wasser-Wärmepumpen

Leistung der Wärmepumpe in kW	Anfallende CO ₂ -Äquivalente in kg
10	708
20	1855

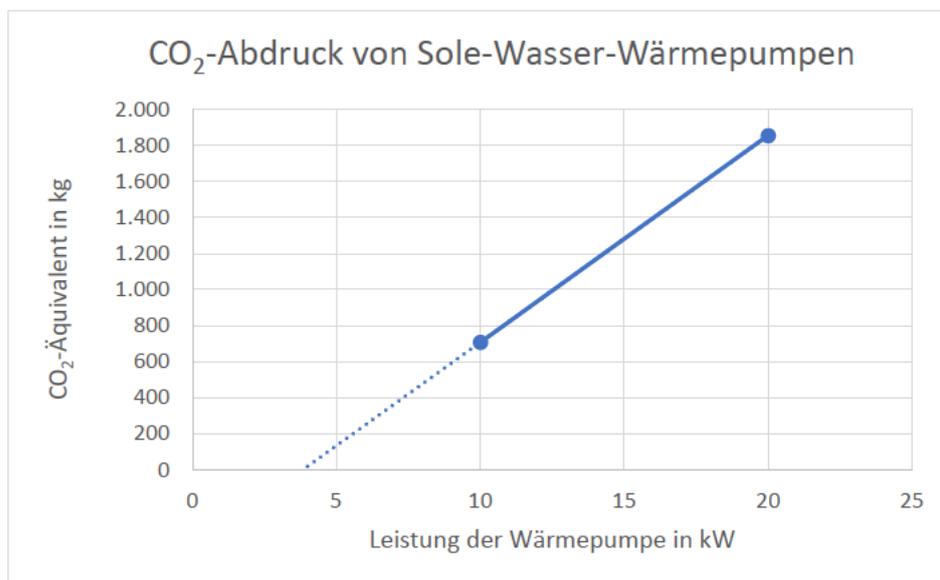


Abbildung 15: CO₂-Abdruck von Sole-Wasser-Wärmepumpen: lineare Trendlinie zwischen 10 kW und 20 kW

Um auch für Anlagen mit einer Leistung unter 10 kW Annahmen treffen zu können, wird ein polynomischer Verlauf angenommen, der durch den Koordinatenursprung verläuft. Die dabei entstehende Formel wird für die Berechnung des CO₂-Abdrucks der Wärmepumpen verwendet.

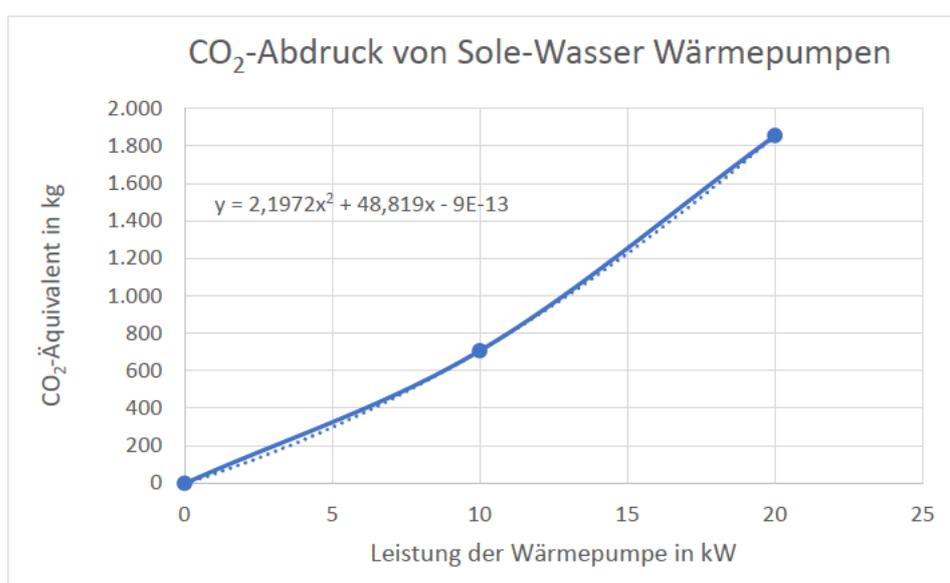


Abbildung 16: CO₂-Abdruck von Sole-Wasser-Wärmepumpen: polynomische Trendlinie zwischen 0 kW und 20 kW

Für Sole-Wasser-Wärmepumpen müssen außerdem die Rohre für die Erdsonden mit berücksichtigt werden. Bei den verwendeten Daten tritt hier das gleiche Problem auf wie bei den Wärmepumpen. Daher wird auch hier eine polynomische Funktion zur Berechnung der benötigten Werte genutzt.

Tabelle 16: CO₂-Abdruck der Rohre für Erdsonden

Leistung der Wärmepumpe in kW	Anfallende CO ₂ -Äquivalente in kg
10	614,3
20	1804,0

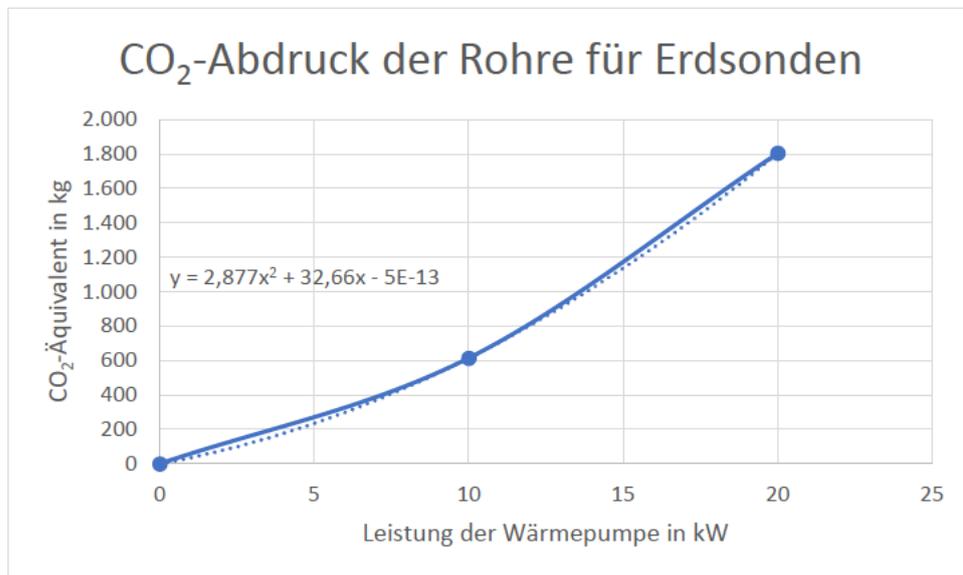


Abbildung 17: CO₂-Abdruck der Rohre für Erdsonden: polynomische Abhängigkeit zwischen 0 kW und 20 kW

3.7.1.4 Pufferspeicher

Für den CO₂-Abdruck der Pufferspeicher wird ein Speicher aus Stahl angenommen. Pro kg werden 2,7 kg CO₂-Äquivalent angegeben. Diese Angaben werden sowohl für den Heizungs- als auch für den Warmwasser-Speicher angenommen.

Die Masse der verwendeten Pufferspeicher wurde aus den Datenblättern der Hersteller entnommen. Diese befinden sich in Anlage C.

3.7.2 Wärmeverteilung

3.7.2.1 Fußbodenheizung

Für die Fußbodenheizung werden PE-X Rohre angenommen. Um die Emissionen für die entsprechenden Verlegeabstände zu ermitteln, wird auch hier von einem linearen Zusammenhang ausgegangen. Wie viel Fläche Fußbodenheizung mit welchem Verlegeabstand in den einzelnen Gebäuden benötigt wird, ist aus der Heizflächenauslegung bekannt.

Tabelle 17: CO₂-Abdruck der Rohre von Fußbodenheizungen

Verlegeabstand der Fußbodenheizung	Anfallende CO ₂ -Äquivalente pro m ² in kg
100	12
200	8,6

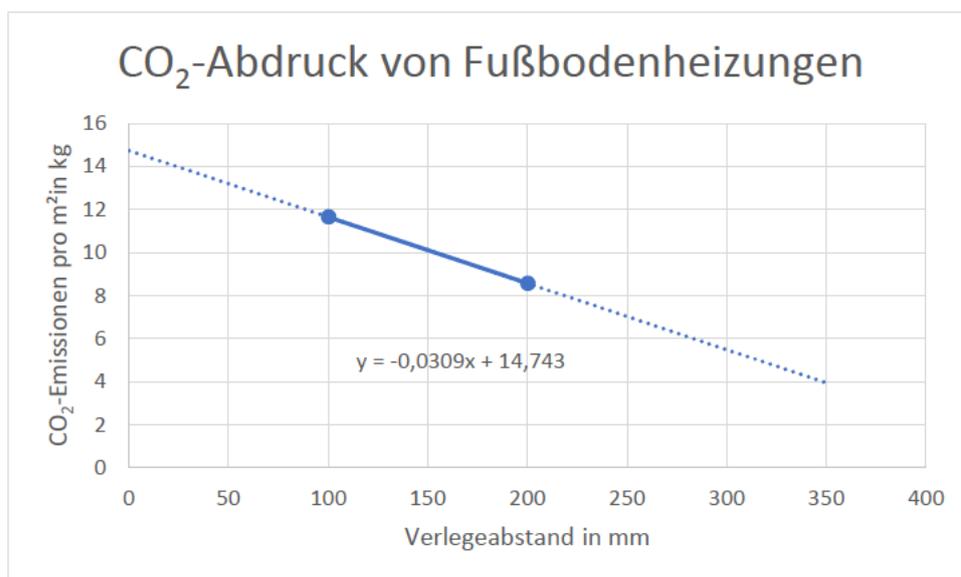


Abbildung 18: CO₂-Abdruck von Fußbodenheizungen

Da für Fußbodenheizungen auch der Fußbodenbelag erneuert werden muss, fallen hier zusätzliche CO₂-Emissionen an. Für Fliesen sind das 6 kg CO₂-Äquivalent pro m² und für Parkett 5 kg CO₂-Äquivalent pro m².

3.7.2.2 Heizkörper

Für Heizkörper wird ein Wert von 2,9 kg CO₂-Äquivalent pro kg angenommen. Die Masse der Heizkörper ist als ein Ergebnis der Heizkörperauslegung bekannt.

3.7.2.3 Rohrisolierung

Es wird für die Rohrisolierung von einer Dämmung aus Polyurethan-Hartschaum ausgegangen. Laut Datensatz entstehen hierfür 202 kg CO₂-Äquivalent pro m³.

Für die zu isolierenden Rohrleitungen wird mit einer Länge von 40 m für die Heizung und 20 m für das Trinkwasser gerechnet. Es wird von einem Rohrdurchmesser von 25 mm ausgegangen. Die Isolierung sollte 35 mm dick sein (Greenhouse Media, 2020).

Unter diesen Bedingungen werden 0,56 m³ Dämmmaterial benötigt.

3.8 CO₂-Emissionen im Betrieb

3.8.1 Wärmepumpen

Für die CO₂-Emissionen, die bei der Erzeugung des durch die Wärmepumpen verbrauchten Stroms anfallen, wird der Emissionsfaktor des Jahres 2019 von $0,401 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$ verwendet (Umweltbundesamt, 2020). Um den Ausbau der erneuerbaren Energien im Strommix zu berücksichtigen, wird für das Jahr 2030 ein Emissionsfaktor von $0,288 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$ angenommen (Vogt, 2017). Außerdem wird von einem linearen Verlauf ausgegangen.

Die daraus berechneten Emissionsfaktoren der einzelnen Jahre sind in Tabelle 18 aufgelistet.

Tabelle 18: CO₂-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix

Jahr	CO ₂ -Emissionsfaktor in $\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$
2019	0,401
2020	0,391
2021	0,380
2022	0,370
2023	0,360
2024	0,350
2025	0,339
2026	0,329
2027	0,319
2028	0,308
2029	0,298
2030	0,288

3.8.2 Heizkessel

Die CO₂-Emissionen, die beim Betrieb von Heizkesseln anfallen, setzen sich aus den Emissionen durch die Verbrennung (in diesem Fall von Öl), also dem Heizenergiebedarf, und den Emissionen, die durch die Stromerzeugung für die Hilfsenergie anfallen, zusammen.

Der CO₂-Emissionsfaktor liegt bei $74 \frac{\text{t CO}_2}{\text{TJ}}$, das entspricht $0,266 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$ (Jührich, 2016).

4 Ergebnisse

4.1 Ökonomische Amortisation

Bei der ökonomischen Amortisation ist hier die Amortisation der Mehrkosten von Wärmepumpen im Vergleich zu einer neuen Ölheizung gemeint.

Um die Amortisationszeiten zu ermitteln, werden für alle Wärmeerzeuger in allen betrachteten Gebäuden die Investitionssummen als Ausgangswert genommen. Die tabellarische Übersicht über die Berechnung der Investitionssummen findet sich in Anlage D. Die laufenden Kosten werden für jedes Jahr hinzuaddiert. Der betrachtete Zeitraum geht über 10 Jahre. Die Tabelle 19 auf Seite 32 zeigt exemplarisch die Berechnung der Kosten für den Standort Koblenz mit Berücksichtigung der Förderungen. Die tabellarischen Ergebnisse für die übrigen Standorte finden sich in Anlage E.

Die Ergebnisse der Berechnung der Gesamtkosten werden in Graphen zusammengefasst. Die Graphen zeigen den Verlauf der Kosten aller betrachteten Wärmeerzeuger. In den Abbildungen 19 bis 21 auf Seite 33 werden staatliche Förderungen für die Investitionskosten nicht berücksichtigt.

Für die Sole-Wasser-Wärmepumpen in allen betrachteten Gebäuden und die Luft-Wasser-Wärmepumpen in den sanierten Gebäuden beträgt die Amortisationszeit im Vergleich zu der neuen Ölheizung deutlich mehr als 10 Jahre. Lediglich bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe im unsanierten Gebäude sind die Kosten nach etwa 10 Jahren auf dem gleichen Niveau wie die der neuen Ölheizung.

In den Abbildungen 22 bis 24 auf Seite 34 werden die staatlichen Förderungen für die Wärmepumpen berücksichtigt. Durch die staatliche Förderung von 45 % werden die Investitionskosten der Wärmepumpen erheblich reduziert. Infolgedessen ist die Luft-Wasser-Wärmepumpe im unsanierten Gebäude schon vor Inbetriebnahme günstiger als die neue Ölheizung. Auch bei der Sole-Wasser-Wärmepumpe beträgt die Amortisationszeit im unsanierten Gebäude jetzt nur noch 6 Jahre.

In den sanierten Gebäuden ist eine Amortisation der Luft-Wasser-Wärmepumpe nach 6 Jahren für das 1990 sanierte Gebäude und nach 10 Jahren für das 2016 sanierte Gebäude erreicht. Für die Sole-Wasser-Wärmepumpe beträgt die Amortisationszeit auch hier mehr als 10 Jahre. Die Amortisationszeiten für Luft-Wasser-Wärmepumpen sind in Tabelle 20 und die der Sole-Wasser-Wärmepumpen in Tabelle 21 auf Seite 35 dargestellt.

Ergebnisse

Tabelle 19: Berechnung der jährlichen Gesamtkosten

	Gesamtkosten in € – Standort Koblenz											
	unsaniert				1990 saniert				2016 saniert			
	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe
2020	0	20.155	15.228	23.101	0	18.638	22.263	28.073	0	16.854	21.066	25.329
2021	3.685	22.678	17.355	24.873	2.675	20.322	23.493	29.203	2.241	18.108	21.981	26.184
2022	7.445	25.250	19.481	26.645	5.402	22.037	24.722	30.333	4.522	19.383	22.895	27.039
2023	11.281	27.872	21.606	28.416	8.182	23.783	25.950	31.463	6.845	20.681	23.810	27.893
2024	15.259	30.587	23.731	30.187	11.061	25.589	27.179	32.593	9.245	22.020	24.724	28.748
2025	19.382	33.399	25.855	31.957	14.042	27.455	28.407	33.722	11.725	23.401	25.637	29.602
2026	23.537	36.231	27.979	33.727	17.044	29.334	29.634	34.851	14.222	24.791	26.551	30.456
2027	27.723	39.084	30.102	35.497	20.069	31.226	30.862	35.979	16.736	26.191	27.464	31.310
2028	31.945	41.961	32.224	37.266	23.119	33.134	32.089	37.108	19.270	27.601	28.378	32.164
2029	36.200	44.858	34.346	39.034	26.190	35.054	33.315	38.236	21.821	29.021	29.290	33.018
2030	40.485	47.777	36.467	40.802	29.284	36.988	34.542	39.363	24.389	30.450	30.203	33.871
Verbrauch für Heizenergie in l Öl und kWh Strom	4.391	2.893	8.525	6.720	3.064	1.827	4.550	3.867	2.397	1.280	3.433	2.714
Verbrauch für Hilfsenergie in kWh	443	325	118	298	406	200	107	297	643	137	102	242

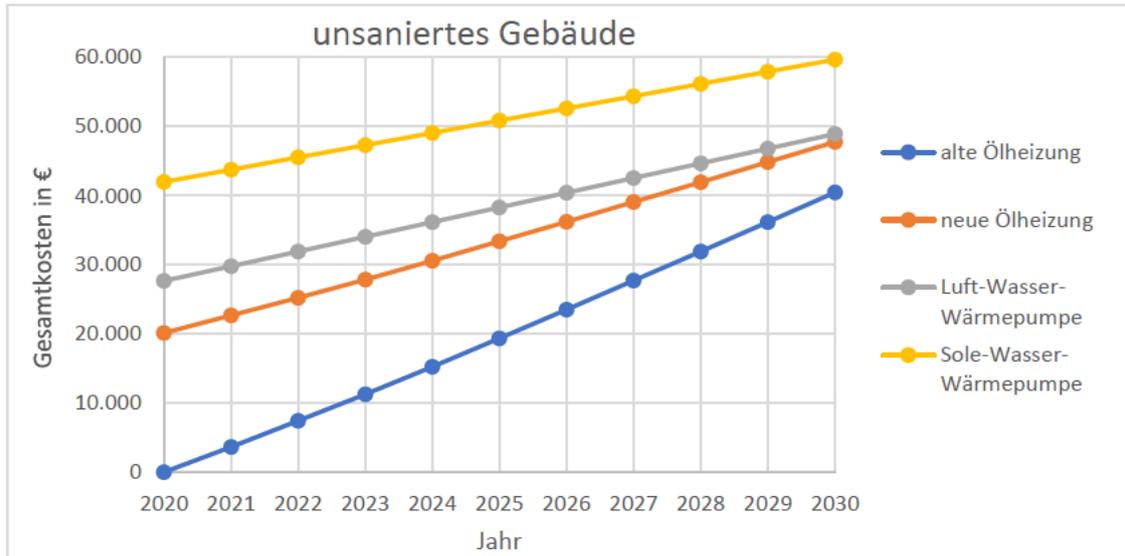


Abbildung 19: Heizkostenentwicklung im unsanierten Gebäude in Koblenz ohne Berücksichtigung der Förderungen

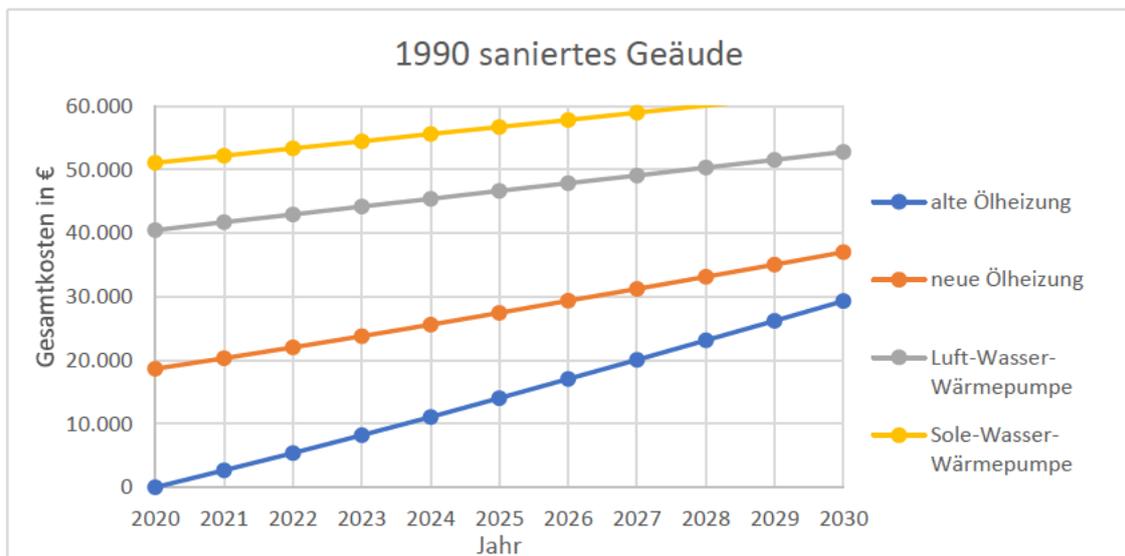


Abbildung 20: Heizkostenentwicklung im 1990 sanierten Gebäude in Koblenz ohne Berücksichtigung der Förderungen

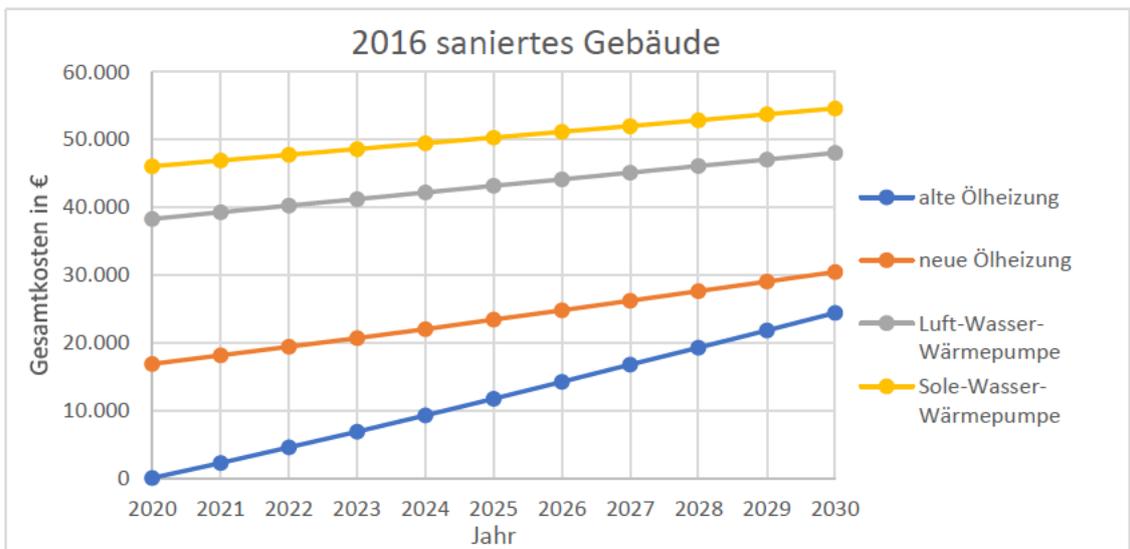


Abbildung 21: Heizkostenentwicklung im 2016 sanierten Gebäude in Koblenz ohne Berücksichtigung der Förderungen

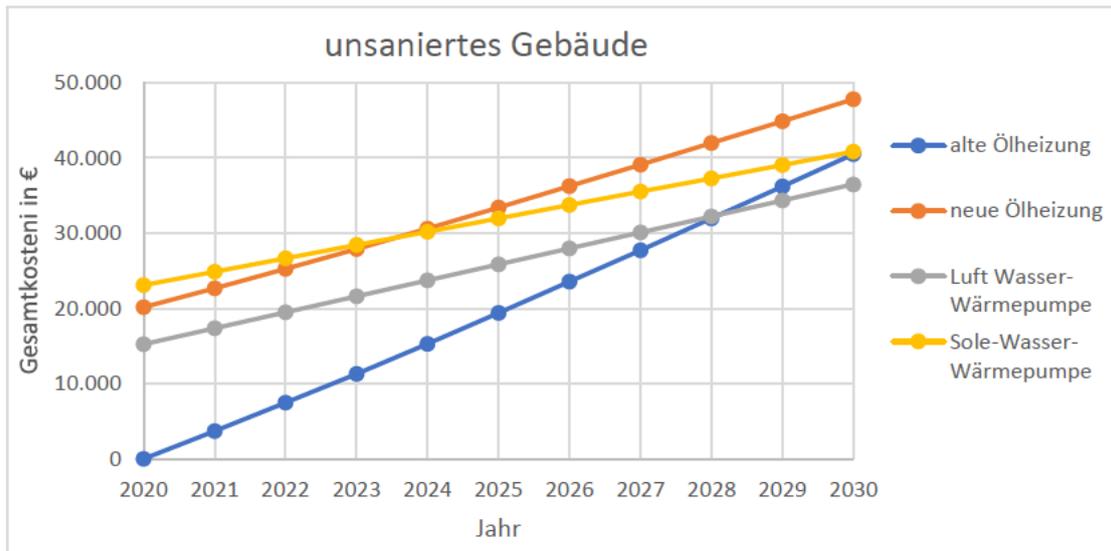


Abbildung 22: Heizkostenentwicklung im unsanierten Gebäude in Koblenz mit Berücksichtigung der Förderungen

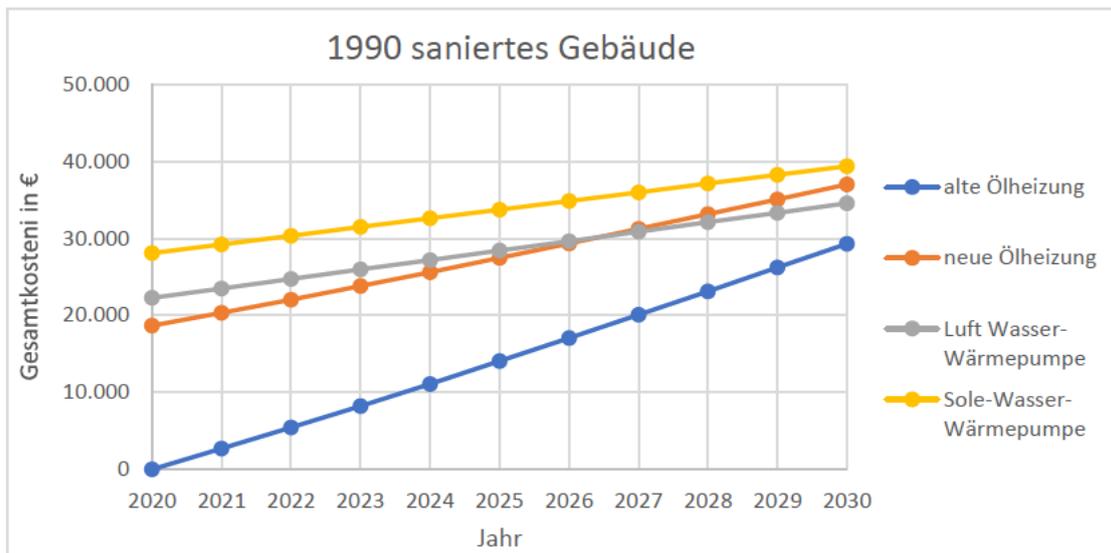


Abbildung 23: Heizkostenentwicklung im 1990 sanierten Gebäude in Koblenz mit Berücksichtigung der Förderungen

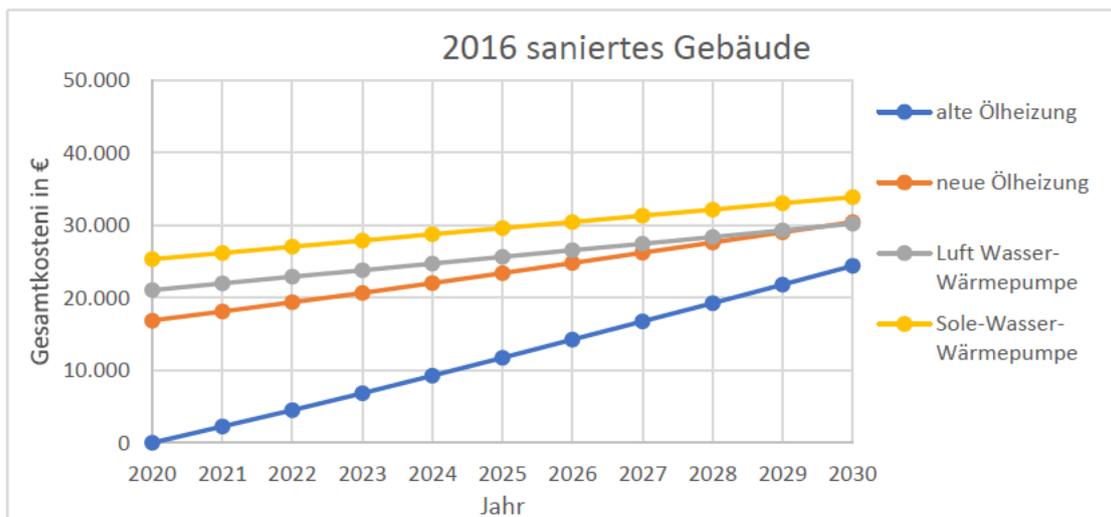


Abbildung 24: Heizkostenentwicklung im 2016 sanierten Gebäude in Koblenz mit Berücksichtigung der Förderungen

Tabelle 20: Ökonomische Amortisationszeiten der Luft-Wasser-Wärmepumpe

Standort	Amortisationszeit in Jahren					
	unsaniert		1990 saniert		2016 saniert	
	Ohne Förderung	Mit Förderung	Ohne Förderung	Mit Förderung	Ohne Förderung	Mit Förderung
Regensburg	10	0	>> 10	6	>> 10	10
Potsdam	10	0	>> 10	6	>> 10	10
Koblenz	10	0	>> 10	6	>> 10	10
Neumünster	10	0	>> 10	6	>> 10	10

Tabelle 21: Ökonomische Amortisationszeiten der Sole-Wasser-Wärmepumpe

Standort	Amortierungszeit in Jahren					
	unsaniert		1990 saniert		2016 saniert	
	Ohne Förderung	Mit Förderung	Ohne Förderung	Mit Förderung	Ohne Förderung	Mit Förderung
Regensburg	>> 10	4	>> 10	>10	>> 10	>10
Potsdam	>> 10	4	>> 10	>10	>> 10	>10
Koblenz	>> 10	4	>> 10	>10	>> 10	>10
Neumünster	>> 10	4	>> 10	>10	>> 10	>10

Die Betriebskosten der Wärmepumpen sind geringer als die der Ölheizung. In Abbildung 25 sind die Betriebskosten der Wärmepumpen sowie die Kostendifferenz zur neuen Ölheizung in allen Gebäuden dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Betriebskosten an allen Standorten mit zunehmendem Sanierungsstandard sinken. Bei der Sole-Wasser-Wärmepumpe nimmt die Kostendifferenz zur Ölheizung mit zunehmendem Sanierungsstandard ab. Bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe ist die Kostendifferenz im 1990 sanierten Gebäude am größten.

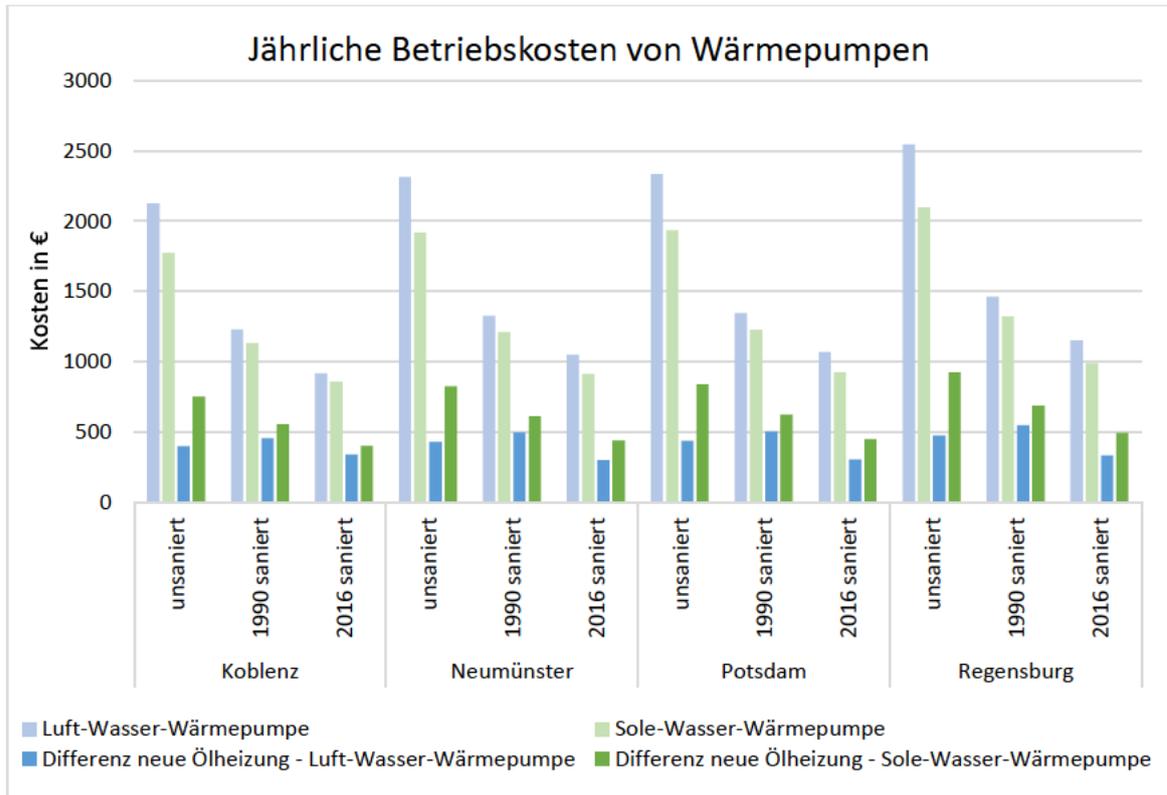


Abbildung 25: Betriebskosten der Wärmepumpen und Kostendifferenzen zur Ölheizung

In Tabelle 22 sind die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen aufgelistet. Um Überdimensionierungen zu vermeiden, wurde nicht in allen Gebäuden die gleiche Wärmepumpe angenommen. Mit zunehmendem Sanierungsstandard können niedrigere Vorlauf-temperaturen angenommen werden. Wegen der Verwendung unterschiedlich dimensionierter Wärmepumpen ergibt sich jedoch kein direkter Einfluss des Sanierungsstandards auf die Jahresarbeitszahl.

Während die höhere Jahresarbeitszahl der Luft-Wasser-Wärmepumpe im 1990 sanierten Gebäude die Kostendifferenz zur Ölheizung deutlich erhöht, sinkt die Kostendifferenz bei der Sole-Wasser-Wärmepumpe trotz steigender Jahresarbeitszahl.

Tabelle 22: Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen

	unsaniert	1990 saniert	2016 saniert
Sole-Wasser-Wärmepumpe	4,6	4,8	4,9
Luft-Wasser-Wärmepumpe	3,6	4,0	3,7

Sowohl bei fehlender Förderung als auch bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen in den sanierten Gebäuden wurde nach 10 Jahren keine Amortisation im Vergleich zur neuen Ölheizung erreicht. Um dennoch einen Vergleich der Heizungstypen nach 10 Jahren zu ermöglichen, sind die Mehrkosten der Wärmepumpen in Vergleich zur Ölheizung in den Abbildungen 26 bis 29 dargestellt.

Bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe ist sowohl mit als auch ohne Förderung die Differenz zur Ölheizung nach 10 Jahren größer, je höher der Sanierungsstandard ist. Die unsanierten Gebäude, in denen die Förderung der Luft-Wasser-Wärmepumpe berücksichtigt wurde, sind nicht mit aufgeführt, da hier schon die Investitionskosten geringer sind.

Bei der Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Berücksichtigung der Förderung ist die Kostendifferenz zur Ölheizung nach 10 Jahren größer, je höher der Sanierungsstandard ist. Wird die Förderung nicht berücksichtigt, ist die Kostendifferenz im 1990 sanierten Gebäude größer als im 2016 sanierten Gebäude.

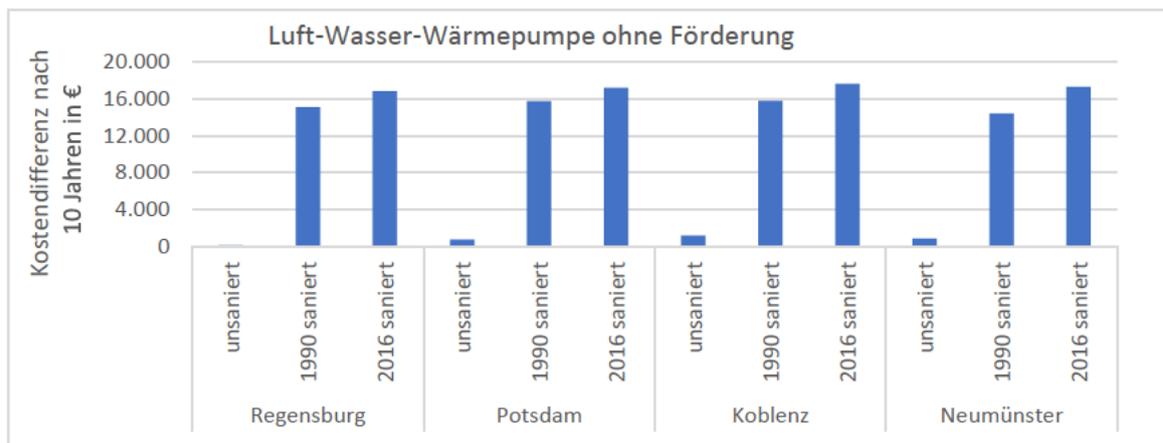


Abbildung 26: Kostendifferenz zwischen Luft-Wasser-Wärmepumpe und Ölkessel nach 10 Jahren ohne Berücksichtigung der Förderung

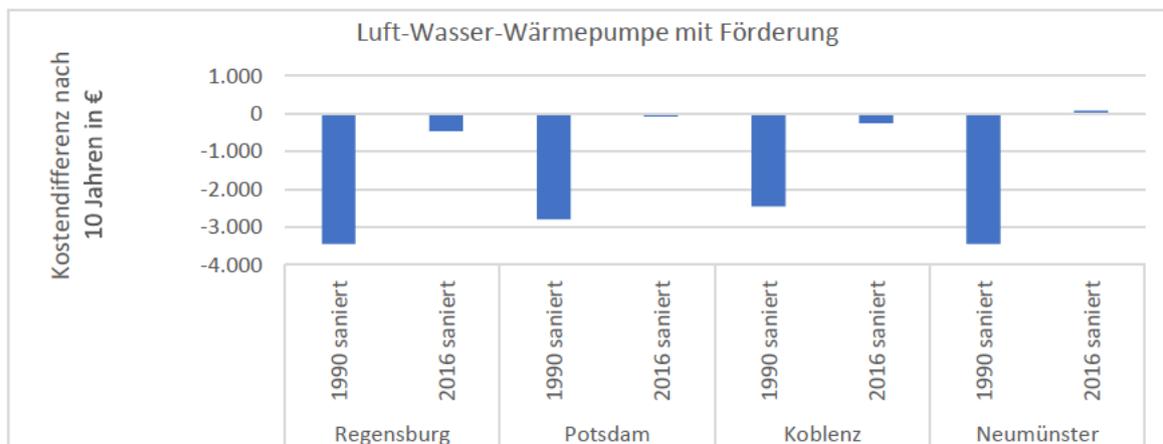


Abbildung 27: Kostendifferenz zwischen Luft-Wasser-Wärmepumpe und Ölkessel nach 10 Jahren unter Berücksichtigung der Förderung

Ergebnisse

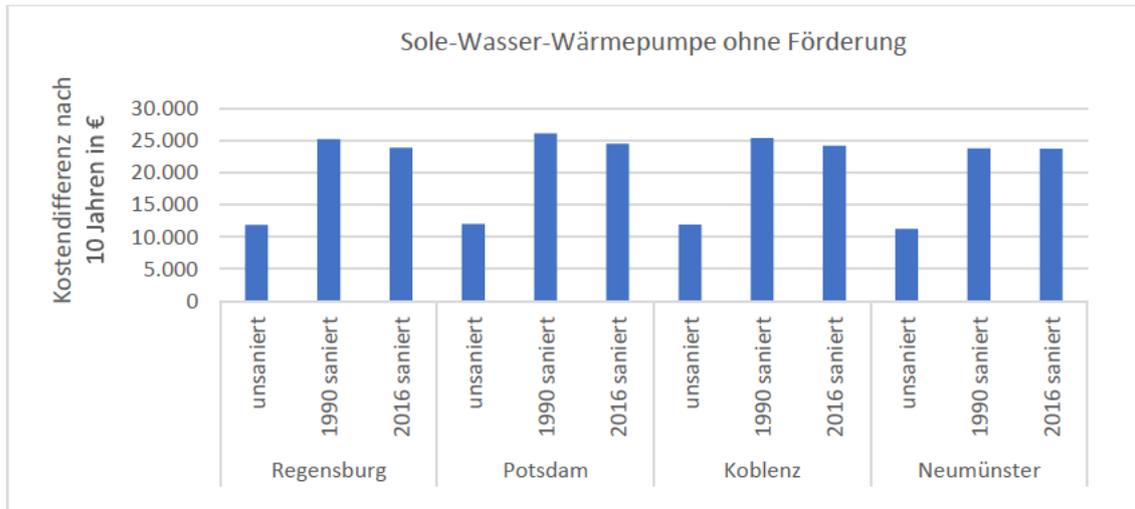


Abbildung 28: Kostendifferenz zwischen Sole-Wasser-Wärmepumpe und Ölkessel nach 10 Jahren ohne Berücksichtigung der Förderung

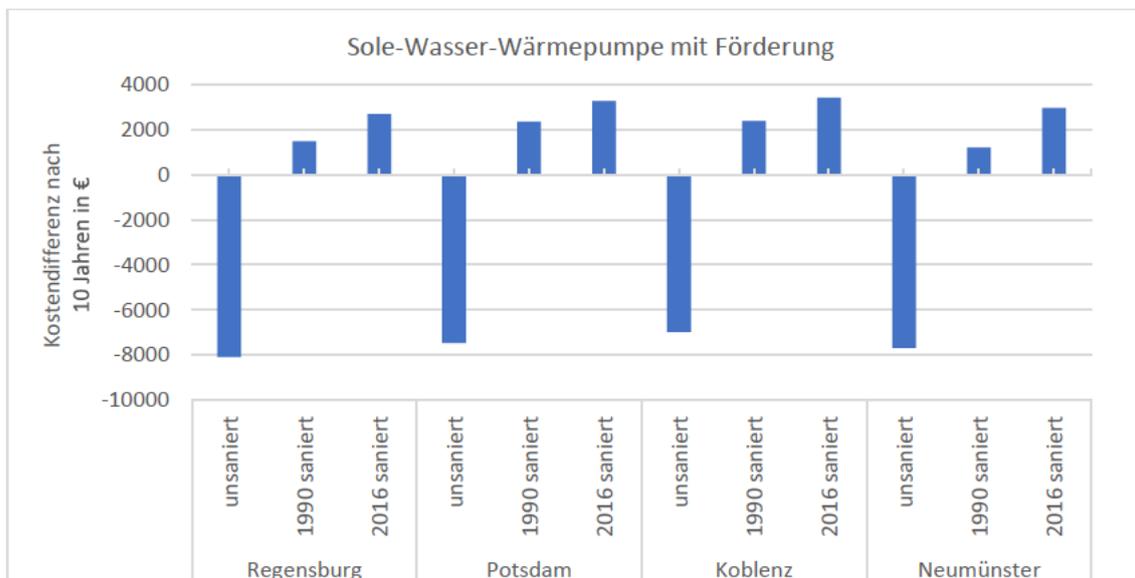


Abbildung 29: Kostendifferenz zwischen Sole-Wasser-Wärmepumpe und Ölkessel nach 10 Jahren unter Berücksichtigung der Förderung

Sowohl die Höhe der Investitionskosten als auch der Sanierungsstandard und die Jahresarbeitszahl haben einen Einfluss auf die Dauer der Amortisation. Wie groß dieser Einfluss ist, kann ohne weitere Daten nicht beurteilt werden.

4.1.1 Einfluss der Standorte

Wie schon aus den Tabellen 20 und 21 in Kapitel 4.1 abzuleiten ist, hat der Standort keinen nennenswerten Einfluss auf die Amortisationszeit. Da sich aber sowohl die Investitionskosten als auch die jährlichen Energiekosten an den verschiedenen Standorten unterscheiden, wird hier eine genauere Betrachtung der Kostendifferenzen durchgeführt.

Aufgrund der sehr langen Amortisationszeiten werden die Szenarien ohne Förderung hier nicht berücksichtigt. Die Szenarien mit den Luft-Wasser-Wärmepumpen im unsanierten Gebäude werden ebenfalls nicht weiter betrachtet, da die Investitionskosten schon vor Inbetriebnahme günstiger sind als die der Ölheizung.

In allen Graphen ist zu erkennen, dass sich die Kostendifferenzen durchaus unterscheiden (Abbildungen 30 bis 32). Bei den Sole-Wasser-Wärmepumpen liegt die maximale Differenz bei 1186 €, bei den Luft-Wasser-Wärmepumpen bei 999 €. Die Standorte haben also einen Einfluss, dieser ist aber sehr gering.

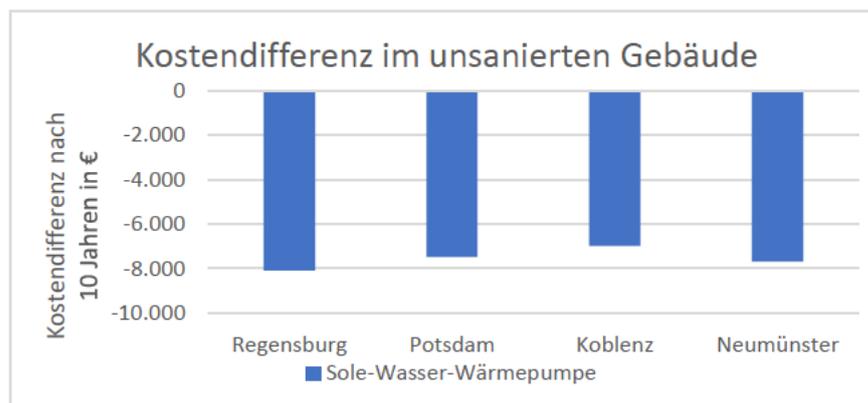


Abbildung 30: Kostendifferenz nach 10 Jahren zwischen Ölheizung und Sole-Wasser-Wärmepumpe im unsanierten Gebäude

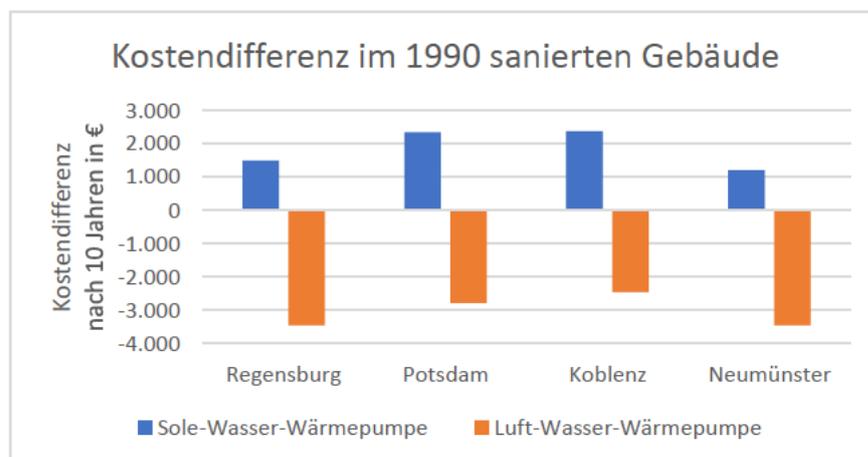


Abbildung 31: Kostendifferenz nach 10 Jahren zwischen Ölheizung und den Wärmepumpen im 1990 sanierten Gebäude

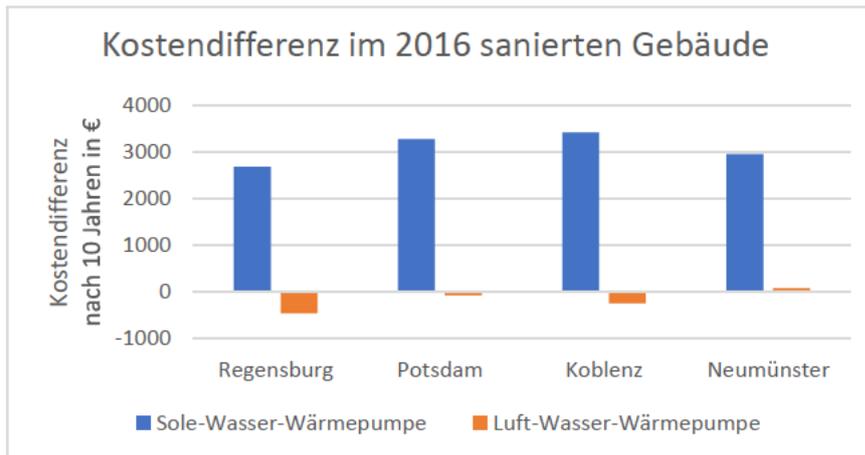


Abbildung 32: Kostendifferenz nach 10 Jahren zwischen Ölheizung und den Wärmepumpen im 2016 sanierten Gebäude

4.2 Ökologische Amortisation

Für die ökologischen Amortisationszeiten werden die CO₂-Emissionen aller Anlagenbestandteile, wie in Abschnitt 3.7 beschrieben, ermittelt und zusammenaddiert. Die Ergebnisse sind in Anlage F dargestellt. Zudem wird für jedes Jahr der Gesamtausstoß an CO₂ berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 23 dargestellt.

Die Abbildungen 33 bis 35 zeigen exemplarisch die Ergebnisse der Berechnungen für den Standort Koblenz. Die Ergebnisse der übrigen Standorte sind in Anlage G dargestellt. In allen betrachteten Szenarien beträgt die ökologische Amortisationszeit der Wärmepumpen im Vergleich zur Ölheizung weniger als ein Jahr. Nach spätestens 4 Jahren ist der CO₂-Ausstoß der Sole-Wasser-Wärmepumpe geringer als der der Luft-Wasser-Wärmepumpe.

Da schon bei der Verwendung von Strom aus dem deutschen Strommix die Amortisationszeit so gering ist, wurde auf eine zusätzliche Betrachtung der Heizungsanlagen unter der Verwendung von Ökostrom verzichtet.

Ergebnisse

Tabelle 23: Berechnung der jährlichen Gesamtemissionen

	Gesamtemissionen an CO ₂ in kg – Standort Koblenz											
	unsaniert				1990 saniert				2016 saniert			
	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe
2020	0	2.086	2.185	3.417	0	1.886	2.834	3.475	0	1.596	2.440	2.746
2021	11.942	9.967	5.470	6.084	8.369	6.861	4.603	5.058	6.671	5.080	3.784	3.870
2022	23.880	17.845	8.668	8.681	16.734	11.835	6.326	6.598	13.335	8.564	5.092	4.963
2023	35.813	25.720	11.779	11.207	25.095	16.806	8.003	8.098	19.993	12.046	6.364	6.027
2024	47.742	33.592	14.804	13.663	33.452	21.775	9.633	9.555	26.644	15.527	7.602	7.062
2025	59.665	41.460	17.734	16.042	41.805	26.743	11.212	10.967	33.288	19.006	8.800	8.064
2026	71.585	49.325	20.578	18.351	50.153	31.708	12.744	12.336	39.926	22.484	9.963	9.037
2027	83.500	57.186	23.335	20.590	58.498	36.671	14.229	13.665	46.557	25.960	11.091	9.980
2028	95.410	65.044	25.997	22.752	66.838	41.632	15.664	14.947	53.182	29.435	12.179	10.890
2029	107.316	72.899	28.572	24.843	75.173	46.591	17.051	16.188	59.800	32.908	13.233	11.771
2030	119.217	80.750	31.062	26.864	83.505	51.548	18.393	17.387	66.411	36.381	14.251	12.622
Verbrauch für Heizenergie in kWh	44.262	29.165	8.525	6.720	30.883	18.419	4.550	3.867	24.159	12.905	3.433	2.714
Verbrauch für Hilfsenergie in kWh	443	325	118	298	406	200	107	297	643	137	102	242

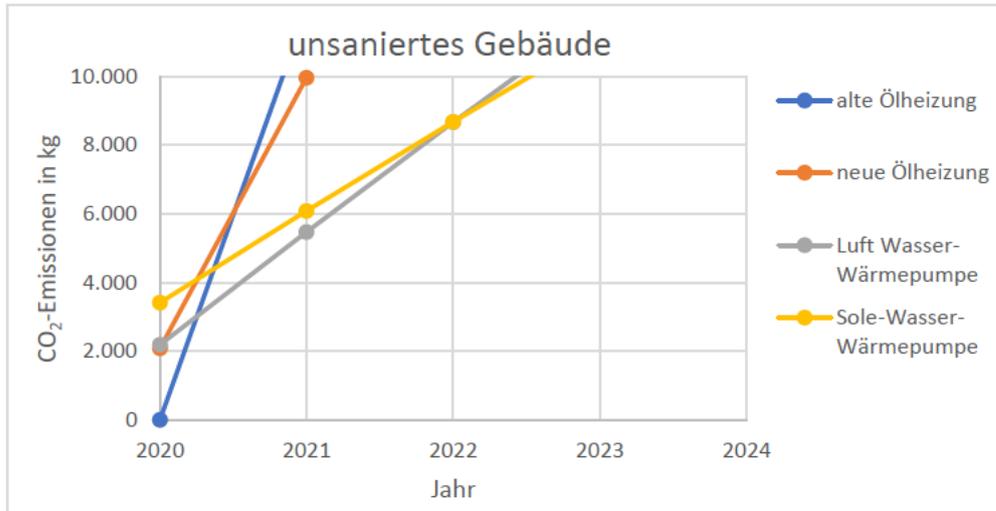


Abbildung 33: CO₂-Emissionen im unsanierten Gebäude Standort Koblenz

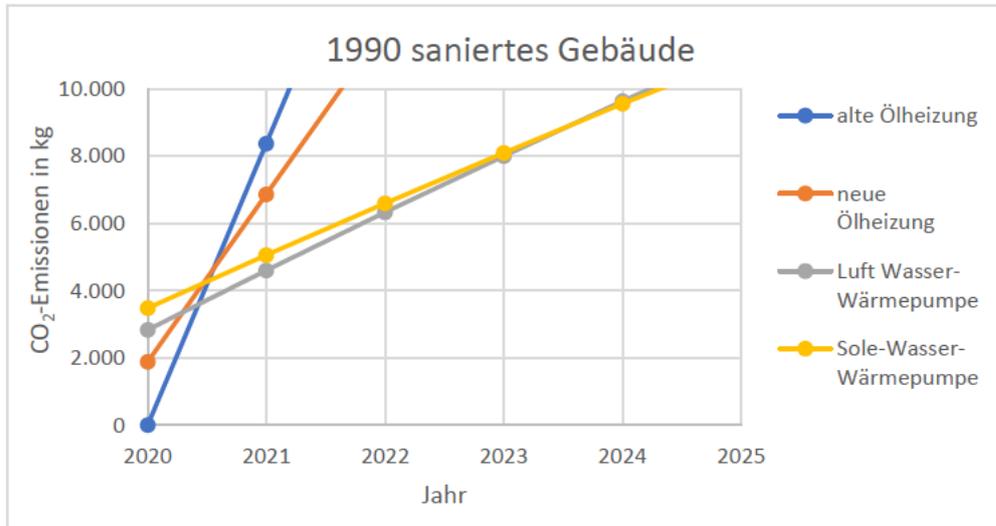


Abbildung 34: CO₂-Emissionen im 1990 sanierten Gebäude Standort Koblenz

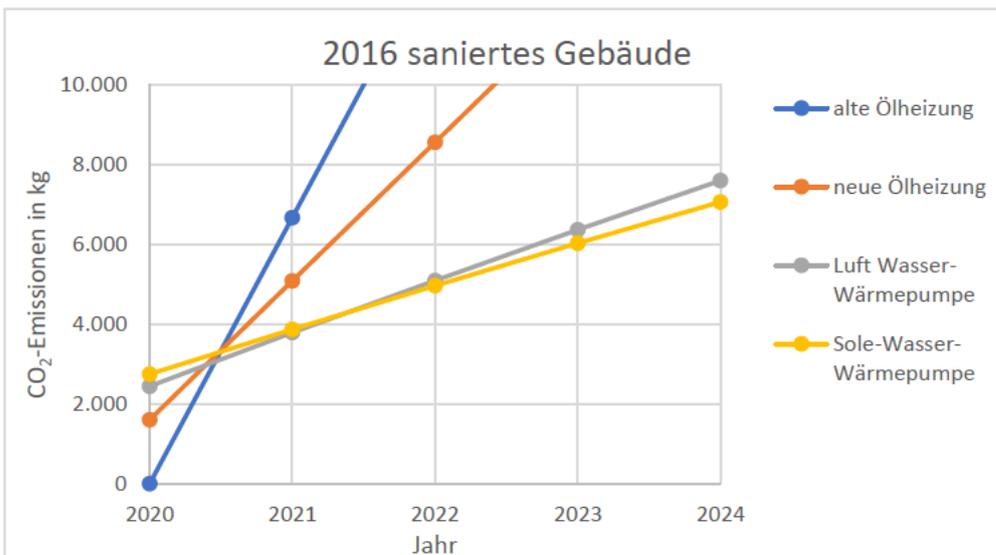


Abbildung 35: CO₂-Emissionen im 2016 sanierten Gebäude Standort Koblenz

5 Fazit

Die sehr kurze ökologische Amortisationszeit von Wärmepumpen zeigt, dass die Umstellung von Ölheizungen auf Wärmepumpen einen wichtigen Beitrag zur Senkung der CO₂-Emissionen darstellen könnte. Dieser Effekt zeigt sich unabhängig von Standort und Sanierungsstandard der untersuchten Gebäude.

Die Verwendung von Wärmepumpen kann einen wichtigen Beitrag zur umweltfreundlichen Energieerzeugung und dadurch zur Verlangsamung des Klimawandels leisten.

Die sehr hohen Investitionskosten können nicht allein durch den geringeren Energieverbrauch ausgeglichen werden. Durch günstigere Stromtarife und Förderprogramme ist es möglich, diesen Kostennachteil nach einigen Jahren wieder auszugleichen. Damit durch die Verwendungen von Wärmepumpen keine großen finanziellen Nachteile entstehen, sind staatliche Förderprogramme also zwingend notwendig.

Literaturverzeichnis

Albers, K.-J. & Seifert, J., 2017. *Rechnagel - Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik*. 78. Hrsg. München: DIV Deutscher Industrieverlag.

Bosch Thermotechnik GmbH 2021, 2021. *Erdwärmepumpen: Kosten und Amortisierung | Buderus*. [Online]
Available at: <https://www.buderus.de/de/waermepumpe/kosten-einer-erdwaermeanlage-im-ueberblick>
[Zugriff am 02 Januar 2021].

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle , 2020. *BAFA - Förderprogramm im Überblick*. [Online]
Available at:
https://www.bafa.de/DE/Energie/Heizen_mit_Erneuerbaren_Energien/Foerderprogramm_im_Ueberblick/foerderprogramm_im_ueberblick_node.html
[Zugriff am 05 12 2020].

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2019. *BAFA - Fördervoraussetzungen*. [Online]
Available at:
https://www.bafa.de/DE/Energie/Heizen_mit_Erneuerbaren_Energien/Foerdervoraussetzungen/foerdervoraussetzungen_node.html
[Zugriff am 05 12 2020].

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 2020. *EnEV-Historie – Fachportal Energieeffizientes Bauen und Sanieren (FEBS)*. [Online]
Available at: <https://www.febs.de/gesetze-normen/gebäudeenergiegesetz-geg/enev-historie>
[Zugriff am 06 Dezember 2020].

Bundesministerium des Inneren für Bau und Heimat, 2021. *Browser ÖKOBAUDAT | Datenbank | ÖKOBAUDAT*. [Online]
Available at: <https://www.oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat/daten/db1.html#bereich1>
[Zugriff am 07 Januar 2021].

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021. *BMWi - Der Strompreis*. [Online]
Available at: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/strompreise-bestandteile.html>
[Zugriff am 07 Januar 2021].

Bundesverband Wärmepumpe [BWP] e.V., 2021. *Energiepreise | Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.*. [Online]
Available at: <https://www.waermepumpe.de/politik/energiepreise/>
[Zugriff am 07 Januar 2021].

Greenhouse Media GmbH, 2018. *Erdwärmepumpe: Technik, Verbrauch & Kosten*. [Online]
Available at: <https://www.energie-experten.org/heizung/waermepumpe/erdwaermepumpe>
[Zugriff am 04 Januar 2021].

Greenhouse Media GmbH, 2020. *CO2-Abgabe: So teuer werden Öl- und Gasheizungen 2021*. [Online]

Available at: <https://www.energie-experten.org/news/co2-abgabe-so-teuer-werden-oel-und-gasheizungen-2021>

[Zugriff am 23 Dezember 2020].

Greenhouse Media, 2020. *Pflichten und Mindest-Dicken einer Rohrdämmung*. [Online]

Available at: <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/innendaemmung/rohrdaemmung>

[Zugriff am 18 Dezember 2020].

Juhrich, K., 2016. *CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe*, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Linke, W. & Kampffmeyer, T., 2009. *Kesselbetriebstechnik*. 12. Hrsg. Gräfelfing: Verlag Dr Ingo Resch Gmb.

Milles, U., 2008. *Wärmepumpen*, Eggenstein-Leopoldshafen: FIZ Karlsruhe GmbH · Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur.

Paschotta, R., kein Datum *RP-Energie-Lexikon - Leistungszahl, Arbeitszahl, Jahresarbeitszahl, COP, Wärmeverhältnis, Wärmepumpe, Kälteleistungszahl, B0W35, A2W35, W10W50*. [Online]

Available at: <https://www.energie-lexikon.info/leistungszahl.html>

[Zugriff am 05 12 2020].

Piasecki, J., kein Datum *Bodenbelag für das Eigenheim - Preise und Tipps*. [Online]

Available at: <https://www.energieheld.de/innenausbau/bodenbelag>

[Zugriff am 2 Januar 2021].

Quaschnig, V., 2006. *Renaissance der Wärmepumpe*. [Online]

Available at: <https://www.volker-quaschnig.de/artikel/waermepumpe/index.php>

[Zugriff am 22 November 2020].

Quaschnig, V., 2011. *Regenerative Energiesysteme*. 7. Hrsg. München: Hanser Verlag.

Schaefer, H., 1995. Einführungsvortrag Statement zum Einsatz von Wärmepumpen. In: V. D. Ingenieure, Hrsg. *VDI Gesellschaft Energietechnik Wärmepumpen: Energieeinsparung und Umweltschutz*. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH, pp. 1-18.

Schlesinger, M. D. et al., 2014. *Endbericht Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose*, Basel/Köln/Osnabrück: s.n.

Statista, 2021. *Durchschnittlicher Heizölpreis bis 2020 | Statista*. [Online]

Available at: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/2633/umfrage/entwicklung-des-verbraucherpreises-fuer-leichtes-heizoel-seit-1960/#professional>

[Zugriff am 07 Januar 2021].

Umweltbundesamt, 2020. *Bilanz 2019: CO₂-Emissionen pro Kilowattstunde Strom sinken weiter | Umweltbundesamt*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/bilanz-2019-co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom>

[Zugriff am 15 Dezember 2020].

Umweltbundesamt, 2020. *Energieverbrauch privater Haushalte | Umweltbundesamt*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#hochster-anteil-am-energieverbrauch>

zum-heizen

[Zugriff am 09 Januar 2021].

Vogt, R., 2017. *Szenario Energiewende Berlin*, Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg.

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Hamburg, den 03. Januar 2021



Luise Freitag

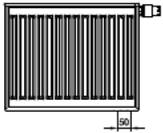
Anhang

Anlage A	Auszug aus der Heizlastberechnung unsaniertes Gebäude Potsdam
Anlage B	Preisliste der Heizkörper
Anlage C	Datenblätter der Pufferspeicher
Anlage D	Berechnung der Investitionssummen
Anlage E	Übersicht über die Gesamtkosten
Anlage F	Berechnung des CO ₂ -Abdrucks
Anlage G	Übersicht über die Gesamtemissionen an CO ₂

Anlage A - Auszug aus der Heizlastberechnung unsaniertes Gebäude Potsdam

Projekt-Nr. / Bezeichnung		unsaniert, Potsdam, Heizkörper											
RAUMHEIZLAST DIN EN 12831		Datum: 12.12.2020										Seite R 3 - 6	
Nutzungseinheit	Wohneinheit 1		Lüftungszone				Wohneinheit 1						
Geschoss EG	Raum-Nr. 3 - 6		Bez.:				Küche						
Auslegungsinnentemperatur		$\theta_{\text{int,stand,i}}$ 20,0 °C		+ $\Delta\theta_{\text{comf,i}}$		0 K		$\theta_{\text{int,ausleg,i}}$ 20,0 °C					
Abmessungen						Mindestaußenluftwechsel				$n_{\text{min,i}}$ 0,50 h ⁻¹			
Raubbreite	b_i	13,32 m		Mindestaußenluftvolumenstrom				$q_{v,\text{min,i}}$ 18,7 m ³ /h					
Raumlänge	l_i	1,00 m		Mechanische Belüftung									
Raumfläche	$A_{\text{NGF,i}}$	13,32 m ²		Zuluftvolumenstrom				$q_{v,\text{sup,i}}$ - m ³ /h					
Geschosshöhe	$h_{\text{G,i}}$	3,10 m		Temperatur				$\theta_{\text{rec,z}}$ -12,4 °C					
Deckendicke	d_i	0,30 m		Abluftvolumenstrom				$q_{v,\text{exh,i}}$ - m ³ /h					
Raumhöhe	h_i	2,80 m		Auslegungsvolumenstrom ALD				$q_{v,\text{ADT,design,i}}$ - m ³ /h					
Raumvolumen	V_i	37,31 m ³		Überströmung aus Nachbarraum									
Raum-Hüllfläche	$A_{\text{env,i}}$	84,58 m ²		Volumenstrom				$q_{v,\text{trans,ij}}$ - m ³ /h					
Erdreich						Temperatur				$\theta_{\text{transfer,ij}}$ 20,0 °C			
Tiefe unter Erdreich	z_i	0,00 m		Verbrennungs/techn. Volumenstrom				$q_{v,\text{comb,i}}$ - m ³ /h					
Bodenfläche	$A_{\text{g,i}}$	- m ²		Technischer Luftvolumenstrom				$q_{v,\text{techn,i}}$ - m ³ /h					
exponierter Umfang	P_i	- m		Außenluft große Öffnungen				$q_{v,\text{open,i}}$ m ³ /h					
char. Bodenplattenmaß	B'_i	- m		Leckagen, ALD und Nutzung				$q_{v,\text{env/min,i}}$ 45,74 m ³ /h					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Orientierung	Bauteil	Breite	Länge/Höhe	Bruttofläche	Abzugsfläche	Bauteilfläche	grenzt an	angrenzende Temperatur	Temperaturanpassung	Bauteil U-Wert	Wärmebrücken zuschlag	korrigierter U-Wert	Standard-Transmissions-Wärmeverlust
-	-	m		m ²		-	-	°C	-	W/(m ² K)		-	W
H	DE	1,24	4,29	5,3	-	5,3	a	7,00	0,40	1,02	-	1,12	78
H	DE	10,92	1,00	10,9	-	10,9	a	20,00	-	1,02	-	1,02	-
N	AW	4,16	3,10	12,9	-	12,9	e	-12,40	1,00	1,30	0,1	1,40	585
W	AW	4,29	3,10	13,3	2,0	11,3	e	-12,40	1,00	1,30	0,1	1,40	514
W	AF	1,40	1,40	2,0	-	2,0	e	-12,40	1,00	2,70	0,1	2,80	178
S	IW	2,94	3,10	9,1	-	9,1	a	20,00	-	2,29	-	2,29	-
S	IW	1,16	3,10	3,6	1,8	1,8	a	15,00	0,15	2,29	-	2,29	21
S	IT	0,89	2,01	1,8	-	1,8	a	15,00	0,15	1,83	-	1,83	16
O	IW	2,97	3,10	9,2	-	9,2	a	24,00	-0,12	2,29	-	2,29	-84
O	IW	1,32	3,10	4,1	-	4,1	a	15,00	0,15	2,29	-	2,29	47
H	FB	16,14	1,00	16,1	-	16,1	a	10,00	0,31	1,50	-	1,60	258
Σ Standard-Transmissionswärmeverlust											$\Phi_{T,\text{stand,i}}$		1613 W
Lüftungswärmeverluste durch													
-Außenluftvolumenstrom (Leckagen, Nutzung oder Mindestwert)										$\Phi_{v,\text{env/min,i}}$		504 W	
-Zuluftvolumenstrom										$\Phi_{v,\text{sup,i}}$		- W	
-Volumenstrom Überströmung										$\Phi_{v,\text{transfer,ij}}$		- W	
Σ Standard-Lüftungswärmeverlust											$\Phi_{v,\text{stand,i}}$		504 W
Standardheizlast											$\Phi_{\text{stand,i}}$		2116 W
Zuschlag erhöhte Auslegungsinnentemperatur				$\Delta\Phi_{\text{comf,i}}$		- W		} $\max(\Delta\Phi_{\text{comf,i}}; \Phi_{\text{hu,i}})$		- W			
Zuschlag Aufheizleistung				$\Phi_{\text{hu,i}}$		- W							
Normheizlast				$\phi_{\text{HL,i}}$		159 W/m ²		57 W/m ³		$\Phi_{\text{HL,i}}$		2116 W	

Anlage B - Preisliste der Heizkörper



therm-x2® Profil-V (FTV)

Bestellbeispiel

Anschluss rechts
Farbe Weiß
Typ 10, 600 x 1000 mm =
Art-Nr. FTV10 060 1001R1K

Nähere Hinweise zur Artikelnummer mit ausführlichem Bestellbeispiel siehe Seite 101



x2

		Typ 10						Typ 11						Typ 12					
		einreihig, Art-Nr. FTV10...						einreihig mit Konvektor, Art-Nr. FTV11...						zweireihig mit Konvektor, Art-Nr. FTV12...					
Bauhöhe (BH) mm		300	400	500	600	750	900	300	400	500	600	750	900	300	400	500	600	750	900
Heizkörperexponent		1,2361	1,2550	1,2739	1,2928	1,2932	1,2935	1,2196	1,2371	1,2546	1,2721	1,2883	1,3044	1,2731	1,2810	1,2889	1,2969	1,3156	1,3343
lfd. m / Preis EUR		77,08	82,33	88,86	96,68	121,50	141,09	122,83	126,77	144,99	152,86	185,50	218,17	175,05	202,52	207,77	227,30	262,60	295,23
Stückzuschlag EUR		99,28	100,60	101,86	104,53	104,53	103,18	104,53	108,42	117,63	121,50	124,12	124,12	122,83	126,77	130,64	134,55	138,50	141,09
Watt/m 75/65/20 °C		335	425	514	602	736	872	551	697	840	979	1185	1390	720	894	1063	1229	1475	1723
Baulänge (BL) mm		Wärmeleistungen in Watt / Raumtemperatur 20 °C																	
400	Watt 70/55 °C	109	137	166	194	236	280	179	226	272	316	381	446	232	288	342	395	472	549
	55/45 °C	71	89	107	124	151	179	117	147	176	203	244	283	149	185	218	252	299	346
	Preis EUR	130,11	133,53	137,40	143,20	153,13	159,62	153,66	159,13	175,63	182,64	198,32	211,39	192,85	207,78	213,75	225,47	243,54	259,18
500	Watt 70/55 °C	136	172	207	242	296	350	224	283	339	395	476	557	290	360	427	494	590	687
	55/45 °C	89	111	133	154	189	223	147	184	220	254	304	354	186	231	273	315	374	433
	Preis EUR	137,82	141,77	146,29	152,87	165,28	173,73	165,95	171,81	190,13	197,93	216,87	233,21	210,36	228,03	234,53	248,20	269,80	288,71
600	Watt 70/55 °C	163	206	248	290	355	420	269	339	407	473	571	668	348	431	513	591	708	824
	55/45 °C	106	133	159	185	226	268	176	221	264	304	365	425	224	276	328	377	448	519
	Preis EUR	145,53	150,00	155,18	162,54	177,43	187,83	178,23	184,48	204,62	213,22	235,42	255,02	227,86	248,28	255,30	270,93	296,06	318,23
700	Watt 70/55 °C	191	241	290	338	414	490	314	396	475	552	667	780	406	504	598	690	826	962
	55/45 °C	124	156	186	216	264	313	206	257	307	355	426	496	261	323	382	440	523	605
	Preis EUR	153,24	158,23	164,06	172,21	189,58	201,94	190,51	197,16	219,12	228,50	253,97	276,84	245,37	268,53	276,08	293,66	322,32	347,75
800	Watt 70/55 °C	217	275	331	387	473	560	359	452	543	631	762	891	464	575	683	789	944	1099
	55/45 °C	141	178	213	247	302	358	235	294	351	406	487	567	298	369	437	503	598	691
	Preis EUR	160,94	166,46	172,95	181,87	201,73	216,05	202,79	209,84	233,62	243,79	272,52	298,66	262,87	288,79	296,86	316,39	348,58	377,27
900	Watt 70/55 °C	245	310	373	435	532	630	403	508	611	710	857	1003	522	648	769	888	1062	1237
	55/45 °C	159	200	240	278	340	402	264	331	395	456	548	637	336	415	492	566	673	778
	Preis EUR	168,65	174,70	181,83	191,54	213,88	230,16	215,08	222,51	248,12	259,07	291,07	320,47	280,38	309,04	317,63	339,12	374,84	406,80
1000	Watt 70/55 °C	272	343	414	483	591	700	448	565	679	789	952	1114	580	719	854	986	1180	1374
	55/45 °C	177	222	266	309	377	447	293	368	439	507	609	708	373	461	546	629	747	865
	Preis EUR	176,36	182,93	190,72	201,21	226,03	244,27	227,36	235,19	262,62	274,36	309,62	342,29	297,88	329,29	338,41	361,85	401,10	436,32
1100	Watt 70/55 °C	299	378	455	532	650	770	493	622	747	868	1048	1225	638	791	939	1085	1298	1511
	55/45 °C	195	245	292	339	415	491	323	405	483	558	670	779	410	507	600	692	822	951
	Preis EUR	184,07	191,16	199,61	210,88	238,18	258,38	239,64	247,87	277,12	289,65	328,17	364,11	315,39	349,54	359,19	384,58	427,36	465,84
1200	Watt 70/55 °C	326	412	497	580	709	840	537	678	815	947	1143	1337	696	863	1025	1184	1416	1649
	55/45 °C	212	267	319	370	453	536	352	441	527	609	731	850	447	553	655	755	897	1038
	Preis EUR	191,78	199,40	208,49	220,55	250,33	272,49	251,93	260,54	291,62	304,93	346,72	385,92	332,89	369,79	379,96	407,31	453,62	495,37
1300	Watt 70/55 °C	353	447	538	629	768	911	582	734	883	1026	1238	1448	754	935	1111	1282	1534	1786
	55/45 °C	230	289	346	401	490	581	381	478	571	660	792	921	485	599	710	817	972	1124
	Preis EUR	199,48	207,63	217,38	230,21	262,48	286,60	264,21	273,22	306,12	320,22	365,27	407,74	350,40	390,05	400,74	430,04	479,88	524,89
1400	Watt 70/55 °C	380	481	580	677	827	980	627	791	950	1105	1333	1560	812	1007	1196	1381	1652	1923
	55/45 °C	248	311	373	432	528	626	410	515	615	710	853	992	522	646	764	880	1046	1210
	Preis EUR	207,19	215,86	226,26	239,88	274,63	300,71	276,49	285,90	320,62	335,50	383,82	429,56	367,90	410,30	421,52	452,77	506,14	554,41
1600	Watt 70/55 °C	435	550	662	773	946	1120	717	904	1086	1262	1524	1782	928	1151	1367	1578	1888	2198
	55/45 °C	283	355	426	494	604	715	470	588	703	811	974	1133	597	738	874	1006	1196	1383
	Preis EUR	222,61	232,33	244,04	259,22	298,93	328,92	301,06	311,25	349,61	366,08	420,92	473,19	402,91	450,80	463,07	498,23	558,66	613,46
1800	Watt 70/55 °C	489	618	745	870	1064	1261	807	1017	1222	1420	1714	2005	1044	1295	1537	1775	2124	2473
	55/45 °C	318	400	479	556	679	805	528	662	791	913	1096	1275	671	830	983	1132	1345	1556
	Preis EUR	238,02	248,79	261,81	278,55	323,23	357,14	325,62	336,61	378,61	396,65	458,02	516,83	437,92	491,31	504,63	543,69	611,18	672,50
2000	Watt 70/55 °C	543	687	828	967	1182	1400	896	1130	1358	1578	1905	2228	1160	1439	1708	1972	2360	2748
	55/45 °C	354	444	532	617	755	894	587	735	878	1015	1218	1417	746	922	1092	1257	1495	1729
	Preis EUR	253,44	265,26	279,58	297,89	347,53	385,36	350,19	361,96	407,61	427,22	495,12	560,46	472,93	531,81	546,18	589,15	663,70	731,55
2300	Watt 70/55 °C	625	790	952	1112	1359	1611	1030	1299	1562	1815	2190	2562	1334	1654	1965	2269	2714	3160
	55/45 °C	407	511	612	710	868	1028	675	846	1010	1167	1401	1629	858	1060	1256	1446	1719	1988
	Preis EUR	276,56	289,96	306,24	326,89	383,98	427,69	387,04	399,99	451,11	473,08	550,77	625,91	525,45	592,57	608,51	657,34	742,48	820,12
2600	Watt 70/55 °C	706	893	1076	1257	1537	1820	1165	1469	1765	2051	2476	2896	1508	1870	2221	2564	3068	3572
	55/45 °C	460	578	692	802	981	1162	763	956	1142	1319	1583	1842	969	1199	1420	1634	1943	2248
	Preis EUR	299,69	314,66	332,90	355,90	420,43	470,01	423,89	438,02	494,60	518,94	606,42	691,36	577,96	653,32	670,84	725,53	821,26	908,69
3000	Watt 70/55 °C	815	1030	1242	1450</														

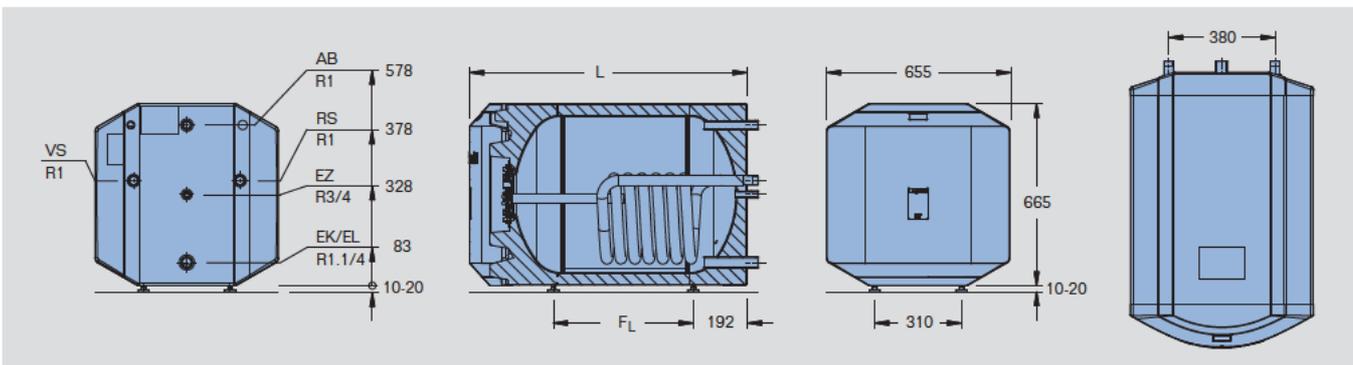
Typ 22							Typ 33						Bestellbeispiel		
													Anschluss links Farbe Weiß Typ 12, 500 x 1200 mm = Art-Nr. FTV12 050 1201L1K		
x2							x2								
zweireihig mit zwei Konvektoren, Art.-Nr. FTV22...							dreireihig mit drei Konvektoren, Art.-Nr. FTV33...								
200*	300	400	500	600	750	900	200*	300	400	500	600	750	900	Bauhöhe (BH) mm	
1,2828	1,2776	1,2827	1,2879	1,2930	1,3000	1,3069	1,2850	1,2671	1,2736	1,2801	1,2866	1,2967	1,3068	Heizkörperexponent	
166,29	175,05	207,77	215,55	228,66	300,48	364,48	241,97	254,72	300,48	314,87	341,02	470,92	585,33	lfd. m / Preis EUR	
150,20	158,10	158,10	156,79	163,30	171,14	177,69	202,31	212,95	212,95	210,32	209,02	224,70	239,05	Stückzuschlag EUR	
678	959	1207	1441	1666	1987	2295	998	1300	1633	1944	2236	2645	3023	Watt/m 75/65/20 °C	
Wärmeleistungen in Watt / Raumtemperatur 20 °C														Baulänge (BL) mm	
	309	389	463	535	638	735		419	526	626	719	849	969	Watt 70/55 °C	400
	198	249	296	341	406	467		270	338	401	460	541	615	55/45 °C	
	228,12	241,21	243,01	254,76	291,33	323,48		314,84	333,14	336,27	345,43	413,07	473,18	Preis EUR	
	386	486	579	669	797	920		524	658	782	899	1062	1211	Watt 70/55 °C	500
	248	311	371	427	507	584		338	423	502	575	677	770	55/45 °C	
	245,63	261,99	264,57	277,63	321,38	359,93		340,31	363,19	367,76	379,53	460,16	531,72	Preis EUR	
327	463	582	695	803	956	1103	481	629	790	938	1079	1274	1453	Watt 70/55 °C	600
209	297	373	445	513	609	701	308	405	507	602	690	812	923	55/45 °C	
249,97	263,13	282,76	286,12	300,50	351,43	396,38	347,49	365,78	393,24	399,24	413,63	507,25	590,25	Preis EUR	
382	540	680	811	936	1116	1287	561	734	921	1095	1258	1486	1695	Watt 70/55 °C	700
244	347	435	519	598	710	818	360	473	592	702	805	947	1077	55/45 °C	
266,60	280,64	303,54	307,68	323,36	381,48	432,83	371,69	391,25	423,29	430,73	447,73	554,34	648,78	Preis EUR	
436	618	777	927	1070	1275	1471	642	839	1052	1251	1438	1698	1937	Watt 70/55 °C	800
279	396	498	593	683	812	934	411	540	676	802	920	1082	1231	55/45 °C	
283,23	298,14	324,32	329,23	346,23	411,52	469,27	395,89	416,73	453,33	462,22	481,84	601,44	707,31	Preis EUR	
491	695	874	1042	1204	1434	1655	722	944	1184	1408	1617	1911	2180	Watt 70/55 °C	900
314	446	560	667	768	913	1051	463	608	761	903	1035	1218	1385	55/45 °C	
299,86	315,65	345,09	350,79	369,09	441,57	505,72	420,08	442,20	483,38	493,70	515,94	648,53	765,85	Preis EUR	
545	772	971	1158	1338	1594	1839	802	1048	1316	1564	1797	2123	2422	Watt 70/55 °C	1000
349	495	622	741	854	1015	1168	514	675	845	1003	1150	1353	1539	55/45 °C	
316,49	333,15	365,87	372,34	391,96	471,62	542,17	444,28	467,67	513,43	525,19	550,04	695,62	824,38	Preis EUR	
600	849	1068	1274	1472	1753	2023	882	1153	1447	1721	1977	2335	2664	Watt 70/55 °C	1100
384	545	684	815	940	1116	1285	565	743	930	1103	1265	1488	1692	55/45 °C	
333,12	350,66	386,65	393,90	414,83	501,67	578,62	468,48	493,14	543,48	556,68	584,14	742,71	882,91	Preis EUR	
654	927	1165	1390	1605	1913	2206	962	1258	1579	1877	2157	2548	2906	Watt 70/55 °C	1200
419	595	746	889	1025	1218	1402	617	810	1015	1204	1380	1624	1846	55/45 °C	
349,75	368,16	407,42	415,45	437,69	531,72	615,07	492,67	518,61	573,53	588,16	618,24	789,80	941,45	Preis EUR	
709	1004	1262	1505	1739	2072	2390	1043	1363	1710	2034	2337	2760	3148	Watt 70/55 °C	1300
454	644	809	963	1110	1319	1519	668	878	1099	1304	1495	1759	2000	55/45 °C	
366,38	385,67	428,20	437,01	460,56	561,76	651,51	516,87	544,09	603,57	619,65	652,35	836,90	999,98	Preis EUR	
763	1081	1359	1621	1873	2231	2574	1123	1468	1842	2191	2516	2972	3390	Watt 70/55 °C	1400
489	694	871	1037	1195	1421	1635	720	945	1184	1405	1610	1894	2154	55/45 °C	
383,01	403,17	448,98	458,56	483,42	591,81	687,96	541,07	569,56	633,62	651,14	686,45	883,99	1058,51	Preis EUR	
872	1235	1553	1853	2141	2550	2942	1283	1678	2105	2503	2876	3397	3875	Watt 70/55 °C	1600
558	793	995	1185	1367	1624	1869	822	1081	1353	1605	1840	2165	2462	55/45 °C	
416,26	438,18	490,53	501,67	529,16	651,91	760,86	589,46	620,50	693,72	714,11	754,65	978,17	1175,58	Preis EUR	
981	1390	1748	2085	2408	2869	3309	1444	1887	2368	2816	3236	3821	4359	Watt 70/55 °C	1800
628	892	1120	1333	1537	1827	2102	925	1216	1522	1806	2070	2435	2769	55/45 °C	
449,52	473,19	532,09	544,78	574,89	712,00	833,75	637,86	671,45	753,81	777,09	822,86	1072,36	1292,64	Preis EUR	
1090	1544	1942	2316	2676	3188	3677	1604	2097	2631	3129	3595	4246	4844	Watt 70/55 °C	2000
698	991	1244	1481	1708	2030	2336	1028	1351	1691	2006	2300	2706	3077	55/45 °C	
482,78	508,20	573,64	587,89	620,62	772,10	906,65	686,25	722,39	813,91	840,06	891,06	1166,54	1409,71	Preis EUR	
1254	1776	2233	2663	3077	3666	4229	1845	2412	3026	3598	4134	4883	5570	Watt 70/55 °C	2300
803	1140	1431	1703	1964	2334	2687	1182	1553	1945	2307	2645	3112	3539	55/45 °C	
532,67	560,72	635,97	652,56	689,22	862,24	1015,99	758,84	798,81	904,05	934,52	993,37	1307,82	1585,31	Preis EUR	
1417	2007	2524	3011	3479	4144	4780	2085	2726	3421	4067	4674	5520	6297	Watt 70/55 °C	2600
907	1288	1617	1926	2221	2639	3037	1336	1756	2198	2608	2990	3518	4000	55/45 °C	
582,55	613,23	698,30	717,22	757,82	952,39	1125,34	831,43	875,22	994,20	1028,98	1095,67	1449,09	1760,91	Preis EUR	
1635	2316	2913	3474	4013	4781	5516	2406	3145	3947	4693	5392	6369	7265	Watt 70/55 °C	3000
1047	1486	1866	2222	2562	3045	3504	1542	2026	2536	3009	3450	4059	4616	55/45 °C	
649,07	683,25	781,41	803,44	849,28	1072,58	1271,13	928,22	977,11	1114,39	1154,93	1232,08	1637,46	1995,04	Preis EUR	

Sonderausführung speziell für Einsatzbereiche, in denen eine erhöhte Korrosionsbelastung besteht, siehe Kerma Farbkonzept.

* Bauhöhe 200 mm ohne Befestigungszubehör im Lieferumfang, ohne Laschen, ohne x2 Technik.

Anlage C - Datenblätter der Pufferspeicher

Logalux LT135/1–LT300/1



	LT135/1	LT160/1	LT200/1	LT300/1
Speicherinhalt (l)	135	160	200	294
Länge L (mm)	881	991	1146	1536
Abstand Fußschrauben F_L (mm)	390	500	655	1045
Fläche Wärmetauscher (m ²)	0,58	0,81	0,93	1,5
Heizwasserinhalt (l)	5	6	7	11
Bereitschaftswärme-Aufwand ¹⁾ (kWh/24h)	1,1	1,2	1,37	1,68
Maximale Gewichtsbelastung (kg)	500	500	500	500
Gewicht netto ²⁾ (kg)	73	84	106	132
Maximaler Betriebsüberdruck (bar)	16 Heizwasser/10 Warmwasser			
Maximale Betriebstemperatur (°C)	110 Heizwasser/95 Warmwasser			
Zertifikat-Nr. nach EG-Baumusterprüfung nach Richtlinie 97/23/EG	Z-DDK-MUC-02-318302-16			
EU-Richtlinie für Energieeffizienz				
Energieeffizienzklasse	B	B	B	C
Warmhalteverlust (W)	46	50	57	70
Speichervolumen (l)	135	160	200	293,7

¹⁾ Messwert bei 45 K Temperaturdifferenz nach EN 12897

²⁾ Gewicht mit Verpackung etwa 5 % höher

Leistungsdaten

Bezeichnung		LT135/1	LT160/1	LT200/1	LT300/1
Heizwasser-Vorlauftemperatur (°C)		80	80	80	80
Leistungsdaten bei niedrigem Heizwasserbedarf					
Leistungskennzahl bei Speichertemperatur 60 °C ¹⁾		2,3	3,5	4,6	9,2
Warmwasserdauerleistung mit Warmwassertemperatur ²⁾	45 °C (l/h)	528	699	759	1070
	45 °C (kW)	21,6	28,4	30,8	43,6
	60 °C (l/h)	297	385	424	605
	60 °C (kW)	17,3	22,2	24,8	35,2
Heizwasserbedarf (m ³ /h)		2,8	2,8	2,8	2,8
Druckverlust (mbar)		50	60	68	80
Leistungsdaten bei hohem Heizwasserbedarf					
Leistungskennzahl bei Speichertemperatur 60 °C ¹⁾		2,4	3,7	4,9	9,6
Warmwasserdauerleistung mit Warmwassertemperatur ²⁾	45 °C (l/h)	556	721	814	1202
	45 °C (kW)	22,7	29,4	33,1	49,0
	60 °C (l/h)	308	396	468	689
	60 °C (kW)	18,0	23,1	27,1	40,0
Heizwasserbedarf (m ³ /h)		3,5	3,5	4,0	5,0
Druckverlust (mbar)		77	92	133	240

¹⁾ Nach DIN 4708 wird die Leistungskennzahl für die Standardangaben (fettgedruckt) auf $t_v = 80$ °C und $t_{sp} = 60$ °C bezogen, Heizleistung entsprechend Warmwasserdauerleistung in kW bei 45 °C

²⁾ Kaltwassereintrittstemperatur 10 °C

TSP 100

WANDHÄNGENDER PUFFERSPEICHER
TSP 100

PRODUKT-NR.: 190108

Der Pufferspeicher TSP 100 ist perfekt auf die Anforderungen von Ein- bis Zweifamilienhäusern zugeschnitten. Der Speicher ist speziell für den Wärmepumpenbetrieb, d. h. hohe Volumenströme bei geringer Temperaturdifferenz, optimiert. Die Sonne als Energieträger lässt sich in der Variante TSP SOL nutzen.



Die wichtigsten Merkmale

- Pufferspeicher für die Heizungseinbindung
- Pufferspeicher mit 100 Litern
- Für den Einsatz im Einfamilienhaus
- Zur Wandmontage geeignet
- Besonders platzsparend



Typ	TSP 100
Bestell-Nr.	190108

Technische Daten

Energieeffizienzklasse	C
Nenninhalt	100 l
Max. zulässiger Druck	0,3 MPa
Prüfdruck	0,45 MPa
Max. zulässige Temperatur	95 °C
Bereitschaftsenergieverbrauch/ 24 h bei 65 °C	1,4 kWh
Höhe	955 mm
Breite	510 mm
Tiefe	510 mm
Gewicht gefüllt	142,5 kg
Gewicht leer	42,5 kg

Service-Center

Sie haben Fragen? Wir helfen gerne:
Unter der Telefonnummer 05531 99068-95082

Unsere Fachpartner

Unsere kompetenten Ansprechpartner vor Ort helfen Ihnen bei allen
Fragen:
www.tecalor.de/fachpartner-suchen

Installationshinweis

Die Installation nicht-steckerfertiger Geräte ist vom jeweiligen
Netzbetreiber oder von einem eingetragenen Fachbetrieb vorzunehmen,
der Ihnen auch bei der Einholung der Zustimmung des jeweiligen
Netzbetreibers für die Installation des Gerätes behilflich ist.

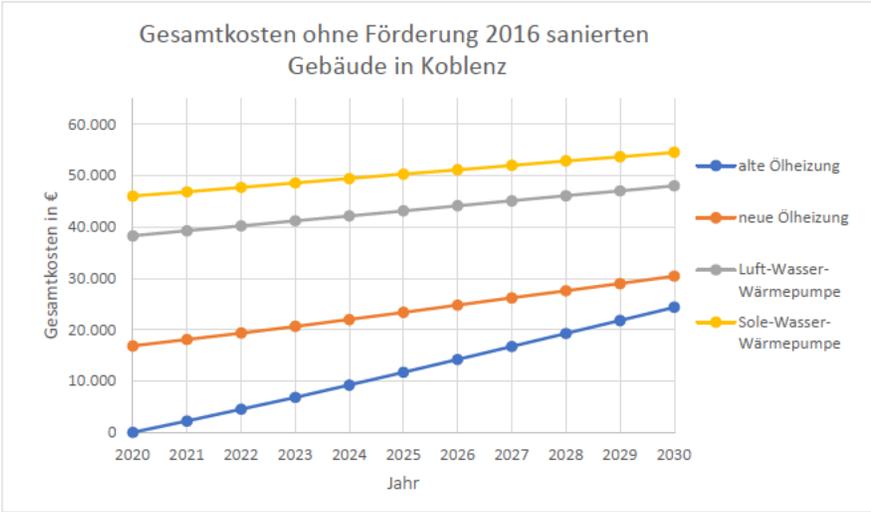
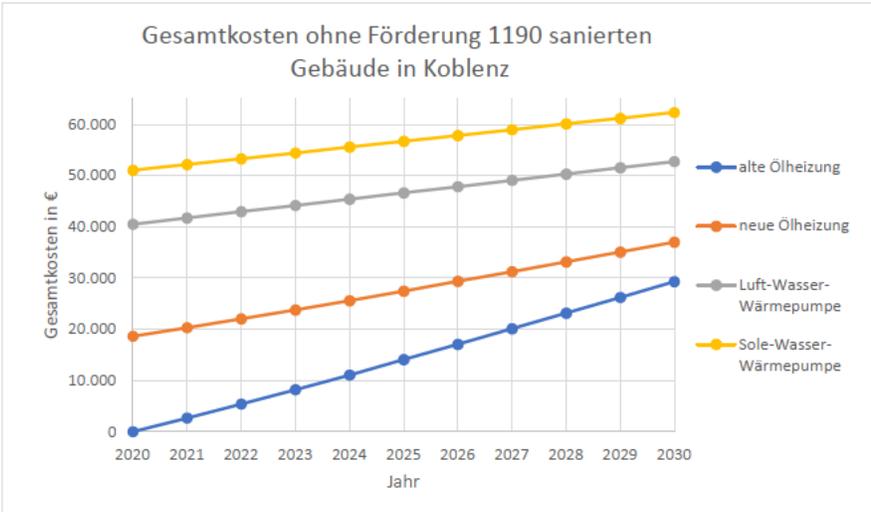
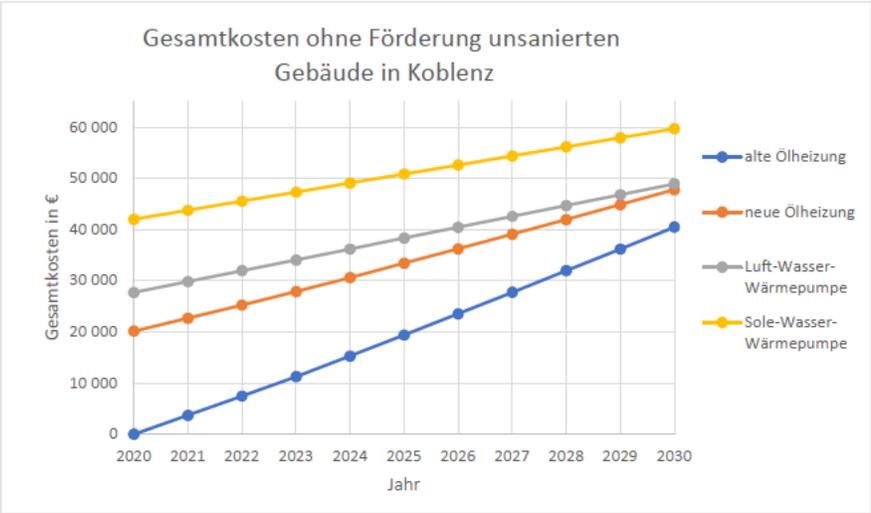
tecalor GmbH
Lüchtringer Weg 3 — 37603 Holzminden
Tel.: 05531 99068-95700 — Fax: 05531 99068-95712
info@tecalor.de — www.tecalor.de

Anlage D - Berechnung der Investitionssummen

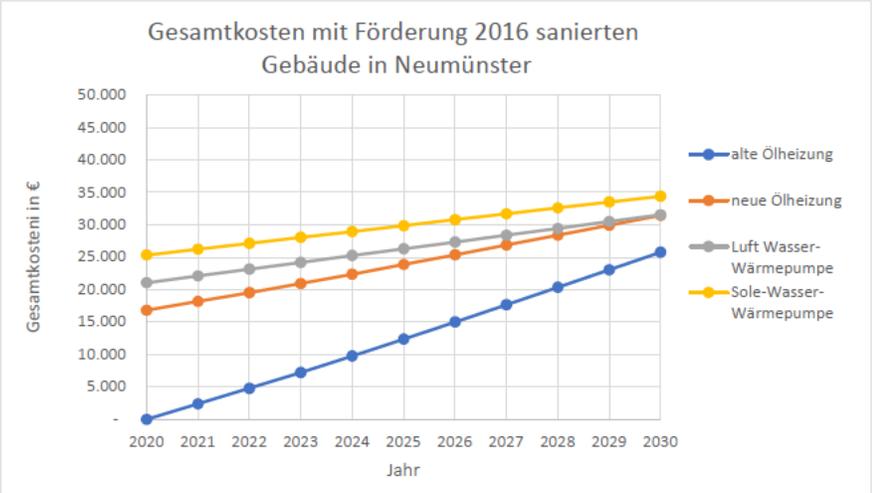
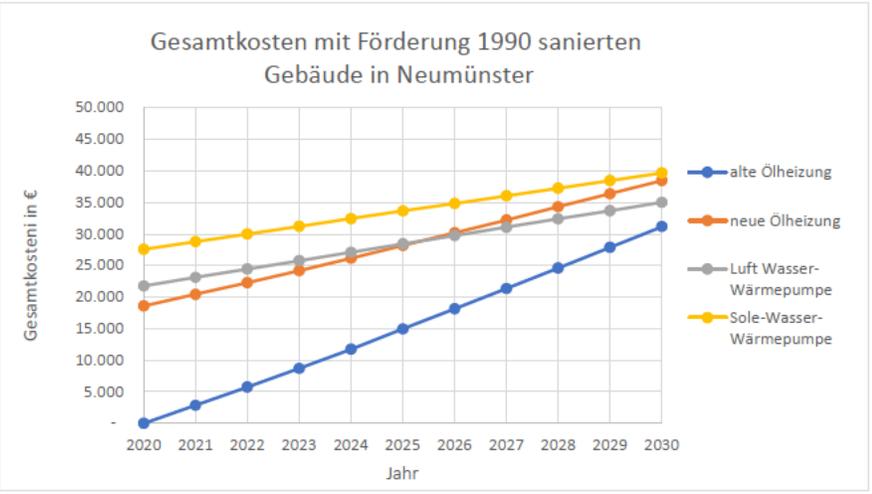
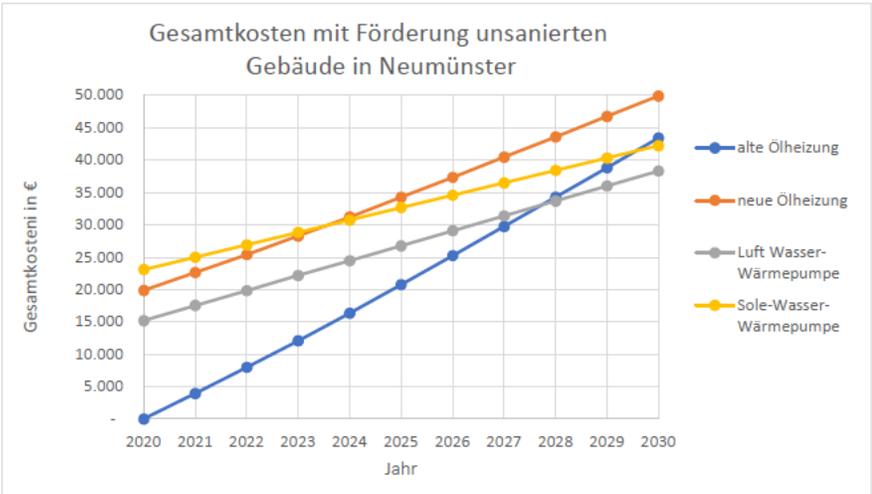
Standort	Sanierungszusand	Wäreerzeuger	Leistung der Anlage in W	Kosten der Anlage in €	Kosten der Bohrung in €	Kosten der Heizflächen in €	Gesamtkosten in €
Koblenz	unsaniert	neuer Ölkessel	11.000	14.000		6.155	20.155
		Luft-Wasser-Wärmepupe	11.000	21.000		6.688	27.688
		Sole-Wasser-Wärmepumpe	11.000	25.000	10.313	6.688	42.001
	1990 saniert	neuer Ölkessel	8.000	14.000		4.638	18.638
		Luft-Wasser-Wärmepupe	7.000	21.000		19.479	40.479
		Sole-Wasser-Wärmepumpe	7.000	25.000	6.563	19.479	51.042
	2016 saniert	neuer Ölkessel	4.000	14.000		2.854	16.854
		Luft-Wasser-Wärmepupe	4.000	21.000		17.302	38.302
		Sole-Wasser-Wärmepumpe	4.000	25.000	3.750	17.302	46.052
Neumünster	unsaniert	neuer Ölkessel	11.000	14.000		5.871	19.871
		Luft-Wasser-Wärmepupe	11.000	21.000		6.657	27.657
		Sole-Wasser-Wärmepumpe	11.000	25.000	10.313	6.657	41.970
	1990 saniert	neuer Ölkessel	8.000	14.000		4.613	18.613
		Luft-Wasser-Wärmepupe	7.000	21.000		18.609	39.609
		Sole-Wasser-Wärmepumpe	7.000	25.000	6.563	18.609	50.172
	2016 saniert	neuer Ölkessel	4.000	14.000		2.828	16.828
		Luft-Wasser-Wärmepupe	4.000	21.000		17.302	38.302
		Sole-Wasser-Wärmepumpe	4.000	25.000	3.750	17.302	46.052
Potsdam	unsaniert	neuer Ölkessel	12.000	14.000		6.193	20.193
		Luft-Wasser-Wärmepupe	12.000	21.000		6.985	27.985
		Sole-Wasser-Wärmepumpe	12.000	25.000	11.250	6.985	43.235
	1990 saniert	neuer Ölkessel	8.000	14.000		4.722	18.722
		Luft-Wasser-Wärmepupe	8.000	21.000		20.203	41.203
		Sole-Wasser-Wärmepumpe	8.000	25.000	7.500	20.203	52.703
	2016 saniert	neuer Ölkessel	5.000	14.000		2.931	16.931
		Luft-Wasser-Wärmepupe	5.000	21.000		17.370	38.370
		Sole-Wasser-Wärmepumpe	5.000	25.000	4.688	17.370	47.058
Regensburg	unsaniert	neuer Ölkessel	13.000	14.000		6.272	20.272
		Luft-Wasser-Wärmepupe	13.000	21.000		7.078	28.078
		Sole-Wasser-Wärmepumpe	13.000	25.000	12.188	7.078	44.266
	1990 saniert	neuer Ölkessel	8.000	14.000		4.760	18.760
		Luft-Wasser-Wärmepupe	8.000	21.000		20.203	41.203
		Sole-Wasser-Wärmepumpe	8.000	25.000	7.500	20.203	52.703
	2016 saniert	neuer Ölkessel	5.000	14.000		2.945	16.945
		Luft-Wasser-Wärmepupe	5.000	21.000		17.370	38.370
		Sole-Wasser-Wärmepumpe	5.000	25.000	4.688	17.370	47.058

Anlage E - Übersicht über die Gesamtkosten

	Gesamtkosten ohne Förderung in € am Standort Koblenz											
	unsaniert				1990 saniert				2016 saniert			
	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft-Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe
2020	-	20.155	27.688	42.001	-	18.638	40.479	51.042	-	16.854	38.302	46.052
2021	3.685	22.678	29.815	43.773	2.675	20.322	41.708	52.172	2.241	18.108	39.279	46.907
2022	7.445	25.250	31.940	45.545	5.402	22.037	42.937	53.302	4.522	19.383	40.255	47.762
2023	11.281	27.872	34.066	47.317	8.182	23.783	44.166	54.432	6.845	20.681	41.231	48.617
2024	15.259	30.587	36.191	49.088	11.061	25.589	45.394	55.562	9.245	22.020	42.207	49.471
2025	19.382	33.399	38.315	50.858	14.042	27.455	46.622	56.691	11.725	23.401	43.182	50.326
2026	23.537	36.231	40.438	52.628	17.044	29.334	47.850	57.820	14.222	24.791	44.158	51.180
2027	27.723	39.084	42.561	54.397	20.069	31.226	49.077	58.948	16.736	26.191	45.133	52.034
2028	31.945	41.961	44.684	56.166	23.119	33.134	50.304	60.077	19.270	27.601	46.108	52.887
2029	36.200	44.858	46.806	57.935	26.190	35.054	51.531	61.205	21.821	29.021	47.082	53.741
2030	40.485	47.777	48.927	59.703	29.284	36.988	52.757	62.332	24.389	30.450	48.057	54.594
Verbrauch für Heizenergie in l Öl und kWh Strom	4.391	2.893	8.525	6.720	3.064	1.827	4.550	3.867	2.397	1.280	3.433	2.714
Verbrauch für Hilfsenergie in kWh	443	325	118	298	406	200	107	297	643	137	102	242

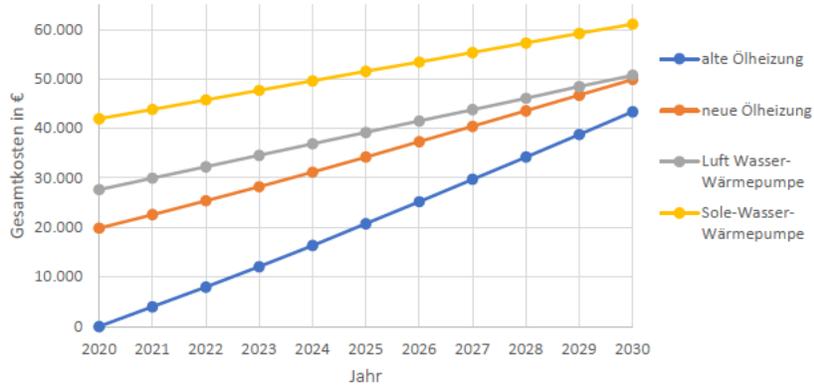


	Gesamtkosten mit Förderung in € am Standort Neumünster											
	unsaniert				1990 saniert				2016 saniert			
	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe
2020	-	19.871	15.211	23.084	-	18.613	21.785	27.595	-	16.828	21.066	25.329
2021	3.949	22.612	17.524	25.000	2.846	20.434	23.112	28.806	2.366	18.175	22.114	26.238
2022	7.980	25.408	19.836	26.917	5.748	22.290	24.438	30.016	4.777	19.546	23.162	27.148
2023	12.092	28.258	22.148	28.833	8.707	24.180	25.765	31.227	7.231	20.941	24.210	28.057
2024	16.356	31.211	24.459	30.748	11.772	26.135	27.090	32.437	9.767	22.381	25.258	28.966
2025	20.777	34.268	26.769	32.663	14.945	28.156	28.416	33.647	12.388	23.868	26.305	29.875
2026	25.233	37.349	29.078	34.578	18.142	30.191	29.741	34.856	15.027	25.364	27.352	30.784
2027	29.722	40.452	31.387	36.491	21.363	32.241	31.066	36.066	17.684	26.871	28.399	31.693
2028	34.250	43.582	33.696	38.405	24.610	34.308	32.390	37.274	20.363	28.389	29.445	32.601
2029	38.813	46.734	36.003	40.317	27.881	36.388	33.714	38.483	23.059	29.917	30.491	33.509
2030	43.409	49.909	38.310	42.230	31.176	38.484	35.038	39.691	25.775	31.456	31.537	34.417
Verbrauch für Heizenergie in l Öl und kWh Strom	4.729	3.171	9.353	7.363	3.281	2.002	4.984	4.226	2.551	1.399	3.752	2.957
Verbrauch für Hilfsenergie in kWh	477	357	118	298	433	220	107	297	677	150	102	242

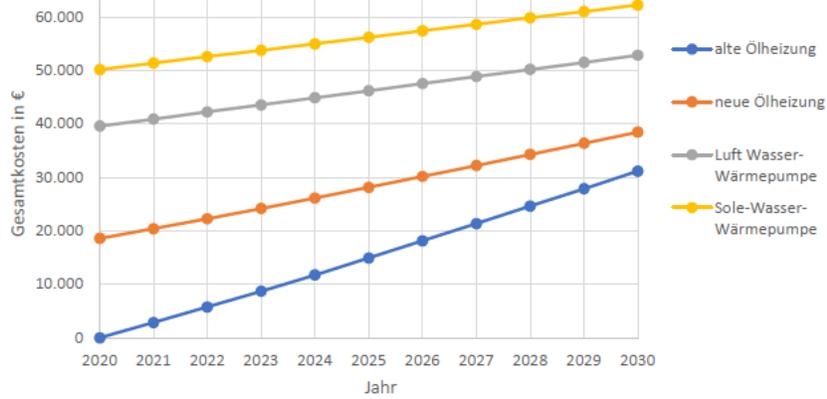


	Gesamtkosten ohne Förderung in € am Standort Neumünster											
	unsaniert				1990 saniert				2016 saniert			
	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe
2020	-	19.871	27.657	41.970	-	18.613	39.609	50.172	-	16.828	38.302	46.052
2021	3.949	22.612	29.970	43.887	2.846	20.434	40.936	51.383	2.366	18.175	39.350	46.962
2022	7.980	25.408	32.282	45.803	5.748	22.290	42.262	52.594	4.777	19.546	40.398	47.871
2023	12.092	28.258	34.593	47.719	8.707	24.180	43.589	53.804	7.231	20.941	41.446	48.781
2024	16.356	31.211	36.904	49.635	11.772	26.135	44.914	55.014	9.767	22.381	42.494	49.690
2025	20.777	34.268	39.214	51.550	14.945	28.156	46.240	56.224	12.388	23.868	43.541	50.599
2026	25.233	37.349	41.524	53.464	18.142	30.191	47.565	57.434	15.027	25.364	44.588	51.507
2027	29.722	40.452	43.833	55.378	21.363	32.241	48.890	58.643	17.684	26.871	45.635	52.416
2028	34.250	43.582	46.141	57.291	24.610	34.308	50.214	59.852	20.363	28.389	46.681	53.324
2029	38.813	46.734	48.449	59.204	27.881	36.388	51.538	61.060	23.059	29.917	47.727	54.232
2030	43.409	49.909	50.756	61.116	31.176	38.484	52.862	62.269	25.775	31.456	48.773	55.140
Verbrauch für Heizenergie in l Öl und kWh Strom	4.729	3.171	9.353	7.363	3.281	2.002	4.984	4.226	2.551	1.399	3.752	2.957
Verbrauch für Hilfsenergie in kWh	477	357	118	298	433	220	107	297	677	150	102	242

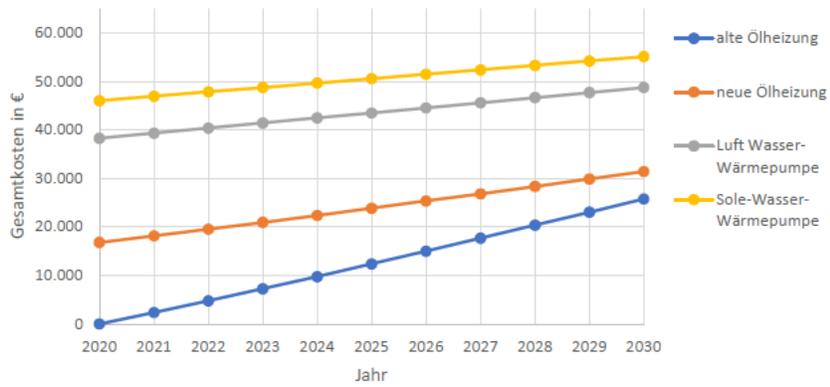
Gesamtkosten ohne Förderung unsanierten Gebäude in Neumünster



Gesamtkosten ohne Förderung im 1990 sanierten Gebäude in Neumünster

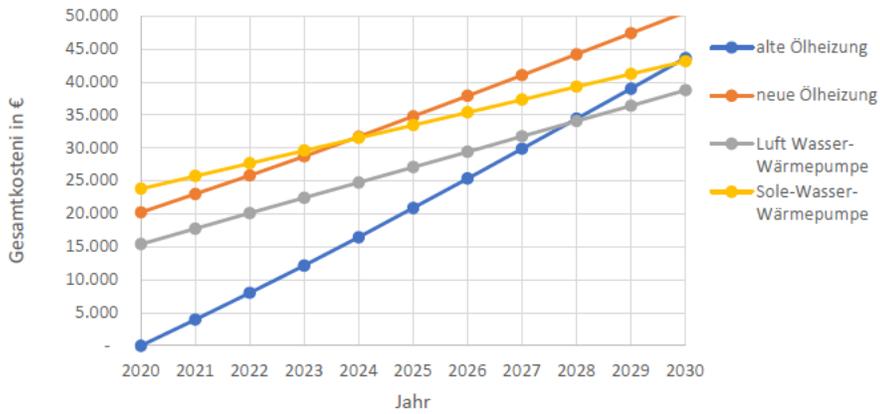


Gesamtkosten ohne Förderung im 2016 sanierten Gebäude in Neumünster

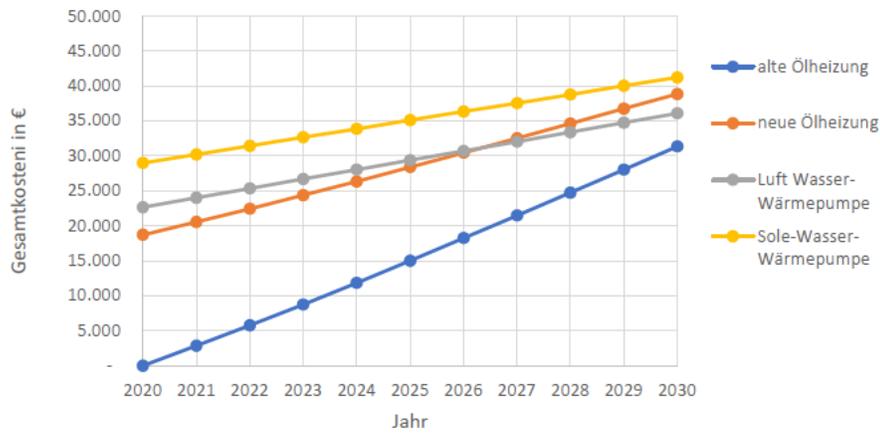


	Gesamtkosten mit Förderung in € am Standort Potsdam											
	unsaniert				1990 saniert				2016 saniert			
	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser- Wärmepumpe	Sole-Wasser- Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser- Wärmepumpe	Sole-Wasser- Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser- Wärmepumpe	Sole-Wasser- Wärmepumpe
2020	-	20.193	15.392	23.779	-	18.722	22.662	28.987	-	16.931	21.104	25.882
2021	3.964	22.963	17.725	25.712	2.862	20.569	24.007	30.213	2.372	18.303	22.171	26.806
2022	8.009	25.788	20.058	27.645	5.781	22.452	25.351	31.439	4.789	19.700	23.239	27.731
2023	12.136	28.668	22.391	29.577	8.756	24.369	26.696	32.664	7.249	21.121	24.306	28.654
2024	16.416	31.652	24.723	31.509	11.838	26.352	28.040	33.889	9.792	22.589	25.373	29.578
2025	20.853	34.742	27.054	33.440	15.029	28.402	29.384	35.114	12.421	24.104	26.439	30.502
2026	25.325	37.855	29.384	35.370	18.244	30.467	30.727	36.339	15.068	25.629	27.505	31.425
2027	29.831	40.992	31.714	37.300	21.483	32.547	32.070	37.563	17.733	27.165	28.571	32.348
2028	34.376	44.154	34.043	39.230	24.749	34.643	33.413	38.787	20.419	28.712	29.637	33.271
2029	38.955	47.340	36.372	41.159	28.039	36.754	34.755	40.011	23.124	30.270	30.703	34.194
2030	43.568	50.549	38.699	43.087	31.352	38.880	36.097	41.234	25.848	31.838	31.768	35.116
Verbrauch für Heizenergie in l Öl und kWh Strom	4747	3208	9446	7435	3301	2035	5065	4293	2568	1431	3838	3022
Verbrauch für Hilfsenergie in kWh	480	360	118	298	436	224	107	297	653	154	102	242

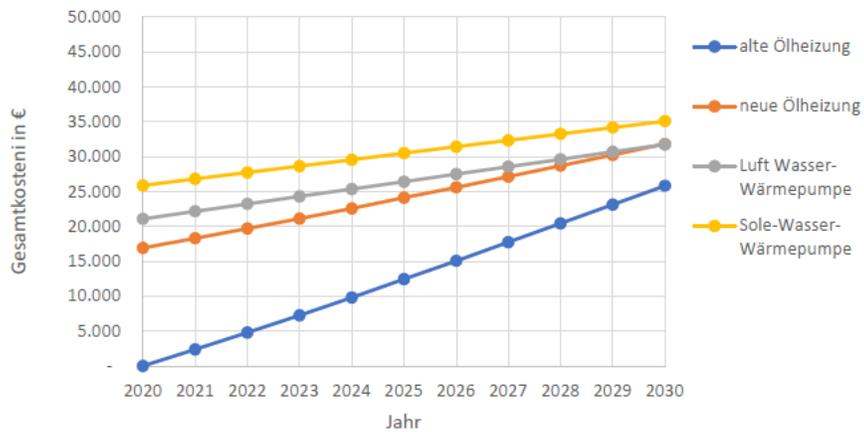
Gesamtkosten mit Förderung im unsanierten Gebäude in Potsdam



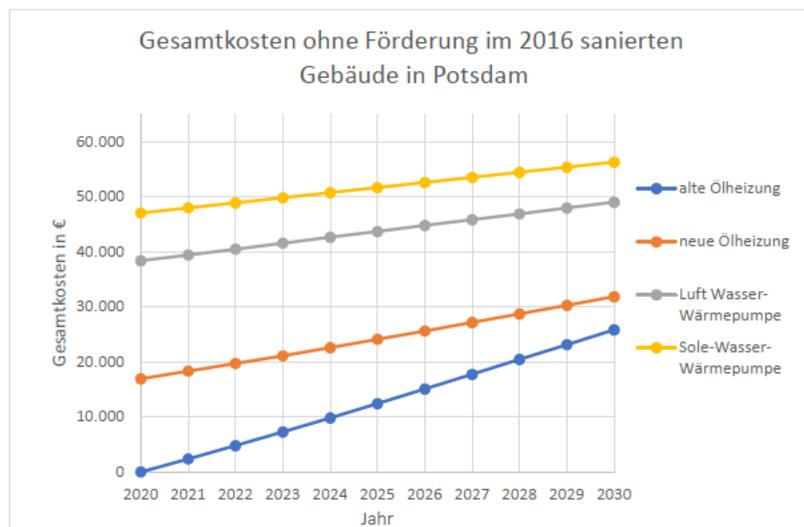
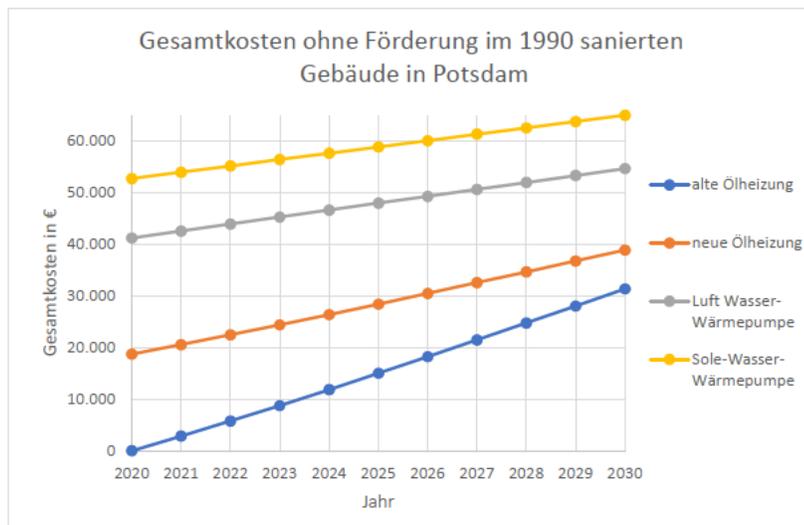
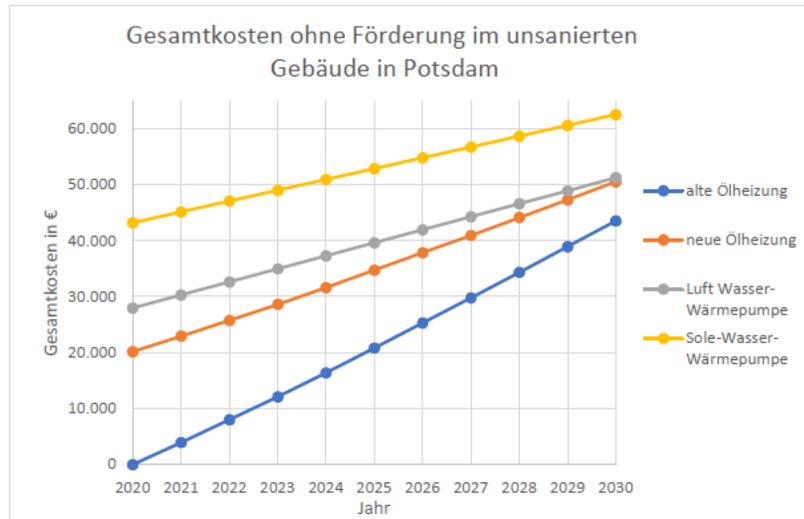
Gesamtkosten mit Förderung im 1990 sanierten Gebäude in Potsdam



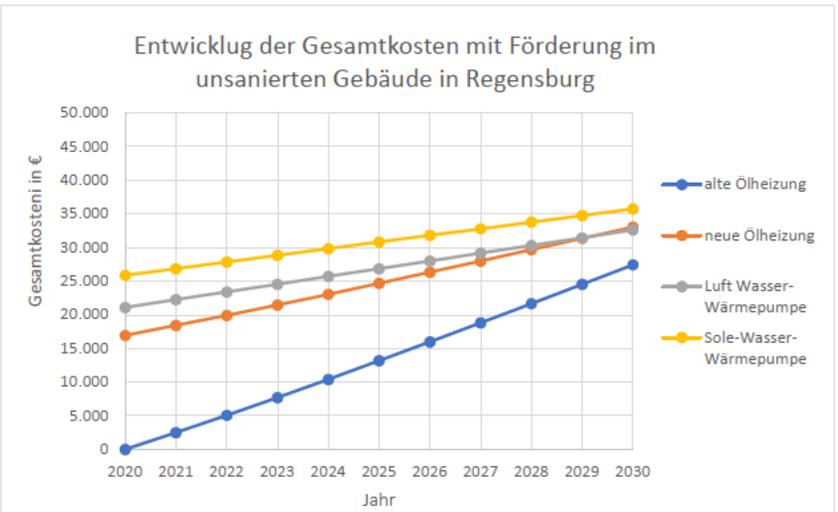
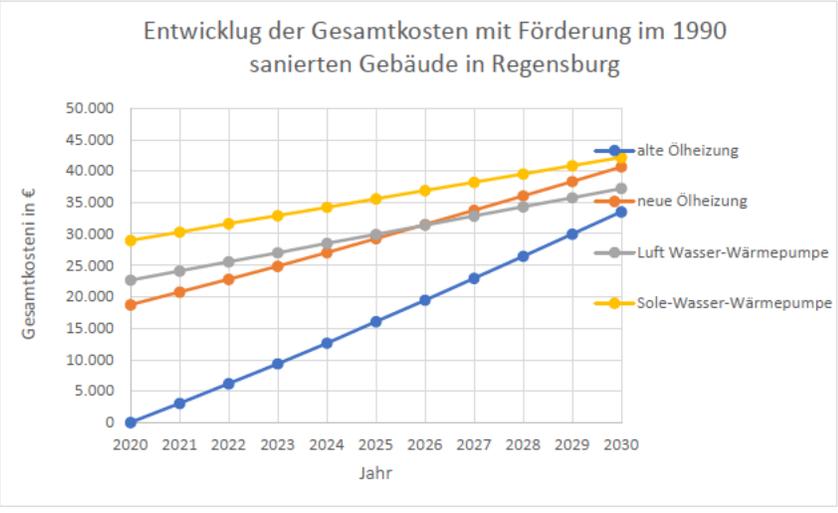
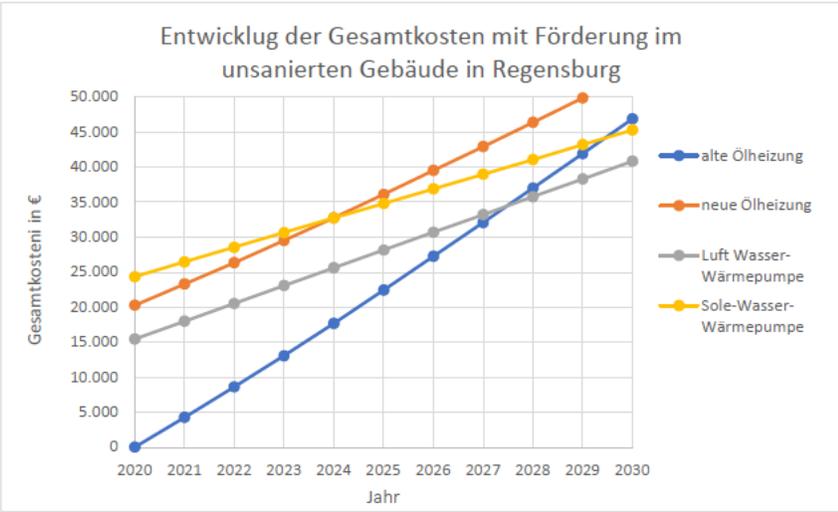
Gesamtkosten mit Förderung im 2016 sanierten Gebäude in Potsdam



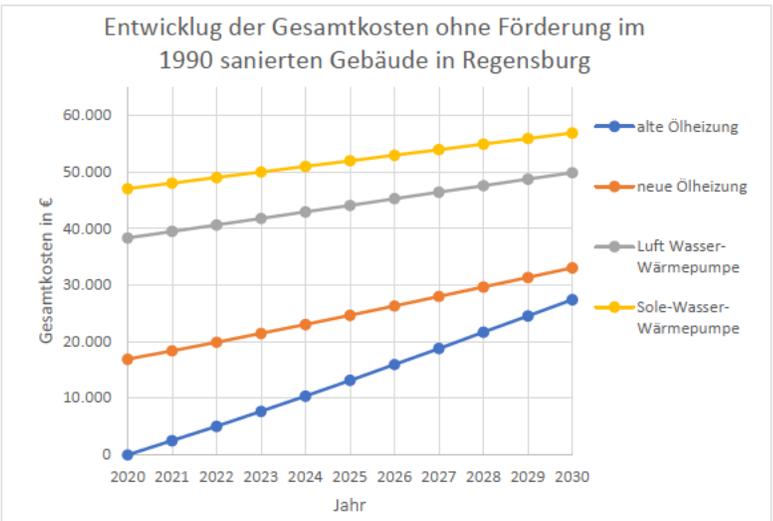
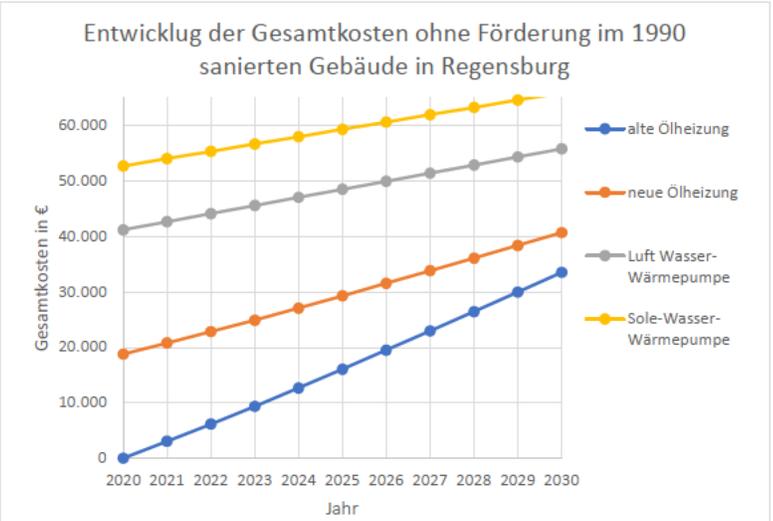
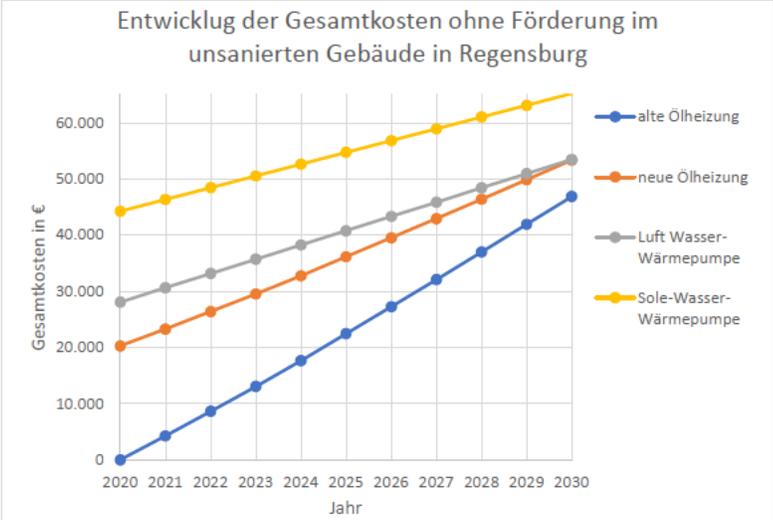
	Gesamtkosten ohne Förderung in € am Standort Potsdam											
	unsaniert				1990 saniert				2016 saniert			
	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe
2020	-	20.193	27.985	43.235	-	18.722	41.203	52.703	-	16.931	38.370	47.058
2021	3.964	22.963	30.319	45.168	2.862	20.569	42.548	53.929	2.372	18.303	39.438	47.982
2022	8.009	25.788	32.652	47.101	5.781	22.452	43.893	55.155	4.789	19.700	40.505	48.907
2023	12.136	28.668	34.984	49.033	8.756	24.369	45.237	56.380	7.249	21.121	41.572	49.831
2024	16.416	31.652	37.316	50.965	11.838	26.352	46.581	57.606	9.792	22.589	42.639	50.754
2025	20.853	34.742	39.647	52.896	15.029	28.402	47.925	58.831	12.421	24.104	43.706	51.678
2026	25.325	37.855	41.977	54.826	18.244	30.467	49.268	60.055	15.068	25.629	44.772	52.601
2027	29.831	40.992	44.307	56.756	21.483	32.547	50.611	61.279	17.733	27.165	45.838	53.524
2028	34.376	44.154	46.636	58.686	24.749	34.643	51.954	62.503	20.419	28.712	46.904	54.447
2029	38.955	47.340	48.965	60.615	28.039	36.754	53.296	63.727	23.124	30.270	47.969	55.370
2030	43.568	50.549	51.293	62.543	31.352	38.880	54.638	64.950	25.848	31.838	49.035	56.292
Verbrauch für Heizenergie in l Öl und kWh Strom	4.747	3.208	9.446	7.435	3.301	2.035	5.065	4.293	2.568	1.431	3.838	3.022
Verbrauch für Hilfsenergie in kWh	480	360	118	298	436	224	107	297	653	154	102	242



	Gesamtkosten mit Förderung in € am Standort Regensburg												
	unsaniert				1990 saniert				2016 saniert				
	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	
2020	-	20.272	15.443	24.346	-	18.760	22.662	28.987	-	16.945	21.104	25.882	
2021	4.264	23.290	17.987	26.443	3.057	20.768	24.122	30.308	2.517	18.427	22.256	26.871	
2022	8.617	26.368	20.530	28.539	6.176	22.814	25.581	31.629	5.082	19.937	23.408	27.860	
2023	13.057	29.507	23.073	30.635	9.355	24.898	27.041	32.949	7.693	21.473	24.559	28.848	
2024	17.663	32.759	25.615	32.730	12.649	27.055	28.499	34.270	10.393	23.060	25.711	29.836	
2025	22.439	36.128	28.156	34.824	16.060	29.286	29.958	35.590	13.185	24.699	26.862	30.824	
2026	27.253	39.523	30.696	36.918	19.497	31.533	31.416	36.909	15.996	26.349	28.012	31.812	
2027	32.103	42.942	33.236	39.011	22.960	33.796	32.874	38.228	18.826	28.011	29.163	32.800	
2028	36.995	46.391	35.775	41.104	26.452	36.078	34.331	39.547	21.679	29.685	30.313	33.787	
2029	41.924	49.866	38.313	43.196	29.969	38.376	35.788	40.866	24.552	31.371	31.463	34.774	
2030	46.891	53.365	40.851	45.287	33.512	40.690	37.245	42.184	27.445	33.068	32.613	35.761	
Verbrauch für Heizenergie in l Öl und kWh Strom	5.131	3.523	10.381	8.162	3.549	2.239	5.576	4.716	2.746	1.571	4.214	3.309	
Verbrauch für Hilfsenergie in kWh	519	396	118	298	466	247	107	297	691	170	102	242	



	Gesamtkosten ohne Förderung in € am Standort Regensburg											
	unsaniert				1990 saniert				2016 saniert			
	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe
2020	-	20.272	28.078	44.266	-	18.760	41.203	52.703	-	16.945	38.370	47.058
2021	4.264	23.290	30.622	46.363	3.057	20.768	42.663	54.024	2.517	18.427	39.522	48.047
2022	8.617	26.368	33.165	48.459	6.176	22.814	44.123	55.345	5.082	19.937	40.674	49.036
2023	13.057	29.507	35.708	50.554	9.355	24.898	45.582	56.666	7.693	21.473	41.826	50.024
2024	17.663	32.759	38.250	52.649	12.649	27.055	47.041	57.986	10.393	23.060	42.977	51.012
2025	22.439	36.128	40.791	54.744	16.060	29.286	48.499	59.306	13.185	24.699	44.128	52.000
2026	27.253	39.523	43.331	56.838	19.497	31.533	49.957	60.626	15.996	26.349	45.279	52.988
2027	32.103	42.942	45.871	58.931	22.960	33.796	51.415	61.945	18.826	28.011	46.429	53.976
2028	36.995	46.391	48.410	61.023	26.452	36.078	52.872	63.264	21.679	29.685	47.580	54.963
2029	41.924	49.866	50.948	63.116	29.969	38.376	54.329	64.582	24.552	31.371	48.730	55.950
2030	46.891	53.365	53.486	65.207	33.512	40.690	55.786	65.900	27.445	33.068	49.879	56.937
Verbrauch für Heizenergie in l Öl und kWh Strom	5.131	3.523	10.381	8.162	3.549	2.239	5.576	4.716	2.746	1.571	4.214	3 309
Verbrauch für Hilfsenergie in kWh	519	396	118	298	466	247	107	297	691	170	102	242

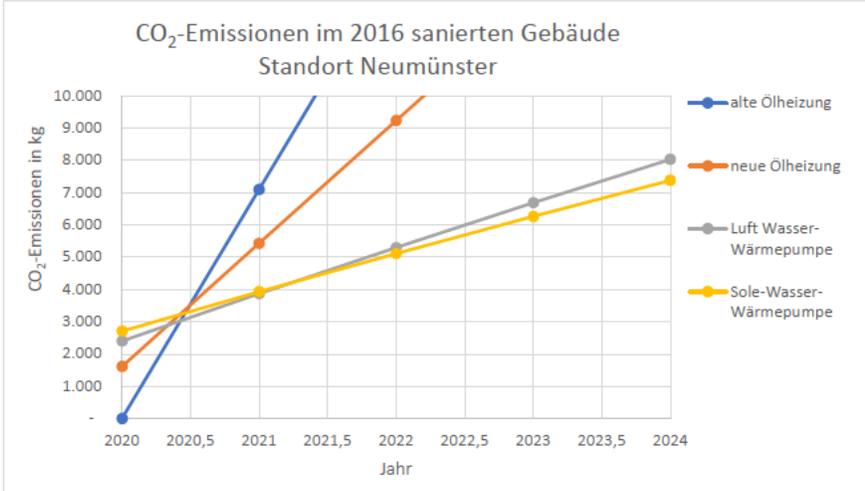
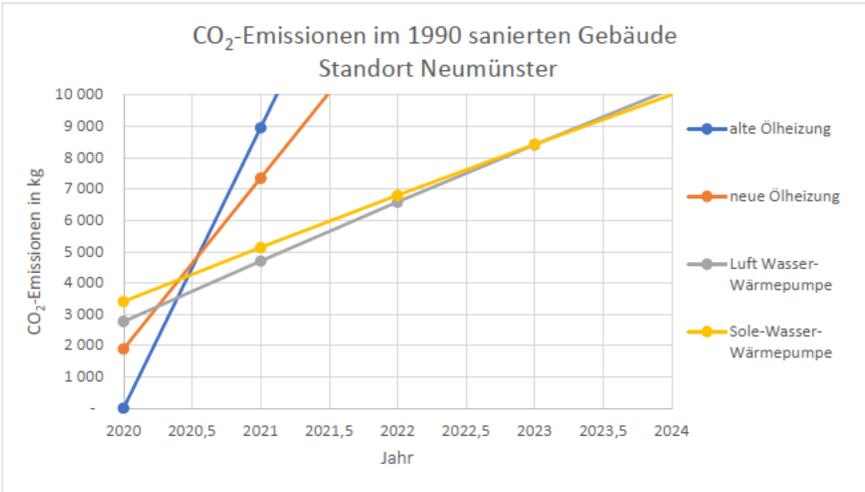
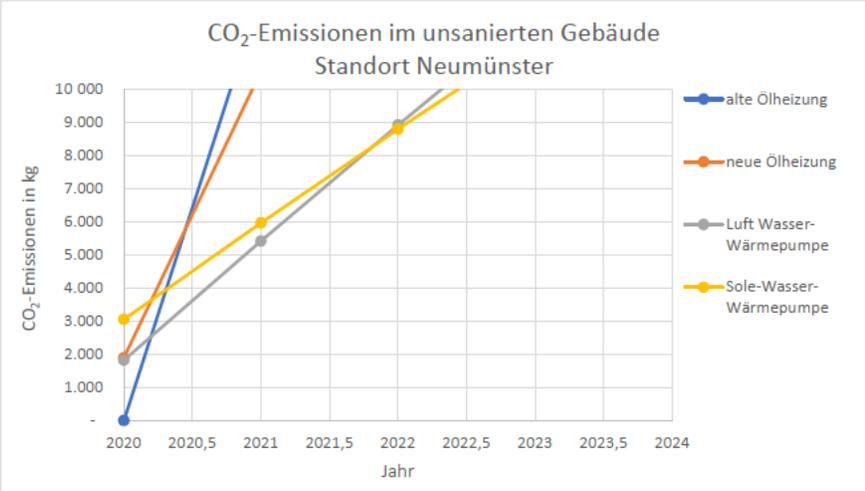


Anlage F - Berechnung des CO₂-Abdrucks

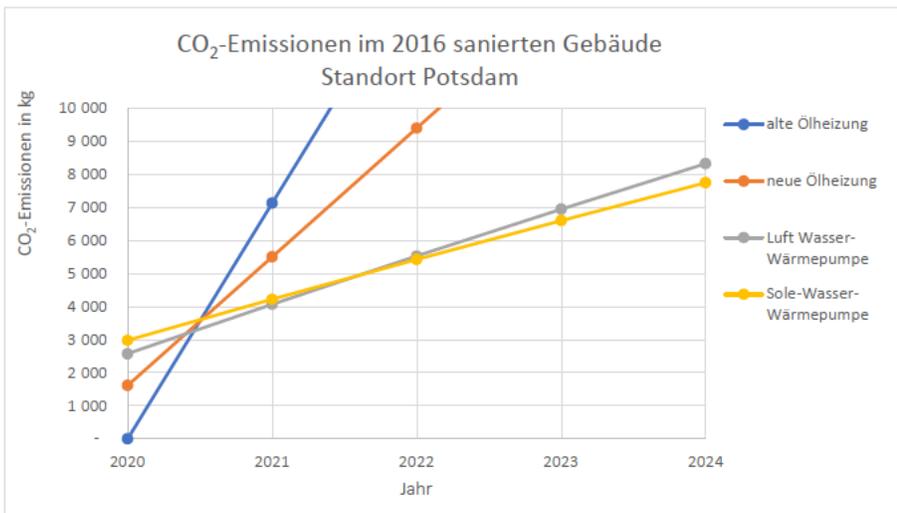
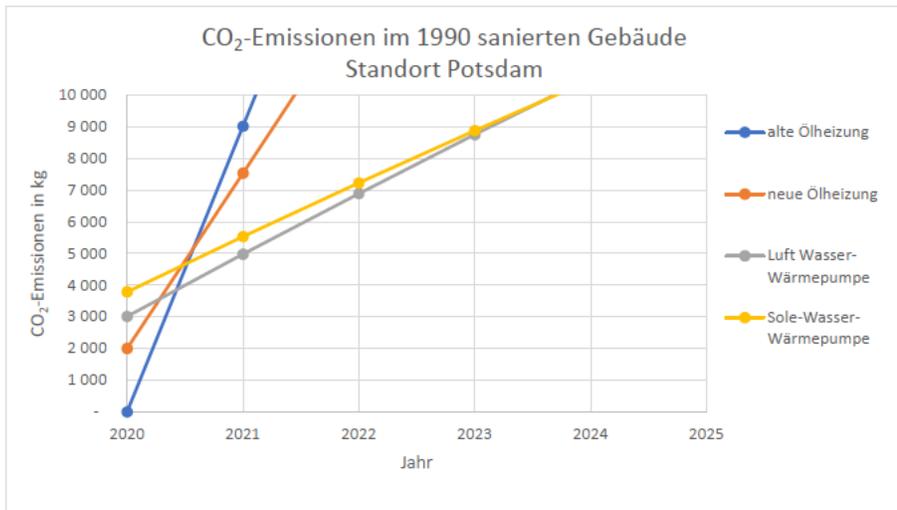
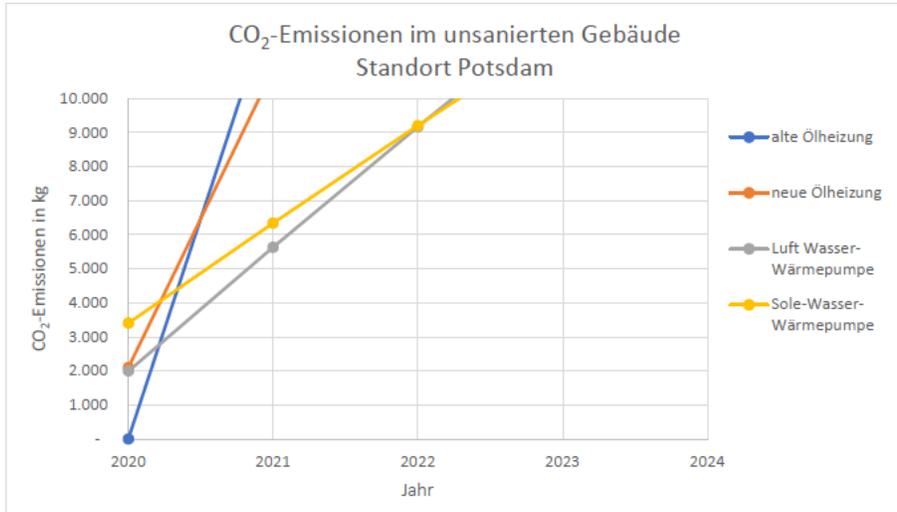
Standort	Sanierungs- zustand	Wäreerzeuger	Leistung der Anlage in kW	CO2-Emissionen in kg					Summe	
				Wärmeerzeuger	Rohre für Erdsonde	Pufferspeicher	Heizung	Isolierung		
Koblenz	unsaniert	neuer Ölkessel	11	697		228	1.047	113	2.086	
		Luft-Wasser- Wärmepupe	11	278		344	1.450	113	2.185	
		Sole-Wasser- Wärmepumpe	11	803	707	344	1.450	113	3.417	
	1990 saniert	neuer Ölkessel	8	697		228	847	113	1.886	
		Luft-Wasser- Wärmepupe	7	177		344	2.200	113	2.834	
		Sole-Wasser- Wärmepumpe	7	449	370	344	2.200	113	3.475	
	2016 saniert	neuer Ölkessel	4	697		228	557	113	1.596	
		Luft-Wasser- Wärmepupe	4	101		344	1.882	113	2.440	
		Sole-Wasser- Wärmepumpe	4	230	177	344	1.882	113	2.746	
	Neumünster	unsaniert	neuer Ölkessel	11	697		228	867	113	1.906
			Luft-Wasser- Wärmepupe	11	278		344	1.093	113	1.829
			Sole-Wasser- Wärmepumpe	11	803	707	344	1.093	113	3.060
1990 saniert		neuer Ölkessel	8	697		228	858	113	1.897	
		Luft-Wasser- Wärmepupe	7	177		344	2.135	113	2.769	
		Sole-Wasser- Wärmepumpe	7	449	370	344	2.135	113	3.411	
2016 saniert		neuer Ölkessel	4	697		228	574	113	1.613	
		Luft-Wasser- Wärmepupe	4	101		344	1.845	113	2.403	
		Sole-Wasser- Wärmepumpe	4	230	177	344	1.845	113	2.709	
Potsdam		unsaniert	neuer Ölkessel	12	697		228	1.053	113	2.092
			Luft-Wasser- Wärmepupe	12	304		344	1.235	113	1.996
			Sole-Wasser- Wärmepumpe	12	902	806	344	1.235	113	3.401
	1990 saniert	neuer Ölkessel	8	697		228	960	113	1.999	
		Luft-Wasser- Wärmepupe	8	203		344	2.355	113	3.014	
		Sole-Wasser- Wärmepumpe	8	531	445	344	2.355	113	3.788	
	2016 saniert	neuer Ölkessel	5	697		228	574	113	1.613	
		Luft-Wasser- Wärmepupe	5	127		344	1.991	113	2.574	
		Sole-Wasser- Wärmepumpe	5	299	235	344	1.991	113	2.982	
	Regensburg	unsaniert	neuer Ölkessel	13	697		228	1.143	113	2.181
			Luft-Wasser- Wärmepupe	13	329		344	1.296	113	2.082
			Sole-Wasser- Wärmepumpe	13	1.006	911	344	1.296	113	3.670
1990 saniert		neuer Ölkessel	8	697		228	809	113	1.848	
		Luft-Wasser- Wärmepupe	8	203		344	2.342	113	3.001	
		Sole-Wasser- Wärmepumpe	8	531	445	344	2.342	113	3.775	
2016 saniert		neuer Ölkessel	5	697		228	493	113	1.532	
		Luft-Wasser- Wärmepupe	5	127		344	1.991	113	2.574	
		Sole-Wasser- Wärmepumpe	5	299	235	344	1.991	113	2.982	

Anlage G - Übersicht über die Gesamtemissionen an CO₂

	Gesamtemissionen an CO2 in kg - Standort Neumünster											
	unsaniert				1990 saniert				2016 saniert			
	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser- Wärmepumpe	Sole-Wasser- Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser- Wärmepumpe	Sole-Wasser- Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser- Wärmepumpe	Sole-Wasser- Wärmepumpe
2020	-	1.906	1.829	3.060	-	1.897	2.769	3.411	-	1.613	2.403	2.709
2021	12.861	10.545	5.428	5.972	8.962	7.348	4.704	5.130	7.096	5.422	3.867	3.924
2022	25.718	19.180	8.932	8.806	17.920	12.796	6.588	6.803	14.185	9.230	5.293	5.108
2023	38.570	27.811	12.341	11.564	26.873	18.243	8.420	8.432	21.268	13.036	6.681	6.260
2024	51.417	36.439	15.656	14.245	35.822	23.687	10.202	10.015	28.344	16.841	8.030	7.379
2025	64.259	45.063	18.867	16.842	44.766	29.128	11.928	11.548	35.412	20.644	9.336	8.464
2026	77.096	53.683	21.983	19.363	53.706	34.568	13.603	13.036	42.474	24.445	10.604	9.516
2027	89.929	62.300	25.004	21.807	62.641	40.005	15.227	14.479	49.529	28.245	11.833	10.537
2028	102.756	70.913	27.921	24.166	71.572	45.440	16.795	15.872	56.576	32.044	13.021	11.522
2029	115.578	79.522	30.744	26.449	80.499	50.873	18.312	17.220	63.617	35.841	14.169	12.475
2030	128.396	88.128	33.471	28.656	89.421	56.303	19.778	18.523	70.650	39.636	15.279	13.396
Verbrauch für Heizenergie in kWh	47.670	31.966	9.353	7.363	33.073	20.177	4.984	4.226	25.710	14.106	3.752	2.957
Verbrauch für Hilfsenergie in kWh	477	357	118	298	433	220	107	297	677	150	102	242



Gesamtemissionen an CO2 in kg - Standort Potsdam												
	unsaniert				1990 saniert				2016 saniert			
	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser-Wärmepumpe	Sole-Wasser-Wärmepumpe
2020	-	2.092	1.996	3.401	-	1.999	3.014	3.788	-	1.613	2.574	2.982
2021	12.911	10.831	5.630	6.339	9.017	7.540	4.979	5.532	7.132	5.508	4.071	4.222
2022	25.817	19.566	9.169	9.200	18.029	13.079	6.893	7.230	14.258	9.402	5.529	5.430
2023	38.719	28.298	12.612	11.984	27.037	18.616	8.755	8.883	21.378	13.294	6.948	6.605
2024	51.615	37.026	15.959	14.691	36.041	24.151	10.565	10.489	28.491	17.184	8.327	7.747
2025	64.507	45.750	19.202	17.312	45.040	29.683	12.318	12.045	35.596	21.073	9.662	8.854
2026	77.393	54.471	22.348	19.856	54.035	35.213	14.020	13.555	42.696	24.960	10.959	9.928
2027	90.275	63.188	25.399	22.323	63.025	40.740	15.670	15.020	49.788	28.846	12.215	10.969
2028	103.151	71.901	28.345	24.705	72.010	46.265	17.263	16.433	56.874	32.729	13.429	11.974
2029	116.023	80.610	31.195	27.009	80.991	51.788	18.804	17.801	63.953	36.612	14.603	12.947
2030	128.890	89.316	33.949	29.237	89.968	57.309	20.294	19.123	71.025	40.493	15.738	13.887
Verbrauch für Heizenergie in kWh	47.852	32.339	9.446	7.435	33.275	20.512	5.065	4.293	25.881	14.423	3.838	3.022
Verbrauch für Hilfsenergie in kWh	480	360	118	298	436	224	107	297	653	154	102	242



	Gesamtemissionen an CO2 in kg - Standort Regensburg											
	unsaniert				1990 saniert				2016 saniert			
	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser- Wärmepumpe	Sole-Wasser- Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser- Wärmepumpe	Sole-Wasser- Wärmepumpe	alte Ölheizung	neue Ölheizung	Luft Wasser- Wärmepumpe	Sole-Wasser- Wärmepumpe
2020	-	2.181	2.082	3.670	-	1.848	3.001	3.775	-	1.532	2.574	2.982
2021	13.954	11.779	6.072	6.885	9.692	7.946	5.160	5.680	6.827	5.809	4.214	4.331
2022	27.904	21.372	9.956	10.015	19.379	14.041	7.263	7.535	13.648	10.084	5.811	5.645
2023	41.848	30.962	13.736	13.060	29.062	20.134	9.309	9.339	20.462	14.357	7.365	6.924
2024	55.787	40.548	17.411	16.021	38.740	26.224	11.298	11.094	27.268	18.628	8.876	8.166
2025	69.720	50.129	20.970	18.889	48.412	32.312	13.225	12.793	34.068	22.898	10.339	9.370
2026	83.648	59.706	24.424	21.673	58.081	38.397	15.094	14.443	40.860	27.166	11.759	10.538
2027	97.571	69.279	27.773	24.371	67.744	44.480	16.907	16.042	47.645	31.433	13.136	11.671
2028	111.488	78.848	31.007	26.977	77.402	50.560	18.658	17.586	54.423	35.697	14.465	12.765
2029	125.400	88.413	34.136	29.498	87.056	56.637	20.351	19.080	61.194	39.960	15.751	13.823
2030	139.307	97.974	37.159	31.935	96.705	62.712	21.988	20.523	67.957	44.221	16.994	14.846
Verbrauch für Heizenergie in kWh	51.719	35.515	10.381	8.162	35.770	22.571	5.576	4.716	24.680	15.835	4.214	3.309
Verbrauch für Hilfsenergie in kWh	519	396	118	298	466	247	107	297	691	170	102	242

